施工部会
報告書

Japan Steel Bridge Engineering Association
TECHNICAL REPORT /No.077
平成26年3月



鋼橋技術研究会

鋼橋技術研究会　施工部会　会員名簿

役　職	氏　名	所　属
部　会　長	舘石　和雄	名古屋大学
幹　　事	穴見　健吾	芝浦工業大学
庶務幹事	細見　直史	株式会社 東京鐵骨橋梁
部　会　員	糟谷　正	大阪大学
〃	南　　邦明	鉄道建設・運輸施設整備支援機構
〃	一宮　充	株式会社 横河ブリッジ
〃	内田　大介	三井造船 株式会社
〃	内村　直弘	株式会社 駒井ハルテック
〃	遠藤　輝好	株式会社 巴コーポレーション
〃	岡本　陽介	株式会社 ビーエムシー
〃	倉本　健次	川田工業 株式会社
〃	澁谷　敦	宮地エンジニアリング 株式会社
〃	瀬能　浩実	株式会社 オリエンタルコンサルタンツ
〃	鷹羽　新二	高田機工 株式会社
〃	横田　純	日本車輌製造 株式会社

※所属については H25.3 時点

旧部会員	小坂田　陽平	JFE エンジニアリング 株式会社
〃	公門　和樹	株式会社 ビーエムシー
〃	西塚　誠	高田機工 株式会社
〃	平間　友	日鉄トピーブリッジ 株式会社
〃	宮沢　晋史	株式会社 サクラダ
〃	村島　裕幸	日鉄トピーブリッジ 株式会社
〃	横田　洋人	株式会社 サクラダ

鋼橋技術研究会　施工部会　報告書

１．溶 接 割 れ に 関 す る 調 査 研 究

２．溶接継手の目違いに関する調査研究

鋼橋技術研究会　施工部会　報告書

１．溶 接 割 れ に 関 す る 調 査 研 究

施工部会　溶接割れに関する調査研究

役　職	氏　名	所　属
部　会　長	舘石　和雄	名古屋大学
幹　　事	穴見　健吾	芝浦工業大学
W　G　長	一宮　充	株式会社 横河ブリッジ
部　会　員	糟谷　正	大阪大学
〃	南　　邦明	鉄道建設・運輸施設整備支援機構
〃	内田　大介	三井造船 株式会社
〃	内村　直弘	株式会社 駒井ハルテック
〃	遠藤　輝好	株式会社 巴コーポレーション
〃	岡本　陽介	株式会社 ビーエムシー
〃	倉本　健次	川田工業 株式会社
〃	澁谷　敦	宮地エンジニアリング 株式会社
〃	瀬能　浩実	株式会社 オリエンタルコンサルタンツ
〃	鷹羽　新二	高田機工 株式会社
〃	細見　直史	株式会社 東京鐵骨橋梁
〃	横田　純	日本車輌製造 株式会社

※所属については H25.3 時点

旧 部 会 員	小坂田　陽平	JFE エンジニアリング 株式会社
〃	公門　和樹	株式会社 ビーエムシー
〃	宮沢　晋史	株式会社 サクラダ
〃	横田　洋人	株式会社 サクラダ

溶接割れに関する調査研究　目次

§1. はじめに ····· 1－1
1-1. 研究の背景 ····· 1－1
1-2. 研究の概要 ····· 1－1
§2. 溶接割れに関する既往の知見の整理 ····· 1－2
2-1. 溶接施工に関する技術的な変遷 ····· 1－2
2-1-1. 製鋼技術の変遷 ····· 1－2
2-1-2. 溶接技術の変遷 ····· 1－6
2-1-3. 技術基準 ····· 1－11
2-2.　低温割れの発生に及ぼす因子 ····· 1－22
2-2-1. 炭素当量の影響 ····· 1－22
2-2-2. 拘束度の影響 ····· 1－24
2-2-3. 拡散性水素量の影響 ····· 1－26
2-2-4. 入熱量の影響 ····· 1－27
§3. 最近の溶接割れ事例調査結果 ····· 1－29
3-1. 鋼橋製作施工会社へのアンケート調査 ····· 1－29
3-2. コネクションプレートの割れ ····· 1－41
§4. 溶接割れ試験 ····· 1－43
4-1. 試験体 ····· 1－43
4-2. FEM による拘束度解析 ····· 1－47
4-3. 試験方法 ····· 1－49
4-3-1. 溶接作業 ····· 1－50
4-3-2. 溶接条件及び試験体条件 ····· 1－50
4-3-3. 溶接棒及び拡散性水素量の測定 ····· 1－52
4-3-4. 外観検査 ····· 1－53
4-3-5. マクロ試験 ····· 1－53
4-3-6. 立板の変形測定 ····· 1－54
4-4. 試験結果 ····· 1－56
4-4-1. 供試鋼材の化学成分分析結果 ····· 1－56
4-4-2. 割れ試験結果 ····· 1－57
4-4-3. 考察 ····· 1－63
§5. まとめ ····· 1－68
§6. 付録 ····· 1－69
6-1. 溶接割れ試験データシート ····· 1－69
6-2. 溶接割れ試験マクロ写真 ····· 1－92
6-3. 溶接割れ試験マイクロスコープ写真 ····· 1－135
6-4. 溶接割れ研究文献リスト ····· 1－164
6-5. 溶接施工技術基準 ····· （CD-ROM のみ収録） 1－168
謝辞 ····· 1－404

§1　はじめに

1-1.　研究の背景

鋼橋の接合方法において，溶接は最も基本的かつ重要な接合方法である。この溶接接合部に要求される性能や品質を確保するためには，材質の劣化や溶接欠陥を防止する必要があるため，施工管理が重要となる。施工管理項目の詳細は，道路橋示方書などの技術基準類に規定されているが，中でも低温割れに関連する，溶接材料，組立溶接，予熱，などについては，細かい注意が要求される。低温割れの防止対策については，溶接が普及し始めて間もない頃に盛んに進められた研究結果から，鋼材の炭素量，溶接材料の拡散性水素量，継手の拘束度の３つが大きな要因であるとされ，施工管理項目はこの関係が反映されている。しかし，これらの研究は約 40 年前の研究結果が基になっており，その後の 40 年間では製鋼方法や溶接材料の技術革新は著しい発展を遂げており，新設橋の製作時に危惧される低温割れの発生頻度は以前と異なっている可能性もある。

一方，既設橋の補修や補強工事で対象となる橋梁は製作年次が古いものとなるため，その鋼材の溶接性には注意が必要となる。一般に現場での溶接施工は，施工性の悪さや溶接継手の疲労強度の低さなどから採用されない場合が多いためか，低温割れを問題とした報告は多くない。しかし，わが国の橋梁は高度経済成長期以降に大量に建設されており，今後これらの橋梁の補修補強工事が発生するものと予想されるが，中には現場の制約から溶接で接合せざるを得ない場合も少なくないと考えられる。したがって，古い鋼材を現在の溶接材料で施工する場合の溶接性に関する研究は，今後その重要性が高まってくるものと考えられる。

1-2.　研究の概要

本研究では，まず橋梁製作工場への溶接割れの実態調査を実施し，現在の鋼材や溶接材料での溶接割れの発生実態について調査した。その結果，現在の工場製作部材においても低温割れが生じる場合があることを確認した。次に，低温割れの発生条件について実験的に検討することを試みた。低温割れの試験方法には，ｙ形溶接割れ試験，U形溶接割れ試験，H形拘束溶接割れ試験などが JIS 規格で制定されているが，ｙ形溶接割れ試験では拘束が高すぎるため実構造では安全側に評価する可能性があり，U形溶接割れ試験は母材ではなく溶接金属の評価になること，H形拘束溶接割れ試験はラメラテアの評価になること，といった理由により，製作年次の古い鋼材の溶接性を評価する方法としては適切ではないと考えた。

ところで，日本海事協会にすみ肉溶接割れ試験という試験方法があり，この試験ではルート部を起点とするヒールクラックが生じる。橋梁製作工場への実態調査結果でもヒールクラックと考えられる割れは現在でも生じており，施工後の検査でも検出が難しい割れであるため，当ＷＧではこれを研究対象として選定し，すみ肉溶接割れ試験により検討を進めることとした。

本研究では，実験の供試鋼材には古い鋼材を使用することが重要となる。そこで，橋梁の架け替え工事などで発生する撤去桁を調査し，これを譲渡してもらうこととした。また，溶接材料の拡散性水素量は，実施工で想定される高い水素量となる溶接材料，乾燥条件を選定し，水素量を管理した。

実験の結果，目的とする低温割れは特定の条件でのみ発生し，割れないケースが少なくなかった。実験条件に注意する必要があるが，古い鋼材への溶接施工が可能な場合もあると考えられる。

§2. 溶接割れに関する既往の知見の整理

2-1. 溶接施工に関する技術的な変遷

2-1-1. 製鋼技術の変遷 [1~5)]

（1）製鉄の起源

人類と鉄との付き合いは古く，紀元前より鉄づくりは行われてきた。

自然界に存在する鉄の多くは，酸化鉄の形で存在しているため，酸化鉄から鉄を得るためには，酸化鉄を還元して鉄を得る必要があった。古くは,たたら吹きに代表されるような直接製鋼法によって，酸化鉄から直接炭素量の少ない錬鉄や鋼鉄を得ていた。しかし，1400 年ごろにドイツのライン川流域で水車を送風の動力源とした高炉が発明されて高温が得られるようになると，大量の鉄を溶けた状態で生産できるようになった。高炉で溶融された銑鉄は炭素量が多く融点が低いため，型に流し込んで鋳鉄として利用できたが，炭素量が多いため脆く，そのままでは刃物などの鋼としての利用はできなかった。そこで，高炉から取り出した銑鉄から炭素や不純物を取り除く製鋼技術が発生した。初期の製鋼は，銑鉄を木炭と一緒に焼き脱炭を行ったり，反射炉を用いてパドル撹拌を行いながら脱炭を行ったが，産業革命がおこり動力が発達するとともに鉄の需要が急激に増加していく中，効率的に銑鉄から鋼鉄をつくる方法が求められた。

（2）現代の製鋼技術の発達

高炉で作られる銑鉄には 4.5%程度の炭素が溶け込んでいる。また，鉄鉱石の性質により含有量は異なるものの，有害なリン・硫黄が含まれている。これらの有害元素を取り除き，有用な元素を添加して鋼の性質を作りこむ事を製鋼と呼ぶ。

現代の製鋼は 1856 年のヘンリー・ベッセマーによる転炉法の発明により始まる。それまで銑鉄を脱炭するためには何かしらの熱源を必要としたが，ベッセマーは高炉から取り出した溶銑を溶けたまま別の炉に移し，炉の底から空気を吹き込むことで，空気中の酸素で溶銑中の炭素を燃焼させて脱炭するとともに，その熱で溶銑の溶融状態を維持することに成功した。ベッセマー転炉は，大量の溶銑を短時間で溶融状態のまま脱炭することができる画期的な発明であったが，リンや硫黄の除去ができず，それらを含まない良質な鉄鉱石を用いた溶銑でしか，実用的な鋼を作ることができなかった。

同じ年にウイリアム･ジーメンスとフリードリヒ･ジーメンスの兄弟によって蓄熱法が完成された。反射炉において，鉄の溶解の際の排ガスの熱をいったん耐火煉瓦に蓄熱し，その熱を再利用して空気と燃料ガスを予熱して燃焼させることで高温を得て，溶鋼を作ろうとしたのである。しかし，ジーメンス兄弟の反射炉では溶鋼を実用的に作ることができなかった。溶鋼を作るための高温に，炉の耐火物が耐え切れなかったためである。その後，製鉄業を営んでいたピエール・マルタンはシーメンス兄弟の蓄熱法の特許を買い取り，密閉しない炉床を用いたオープン・ハース法と組み合わせて 1864 年に平炉を完成させる。しかし，この平炉もリンや硫黄の除去が出来ず，良質な鉄鉱石を用いた溶銑でしか実用鋼を作ることができなかった。この問題を解決したのがジドニー・トーマスである。トーマスは,銑鉄中のリンや硫黄が高温酸素に酸化されてもスラグとならず,鋼との分離ができない問題を,スラグに石灰石などの塩基性のスラグを添加することで酸化物をスラグに吸着させて解決しようとした。当時，転炉も平炉も内貼りには酸性耐火物である珪石煉瓦が使われており，塩基性のスラグであ

る石灰などを添加すれば，珪石煉瓦と石灰が激しく反応してしまい，炉壁が浸食されてしまう。塩基性のスラグを使用するには，塩基性の耐火物の開発が必要であった。しかし，当時塩基性の耐火物は当時存在せず，1878 年，トーマスはこの問題を解決するために，塩基性耐火物にドロマイドを用いて作ることを発明し，転炉に応用した（トーマス転炉)。その後，この耐火物は平炉にも適用され，転炉・平炉での塩基性スラグによるリン・硫黄の除去が可能となったのである。しかし，トーマス転炉は炭素だけでなくリンの酸化熱を熱源として必要としていたため，今度は高リン鉱石による銑鉄（トーマス銑）を使用する必要があるという制約を抱えていた。一方，塩基性平炉は外部燃料を使い，熱効率のいい蓄熱炉で原料の制約は大きく受けず，また転炉法では反応速度が速く十分に除去しきれなかったリン・硫黄も十分に除去することができたため，高品質な鋼を作ることができた。そのためトーマス転炉はドイツ・フランスや北欧の高リン鉱石を用いる製鋼においては重要な役割を演じたが，そのほかの主要な製鉄国においては，平炉法が支配的であった。

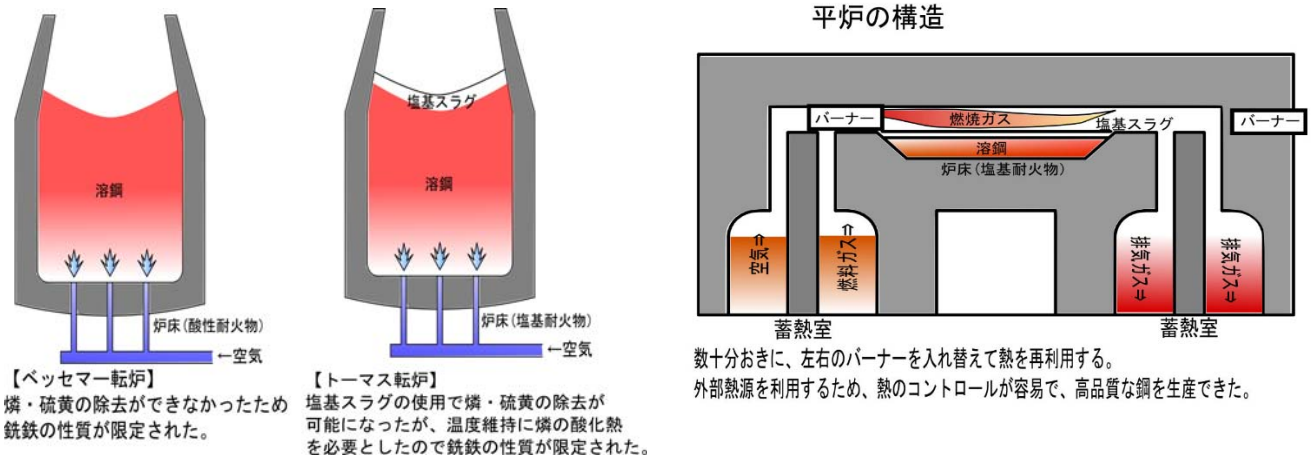


図 2-1-1　ベッセマー転炉・トーマス転炉と平炉の構造

（3）純酸素 LD 法の出現，平炉の衰退

1905 年に空気中の酸素を空気から分離する方法が開発されてから，転炉に純酸素を用いる試みがなされた。純酸素を用いることで低リン鉱石でも十分な熱量が得られるうえ，空気中の窒素が鋼に溶け込むのをコントロールすることができた。しかし，純酸素を炉底から吹き込むと，その高熱により炉底の耐火物が激しく消耗し，結局酸素濃度を十分にあげることができず純酸素による転炉法は限定的であった。1949 年，オーストリアでこの問題を解決する純酸素 LD 法が開発される。従来，銑鉄の撹拌のために炉の底から吹き込むのが当たり前であった酸素を，炉の上から吹き込んでも十分に撹拌されることが分かったのである。これにより炉底の消耗の問題を解決した転炉は，その生産性と品質の高さから，世界中でこれまで優位であった平炉から置き換えられた。日本においては特に平炉から LD 転炉への置き換えは顕著で，1956 年に当時日本で唯一ベッセマー転炉を運用していた日本鋼管（現 JFE）が日本側の代表としてオーストリアの Alpine 社と技術導入契約を結び，国内高炉各社にサブライセンスとして供与する形で 1956 年～1971 年の 15 年間で一気に置き換えが進んだ。1971 年にはすべての国内メーカーが平炉での生産を終了している。なお，同時期に純酸素を平炉に適用する試みもなされているが，純酸素により発生するガスと熱の問題と平炉との相性が悪く，技術的には転炉法が

優位であった。また，戦後の屑鉄安の銑鉄高の時代から，高度成長期を迎えて屑鉄高・銑鉄安となり，屑鉄をつかう平炉の経済的優位性が失われてきたこと，鋼材のニーズが造船材主体から，自動車用鋼板（低炭素鋼）主体へと移り変わったことで低炭素鋼の生産に有利な転炉に優位性が生まれたこと，日本鋼管を中心として，技術の開示と指導が業界内で積極的に行われていたことなど，様々な要因が日本の迅速な転炉への置き換えに影響したと言える。

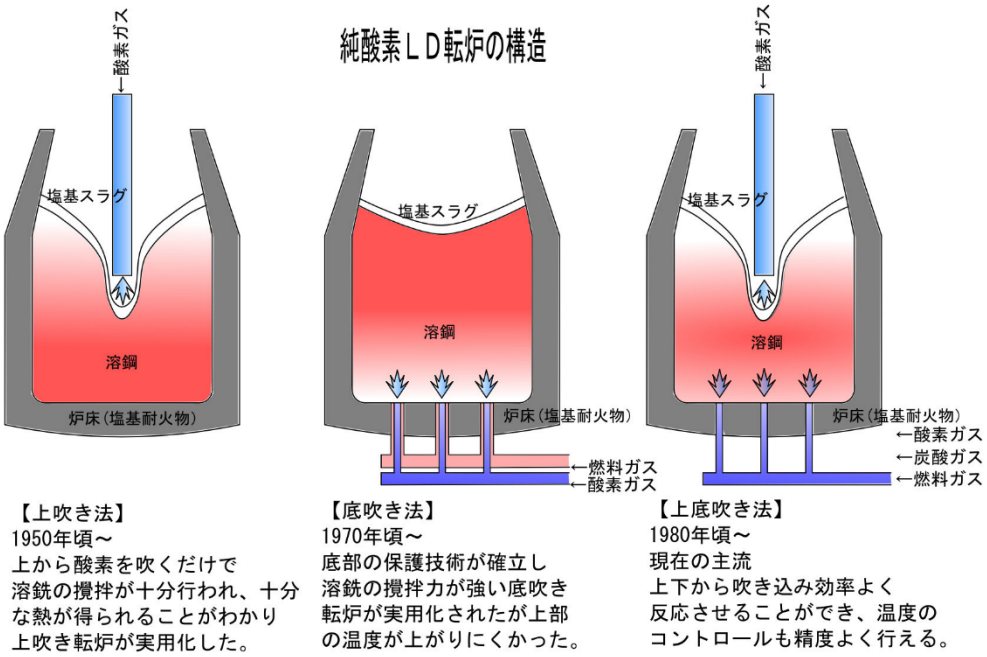


図 2-1-2　純酸素 LD 転炉の構造

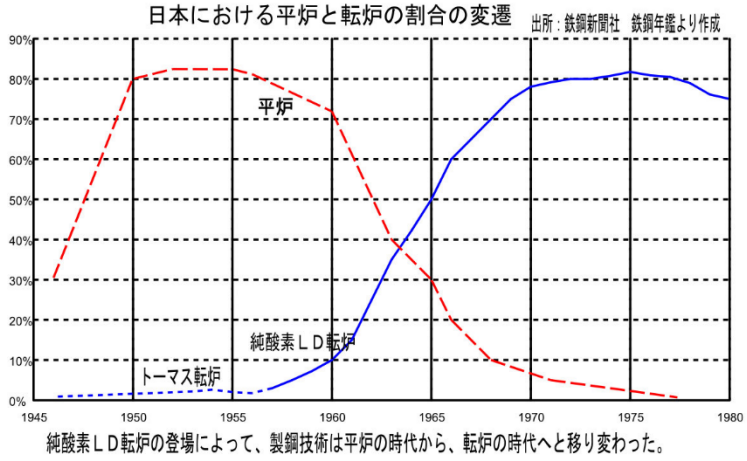


図 2-1-3　日本における平炉と転炉の生産割合の変遷

（4）真空脱ガス技術

1960 年代になると，転炉により一次製錬が完了した溶鋼を更に真空槽の中で二次製錬する技術が誕生する。溶鋼を転炉から取鍋へ移したのちに，真空槽の中に吸い上げて，ガス成分である水素・窒素・一酸化炭素を発泡させて除去する方法である。DH 真空脱ガス法とよばれるこの方法により，鋼材中の有害な水素・窒素・一酸化炭素などのガス成分を更に除去することが可能になった。その後 1970 年代になると RH 真空脱ガス法と呼ばれる方法が，転炉と連続鋳造の発達とともに主要な脱ガス設備

として普及していく。1980 年代に入ると 1970 年代には 16%程度であった真空処理比率も 1985 年には 50%を超えるとともに，当初は脱ガスを目的としていた真空槽での脱炭・脱硫・脱酸が可能となり極低硫・低炭素鋼の安定製造が行われるようになる。

(5) 鋳造技術の変遷

転炉で作られた溶鋼は，いったんスラブ・ブルーム・ビレットと呼ばれる鋼片に加工して，再加熱後に厚板・薄板・形鋼への加工を行う。溶鋼を半製品の鋼片に加工する工程が，造塊法と連続鋳造法である。1960 年代までは造塊法とよばれる方法で，脱酸した溶鋼をいったん鋳型に流し込み冷やして鋼塊としたのち，分塊圧延機と呼ばれる圧延装置で圧延して各種の鋼片を製造していた。鋳型に流し込んだ溶鋼の脱酸具合により，鋼の性質と鋼塊の歩留りが変わるため，その鋼片の最終製品に応じて，脱酸具合を調整していた。いわゆるリムド鋼とキルド鋼である。1970 年代になって連続鋳造法が開発されると，真空脱ガス技術の発展と共に，生産性・歩留り・製品品質に優れた連続鋳造法が生産のほとんどを占めるようになり，日本においては 1980 年には 60%を超え 1985 年には特殊な事情がなければ連続鋳造で生産されるようになった。なお，連続鋳造で作られる鋼片は連続鋳造の特性上，すべてキルド鋼である。造塊法では歩留りのよかったリムド鋼も，連続鋳造の生産性には到底及ばず，リムド鋼相当のキルド鋼として姿を消していった。

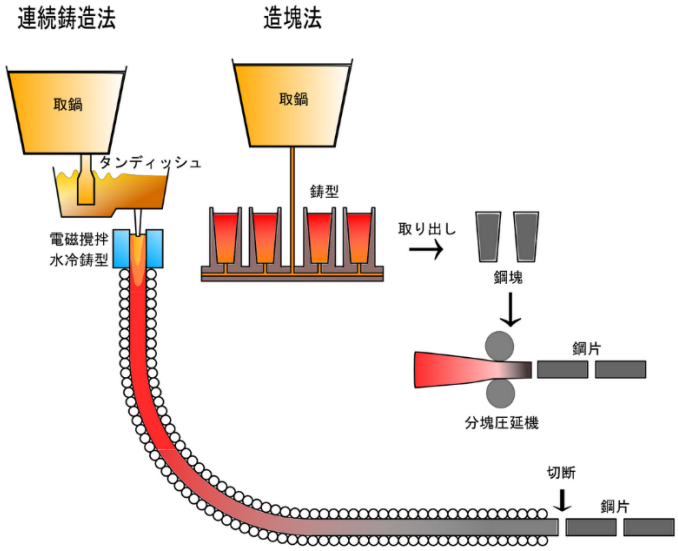


図 2-1-4　連続鋳造法と造塊法

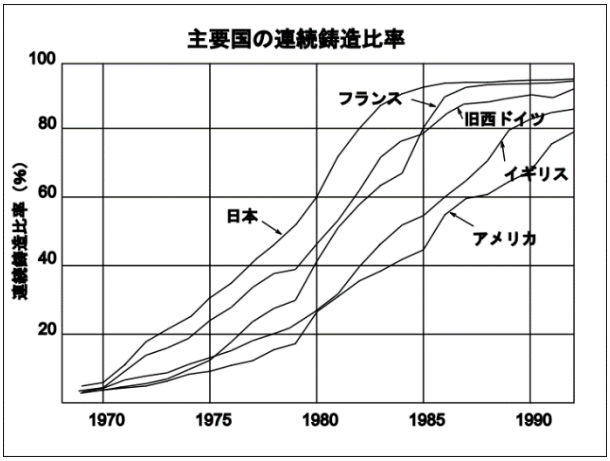


図 2-1-5　主要国の連続鋳造比率グラフ

(6) 圧延技術の進化（TMCP 鋼の開発）

1980 年代になると，従来合金元素を添加して固溶強化によって強度を確保していた高強度の鋼材に新しい製造技術である TMCP(Thermo-Mechanical Control Process)が導入され始める。厚板の圧延工程においての制御圧延技術と制御冷却技術を組み合わせて，圧延中に鋼の組織の状態を作りこむ事により優れた機械的性質を引き出す製造技術である。

これにより，溶接割れ影響のある成分量の Ceq や P_{CM} を抑えた高強度鋼の製造が可能になった。近年は TMCP の技術によってさらに高性能な，橋梁用高性能鋼板（SBHS）などの高性能鋼板が開発されている。

2-1-2. 溶接技術の変遷 [6~8)]

(1) 溶接の起源

金属を高温にして叩いて接合する鍛接や，融点の低い異金属を溶かして接合する，ろう付けや鋳掛などの広義での溶接は古くから行われてきた。接合する金属同士を完全に溶融させて接合するいわゆる融接としての溶接は，局部的に鉄を融点まで温度上昇させる必要があり，その熱源が発見されることにより実用化された。ここでは，抵抗発熱を利用した抵抗溶接，アセチレン等のガス炎を利用したガス溶接等には触れず，アーク熱を利用したアーク溶接について述べる。

(2) アーク溶接の誕生

電気の短絡によって発生するアーク現象は,電池が発明されて以来広く知られていたものであった。1807 年，イギリスのハンフリー・デイビーがアークを安定的に発生させることに成功する。当初はアーク光による照明のために開発された技術であった。

このアーク灯が発生する熱が 6000℃近いことから,それを利用して金属を溶解させて接合しようという試みが各所でなされ，1865 年にウイルデ（WELDE）が小さな鉄片を，アークを用いて溶接することに成功する。これがアーク溶接の初めての特許であった。1885 年には炭素電極と母材間にアークを飛ばし溶加材をして溶接する，炭素アーク溶接法の特許を，ベナードス（N.V.BENERDOS）とオルチェウスキ（S.OLSZEWSKI）の連名で，英国で取得する。この溶接方法は，炭素棒と母材間にアークを出して加熱し,溶加棒を加える現在の TIG 溶接に代表される非消耗電極アーク溶接の最初のものである。1892 年には，ロシアのスラビアノフ(N.G.SLAVYANV)によって金属アーク溶接法が発明される。これは現在の被覆アーク溶接の被覆のない裸棒によるアーク溶接で，消耗電極型溶接の最初のものである。

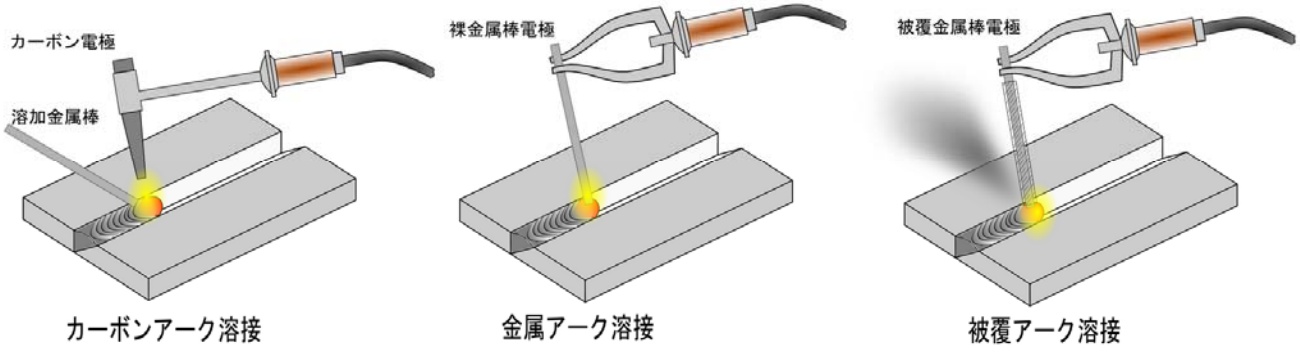


図 2-1-6　アーク溶接の初期の変遷

(3) 被覆アーク溶接の誕生

1907 年にスゥエーデンのチェルベルヒ（OSCAR KJELLBELG）によって被覆アーク溶接棒が考案される。当初は裸棒アーク溶接のアークの発生と継続の難しさを簡便にするための工夫だったが，次第にアークによる溶融金属を大気から保護する重要性が認識し，棒の外周に塗布したフラックスにアークの継続性，大気遮断機能，冶金機能などの様々な機能を持たせた厚被覆アーク溶接棒を 1910 年に発表した。この被覆アーク溶接棒は 1913 年にイギリスで市販されたが，裸棒に比べて割高だったため，あまり普及せず，各工場で石灰液などにどぶ漬けするなどした自家製棒によって溶接を行っていた。1920 年頃になると被覆棒を使って全溶接船が建造されるようになる。1938 年にはベルギーの溶接構造の道路橋 HASSELT 橋が，完成後まもなく活荷重に関係なく夜間の気温低下が原因で崩壊する事故が発生する。また，1943 年ごろにはアメリカの戦時標準船（リバティ船）2580 隻中 114 隻が溶接を原因とした割れ事故を起こす。これらの事故により溶接による脆性破壊の研究が進み，鋼材の規格 SM 材が生まれることとなる。

一方，被覆アーク溶接は戦後も溶接の主要な位置を占め，戦後の能率化の要請にこたえてグラビティ溶接が普及する。水平すみ肉溶接の多い船の溶接に，一人で数台の溶接を操作できるように工夫された溶接棒ホルダをもちいて，重力で自動溶接する溶接法である。

グラビティ溶接は高能率であったが，被覆アーク溶接の欠点の一つである棒の継ぎ目の補修溶接の欠点を克服することができなかった。また，被覆アーク溶接は被覆の乾燥を十分に行い管理しないと吸湿してしまい，その水分が溶接時に拡散性水素として溶接金属中に入り込んでしまい溶接割れを誘発するという問題があった。

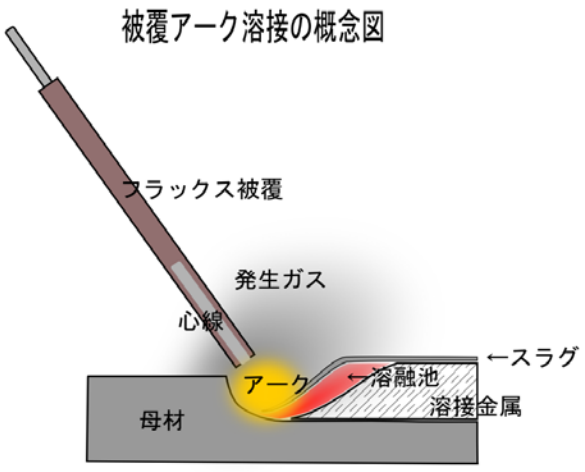


図 2-1-7　被覆アーク溶接の概念図

(4) サブマージアーク溶接法

金属アーク溶接の時代から，溶接を自動化しようという試みはさまざまに試されていた。

当時からコイル状に巻いたワイヤを用いて，自動台車で倣い溶接を行っていたものの，裸ワイヤではどうしてもビード形状・溶接金属の性質・作業性に問題があった。1935 年にフラックスを粒上にして事前に溶接個所に散布して裸ワイヤで溶接する方法がアメリカで発明された。このサブマージアーク溶接は 1000A を超える大電流が扱えるうえ，ビード表面が滑らかで高速・高能率の自動溶接として発展し，1950 年頃には日本に導入され現在に至っている。

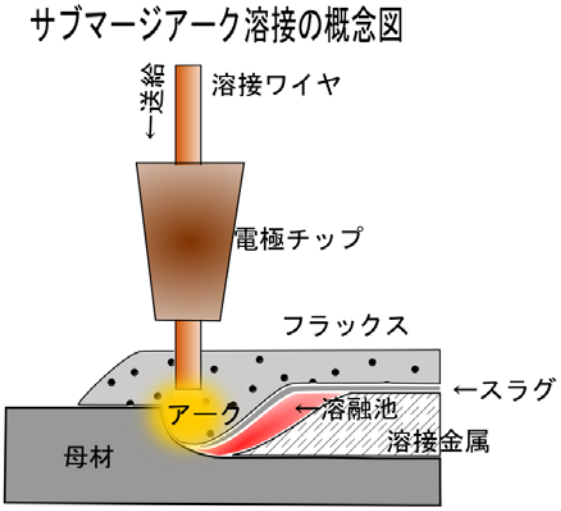


図 2-1-8　サブマージアーク溶接の概念図

(5) ガスシールドアーク溶接法

初期の炭素アーク溶接法の発展系として，炭素に変わりアークによる消耗に強いタングステンを電極にし，アークをアルゴンなどの不活性ガスでシールドした TIG 溶接が 1930 年に発明され，アルミニウムなどの非鉄金属の溶接に用いられていたが，厚板のアルミニウム板を効率よく溶接するために，この溶接と消耗電極方式を組み合わせた MIG 溶接（Metal Inate Gas）が 1948 年に開発される。この溶接方法は，アルゴンやヘリウムといった不活性ガスで溶融金属を大気からシールドし，消耗電極の溶接ワイヤを連続的に送給するため，きわめて能率の良い溶接が行える方法である。この溶接法は鉄系の溶接にも応用されたが，不活性ガスが高価なため，シールドガスに炭酸ガスを使用したのが炭酸ガスアーク溶接である。炭酸ガスはアーク雰囲気内で分解され溶着金属の酸化が起こってしまうため，溶接には不向きであるとされていたものの，1953 年に鉄系のワイヤに Mn や Si といった脱酸材を適当に含ませることによって，安価で高能率な溶接ができることがわかり一気に普及する。

炭酸ガスアーク溶接はその後フラックス入りのワイヤの高性能化に伴い，溶着金属に様々な性質をもたせることができるようになり，被覆アーク溶接にとってかわるようになっていった。これに伴い溶接金属中の拡散性水素量は格段に低下し，拡散性水素に起因する割れはめったに起こらなくなった。

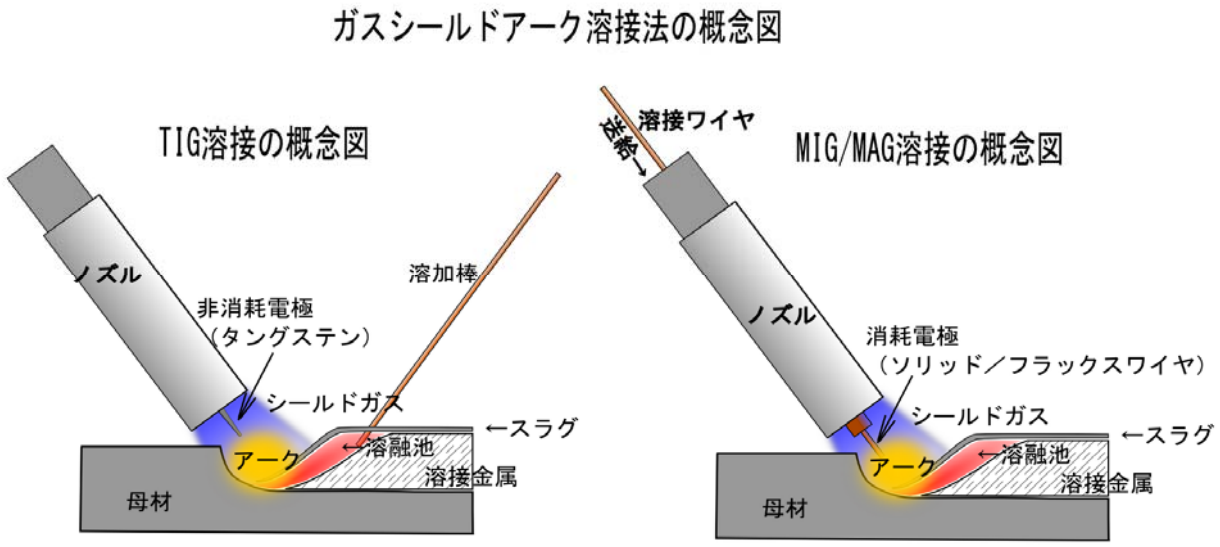


図 2-1-9　ガスシールドアーク溶接の概念図

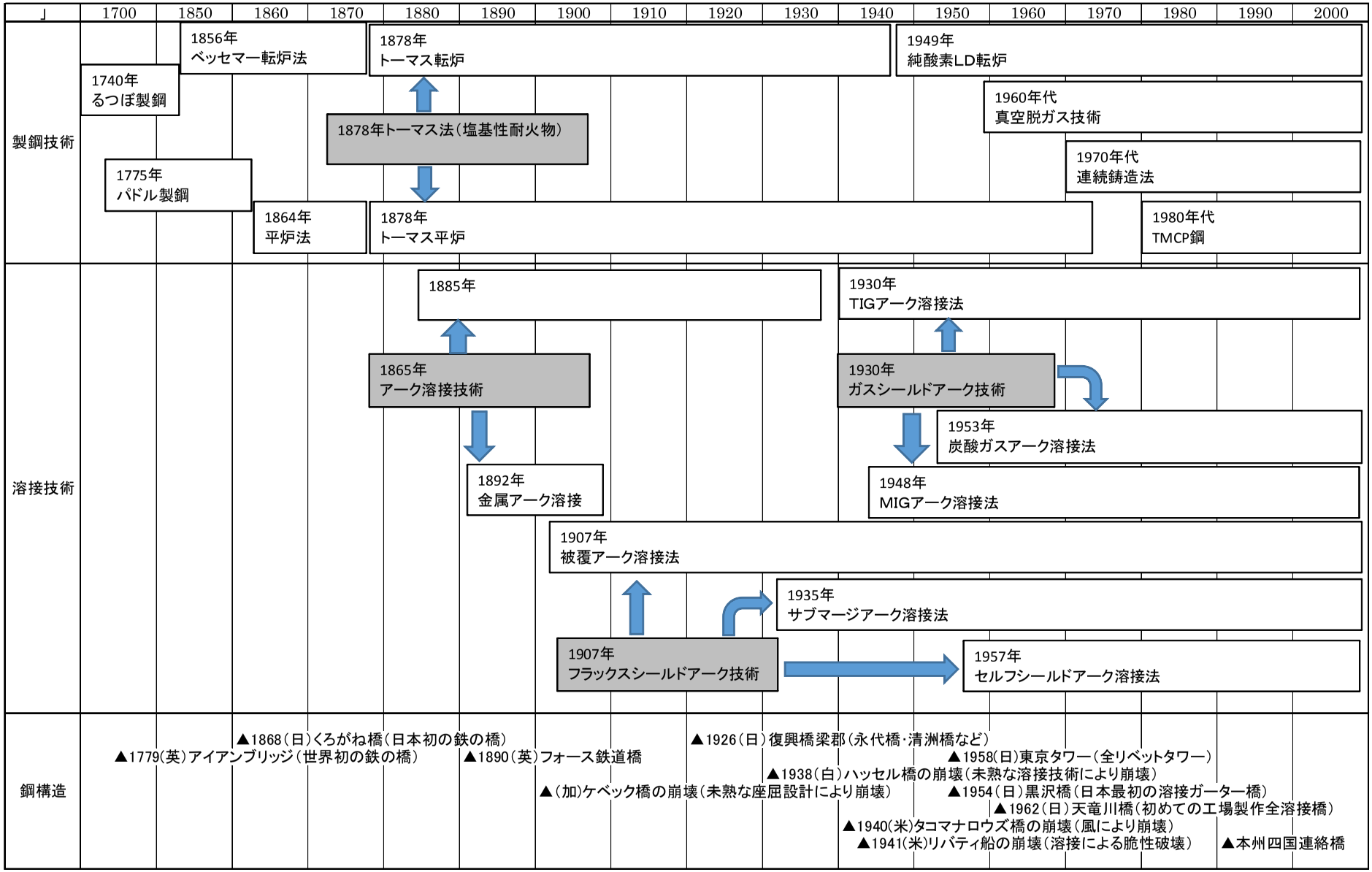


図 2-1-10 製鋼技術・溶接技術・鋼構造の変遷

2-1-3. 技術基準

(1)道路橋

鋼道路橋の溶接に関する基準としては，現在では，「道路橋示方書・同解説 Ⅱ 鋼橋編　平成 24 年 3 月　(社)日本道路協会」が用いられている。

Ⅱ 鋼橋編の「18 章 施工　18.4 溶接」に記載されている内容（溶接作業に関する事項のみを対象とし，きず検査は除く）について，表 2-1-1 に過去の基準の変遷を整理する。

表 2-1-1　対象とする基準類

番号	基　準　名	主 な 内 容
1	鋼道路橋設計竝製作示方書案 S14.9　内務省 土木局	・総則，荷重，活荷重負載の方法，荷重の分布，許容応力，部材の設計，設計細目，雑則／**鋼道路橋製作示方書案**;総則（**鋲による製作基準**），製作監督，製作，工場塗工，記号と発送，架設，現場塗工，雑則
2	鋼道路橋設計示方書案解説 S15.6　日本道路技術協会編纂	・総則，荷重，活荷重負載の方法，荷重分布，許容応力，部材の設計，設計細目，雑則／附録；**鋼道路橋製作示方書案**：総則（**鋲による製作基準**），製作監督，製作，工場塗工，記号と発送，架設，現場塗工，雑則
3	電弧熔接鋼道路橋設計及び製作示方書案解説 S15	・適用範囲：鋲結に代るべき電弧熔接に適用する。・規定項目：総則の章；鋼材，電極棒，熔接機など／設計の章；溶接の種類，許容応力，溶接継手の寸法及び設計法など／その他；施工，検査，溶接工の章。・鋼材：SS41 を標準。・溶接の種類：応力を伝達する溶接は突合せ溶接と隅肉溶接を標準。・溶接部の許容応力度：母材の許容応力度に低減係数を考慮
4	鋼道路橋設計示方書案解説 S25.12	・総則，荷重，活荷重負載の方法，荷重分布，許容応力，部材の設計，設計細目，雑則／附録；**鋼道路橋製作示方書案**：総則（**鋲による製作基準**），製作監督，製作，工場塗工，記号と発送，架設，現場塗工，雑則
5	鋼道路橋設計示方書／鋼道路橋製作示方書 解説　S31.5	・総則，荷重，鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ床版，許容応力度，構造物の設計／総則（**ﾘﾍﾞｯﾄによる製作基準**），材料，工作，仮組立および組立記号，工場塗装，運搬，架設，現場塗装，雑則
6	溶接鋼道路橋示方書　解説 S32.7	・総則，設計，**施工**，修理および補強，検査および試験
7	鋼道路橋の合成桁設計施工指針 S35.1	・総則，材料，設計一般，設計細目，施工(支保工および架設，床版，鋼桁およびずれ止め) **・溶接に関する記述無し**
8	溶接鋼道路橋示方書　解説 S39.6	・総則，設計，**施工**，修理および補強，検査および試験
9	鋼道路橋設計示方書／鋼道路橋製作示方書 S39.6	・総則，荷重，鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ床版，許容応力度，構造物の設計／総則（**ﾘﾍﾞｯﾄによる製作基準**），材料，工作，仮組立および組立記号，工場塗装，運搬，架設，現場塗装
10	鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針 S40.6	・総則，材料，設計一般，設計細目，施工(支保工および架設，床版，鋼ゲタおよびずれ止め，応力調整)
11	溶接鋼道路橋示方書　解説 S39.5（S43.5 増補）	・総則，設計，**施工**，修理および補強，検査および試験
12	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 S48.2	・総則，許容応力度，部材に関する一般事項，連結，対傾構・横構，床版，床組，プレートガーダー，合成げた，トラス，アーチ，ケーブル，鋼管構造，ラーメン構造，**施工**
13	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 S55.2	・総則，許容応力度，部材に関する一般事項，連結，対傾構・横構，床版，床組，プレートガーダー，合成げた，トラス，アーチ，鋼管構造，ラーメン構造，ケーブル，**施工**
14	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 H2.2	・同上
15	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 H6.2	・同上
16	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 H8.12	・同上
17	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋 H14.3	・総則，設計の基本，許容応力度，部材の設計，耐久性の検討，連結，対傾構･横構，床版，床組，鋼げた，コンクリート床版を有するけた構造，トラス，アーチ，鋼管構造，ラーメン構造，ケーブル構造，**施工**
18	道路橋示方書・同解説 [18)] H24.3	・総則，設計の基本，許容応力度，部材の設計，耐久性の検討，疲労設計，連結，対傾構及び横構，床版，床組，鋼桁，コンクリート床版を有する桁構造，トラス，アーチ，鋼管構造，ラーメン構造，ケーブル構造，**施工**

以下に，上記示方書内の溶接の項目に着目し，整理した結果を示す。

1)溶接材料

番号	基　準　名	規程内容の概要
3	電弧熔接鋼道路橋設計及び製作示方書案 解説　　S15	**【電極棒の直径 第 35 条】**:応力を伝達すべき溶接に使用する電極棒の直径は 4mm または 6mm を標準とする。電極棒は十分に乾燥させるものとする。
6	溶接鋼道路橋示方書 解説 S32.7	**【溶接棒 49 条】**: 使用する溶接棒の種類は，工事前に監督者の承認を受けなければならない。応力を伝える溶接に使用する溶接棒の直径は，4mm ないし 6mm を標準とする。乾燥器の使用などの考慮を必要とする。溶接棒を赤熱するまで使用してはならない。
8	溶接鋼道路橋示方書　解説 S39.6	**【溶接棒 59 条】**:溶接棒は溶接する鋼材の性質に適応したものを選定しなければならない。応力を伝える溶接に用いる溶接棒の直径は，4mm ないし 6mm を標準とする。乾燥器の使用などの考慮を必要とする。溶接棒を赤熱するまで用いてはならない。
11	溶接鋼道路橋示方書　解説 S39.5（S43.5 増補）	同上
12	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 S48.2	被覆アーク溶接棒使用区分（軟鋼用被覆アーク溶接棒と低水素系被覆アーク溶接棒の適用鋼種および板厚），溶接棒乾燥の標準（軟鋼用被覆アーク溶接棒と低水素系被覆アーク溶接棒の乾燥温度と乾燥時間），フラックスの乾燥標準（サブマージアーク溶接に用いる溶融フラックスと焼成フラックスの乾燥温度と乾燥時間）が規定されている。
13	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 S55.2	同上
14	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 H2.2	溶接材料使用区分（強度の同じ鋼材を溶接する場合と強度の異なる鋼材を溶接する場合），耐候性鋼材を溶接する場合の溶接材料，被覆アーク溶接で施工する場合で低水素系溶接棒を使用する場合の規定，溶接棒乾燥の標準（軟鋼用被覆アーク溶接棒と低水素系被覆アーク溶接棒の乾燥温度と乾燥時間），フラックスの乾燥標準（サブマージアーク溶接に用いる溶融フラックスとボンドフラックスの乾燥温度と乾燥時間）が規定されている。
15	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 H6.2	同上
16	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 H8.12	同上。但し，被覆アーク溶接で施工する場合で低水素系溶接棒を使用する場合の規定の内，「板厚 25mm 以上 38mm 未満の SS400，SM400 を予熱を行わないで溶接する場合」の条文は削除された。
17	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋 H14.3	同上。但し，溶接材料使用区分の場合分けが２ケースから６ケースに増えている（強度の同じ鋼材を溶接する場合，強度の異なる鋼材を溶接する場合，じん性の同じ鋼材を溶接する場合，じん性の異なる鋼材を溶接する場合，耐候性鋼と普通鋼を溶接する場合，耐候性鋼と耐候性鋼を溶接する場合）。
18	道路橋示方書・同解説 H24.3	同上。但し，「CO_2ガスシールドアーク溶接に用いるCO_2ガスは，JIS K 1106(液化二酸化炭素(液化炭酸ガス)に規定する３種とする。」が解説から条文内に記載箇所が変更されている。

2)温　度

番号	基　準　名	規程内容の概要
3	電弧熔接鋼道路橋設計及び製作示方書案 解説　　S15	**【作業場 第 40 条】**：作業所の気温が零下５°Ｃ以下に達する場合は作業の中止を命ずる。
6	溶接鋼道路橋示方書 解説 S32.7	**【気温 66 条】**：気温が５°Ｃ以下の場合には，溶接を行ってはならない。ただし，気温が－１５°Ｃ以上の場合において，溶接線から 10cm 以内の母材部分を溶接時に適当な温度になるように予熱すれば溶接を行ってもよい。 なお，気温が－１５°Ｃより低い場合には溶接を行ってはならない。
8	溶接鋼道路橋示方書　解説 S39.6	**【気温 76 条】**：気温が０°Ｃ以下の場合には，溶接を行ってはならない。ただし，気温が－１５°Ｃ以上の場合において，溶接線から 10cm 範囲内の母材部分を溶接時に適当な温度になるように予熱すれば溶接を行うことができる。 【解説】：なお，気温が－１５°Ｃより低い場合には溶接を行ってはならない。
１１	溶接鋼道路橋示方書　解説 S39.5（S43.5 増補）	同上
１２	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 S48.2	温度に関して予熱の該当条件として記載されている。 **(9)予熱**：気温（室内の場合は室温）が５°Ｃ以下の場合は，予熱しなければならない。 【解説】：〈予熱必要範囲を５°Ｃ以下としたのは，実績の少ない耐候性鋼や SM50Y，SM53 などに対して安全を考えたためである〉
１３	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 S55.2	同上
１４	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 H2.2	同上
１５	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 H6.2	同上
１６	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 H8.12	P_{CM}を基本に予熱の規定を見直すことになり，温度に関しては，「予熱温度の標準」の注記に記載が残った。 注：１)”予熱なし”については，気温（室内の場合は室温）が５°Ｃ以下の場合は２０°Ｃ以上に予熱する。
１７	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋 H14.3	P_{CM}を基本に予熱の規定を見直すことになり，温度に関しては，「予熱温度の標準」の注記に記載が残った。 注：”予熱なし”については，気温（室内の場合は室温）が５°Ｃ以下の場合は２０°Ｃ程度に加熱する。
１８	道路橋示方書・同解説 H24.3	同上

3)仮付あるいは部材の保持

番号	基　準　名	規程内容の概要
3	電弧熔接鋼道路橋設計及び製作示方書案 解説　　S15	ー（該当規定なし）
6	溶接鋼道路橋示方書 解説 S32.7	**【仮付け 56 条】**:仮付けはできるだけ最小限度にとどめ，本溶接の一部となる仮付けは特に欠陥のない溶接でなければならない。ひびわれの入った仮付け部に本溶接をするときには，底まで十分はつり取った後，溶接しなければならない。
8	溶接鋼道路橋示方書　解説 S39.6	**【仮付け 66 条】**:本溶接の一部となる仮付け溶接は最小限度にとどめ，とくに欠陥のない溶接でなければならない。仮付け溶接の最小長は 40㎜ とする。
１１	溶接鋼道路橋示方書　解説 S39.5（S43.5 増補）	同上
１２	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 S48.2	**(6)仮付け溶接**:・本溶接の一部となる仮付溶接には，本溶接を行なう溶接工と同等の技術をもつ者を従事させ，使用溶接棒および溶接姿勢は，本溶接の場合と同様に管理しなければならない。 ・仮付け溶接の長さは 80㎜ 以上とし，すみ肉(または換算)脚長は４㎜ 以上とする。 ・仮付け溶接は，組立て終了時までにスラグを除去するものとし，少なくとも溶接部表面にわれがないことを確認しなければならない。もし，われが発見された場合には，その原因を究明し，適当な対策を講じなければならない。
１３	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 S55.2	同上
１４	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 H2.2	**(6)仮付け溶接**:1)本溶接の一部となる仮付け溶接には，本溶接を行なう溶接工と同等の技能をもつ者を従事させるものとする。2)溶接姿勢は本溶接の場合と同じとするのを原則とする。3)使用溶接棒は本溶接の場合と同様に管理しなければならない。4)仮付け溶接のすみ肉(または換算)脚長は４㎜ 以上とし，長さは 80㎜ 以上とする。ただし，厚い方の板厚が 12㎜ 以下の場合，または鋼材の炭素当量が 0.36%以下の場合には 50㎜ 以上とすることができる。5)仮付け溶接は，組立終了時までにスラグを除去するものとし，溶接部表面にわれがないことを確認しなければならない。もし，われが発見された場合には，その原因を究明し，適当な対策を講じなければならない。
１５	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 H6.2	同上
１６	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 H8.12	同上
１７	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋 H14.3	**3)組立溶接**:ⅰ)組立溶接は，本溶接の場合と同様に管理して施工しなければならない。ⅱ)組立溶接のすみ肉(又は換算)脚長は４㎜ 以上とし，長さは 80㎜ 以上とする。ただし，厚い方の板厚が 12㎜ 以下の場合，又は鋼材の溶接割れ感受性組成 P_{CM} が 0.22%以下の場合には 50㎜ 以上とすることができる。 ⅲ)組立溶接は，組立終了時までにスラグを除去するものとし，溶接部表面にわれがないことを確認しなければならない。もし，われが発見された場合には，その原因を究明し，適当な対策を講じなければならない。
１８	道路橋示方書・同解説 H24.3	同上

4)予　熱

番号	基　準　名	規程内容の概要
3	電弧熔接鋼道路橋設計及び製作示方書案 解説　　S15	－（該当規定なし）
6	溶接鋼道路橋示方書 解説 S32.7	**【予熱 64 条】**：板厚が 25mm を越える場合には，溶接部から 10cm 以内の母材部分が溶接時に６０°Ｃ以上となるように予熱しなければならない。板厚が 35mm を越える場合には，此の温度を８０°Ｃとする。ただし，低水素系の溶接棒を使用する場合には，予熱温度を４０°Ｃまで下げることができる。
8	溶接鋼道路橋示方書　解説 S39.6	**【予熱 74 条】**：SS41，SM41 に対しては板厚が 32mm 以上の場合，SM50 に対しては板厚が 25mm をこえる場合には溶接線から少なくとも 10mm の範囲内の母材部分が溶接時５０°～１００°Ｃになるように予熱しなければならない。
１１	溶接鋼道路橋示方書　解説 S39.5（S43.5 増補）	同上
１２	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 S48.2	**(9)予熱**:下記事項のいずれかに該当する場合は，溶接線の両側 10cm およびアークの前方 10cm の範囲内の母材を「予熱温度の標準」に示す標準によって予熱しなければならない。ただし，サブマージアーク溶接に関してはこの項を適用しない。また，特別な実験資料によってわれ防止が確実に保証される場合にはもこの項の適用を除外することができる。 1)鋼材のミルシートからつぎの式により計算した炭素当量が 0.44%をこえる場合。 2)溶接施工試験の最高硬さ試験において予熱なしで最高硬さ(Ｈｖ)が 370 をこえた場合 3)気温（室内の場合は室温）が５°Ｃ以下の場合 ＊「予熱温度の標準」:鋼種と板厚の関係から予熱温度を設定したもの。また，低水素系の溶接棒を使用する場合と使用しない場合でも予熱温度を分類している。
１３	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 S55.2	同上
１４	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 H2.2	同上
１５	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 H6.2	同上
１６	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編 H8.12	**(9)予熱**:鋼材の溶接われ感受性組成P_{CM}が「予熱温度の標準を適用する場合のP_{CM}の条件」を満足する場合には，鋼種，板厚および溶接方法に応じて，溶接線の両側10cmおよびアークの前方10cmの範囲の母材を「予熱温度の標準」により予熱することを標準とする。 ＊「予熱温度の標準」:鋼種，板厚および溶接方法に応じて予熱温度を設定したもの。
１７	道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋 H14.3	**4)予熱**: 鋼種，板厚及び溶接方法に応じて，溶接線の両側 100mm 及びアークの前方 100mm 範囲の母材を「予熱温度の標準」により予熱することを標準とする。 ＊「予熱温度の標準」:鋼種，板厚および溶接方法に応じて予熱温度を設定したもの。 ＊＊H8 道示から変更となった点：耐候性鋼の予熱規定が板厚 100mm まで記載されている。
１８	道路橋示方書・同解説 H24.3	同上

(2) 鉄道橋

鋼鉄道橋の設計示方書は図 2-1-11 に示す制定及び改訂を行っている。図の資料は設計標準であるため，当時の鉄道構造物の標準的な設計手法に関する内容となっており，平成４年以降の鉄道構造物等設計標準・同解説では鋼構造物の工場製作あるいは施工に関する規定が含まれている。

平成４年以前の工場製作及び施工に関する事項は表 2-1-2 に示す示方書及び基準が制定されている。

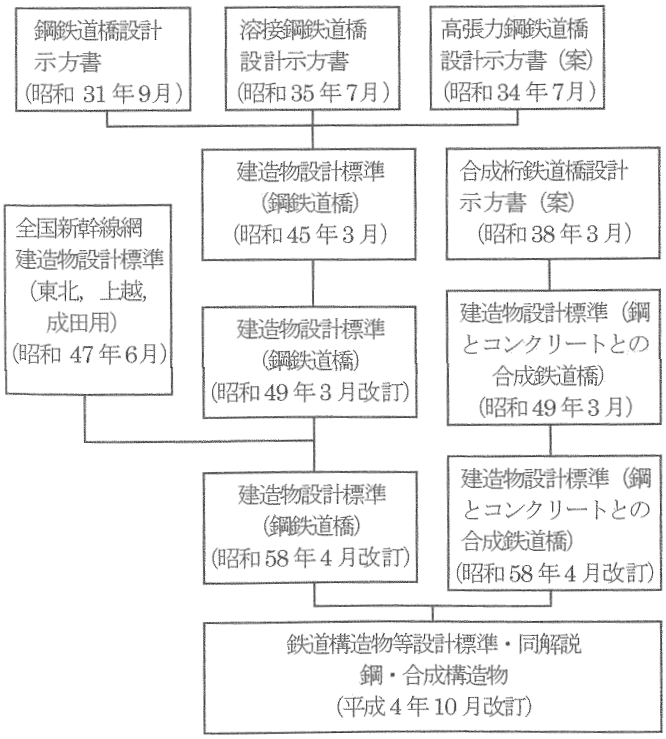


図 2-1-11　設計標準制定及び改訂の経緯

表 2-1-2　設計標準制定及び改訂の経緯

番号	基準名	主な内容
1	鋼鉄道橋設計示方書：明治４５年	荷重・許容応力及部材の設計・設計細目 溶接に関する記載なし。
2	鋼鉄道橋設計示方書：昭和　３年	荷重・許容応力及部材の設計・設計細目・鋼鉄道橋製作示方書 溶接に関する記載なし。
3	電弧溶接鋼構造物設計および製作示方書案：昭和　６年	設計・施工・検査・溶接工手・製図
4	鋼鉄道橋標準設計示方書 ：昭和１５年	荷重・許容応力・部材及桁の設計・設計細目 溶接に関する記載なし。
5	鋼鉄道橋電弧溶接工事示方書および解説：昭和２７年	従事員・溶接器材・溶接作業・検査
6	鋼鉄道橋設計示方書：昭和３１年	荷重・許容応力・部材及び桁の設計・設計細目

		溶接に関する記載なし。
7	アーク溶接鋼鉄道橋設計示方書案：昭和３１年	材料・許容応力・設計計算・設計細目
8	自動溶接鋼鉄道橋設計及び製作示方書案および解説：昭和３２年	材料・設計・施工・承認試験
9	溶接鋼鉄道橋設計示方書案および解説：昭和３５年	材料・許容応力・設計計算・設計細目
１０	溶接鋼鉄道橋製作示方書案：昭和３６年	材料及び溶接器材・従事員・溶接作業・検査
１１	溶接鋼鉄道橋製作示方書案：昭和３８年	材料及び溶接器材・従事員・溶接作業・検査
１２	ＪＲＳ溶接鋼鉄道橋：昭和３９年	材料・製造方法・構造，形状および寸法・工場塗装・試験および検査・資格
１３	ＪＲＳ溶接鋼鉄道橋：昭和４２年	材料・製造方法・構造，形状および寸法・工場塗装・試験および検査・資格
１４	鋼鉄道橋設計標準解説：昭和４５年	荷重・材料・許容応力度・設計一般・溶接継手
１５	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和４６年	材料・切断・溶接継手・リベット継手およびボルト継手・部材の加工・構造，形状および寸法・試験および検査・資格と施工試験
１６	鋼鉄道橋設計標準解説：昭和４９鋼年	荷重・材料・許容応力度・設計一般・溶接継手 溶接に関する記載なし。
１７	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和５０年	材料・切断・溶接継手・ボルト継手・部材の加工・構造，形状および寸法・試験および検査・資格と施工試験
１８	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和５３年	材料・切断および曲げ加工・溶接継手・ボルト継手・部材の加工・構造形状及び寸法・試験及び検査・資格，施工試験及び超音波探傷試験とその承認
１９	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和５６年	材料・切断および曲げ加工・溶接継手・ボルト継手・部材の加工・構造形状及び寸法・試験及び検査・資格，施工試験及び超音波探傷試験とその承認
２０	建造物設計標準解説：昭和５８年	荷重・材料・許容応力度・設計一般・溶接継手 溶接施工に関する記載なし。
２１	鉄道構造物等設計標準・同解説：平成４年	荷重・材料・材料の強度・限界状態の照査・連結に関する一般事項・鋼構造物の製作標準
２２	鉄道構造物等設計標準・同解説：平成２１年	構造物の要求性能と性能照査･作用･材料･応答値の算定・照査・連結部・施工（工場製作，輸送および架設）

以下に上記示方書内の溶接の項目に着目し整理した結果を示す。また，整理した内容は付属資料に各々の示方書の抜粋を示す。

1）溶接材料

番号	基準名	規程内容の概要
3	電弧溶接鋼構造物設計および製作示方書案：昭和　6年	溶接棒の化学成分の規格あり。
5	鋼鉄道橋電弧溶接工事示方書解説：昭和２７年	JISG3524 によるものとし，使用する溶接棒は種別 D4300, D4310, D4311 のに属する証明を有するものとする。
7	アーク溶接鋼鉄道橋設計示方書案：昭和３１年	JISG3524 の規格に適合するものを標準とする
8	自動溶接鋼鉄道橋設計及び製作示方書案および解説：昭和３２年	心線とフラックスには多くの種類があるため,最も適した組合せを選定して使用しなければならない。
9	溶接鋼鉄道橋設計示方書案および解説：昭和３５年	SM41 および SS41 は JISZ3211 により，SM50 に使用する溶接棒は引張強度を指定。いずれも低水素系の溶接棒を用いるのを標準とする。
１０	溶接鋼鉄道橋製作示方書案：昭和３６年	SM41 および SS41 は JISZ3211 により，SM50 においては JISZ3212 のうち，D5014，D5016，D5025 又は D5026 の規格に適合するもの。いずれも低水素系の溶接棒とする。
１１	溶接鋼鉄道橋製作示方書案：昭和３８年	同上
１２	ＪＲＳ溶接鋼鉄道橋：昭和３９年	同上
１３	ＪＲＳ溶接鋼鉄道橋：昭和４２年	同上＋以下追加 サブマージアーク溶接の場合，ワイヤの規格は，JISZ3311 とし，フラックスはこれに歴号するものを用いるものとする。
１４	鋼鉄道橋設計標準解説 ：昭和４５年	同上＋以下追加 SM50Y，SM53，SMA50 を使用する際の溶接棒の記載あり。
１５	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和４６年	同上
１６	鋼鉄道橋設計標準解説 ：昭和４９鋼年	同上
１７	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和５０年	同上
１８	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和５３年	同上＋以下追加 JISZ3213，JISZ3312 の溶接材追加。炭酸ガス JISK1106，アルゴン JISK1105 の規定あり。
１９	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和５６年	同上

２１	鉄道構造物等設計標準・同解説：平成４年	同上＋以下変更 手溶接：JIS3213 削除，JISZ3214 追加。 サブマージアーク溶接：JISZ3351，JISZ3352 による。 ガスシールドアーク溶接：JISZ3312，JISZ3313，JISZ3315，JISZ3320 による。
２２	鉄道構造物等設計標準・同解説：平成２１年	同上 母材と同等以上の機械的性質を有する溶接材料。

2）温度

番号	基準名	規程内容の概要
5	鋼鉄道橋電弧溶接工事示方書解説：昭和２７年	気温が 0℃以下の場合は溶接を行ってはならない。承認を得て予熱を行うことで作業可。溶接部の急冷を避けるように考慮しなければならない。 溶接開始点の付近約 8㎠程度を約 60℃に予熱。以後の溶接はそれ以前の溶接熱で温められているため予熱不要。ただし-15℃以下は溶接を行ってはならない。
１０	溶接鋼鉄道橋製作示方書案：昭和３６年	室温が 0℃以下の場合は溶接を行ってはならない。承認を得て予熱を行うことで作業可。溶接部の急冷を避けるように考慮しなければならない。
１１	溶接鋼鉄道橋製作示方書案：昭和３８年	同上
１２	ＪＲＳ溶接鋼鉄道橋：昭和３９年	室温が 0℃以下の場合は原則として溶接を行ってはならない。
１３	ＪＲＳ溶接鋼鉄道橋：昭和４２年	同上
１５	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和４６年	同上
１７	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和５０年	同上
１８	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和５３年	同上
１９	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和５６年	同上
２１	鉄道構造物等設計標準・同解説：平成４年	同上
２２	鉄道構造物等設計標準・同解説：平成２１年	同上

3) 仮付あるいは部材の保持

番号	基準名	規程内容の概要
５	鋼鉄道橋電弧溶接工事示方書解説：昭和２７年	材片に過度の拘束を与えないように仮締め，又は仮付溶接をしなければならない。仮付溶接は最小限度にとどめ，本溶接の一部となる場合は欠陥のない溶接でなければならない。
１０	溶接鋼鉄道橋製作示方書案：昭和３６年	同上＋以下追加 仮付溶接の最小長：40㎜ 仮付溶接に際し，条件により 50℃～100℃の予熱が必要。
１１	溶接鋼鉄道橋製作示方書案：昭和３８年	同上
１２	ＪＲＳ溶接鋼鉄道橋：昭和３９年	同上（予熱条件一部変更）
１３	ＪＲＳ溶接鋼鉄道橋：昭和４２年	同上（予熱条件一部変更）
１５	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和４６年	同上＋以下追加 組立用溶接サイズ：4㎜ 以上 組立用溶接間隔：400㎜ 以下
１７	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和５０年	同上（予熱条件一部変更，材料追加）＋以下追加 ストロングバックを用いてはならない。
１８	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和５３年	同上
１９	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和５６年	同上
２１	鉄道構造物等設計標準・同解説：平成４年	同上＋以下変更 組立溶接の最小長：80㎜
２２	鉄道構造物等設計標準・同解説：平成２１年	同上（予熱条件一部変更）

4) 予熱

番号	基準名	規程内容の概要
１０	溶接鋼鉄道橋製作示方書案：昭和３６年	条件により溶接始端から 100㎜ の範囲を 50℃～100℃の予熱が必要。自動溶接には適用しない。
１１	溶接鋼鉄道橋製作示方書案：昭和３８年	同上
１２	ＪＲＳ溶接鋼鉄道橋：昭和３９年	同上
１３	ＪＲＳ溶接鋼鉄道橋：昭和４２年	同上（予熱条件一部変更）＋以下変更 予熱範囲：溶接線肩に沿って両側 50㎜ の範囲を予熱。
１５	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和４６年	同上＋以下追加 炭素当量の記述あり。
１７	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和５０年	同上（予熱条件材料追加）
１８	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和５３年	同上
１９	ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和５６年	同上＋以下変更 サブマージアーク溶接にも予熱適用。
２１	鉄道構造物等設計標準・同解説：平成４年	同上
２２	鉄道構造物等設計標準・同解説：平成２１年	同上（予熱条件一部変更）＋以下追加および変更 溶接割れ感受性組成の記述あり。 予熱範囲：溶接線から 100㎜ の範囲を予熱。

5) その他

番号	基準名	規程内容の概要
２２	鉄道構造物等設計標準・同解説：平成２１年	入熱量に関する記載あり。

2-2. 低温割れの発生に及ぼす因子

2-2-1. 炭素当量の影響[9)]

一般に，鋼の熱影響部は急冷されて変質硬化する傾向にあるが，熱影響部の硬化が著しいと，延性が低下するため低温割れが発生しやすい。熱影響部の硬化を支配するのは，冷却速度と母材の化学成分である。冷却速度については後述するが，母材の化学成分のうち，熱影響部の硬化に最も大きな影響を与えるのはC（炭素）含有量である。その他，Mn，Cr，Moなどの合金元素も影響があるが，これらをC量に換算したものは炭素当量と呼ばれている。

炭素当量は実験的に求められたものであり，研究者によりその算定式が異なる。代表的なものに以下のようなものがある。

(1) Ceq

1940年にDearden, O'Neillが熱影響部の最高硬さを推定する式として提案したCeqは,木原,鈴木,田村などによる修正が反映され，JISや道路橋示方書では式(1)が用いられている。伊藤らは，Ceqと割れ率との関係を調査した結果，非常に大きなばらつきを有することを示し，溶接割れ感受性の指標としては十分ではないと結論付けている[10)]。

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} + \left(\frac{Cu}{13}\right) \quad (\%)$$

ただし，（）の項は，$Cu \geqq 0.5\%$の場合に加える． (1)

※ C, Mn, Si, Ni, Cr, Mo, V, Cuは，合金元素の含有量（%）を表す。

(2) P_{CM}

伊藤らは溶接割れに影響を与える因子として，鋼の化学成分の他に水素，拘束の効果を炭素の効果に換算した式(2)に示す溶接割れ感受性指数(P_C)をy形溶接割れ試験結果から提案した[10,11)]。日本溶接協会では，WES3002-1973（溶接構造用高張力鋼板の溶接割れ感受性組成に関する規格）でこれを採用し，溶接割れ感受性指数(P_C)の中で式(3)に示す化学成分の項について，溶接割れ感受性組成（P_{CM}）として規定した[12)]。道路橋示方書では平成８年の改定で，それまで予熱適用条件の判定に用いられてきたCeqが，P_{CM}に変更された[13)]。

$$P_C = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B + \frac{t}{600} + \frac{H}{60} \quad (\%) \tag{2}$$

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (\%) \tag{3}$$

※ C, Si, Mn, Cu, Ni, Cr, Mo, V, Bは，合金元素の含有量(%)を，Hは溶着金属の拡散性水素量(cc/100g)，tは板厚(mm)を表す。

(3) P_N

伊藤らの研究はy形溶接割れ試験で実施されていたことに対し，田中らはすみ肉溶接には応力の多軸性，冷却速度の複雑さ，ルート部と止端部の応力集中等の要因のため，不明な点があるとしていた。また，すみ肉溶接部には，ルート部に発生して熱影響部をボンド部にそって進展するヒールクラック

が生じることに着目し，すみ肉溶接試験を実施することにより，式(4)に示すヒールクラックの割れ感受性指数（P_N）を提案した[14]。

$$P_N = C + \frac{Si}{20} + \frac{Mn}{10} + \frac{4P}{3} + \frac{Cu}{20} + \frac{Cr}{30} + \frac{Mo}{20} \quad (\%) \tag{4}$$

※ C, Si, Mn, P, Cu, Cr, Moは，合金元素の含有量（%）を表す。

(4) CEN[15,16]

百合岡，糟谷は，Ceq と P_{CM}の合金元素の係数について，C と合金元素成分の係数の違いから，C が多めに添加されている鋼材では Ceq が，低 C の鋼材では P_{CM}を用いるのが適切と考え，Mn 等の合金元素成分の係数を C の関数とした式(5)に示す CEN を提案した。

$$CEN = C + A(C)\left(\frac{Si}{30} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{15} + \frac{Ni}{20} + \frac{Cr + Mo + Nb + V}{5}\right) \quad (\%)$$
$$A(C) = 0.75 + 0.25\tanh\{20(C - 0.12)\} \tag{5}$$

※ C, Si, Mn, Cu, Ni, Cr, Mo, Nb, Vは，合金元素の含有量（%）を表す。

(5) ISO の動向[17]

CEN（The European Committee for Standardization：欧州規格機構）/TC121(溶接)/SC4(アーク溶接)/WG1 では鋼材溶接時の低温割れ防止の予熱温度について，1997 年に英国規格(BS5135：IIW の炭素当量 CE_{IIW})とドイツの方法(CE_T)が適切であるとし，この２方法を欧州規格 prEN1011-2 とし，ISO（International Organization for Standardization：国際標準化機構）/TC44(溶接)/SC10(溶接の品質要求)の N357 報告として発表した。しかし，欧州規格機構の当該 WG 委員の他の方法も比較検討すべきとの意見を受け，米国溶接協会(AWS)の方法と日本の CEN[15,16]を追加した検討が行われた。2001 年に４種類の鋼種について４方法によって算出された予熱温度を比較した結果が N351 報告(prCR ISO TR 17844)として発表されたが，供試鋼材の軟鋼の C 量が低く(0.08%)高張力鋼(YS690)の C 量が高い(0.17%)という日本の鋼材の常識と異なる材料での結果で，ドイツの方法(CE_T)が適切な方法のように見える。ISO は各国関係者に N351 報告のコメントを求め，日本は日本の溶接構造用鋼の成分の軟鋼，HT490，HT580，HT780，低 C のラインパイプ鋼，0.23C の構造用鋼，予熱低減型 Cu 析出鋼を加えた７鋼種に４方法で比較した N500 報告（ISO TR 17844）を発表した。N500 報告ではドイツの方法(CE_T)の予熱温度は高すぎるという内容となっているが，WG 内で予熱温度の基準の統一されるに至っていない。

2-2-2. 拘束度の影響

溶接部は溶接入熱により融解して膨張し，その後冷却され，固化する過程で収縮する。この冷却過程において，当該個所が周囲の部材により拘束されていると溶接部に残留応力が導入され，溶接割れの原因の一つとなる。

拘束度 K は，拘束の度合いを示す指標であり，「溶接継手のルート間隔を単位長さ短くさせるに要する単位溶接長あたりの力の大きさ（N/mm・mm)」と定義され，以下の式であらわされる。

$K = K_o \times t$

K_o：拘束係数「溶接継手のルート間隔を単位長さ短くさせるに要する溶接線直角方向の応力」

(N/mm^2・mm)

t：板厚(mm)

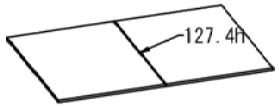
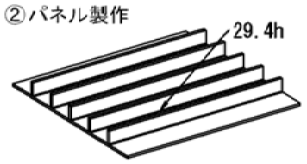
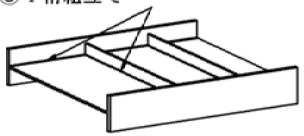
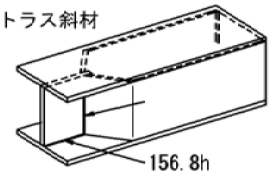
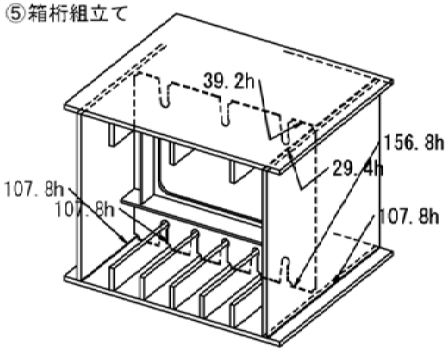
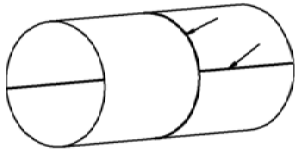
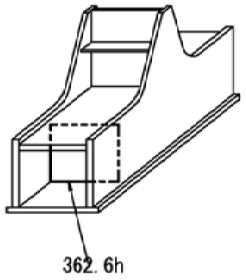
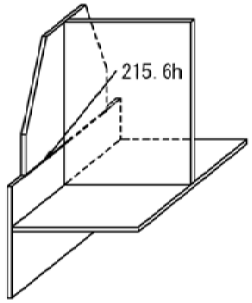
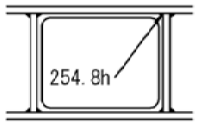
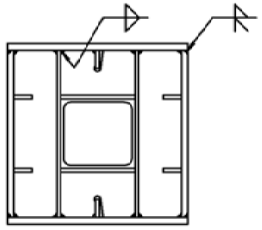
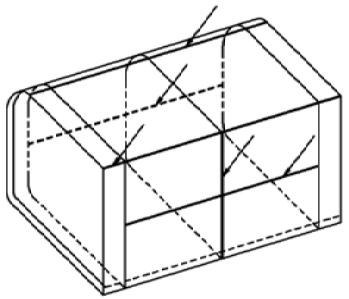
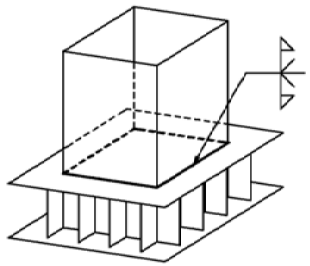
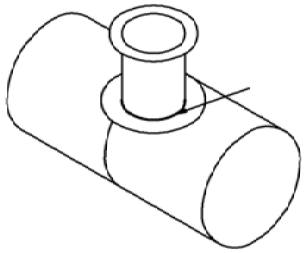
拘束度の概念は，突合せ溶接継手の一次元拘束を基本として確立されたものであるが， T 型の溶接継手に対しても水平板とそれに溶接される立板のルート間隔短縮について適用される。

鋼橋に用いられる溶接継手の拘束度について，道路橋示方書[18]では予熱温度を算定する際の橋梁溶接継手の平均的な拘束度 K として，板厚の 200 倍（拘束係数 K_o＝200N/mm^2・mm）を想定している。拘束度については種々の計測あるいは解析事例がある。計測手法や解析手法には標準的なものはなく，個々に専用の治具が製作され，計測・解析についても平均値をとるための対象延長等の仮定が異なるため，単純に比較することは出来ない。実橋製作時に種々の部材を対象として計測された拘束度の例[19]を**表 2.2.2** 示す。道路橋示方書にある拘束係数 K_o＝200N/mm^2・mm は小拘束継手に対応していることがわかる。

この他の橋梁に着目した計測事例として，鋼床版のデッキプレートの溶接を対象とした計測では奥村ら[20]が模型を用いて行った事例がある。また，小西ら[21]の実橋における現場溶接を対象とした計測では，拘束係数が 4.6 あるいは 12N/mm^2・mm であったことが報告されている。

次に，模型箱桁を用いた拘束係数の計測事例として，明石ら[22]の計測では，フランジとウェブの溶接が最大 85 N/mm^2・mm 程度，縦リブとダイアフラムの溶接部で 1000 N/mm^2・mm を超える場合があること，ダイアフラムとウェブの溶接のフランジ近傍部では反対側が溶接されていない場合で 61 N/mm^2・mm，であったものが，逆側を溶接することにより 337 N/mm^2・mm まで増加すること等が示されている。そして，井藤ら[23]の計測事例では，フランジとウェブの溶接で 39～833N/mm^2・mm，フランジとダイアフラムの溶接では 69～882 N/mm^2・mm，フランジと縦リブの溶接で 108～598 N/mm^2・mm という結果が示されている。

表 2-2-1　各種継手における拘束度の分類例

	継手形式			
小拘束継手 K=0 ～196h	①素材板継ぎ  ②パネル製作 	③Ｉ桁組立て  ④トラス斜材 	⑤箱桁組立て 	⑥鋼管・バット，シーム溶接  ⑦その他 ダイヤフラム小組立 トラフ小組立 トラス組材　　etc.
中拘束継手 K=196 ～392h	①ﾄﾗｽ弦材端ﾀﾞｲﾔﾌﾗﾑ 	②Box桁仕口 	③ダイヤフラム補剛材  ④Box桁　内面溶接後、 外面　Webx上Flg 323.4h	⑤橋脚角継手ﾀﾞｲﾔﾌﾗﾑの隅肉 	⑥水門扉大組立（ブロック同志の場合） 
大拘束継手 K=392 ～686h	①橋脚基部十字継手 	②その他 スリットの溶接 はめ込み継手 貫通材の溶接 海構部材 斜めY型スリット開先（試験片）：499.8h	拘束度 K = Ko・h Ko ： 拘束係数　N/mm ^{3} mm h ： 板　　厚　mm ※値は1kgf=9.8Nの換算値	⑦人孔管 	⑧その他 仕口補強材 分岐管の突合せ 各種剪断拘束継手 etc.

2-2-3. 拡散性水素量の影響[24)]

溶接時に侵入した水素は原子状に解離して溶融金属中に溶解し，周囲の鋼材より高い濃度となっている。凝固した直後にはこの水素は過飽和の状態（平衡状態より高い濃度の状態）となっているが，時間の経過とともに水素は周辺に移動（拡散）し，一部は表面から大気中に放出し，一部は熱影響部（硬化部）に集積する。金属が水素を固溶すると脆くなり，引張応力の存在で割れが生じる。水素の放出は溶接後の冷却過程で 100℃以上の高温度領域に滞留している時間を長くすると効果的とされており，実施工では予熱という作業により実施されている。

拡散性水素量の測定方法としては JIS Z3118（鋼溶接部の水素量測定方法）に規定されている。ここでは,45℃の恒温器内に 72 時間保持して捕集された水素を 0℃で 1 気圧にしたときの体積について，溶接直後の溶接金属 100g 中の水素量で表現する。上述のように，溶接直後の冷却過程で水素量が放出されるため，この試験では溶接終了５秒後に試験片を急冷して水素量を捕集する。具体的な手順を以下に記す。

(1) 溶接材料の準備

板厚 12㎜×幅 25㎜×長さ 40 の試験板１枚と,長さ 45㎜のエンドタブを２枚用意する。材質は SM400 とする。これらはあらかじめ 400～650℃の温度の大気雰囲気中に１時間保持し，水素除去実施する。また，試験板とエンドタブの全面について表面研削及び洗浄を行い，試験板の質量を測定する。

(2) 試料の作製

鋼製固定治具を用いて試験板及びエンドタブを固定し，溶接を行う。試料は一つの条件あたり３個製作する（写真 2-2-1(1)～(2) 参照)。

(3) 拡散性水素の捕集準備

溶接終了後，５秒後に氷水につけて急冷し，60 秒以内に液化窒素中に保存する。十分に冷却した段階で試験板とエンドタブを切り離し，試験板のみを冷却する（写真 2-2-1(3)～(6) 参照)。

液化窒素から取り出した試験板をメタノールで洗浄し，30 秒以内に捕集容器内に挿入し，アルゴンガスを流して容器内の空気を置換する（写真 2-2-1(7)～(10) 参照)。

(4) 拡散性水素の捕集

水素量測定試料を挿入した捕集容器を 45℃の温度に保った恒温器内に 72 時間保持し，拡散性水素を捕集する（写真 2-2-1(11) 参照)。

(5)水素量の測定

捕集容器をガスクロマトグラフに接続し，試料から放出された水素量を測定する。水素量測定後，試料の質量を測定する（写真 2-2-1(12) 参照)。



(1) 試料及び鋼製固定具



(2) 溶接施工状況



(3) 試料取り出し状況

写真 2-2-1　水素量測定試験



(4) 氷水での１次冷却



(5) 液化窒素での冷却



(6) エンドタブ除去状況



(7) メタノール洗浄状況



(8) メタノールの拭き取り



(9) 捕集容器への試料挿入



(10) アルゴンガス置換



(11) 45℃72 時間後に水素量測定



(12) 試料の質量測定

写真 2-2-1　水素量測定試験（つづき）

2-2-4. 入熱量の影響 [25)]

溶接サイズが小さい場合，溶接部は急冷されて割れなどの欠陥を生じやすくなることから，道路橋示方書では溶接サイズの最小値が規定されている。南らは，溶接サイズ他をパラメータとしたすみ肉溶接割れ試験での割れの発生について入熱量で整理した結果，例えば P_{CM} が 0.24 の鋼材を被覆アーク溶接で施工する場合に，入熱量が 14,000J/cm では割れが発生し，21,000J/cm では割れが発生しないことを明らかにした。当該研究の結論では，P_{CM} 値，溶接方法（被覆アーク溶接とガスシールドアーク溶接）に応じた適切な溶接サイズを提案している。

参考文献

1) 鉄と鉄鋼がわかる本　新日本製鐵（株）編著　日本実業出版社
2) 鉄のメルヘン　　中澤譲人　アルク
3) 橋と鋼　大田孝二・深沢誠　建設図書
4) 100 万人の金属学　技術編　作井誠太編　アグネ
5) 戦後日本における技術導入と普及：鉄鋼業における BOF の受容中村豪　東京経大学会誌　第 253 号
6) 溶接・接合技術特論　溶接学会編　産報出版
7) 溶接の歴史　産報 WEB　http://www.sanpo-pub.co.jp/library/history/
8) 特許庁　特許マップ　溶接技術 http://www.jpo.go.jp/shiryou/s_sonota/map/kikai03/hajime.htm
9) 佐藤邦彦：溶接構造要覧，黒木出版社，1988.3
10) 伊東慶典，別所清：高張力鋼の溶接割れ感受性指示数について，溶接学会誌，第 37 巻，第 9 号，pp.983-991，1968.9
11) 伊東慶典，別所清：高張力鋼の溶接割れ感受性指数について（第２報），溶接学会誌，第 38 巻，第 10 号，pp.1134-1144，1969.10
12) WES3001:2012，溶接高張力鋼板：日本溶接協会，2012.1
13) 道路橋示方書・同解説 Ⅱ鋼橋編，日本道路協会，丸善，1996.12.
14) 田中甚吉，北田豊文：すみ肉溶接割れに関する研究，溶接学会誌，第 41 巻，第 8 号，pp.915-924，1972.8
15) 百合岡信孝：TMCP 鋼の溶接，溶接学会誌，第 61 巻，第 4 号，pp288-304，1992.6
16) 糟谷正：溶接部の低温割れ感受性と防止，溶接学会誌，第 70 巻，第６号，pp.32-40，2001.9
17) 百合岡信孝：予熱温度選定法規格化の ISO の動向，溶接学会誌，第 72 巻，第 4 号，pp266-271，2003
18) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，2014.3
19) 三菱重工業横浜造船所：橋梁部材の溶接継手の拘束度と溶接施工について S50.2.，鋼橋技術研究会施工部会資料，1990.
20) 奥村敏恵，堀川浩甫，井上啓一：溶接継手の構造拘束について，土木学会第 24 回年次学術講演会講演集，Ⅰ-114，pp.315-316，1969.
21) 小西一郎，佐伯章美，近藤淳，牛尾正之：鋼床版の現場つき合せ溶接による拘束応力について，土木学会第 24 回年次学術講演会講演集，Ⅰ-115，pp.317-320，1969.
22) 明石重雄，夏目光尋：溶接割れと継手の拘束度について，横河橋梁技報，No.2，pp.39-46，1972.
23) 井藤昭夫，渡辺昇：すみ肉溶接継手の拘束度に関する実験的研究，土木学会論文集，第 362 号 Ⅰ-4，pp.233-238，1985.10.
24) 糟谷正:国内における予熱温度決定方法と今後の課題,溶接学会誌,第 75 巻,第 4 号,pp.238-243，2006
25) 南邦明，糟谷正，三木千壽：道路橋示方書におけるすみ肉溶接サイズ基準の考察，溶接学会論文集，第 23 巻，第 3 号，pp422-430，2005.8

§3　最近の溶接割れ事例調査結果

3-1. 鋼橋製作施工会社へのアンケート調査

§２で述べたように，我が国の鋼橋で溶接が導入されたのは昭和初期であるが，本格的に普及し始めたのは第２次世界大戦後になってからである。その後，溶接割れの発生に関する問題が顕在化し，その発生機構に関する研究が進められた結果，現在の施工管理基準の基礎となる成果が整備されてきたところである。しかし，同時期に鋼材の製鋼方法や溶接方法の技術的な革新も起こっており，これも低温割れの発生防止に大きな影響を及ぼしているものと考えられる。その結果，現在では溶接割れが大きな問題になることが少なくなった。

近年，溶接割れに関する事例及び研究報告は少ないが，最近の材料における溶接割れの実態を調査すべく，当ＷＧでは橋梁製作施工会社へアンケート調査を実施した。アンケートでは，開示できる範囲で次ページ以降の当ＷＧ指定書式に記入していただいた。収集事例は 11 例である。

事例 1

事　例　名	仮付け溶接時のヒールクラック進展
事例の分類 1	[低温割れ]　高温割れ　ラメラテア　その他（　　）
事例の分類 2	[工場製作部材]　溶接施工試験体　現場溶接部材（新設）　現場溶接部材（既設） その他（　　）
調 査 方 法	[製作・施工担当]　品質記録　ヒアリング　その他（　　）
発 生 時 期	平成 17 年 12 月

1．溶接割れ発生箇所の継手構造

少主桁橋の横桁仕口フランジ(溶接構造)を主桁のウェブに突合せた十字継手。

材質（板厚）の構成は仕口フランジ SM490YB（22mm），主桁ウェブ SM490YA 又は YB（16～20mm）。

設計図面による溶接指示は完全溶込み溶接（K 開先）。

2．溶接割れ発生箇所の施工方法

製作部材を横転させた状態で，水平姿勢で仮付け溶接及び本溶接の施工を実施。

溶接方法は炭酸ガスアーク溶接で，溶接材料には JIS Z 3313 YFW-C50DR のフラックス入りワイヤ，（仮付け溶接），本溶接は JIS Z 3312 YGW11 のソリッドワイヤを使用。

水平姿勢で片面の仕口フランジの溶接完了後に，反転させ反対側の仕口フランジの溶接を実施。

3．溶接割れの発生状況

本溶接完了後に実施した超音波探傷検査により，主桁ウェブより 2～3mm 内部の箇所にきずエコーを検出。

キズエコーの検出した箇所をハツり，内部の状況を確認した結果，鋼材内部にヒールクラックと思われるキズがあった。

4．溶接割れの補修・処置

キズを完全に除去し，補修溶接を実施した。

補修溶接時は，予熱温度を通常より 20℃～50℃高めて実施した。

事例 2

事　例　名	溶接ビードの近接に起因する溶接部の割れ
事例の分類１	[低温割れ]　高温割れ　ラメラテア　その他（　　）
事例の分類２	[工場製作部材]　溶接施工試験体　現場溶接部材（新設）　現場溶接部材（既設） その他（　　）
調 査 方 法	[製作・施工担当]　品質記録　ヒアリング　その他（　　）
発 生 時 期	平成 21 年 6 月ごろ

１．溶接割れ発生箇所の継手構造

非合成箱桁橋，横桁ウェブと縦桁取り合いコネクションプレート付近，横桁垂直補剛材ビード止端部にて発生

材質（板厚）の構成は，横桁ウェブ SM400A（14mm），横桁垂直補剛材 SM400A（9mm）
縦桁取り合いコネクションプレート SM400A（12mm）
設計図面による溶接指示
横桁ウェブと横桁垂直補剛材：6mm すみ肉
横桁ウェブとコネクションプレート：完全溶込み溶接

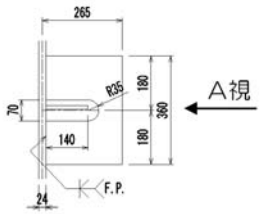
２．溶接割れ発生箇所の施工方法

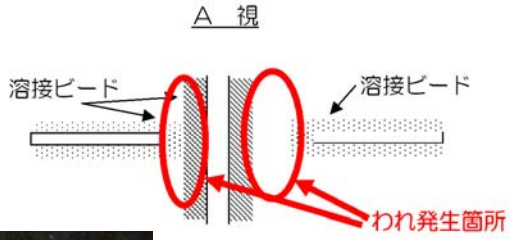
溶接方法：炭酸ガスシールドアーク溶接
溶接材料：JIS Z3313 YFW-C50DR のフラックス入りワイヤ
溶接施工方法
①横桁ウェブと表面垂直補剛材をすみ肉溶接
②横桁ウェブと表面コネクションプレートを完全溶込み溶接
③横桁ウェブと裏面垂直補剛材をすみ肉溶接
④横桁ウェブと裏面コネクションプレートを完全溶込み溶接

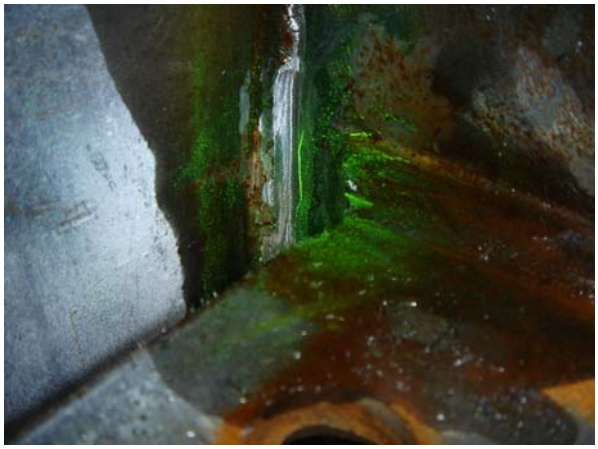
３．溶接割れの発生状況

本溶接完了後の外観検査実施時に表面割れを発見。

４．溶接割れの補修・処置







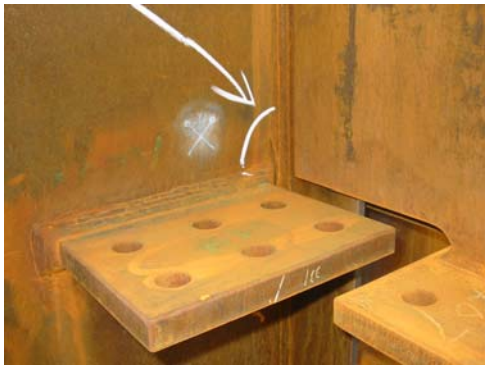
（補修方法）
割れを MT にて確認。
ガウジング及びグラインダーにて割れを完全に除去。
MT にて割れを完全に除去後補修溶接。

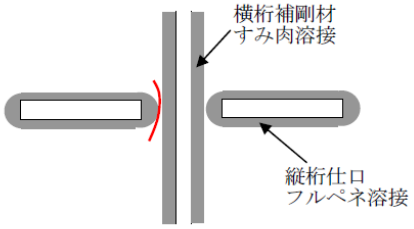
溶接割れの写真

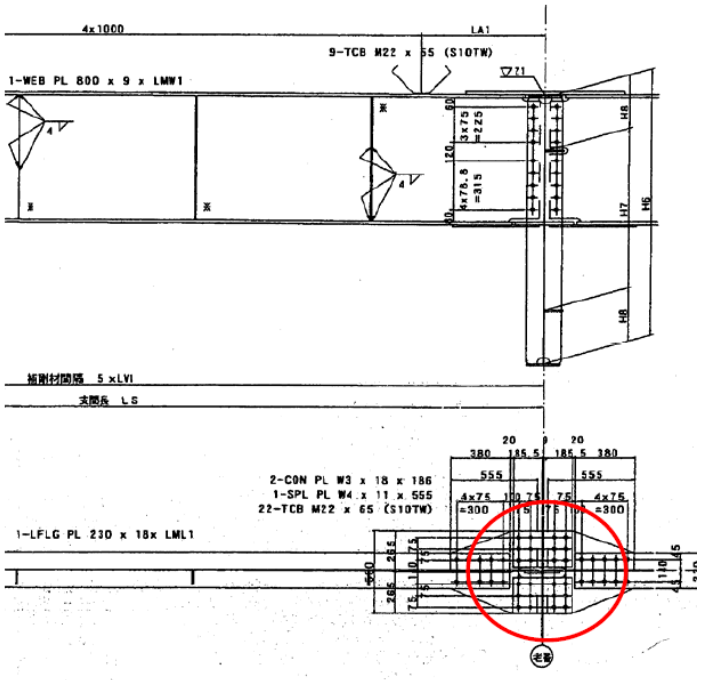
事例 3

事　例　名	横桁ウェブにある縦桁仕口部（縦桁下フランジ）からの割れ
事例の分類１	[低温割れ]　高温割れ　ラメラテア　その他（　　）
事例の分類２	[工場製作部材]　溶接施工試験体　現場溶接部材（新設）　現場溶接部材（既設）　その他（　　）
調 査 方 法	[製作・施工担当]　品質記録　ヒアリング　その他（　　）
発 生 時 期	平成 18 年　　月ごろ

１．溶接割れ発生箇所の継手構造



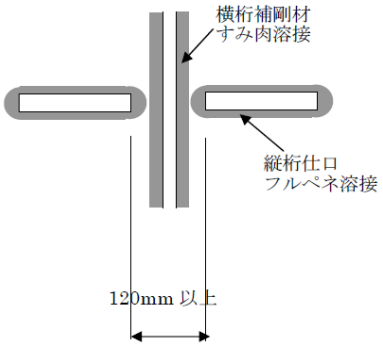




２．溶接割れ発生箇所の施工方法
縦桁仕口（板厚 18 ㎜）の完全溶込み溶接は，回し溶接部の脚長が過大となる。また，横桁補剛材（縦スチフナー）のすみ肉溶接ビードと近接しており，熱影響部が重畳することが考えられる。横桁ウェブ板厚 9 ㎜

３．溶接割れの発生状況
き裂は目視で確認した。

４．溶接割れの補修・処置
割れ発生箇所をガウジングではつり取り，補修溶接を行った。上記，横桁補剛材（縦スチフナー）のすみ肉溶接ビードと縦桁仕口の回し溶接部が近接している場合は，設計・製作図段階で，間隔を５０㎜以上（両側で 120 ㎜以上）とすることを取り決め，予防措置とした。



事例 4

事　例　名	めっき排水桝溶接部の割れ
事例の分類１	[低温割れ]　高温割れ　　ラメラテア　　その他（　　）
事例の分類２	[工場製作部材]　溶接施工試験体　　現場溶接部材（新設）　現場溶接部材（既設）　その他（　　）
調 査 方 法	[製作・施工担当]　品質記録　　ヒアリング　　その他（　　）
発 生 時 期	平成 25 年 1 月ごろ

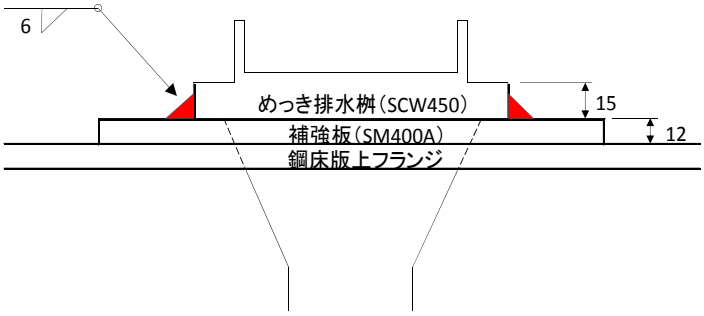
１．溶接割れ発生個所の継手構造

鋼床版箱桁上フランジ面にて，排水桝補強板の開口部にめっき排水枡を落とし込んだすみ肉溶接継手。

材質構成：めっき排水桝（SCW450），排水枡補強板（SM400A）

溶接指示：すみ肉 6 ㎜全周溶接





２．溶接割れ発生箇所の施工方法

溶接部不めっき塗料をグラインダー除去後，1.2φフラックスワイヤ（JIS3313）を使用し水平すみ肉 6 ㎜の全周溶接を実施。

溶接順序は４辺の内，短手の２辺を先に施工した後，長手２辺を施工。

３．溶接割れの発生状況

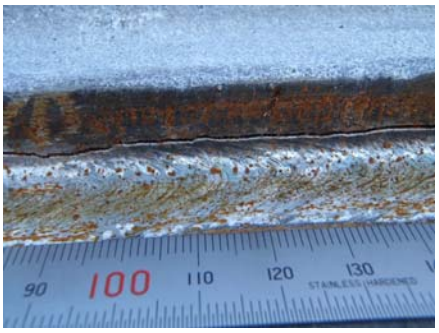
溶接実施翌日，外観確認を行ったところほぼ溶接線全周で排水桝側熱影響部にて割れを発見。

４．溶接割れの補修・処置

ガウジングで割れを完全に除去し，1.2φソリッドワイヤ（JIS3312／YGW11）を使用し補修溶接を行った。

補修溶接時は，180℃以上の予熱と１時間程度の後熱処理を実施。

補修完了２日後の MT にて，再び割れが発生していないことを確認した。



（割れ確認時状況）



（補修溶接後状況）

事例 5

事　例　名	鋼材の介在物に起因する溶接部の割れ
事例の分類１	低温割れ　　高温割れ　　ラメラテア　　その他（ 鋼材の介在物に起因する割れ ）
事例の分類２	[工場製作部材]　溶接施工試験体　　現場溶接部材（新設）　　現場溶接部材（既設） その他（　　）
調 査 方 法	[製作・施工担当]　品質記録　　ヒアリング　　その他（　　）
発 生 時 期	平成 21 年 3 月ごろ

１．溶接割れ発生箇所の継手構造

鋼床版箱桁橋における縦リブを横リブの腹板に突合せた十字継手

材質（板厚）の構成は，縦リブ SM490YB（24mm），横リブの腹板 SM490YA（9mm）

設計図面による溶接指示は完全溶込み溶接

２．溶接割れ発生箇所の施工方法

製作部材の寸法形状より部材を反転させ倒立状態で，立向き姿勢で本溶接の施工を実施

溶接方法は炭酸ガスアーク溶接で，溶接材料には JIS Z 3313 YFW-C50DR のフラックス入りワイヤを使用

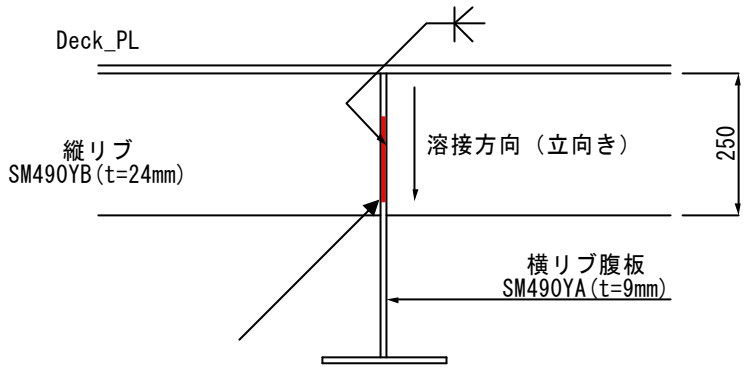
横リブ腹板に対して片側の縦リブの溶接完了後に，反対側の縦リブの溶接を実施

３．溶接割れの発生状況

本溶接完了後に実施した超音波探傷検査により，横リブ腹板の板厚中央部付近でキズエコーを検出

キズエコーの検出した箇所をハツリ，内部の状況を確認した結果，鋼材の中央偏析部の開口を確認

４．溶接割れの補修・処置



溶接割れ発生箇所



溶接割れの写真

事例 6

事　例　名	鋼材の介在物に起因する溶接部の割れ
事例の分類１	低温割れ　　高温割れ　　ラメラテア　　その他（ 鋼材の介在物に起因する割れ ）
事例の分類２	[工場製作部材]　溶接施工試験体　　現場溶接部材（新設）　　現場溶接部材（既設） その他（　　）
調 査 方 法	製作・施工担当　　品質記録　　[ヒアリング]　　その他（　　）
発 生 時 期	平成 15 年 1 月ごろ

１．溶接割れ発生箇所の継手構造

鋼製橋脚横梁の上部工（箱桁）剛結仕口部における横梁ウェブが箱桁仕口下フランジと横梁下フランジで挟まれる十字継手

材質（板厚）の構成は，横梁ウェブ SM490YB-Z25S（22mm），下フランジ SM490YB（31mm）

設計図面による溶接指示は完全溶込み溶接

２．溶接割れ発生箇所の施工方法

部材を反転させながら下向き姿勢で本溶接の施工を実施

溶接方法は炭酸ガスアーク溶接で，溶接材料には JIS Z 3312 YGW11 のソリッドワイヤを使用

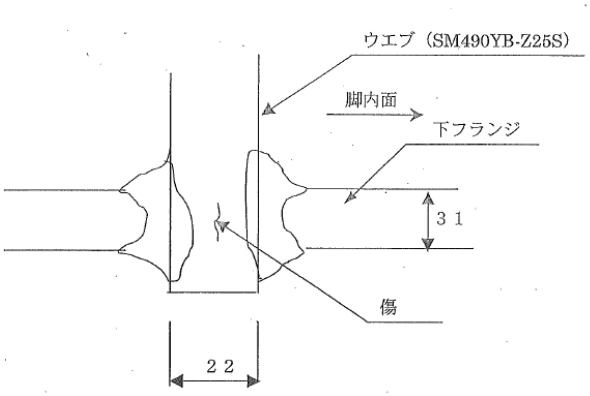
下フランジ上面側から先行溶接し，下フランジ下面側からガウジング後，後行溶接を実施

３．溶接割れの発生状況

本溶接完了後に実施した超音波探傷検査により，横梁ウェブの板厚中央部付近でキズエコーを検出

キズエコーの検出した箇所をハツリ，内部の状況を確認した結果，鋼材の中央偏析部付近の開口を確認

４．溶接割れの補修・処置





溶接割れの写真

事例 7

事　例　名	鋼材の介在物に起因する溶接部の割れ
事例の分類１	低温割れ　　高温割れ　　ラメラテア　　その他（ 鋼材の介在物に起因する割れ ）
事例の分類２	[工場製作部材]　溶接施工試験体　　現場溶接部材（新設）　　現場溶接部材（既設） その他（　　）
調 査 方 法	製作・施工担当　　品質記録　　[ヒアリング]　　その他（　　）
発 生 時 期	平成 21 年 12 月ごろ

１．溶接割れ発生箇所の継手構造

鋼製橋脚（隅角部近傍），横梁と主桁の剛結部

材質（板厚）の構成は，横梁腹板，横梁フランジ，主桁フランジ，すべて SM490YB（40mm）

設計図面による溶接指示は完全溶込み溶接

２．溶接割れ発生箇所の施工方法

部材を反転させ，下向き姿勢で本溶接の施工を実施

溶接方法は炭酸ガスアーク溶接で，溶接材料には JIS Z 3312 YGW-11 のソリッドワイヤを使用

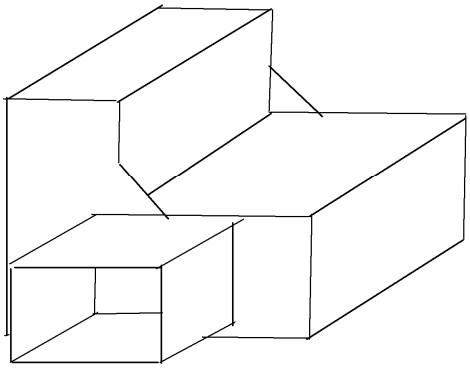
横梁内面側の溶接を先行溶接し，外面側からガウジングし，外面側の溶接を実施

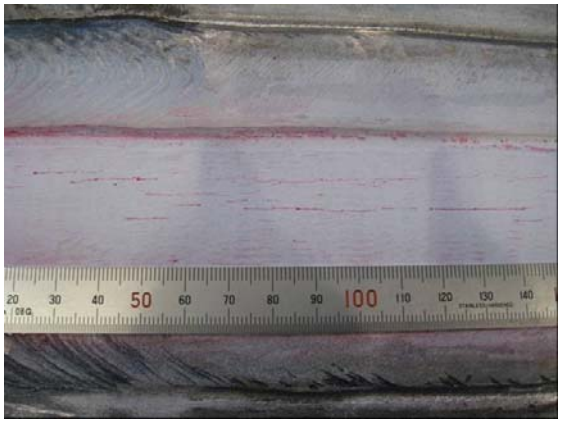
３．溶接割れの発生状況

本溶接完了後，止端仕上げ完了後に実施した MT 検査により，横梁腹板端面に磁粉指示模様を検出

４．溶接割れの補修・処置

当該指示模様検出位置周辺を垂直探傷 UT にて確認：きずエコー検出できず。





溶接割れの写真

事例 8

事　例　名	鋼材の介在物に起因する溶接部の割れ
事例の分類１	低温割れ　　高温割れ　　ラメラテア　　その他（ 鋼材の介在物に起因する割れ ）
事例の分類２	[工場製作部材]　溶接施工試験体　　現場溶接部材（新設）　　現場溶接部材（既設） その他（　　）
調 査 方 法	[製作・施工担当]　品質記録　　ヒアリング　　その他（　　）
発 生 時 期	平成 21 年 2 月ごろ

１．溶接割れ発生箇所の継手構造

ジャケット構造物ビルトアップ I 桁の首溶接部。
材質（板厚）の構成は，ウェブ SM490YB（25mm），フランジ SM490YB（24mm）
設計図面による溶接指示は完全溶込み溶接。
開先形状は K 開先。ルートフェイス 10mm，開先角度 50°。

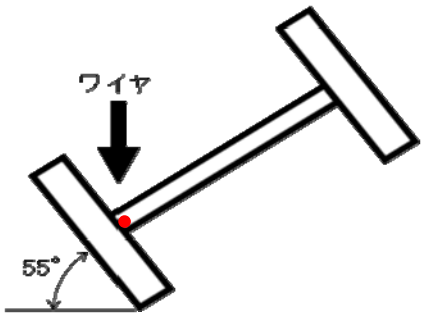
２．溶接割れ発生箇所の施工方法

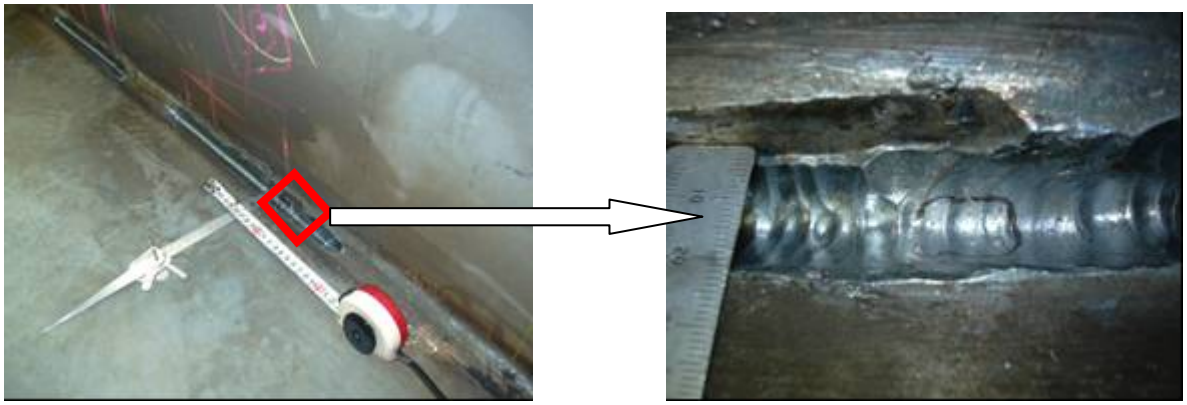
I 桁を傾けて下向溶接。ポジション角度 55°。
溶接方法はサブマージアーク溶接。
溶接材料はワイヤ：JIS Z 3351 YS-S6，フラックス：JIS Z 3352 FS-BN1，
溶着金属は JIS Z 3183 S502-H 相当（メーカーカタログに記載無く詳細未確認）。
片側の首溶接完了後に反転を行い，反対側の溶接を実施。

３．溶接割れの発生状況

本溶接完了後に実施した超音波探傷検査により，ウェブの板厚 1/3 付近でキズエコーを検出。
キズエコーの検出した箇所をハツリ，内部の状況を確認した結果，鋼材の泡状の介在物及び組織変化部を確認。

４．溶接割れの補修・処置





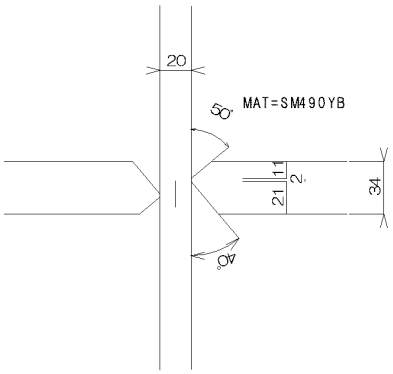
溶接割れの写真

事例 9

事　例　名	横桁・ウェブ･横リブフランジの十字継ぎ手における母材欠陥
事例の分類１	低温割れ　　高温割れ　　[ラメラテア]　　[その他]（ 鋼材の介在物に起因する割れ ）
事例の分類２	[工場製作部材]　　溶接施工試験体　　現場溶接部材（新設）　　現場溶接部材（既設） その他（　　）
調 査 方 法	[製作・施工担当]　　品質記録　　ヒアリング　　その他（　　）
発 生 時 期	平成 21 年 9 月ごろ

１．溶接割れ発生箇所の継手構造

横桁フランジ・主桁ウェブ・横リブフランジで構成される十字継ぎ手，完全溶込み溶接



２．溶接割れ発生箇所の施工方法

溶接方向：下向き　横桁フランジ・横リブフランジ共に別紙開先

溶接方法：炭酸ガスアーク溶接

溶接材料：JIS Z 3312 YGW-11 のソリッドワイヤ及び JIS Z 3313 T 49J 0 のフラックスワイヤ

溶接順序：指定なし。反転状況により都度施工。

３．溶接割れの発生状況

本溶接完了後に実施した超音波探傷検査により，主桁ウェブ板厚中心付近でキズエコーを検出

キズエコーの検出した箇所をハツリ，内部の状況を確認した結果，鋼材の中央偏析部の開口を確認

黒い煤のようなものが出てくる。

４．溶接割れの補修・処置

エコー検出部をガウジングによりはつり補修。ミルメーカーに見解を要求し母材の検査を実施。

実施の結果，溶接前の母材には問題なし。板厚比による拘束度の高さによるものとの見解。

ラメアテア感受性指数は 28 前後　クラス Z25S 相当の耐ラメ適用となった。

事例 10

事　例　名	溶接部の割れ
事例の分類１	低温割れ　　高温割れ　　ラメラテア　　その他（　　）
事例の分類２	工場製作部材　　溶接施工試験体　　現場溶接部材（新設）　　現場溶接部材（既設） その他（　　）
調 査 方 法	製作・施工担当　　品質記録　　ヒアリング　　その他（　　）
発 生 時 期	平成 18 年 12 月ごろ

１．溶接割れ発生箇所の継手構造

主桁と梁の交差部における，主桁フランジを梁ウェブに突合せた十字継手
材質（板厚）の構成は，主桁フランジ SM490YB（27mm），梁ウェブ SM490YB-Z25S（30mm）
設計図面による溶接指示は完全溶込み溶接

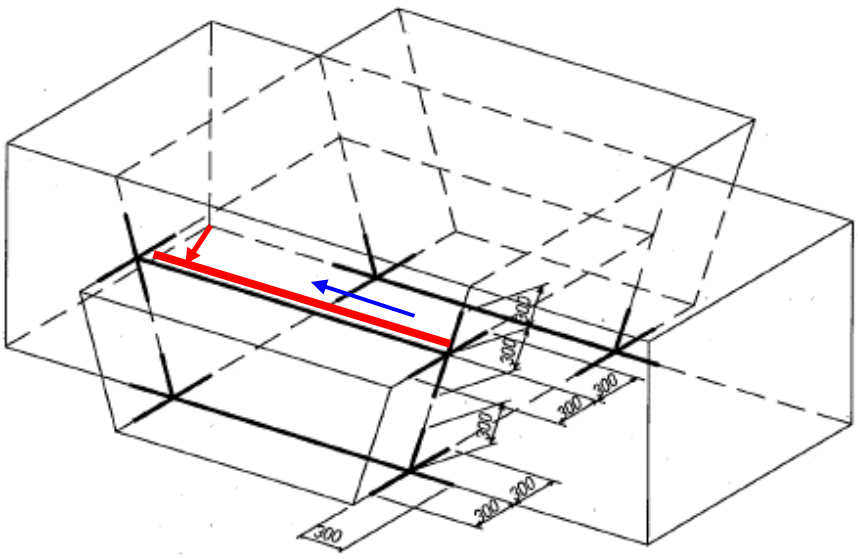
２．溶接割れ発生箇所の施工方法

下図の状態で，下向き姿勢で本溶接の施工を実施
溶接方法は炭酸ガスアーク溶接で，溶接材料は，開先面に，JIS Z 3312　YGW11 のソリッドワイヤを，仕上げ面を，JIS Z 3313 YFW－C50DM のフラックス入りワイヤを使用。
施工は内側より開先の２／３を溶接後に，外側よりハツリ及び仕上げ溶接まで行い，再度，内側の残りの溶接を実施。

３．溶接割れの発生状況

本溶接完了後に超音波探傷検査を実施し欠陥なし。
R仕上げ後に磁粉探傷検査を実施したところ，下図赤矢印の箇所でミクロ割れ確認。
発生箇所をハツリ補修溶接し，再検査したところ，補修箇所の横にミクロ割れを確認し，最終的に全線にて，50～100mm ピッチでミクロ割れを確認。
原因は，ハツリ後の清掃をしない状態で作業を止め，翌日に清掃し溶接を行ったこと，及び直後熱を実施しなかったことが原因と思われる。

４．溶接割れの補修・処置



赤線：溶接割れ発生箇所
青矢印：溶接方向

事例 11

事　例　名	ソールプレートボス孔シール溶接の割れ
事例の分類１	低温割れ　　高温割れ　　ラメラテア　　その他（ 鋼材の介在物に起因する割れ ）
事例の分類２	[工場製作部材]　溶接施工試験体　　現場溶接部材（新設）　　現場溶接部材（既設） その他（　　）
調 査 方 法	製作・施工担当　　品質記録　　[ヒアリング]　　その他（　　）
発 生 時 期	平成 22 年一月ごろ

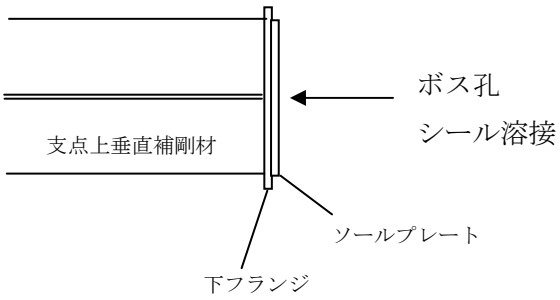
１．溶接割れ発生箇所の継手構造

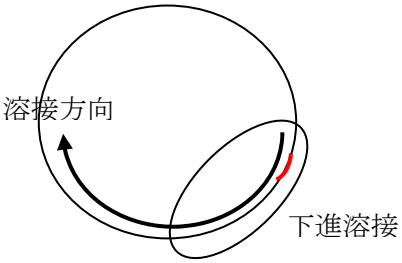
ソールプレートボス孔内のシール溶接。

板厚・材質構成はソールプレート SM400 材 30mm 程度，下フランジ SM490YB 材 20mm 程度。図面指示はシール溶接(4mm)。

２．溶接割れ発生箇所の施工方法

① 製作部材を横倒しに置き，円孔のため誤ってボス孔内の一部を下進溶接したため，のど厚が薄くなり溶接割れが発生した。





② ボス孔内をシール溶接した後，せん断キーと干渉しないようにグラインダー切削を行った際にのど厚が薄くなり溶接割れが発生した。グラインダー切削は溶接施工後，24 時間程度経過してから行っている。

３．溶接割れの発生状況

①，②とも目視で割れを確認。

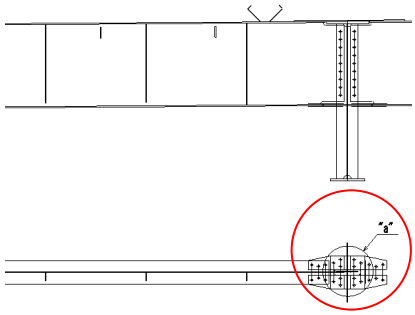
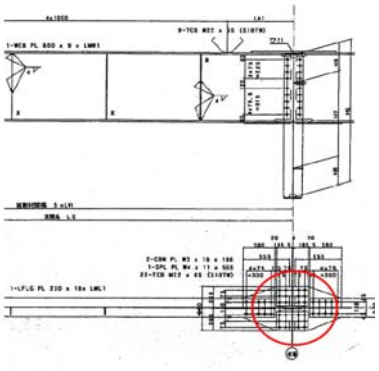
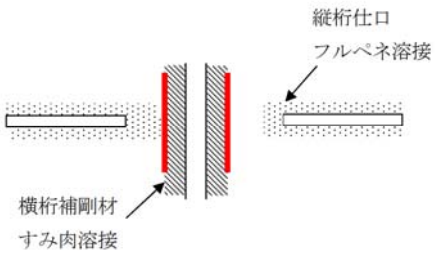
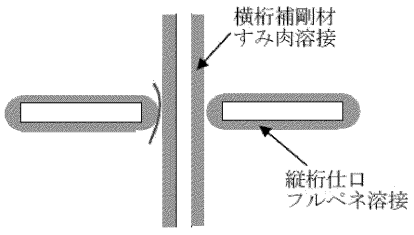
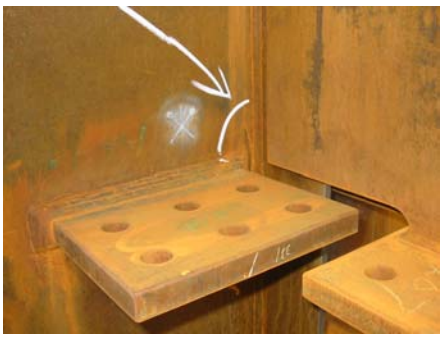
４．溶接割れの補修・処置

①，②とも溶接割れ箇所をグラインダーで除去，再溶接。

3-2. コネクションプレートの割れ

前述の調査結果において，事例２と事例３については発生箇所に類似性があると考えられるため２例についてのその板厚及び溶接について比較を行った。

表 3-2-1　事例２と事例３の発生位置比較

	事例２	事例３
発生位置図		
横桁ウェブ板厚	14mm	9mm
横桁補剛材板厚	9mm	9mm
縦桁コネクション板厚	12mm	18mm
横桁ウェブと補剛材の溶接	すみ肉 6mm	すみ肉 6mm
横桁ウェブとコネクションの溶接	完全溶込み溶接	完全溶込み溶接
発生位置詳細		
発生箇所写真		

前表よりどちらの割れも発生位置に若干の違いがあるにせよ同様の発生機構である可能性が考えられる。また割れ発生部の板厚には関連性が見られないが，溶接については補剛材がすみ肉溶接でありコネクションプレートが完全溶込み溶接と同様の溶接施工がなされていることから本溶接構造が割れの要因の一つであることが考えられる。

さらに他の要因として考えられるのは，構造的に狭隘であるため溶接ビード同士の間隔が非常に狭く熱影響部が重なることやビード形状がオーバーラップになりやすいこと，部材の拘束度が大きいことなどが考えられるが，どの要因が主因であるかは現在解明されていない。またこの溶接割れに対する予防処置としてコネクションプレートのスカラップ寸法を大きくすることで割れの発生を抑制できるという報告もある。

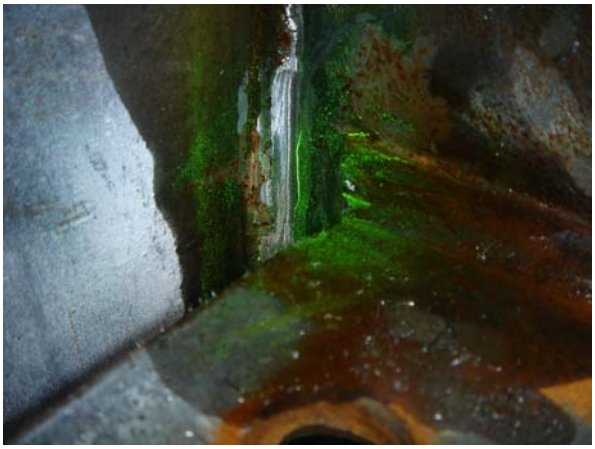


図 3-2-1　溶接割れ発生箇所（磁粉探傷）

§4. 溶接割れ試験

4-1. 試験体

本 WG では，橋梁の溶接継手に多く用いられているすみ肉溶接継手に着目し，4 回の溶接割れ試験を実施して溶接割れの発生条件について検討を行った。各試験工程における試験条件を表 4-1-1 に，溶接割れ試験に用いた試験体の形状を図 4-1-1 に示す。

(1) 試験工程 1

試験体形状は，日本海事協会の鋼船規則検査要領[1)]のすみ肉溶接継手試験体とした。鋼船規則検査要領では，この試験体は高張力鋼用非低水素系溶接棒を使用する場合の確認試験用としているが，既往のすみ肉溶接割れの検討に使用された試験体形状に近く[2)]，最近のすみ肉溶接サイズの検討[3),4)]等にも使用されていることを勘案して，本 WG でもこの試験体を基本とすることとした。

試験体の立板については，その面外剛性が小さいと溶接割れが生じやすいという検討事例[6)]や，板厚が薄い場合には溶接による熱影響が板の裏面まで達して面内曲げが生じることから，拘束割れではなく変形割れが生じやすくなる等の検討結果[2),5)]がある。本 WG では変形が生じやすく割れに対して厳しいと考えられる板厚 12mm を採用することとした。

試験体に用いる材料の選定にあたっては，現在の鋼材と比較して溶接割れが発生しやすいと考えられる製造年代の古い鋼材（以下，古材）を入手することを計画した。施工部会内で古材の入手の可能性について調査を行った結果，1890～1960 年代に製作された 3 橋梁で使用されていた古材を入手することができた。表 4-1-2 に古材を提供していただいた機関と古材が使用されていた供用中の橋梁名を示す。古材はすみ肉溶接継手試験体の着目材片となる底板（下板）に用い，溶接割れ試験に先立って古材の化学成分の分析を行い，P_{CM} 及び C_{eq} 等の溶接性評価値を計算した。また，試験体の立板の鋼材強度は，着目材片の底板と同等として SM400A 材を用いた。

最初の試験工程 1 では，拡散性水素の影響に着目した。試験体の製作段階で試験溶接部に組立溶接を行い，溶接割れの発生因子の一つである立板の変形の影響を排除した。試験は恒温恒湿室で実施し，夏季と冬季の温度に対して高湿度となる溶接環境として，試験温度の差による影響を比較した。また，溶接材料には水素量の高いイルミナイト系を選定した。溶接材料の乾燥条件は，乾燥炉から取出した直後に試験体の溶接を行う「乾燥」と，高湿度の恒温恒湿室に 4 時間放置した後に試験体の溶接を行う「吸湿」の 2 条件として，乾燥条件の違いによる影響を比較した。試験温度と溶接材料の乾燥条件の組合せから 4 ケースについて拡散性水素量の測定をガスクロマトグラフ法で行った。

(2) 試験工程 2

試験条件に立板の変形の影響を加えて溶接割れ試験を行った。試験体の製作段階で試験溶接部に組立溶接を行っていない。試験体の着目材片に用いる鋼材は，試験工程 1 における試験体の底板の縁端より材料を切出した。試験体の形状は，採取できた材料の寸法から図 4-1-1 のタイプ 2 とした。試験体の立板の形状，板厚，及び鋼材強度は，試験工程 1 と同様で板厚 12mm の SM400A 材である。

また，試験工程 2 では，2008 年に製造された P_{CM} の高い鋼材(SMA490CW)を入手し，鋼材の P_{CM} の影響についても試験条件に加えた。その鋼材の P_{CM} 値は，ミルシートの値で 0.256％であった。試験体の形状は，入手できた材料の寸法から図 4-1-1 のタイプ 3 とし，試験体の立板には板厚 12mm の SM490YA 材を用い

た。

試験体の溶接は，橋梁製作工場の実験室で湿度の高い時期に行った。試験で用いた溶接材料はイルミナイト系で，実験室内で 4 時間放置した後に試験体の溶接を行っている。試験工程 1 における拡散性水素量の測定結果では，試験温度及び溶接材料の乾燥条件の違いによって，拡散性水素量に大きな差は見られなかった。この結果をもとに試験工程 2 では，試験温度と溶接材料の乾燥条件の組合せを 1 ケースとした。

(3) 試験工程 3

試験工程 3 では，溶接材料の強度の影響に着目し，490N/mm^2 級の低水素系の溶接材料を用いて試験体の溶接を行った。試験体の着目材片に用いた鋼材は，古材と高 P_{CM} の鋼材の 2 種類である。古材については，試験工程 2 と同様に試験工程 1 の試験体の縁端より材料を切出した。高 P_{CM} の鋼材は試験工程 2 と同じ SMA490CW 材である。試験体の形状は，材料の寸法から図 4-1-1 のタイプ 2 及びタイプ 3 とした。立板の板厚は 12mm，鋼材強度は底板と同程度で，試験条件に立板の変形の影響を加えるため組立溶接は行っていない。

490N/mm^2 級の溶接材料の使用により，古材を用いた試験ケースでは母材より溶接材料の強度が高い設定となり，高 P_{CM} の鋼材を用いた試験ケースでは母材と溶接材料の強度が同等の設定となる。試験体の溶接は，橋梁製作工場の実験室で湿度の高い夏季に行った。試験前に溶接材料は実験室内で 4 時間放置している。

(4) 試験工程 4

最後の試験工程 4 では，鋼材の P_{CM} と溶接材料の強度に着目した。入手した古材の中から P_{CM} の高い材料を 2 種類選定し，試験体の着目材片に用いた。その P_{CM} 値は 0.266%と 0.232%である。また，P_{CM} 値が 0.251%と高い 2011 年に製造された SM490YA 材を新たに入手して試験ケースに加え，試験工程 4 では 3 種類の鋼材を用いた。試験体形状は，試験工程 1 と同様の日本海事協会の鋼船規則検査要領のすみ肉溶接継手試験体（図 4-1-1 のタイプ 1）としているが，試験条件に立板の変形の影響を加えるため試験溶接部に組立溶接は行っていない。立板の板厚は 12mm で，鋼材強度は底板と同等している。

溶接材料については，イルミナイト系及び低水素系を用いた。低水素系の溶接材料では，430N/mm^2，490N/mm^2，及び 590N/mm^2 の 3 種類の強度を用いて溶接材料の強度の影響を比較した。古材を用いた試験ケースでは，母材に対して溶接材料の強度は同等，1 ランク上，及び 2 ランク上の設定となる。高 P_{CM} の鋼材を用いた試験ケースでは，母材に対して溶接材料の強度は 1 ランク下，同等，及び 1 ランク上の設定となる。

試験は恒温恒湿室で実施し，夏季の温度に対して高湿度となる溶接環境とした。溶接材料の乾燥条件は，高湿度の高温恒湿室に 4 時間放置した後に試験体の溶接を行う「吸湿」とし，1 ケースのみ乾燥炉から取出した直後に試験体の溶接を行う「乾燥」として水素量の比較を行った。拡散性水素量の測定は，低水素系の溶接材料についてガスクロマトグラフ法で行った。

表 4-1-1　溶接割れ試験工程と試験条件

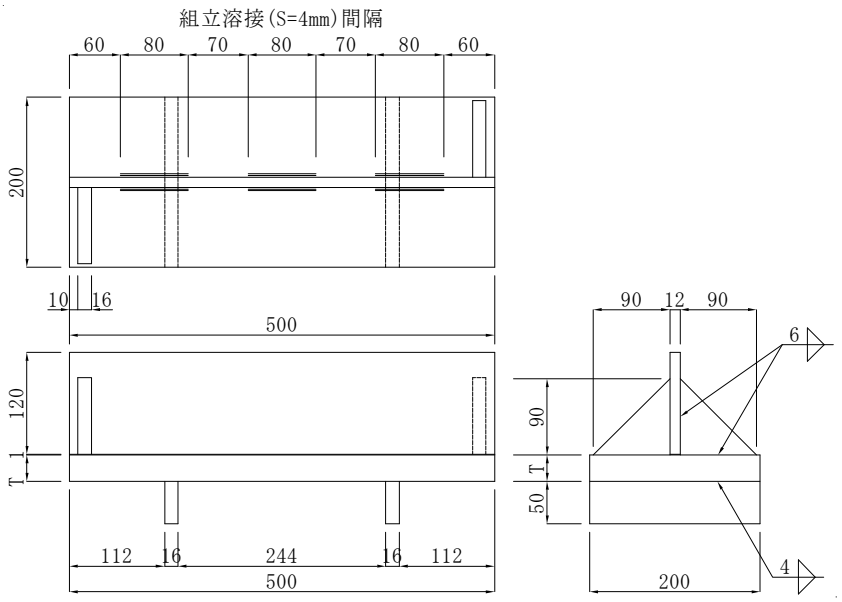
試験工程	試験ケース	試験体形状	試験条件									
			使用鋼材					溶接材料			溶接環境	
			下板（着目材片）			立板						
			製造年代	板厚 (mm)	鋼材強度 (N/mm^2)	板厚 (mm)	鋼材強度 (N/mm^2)	材料種別	材料強度 (N/mm^2)	乾燥状態	温度	湿度
試験工程１ 2011年 7月	1-E1	タイプ１ 組立溶接有	1896年 古材	31	400	12	400(A)	ｲﾙﾐﾅｲﾄ系	430	乾燥	高温	高湿
	2-E2									吸湿	高温	
	3-E3									乾燥	低温	
	4-E4									吸湿	低温	
	5-S1		1961年 古材	10						乾燥	高温	
	6-S2									吸湿	高温	
	7-S3									乾燥	低温	
	8-S4									吸湿	低温	
	9-T1		1903年 古材	40						吸湿	高温	
	10-T2									吸湿	高温	
試験工程２ 2012年 5月	11-E6	タイプ２	1896年 古材	31	400	12	400(A)	ｲﾙﾐﾅｲﾄ系	430	吸湿	標準	高湿
	12-E7											
	13-W1	タイプ３	2008年 高P_{CM}	27	490(W)	12	490(Y)					
試験工程３ 2012年 8月	14-T3	タイプ２	1903年 古材	40	400	12	400(A)	低水素系	490	吸湿	高温	高湿
	15-T4											
	16-W2	タイプ３	2008年 高P_{CM}	27	490(W)	12	490(Y)					
	17-W3											
試験工程４ 2012年11月	18-E8	タイプ１ 組立溶接無	1896年 古材	31	400	12	400(A)	ｲﾙﾐﾅｲﾄ系	430	吸湿	高温	高湿
	19-E9							低水素系	430			
	20-E10								490			
	21-K1		2011年 高P_{CM}	34	490(Y)	12	490(Y)	ｲﾙﾐﾅｲﾄ系	430	吸湿		
	22-K2							低水素系	490			
	23-K3								430			
	24-K4								490	乾燥		
	25-K5								590	吸湿		
	26-S5		1961年 古材	10	400	12	400(A)	ｲﾙﾐﾅｲﾄ系	430	吸湿		

注記【使用鋼材】
鋼材強度400(A)　JIS G3106 SM400A
鋼材強度490(Y)　JIS G3106 SM490YA
鋼材強度490(W)　JIS G3114 SMA490CW

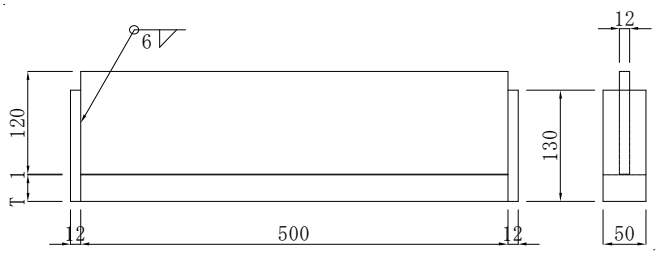
注記【溶接材料】
ｲﾙﾐﾅｲﾄ系430　JIS Z3211 E4319
低水素系430　JIS Z3211 E4316
低水素系490　JIS Z3211 E4916
低水素系590　JIS Z3211 E5916

表 4-1-2　鋼材の提供機関と供用時の橋梁名

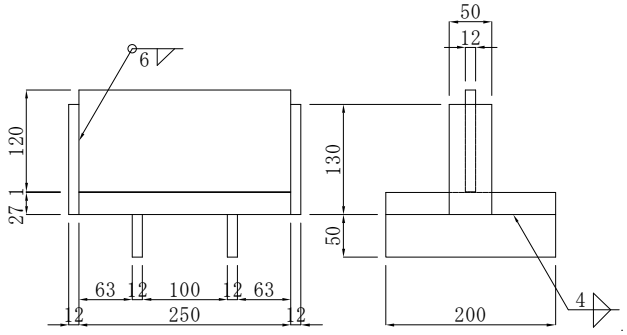
鋼材提供機関	供用時橋梁名	橋梁製作年	鋼材強度	鋼材板厚
横浜市 道路局橋梁課	旧 江ヶ崎跨線橋	1896年	推定400N/mm^2	31mm
関東地方整備局 東京国道事務所	新宿跨線橋	1961年	推定400N/mm^2	10mm
公益財団法人 鉄道総合技術研究所	旧 八敷代橋梁	1903年	推定400N/mm^2	40mm



(a) 試験体 タイプ１　組立溶接有



(b) 試験体 タイプ２



(c) 試験体 タイプ３

図 4-1-1　試験体形状

4-2. FEM による拘束度解析

本試験で用いた試験体の立板厚は薄く，割れに寄与するのは拘束ではなく変形だと考えられるが，種々の試験体形状を定量的に評価する指標のひとつとして拘束度をとりあげ，FEM 解析により算出した。解析対象は本 WG で用いた試験体と文献 3),4)で用いられたすみ肉溶接試験体である。文献 6)にあるように拘束度は第 2 ビードの方が大きくなるが，後述のように割れが発生するのは第 1 ビードであるため，第 1 ビードのみに着目することとした。

解析には ABAQUS ver.6.11.2 を用いた。図 4-2-1 に解析モデルの一例を示す。鋼材の弾性係数は 206,000N/mm^2，ポアソン比は 0.3 とした。荷重条件について，文献 6)では立板に単位荷重を与え，その結果得られた平均変位量を用いて拘束度を算出しているが，ここで用いたモデルは厳密には線形挙動を示さないことを考慮し，溶接区間 400mm の立板の角部の全線にわたり鉛直方向-1mm の強制変位を与え，鉛直方向反力の平均値から拘束度を算出することとした。強制変位点近傍のメッシュサイズは 4mm である。解析モデルの拘束条件は架台（ストロングバック）下面を完全拘束，架台のないタイプ２試験体では底板下面が完全拘束された定盤と接触するものとしてモデル化した。なお，拘束材と架台のすみ肉溶接部（ルートギャップ 0mm），タイプ２試験体の底板下面と定盤上面間には面接触を定義（摩擦係数 0.0mm），幾何学的非線形性も考慮した。

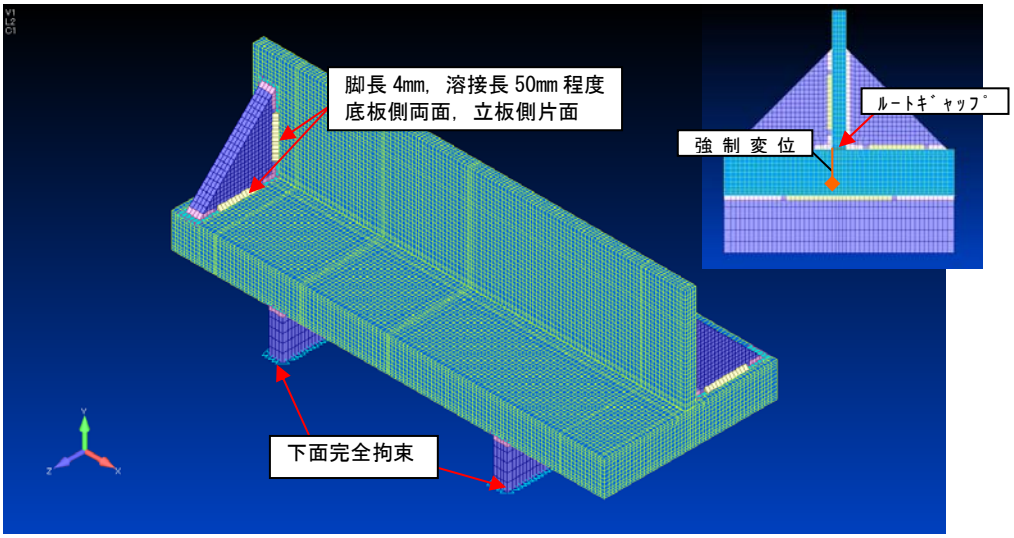
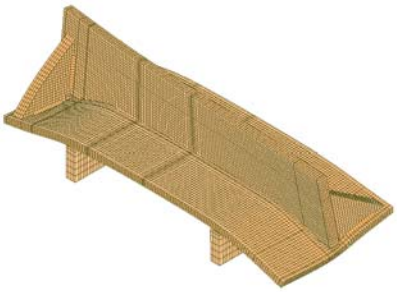
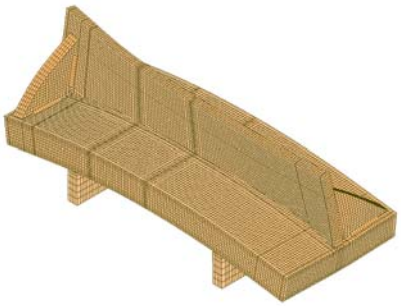


図 4-2-1　解析モデルの一例

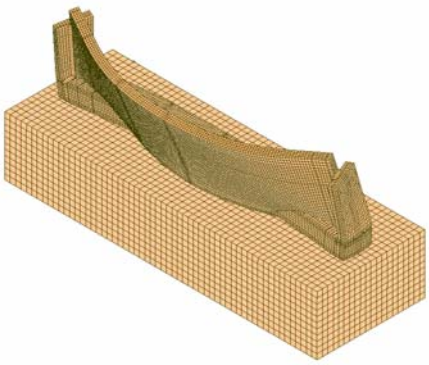
図 4-2-2 に解析より得られた 30 倍変形図の一例を，表 4-2-1 に算出した拘束度の一覧を示す。変形図より各試験体とも立板の面外変形が確認できる。また，拘束度に関しては底板厚の増加と共に大きくなること，立板の長手方向両端を固定したタイプ２，タイプ３試験体で大きめとなっていることがわかる。



(a) タイプ１(底板厚 10mm, 立板厚 12mm)



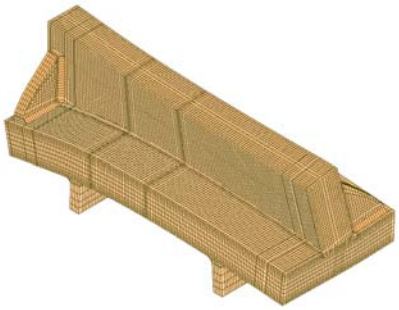
(b) タイプ１(底板厚 40mm, 立板厚 12mm)



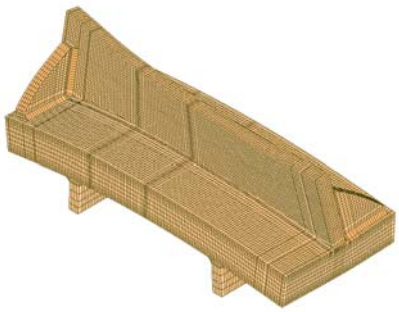
(c) タイプ２(底板厚 31mm, 立板厚 12mm)



(d) タイプ３(底板厚 27mm, 立板厚 12mm)



(e) タイプ１(底板厚 50mm, 立板厚 50mm)



(f) タイプ１(底板厚 58mm, 立板厚 19mm)

図 4-2-2　代表的な試験体の 30 倍変形図

表 4-2-1　拘束度解析結果一覧

	底板厚 (mm)	立板厚 (mm)	形状	拘束係数 (N/mm²・mm)	拘束度 (N/mm・mm)
当 WG	10	12	タイプ 1	7.3	87.4
	31	12	タイプ 1	34.7	416.5
	34	12	タイプ 1	38.8	465.4
	40	12	タイプ 1	55.7	668.2
	31	12	タイプ 2	143.9	1726.4
	40	12	タイプ 2	141.6	1699.6
	27	12	タイプ 3	131.9	1582.4
文献 3)	50	12	タイプ 1	67.6	810.6
	50	12	タイプ 1	45.2	858.6
	50	12	タイプ 1	18.1	906.5
	58	12	タイプ 1	51.2	973.0

4-3. 試験方法

溶接割れ試験の流れを図 4-3-1 に示す。

溶接作業は，被覆アーク溶接棒を用い，溶接環境が悪条件となる高湿を基本とした。高温・低温で温度差による影響を比較するため,試験工程１及び試験工程４は恒温恒湿室内で溶接作業を実施した。また，溶接中の立板の変形状況を確認するため，試験工程２で変位計を設置し動的に測定した。

試験条件に関する確認として，入熱量の確認，拡散性水素量の測定，試験体の形状の測定を実施した。

溶接割れは，外観検査及びマクロ試験により確認した。

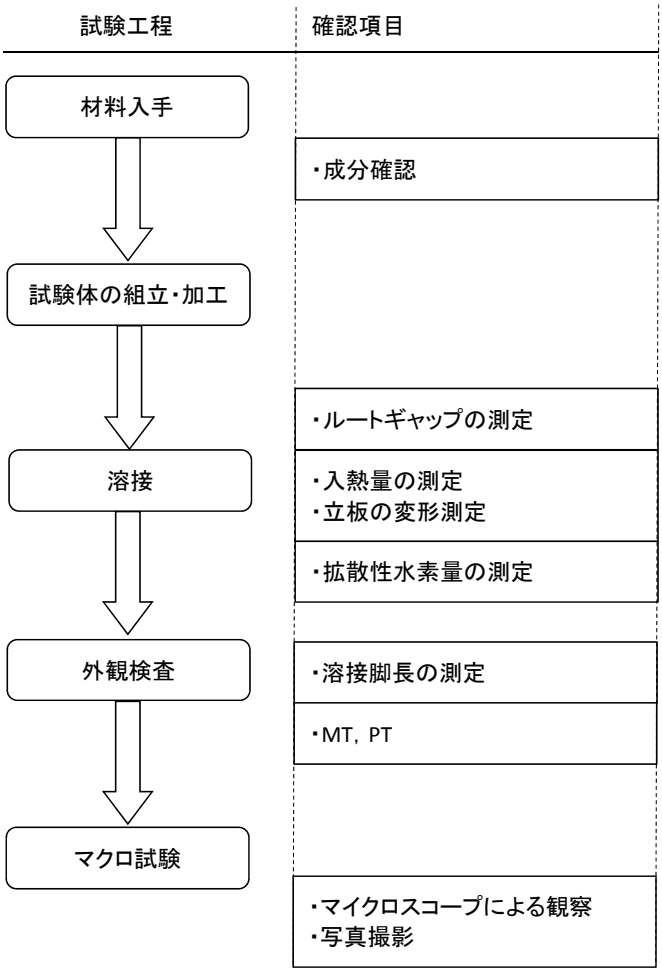
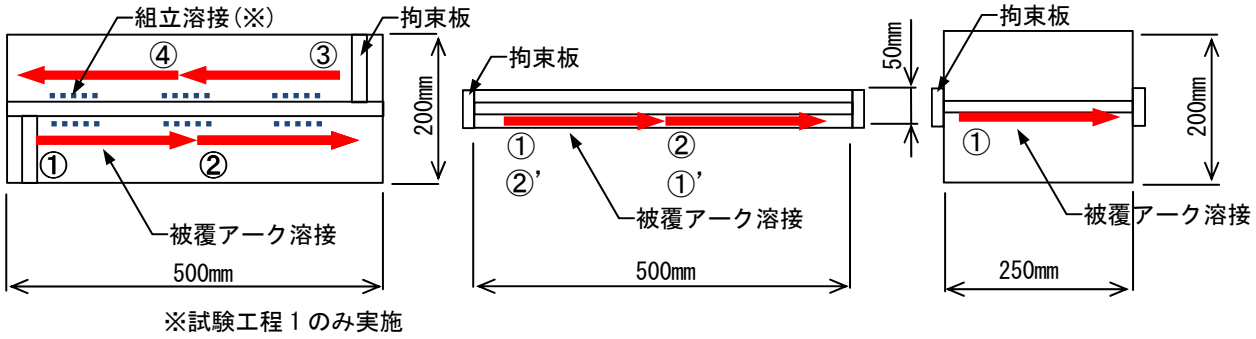


図 4-3-1 試験の流れ

4-3-1. 溶接作業

溶接作業順序を図 4-3-2 に示す。試験工程１の試験体形状タイプ１は，図 4-3-1（a）に示すように組立溶接を片側 3 箇所に実施して被覆アーク溶接を順番に実施した。試験工程 4 の試験体形状タイプ１は，組立溶接を実施せずに同様の順番で被覆アーク溶接を実施した。試験工程 2 及び試験工程 3 は，底板の材料入手量が少量であったため，溶接長 500㎜ の試験体形状タイプ２と 250㎜ の試験体形状タイプ３の 2 種類で実施した。溶接作業状況を写真 4-3-1 に示す。



（a）試験体形状タイプ１　　（b）試験体形状タイプ２　　（c）試験体形状タイプ３

図 4-3-2 溶接作業順序



（a）試験体形状タイプ１　　（b）試験体形状タイプ２　　（c）試験体形状タイプ３

写真 4-3-1 溶接作業状況

4-3-2. 溶接条件及び試験体条件

溶接割れ試験での各種測定結果を表 4-3-1 に示す。

溶接環境として，作業場の温度（気温）と湿度を測定した。恒温恒湿室で作業した試験工程１と試験工程４はおおむね目標の環境で溶接作業を行った。試験工程２と試験工程３は，橋梁製作工場内の実験室で実施し，雨天の影響で湿度 80%弱の高湿状態で溶接作業を行った。

溶接時の入熱量は，溶接時間と溶接長を実測して計算した。入熱量の最大値は 12,553J/㎜，最小値は 1,179J/㎜ で，平均値は 1,656J/㎜ であった。

試験体の形状条件として，ルートギャップは，1.0㎜ を目標として試験体を製作し，試験体別の平均でおおむね 0.8㎜～1.2㎜ の範囲となり，測定値全体の平均値は 1.0㎜ であった。溶接脚長は，試験体個別の平均でおおむね 6㎜ であった。

表 4-3-1 各種測定結果

試験ケース	溶接環境				溶接条件																																入熱量
	先行側		後行側		先行側																後行側																
	温度	湿度	温度	湿度	電流		電圧		時間				溶接長		入熱量			温度			電流		電圧		時間				溶接長		入熱量			温度			
					1パス	2パス	1パス	2パス	1パス		2パス		1パス	2パス	1パス	2パス	平均	1パス	2パス		1パス	2パス	1パス	2パス	1パス		2パス		1パス	2パス	1パス	2パス	平均	1パス	2パス		
	℃	%	℃	%	A	A	V	V	分	秒	分	秒	mm	mm	J/mm	J/mm	J/mm	℃	℃		A	A	V	V	分	秒	分	秒	mm	mm	J/mm	J/mm	J/mm	℃	℃		J/mm
1-E1	35	80	36	81	190	190	25	25	1	10	1	17	210	260	1583	1407	1495	32.8	49.0		190	195	25	25	1	6	1	10	230	250	1363	1365	1364	33.6	58.0		1430
2-E2	35	80	36	81	210	210	25	25	1	0	1	6	230	260	1370	1333	1351	33.5	60.2		190	195	25	25	1	3	1	8	240	260	1247	1275	1261	34.0	57.0		1306
3-E3	5	74	5	74	190	190	25	25	1	4	1	16	220	275	1382	1313	1347	5.6	39.3		190	185	25	25	1	8	1	13	225	265	1436	1274	1355	4.4	30.6		1351
4-E4	2	70	2	70	190	190	25	25	1	6	1	19	220	260	1425	1443	1434	8.8	44.0		185	180	25	25	1	6	1	16	220	265	1388	1291	1339	7.5	31.6		1387
5-S1	35	80	36	81	190	190	25	25	1	10	1	20	210	260	1583	1462	1522	32.8	57.0		190	190	25	25	1	8	1	14	230	270	1404	1302	1353	32.8	57.0		1438
6-S2	35	80	36	81	210	210	25	25	0	56	1	10	220	260	1336	1413	1375	33.9	82.4		195	190	25	25	1	5	1	7	230	270	1378	1179	1278	33.8	79.0		1327
7-S3	5	74	5	74	190	190	25	25	1	5	1	12	230	260	1342	1315	1329	5.5	100.2		190	190	25	25	1	8	1	17	225	260	1436	1407	1421	34.4	76.6		1375
8-S4	2	70	2	70	195	195	25	25	1	9	1	12	230	265	1463	1325	1394	8.4	91.0		195	190	25	25	1	10	1	18	230	270	1484	1372	1428	6.5	67.3		1411
9-T1	35	80	36	81	210	210	25	25	1	2	1	8	230	260	1415	1373	1394	33.3	54.8		195	190	25	25	1	4	1	9	240	270	1300	1214	1257	34.3	60.7		1326
10-T2	2	70	2	70	190	190	25	25	1	9	1	22	220	270	1490	1443	1466	8.6	33.8		190	185	25	25	1	9	1	16	225	265	1457	1326	1392	7.0	33.0		1429
11-E6	21	79	–	–	190	190	25	25	1	37	1	35	225	225	2048	2006	2027	21.5	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		2027
12-E7	21	79	–	–	205	205	25	25	1	8	1	25	210	250	1660	1743	1701	21.9	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		1701
13-W1	21	79	–	–	205	–	25	–	1	0	–	–	210	–	1464	–	1464	23.3	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		1464
14-T3	33	78	–	–	220	215	25	25	1	41	1	57	240	250	2315	2516	2415	35.3	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		2415
15-T4	33	78	–	–	215	215	25	25	1	52	1	48	240	240	2508	2419	2464	35.0	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		2464
16-W2	33	78	–	–	215	–	25	–	1	39	–	–	230	–	2314	–	2314	36.2	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		2314
17-W3	33	78	–	–	215	–	25	–	1	54	–	–	240	–	2553	–	2553	35.9	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		2553
18-E8	35	81	35	81	155	170	25	25	1	56	1	10	255	225	1763	1322	1542	32.0	–		170	175	25	25	1	31	1	2	270	220	1432	1233	1333	32.0	–		1438
19-E9	35	81	35	81	175	175	25	25	2	7	1	53	250	250	2223	1978	2100	36.0	–		175	175	25	25	2	5	2	2	250	255	2188	2093	2140	34.0	–		2120
20-E10	35	81	35	81	170	170	25	25	1	46	1	28	220	245	2048	1527	1787	37.0	–		175	175	25	25	1	54	1	59	230	255	2168	2042	2105	33.0	–		1946
21-K1	35	81	35	81	170	170	25	25	1	44	1	0	290	210	1524	1214	1369	37.0	–		170	170	25	25	1	41	1	2	280	220	1533	1198	1365	32.0	–		1367
22-K2	35	81	35	81	175	175	25	25	2	0	1	44	235	250	2234	1820	2027	37.0	–		175	175	25	25	2	11	1	51	255	245	2248	1982	2115	34.0	–		2071
23-K3	35	81	35	81	170	170	25	25	1	50	2	0	210	280	2226	1821	2024	37.0	–		175	175	25	25	1	56	1	47	250	245	2030	1911	1970	33.0	–		1997
24-K4	35	81	35	81	175	175	25	25	2	0	1	41	260	235	2019	1880	1950	36.0	–		175	175	25	25	2	10	1	43	265	245	2146	1839	1993	34.0	–		1971
25-K5	35	81	35	81	170	170	25	25	2	3	1	53	240	230	2178	2088	2133	37.0	–		175	175	25	25	1	56	1	48	255	240	1990	1969	1979	33.0	–		2056
26-S5	35	81	35	81	170	170	25	25	1	37	1	10	275	230	1499	1293	1396	35.0	–		170	170	25	25	1	36	1	8	275	225	1484	1284	1384	32.0	–		1390
																																					1656

試験ケース	形状条件																																				平均		
	先行側																				後行側																		
	①			②			③			④			⑤			⑥				①			②			③			④			⑤			⑥					
	ルート間隔	脚長(幅)	脚長(高)	ルート間隔	脚長(幅)	脚長(高)	ルート間隔	脚長(幅)	脚長(高)	ルート間隔	脚長(幅)	脚長(高)	ルート間隔	脚長(幅)	脚長(高)	ルート間隔	脚長(幅)	脚長(高)		ルート間隔	脚長(幅)	脚長(高)	ルート間隔	脚長(幅)	脚長(高)	ルート間隔	脚長(幅)	脚長(高)	ルート間隔	脚長(幅)	脚長(高)	ルート間隔	脚長(幅)	脚長(高)	ルート間隔	脚長(幅)	脚長(高)		ルート間隔	脚長(幅)	脚長(高)
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm
1-E1	2.0	5.0	5.0	1.6	5.5	5.0	1.4	6.0	5.5	1.3	6.0	6.0	1.2	7.0	6.0	1.2	6.5	6.5		0.9	6.0	7.0	0.9	6.0	6.0	1.0	5.5	5.5	0.9	7.0	7.0	0.9	6.0	5.5	1.0	6.5	6.5	1.2	6.1	6.0
2-E2	1.3	5.0	4.0	1.3	6.5	6.5	1.0	6.0	5.0	1.2	6.5	8.0	1.1	6.0	5.0	1.0	6.0	6.0		1.0	5.5	5.0	0.5	6.0	6.0	0.7	5.5	5.5	0.7	7.0	6.5	0.7	6.0	5.0	1.0	6.0	6.5	1.0	6.0	5.8
3-E3	0.9	5.5	5.5	0.6	6.0	5.5	0.5	6.0	6.0	0.5	6.5	7.5	0.8	6.0	5.5	1.0	6.5	6.5		1.2	5.5	6.5	1.0	6.0	6.0	0.8	5.5	5.5	0.7	6.0	6.5	0.8	6.0	6.0	1.0	6.0	7.0	0.8	6.0	6.2
4-E4	0.8	6.0	5.0	0.9	5.5	6.0	0.9	7.0	5.5	1.1	7.0	6.0	1.1	6.0	6.0	0.9	6.5	6.5		1.1	6.0	5.5	1.3	6.5	5.5	1.2	5.5	6.0	1.1	6.0	8.0	1.0	6.0	7.0	1.0	6.0	7.0	1.0	6.2	6.2
5-S1	1.4	6.0	5.5	1.0	6.5	6.0	0.5	6.0	5.0	0.5	6.5	6.0	0.8	6.0	5.5	0.8	7.0	6.0		1.2	5.5	4.5	0.4	6.0	5.5	0.9	6.0	5.0	0.5	6.0	6.5	0.4	6.5	6.0	0.7	6.0	6.0	0.8	6.2	5.6
6-S2	1.6	6.0	5.0	0.4	7.0	6.0	0.4	6.5	5.5	0.6	7.0	5.5	0.8	6.0	5.5	2.0	6.5	6.0		1.7	6.0	4.0	0.4	6.0	5.5	0.2	5.0	5.0	0.2	5.5	7.0	0.3	5.0	5.0	0.8	6.0	6.0	0.8	6.0	5.5
7-S3	0.8	5.0	5.5	0.8	5.5	6.0	1.0	5.5	5.0	1.0	7.0	8.0	0.6	6.5	5.0	1.2	6.5	6.0		1.3	5.0	7.0	0.9	5.0	6.0	1.2	6.0	5.0	1.2	6.0	6.0	1.2	5.5	5.5	1.3	6.5	6.0	1.0	5.8	5.9
8-S4	1.9	6.0	6.0	0.8	6.0	6.0	0.8	6.0	5.0	0.8	6.5	7.0	1.0	5.5	5.5	1.6	6.0	5.5		1.5	6.0	5.0	1.3	6.0	6.0	1.3	5.5	5.0	1.1	6.0	6.5	1.0	6.5	6.0	1.2	6.0	6.0	1.2	6.0	5.8
9-T1	0.8	5.0	4.0	1.1	6.0	5.5	0.8	6.0	5.0	0.8	7.0	9.0	1.1	6.0	5.5	1.1	6.0	6.5		0.7	5.0	5.0	1.0	6.0	5.5	0.7	5.5	5.0	0.7	7.0	7.5	0.9	6.5	6.0	0.9	6.5	6.0	0.9	6.0	5.9
10-T2	0.7	5.0	5.0	0.6	6.0	6.0	0.7	5.5	5.5	0.7	6.0	7.0	0.9	6.0	5.5	0.9	7.0	6.5		1.2	6.0	5.0	1.2	7.0	6.0	1.0	5.0	5.0	1.0	7.0	8.0	1.2	6.0	6.0	1.0	6.0	6.0	0.9	6.0	6.0
11-E56	1.2	–	–	1.2	–	–	1.4	–	–	1.2	–	–	1.1	–	–	–	–	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		1.2	–	–
12-E7	1.2	–	–	1.1	–	–	1.3	–	–	1.1	–	–	1.0	–	–	–	–	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		1.1	–	–
13-W1	–	–	–	–	–	–	1.0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		1.0	–	–
14-T3	0.3	–	–	0.6	–	–	1.2	–	–	1.4	–	–	1.5	–	–	–	–	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		1.0	–	–
15-T4	1.3	–	–	1.6	–	–	1.6	–	–	1.6	–	–	1.8	–	–	–	–	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		1.6	–	–
16-W2	–	–	–	–	–	–	1.2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		1.2	–	–
17-W3	–	–	–	–	–	–	1.1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		1.1	–	–
18-E8	0.6	9.0	5.5	–	6.0	6.5	0.6	8.0	5.0	–	5.0	6.5	1.0	6.0	5.5	–	–	–		0.8	5.5	5.5	–	4.5	5.0	0.5	4.5	5.5	–	4.5	5.0	0.5	4.5	5.0	–	–	–	0.7	5.8	5.5
19-E9	0.6	6.0	7.0	–	5.5	6.0	0.4	5.5	6.5	–	6.0	6.0	0.6	5.0	6.0	–	–	–		0.6	6.0	7.0	–	5.0	6.0	0.6	5.5	6.5	–	5.0	6.5	1.0	5.5	6.5	–	–	–	0.6	5.5	6.4
20-E10	0.8	6.0	6.0	0.8	6.0	7.0	0.8	7.0	7.0	0.8	6.0	6.0	0.9	6.0	6.0	–	–	–		1.0	6.0	7.0	0.6	5.0	6.5	0.9	5.0	6.0	0.8	6.0	6.0	0.8	4.5	6.5	–	–	–	0.8	5.8	6.4
21-K1	0.9	6.5	7.0	–	6.0	6.0	1.0	6.0	6.0	–	6.0	6.5	0.8	6.5	6.0	–	–	–		0.6	5.0	5.5	–	4.5	6.5	0.8	5.5	6.5	–	5.5	5.5	0.7	5.0	5.5	–	–	–	0.8	5.7	6.1
22-K2	0.9	5.5	8.0	–	5.5	7.0	0.9	6.5	7.0	–	5.5	6.5	0.8	5.5	6.0	–	–	–		0.8	6.0	7.0	–	5.5	6.5	0.8	5.5	6.0	–	5.5	7.0	1.0	5.5	7.0	–	–	–	0.9	5.7	6.8
23-K3	0.8	5.0	7.0	–	5.0	6.5	0.5	6.0	7.0	–	5.5	7.0	0.8	6.0	6.5	–	–	–		0.6	6.0	7.5	–	5.0	6.0	0.5	5.5	6.5	–	6.0	7.0	1.0	5.0	7.0	–	–	–	0.7	5.5	6.8
24-K4	1.0	6.0	6.5	–	6.0	7.0	1.2	6.0	6.5	–	6.0	7.0	1.1	6.0	6.0	–	–	–		1.2	5.0	7.0	–	5.5	7.0	1.2	5.5	6.0	–	5.0	6.5	1.2	5.5	6.5	–	–	–	1.2	5.7	6.6
25-K5	0.9	6.0	7.0	1.0	6.5	7.0	1.0	6.0	7.0	0.8	6.0	8.0	1.0	5.5	7.0	–	–	–		0.7	6.0	8.0	0.8	5.0	6.5	0.8	5.0	7.0	0.9	5.0	7.0	1.0	5.0	7.0	–	–	–	0.9	5.6	7.2
26-S5	1.0	5.5	6.5	1.2	6.0	6.0	1.2	6.5	5.5	1.2	5.5	6.0	1.2	4.5	5.0	–	–	–		1.0	5.0	5.5	1.3	4.0	5.5	1.3	4.0	5.0	1.2	4.5	5.5	0.9	4.0	4.5	–	–	–	1.2	5.0	5.5
																																					1.0	6.0	

4-3-3. 溶接棒及び拡散性水素量の測定

溶接材料は，イルミナイト系と低水素系による拡散性水素量の影響，強度の影響に着目し，被覆アーク溶接用溶材の 4 種類を選定した。溶接棒の機械的性質及び化学成分の公称値を表 4-3-2 に示す。

試験工程 1 及び試験工程 4 において，拡散性水素量の測定を実施した。溶接割れ試験実施の 72 時間経過後，ガスクロマトグラフ法（JIS Z3118）に準じて測定した。イルミナイト系溶接棒を使用した場合と低水素系溶接棒を使用した場合の測定結果をそれぞれ表 4-3-3 と表 4-3-4 に示す。イルミナイト系の溶材では水素量が概ね 40ml/100g 程度，低水素系では 5 ml/100g 程度であった。

表 4-3-2 溶接棒（公称値）

	被覆剤	降伏点 (N/mm^2)	引張強さ (N/mm^2)	化学成分(%)						
				C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo
E4319	イルミナイト系	400	450	0.10	0.09	0.39	0.016	0.008		
E4316	低水素系	400	460	0.04	0.41	0.34	0.008	0.005		
E4916		480	550	0.07	0.62	1.18	0.011	0.008		
E5916		540	640	0.07	0.042	1.12			0.73	0.22

表 4-3-3 拡散性水素量（イルミナイト系）

溶接棒	試験片重量(g)			水素量		
	溶接後	溶接前	溶着量	ml	ml/100g	平均
E4319(HD)	99.41	95.14	4.27	1.66	39	42
	99.18	94.87	4.32	1.81	42	
	99.29	95.08	4.22	1.84	44	
E4319(HW)	98.79	95.17	3.62	1.57	44	43
	99.14	95.16	3.98	1.64	41	
	99.20	94.98	4.22	1.84	44	
E4319(LD)	100.13	94.98	5.15	1.87	36	36
	100.05	95.07	4.98	1.83	37	
	100.40	95.25	5.15	1.87	36	
E4319(LW)	99.65	94.86	4.79	2.01	42	41
	99.39	94.93	4.47	1.87	42	
	99.64	94.30	5.35	2.15	40	

記号
H：高温
L：低温
D：乾燥
W：吸湿

表 4-3-4 拡散性水素量（低水素系）

溶接棒	試験片重量(g)			水素量		
	溶接後	溶接前	溶着量	ml	ml/100g	平均
E4916(D)	101.90	94.60	7.30	0.46	6.3	6.4
	101.92	94.58	7.34	0.47	6.4	
	101.51	94.47	7.04	0.46	6.5	
E4916(W)	102.36	94.70	7.66	0.60	7.8	7.5
	101.11	94.39	6.72	0.48	7.1	
	101.68	94.50	7.18	0.55	7.7	
E5916	100.86	94.58	6.28	0.44	7.0	6.7
	101.18	94.67	6.51	0.45	6.9	
	100.89	94.62	6.27	0.39	6.2	
E4316	100.85	94.53	6.32	0.29	4.6	4.3
	100.79	94.69	6.10	0.25	4.1	
	101.35	94.42	6.93	0.29	4.2	

4-3-4. 外観検査

マクロ試験に先立ち溶接部の外観検査を実施した。磁粉探傷試験（MT）により，磁粉模様を確認した後，写真で記録するため浸透探傷試験（PT）により，指示模様を確認した。MT と PT の確認状況を写真 4-3-2 に示す。全ての試験体で表面きずは確認されなかった。



(a)　MT 作業状況



(b)　PT 確認状況

写真 4-3-2　外観検査状況

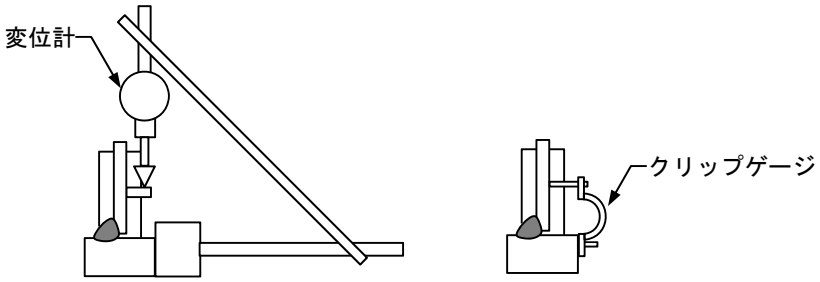
4-3-5 マクロ試験

JIS G 0553 に準拠してエッチングを行った。試験工程 1 の 2-E2 と 9-T1 の試験体は，割れを生じやすい場所を確認するため，10mm ピッチに切断し， マイクロスコープを用いて割れの観察を行った。その他の試験体については，5 断面を抽出して切断しマクロ試験片を採取した。

4-3-6. 立板の変形測定

溶接中における立板の面内方向の変形が溶接割れに及ぼす影響を考察するため，試験工程 2 では試験体の溶接中におけるルート間隔の開閉を動的に測定した。試験体の形状は図 4-1-1 に示すタイプ 2 とタイプ 3 で，試験ビート裏面側の溶接線中央部に変位計とクリップゲージを配置した。溶接長の長いタイプ 2 については，試験ケース 11-E6 及び 12-E7 の 2 ケースで変位の測定を行い，溶接順序の影響を比較した。変位計及びクリップゲージの設置要領を図 4-3-2 に，測定状況を写真 4-3-3 に示す。また，溶接前における試験体のルート間隔の測定結果を表 4-3-5 及び図 4-3-3 に示す。

先ず，試験ケース 11-E6 と 12-E7 の測定結果から，溶接順序の影響を比較する。両試験ケースとも 1 溶接線を 2 回に分けて溶接を行っているが，それぞれの溶接順序は図 4-3-4 に示すように，11-E6 は後退法により，12-E7 は前進法により行っている。図 4-3-5 の(a)と(b)で，ルート間隔の変位の測定結果を比較すると，溶接順序の違いによってルート間隔の収縮量に大きな差がみられる。変位計の測定値では，後退法の 11-E6 の変位は前進法の 12-E7 の約 1/3 であった。また，変位の挙動でも相違がみられ，11-E6 ではルート間隔が収縮する方向のみに変位しているのに対し，12-E7 では僅かに開いた後に収縮する方向へ変位している。



(a) 変位計　　(b) クリップゲージ

図 4-3-2　立板変形の測定方法



写真 4-3-3　設置状況

表 4-3-5　ルート間隔

試験ケース	①	②	③	④	⑤
	mm	mm	mm	mm	mm
11-E6	1.2	1.2	1.4	1.2	1.1
12-E7	1.2	1.1	1.3	1.1	1.0
13-W1	–	–	1.0	–	–

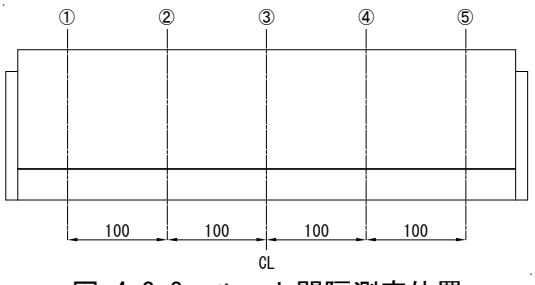
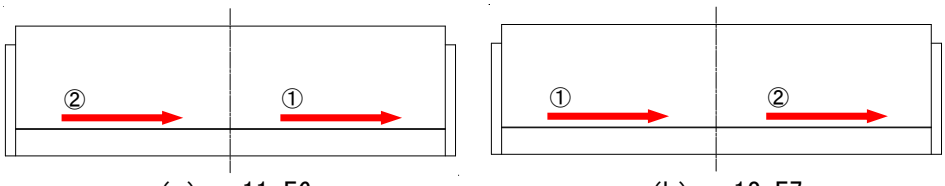
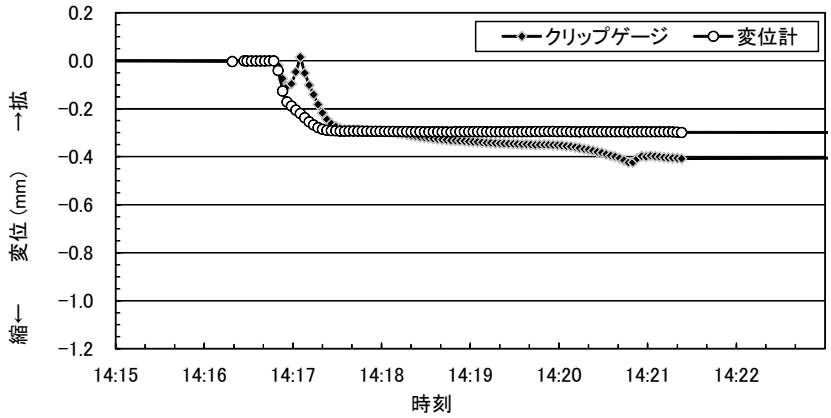


図 4-3-3　ルート間隔測定位置



(a)　11-E6　　(b)　12-E7

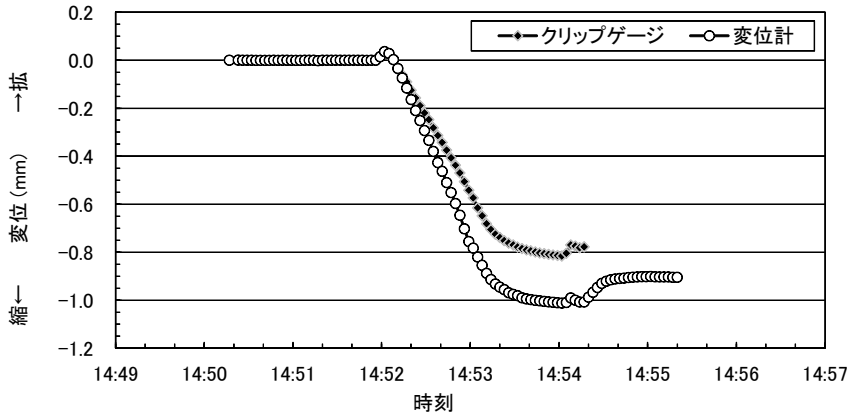
図 4-3-4　溶接順序



(a) 11-E6



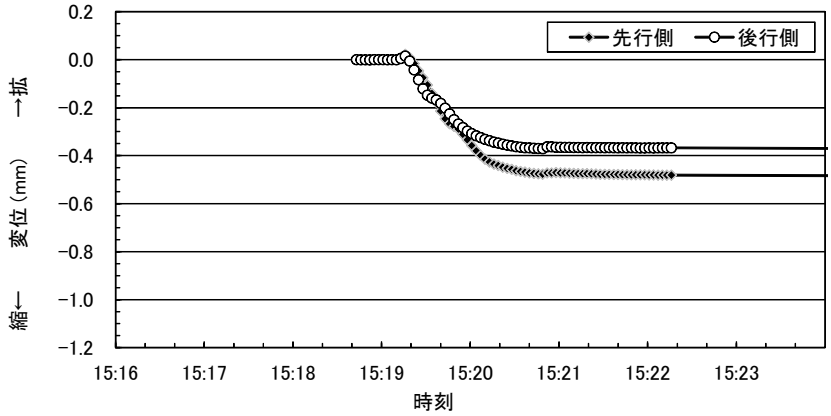
写真 4-3-4 計測機器配置状況



(b) 12-E7



写真 4-3-5 クリップゲージ設置状況



(a) 13-W1



写真 4-3-6 計測機器配置状況

図 4-3-5 変形測定結果

次に，試験ケース 12-E7 と 13-W1 の測定結果から，試験体の形状，すなわち拘束度の影響を比較する。図 4-3-5 の(b)と(c)でルート間隔の変位の挙動をみると，両者とも僅かに開いた後に収縮する方向へ変位している。このルート間隔の開く挙動が文献[2)5)]に示される変形割れの発生要因と考えられる。また，変位計の測定値では，13-W1 の変位は 12-E7 の約 1/2 であった。表 4-2-1 の FEM による拘束度の解析結果によると，12-E7 の拘束度は 1,726N/mm･mm，13-W1 は 1,582N/mm･mm で僅かに 12-E7 方が若干高い。今回の測定結果の範囲では，拘束度の高い方の試験ケースにおけるルート間隔の変位が大きく，ルート間隔の変位と計算上の拘束度に相関はみられない。

4-4. 試験結果

4-4-1. 供試鋼材の化学成分分析結果

実験に先立ち，収集した鋼材の化学成分を調査した。古材については，直径 18mm 程度の円筒形部材を電動磁気ボール盤のコアドリルを用いて採取し，この断面を研磨し，JIS G1253（鉄及び鋼－スパーク放電発光分光分析方法）にしたがって調査した。ミルシートが入手できた材料はミルシート値を用いて 2-2-1.で示した式(1)，(3)，(4)，(5)に示す Ceq，P_{CM}，P_N，CEN を算出した。なお，試験工程１と４については立板の化学成分を調査した。また,後述する 4-4-3 では文献 4)の結果について考察するため，これらをあわせて表 4-4-1 にまとめた。

化学成分のうち，炭素の含有量に着目すると，製造年次の新しい 2008 年の SMA490CW(t=34)や 2011 年の SM490Y(t=34)はそれぞれ 0.13%，0.16%と比較的低いが，製造年次の古い材料は 0.19%～0.21%とやや高くなっている。同様に Mn に着目すると，製造年次の新しい鋼材は 1.31%～1.43%であることに対し，古材は 0.32%～1.02%と低めであった。鋼材強度が異なると考えられるので単純な比較はできないが，古材は C 量を高くして強度を確保していることに対し，現在の鋼材は C 量を減らし，Mn などの合金元素の成分で強度を確保しているようにも見える。

炭素当量に関するパラメータに着目すると,P_{CM}が最も高いのは 1896 年の江ヶ崎跨線橋(t=31)で 0.266 であり，次いで 2008 年の SMA490CW(t=34)が 0.256 であった。ところが Ceq が最も高かったのは 2008 年の SMA490CW(t=34)が 0.423 であり，次いで 2011 年の SM490Y(t=34)が 0.423 となり，P_{CM}が最も高かった 1896 年の江ヶ崎跨線橋(t=31)は 0.392 でさほど高くなかった。現在の鋼材を評価する場合，P_{CM}の方が適切とされているが,両者の式の Mn の係数に着目するとわかるように合金元素の影響が異なっている。江ヶ崎跨線橋の P_{CM} の高さについては，評価に際して注意が必要とも考えられる。合金元素の係数を C の係数とした CEN に着目すると，最も高かったのは 2008 年の SMA490CW(t=34)で 0.418 であり，次いで 2011 年の SM490Y(t=34)が 0.403，江ヶ崎跨線橋は 0.391 となり，Ceq での順序と同じになったが，それらの数値的な差は小さくなっていた。

ところで 1903 年の八敷代橋梁は，製造年次が古いが炭素当量は相対的に低かった。古い鋼材であっても炭素当量は必ずしも高くない場合もあると考えられる。

表 4-4-1　化学成分分析結果

製造年 (橋梁名)	板厚 (mm)	化学成分 (%) C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B	Ceq	P_{CM}	P_N	CEN
1896年古材 (江ヶ崎跨線橋)	31	0.21	0.01	1.02	0.062	0.030	0.03	0.04	0.04	0.002	0.002	0.0001	0.392	0.266	0.362	0.391
1903年古材 (旧八敷代橋梁)	40	0.19	0.04	0.32	0.017	0.059	0.02	0.02	0.01	0.001	0.001	0.0004	0.249	0.211	0.238	0.250
1961年古材 (新宿跨線橋)	10	0.19	0.08	0.60	0.014	0.024	0.12	0.04	0.03	0.004	0.001	0.0001	0.311	0.232	0.272	0.307
2008年 SMA490CW (試験工程2, 3)	27	0.13	0.43	1.31	0.010	0.002	0.31	0.10	0.45	0	0.06	0.0001	0.463	0.256	0.321	0.418
2011年 SM490Y (試験工程4)	34	0.16	0.42	1.43	0.011	0.002	—	0.01	0.02	0.001	0.038	—	0.423	0.251	0.333	0.403
立板SM400 (試験工程1)	12	0.10	0.14	0.70	0.009	0.005	0.01	0.02	0.04	<0.001	<0.001	<0.0001	0.236	0.147	0.190	0.192
立板SM400 (試験工程4)	12	0.18	0.14	0.52	0.009	0.004	—	—	—	—	—	—	0.273	0.211	0.246	0.268
立板SM490A (試験工程4)	12	0.17	0.19	1.31	0.011	0.004	—	—	—	—	—	—	0.396	0.242	0.319	0.381
文献3) E	50	0.16	0.23	1.45	0.015	0.003	0.01	0.02	0.02	0	0	0	0.417	0.242	0.329	0.394
文献3) F	50	0.18	0.38	1.45	0.010	0.002	0.01	0.02	0.02	0	0.06	0	0.446	0.272	0.352	0.439
文献3) G	50	0.17	0.38	1.44	0.110	0.002	0.01	0.02	0.02	0	0.07	0	0.439	0.267	0.420	0.431
文献4) H	50	0.15	0.44	1.50	0.015	0.002	0.01	0.01	0.02	0	0	0	0.423	0.241	0.334	0.389
文献4) I	50	0.16	0.47	1.44	0.010	0.002	0.01	0.01	0.02	0	0.06	0	0.429	0.255	0.336	0.410
文献4) J	50	0.18	0.38	1.46	0.008	0.002	0.01	0.01	0.02	0	0.06	0	0.448	0.273	0.352	0.442

4-4-2. 割れ試験結果

溶接ルート部を起点とするヒールクラックの発生状況を調査するため，マクロ試験を実施した。マクロ断面を観察した結果，割れの疑いのある断面については，マイクロスコープで詳細に観察した。

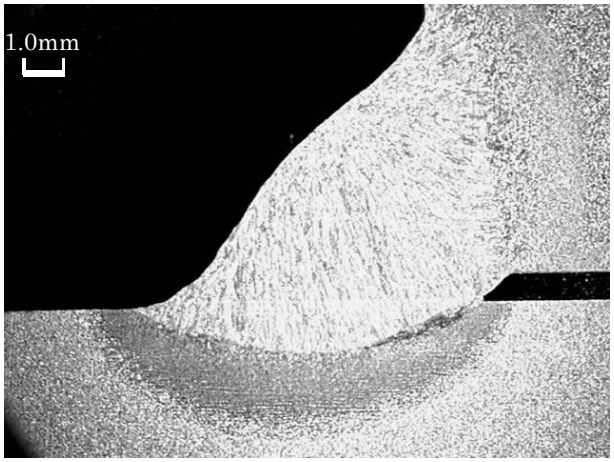
(1) 観察断面

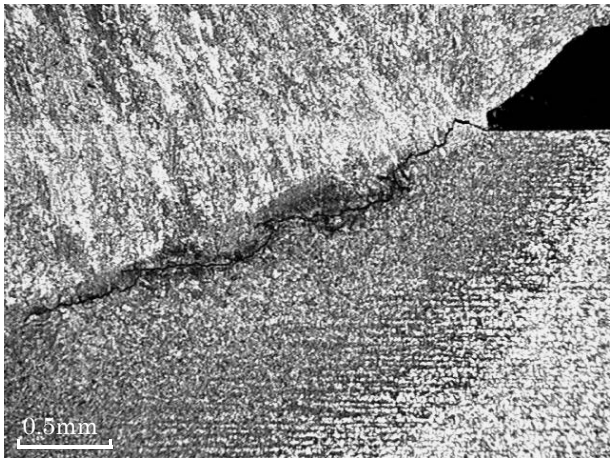
試験工程１では，割れの発生位置に関する傾向などを把握するために，2-E2 と 9-T1 の２体については溶接線全線を 10mm ピッチ(約 50 断面)で調査し，残りの８体については等分割に６つの断面を調査した。試験工程２では，いずれも溶接線全線を 10mm ピッチで調査し，11-E6 と 12-E7 は約 50 断面，13-W1 は約 25 断面を調査した。試験工程３では，既往の研究から割れが生じるのは終端側が多いとの知見を反映し，終端側から 10mm ピッチで５断面を調査した。試験工程４では，いずれの試験体も溶接線全線を等分割に６つの断面で調査した。

(2) 観察結果

試験工程１では，割れのようにも見える試験体が数体あったが，すべてヒールクラックではないと判断した。これらの断面位置には，炭素当量の大小，拡散性水素量の大小，第一ビード／第二ビード，始端側／終端側，などに関する傾向はなかった。なお，試験工程１では 500N/mm^{2}級鋼材用フラックス入りワイヤによる組立溶接を実施したが，組立溶接金属に生じた割れが数体あった。試験工程２と試験工程３では，試験ケース 13-W1，16-W2，17-W3 で明瞭なヒールクラックが確認できたが，試験工程４ではすべての試験体で割れはなかった。

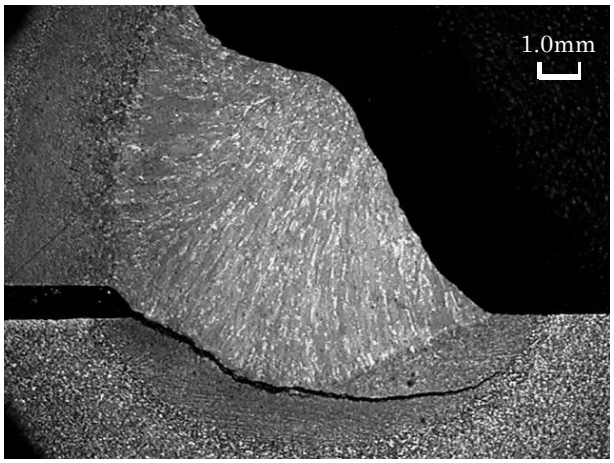
(3) ヒールクラック事例

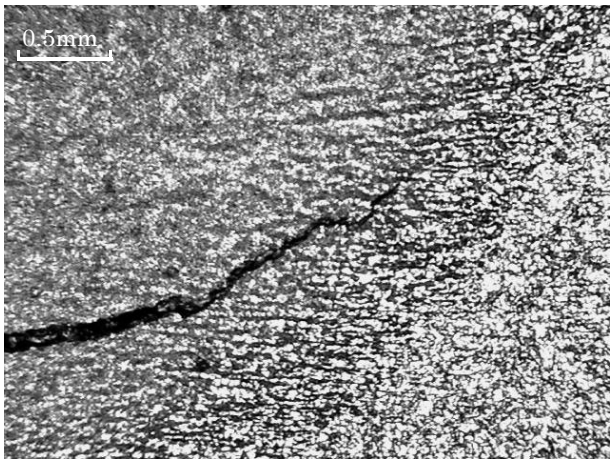




(a) ×25 倍　　(b) ×100 倍

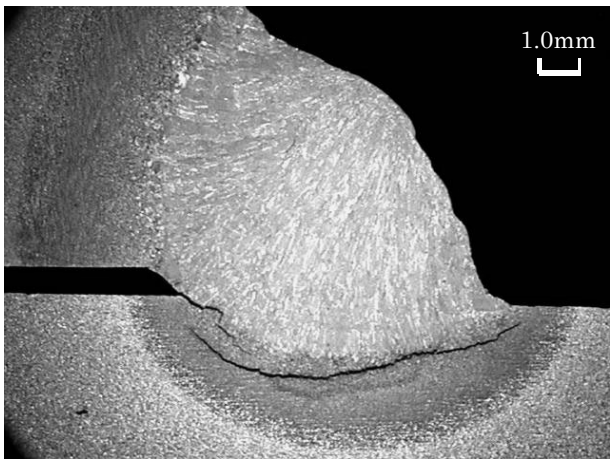
写真 4-4-1　13-W1（第一ビード側，始端側から 180mm 位置，溶接線長 250mm）

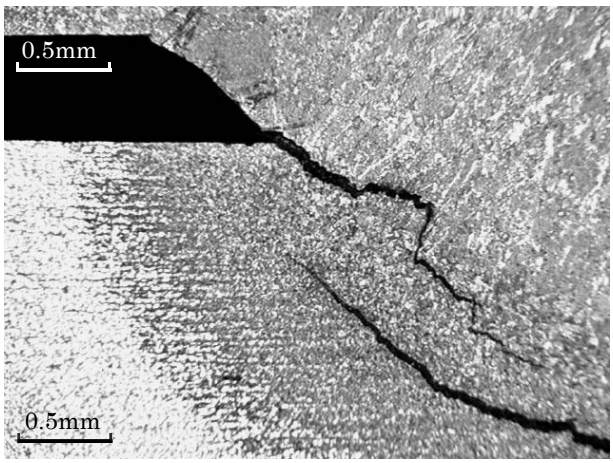




(a) ×25 倍　　(b) ×100 倍

写真 4-4-2　16-W2（第一ビード側，始端側から 240mm 位置，溶接線長 250mm）



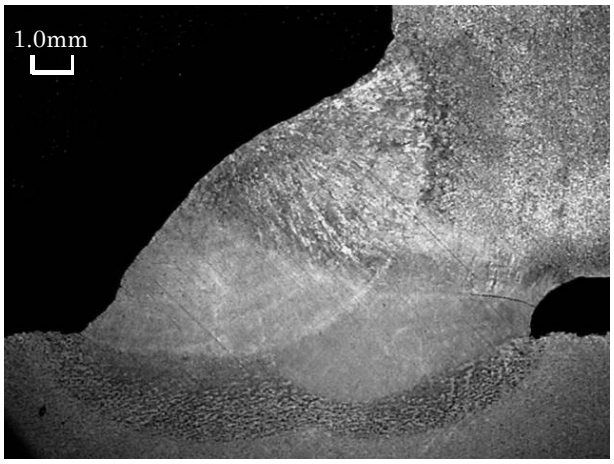


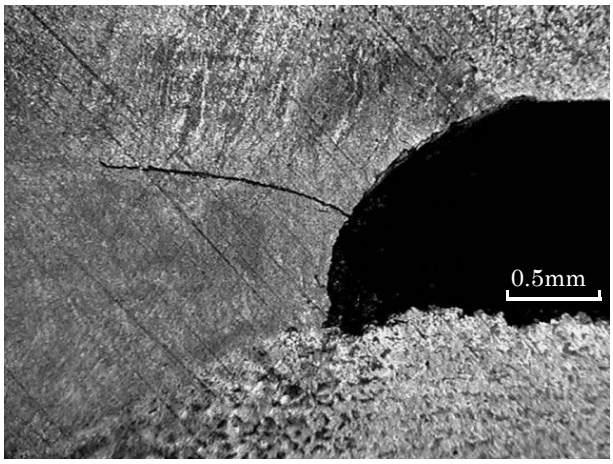
(a) ×25 倍　　(b) ×100 倍

写真 4-4-3　17-W3（第一ビード側，始端側から 220mm 位置，溶接線長 250mm）

(4) 溶接金属の割れ事例

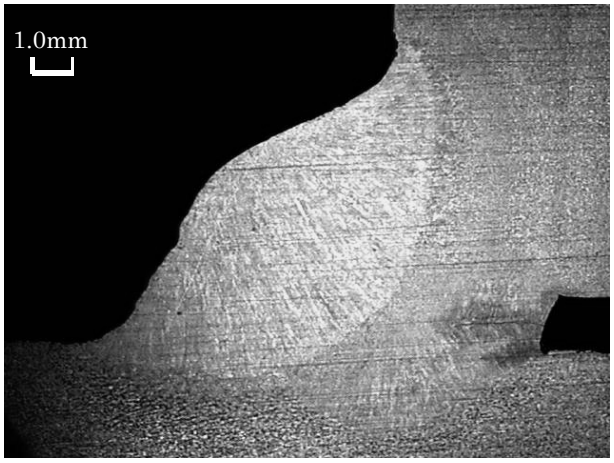
組立溶接金属に生じた割れを写真 4-4-4～4-4-5 に示す。割れは組立溶接内のみにあるため，本溶接の拡散性水素によるものではない。クラックの幅が狭いので，凝固割れではない。すみ肉溶接試験は組立溶接をせずに評価すべきと考えられ，本研究で目的とするヒールクラックとは別のものであるため，これらは割れとして扱わないこととする。

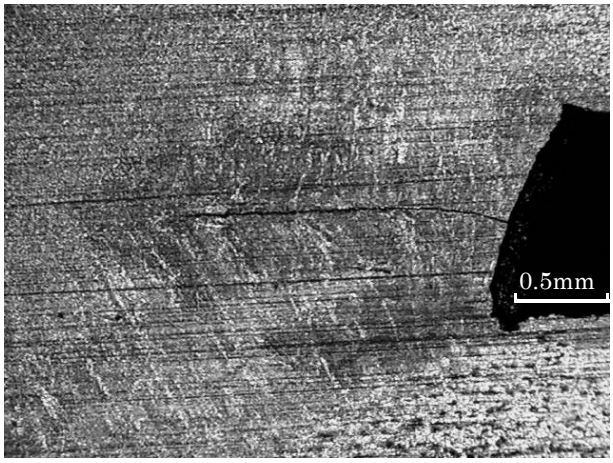




(a) ×25 倍　　(b) ×100 倍

写真 4-4-4　9-T1（第一ビード側，始端側から 90㎜ 位置，溶接線長 500㎜）



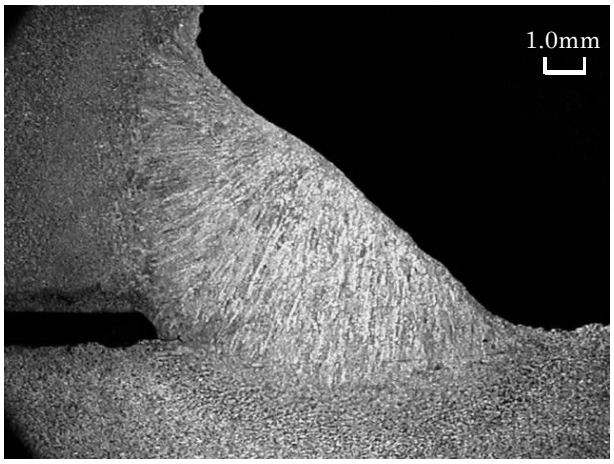


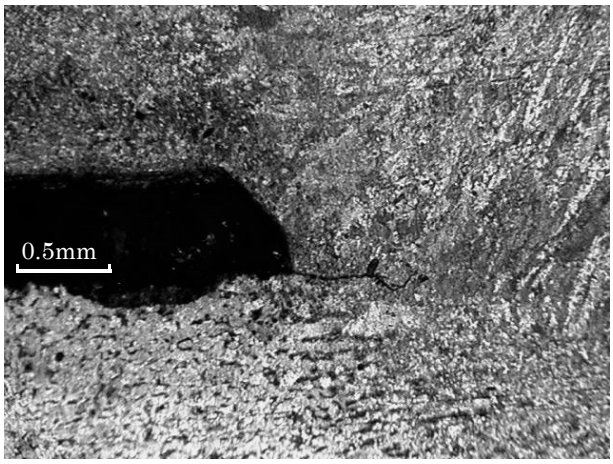
(a) ×25 倍　　(b) ×100 倍

写真 4-4-5　9-T1（第一ビード側，始端側から 100㎜ 位置，溶接線長 500㎜）

(5) マクロエッチのシミ

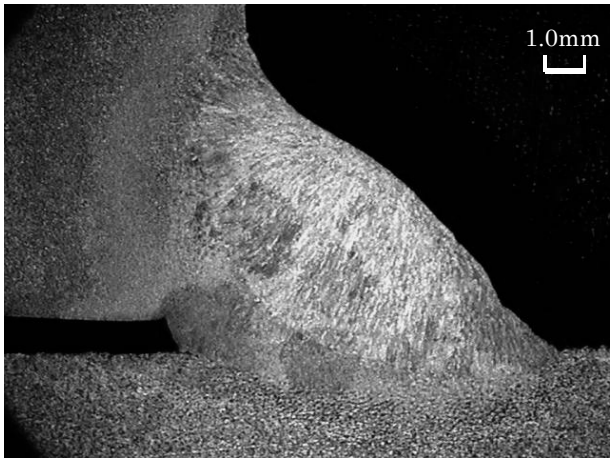
試験工程１で散見された，割れのように見えた事例を写真 4-4-6～4-4-13 に示す。マイクロスコープの写真からは分かりにくいが，顕微鏡で直接確認した結果よりルート部からフュージョンラインに沿って見える筋状の線は，マクロエッチでの腐食液のシミと判定した。

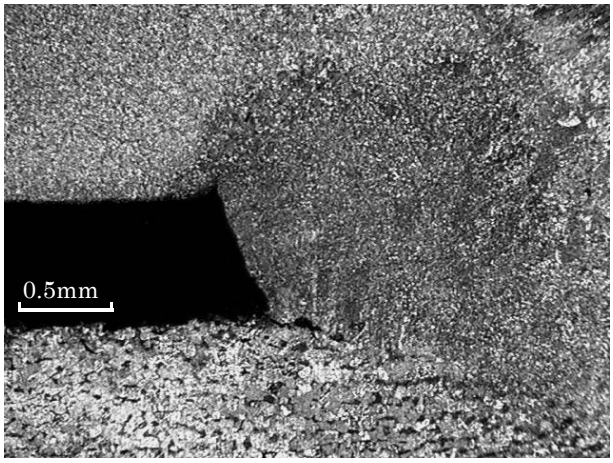




(a) ×25 倍　　(b) ×100 倍

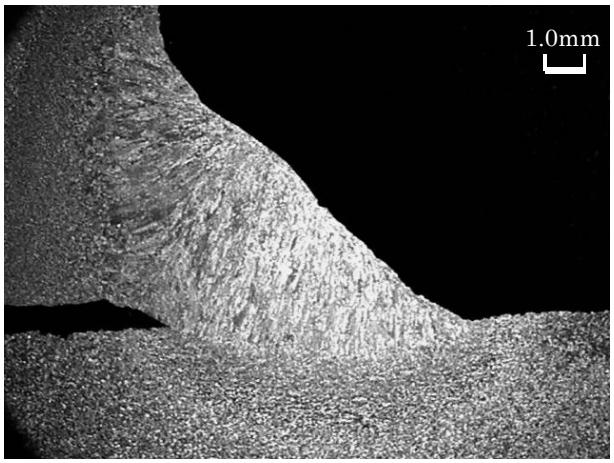
写真 4-4-6　9-T1（第一ビード側，始端側から 380㎜ 位置，溶接線長 500㎜）

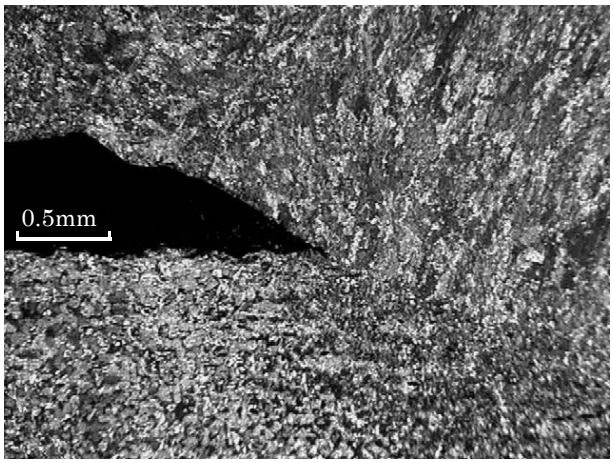




(a) ×25 倍　　(b) ×100 倍

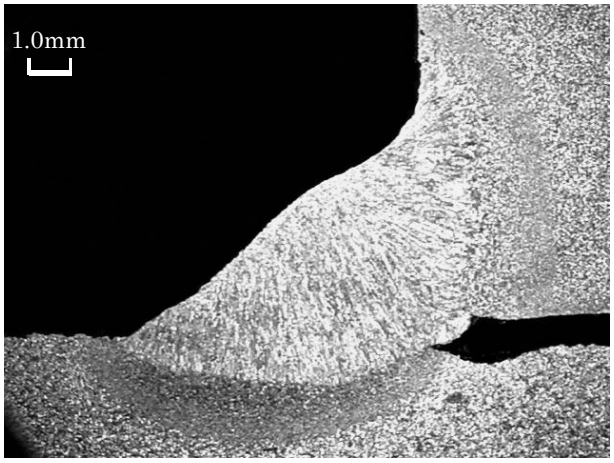
写真 4-4-7　9-T1（第一ビード側，組立溶接，始端側から 390㎜ 位置，溶接線長 500㎜）

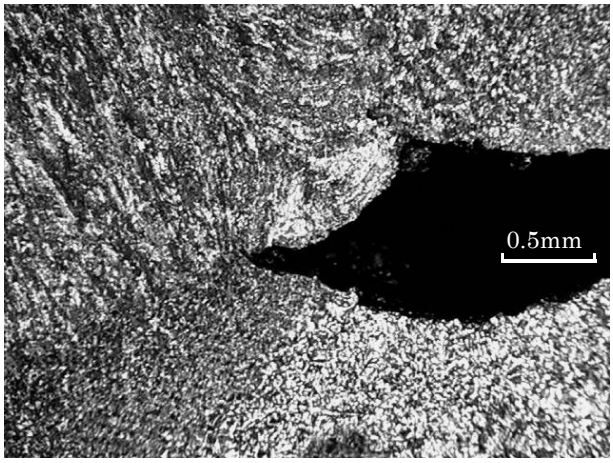




(a) ×25 倍　　(b) ×100 倍

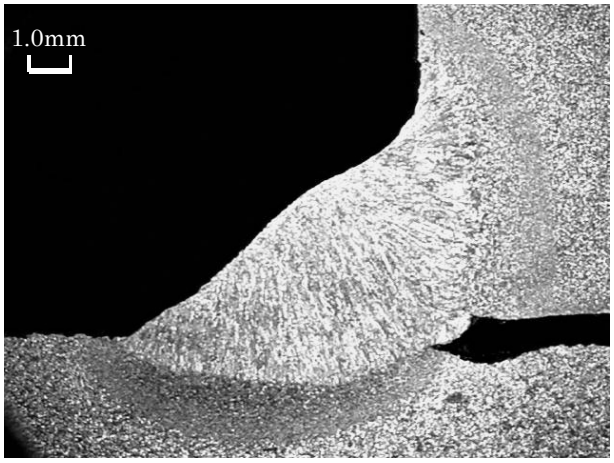
写真 4-4-8　10-T2（第一ビード側，始端側から 230㎜ 位置，溶接線長 500㎜）

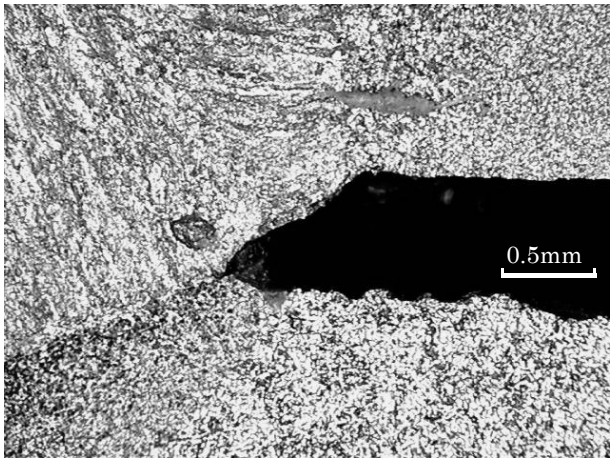




(a) ×25 倍　　(b) ×100 倍

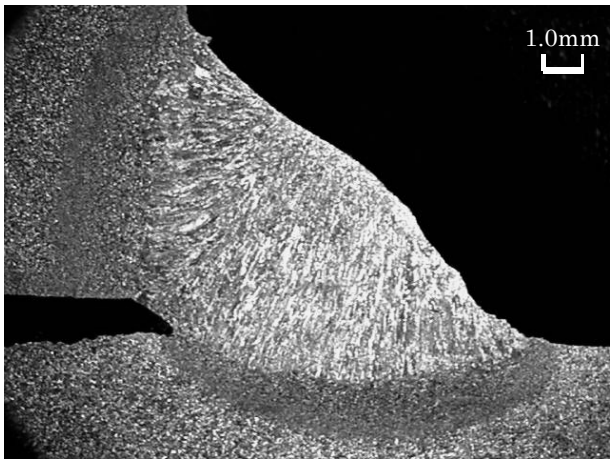
写真 4-4-9　1-E1（第二ビード側，始端側から 370㎜ 位置，溶接線長 500㎜）

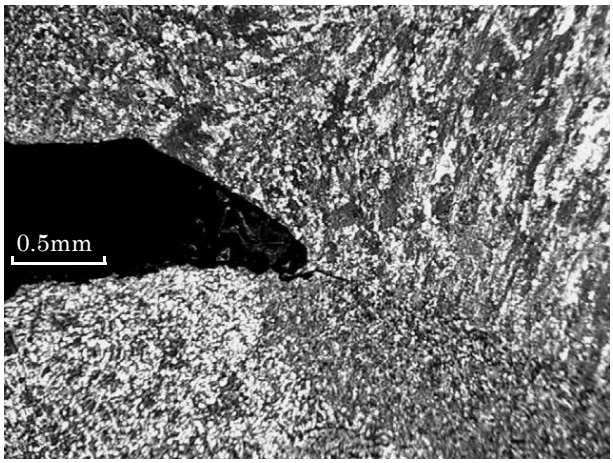




(a) ×25 倍　　(b) ×100 倍

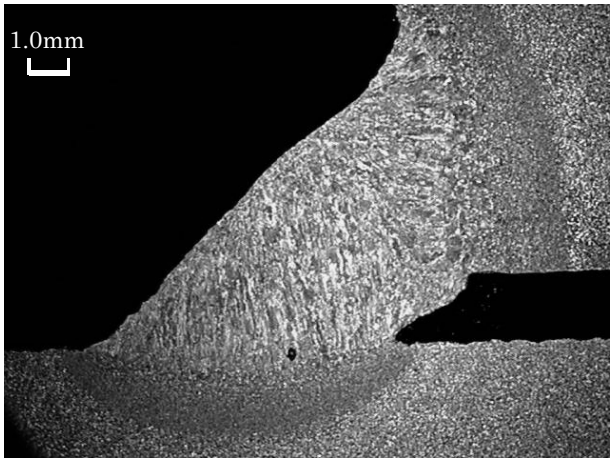
写真 4-4-10　3-E3（第一ビード側，始端側から 290㎜ 位置，溶接線長 500㎜）

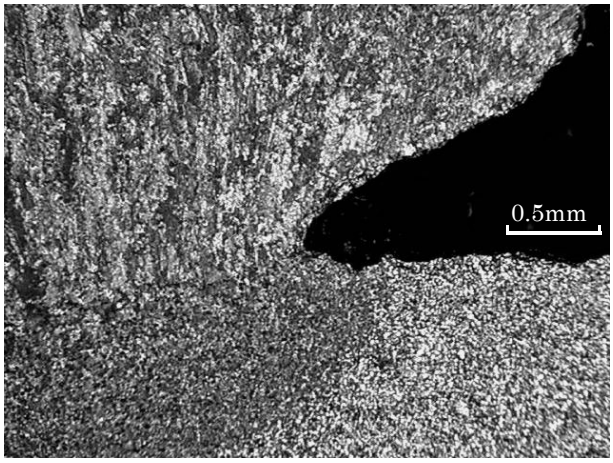




(a) ×25 倍　　(b) ×100 倍

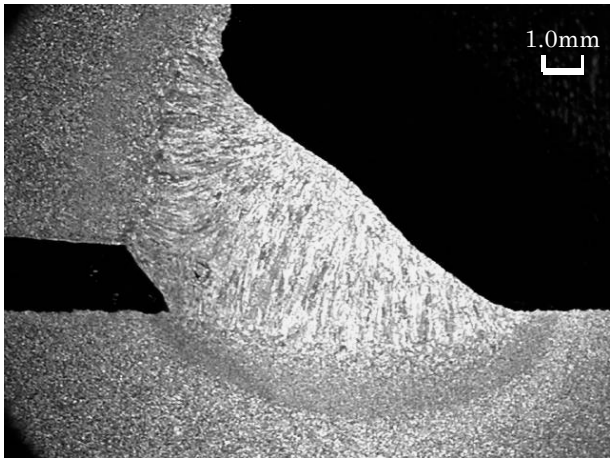
写真 4-4-11　3-E3（第一ビード側，始端側から 370mm 位置，溶接線長 500mm）

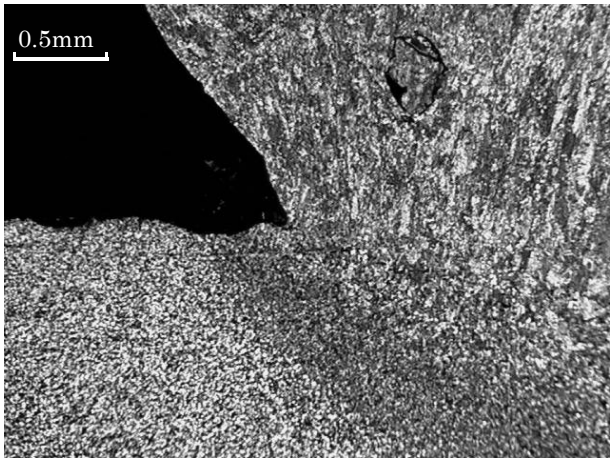




(a) ×25 倍　　(b) ×100 倍

写真 4-4-12　7-S3（第一ビード側，始端側から 450mm 位置，溶接線長 500mm）





(a) ×25 倍　　(b) ×100 倍

写真 4-4-13　8-S4（第二ビード側，始端側から 450mm 位置，溶接線長 500mm）

4-4-3. 考察

本実験での結果の一覧を表 4-4-2 に示す。通し番号 27 番以降は，同様のすみ肉溶接試験を実施した文献 3,4)の結果であり，これらをあわせて考察する。

(1) 炭素当量の影響

本実験で割れが確認されたのは，13-W1，16-W2，17-W3 の３体であり，すべて同じ鋼材（500 材：SMA490CW）である。この鋼材 4-4-1 で述べたように CEN や Ceq で整理するといずれも本実験の材料の中では最も高かった材料であるが，P_{CM}は相対的に高くないものである。そこで，まず，鋼材の炭素当量の影響を確認するために，Ceq-CEN 関係，P_{CM}－CEN 関係，P_N－CEN 関係を求め，これを図 4-4-1 に示す。図中のプロットは，溶接材料の強度（引張強さの規格値が 430N/mm^{2}級，490N/mm^{2}級，570N/mm^{2}級）と，参考文献 3),4)のデータを区分してまとめた。

(a)の Ceq－CEN 関係では，割れが生じた中実プロットは右上の領域に位置しており，CEN が高い場合，又は Ceq が高い場合は，溶接割れが生じる危険があると言える。(b)の P_{CM}－CEN 関係では，P_{CM}が 0.266 の旧江ヶ崎跨線橋撤去部材が割れなかったため，縦軸の相関がよくない。同様に，(c)の P_N－CEN 関係においても，縦軸の相関がよくない。本実験では割れが生じた結果が少ないながら，鋼材の炭素当量を評価するパラメータとしては Ceq と CEN の相関が良く，合金元素の添加量が異なる鋼材の評価を行っていることから CEN での評価が適切と考えられる。言い換えると，現在の鋼材と合金元素の添加量が異なる場合は，低温割れ感受性組成として P_{CM}を用いて評価することは適切ではない場合もあると言える。

(2) 拡散性水素量の影響

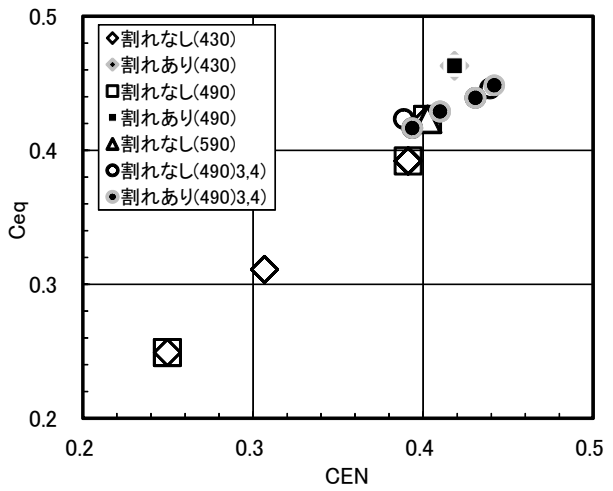
2-2-3 で述べたように，低温割れに影響を及ぼす因子の一つに拡散性水素量がある。(1)で示したように，炭素当量のパラメータとしては CEN が適切と考えられるため，拡散性水素量と CEN の関係について整理し，これを図 4-4-2 に示す。本実験では水素量の多いイルミナイト系溶接棒で割れずに，水素量の少ない低水素系溶接棒で割れが生じた。したがって，(a)では有意な傾向が見られないが，低水素系溶接棒のデータに限ると，(b)に示すように図中の右上の領域で割れが生じ，左下の領域では割れない傾向があるようにも見受けられる。イルミナイト系溶接棒の拡散性水素量が相対的に高いことは知られているが，割れが生じなかった原因については，さらなる調査が必要と考えられる。

(3) 拘束度の影響

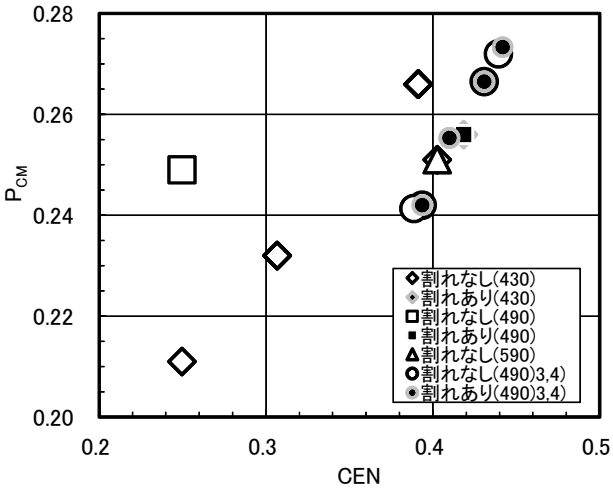
4-2 に示した，FEM で求めた拘束度を用いて実験結果を整理し，これを図 4-4-3 に示す。試験体形状がタイプ２のものは拘束度が高いが，旧江ヶ崎跨線橋の試験ケース(拘束度：1,726N/mm・mm)で割れが生じていないため，有意な傾向が見いだしにくいものとなった。本実験で実施したすみ肉溶接割れ試験では，拘束の高さよりも立板の適度な縦曲がり変形が影響するとも考えられ，拘束度との相関は小さいとも考えられる。

表 4-4-2 実験結果一覧

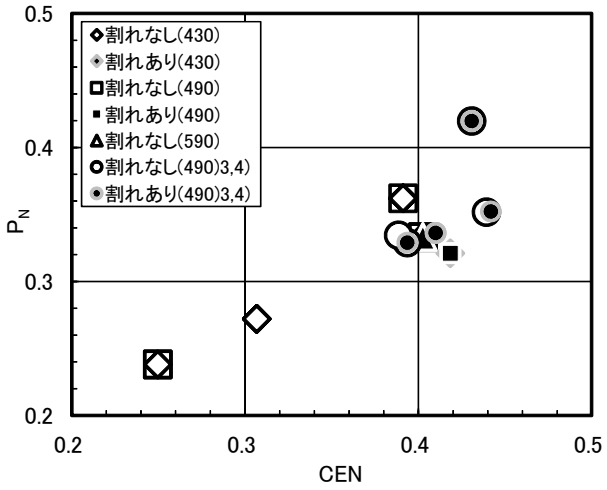
試験ケース	通し番号	試験工程	供試鋼材						継手の拘束度							拡散性水素量							割れ
									底板		立板	試験体形状		第一B	組立溶接	FEM	溶接材料			溶接環境		水素量	
			P_{CM}	C_{eq}	P_N	CEN	橋梁名	製作年	板厚 (mm)	強度 (N/mm^2)	強度 (N/mm^2)	ギャップ (mm)	溶接長 (mm)	入熱量 (kJ/mm)		拘束度 (N/mm·mm)	JIS規格 (Z3211)	強度 (N/mm^2)	被覆材	乾燥状態	温度 (℃)	湿度 (%)	ml/100g	
1-E1	1	1	0.266	0.392	0.362	0.391	旧江ヶ崎跨線橋	1896年	31	400相当	400	1.45	500	1.4	あり	416.5	E4319	430	イルミナイト系	乾燥	35	80	42	無
2-E2	2											1.15	500	1.3						吸湿			43	無
3-E3	3											0.72	500	1.3						乾燥	5	75	36	無
3-E4	4											0.95	500	1.4						吸湿			41	無
5-S1	5		0.232	0.311	0.272	0.307	新宿跨線橋	1961年	10	400相当		0.83	500	1.5		87.4				乾燥	35	80	42	無
6-S2	6											0.97	500	1.4						吸湿			43	無
7-S3	7											0.93	500	1.3						乾燥	5	75	36	無
8-S4	8											1.15	500	1.3						吸湿			41	無
9-T1	9		0.211	0.249	0.238	0.250	旧八敷代橋梁	1903年	40	400相当		0.95	500	1.4		668.2				吸湿	35	80	43	無
10-T2	10											0.75	500	1.4						吸湿	5	75	41	無
11-E6	11	2	0.266	0.392	0.362	0.391	旧江ヶ崎跨線橋	1896年	31	400相当	400	0.97	250	2.0	なし	1726.4	E4319	430	イルミナイト系	吸湿	21	79	(43)	無
12-E7	12											1.14	250	1.7										無
13-W1	13		0.256	0.463	0.321	0.418	SMA490CW	2008年	27	490		1.00	250	1.5		1582.4								有
14-T3	14	3	0.211	0.249	0.238	0.250	旧八敷代橋梁	1903年	40	400相当	400	1.00	250	2.5	なし	1699.6	E4916	490	低水素系	吸湿	33	78	(7.5)	無
15-T4	15											1.58	250	2.4										無
16-W2	16		0.256	0.463	0.321	0.418	SMA490CW	2008年	27	490	490Y	1.20	250	2.3		1582.4								有
17-W3	17											1.10	250	2.6										有
18-E8	18	4	0.266	0.392	0.362	0.391	旧江ヶ崎跨線橋	1896年	31	400相当	400	0.67	500	1.3	なし	416.5	E4319	430	イルミナイト系	吸湿	35	80	(43)	無
19-E9	19											0.63	500	1.5			E4916	490	低水素系				7.5	無
20-E10	20											0.80	500	1.6			E4316	430	低水素系				4.3	無
21-K1	21		0.251	0.423	0.333	0.403	SM490YA	2011年	34	490Y	490Y	0.80	500	1.4		465.4	E4319	430	イルミナイト系				(43)	無
22-K2	22											0.87	500	1.9			E4916	490	低水素系				7.5	無
23-K3	23											0.70	500	2.0			E4316	430	低水素系				4.3	無
24-K4	24											1.15	500	1.9			E4916	490	低水素系	乾燥			6.4	無
25-K5	25											0.89	500	2.0			E5916	590	低水素系	吸湿			6.7	無
26-S5	26		0.232	0.311	0.272	0.307	新宿跨線橋	1961年	10	400相当	400	1.15	500	1.4		87.4	E4319	430	イルミナイト系	吸湿			(43)	無
E6HN	27	—	0.242	0.417	0.329	0.394	文献3,4)	2005年	50	490相当	570相当	1	500	1.4	なし	810.6	(W2)	490相当	(SMAW用)	乾燥	20	60	11	無
E6SN	28											1	500	1.4			(W3)	490相当	(SMAW用)				15	有
F6N	29		0.272	0.446	0.352	0.439			50	490相当		1	500	1.3			(W1)	490相当	(GMAW用)				5	無
G6N	30		0.267	0.439	0.420	0.431			50	490相当		1	500	1.3			(W1)	490相当	(GMAW用)				5	無
G6SN	31											1	500	1.4			(W3)	490相当	(SMAW用)				15	有
G6HN	32											1	500	1.4			(W2)	490相当	(SMAW用)				11	有
H6H-F	33	—	0.241	0.423	0.334	0.389	文献3,4)	2007年	50	490相当	570相当	1	500	1.4	なし	810.6	(H)	490相当	(SMAW用)	乾燥	20	60	15	無
I6M-F	34		0.255	0.429	0.336	0.410			50	490相当		1	500	1.4			(M)	490相当	(SMAW用)				11	有
I6N-F	35											1	500	1.4			(N)	490相当	(SMAW用)				12	有
I6H-F	36											1	500	1.4			(H)	490相当	(SMAW用)				15	有
J6N-F	37		0.273	0.448	0.352	0.442			50	490相当		1	500	1.4			(N)	490相当	(SMAW用)				12	有



(a)　Ceq－CEN 関係

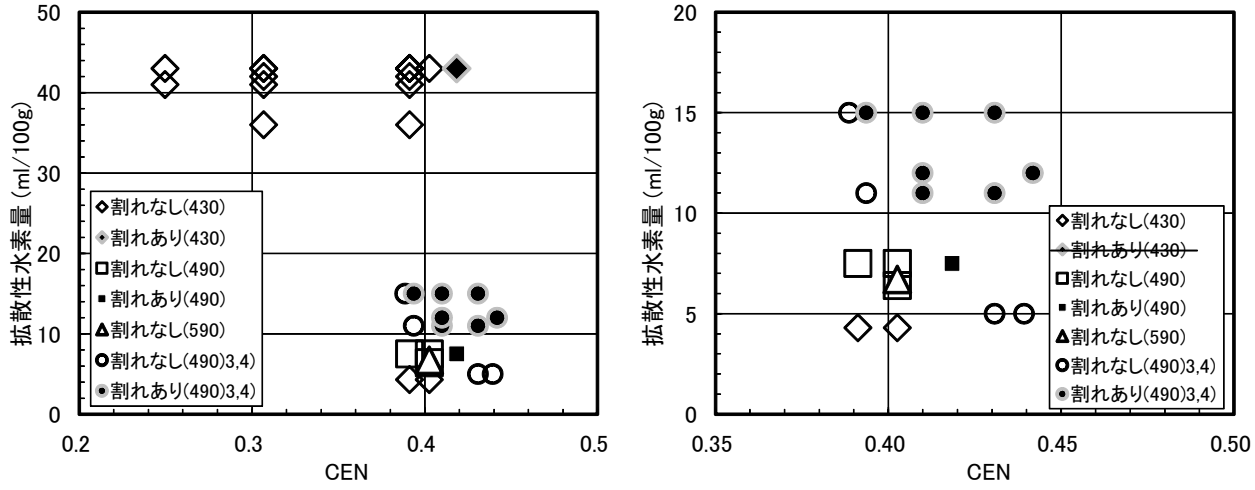


(b)　P_{CM}－CEN 関係



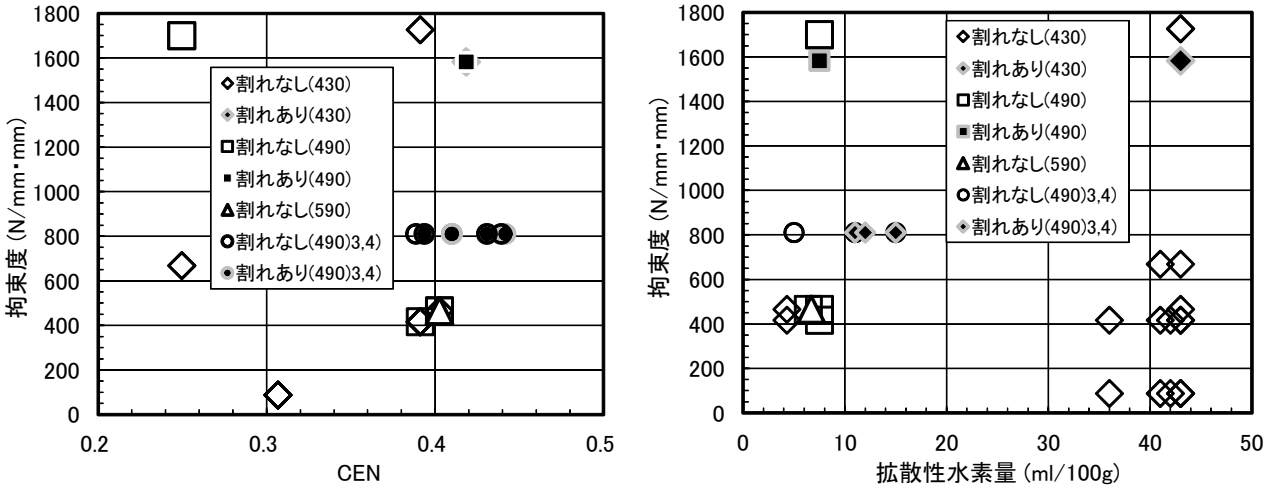
(c)　PN－CEN 関係

図 4-4-1　炭素当量の影響



(a)　全データ　　(b)　低水素系溶接棒抜粋

図 4-4-2　拡散性水素量－CEN 関係



(a)　拘束度－CEN 関係　　(b)　拘束度－拡散性水素量関係

図 4-4-3　拘束度に対する影響

参考文献

1) 日本海事協会：鋼船規則検査要領，M 編 溶接，M4.3 すみ肉溶接試験，pp.9-10，2009.4.
2) 田中甚吉,北田豊文:初層すみ肉溶接の変形割れ挙動とその割れ防止施工条件の選定,溶接学会誌,第 49 巻　第 1 号，pp.45-52，1980.
3) 南邦明，糟谷正，三木千壽：道路橋示方書におけるすみ肉溶接サイズの基準の考察，溶接学会論文集，第 23 巻 第 2 号，pp.422-430，2005.8
4) 南邦明，糟谷正，三木千壽：鋼橋製作におけるすみ肉溶接予熱条件の考察，溶接学会論文集，第 25 巻 第 1 号，pp.10-17，2007.
5) 田中甚吉，北田豊文：すみ肉溶接割れに関する研究，溶接学会誌，第 41 巻　第 8 号，pp.55-64，1972.
6) 南邦明，糟谷正，三木千壽：すみ肉溶接サイズの規定に関する考察（その 1），土木学会第 58 回年次学術講演会講演集，Ⅰ-151，pp.301-302，2003.9.
7) 木原博，稲垣道夫，堀川一男，栗山良員：50kg/mm^{2}級高張力鋼すみ肉溶接部の割れについて，溶接学会誌，第 39 巻　第 3 号，pp.50-60，1970.
8) 明石重雄，夏目光尋：溶接割れと継手の拘束度について，横河橋梁技報，No.2，pp.39-46，1972.
9) 佐藤邦彦:鋼構造物の局部予熱と溶接割れの防止,溶接学会誌,第 40 巻　第 11 号,pp.82-95,1971.
10) 井藤昭夫，渡辺昇：すみ肉溶接継手の拘束度に関する実験的研究，溶接学会論文集，第 6 巻　第 3 号，pp.18-23，1988.

§5. まとめ

本研究で得られた結論を以下に記す。

(1) 最近の低温割れの発生状況

最近の低温割れの発生状況について橋梁製作工場への調査をした結果，原因や発生頻度については不明な点が多いものの，現在でも発生していることがわかった。製鋼技術の躍進や，被覆アーク溶接から炭酸ガスシールドアーク溶接への移行などにより，低温割れが発生しにくい環境になったと考えられるが，一方で合理化構造が推し進められたことに伴う部材の厚板化や，疲労設計の導入に伴う完全溶込み溶接部の増加などにより，部材の拘束度は高まっている可能性もある。低温割れについては，今後も引き続き注意が必要と考えられる。

(2) 古材を用いたすみ肉溶接割れ試験

鋼材と拡散性水素量を変化させたすみ肉溶接割れ試験を実施した結果，CEN の高い鋼材の試験ケースでヒールクラックが発生した。本実験での供試材料は製造年次が古いものと新しいものが混在していたが，鋼材の炭素当量は CEN で評価するのが適切と考えられる。

しかし，拡散性水素量や拘束度と割れ発生の関係は明瞭ではなく，水素量の高いイルミナイト系溶接棒を使用した場合や，拘束度の高い試験体形状で割れが生じない場合があった。

以上より，古い年代に製造された鋼材であってもその割れ感受性組成によっては，現在の施工管理基準（たとえば溶接材料の乾燥条件）を遵守することにより，溶接割れは発生しないと考えられる。

§6 付録

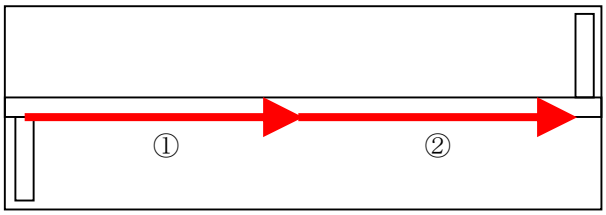
6-1. 溶接割れ試験データシート

試験体 1-E1 データシート

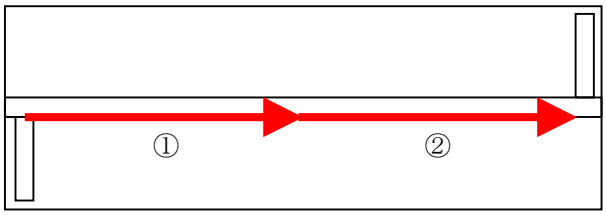
試験体 No.	1-E1　(江ヶ崎跨線橋・乾燥棒)				
使用鋼材		溶接方法	被覆アーク溶接	溶接姿勢	下向き
溶接装置	KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	溶接材料	B-10　(神鋼)	溶 接 工	林

先行側		後行側	
溶接日時	平成２３年　７月２５日１５時１０分	溶接日時	平成２３年　７月２６日１５時１０分
溶接環境	３５℃　　８０％　　天候　晴	溶接環境	３６℃　　８１％　　天候　曇

積 層 図



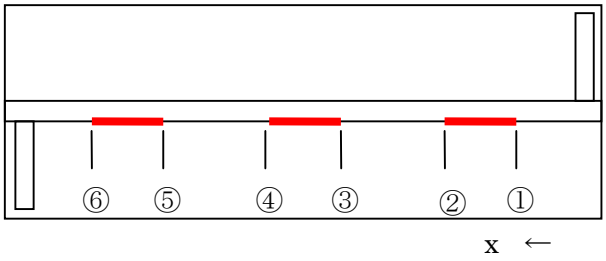
積 層 図



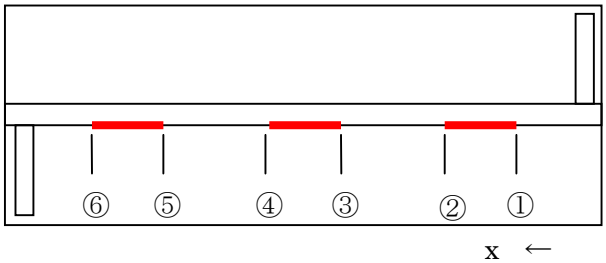
パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	190	40	1'10"	210	2,533	32.8
2	190	40	1'17"	260	2,251	49.0

パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	190	40	1'06"	230	2,181	33.6
2	195	40	1'10"	250	2,184	58.0

計 測 位 置



計 測 位 置



先行側ルート間隔 (mm)

位　置	②	②	③	④	⑤	⑥
計測値	2.0	1.6	1.4	1.3	1.2	1.2

後行側ルート間隔 (mm)

位　置	①	②	③	④	⑤	⑥
計測値	0.9	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0

先行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

位置	X=60	X=220	X=370	X=	X=
長さ	～110	～275	～430		

脚長(幅)	5.0	5.5	6.0	6.0	7.0	6.5
脚長(高)	5.0	5.0	5.5	6.0	6.0	6.5

後行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

位置	X=70	X=230	X=400	X=	X=
長さ	～125	～290	～440		

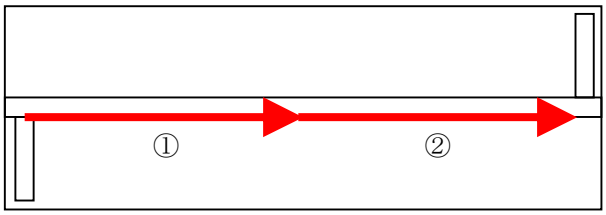
脚長(幅)	6.0	6.0	5.5	7.0	6.0	6.5
脚長(高)	7.0	6.0	5.5	7.0	5.5	6.5

試験体 2-E2 データシート

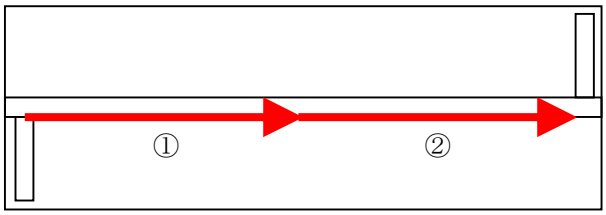
試験体 No.	2-E2　(江ヶ崎跨線橋・吸湿棒)				
使用鋼材		溶接方法	被覆アーク溶接	溶接姿勢	下向き
溶接装置	KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	溶接材料	B-10　(神鋼)	溶 接 工	林

先行側		後行側	
溶接日時	平成２３年　７月２５日１５時２０分	溶接日時	平成２３年　７月２６日１５時２０分
溶接環境	３５℃　　８０％　　天候　晴	溶接環境	３６℃　　８１％　　天候　曇

積 層 図



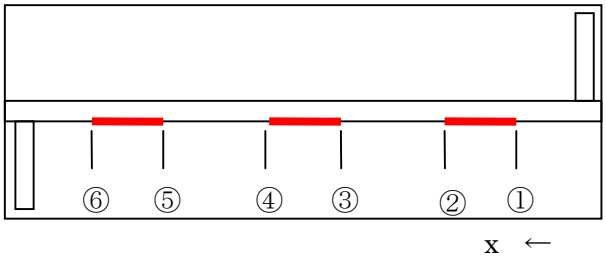
積 層 図



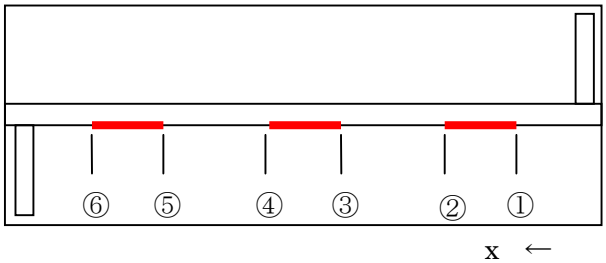
パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	210	40	1'00"	230	2,191	33.5
2	210	40	1'06"	260	2,132	60.2

パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	190	40	1'03"	240	1,995	34.0
2	195	40	1'08"	260	2,040	57.0

計 測 位 置



計 測 位 置



先行側ルート間隔 (mm)

位　置	①	②	⑤	⑤	⑤	⑥
計測値	1.3	1.3	1.0	1.2	1.1	1.0

後行側ルート間隔 (mm)

位　置	①	②	③	④	⑤	⑥
計測値	1.0	0.5	0.7	0.7	0.7	1.0

先行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

位置	X=70	X=230	X=390	X=	X=
長さ	～125	～270	～440		

脚長(幅)	5.0	6.5	6.0	6.5	6.0	6.0
脚長(高)	4.0	6.5	5.0	8.0	5.0	6.0

後行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

位置	X=60	X=230	X=370	X=	X=
長さ	～120	～280	～430		

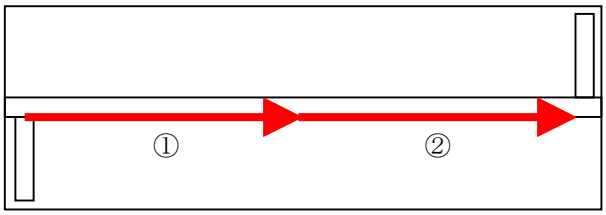
脚長(幅)	5.5	6.0	5.5	7.0	6.0	6.0
脚長(高)	5.0	6.0	5.5	6.5	5.0	6.5

試験体 3-E3 データシート

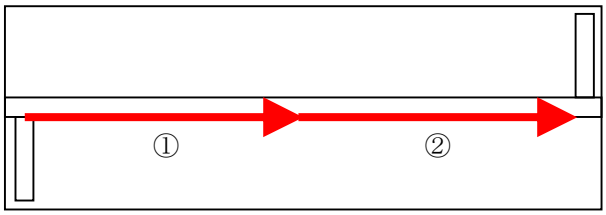
試験体 No.	3-E3　(江ヶ崎跨線橋・乾燥棒)				
使用鋼材		溶接方法	被覆アーク溶接	溶接姿勢	下向き
溶接装置	KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	溶接材料	B-10　(神鋼)	溶 接 工	林

先行側		後行側	
溶接日時	平成２３年　７月２７日１４時３５分	溶接日時	平成２３年　７月２８日１４時２５分
溶接環境	５℃　　７４％　　天候　曇	溶接環境	５℃　　７４％　　天候　曇

積 層 図



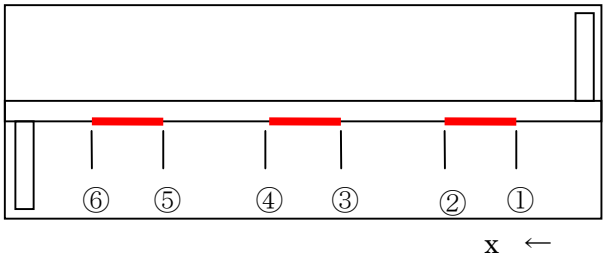
積 層 図



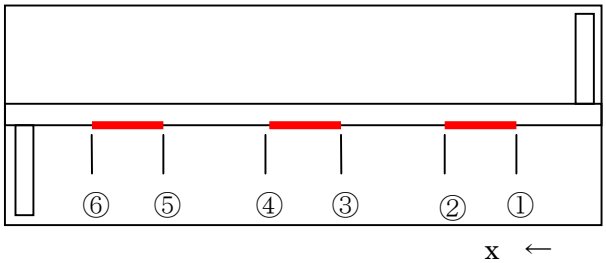
パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	190	40	1'04"	220	2,211	5.6
2	190	40	1'16"	275	2,100	39.3

パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	190	40	1'08"	225	2,297	4.4
2	185	40	1'13"	265	2,038	30.6

計 測 位 置



計 測 位 置



先行側ルート間隔 (mm)

位　置	①	②	⑤	⑤	⑤	⑥
計測値	0.9	0.6	0.5	0.5	0.8	1.0

後行側ルート間隔 (mm)

位　置	①	②	③	④	⑤	⑥
計測値	1.2	1.0	0.8	0.7	0.8	1.0

先行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

位置	X=75	X=230	X=370	X=	X=
長さ	～130	～290	～440		

脚長(幅)	5.5	6.0	6.0	6.5	6.0	6.5
脚長(高)	5.5	5.5	6.0	7.5	5.5	6.5

後行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

位置	X=65	X=210	X=370	X=	X=
長さ	～120	～255	～435		

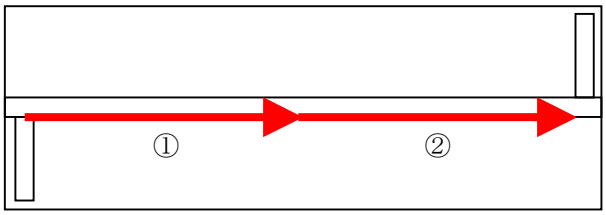
脚長(幅)	5.5	6.0	5.5	6.0	6.0	6.0
脚長(高)	6.5	6.0	5.5	6.5	6.0	7.0

試験体 4-E4 データシート

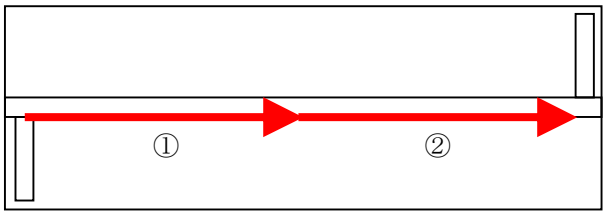
試験体 No.	4-E4　(江ヶ崎跨線橋・吸湿棒)				
使用鋼材		溶接方法	被覆アーク溶接	溶接姿勢	下向き
溶接装置	KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	溶接材料	B-10　(神鋼)	溶 接 工	林

先行側		後行側	
溶接日時	平成２３年　７月２７日１４時１５分	溶接日時	平成２３年　７月２８日１４時０５分
溶接環境	２℃　　７０％　　天候　曇	溶接環境	２℃　　７０％　　天候　曇

積 層 図



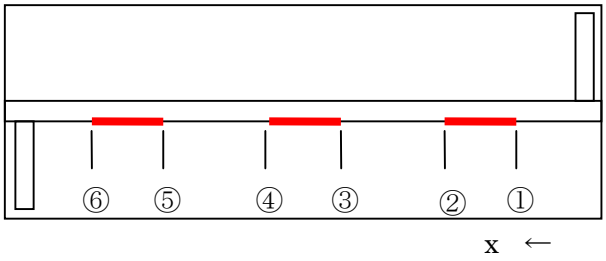
積 層 図



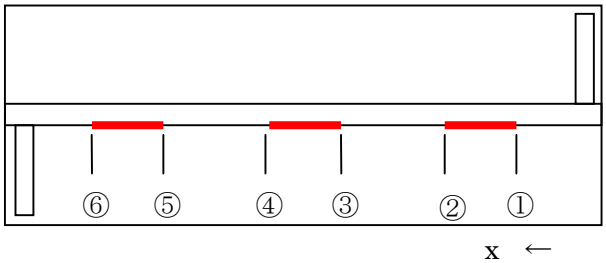
パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	190	40	1'06"	220	2,280	8.8
2	190	40	1'19"	260	2,309	44.0

パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	185	40	1'06"	220	2,220	7.5
2	180	40	1'16"	265	2,105	31.6

計 測 位 置



計 測 位 置



先行側ルート間隔 (mm)

位　置	①	②	③	④	⑤	⑥
計測値	0.8	0.9	0.9	1.1	1.1	0.9

後行側ルート間隔 (mm)

位　置	①	②	③	④	⑤	⑥
計測値	1.1	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0

先行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

位置	X=60	X=225	X=380	X=	X=
長さ	～120	～290	～435		

脚長(幅)	6.0	5.5	7.0	7.0	6.0	6.5
脚長(高)	5.0	6.0	5.5	6.0	6.0	6.5

後行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

位置	X=60	X=220	X=390	X=	X=
長さ	～120	～260	～440		

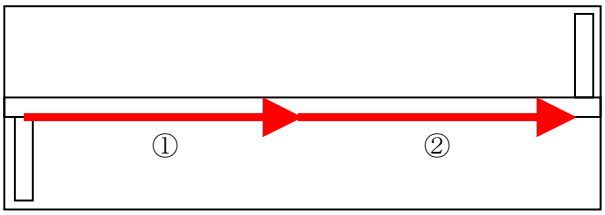
脚長(幅)	6.0	6.5	5.5	6.0	6.0	6.0
脚長(高)	5.5	5.5	6.0	8.0	7.0	7.0

試験体 5-S1 データシート

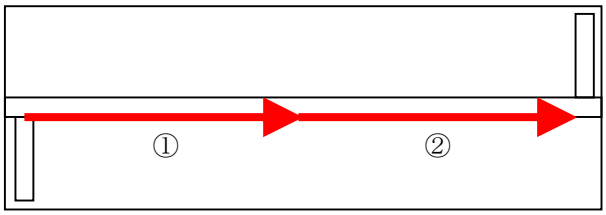
試験体 No.	5-S1　（新宿跨線橋・乾燥棒）				
使用鋼材		溶接方法	被覆アーク溶接	溶接姿勢	下向き
溶接装置	KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	溶接材料	B-10　(神鋼)	溶 接 工	林

先行側		後行側	
溶接日時	平成２３年　７月２５日１５時００分	溶接日時	平成２３年　７月２６日１５時０５分
溶接環境	３５℃　　８０％　　天候　晴	溶接環境	３６℃　　８１％　　天候　曇

積 層 図



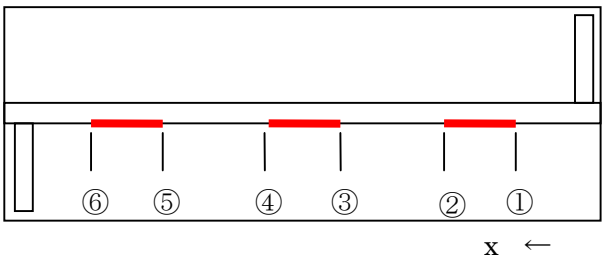
積 層 図



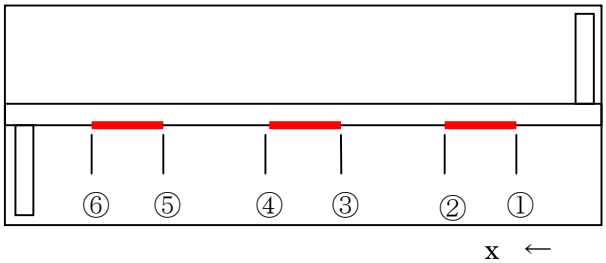
パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	190	40	1’10”	210	2,533	32.8
2	190	40	1’20”	260	2,338	57.0

パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	190	40	1’08”	230	2,247	33.7
2	190	40	1’14”	270	2,083	70.0

計 測 位 置



計 測 位 置



先行側ルート間隔 (mm)

位　置	①	②	③	④	⑤	⑥
計測値	1.4	1.0	0.5	0.5	0.8	0.8

後行側ルート間隔 (mm)

位　置	①	②	③	④	⑤	⑥
計測値	1.2	0.4	0.9	0.5	0.4	0.7

先行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

位置	X=63	X=220	X=378	X=	X=
長さ	～117	～277	～438		

脚長(幅)	6.0	6.5	6.0	6.5	6.0	7.0
脚長(高)	5.5	6.0	5.0	6.0	5.5	6.0

後行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

位置	X=65	X=225	X=392	X=	X=
長さ	～123	～283	～443		

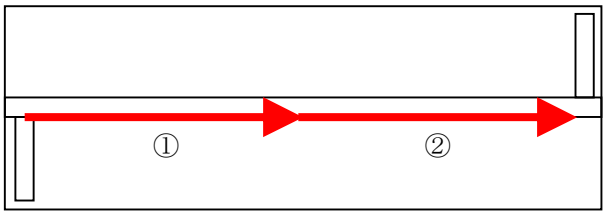
脚長(幅)	5.5	6.0	6.0	6.0	6.5	6.0
脚長(高)	4.5	5.5	5.0	6.5	6.0	6.0

試験体 6-S2 データシート

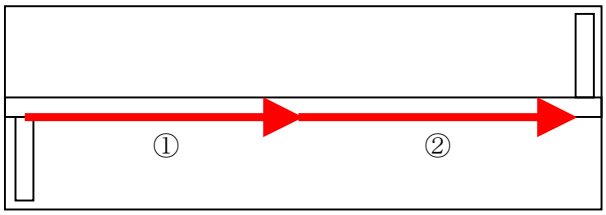
試験体 No.	6-S2　（新宿跨線橋・吸湿棒）				
使用鋼材		溶接方法	被覆アーク溶接	溶接姿勢	下向き
溶接装置	KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	溶接材料	B-10　(神鋼)	溶 接 工	林

先行側		後行側	
溶接日時	平成２３年　７月２５日１５時２５分	溶接日時	平成２３年　７月２６日１５時２０分
溶接環境	３５℃　　８０％　　天候　晴	溶接環境	３６℃　　８１％　　天候　曇

積 層 図



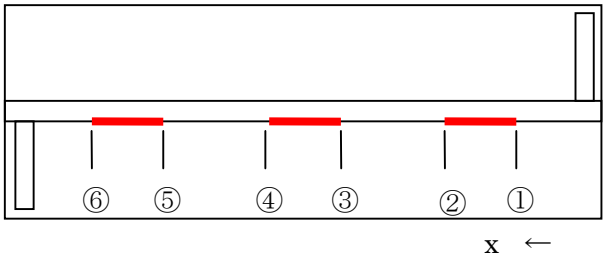
積 層 図



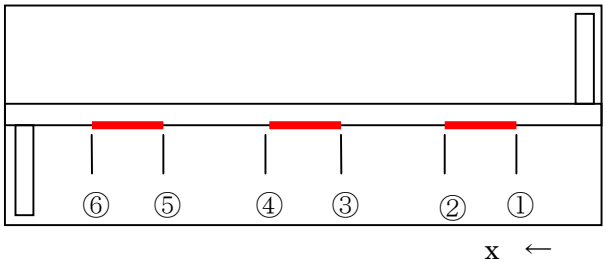
パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	210	40	0'56"	220	2,138	33.9
2	210	40	1'10"	260	2,262	82.4

パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	195	40	1'05"	230	2,204	33.8
2	190	40	1'07"	270	1,886	79.0

計 測 位 置



計 測 位 置



先行側ルート間隔 (mm)

位　置	①	②	③	④	⑤	⑥
計測値	1.6	0.4	0.4	0.6	0.8	2.0

後行側ルート間隔 (mm)

位　置	①	②	③	④	⑤	⑥
計測値	1.7	0.4	0.2	0.2	0.3	0.8

先行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

位置	X=56	X=215	X=390	X=	X=
長さ	～115	～280	～455		

脚長(幅)	6.0	7.0	6.5	7.0	6.0	6.5
脚長(高)	5.0	6.0	5.5	5.5	5.5	6.0

後行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

位置	X=55	X=225	X=387	X=	X=
長さ	～108	～283	～447		

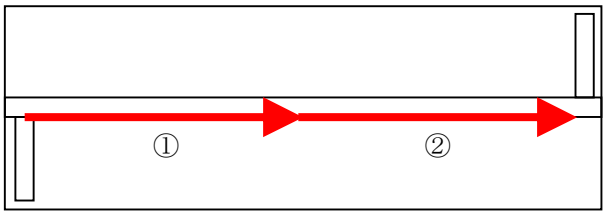
脚長(幅)	5.0	6.0	5.0	5.5	5.0	6.0
脚長(高)	4.0	5.5	5.0	7.0	5.0	6.0

試験体 7-S3 データシート

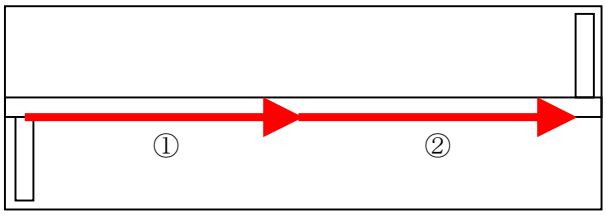
試験体 No.	7-S3　（新宿跨線橋・乾燥棒）				
使用鋼材		溶接方法	被覆アーク溶接	溶接姿勢	下向き
溶接装置	KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	溶接材料	B-10　(神鋼)	溶 接 工	林

先行側		後行側	
溶接日時	平成２３年　７月２７日１４時３０分	溶接日時	平成２３年　７月２８日１４時２０分
溶接環境	５℃　　７４％　　天候　曇	溶接環境	５℃　　７４％　　天候　曇

積 層 図



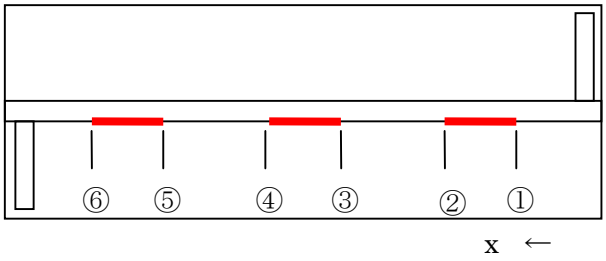
積 層 図



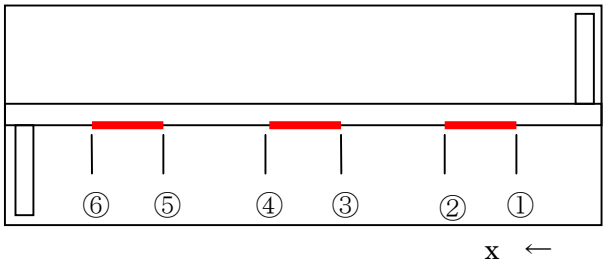
パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	190	40	1'05"	230	2,148	5.5
2	190	40	1'12"	260	1,954	100.2

パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	190	40	1'08"	225	2,297	34.4
2	190	40	1'17"	260	2,251	76.6

計 測 位 置



計 測 位 置



先行側ルート間隔 (mm)

位　置	①	②	③	④	⑤	⑥
計測値	0.8	0.8	1.0	1.0	0.6	1.2

後行側ルート間隔 (mm)

位　置	①	②	③	④	⑤	⑥
計測値	1.3	0.9	1.2	1.2	1.2	1.3

先行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

位置	X=60	X=220	X=390	X=	X=
長さ	～110	～270	～440		

脚長(幅)	5.0	5.5	5.5	7.0	6.5	6.5
脚長(高)	5.5	6.0	5.0	8.0	5.0	6.0

後行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

位置	X=60	X=215	X=380	X=	X=
長さ	～110	～270	～440		

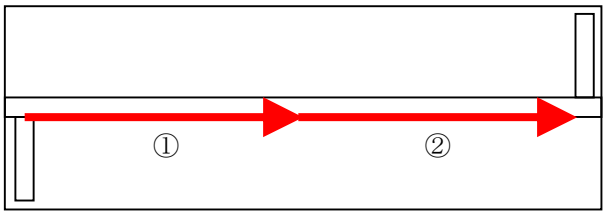
脚長(幅)	5.0	5.0	6.0	6.0	5.5	6.5
脚長(高)	7.0	6.0	5.0	6.0	5.5	6.0

試験体 8-S4 データシート

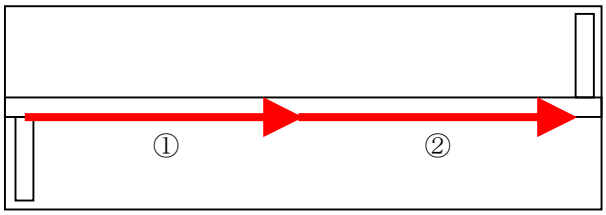
試験体 No.	8-S4　（新宿跨線橋・吸湿棒）				
使用鋼材		溶接方法	被覆アーク溶接	溶接姿勢	下向き
溶接装置	KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	溶接材料	B-10　(神鋼)	溶 接 工	林

先行側		後行側	
溶接日時	平成２３年　７月２７日１４時１０分	溶接日時	平成２３年　７月２８日１４時０８分
溶接環境	２℃　　７０％　　天候　曇	溶接環境	２℃　　７０％　　天候　曇

積 層 図



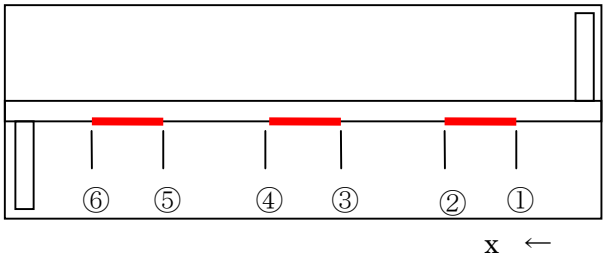
積 層 図



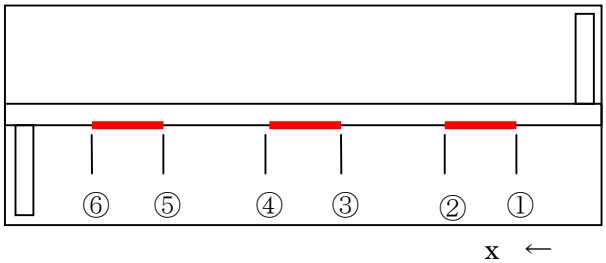
パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	195	40	1’09”	230	2,340	8.4
2	195	40	1’12”	265	2,119	91.0

パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	195	40	1’10”	230	2,374	6.5
2	190	40	1’18”	270	2,196	67.3

計 測 位 置



計 測 位 置



先行側ルート間隔 (mm)

位　置	①	②	③	④	⑤	⑥
計測値	1.9	0.8	0.8	0.8	1.0	1.6

後行側ルート間隔 (mm)

位　置	①	②	③	④	⑤	⑥
計測値	1.5	1.3	1.3	1.1	1.0	1.2

先行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

位置	X=55	X=230	X=400	X=	X=
長さ	～110	～280	～450		

脚長(幅)	6.0	6.0	6.0	6.5	5.5	6.0
脚長(高)	6.0	6.0	5.0	7.0	5.5	5.5

後行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

位置	X=50	X=220	X=390	X=	X=
長さ	～110	～270	～450		

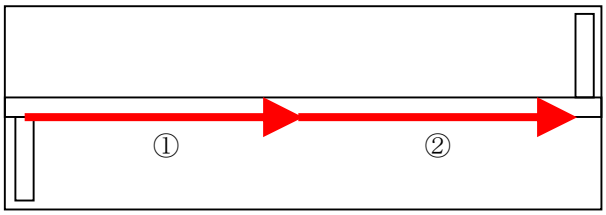
脚長(幅)	6.0	6.0	5.5	6.0	6.5	6.0
脚長(高)	5.0	6.0	5.0	6.5	6.0	6.0

試験体 9-T1 データシート

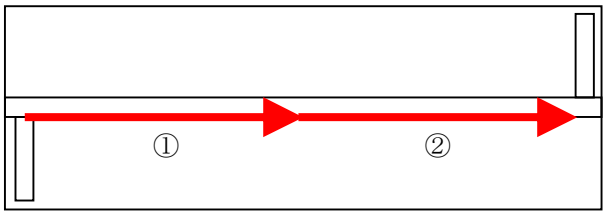
試験体 No.	9-T1　（旧八敷代橋梁（鉄道総研提供材）・吸湿棒）				
使用鋼材		溶接方法	被覆アーク溶接	溶接姿勢	下向き
溶接装置	KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	溶接材料	B-10　(神鋼)	溶 接 工	林

先行側		後行側	
溶接日時	平成２３年　７月２５日１５時１５分	溶接日時	平成２３年　７月２６日１５時２５分
溶接環境	３５℃　　８０％　　天候　晴	溶接環境	３６℃　　８１％　　天候　曇

積 層 図



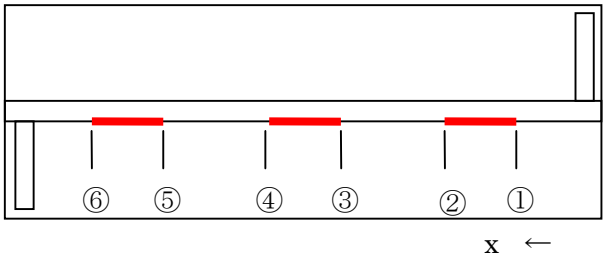
積 層 図



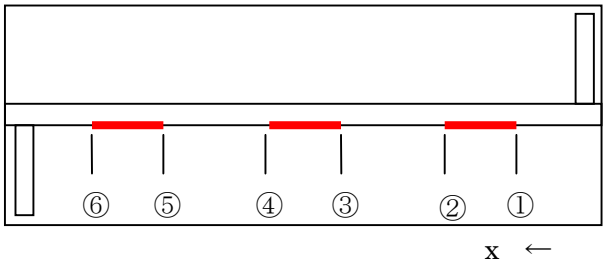
パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	210	40	1'02"	230	2,264	33.3
2	210	40	1'08"	260	2,197	54.8

パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	195	40	1'04"	240	2,080	34.3
2	190	40	1'09"	270	1,942	60.7

計 測 位 置



計 測 位 置



先行側ルート間隔 (mm)

位　置	②	②	③	④	⑤	⑥
計測値	0.8	1.1	0.8	0.8	1.1	1.1

後行側ルート間隔 (mm)

位　置	①	②	③	④	⑤	⑥
計測値	0.7	1.0	0.7	0.7	0.9	0.9

先行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

位置	X=71	X=225	X=385	X=	X=
長さ	～130	～285	～440		

脚長(幅)	5.0	6.0	6.0	7.0	6.0	6.0
脚長(高)	4.0	5.5	5.0	9.0	5.5	6.5

後行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

位置	X=50	X=215	X=380	X=	X=
長さ	～110	～280	～440		

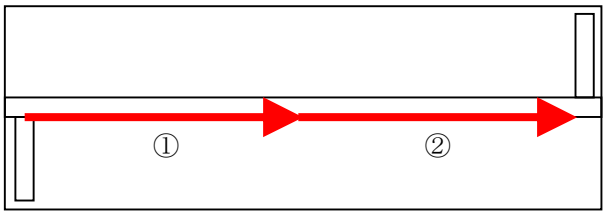
脚長(幅)	5.0	6.0	5.5	7.0	6.5	6.5
脚長(高)	5.0	5.5	5.0	7.5	6.0	6.0

試験体 10-T2 データシート

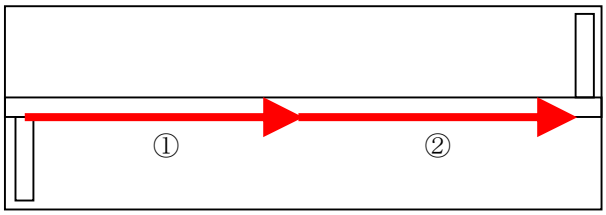
試験体 No.	10-T2　（旧八敷代橋梁（鉄道総研提供材）・吸湿棒）				
使用鋼材		溶接方法	被覆アーク溶接	溶接姿勢	下向き
溶接装置	KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	溶接材料	B-10　(神鋼)	溶 接 工	林

先行側		後行側	
溶接日時	平成２３年　７月２７日１４時２０分	溶接日時	平成２３年　７月２８日１４時００分
溶接環境	２℃　　７０％　　天候　曇	溶接環境	２℃　　７０％　　天候　曇

積 層 図



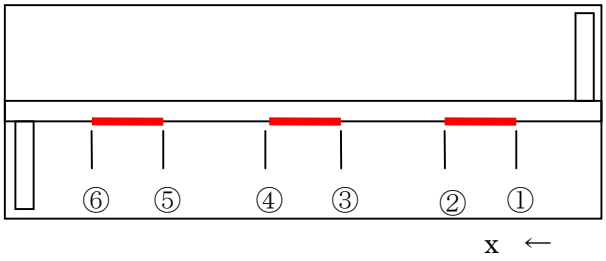
積 層 図



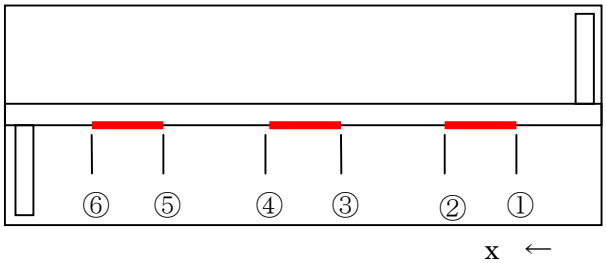
パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	190	40	1’09”	220	2,384	8.6
2	190	40	1’22”	270	2,308	33.8

パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (　)	溶接長 (mm)	入熱量 (J/mm)	温度 (℃)
1	190	40	1’09”	225	2,331	7.0
2	185	40	1’16”	265	2,122	33.0

計 測 位 置



計 測 位 置



先行側ルート間隔 (mm)

位　置	①	②	③	④	⑤	⑥
計測値	0.7	0.6	0.7	0.7	0.9	0.9

後行側ルート間隔 (mm)

位　置	①	②	③	④	⑤	⑥
計測値	1.2	1.2	1.0	1.0	1.2	1.0

先行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

位置	X=65	X=220	X=370	X=	X=
長さ	～120	～280	～435		

脚長(幅)	5.0	6.0	5.5	6.0	6.0	7.0
脚長(高)	5.0	6.0	5.5	7.0	5.5	6.5

後行側組立溶接の位置，長さ，および脚長 (mm)

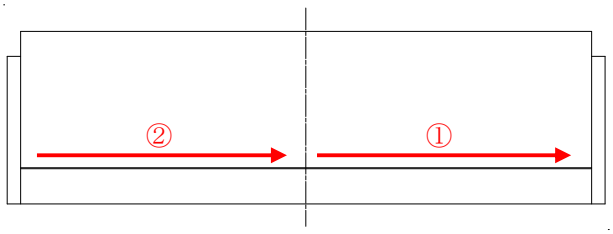
位置	X=65	X=230	X=380	X=	X=
長さ	～130	～290	～440		

脚長(幅)	6.0	7.0	5.0	7.0	6.0	6.0
脚長(高)	5.0	6.0	5.0	8.0	6.0	6.0

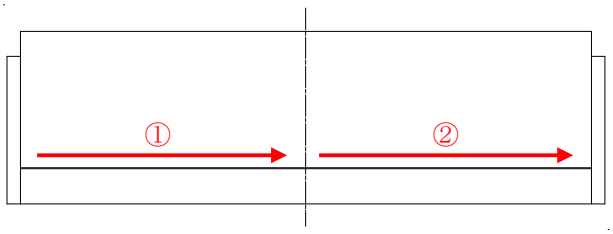
試験体 11-E6, 12-E7 データシート

試験名	試験工程２		試験名	試験工程２	
試験体 No.	試験体 11-E6		試験体 No.	試験体 12-E7	
使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢	使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢
	被覆ｱｰｸ溶接	下向き		被覆ｱｰｸ溶接	下向き
溶接装置	溶接材料	溶接工	溶接装置	溶接材料	溶接工
	B-10（5Φ）			B-10（5Φ）	
試験日時	平成２４年　５月１５日		試験日時	平成２４年　５月１５日	
試験環境	室温 21℃　湿度 79%（雨）		試験環境	室温 21℃　湿度 79%（雨）	

積　層　図



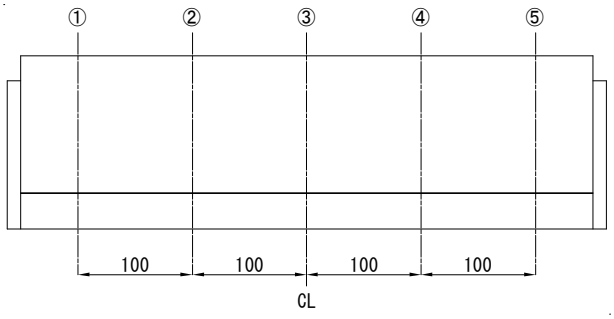
積　層　図



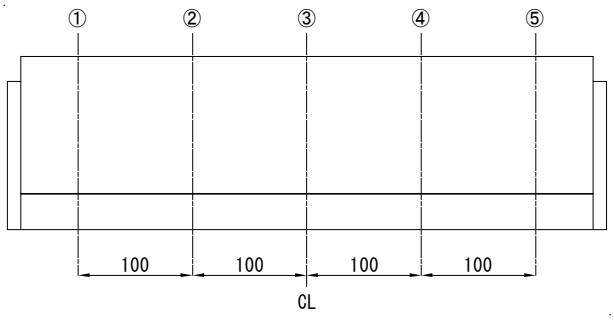
パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (C/M)	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	190	25	1’37”	225	21.5
②	190	25	1’35”	225	－

パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (C/M)	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	205	25	1’08”	210	21.9
②	205	25	1’25”	250	－

計測位置



計測位置



ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	1.2	1.2	1.4	1.2	1.1

ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	1.2	1.1	1.3	1.1	1.0

試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値					

試験ビード脚長（mm）

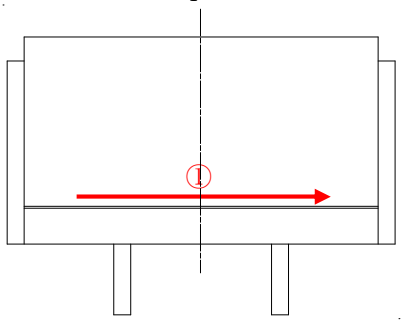
位置	①	②	③	④	⑤
計測値					

試験体 13-W1 データシート

試験名	試験工程２		試験名		
試験体 No.	試験体 13-W1		試験体 No.		
使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢	使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢
高 Ceq	被覆ｱｰｸ溶接	下向き			
溶接装置	溶接材料	溶接工	溶接装置	溶接材料	溶接工
	B-10（5Φ）				
試験日時	平成２４年　５月１５日		試験日時	平成　　年　　月　　日	
試験環境	室温 21℃　湿度 79%（雨）		試験環境	室温　℃　湿度　%（　）	

積　層　図

SMA490CW　Ceq= 46%，Pcm= 26%

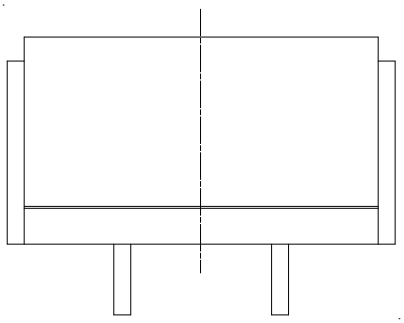


積　層　図

パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (C/M)	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	205	25	1'00"	210	23.3
②	―	―	―	―	―

パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (C/M)	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①					
②					

計測位置



計測位置

ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	―	―	1.0	―	―

ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値					

試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値					

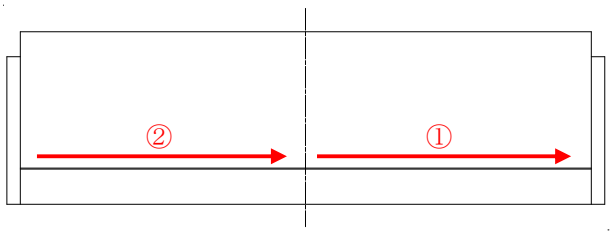
試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値					

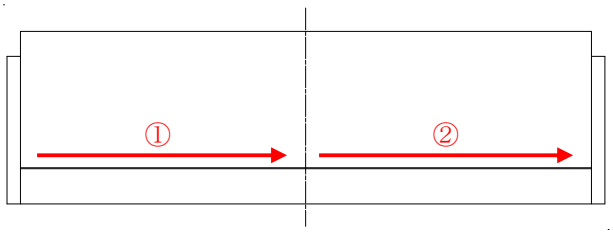
試験体 14-T3，15-T4 データシート

試験名	試験工程３		試験名	試験工程３	
試験体 No.	試験体 14-T3		試験体 No.	試験体 15-T4	
使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢	使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢
Ｔ２先行	被覆ｱｰｸ溶接	下向き	Ｔ２後行	被覆ｱｰｸ溶接	下向き
溶接装置	溶接材料	溶接工	溶接装置	溶接材料	溶接工
	L-55（5Φ）			L-55（5Φ）	
試験日時	平成２４年　８月　１日		試験日時	平成２４年　８月　１日	
試験環境	室温 33℃　湿度 78%（雨）		試験環境	室温 33℃　湿度 78%（雨）	

積　層　図



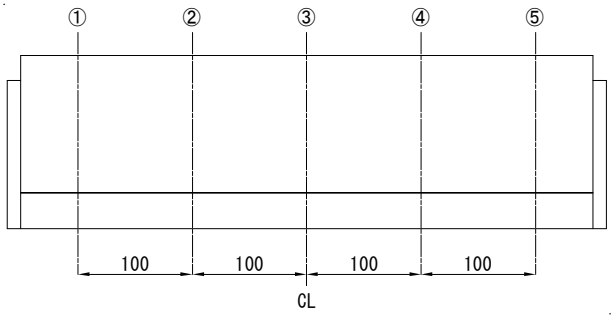
積　層　図



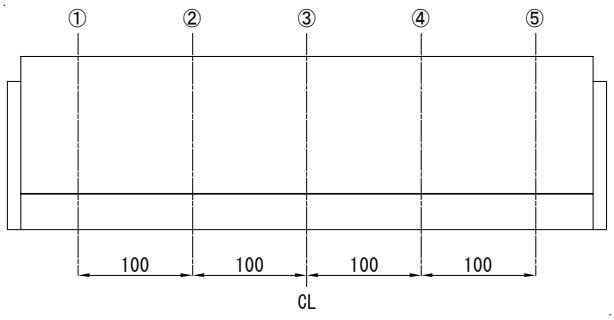
パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (C/M)	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	220	25	1’41”	240	35.3
②	215	25	1’57”	250	－

パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (C/M)	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	215	25	1’52”	240	35.0
②	215	25	1’48”	240	－

計測位置



計測位置



ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	0.3	0.6	1.2	1.4	1.5

ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	1.3	1.6	1.6	1.6	1.8

試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値					

試験ビード脚長（mm）

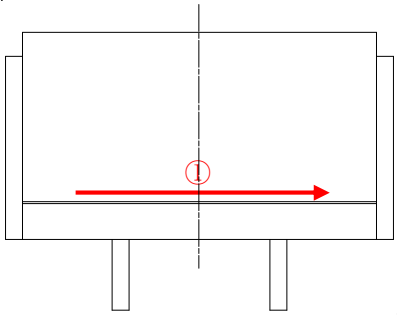
位置	①	②	③	④	⑤
計測値					

試験体 16-W2，17-W3 データシート

試験名	試験工程３		試験名	試験工程３	
試験体 No.	試験体 16-W2		試験体 No.	試験体 17-W3	
使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢	使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢
高 Ceq	被覆ｱｰｸ溶接	下向き	高 Ceq	被覆ｱｰｸ溶接	下向き
溶接装置	溶接材料	溶接工	溶接装置	溶接材料	溶接工
	L-55（5Φ）			L-55（5Φ）	
試験日時	平成２４年　８月　１日		試験日時	平成２４年　８月　１日	
試験環境	室温 33℃　湿度 78%（雨）		試験環境	室温 33℃　湿度 78%（雨）	

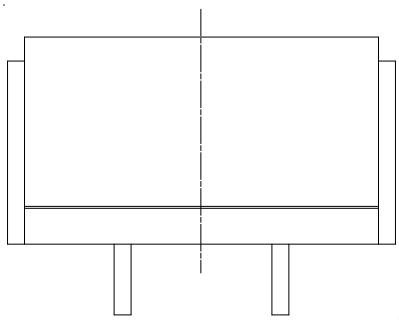
積　層　図

SMA490CW　Ceq= 46%，Pcm= 26%



パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (C/M)	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	215	25	1’39”	230	36.2
②	－	－	－	－	－

計測位置



ルート間隔（mm）

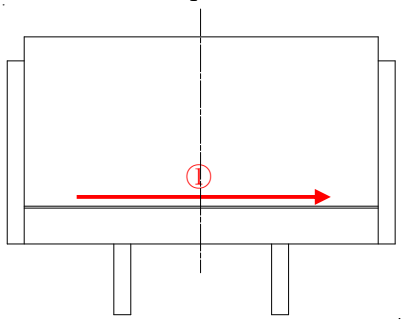
位置	①	②	③	④	⑤
計測値	－	－	1.2	－	－

試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値					

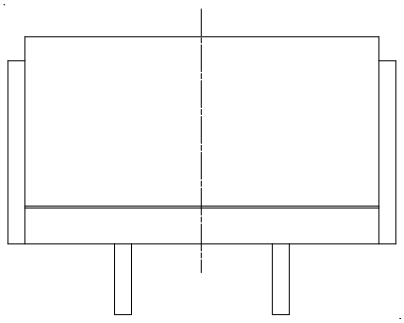
積　層　図

SMA490CW　Ceq= 46%，Pcm= 26%



パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (C/M)	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	215	25	1’54”	240	35.9
②	－	－	－	－	－

計測位置



ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	－	－	1.1	－	－

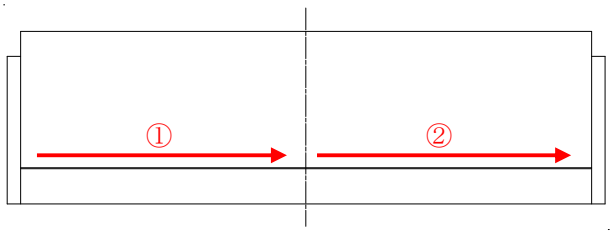
試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値					

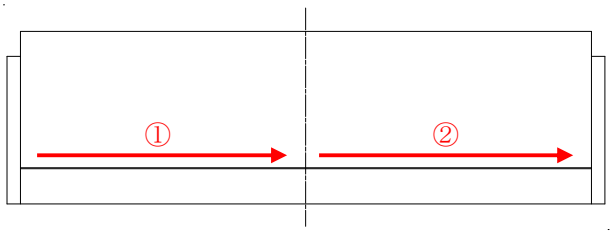
試験体 18-E8 データシート

試験名	試験工程４		試験名	試験工程４	
試験体 No.	試験体　18-E8		試験体 No.	試験体　２Ｅ１	
使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢	使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢
旧江ヶ崎跨線橋	被覆ｱｰｸ溶接	下向き	旧江ヶ崎跨線橋	被覆ｱｰｸ溶接	下向き
溶接装置	溶接材料	溶接工	溶接装置	溶接材料	溶接工
KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	B-10（吸湿）	林　馨一	KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	B-10（吸湿）	林　馨一
試験日時	平成２４年１１月６日		試験日時	平成２４年１１月７日	
試験環境	室温３５℃　湿度８１％（雨）		試験環境	室温３５℃　湿度８１％（晴）	

積　層　図



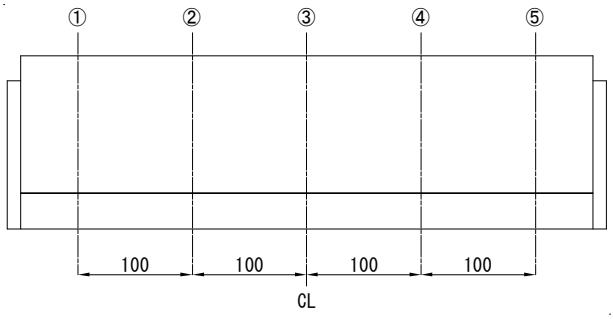
積　層　図



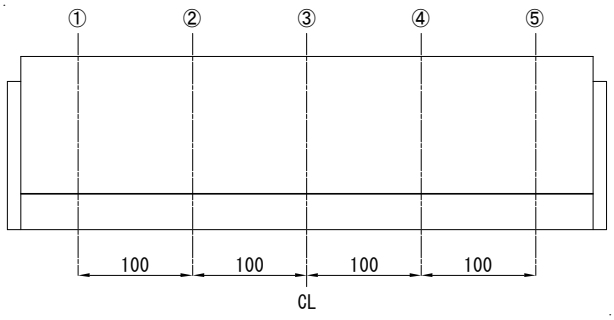
パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (s'm")	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	155	25	1'56"	255	32
②	170	25	1'10"	225	—

パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (s'm")	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	170	25	1'31"	270	32
②	175	25	1'02"	220	—

計測位置



計測位置



ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	0.6	—	0.6	—	1.0

ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	0.8	—	0.5	—	0.5

試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	9.0/5.5	6.0/6.5	8.0/5.0	5.0/6.5	6.0/5.5

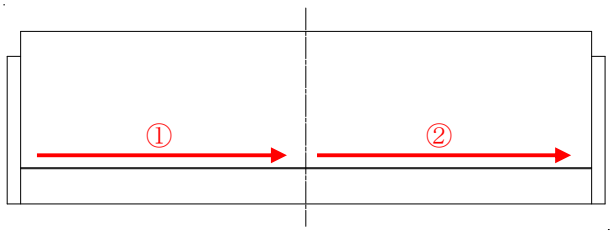
試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	5.5/5.5	4.5/5.0	4.5/5.5	4.5/5.0	4.5/5.0

試験体 19-E9 データシート

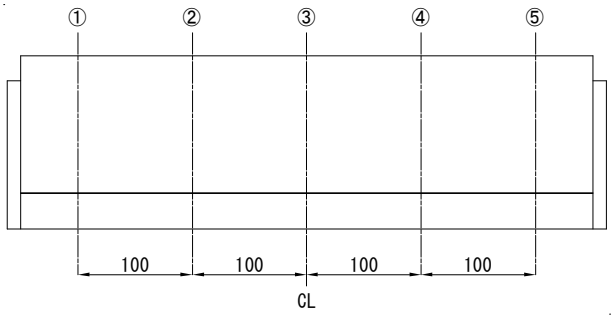
試験名	試験工程４	
試験体 No.	試験体　19-E9	
使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢
旧江ヶ崎跨線橋	被覆ｱｰｸ溶接	下向き
溶接装置	溶接材料	溶接工
KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	L-55（吸湿）	林　馨一
試験日時	平成２４年１１月６日	
試験環境	室温３５℃　湿度８１％（雨）	

積　層　図



パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (s'm")	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	175	25	2'07"	250	36
②	175	25	1'53"	250	—

計測位置



ルート間隔（mm）

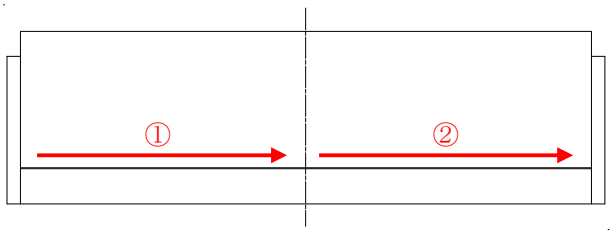
位置	②	②	③	④	⑤
計測値	0.6	—	0.4	—	0.6

試験ビード脚長（mm）

位置	②	②	③	④	⑤
計測値	6.0/7.0	5.5/6.0	5.5/6.5	6.0/6.0	5.0/6.0

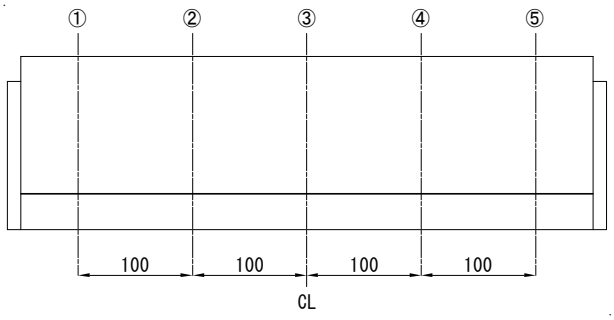
試験体 No.	試験体　２Ｅ２	
使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢
旧江ヶ崎跨線橋	被覆ｱｰｸ溶接	下向き
溶接装置	溶接材料	溶接工
KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	L-55（吸湿）	林　馨一
試験日時	平成２４年１１月７日	
試験環境	室温３５℃　湿度８１％（晴）	

積　層　図



パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (s'm")	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	175	25	2'05"	250	34
②	175	25	2'02"	255	—

計測位置



ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	0.6	—	0.6	—	1.0

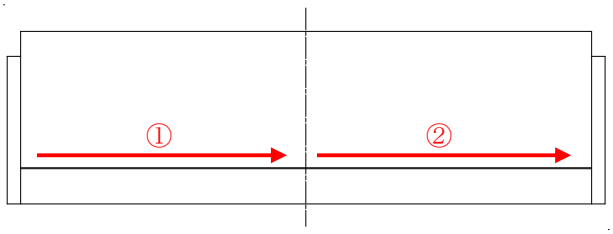
試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	6.0/7.0	5.0/6.0	5.5/6.5	5.0/6.5	5.5/6.5

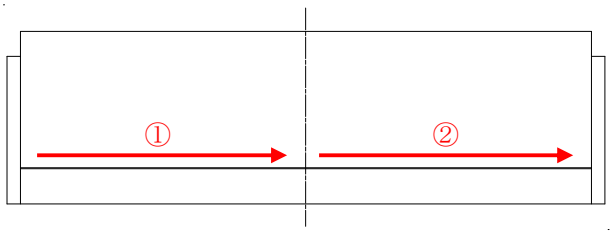
試験体 20-E10 データシート

試験名	試験工程４		試験名	試験工程４	
試験体 No.	試験体　10-E10		試験体 No.	試験体　２Ｅ３	
使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢	使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢
旧江ヶ崎跨線橋	被覆ｱｰｸ溶接	下向き	旧江ヶ崎跨線橋	被覆ｱｰｸ溶接	下向き
溶接装置	溶接材料	溶接工	溶接装置	溶接材料	溶接工
KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	L-43LH（吸湿）	林　馨一	KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	L-43LH（吸湿）	林　馨一
試験日時	平成２４年１１月６日		試験日時	平成２４年１１月７日	
試験環境	室温３５℃　湿度８１％（雨）		試験環境	室温３５℃　湿度８１％（晴）	

積　層　図



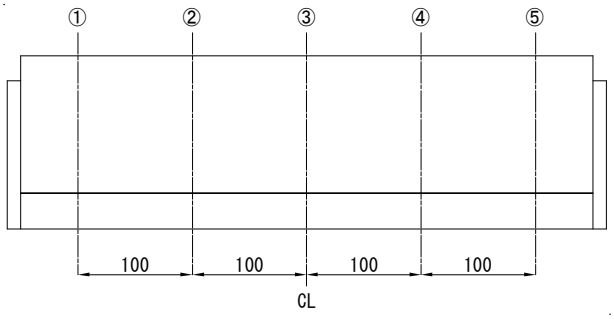
積　層　図



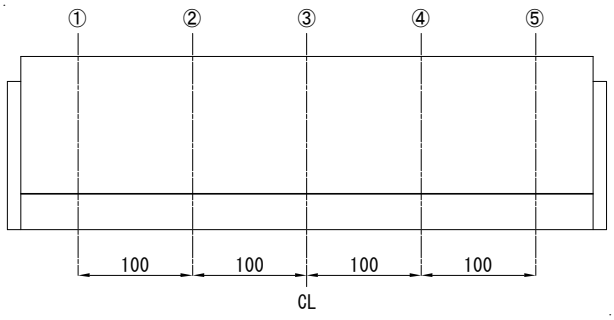
パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (s'm")	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	170	25	1'46"	220	37
②	170	25	1'28"	245	—

パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (s'm")	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	175	25	1'54"	230	33
②	175	25	1'59"	255	—

計測位置



計測位置



ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9

ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	1.0	0.6	0.9	0.8	0.8

試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	6.0/6.0	6.0/7.0	7.0/7.0	6.0/6.0	6.0/6.0

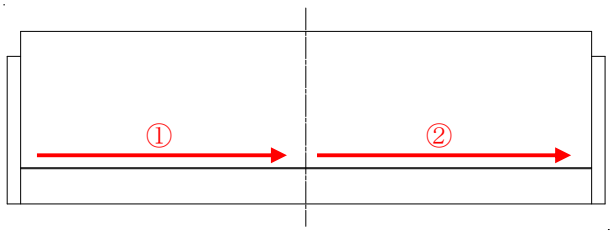
試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	6.0/7.0	5.0/6.5	5.0/6.0	6.0/6.0	4.5/6.5

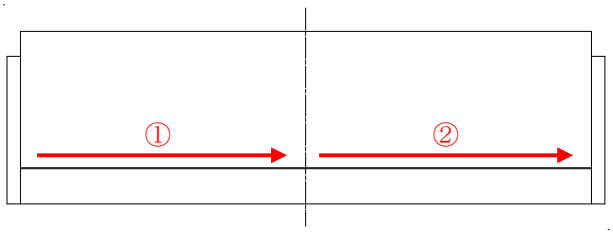
試験体 21-K1 データシート

試験名	試験工程４		試験名	試験工程４	
試験体 No.	試験体　21-K1		試験体 No.	試験体　２M１	
使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢	使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢
SM490YA	被覆ｱｰｸ溶接	下向き	SM490YA	被覆ｱｰｸ溶接	下向き
溶接装置	溶接材料	溶接工	溶接装置	溶接材料	溶接工
KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	B-10（吸湿）	林　馨一	KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	B-10（吸湿）	林　馨一
試験日時	平成２４年１１月６日		試験日時	平成２４年１１月７日	
試験環境	室温３５℃　湿度８１％（雨）		試験環境	室温３５℃　湿度８１％（晴）	

積　層　図



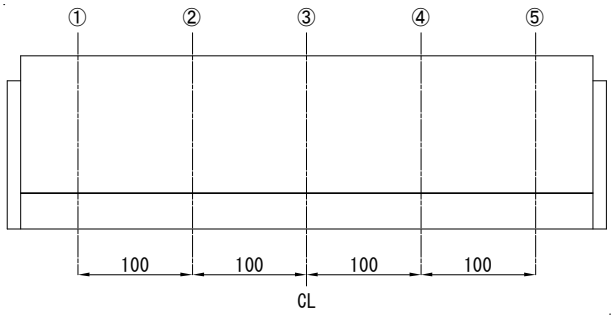
積　層　図



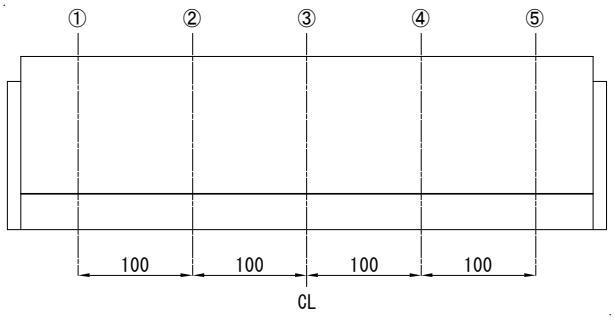
パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (s'm")	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	170	25	1'44"	290	37
②	170	25	1'00"	210	—

パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (s'm")	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	170	25	1'41"	280	32
②	170	25	1'02"	220	—

計測位置



計測位置



ルート間隔（mm）

位置	②	②	③	④	⑤
計測値	0.9	—	1.0	—	0.8

ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	0.6	—	0.8	—	0.7

試験ビード脚長（mm）

位置	②	②	③	④	⑤
計測値	6.5/7.0	6.0/6.0	6.0/6.0	6.0/6.5	6.5/6.0

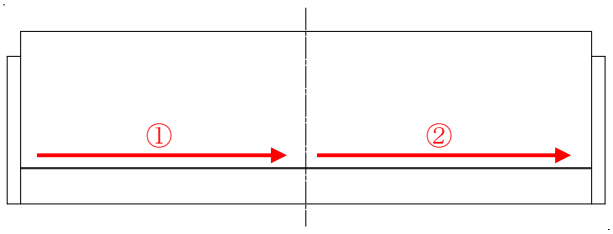
試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	5.0/5.5	4.5/6.5	5.5/6.5	5.5/5.5	5.0/5.5

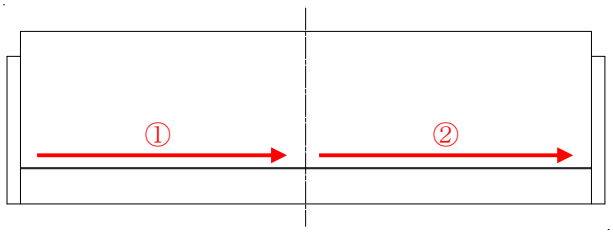
試験体 22-K2 データシート

試験名	試験工程４		試験名	試験工程４	
試験体 No.	試験体　22-K2		試験体 No.	試験体　２M２	
使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢	使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢
SM490YA	被覆ｱｰｸ溶接	下向き	SM490YA	被覆ｱｰｸ溶接	下向き
溶接装置	溶接材料	溶接工	溶接装置	溶接材料	溶接工
KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	L-55（吸湿）	林　馨一	KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	L-55（吸湿）	林　馨一
試験日時	平成２４年１１月６日		試験日時	平成２４年１１月７日	
試験環境	室温３５℃　湿度８１％（雨）		試験環境	室温３５℃　湿度８１％（晴）	

積　層　図



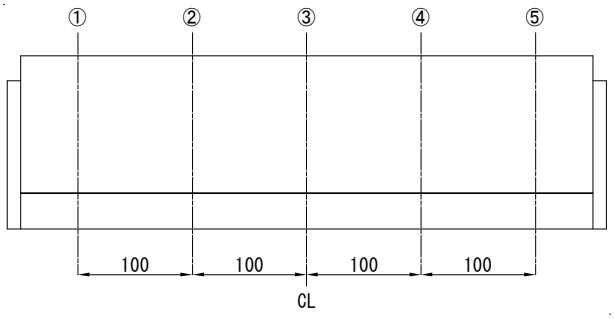
積　層　図



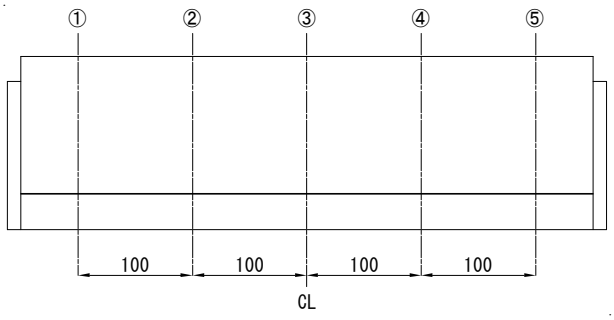
パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (s'm")	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	175	25	2'00"	235	37
②	175	25	1'44"	250	—

パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (s'm")	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	175	25	2'11"	255	34
②	175	25	1'51"	245	—

計測位置



計測位置



ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	0.9	—	0.9	—	0.8

ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	0.8	—	0.8	—	1.0

試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	5.5/8.0	5.5/7.0	6.5/7.0	5.5/6.5	5.5/6.0

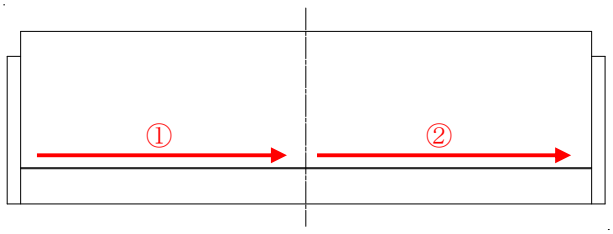
試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	6.0/7.0	5.5/6.5	5.5/6.0	5.5/7.0	5.5/7.0

試験体 23-K3 データシート

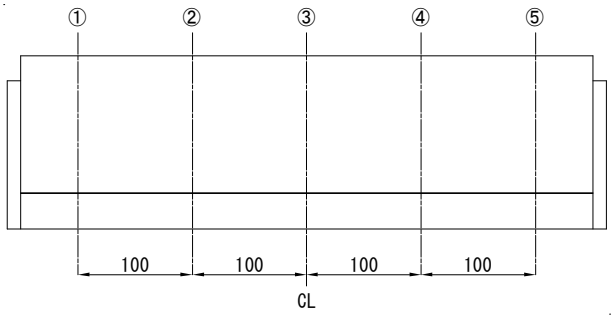
試験名	試験工程４	
試験体 No.	試験体　23-K3	
使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢
SM490YA	被覆ｱｰｸ溶接	下向き
溶接装置	溶接材料	溶接工
KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	L-43LH（吸湿）	林　馨一
試験日時	平成２４年１１月６日	
試験環境	室温３５℃　湿度８１％（雨）	

積　層　図



パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (s'm")	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	170	25	1'50"	210	37
②	170	25	2'00"	280	—

計測位置



ルート間隔（mm）

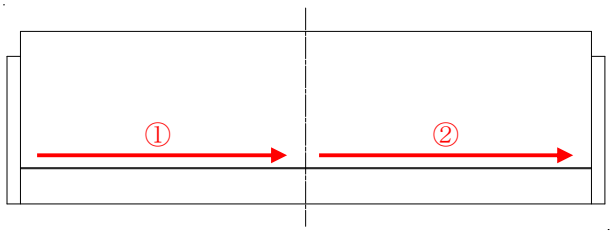
位置	①	②	③	④	⑤
計測値	0.8	—	0.5	—	0.8

試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	5.0/7.0	5.0/6.5	6.07.0/	5.5/7.0	6.0/6.5

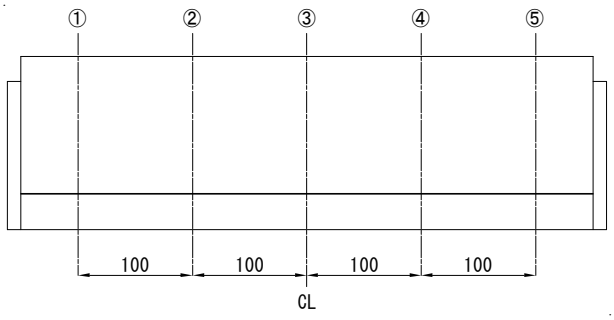
試験体 No.	試験体　２M３	
使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢
SM490YA	被覆ｱｰｸ溶接	下向き
溶接装置	溶接材料	溶接工
KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	L-43LH（吸湿）	林　馨一
試験日時	平成２４年１１月７日	
試験環境	室温３５℃　湿度８１％（晴）	

積　層　図



パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (s'm")	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	175	25	1'56"	250	33
②	175	25	1'47"	245	—

計測位置



ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	0.6	—	0.5	—	1.0

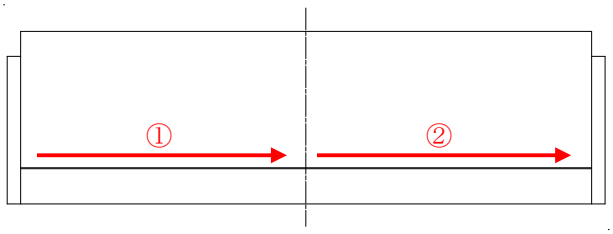
試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	6.0/7.5	5.0/6.0	5.5/6.5	6.0/7.0	5.0/7.0

試験体 24-K4 データシート

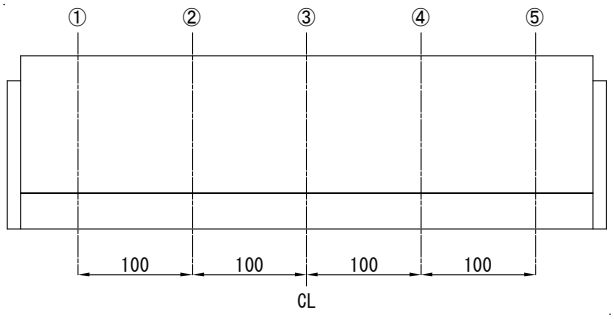
試験名	試験工程４	
試験体 No.	試験体　24-K4	
使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢
SM490YA	被覆ｱｰｸ溶接	下向き
溶接装置	溶接材料	溶接工
KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	L-55（乾燥）	林　馨一
試験日時	平成２４年１１月６日	
試験環境	室温３５℃　湿度８１％（雨）	

積　層　図



パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (s'm")	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	175	25	2'00"	260	36
②	175	25	1'41"	235	—

計測位置



ルート間隔（mm）

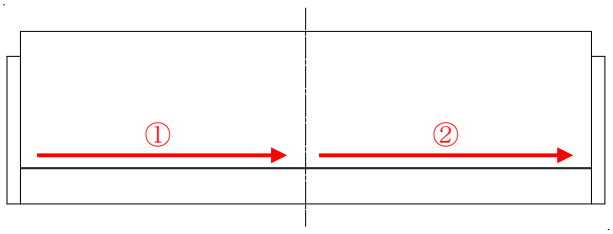
位置	①	②	③	④	⑤
計測値	1.0	—	1.2	—	1.1

試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	6.0/6.5	6.07.0/	6.0/6.5	6.0/7.0	6.0/6.0

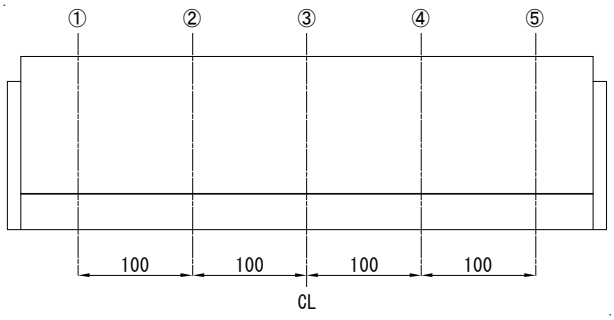
試験体 No.	試験体　２M４	
使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢
SM490YA	被覆ｱｰｸ溶接	下向き
溶接装置	溶接材料	溶接工
KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	L-55（乾燥）	林　馨一
試験日時	平成２４年１１月７日	
試験環境	室温３５℃　湿度８１％（晴）	

積　層　図



パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (s'm")	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	175	25	2'10"	265	34
②	175	25	1'43"	245	—

計測位置



ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	1.2	—	1.2	—	1.2

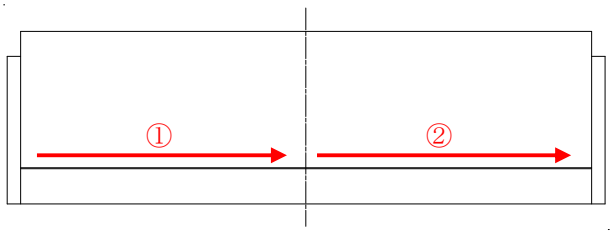
試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	5.0/7.0	5.5/7.0	5.5/6.0	5.0/6.5	5.5/6.5

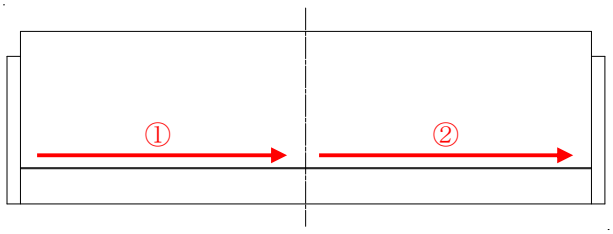
試験体 25-K5 データシート

試験名	試験工程４		試験名	試験工程４	
試験体 No.	試験体　25-K5		試験体 No.	試験体　２M５	
使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢	使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢
SM490YA	被覆ｱｰｸ溶接	下向き	SM490YA	被覆ｱｰｸ溶接	下向き
溶接装置	溶接材料	溶接工	溶接装置	溶接材料	溶接工
KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	L-60（吸湿）	林　馨一	KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	L-60（吸湿）	林　馨一
試験日時	平成２４年１１月６日		試験日時	平成２４年１１月７日	
試験環境	室温３５℃　湿度８１％（雨）		試験環境	室温３５℃　湿度８１％（晴）	

積　層　図



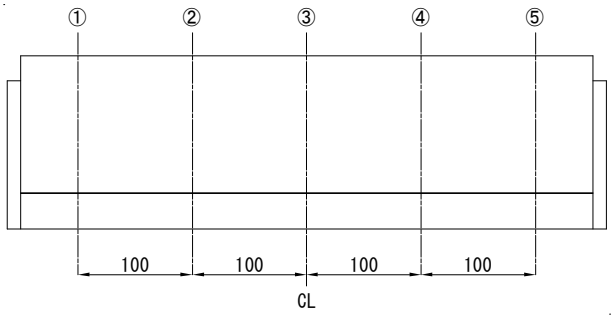
積　層　図



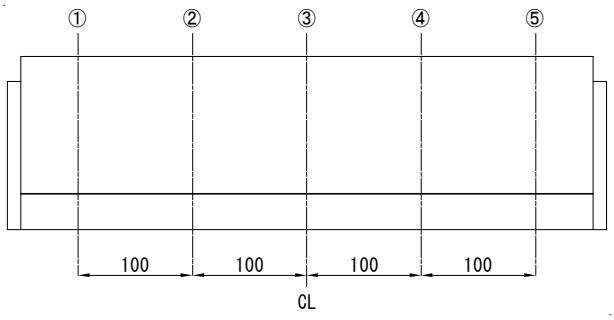
パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (s'm")	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	170	25	2'03"	240	37
②	170	25	1'53"	230	—

パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (s'm")	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	175	25	1'56"	255	33
②	175	25	1'48"	240	—

計測位置



計測位置



ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	0.9	1.0	1.0	0.8	1.0

ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0

試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	6.0/7.0	6.5/7.0	6.0/7.0	6.0/8.0	5.5/7.0

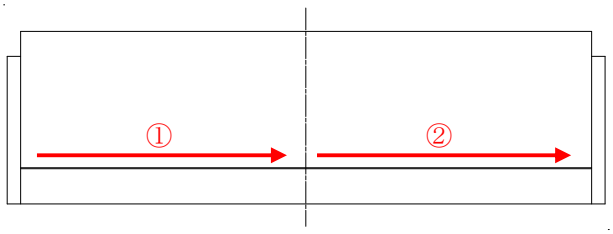
試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	6.0/8.0	5.0/6.5	5.0/7.0	5.0/7.0	5.0/7.0

試験体 26-S6 データシート

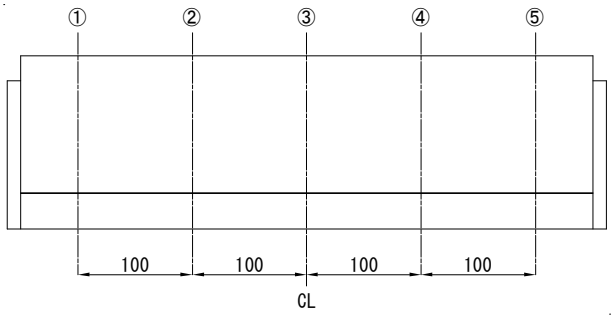
試験名	試験工程４	
試験体 No.	試験体　26-S6	
使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢
旧新宿跨線橋	被覆ｱｰｸ溶接	下向き
溶接装置	溶接材料	溶接工
KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	B-10（吸湿）	林　馨一
試験日時	平成２４年１１月６日	
試験環境	室温３５℃　湿度８１％（雨）	

積　層　図



パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (s'm")	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	170	25	1'37"	275	35
②	170	25	1'10"	230	—

計測位置



ルート間隔（mm）

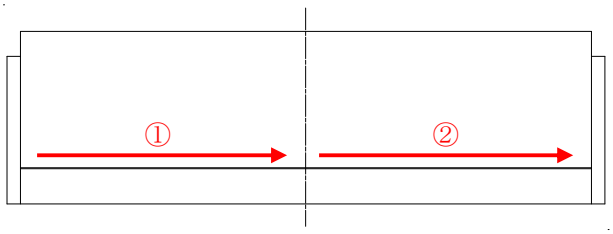
位置	①	②	③	④	⑤
計測値	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2

試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	5.5/6.5	6.0/6.0	6.5/5.5	5.5/6.0	4.5/5.0

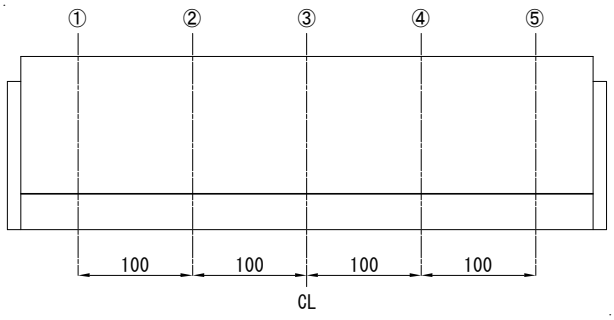
試験体 No.	試験体　２S１	
使用鋼材	溶接方法	溶接姿勢
旧新宿跨線橋	被覆ｱｰｸ溶接	下向き
溶接装置	溶接材料	溶接工
KRHM-500(ﾀﾞｲﾍﾝ)	B-10（吸湿）	林　馨一
試験日時	平成２４年１１月７日	
試験環境	室温３５℃　湿度８１％（晴）	

積　層　図



パス	電流 (A)	電圧 (V)	時間 (s'm")	溶接長 (mm)	温度 (℃)
①	170	25	1'36"	275	32
②	170	25	1'08"	225	—

計測位置



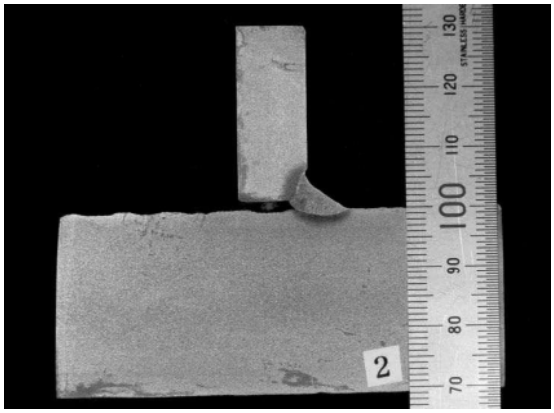
ルート間隔（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	1.0	1.3	1.3	1.2	0.9

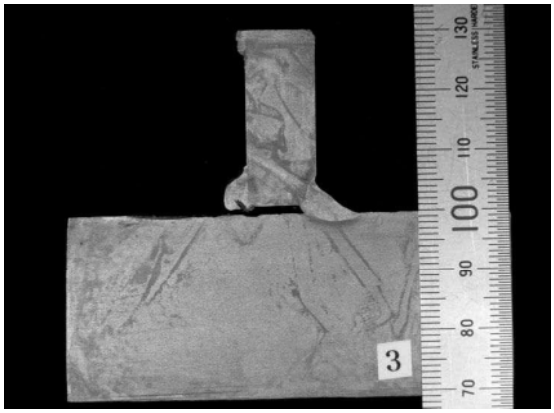
試験ビード脚長（mm）

位置	①	②	③	④	⑤
計測値	5.0/5.5	4.0/5.5	4.0/5.0	4.5/5.5	4.0/4.5

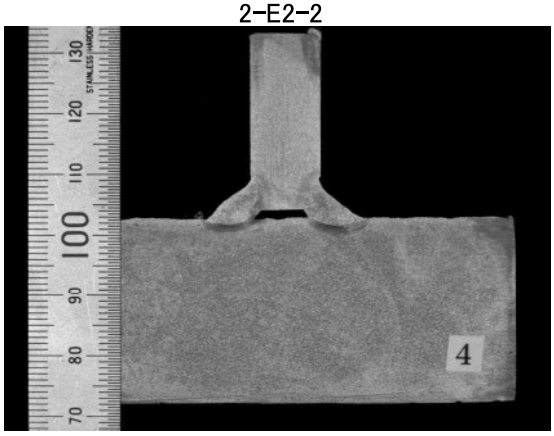
6-2. 溶接割れ試験マクロ写真



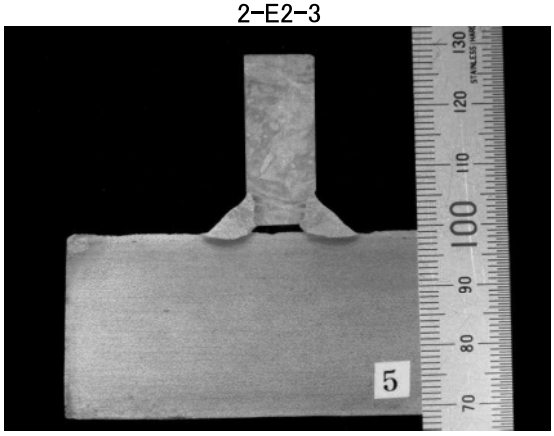
2-E2-2



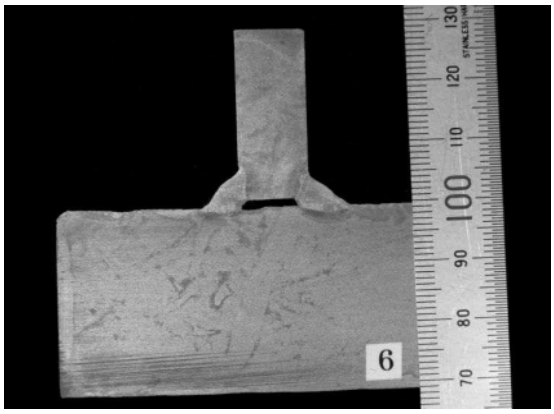
2-E2-3



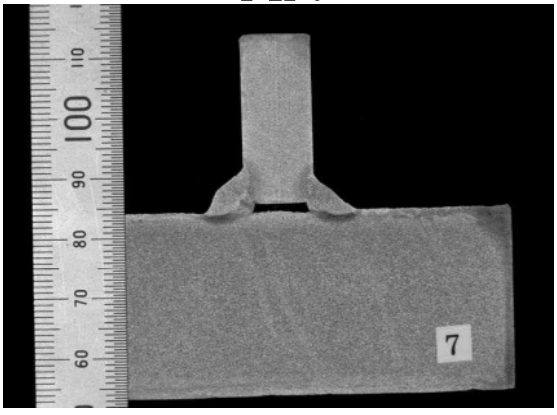
2-E2-4



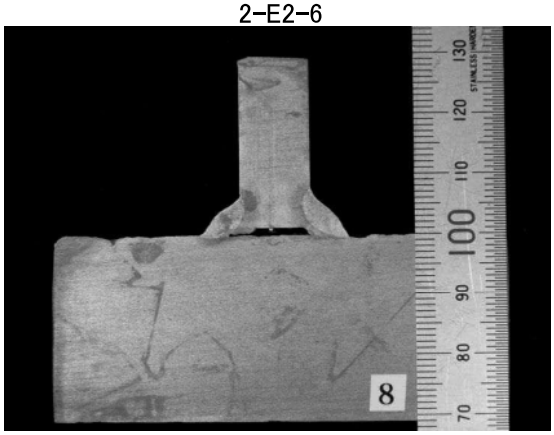
2-E2-5



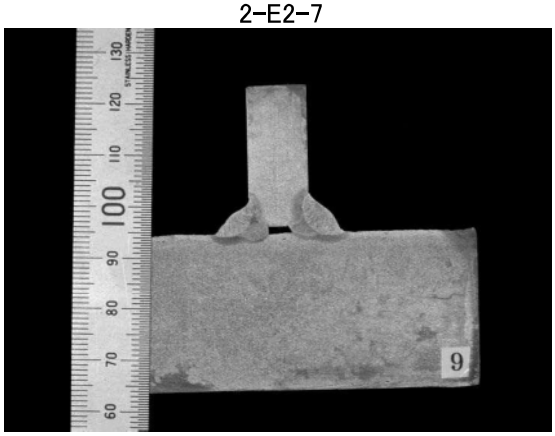
2-E2-6



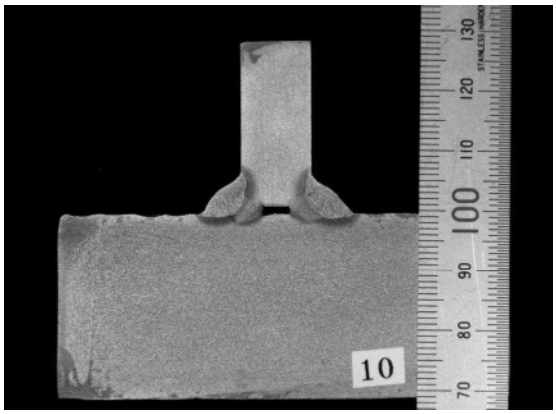
2-E2-7



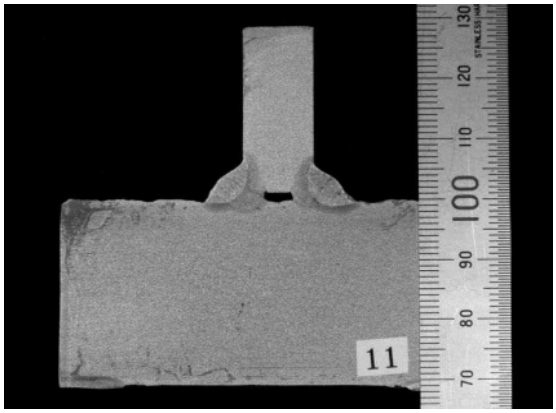
2-E2-8



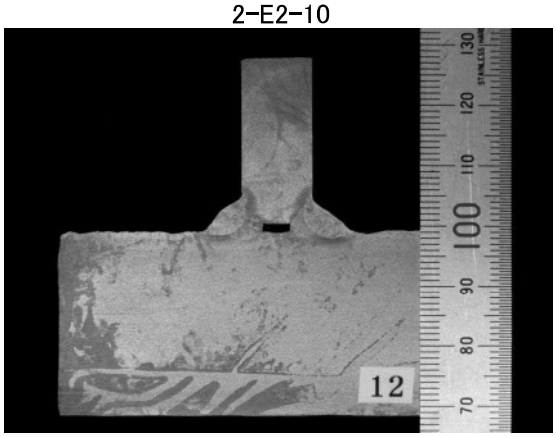
2-E2-9



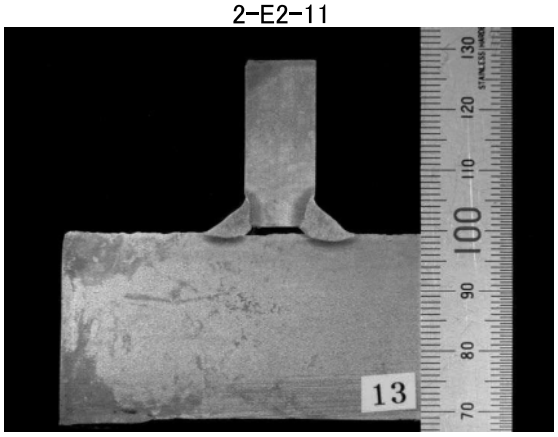
2-E2-10



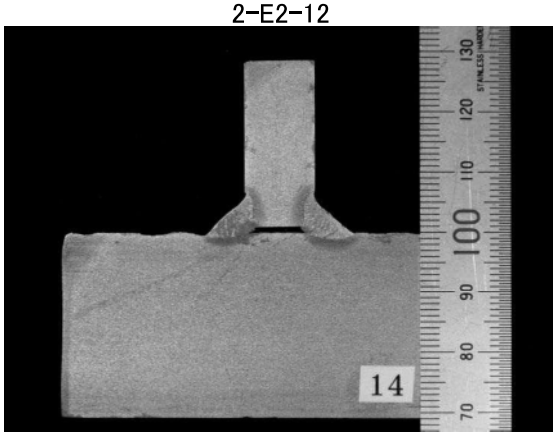
2-E2-11



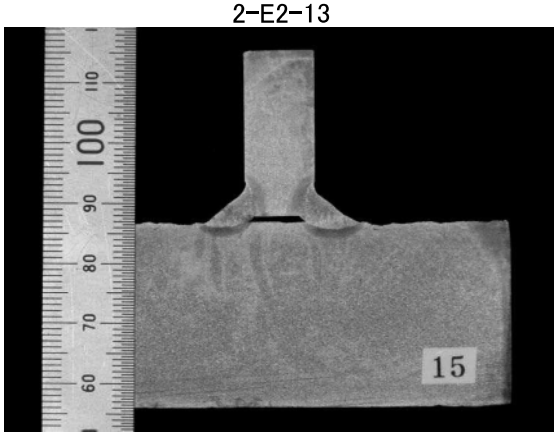
2-E2-12



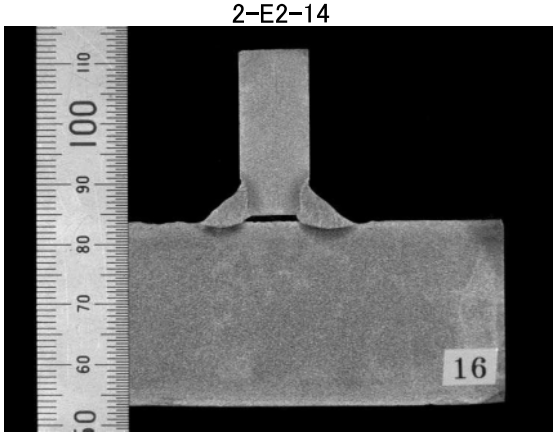
2-E2-13



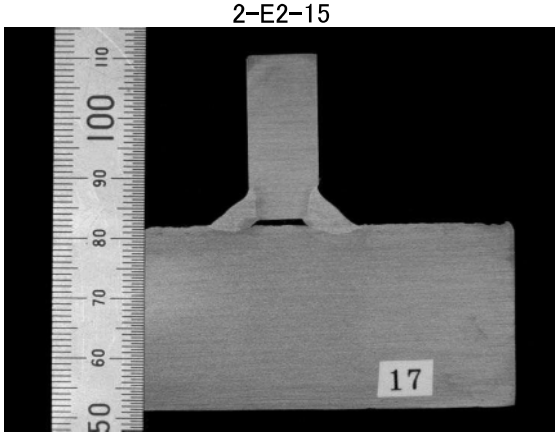
2-E2-14



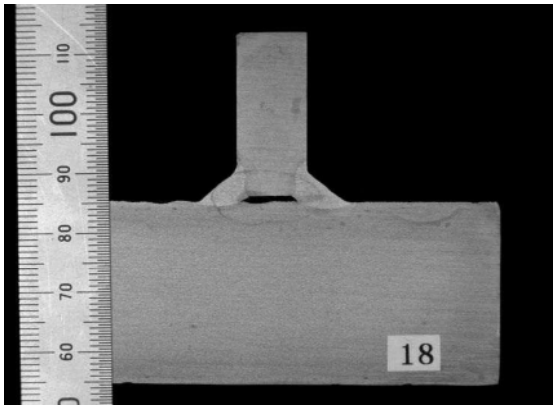
2-E2-15



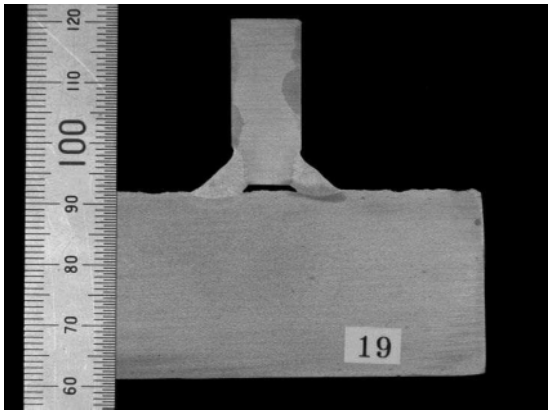
2-E2-16



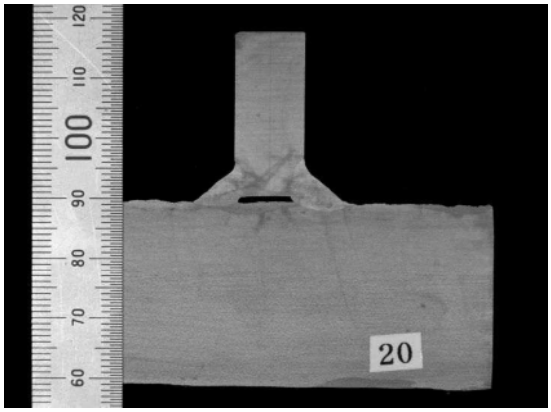
2-E2-17



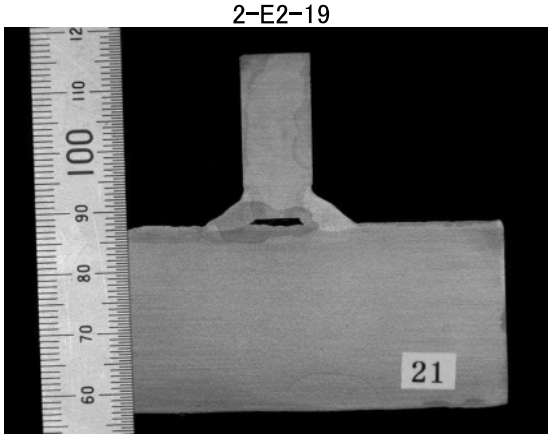
2-E2-18



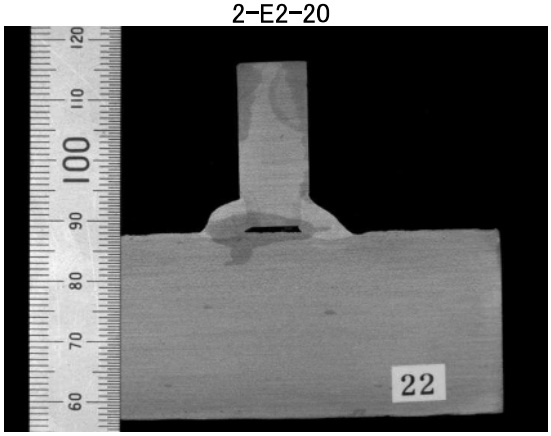
2-E2-19



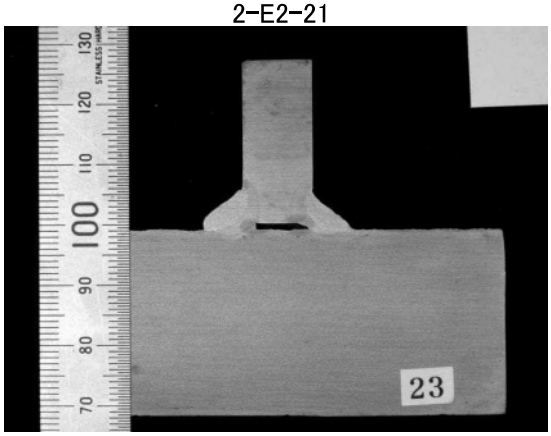
2-E2-20



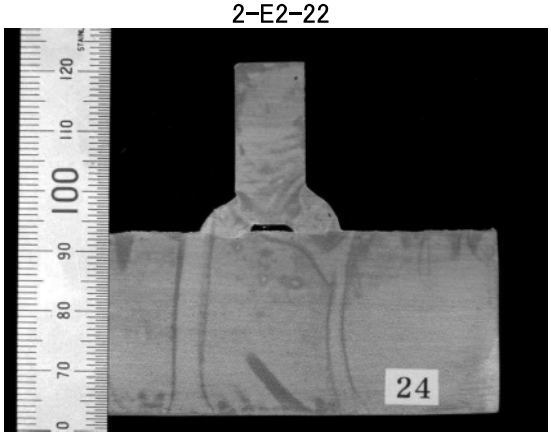
2-E2-21



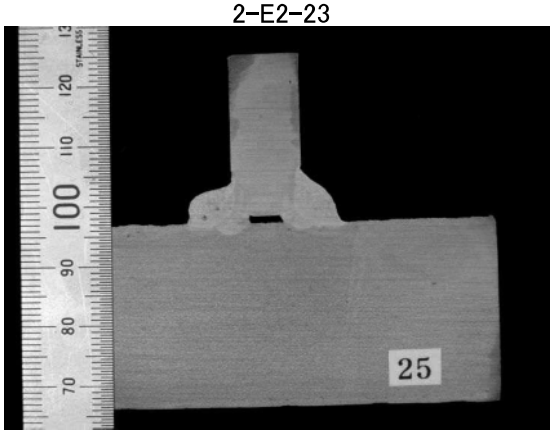
2-E2-22



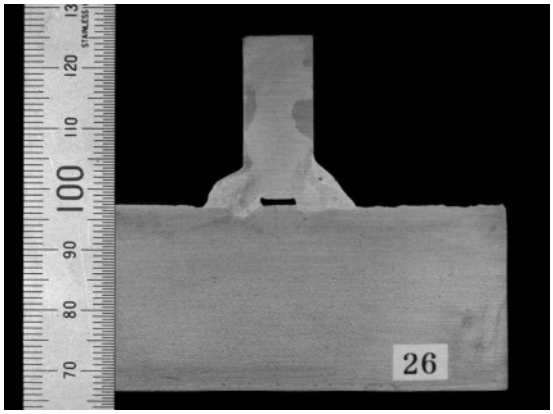
2-E2-23



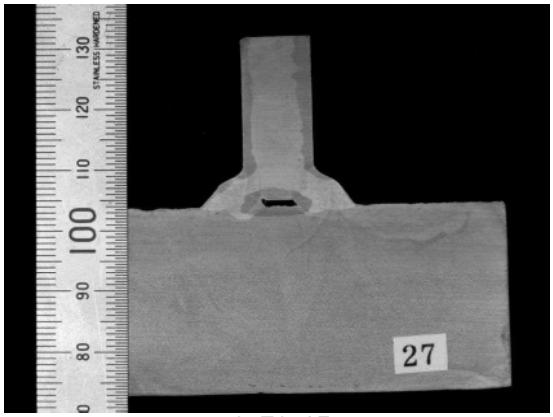
2-E2-24



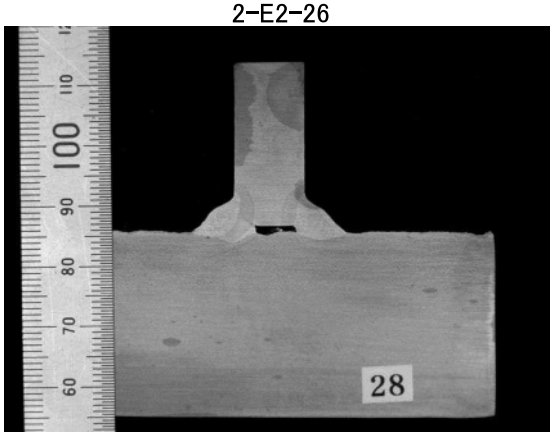
2-E2-25



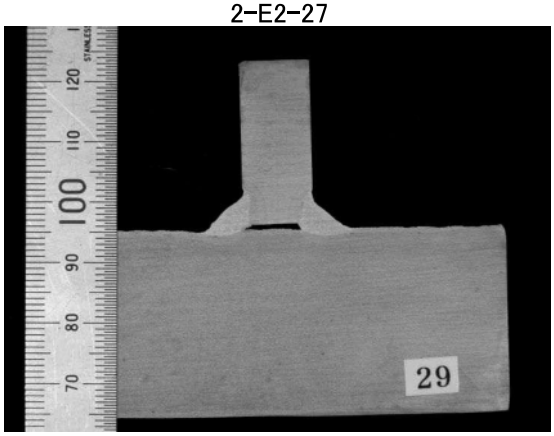
2-E2-26



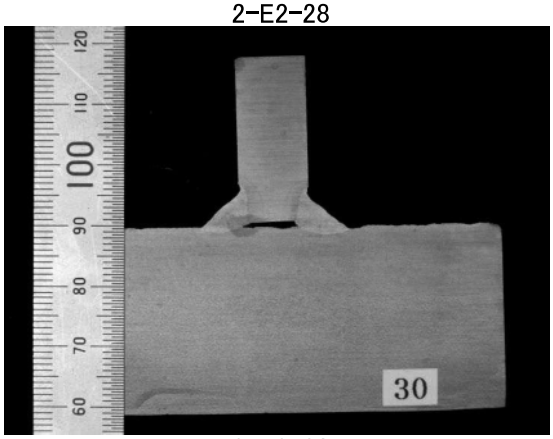
2-E2-27



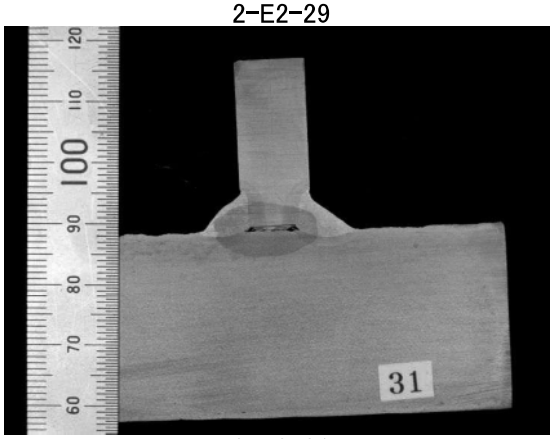
2-E2-28



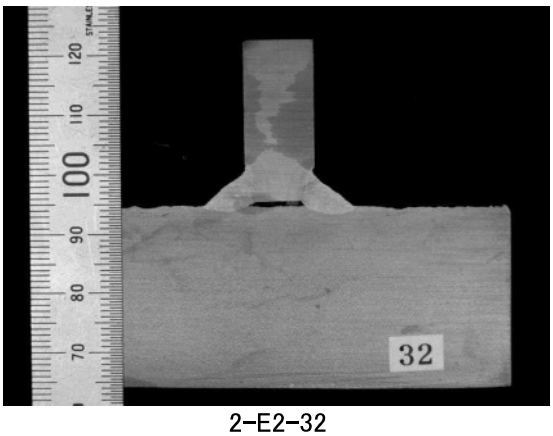
2-E2-29



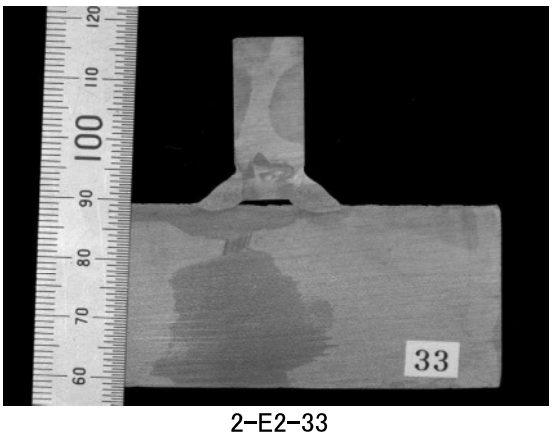
2-E2-30



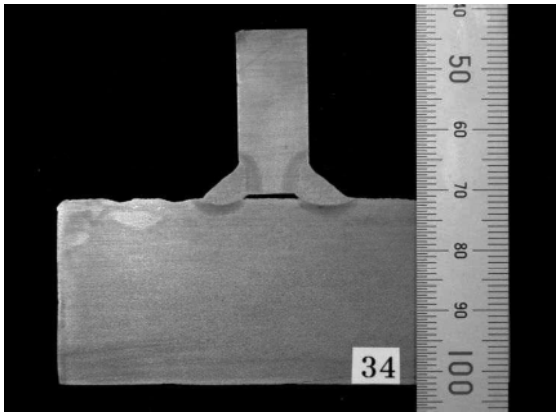
2-E2-31



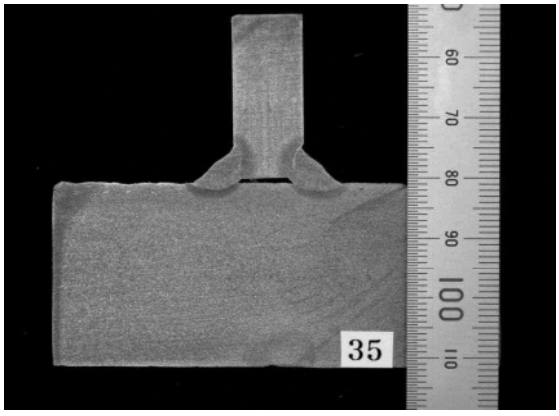
2-E2-32



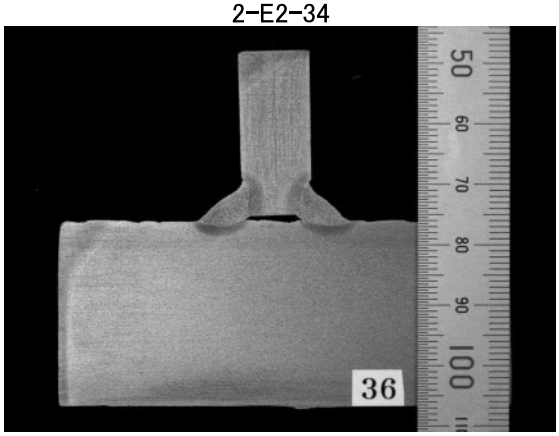
2-E2-33



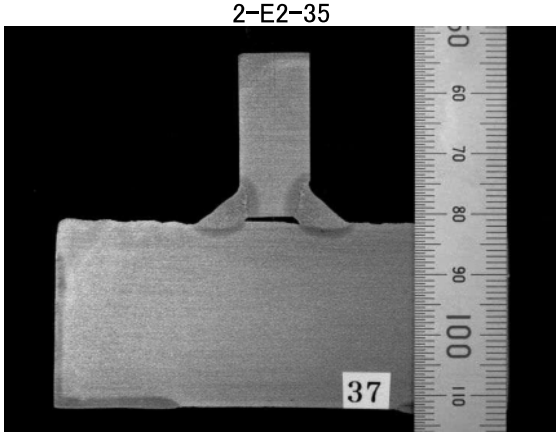
2-E2-34



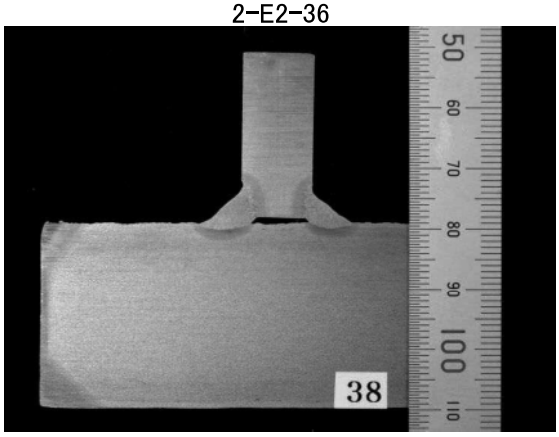
2-E2-35



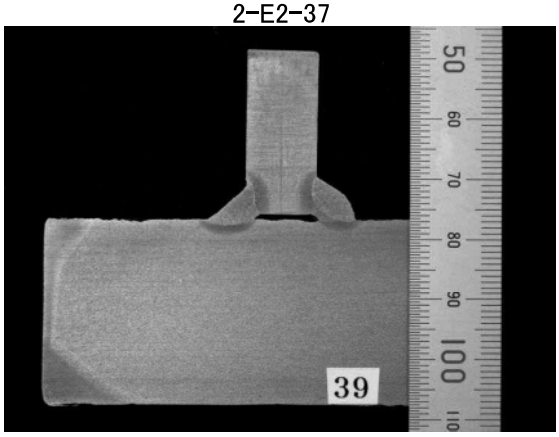
2-E2-36



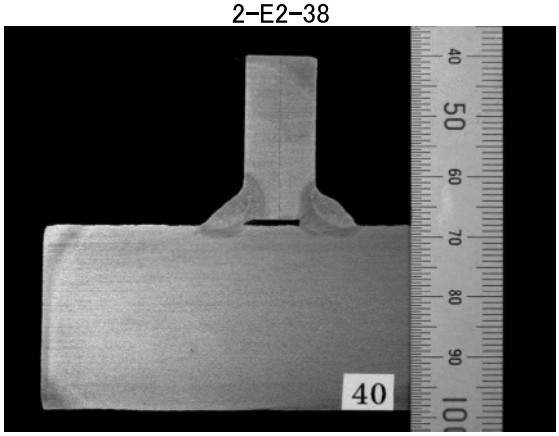
2-E2-37



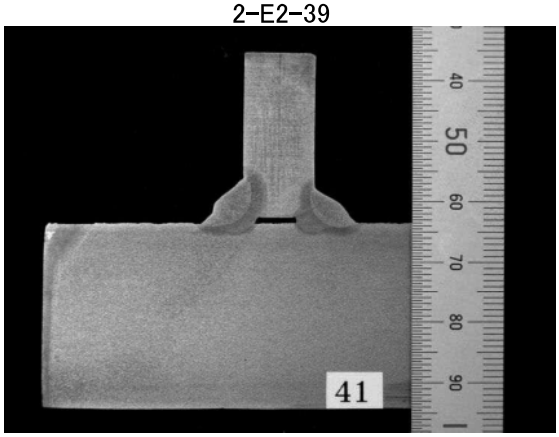
2-E2-38



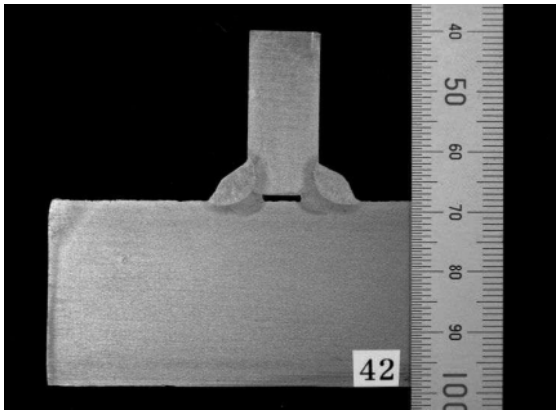
2-E2-39



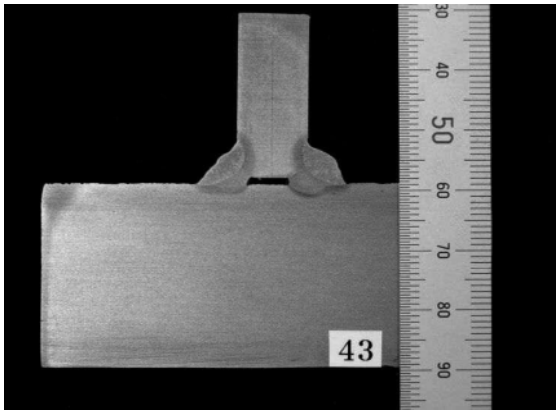
2-E2-40



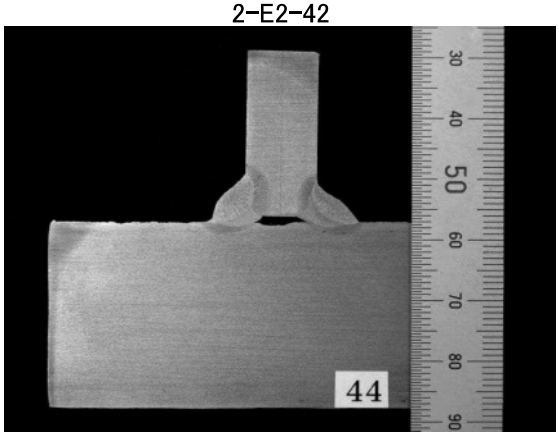
2-E2-41



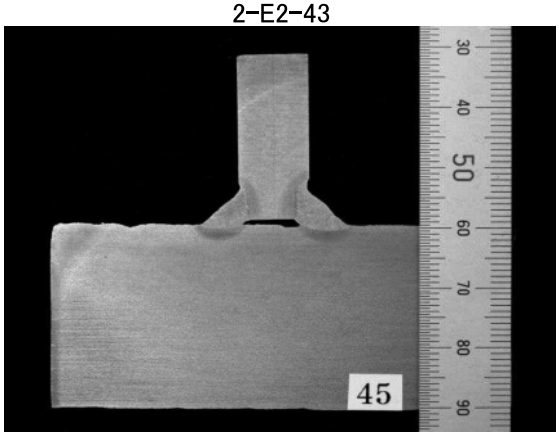
2-E2-42



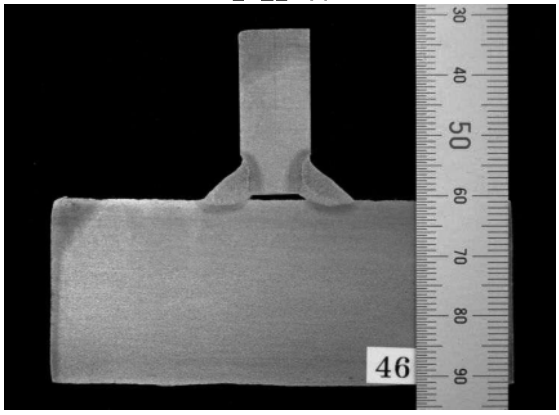
2-E2-43



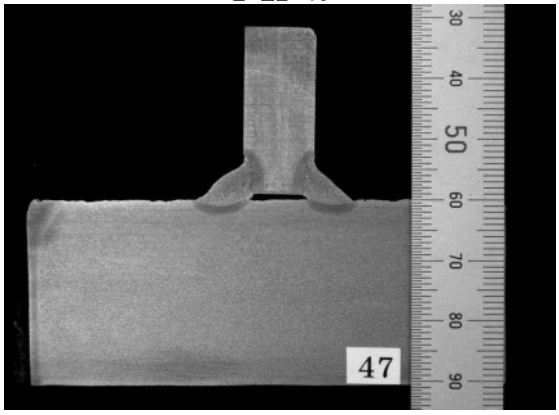
2-E2-44



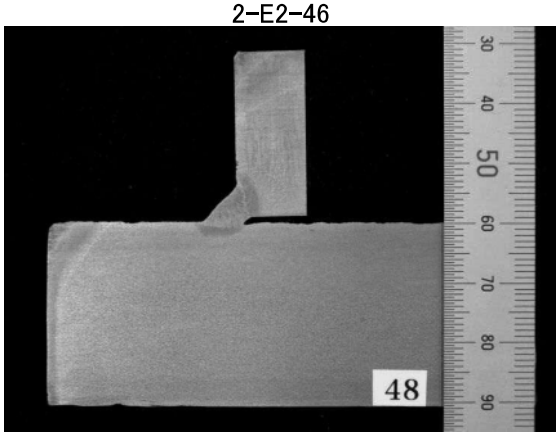
2-E2-45



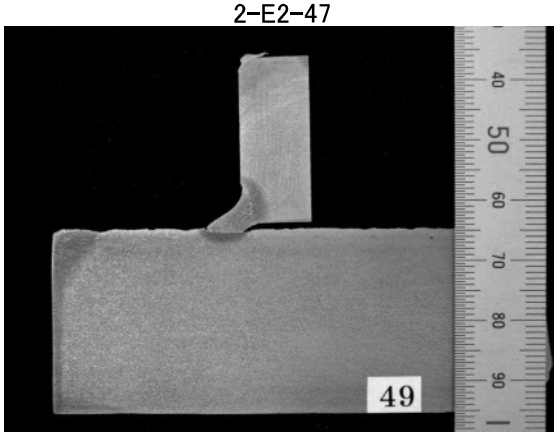
2-E2-46



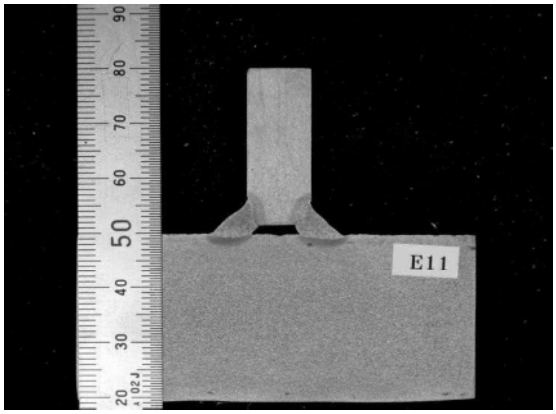
2-E2-47



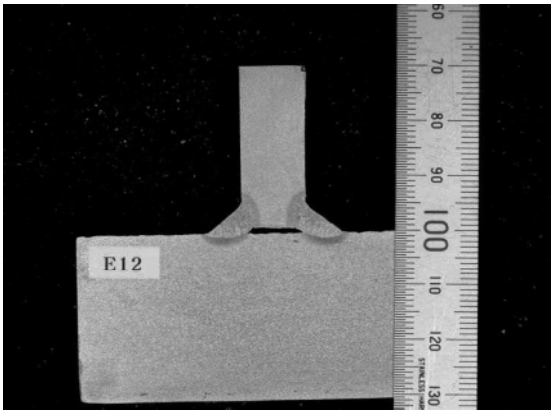
2-E2-48



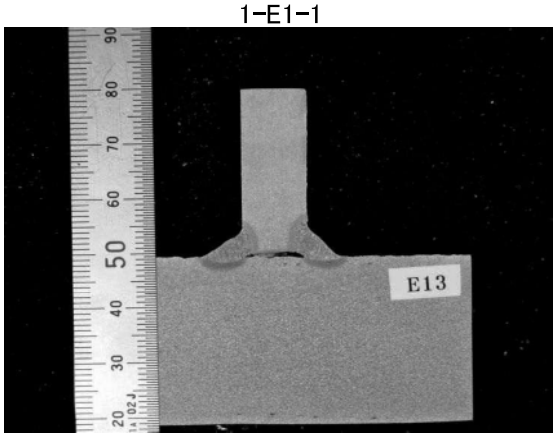
2-E2-49



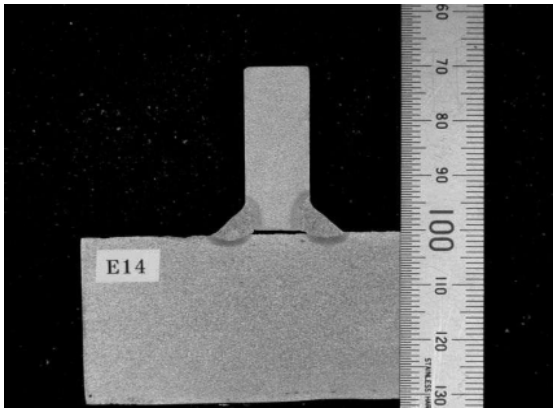
1-E1-1



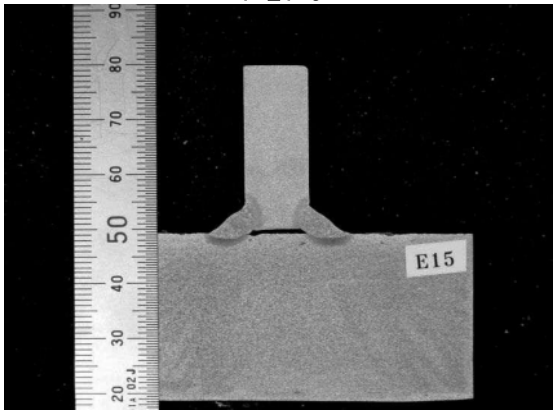
1-E1-2



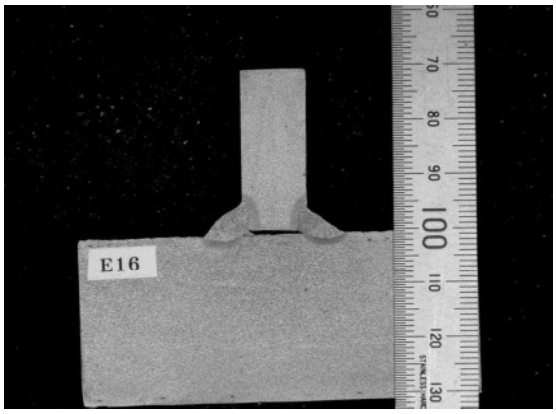
1-E1-3



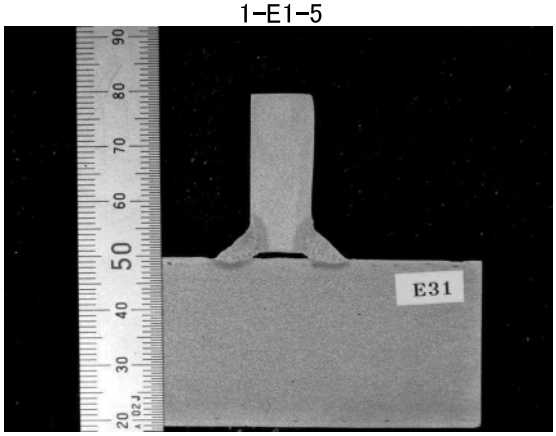
1-E1-4



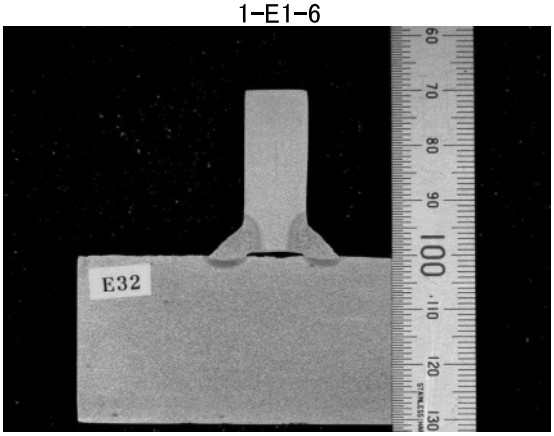
1-E1-5



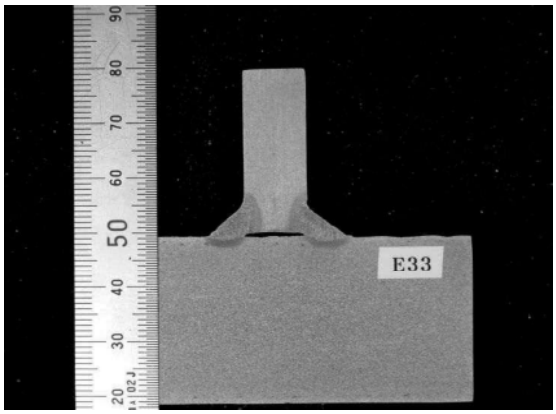
1-E1-6



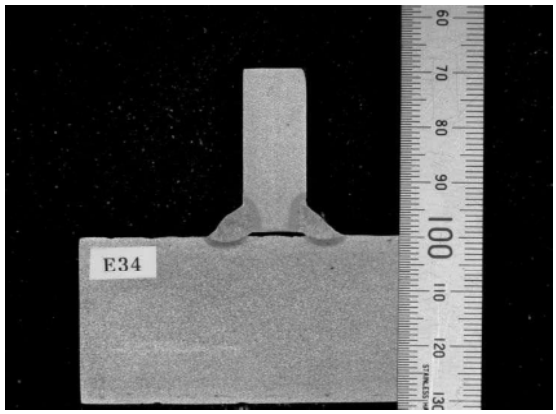
3-E3-1



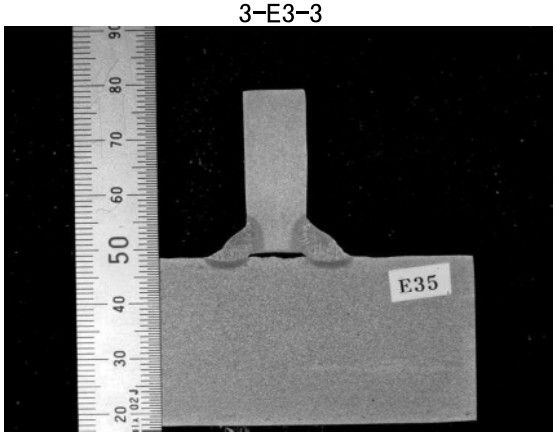
3-E3-2



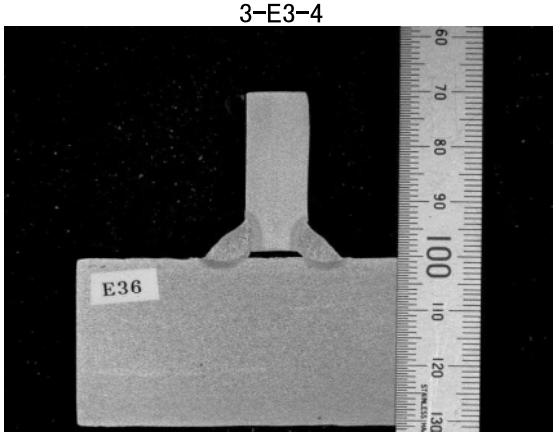
3-E3-3



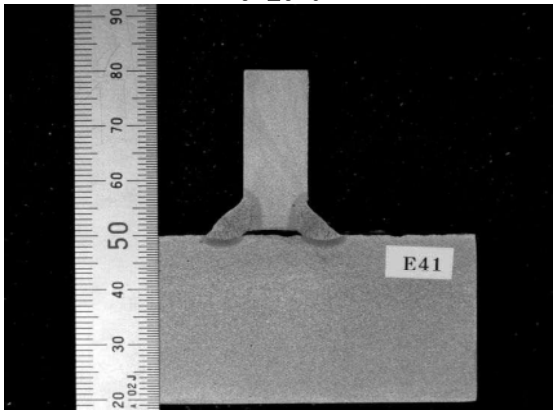
3-E3-4



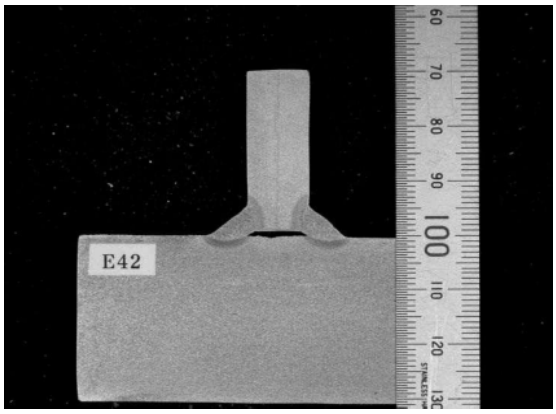
3-E3-5



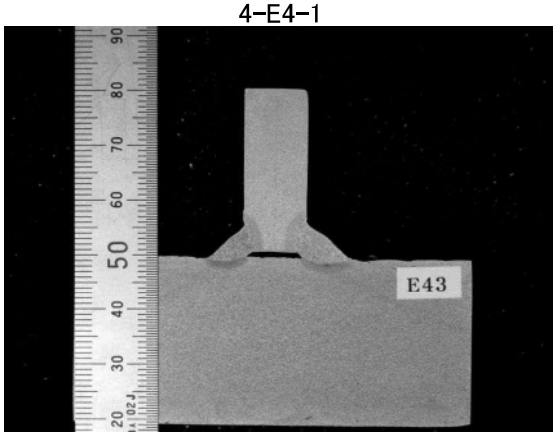
3-E3-6



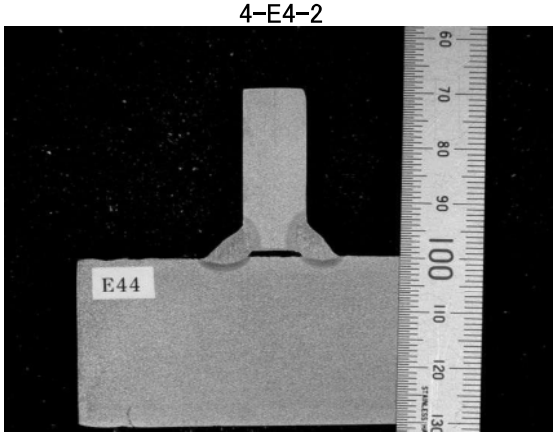
4-E4-1



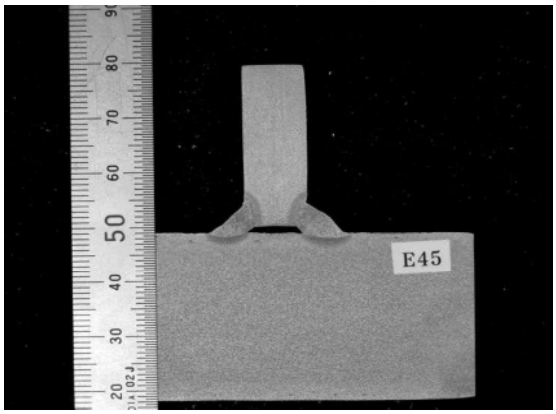
4-E4-2



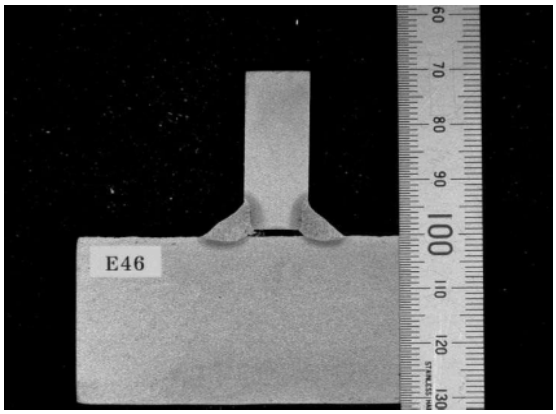
4-E4-3



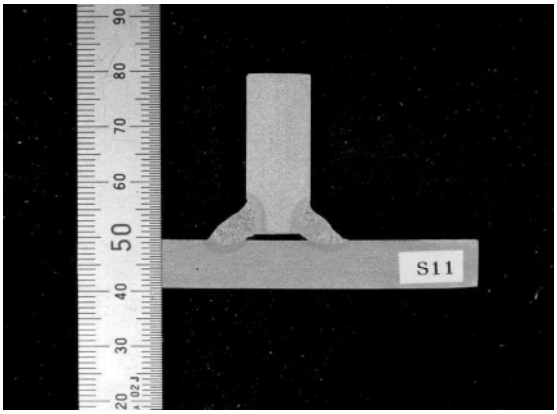
4-E4-4



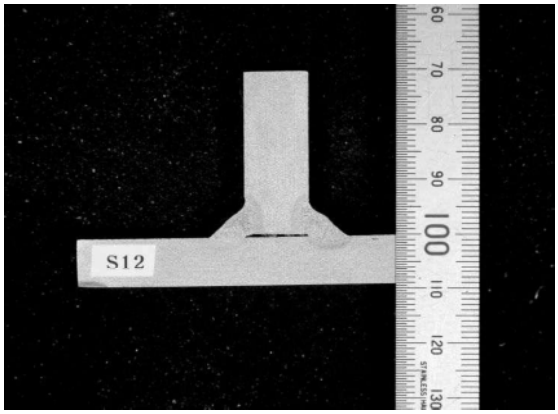
4-E4-5



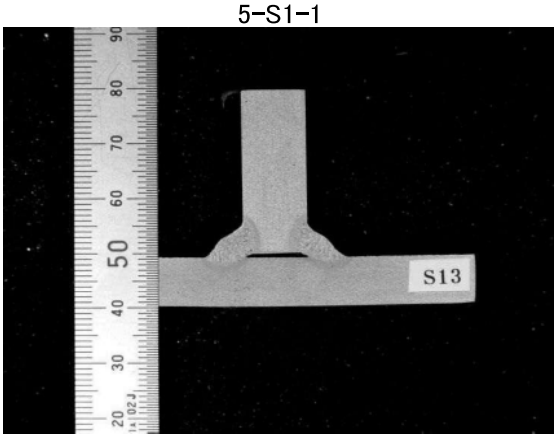
4-E4-6



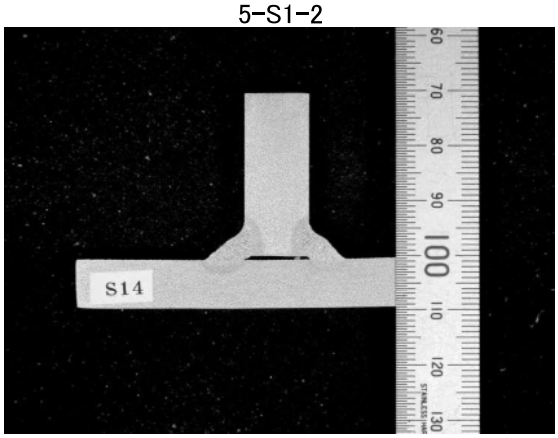
5-S1-1



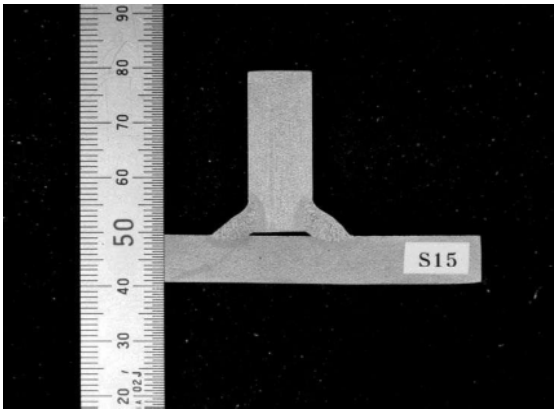
5-S1-2



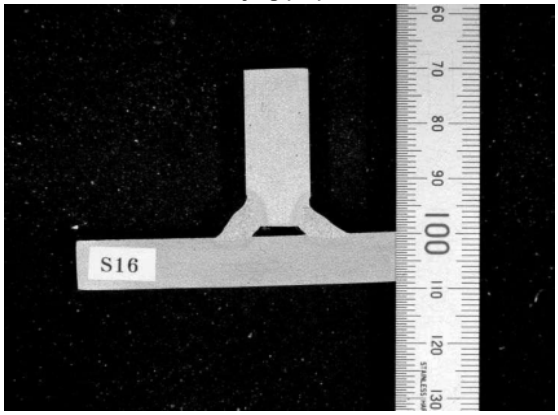
5-S1-3



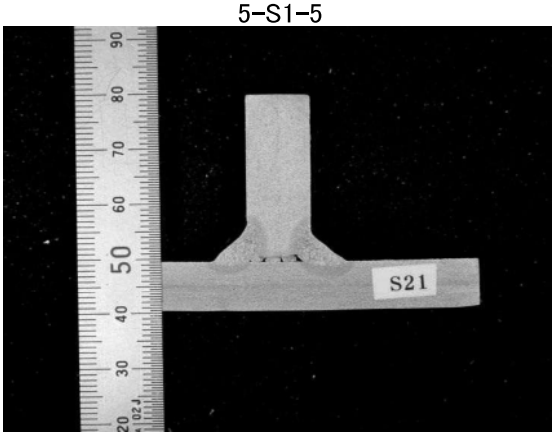
5-S1-4



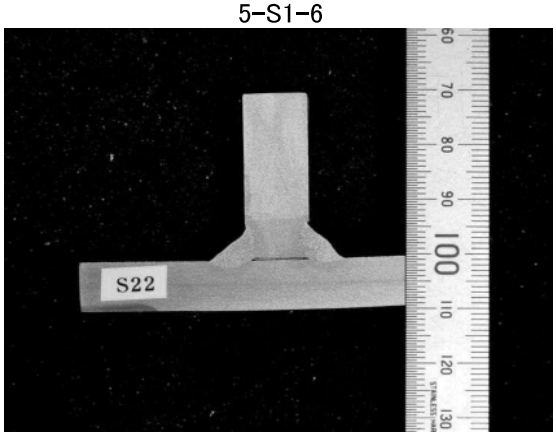
5-S1-5



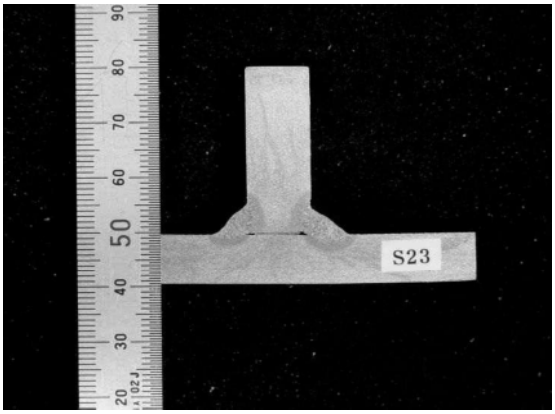
5-S1-6



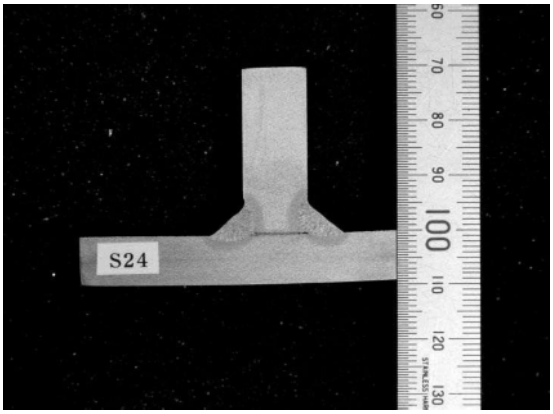
6-S2-1



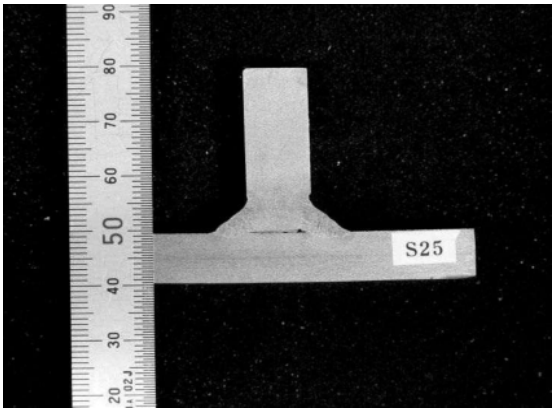
6-S2-2



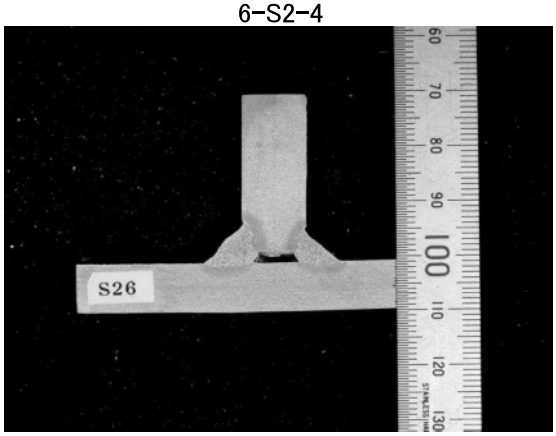
6-S2-3



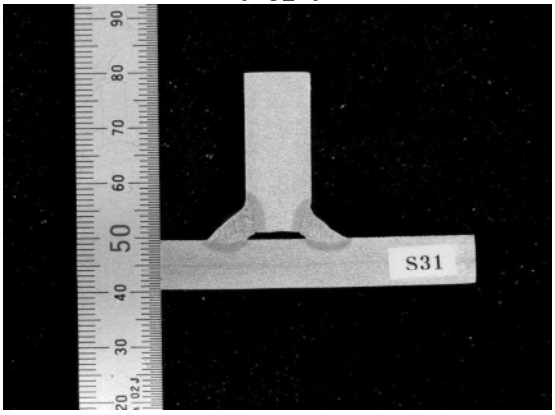
6-S2-4



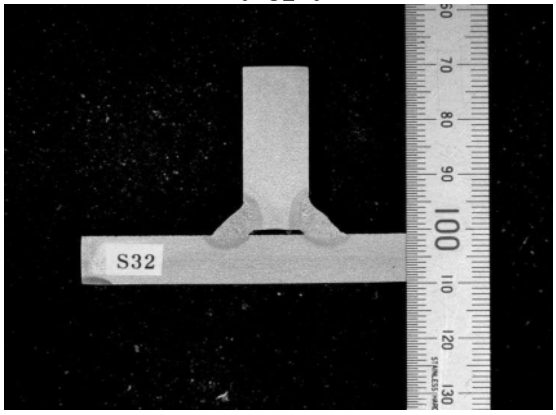
6-S2-5



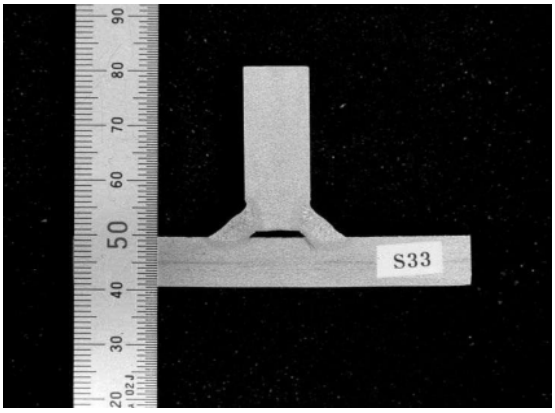
6-S2-6



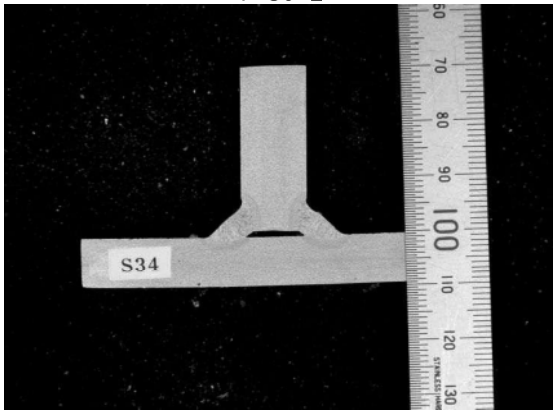
7-S3-1



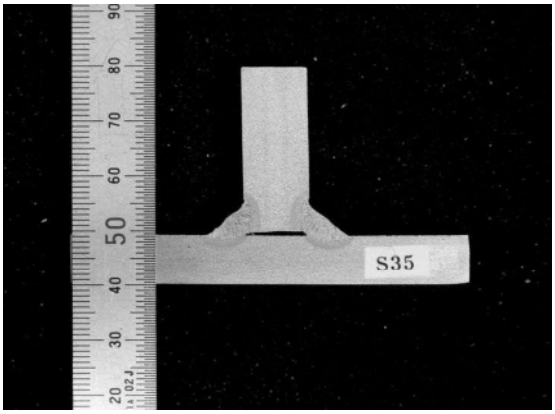
7-S3-2



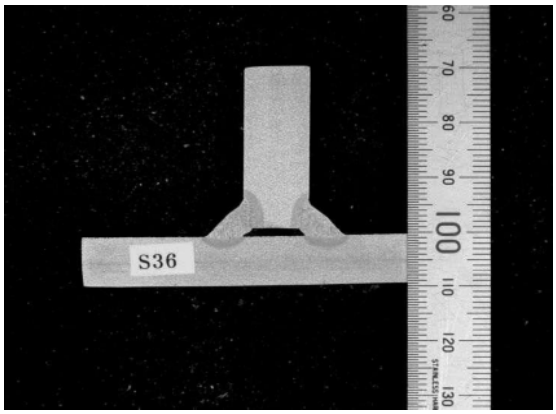
7-S3-3



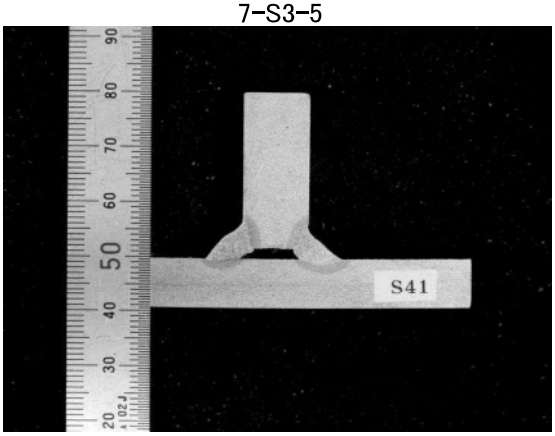
7-S3-4



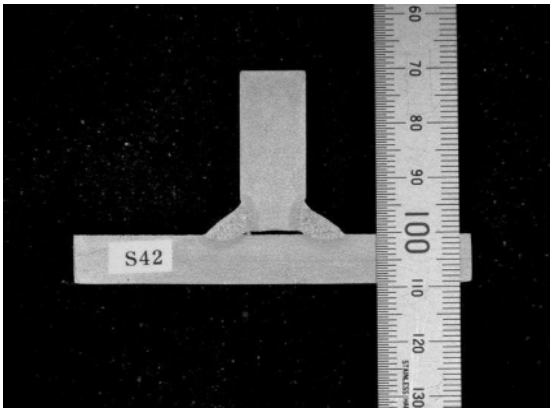
7-S3-5



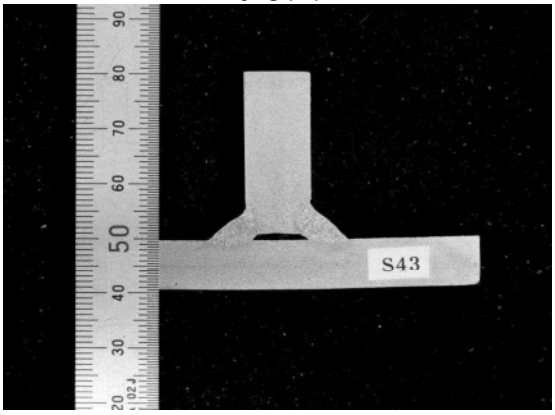
7-S3-6



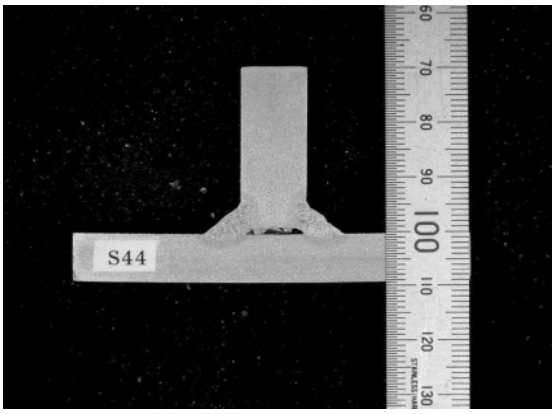
8-S4-1



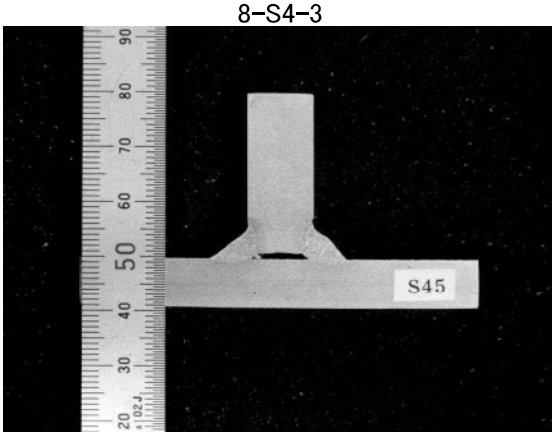
8-S4-2



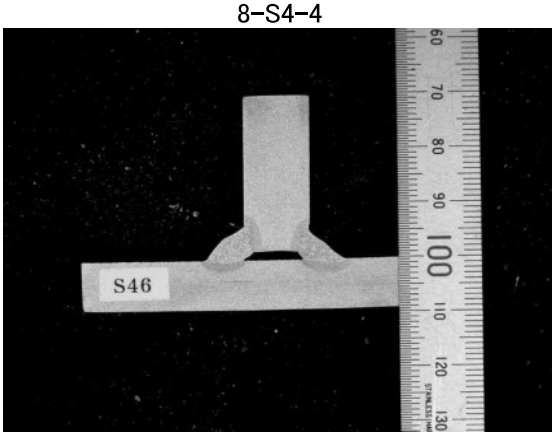
8-S4-3



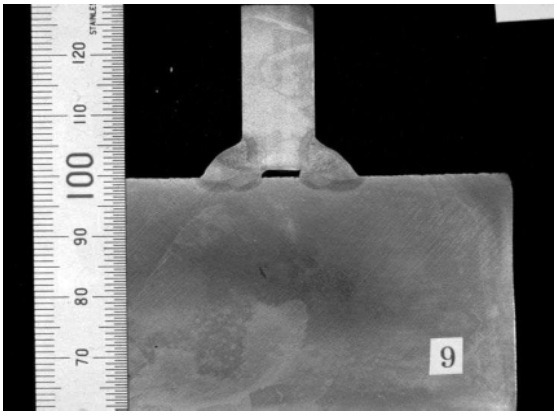
8-S4-4



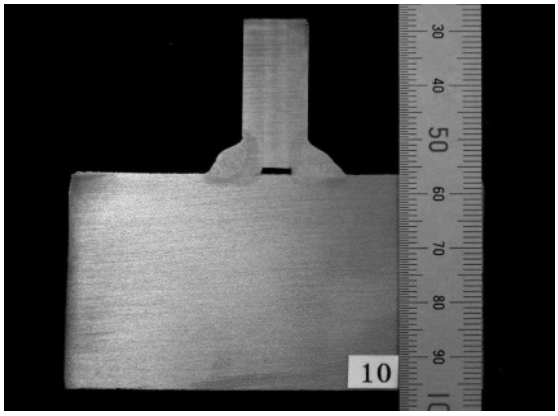
8-S4-5



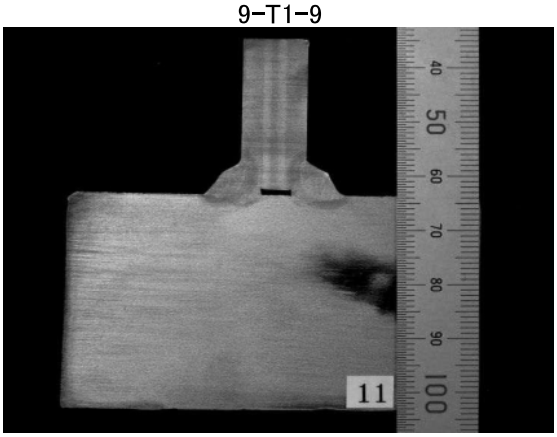
8-S4-6



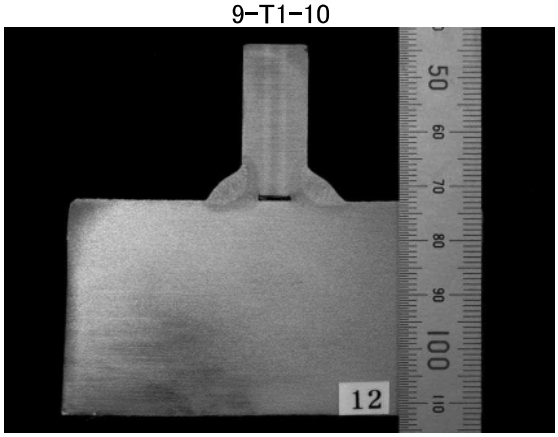
9-T1-9



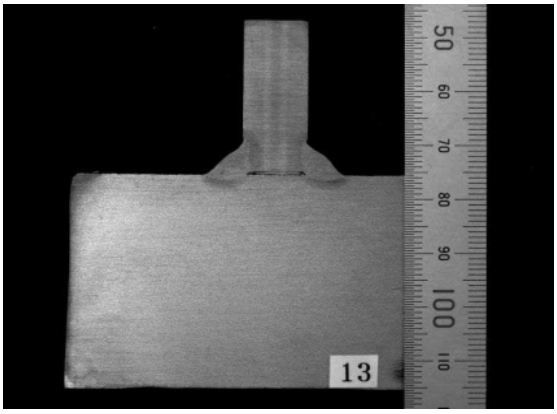
9-T1-10



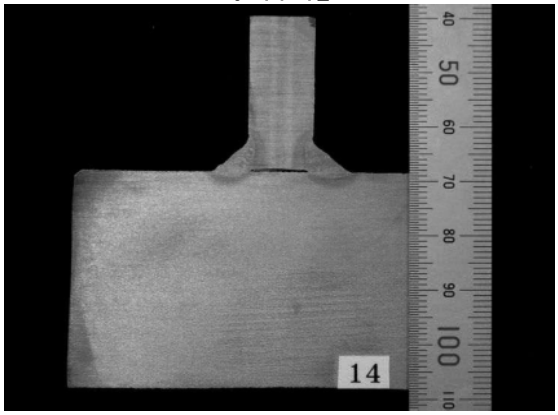
9-T1-11



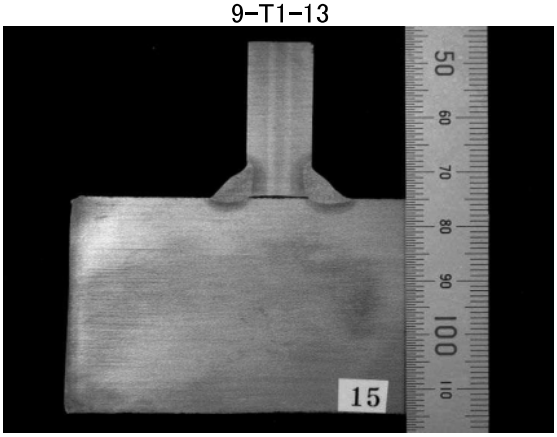
9-T1-12



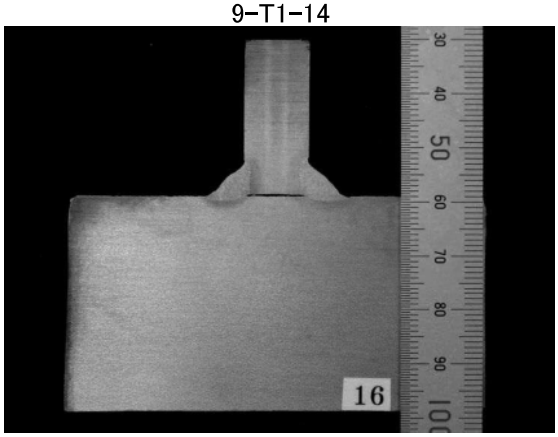
9-T1-13



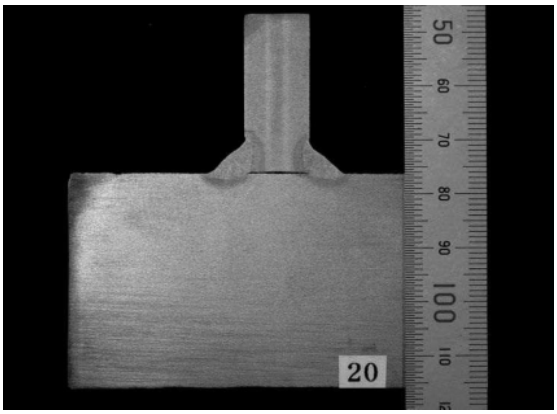
9-T1-14



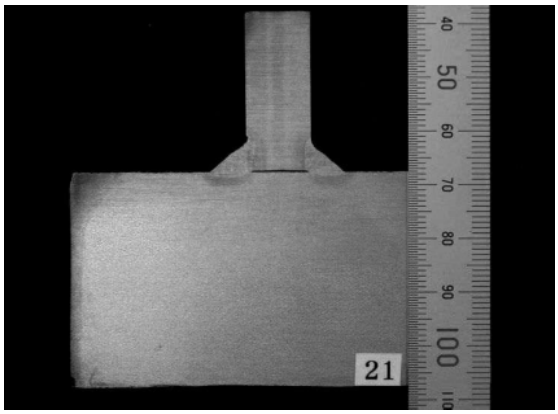
9-T1-15



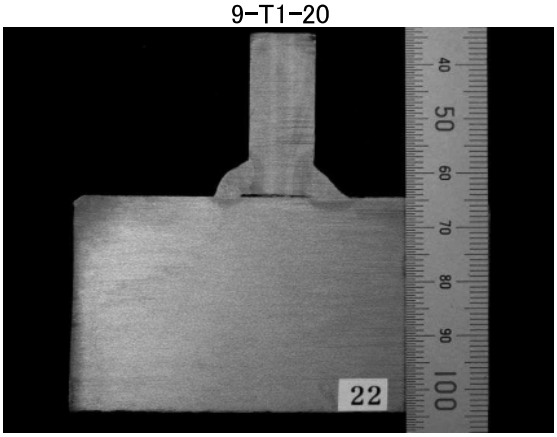
9-T1-16



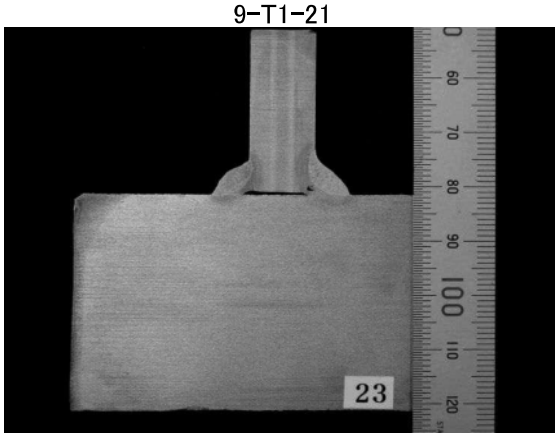
9-T1-20



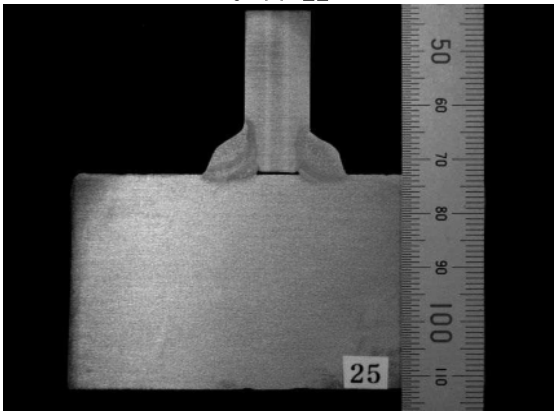
9-T1-21



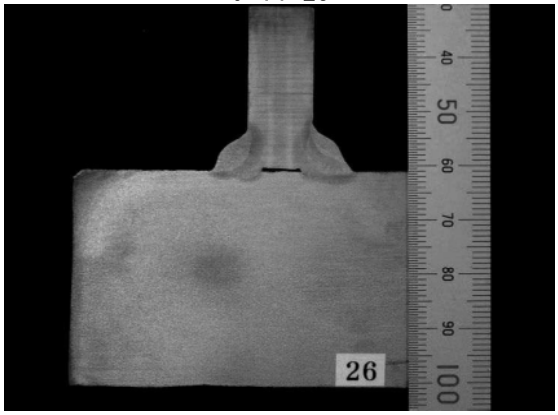
9-T1-22



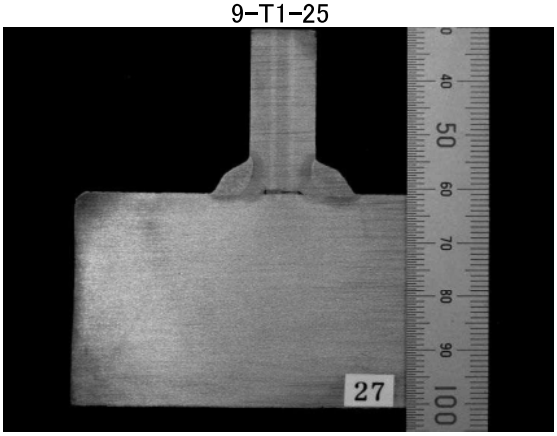
9-T1-23



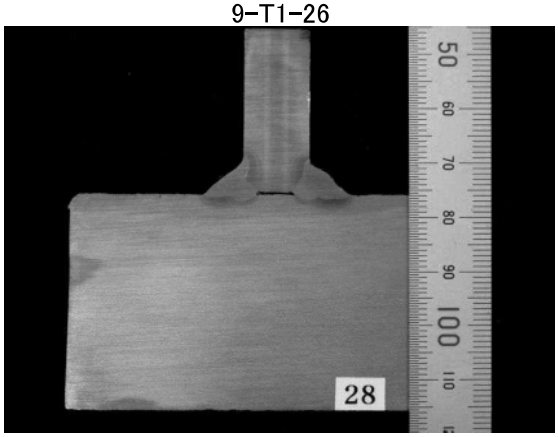
9-T1-25



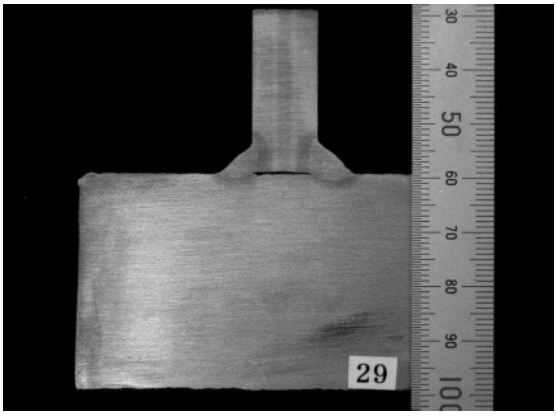
9-T1-26



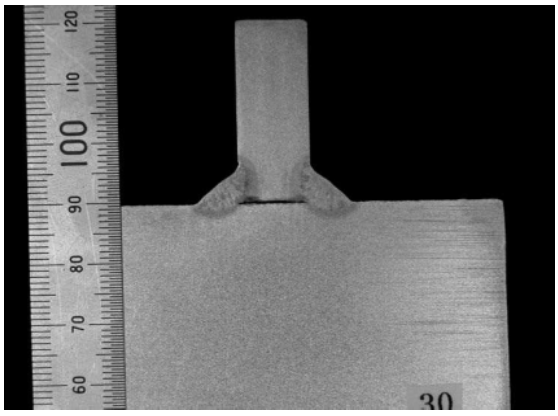
9-T1-27



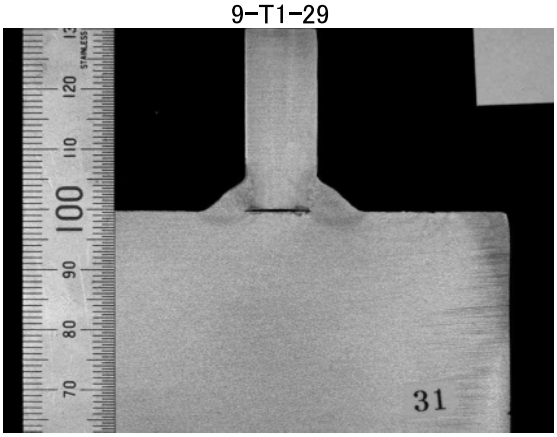
9-T1-28



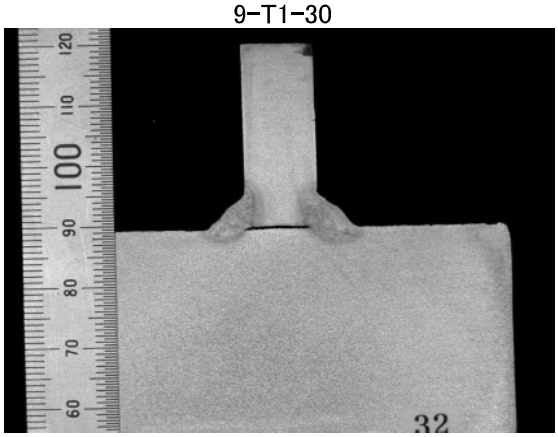
9-T1-29



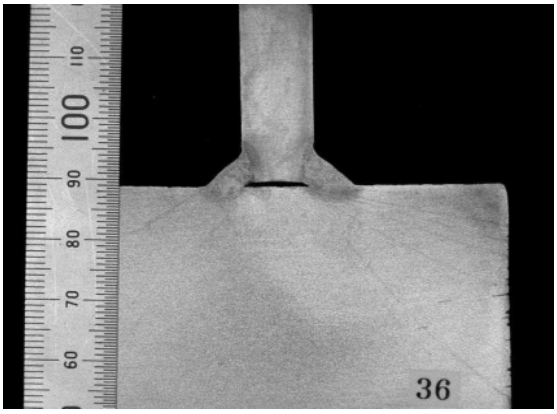
9-T1-30



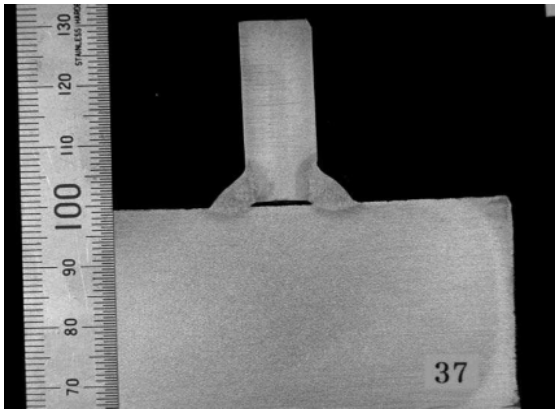
9-T1-31



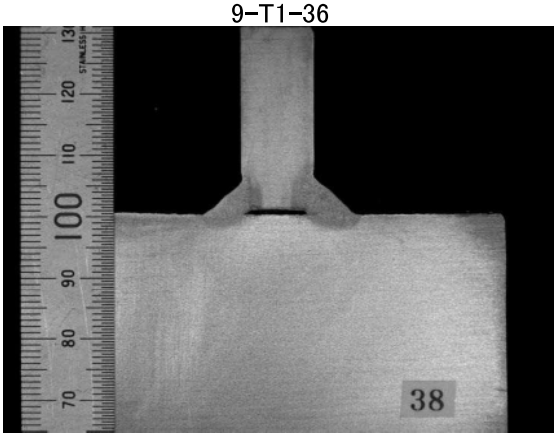
9-T1-32



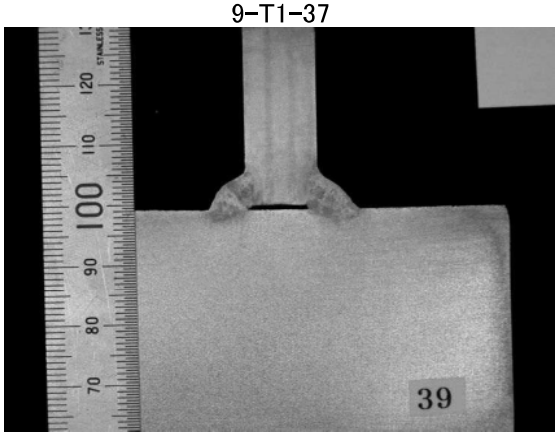
9-T1-36



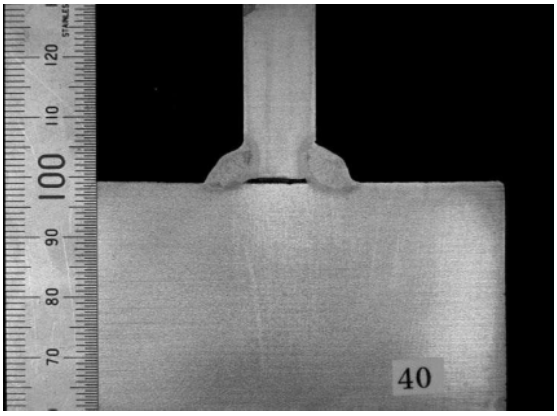
9-T1-37



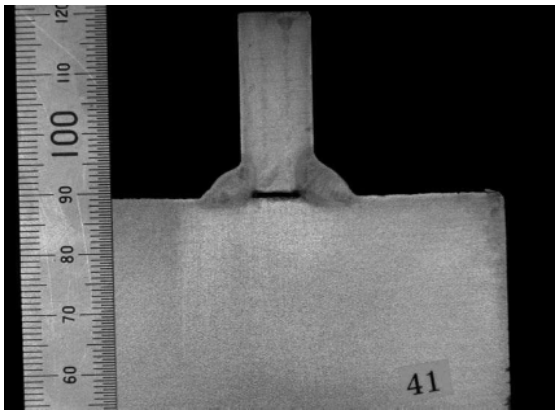
9-T1-38



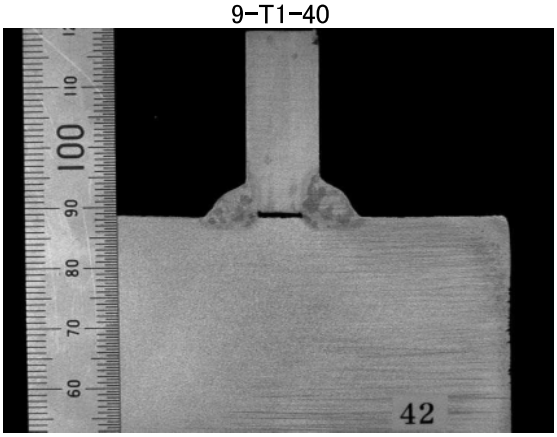
9-T1-39



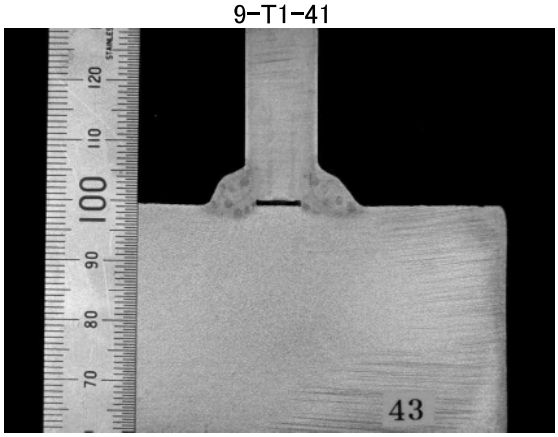
9-T1-40



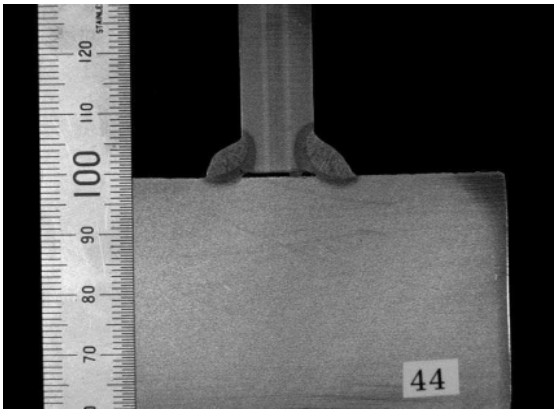
9-T1-41



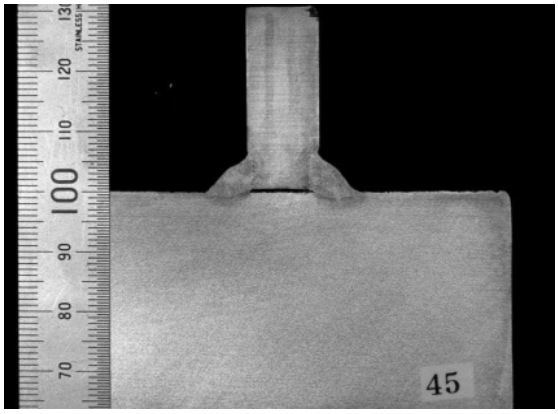
9-T1-42



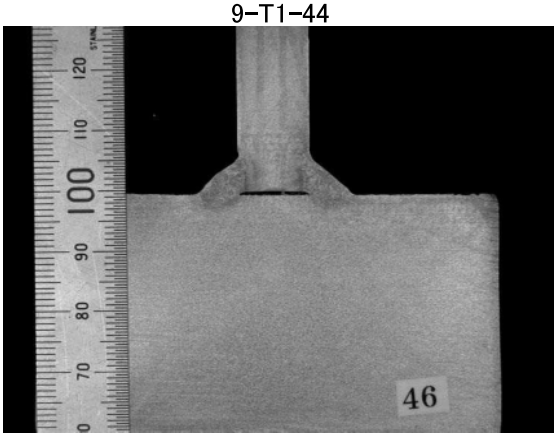
9-T1-43



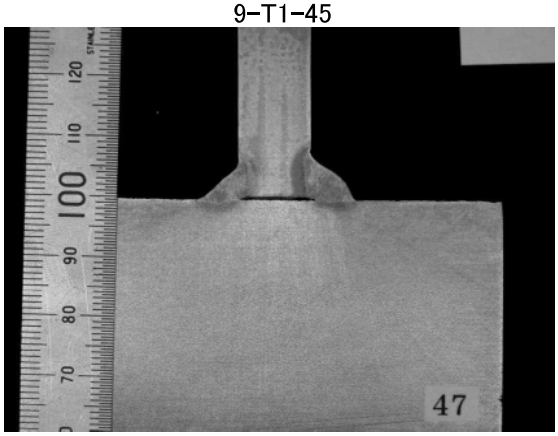
9-T1-44



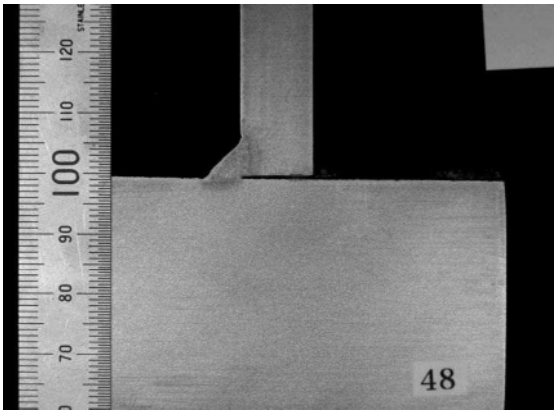
9-T1-45



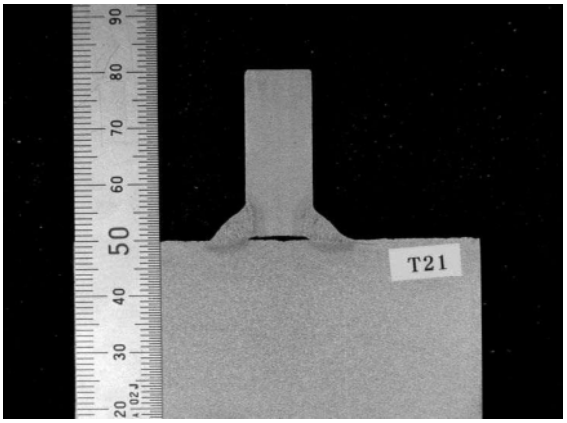
9-T1-46



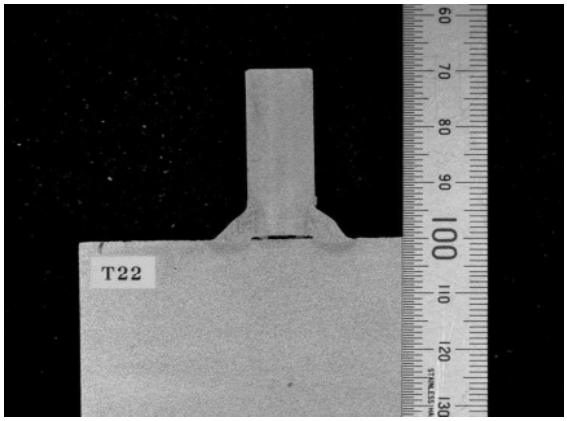
9-T1-47



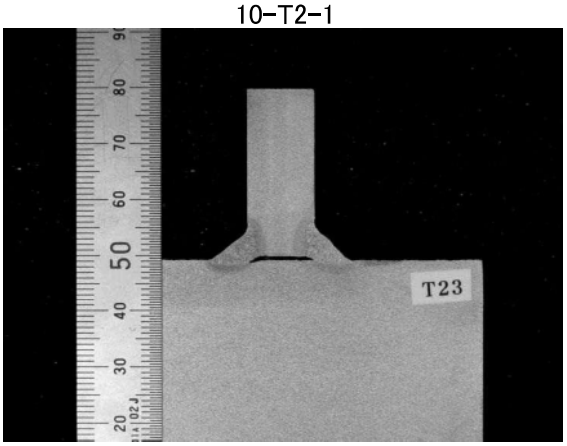
9-T1-48



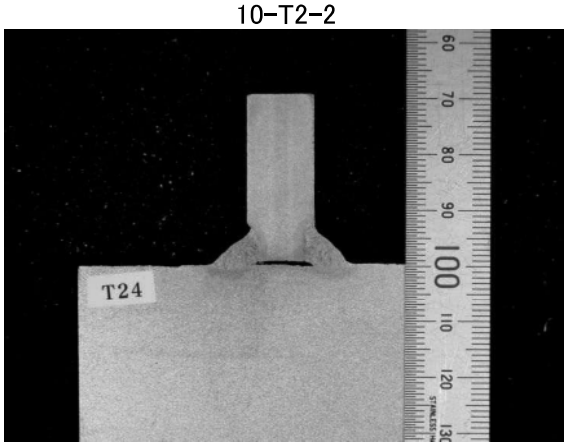
10-T2-1



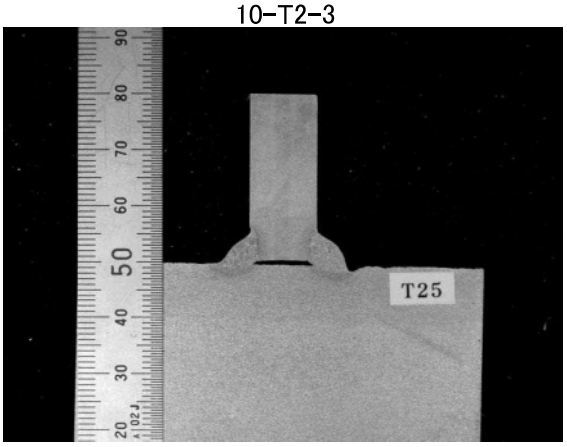
10-T2-2



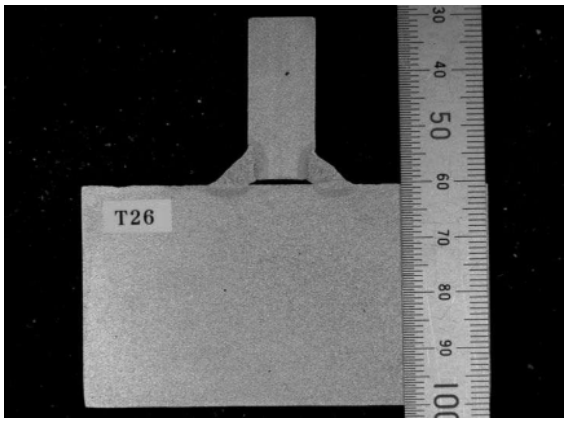
10-T2-3



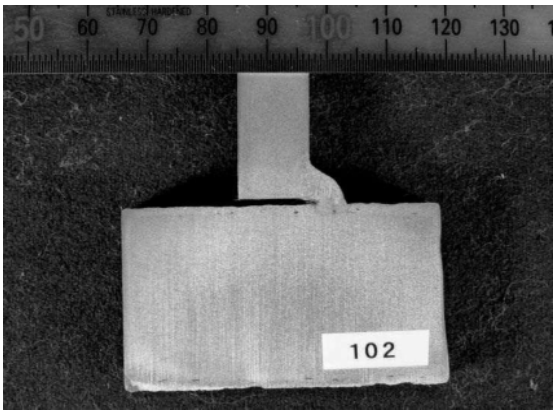
10-T2-4



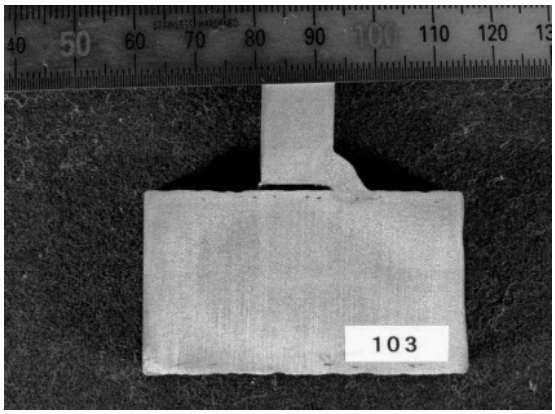
10-T2-5



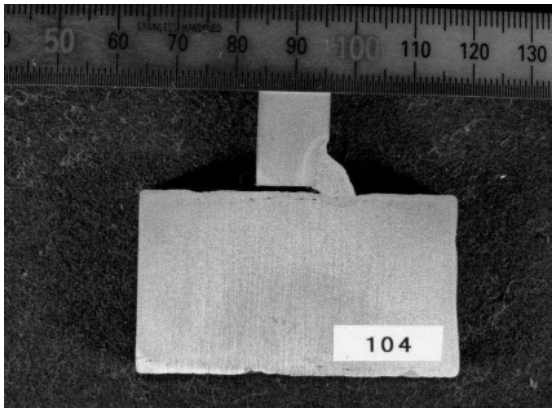
10-T2-6



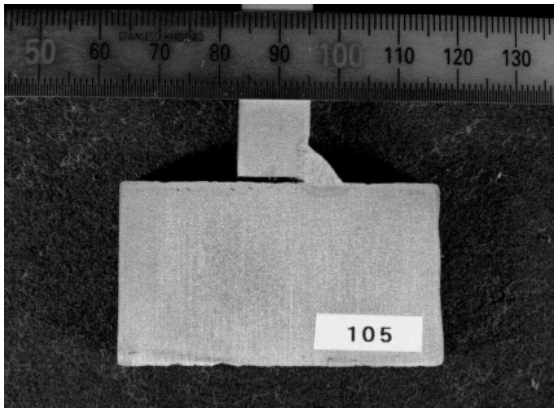
11-E6-2



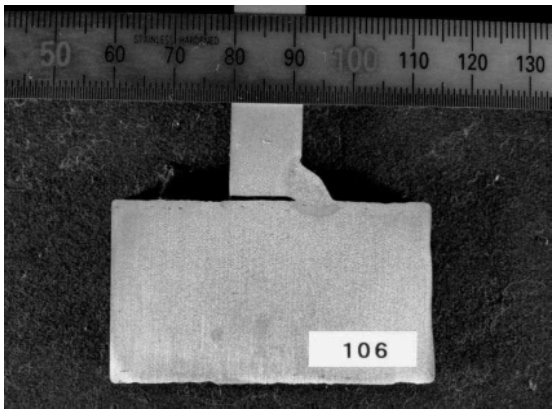
11-E6-3



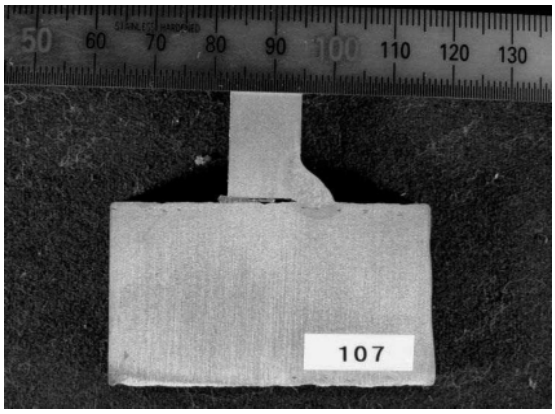
11-E6-4



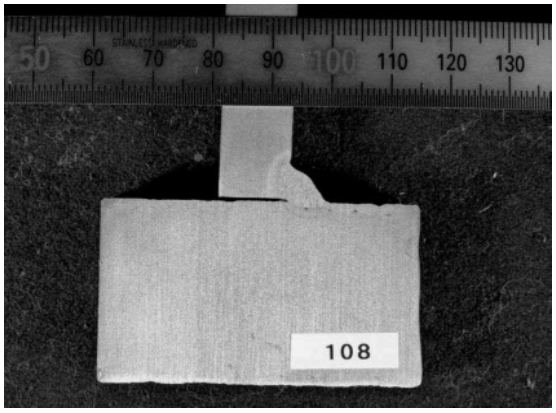
11-E6-5



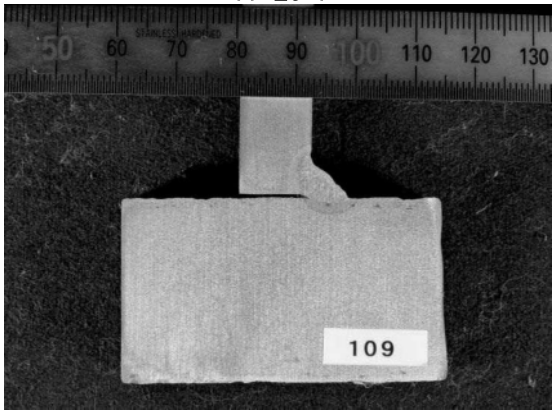
11-E6-6



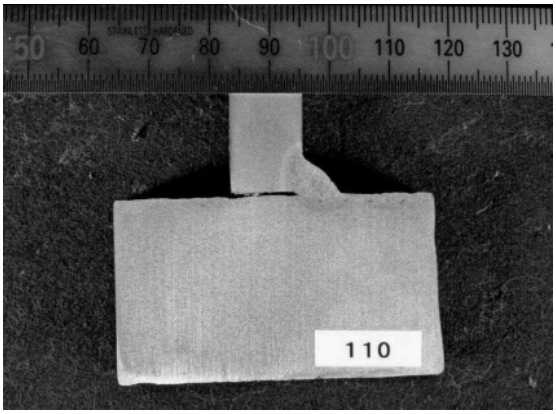
11-E6-7



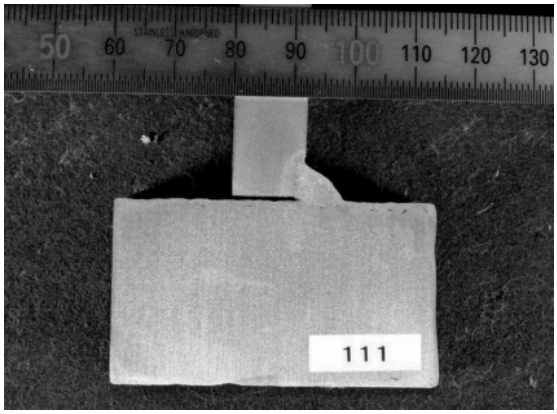
11-E6-8



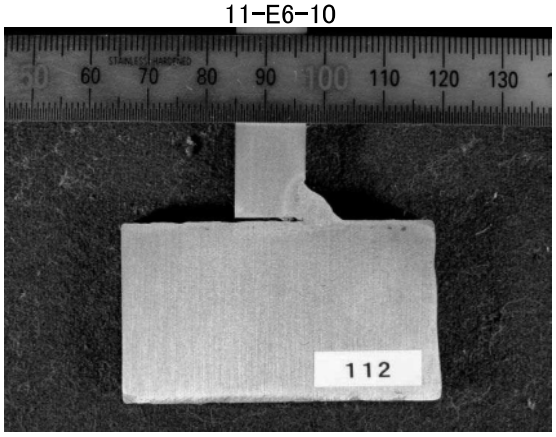
11-E6-9



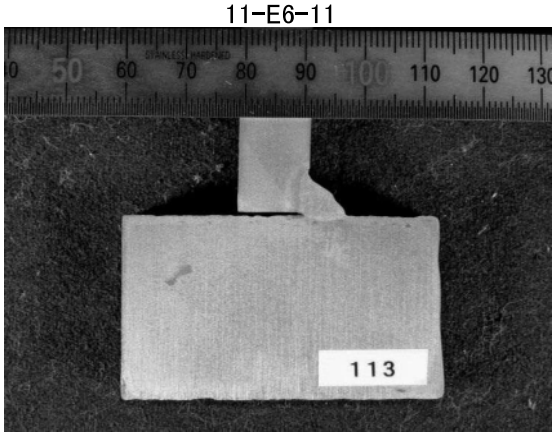
11-E6-10



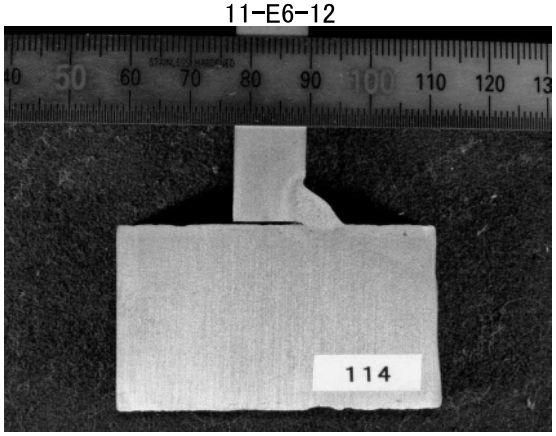
11-E6-11



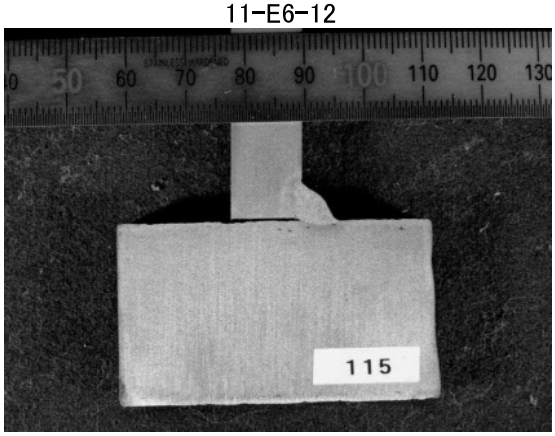
11-E6-12



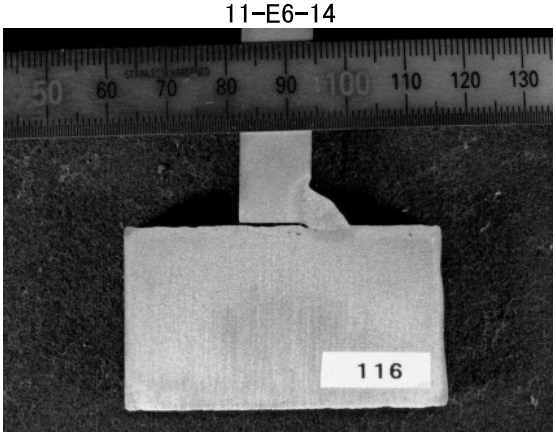
11-E6-12



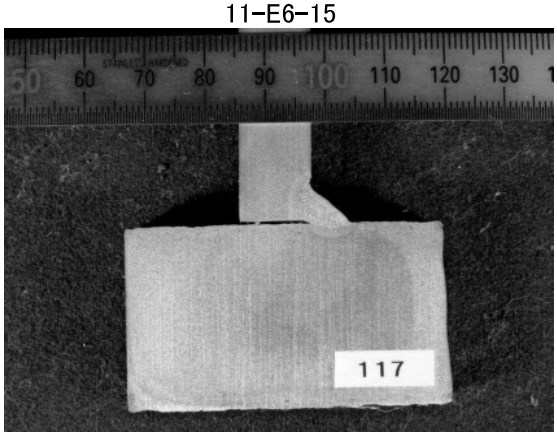
11-E6-14



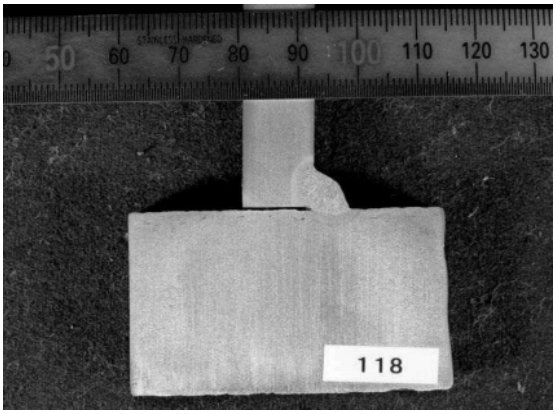
11-E6-15



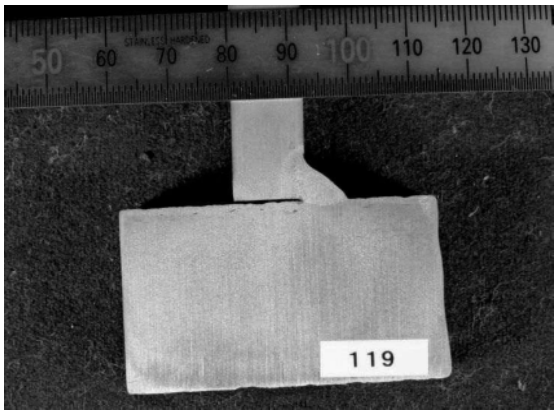
11-E6-16



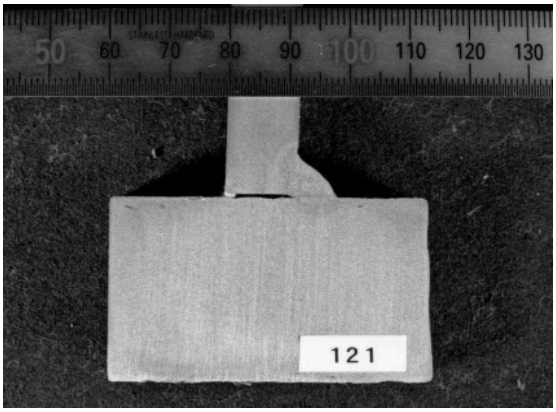
11-E6-17



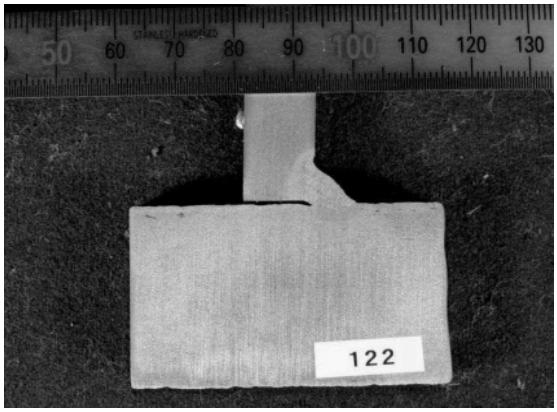
11-E6-18



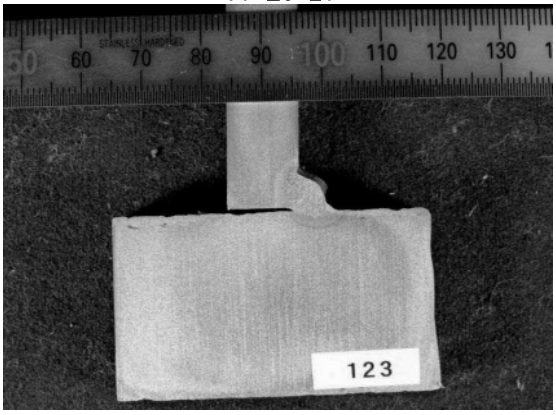
11-E6-19



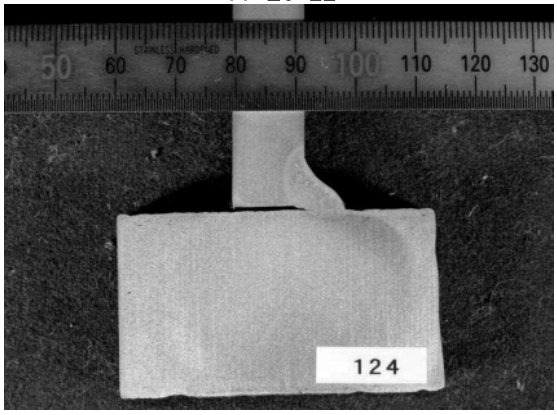
11-E6-21



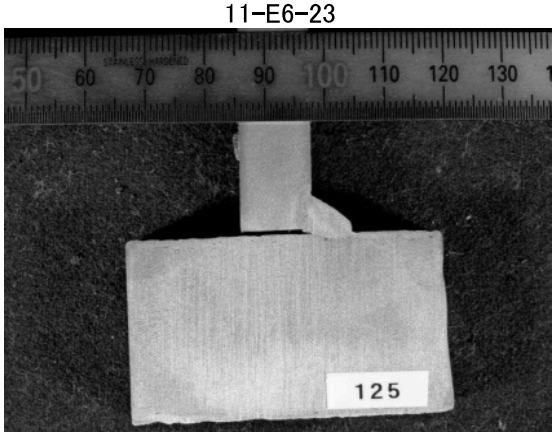
11-E6-22



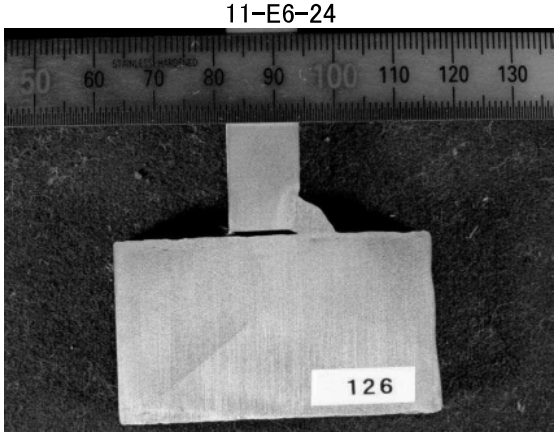
11-E6-23



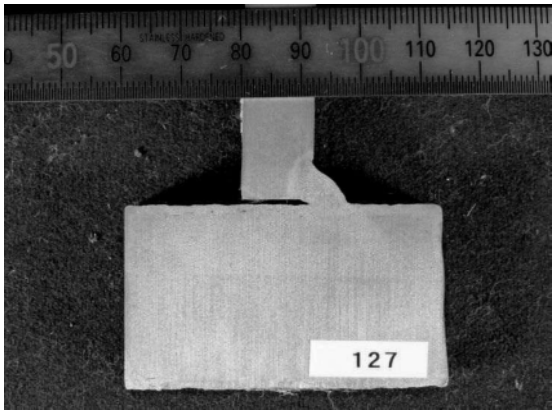
11-E6-24



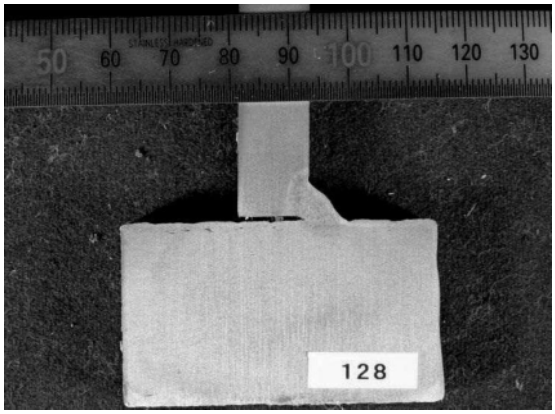
11-E6-25



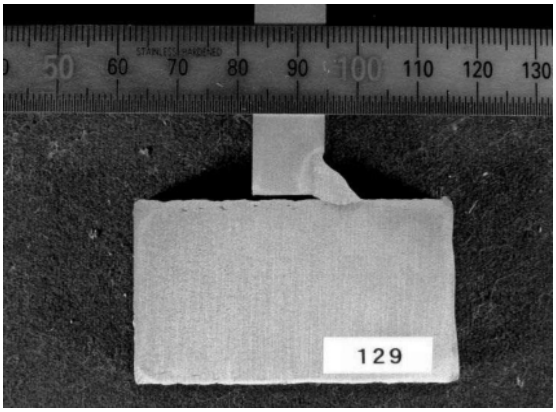
11-E6-26



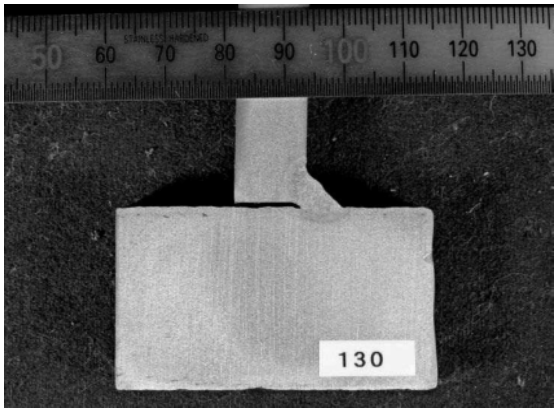
11-E6-27



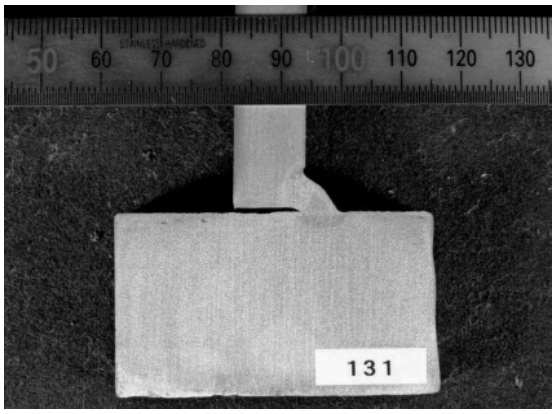
11-E6-28



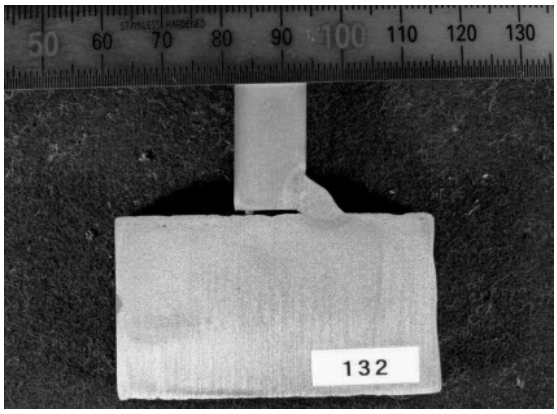
11-E6-29



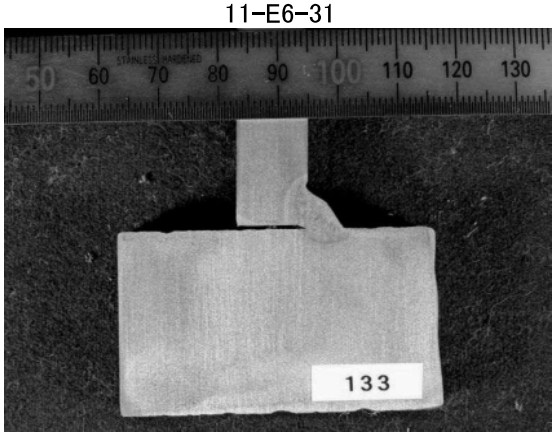
11-E6-30



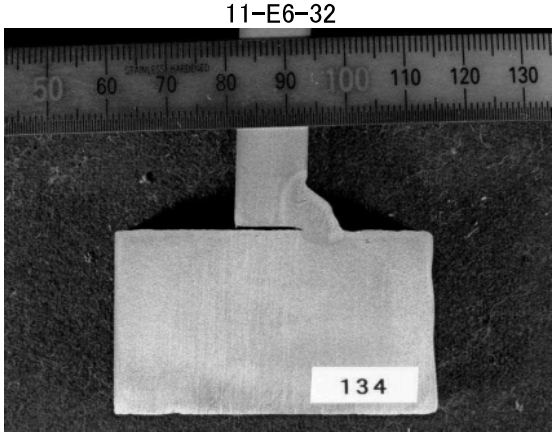
11-E6-31



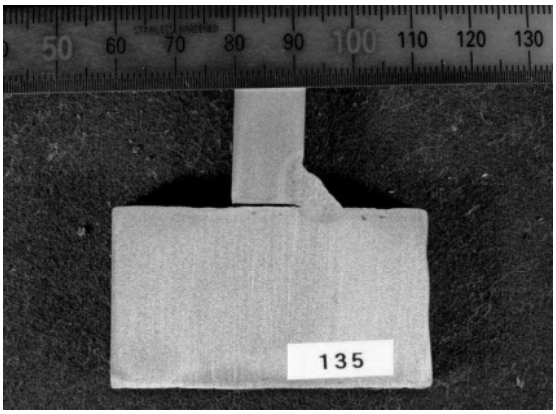
11-E6-32



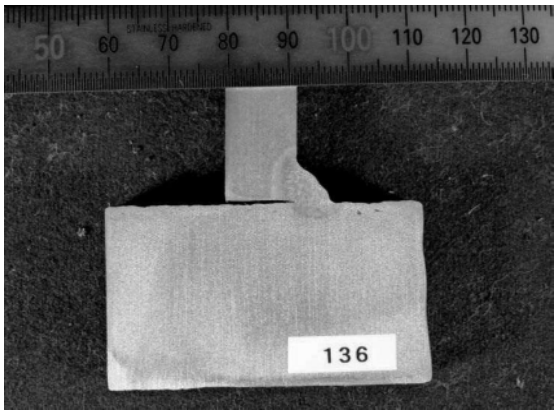
11-E6-33



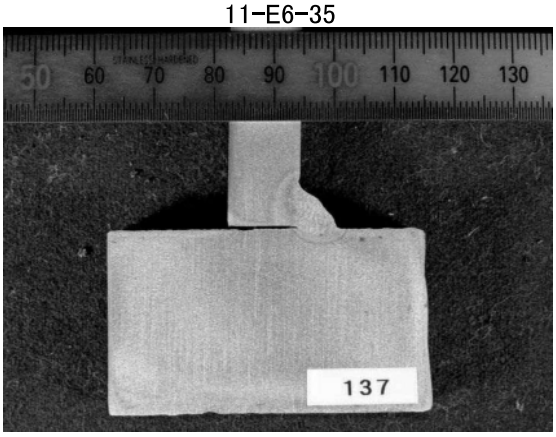
11-E6-34



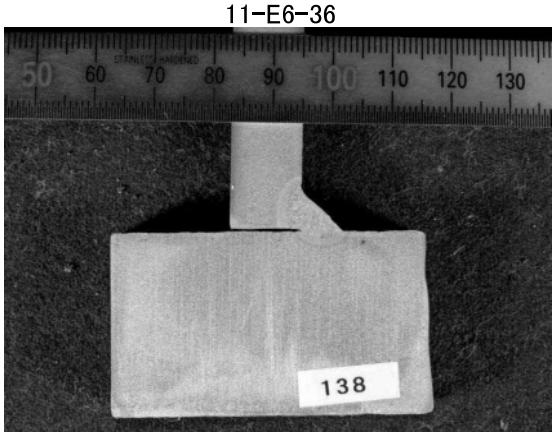
11-E6-35



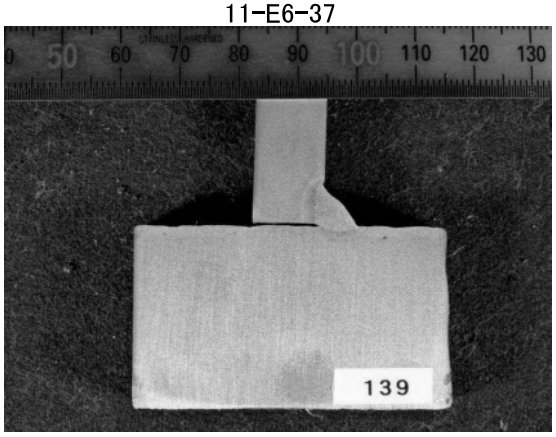
11-E6-36



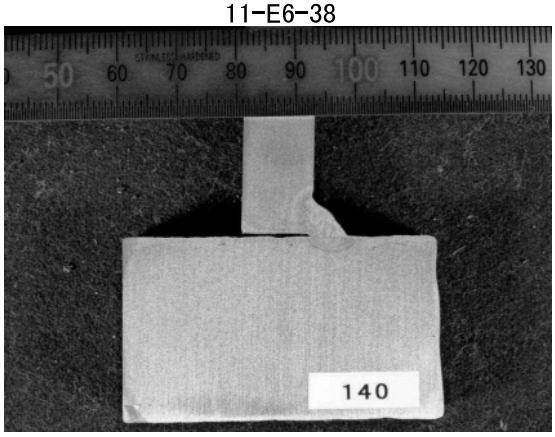
11-E6-37



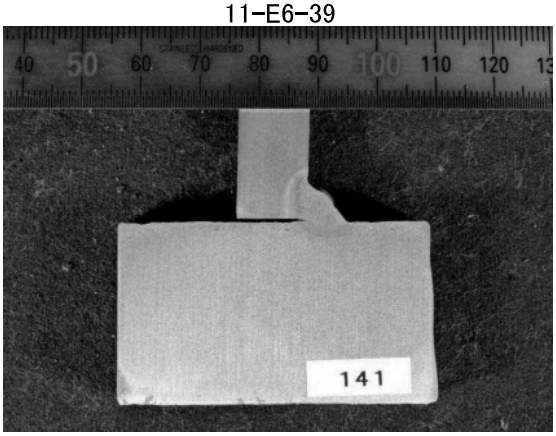
11-E6-38



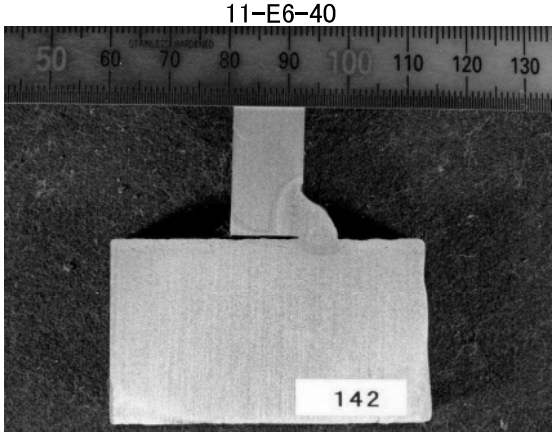
11-E6-39



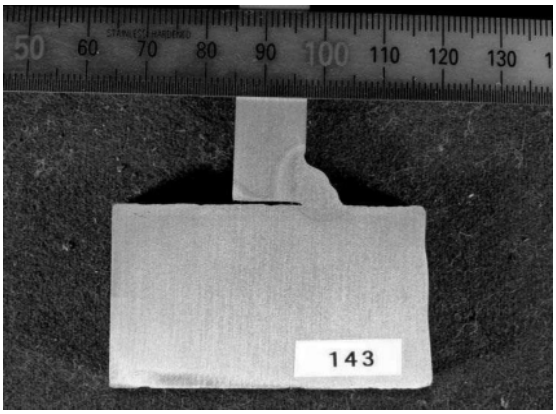
11-E6-40



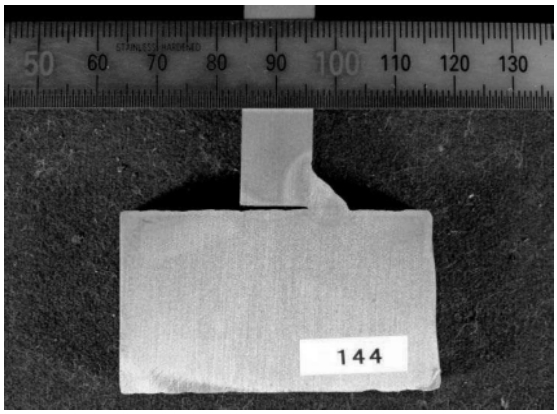
11-E6-41



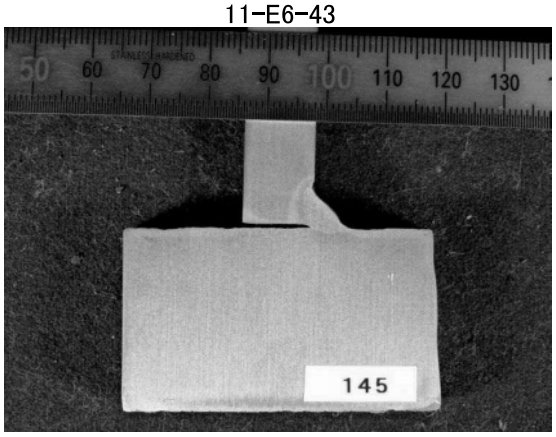
11-E6-42



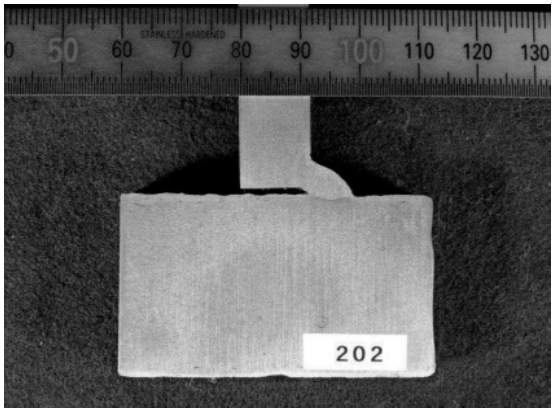
11-E6-43



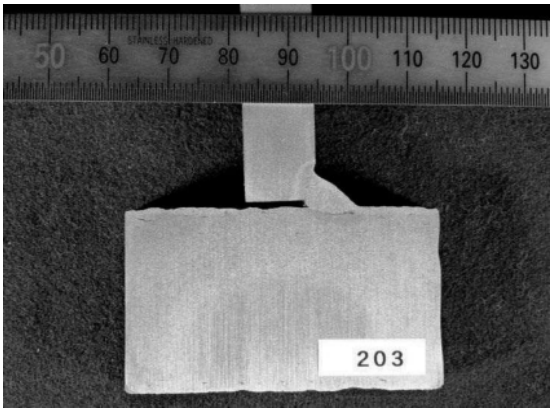
11-E6-44



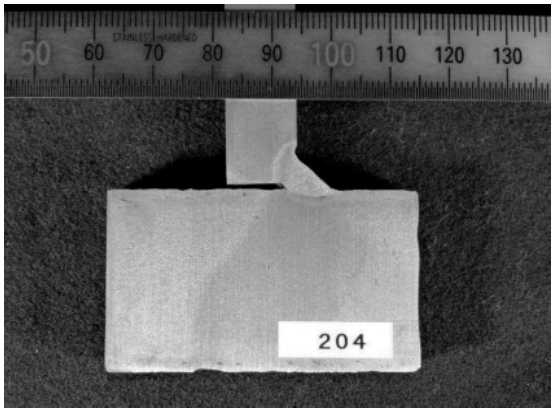
11-E6-45



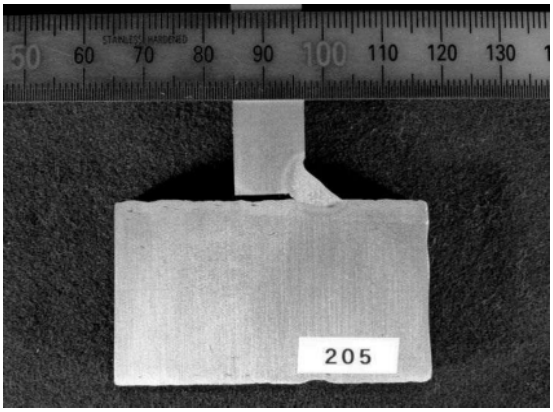
12-E7-2



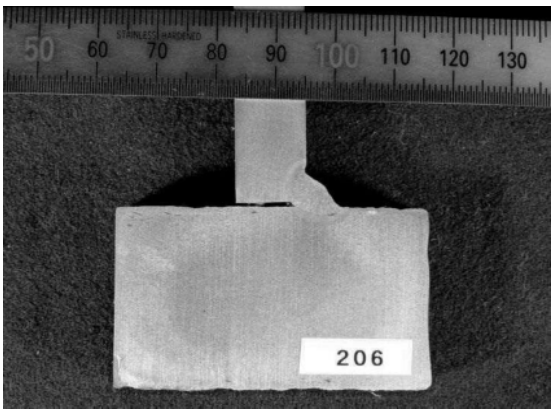
12-E7-3



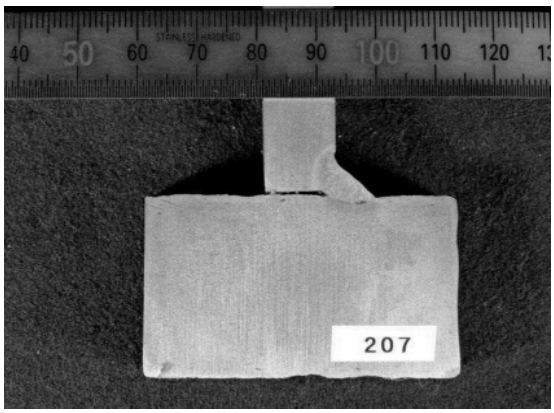
12-E7-4



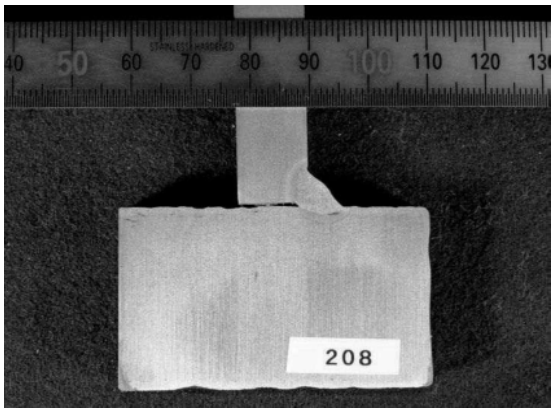
12-E7-5



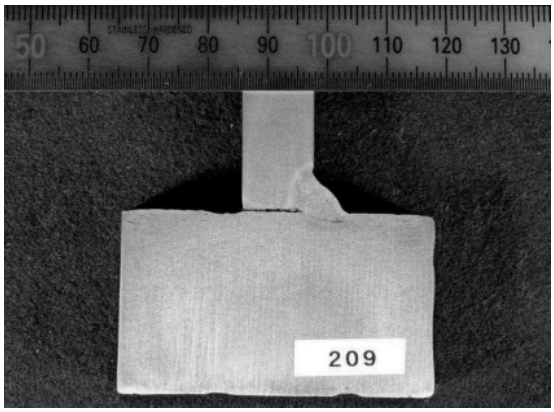
12-E7-6



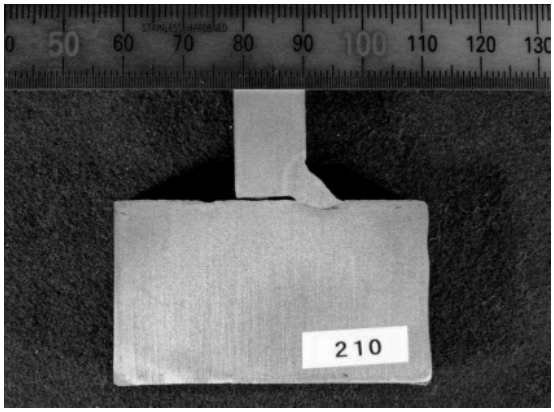
12-E7-7



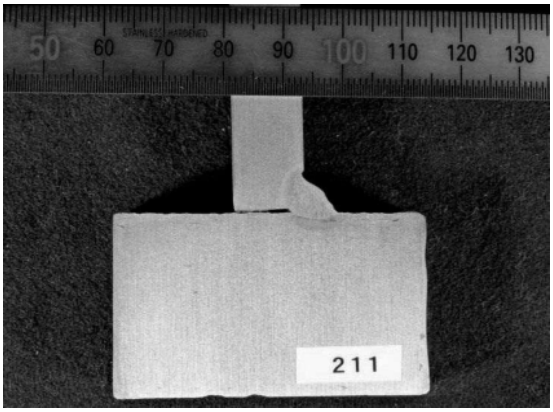
12-E7-8



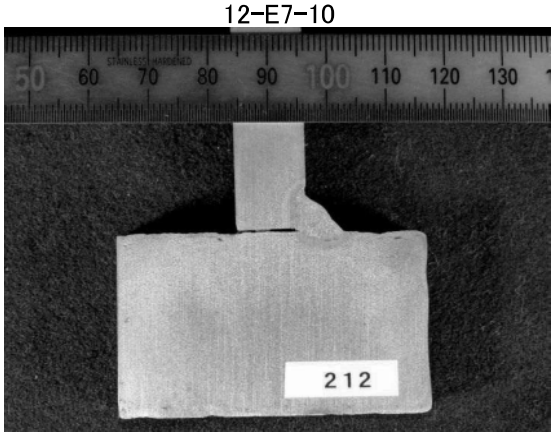
12-E7-9



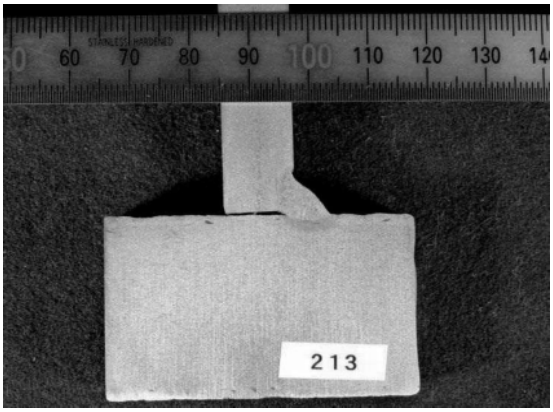
12-E7-10



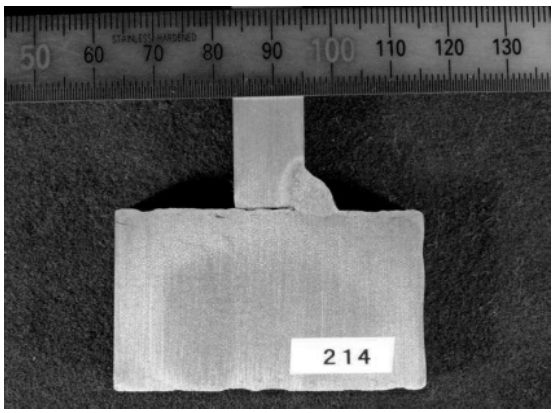
12-E7-11



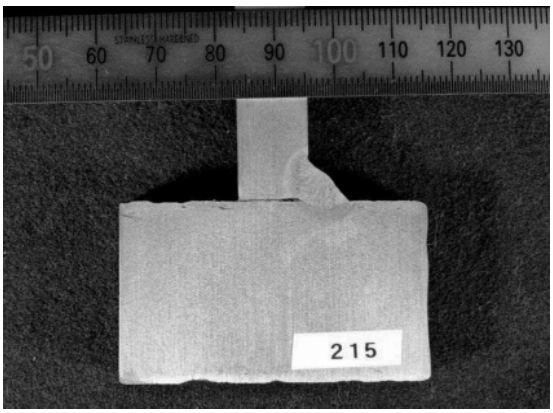
12-E7-12



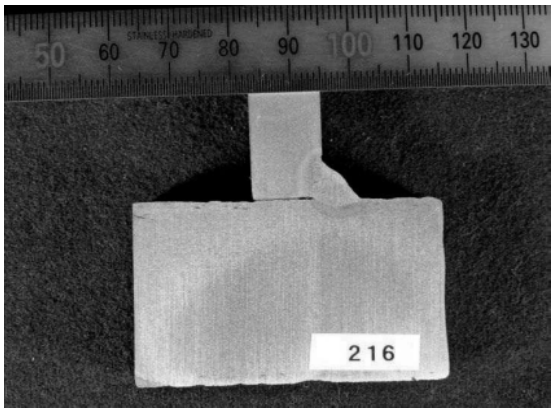
12-E7-13



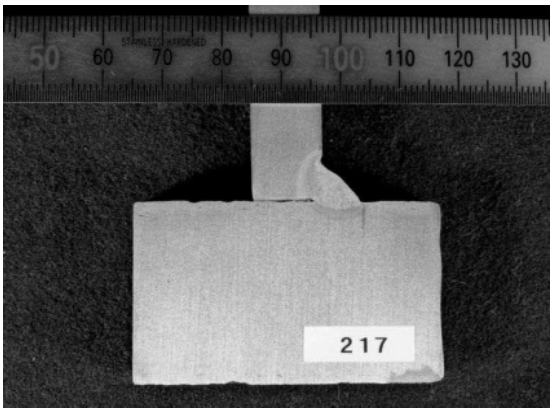
12-E7-14



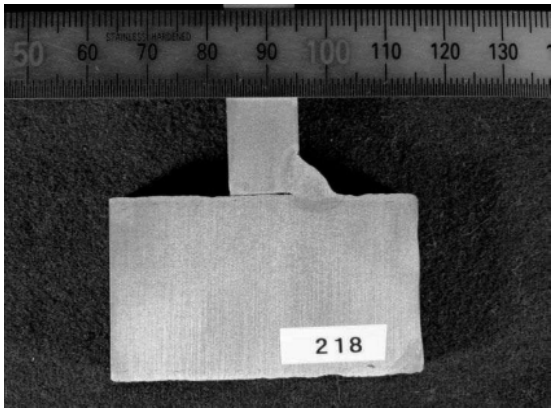
12-E7-15



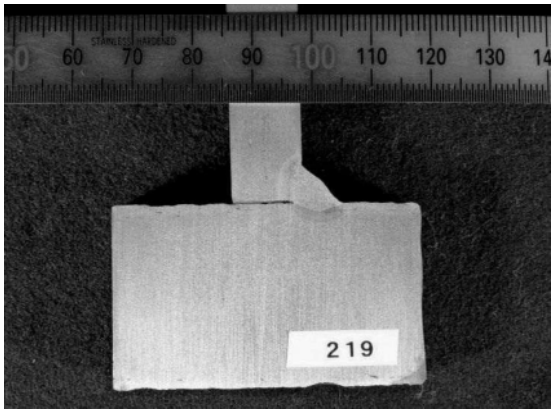
12-E7-16



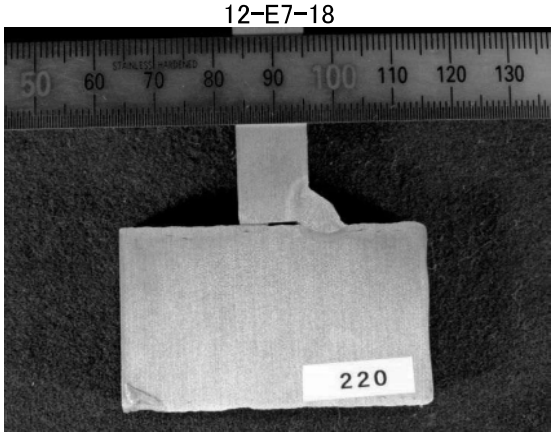
12-E7-17



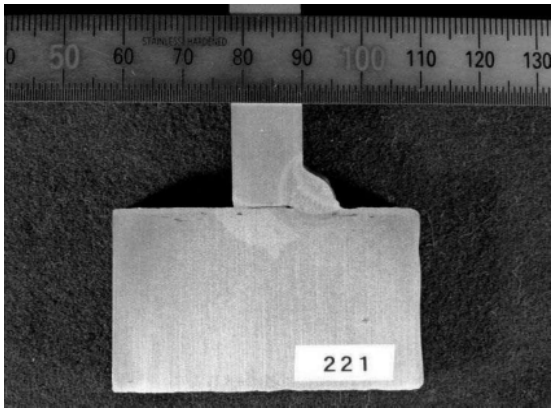
12-E7-18



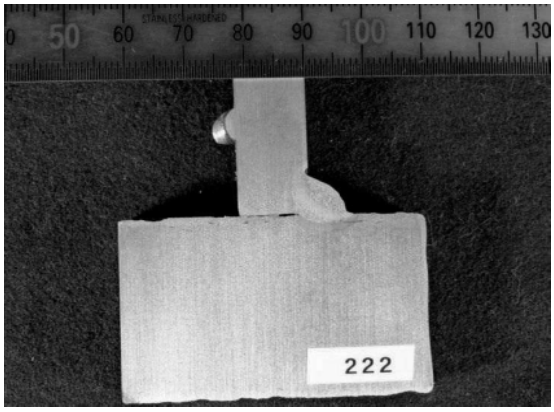
12-E7-19



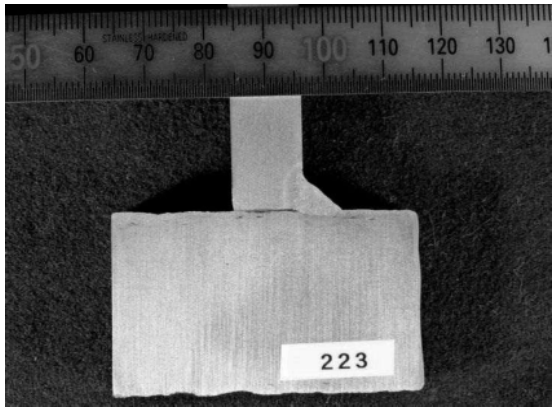
12-E7-20



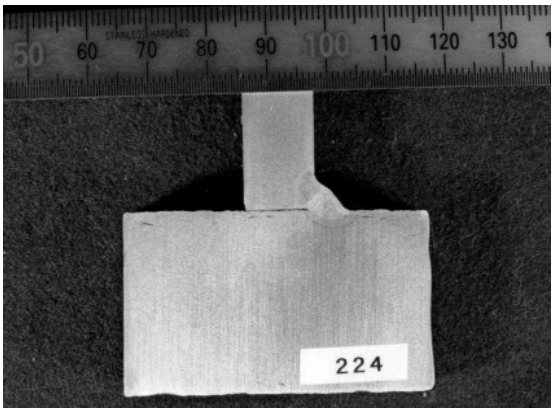
12-E7-21



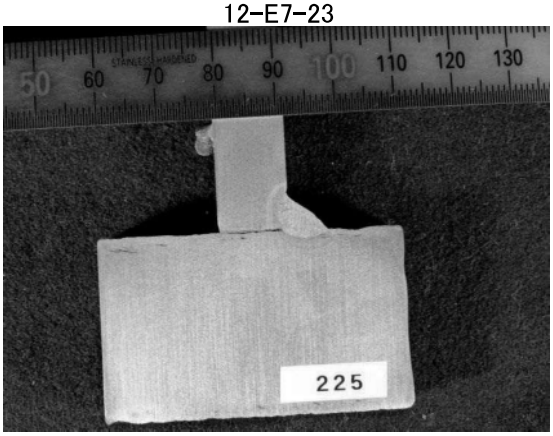
12-E7-22



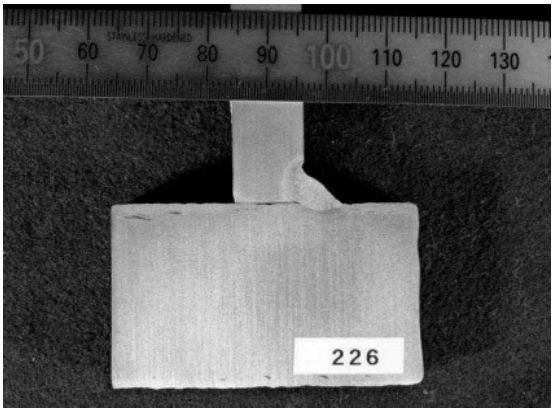
12-E7-23



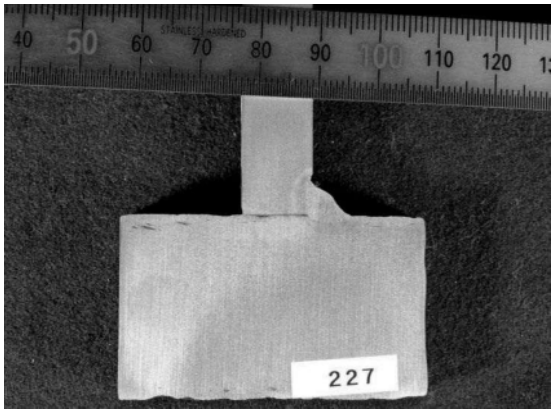
12-E7-24



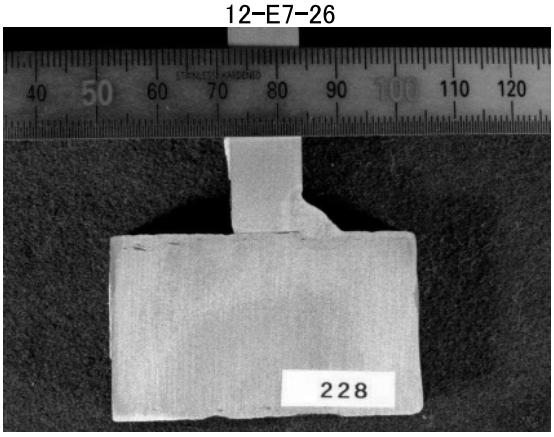
12-E7-25



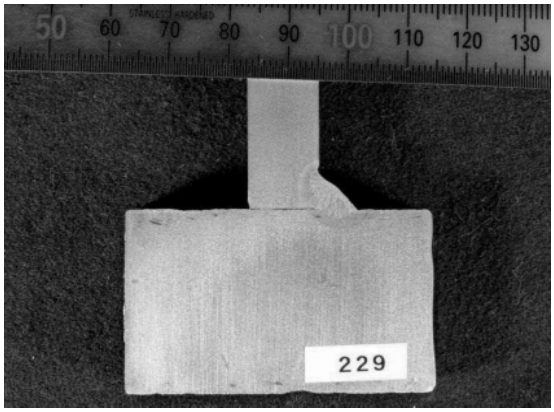
12-E7-26



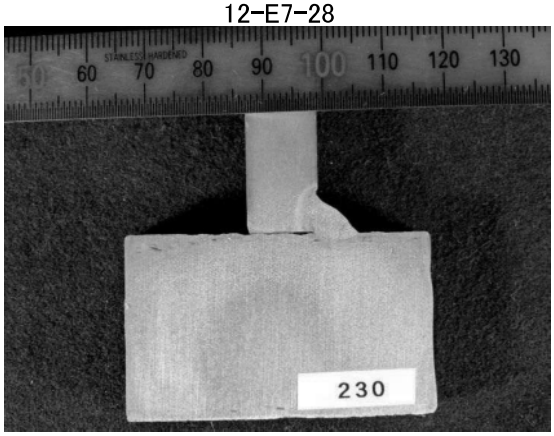
12-E7-27



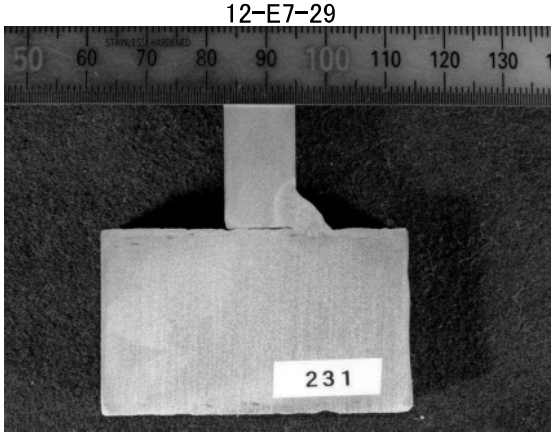
12-E7-28



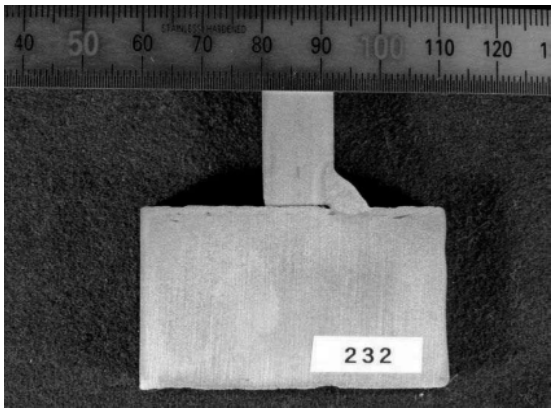
12-E7-29



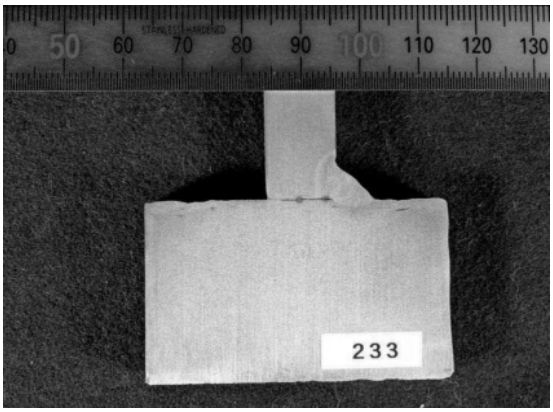
12-E7-30



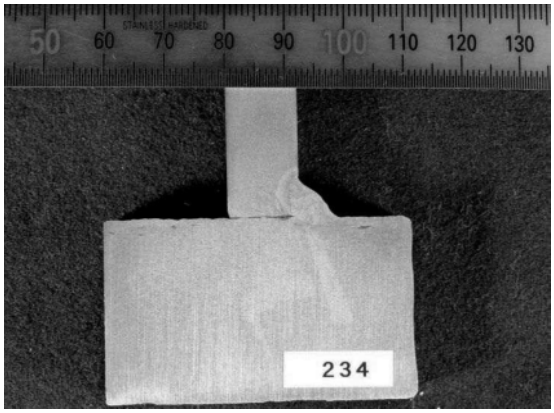
12-E7-31



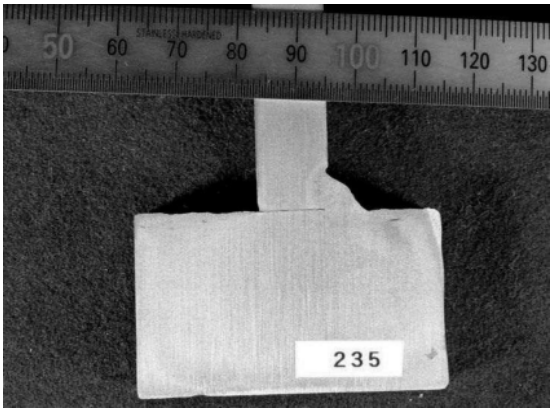
12-E7-32



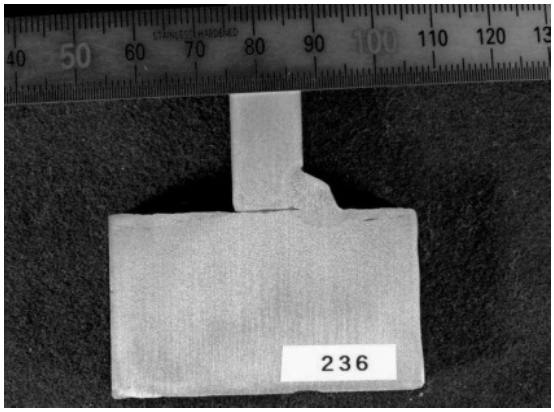
12-E7-33



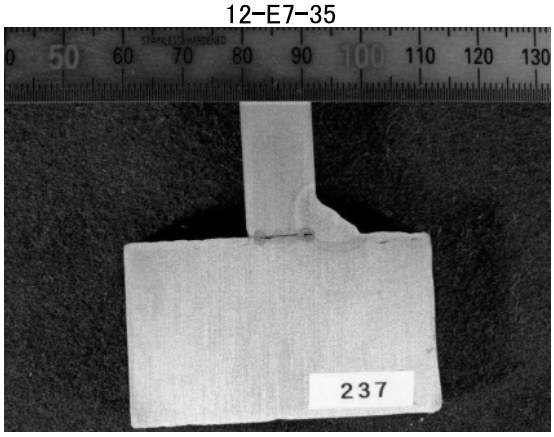
12-E7-34



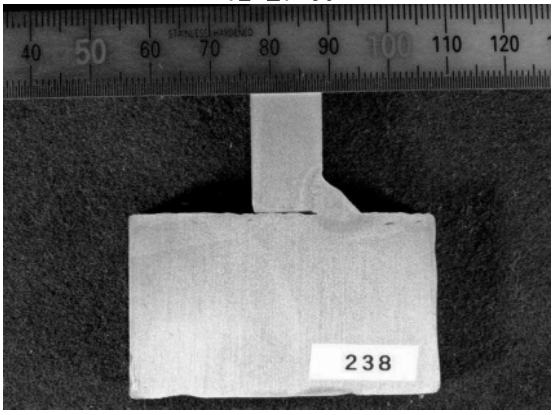
12-E7-35



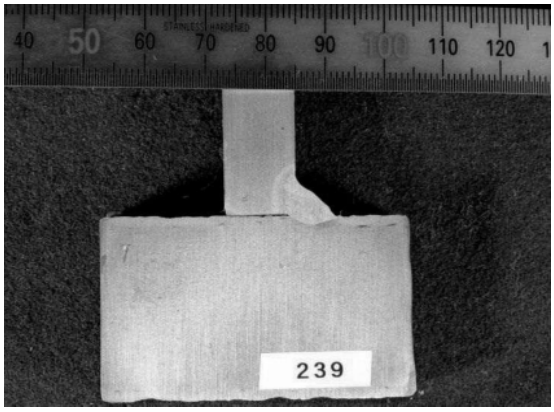
12-E7-36



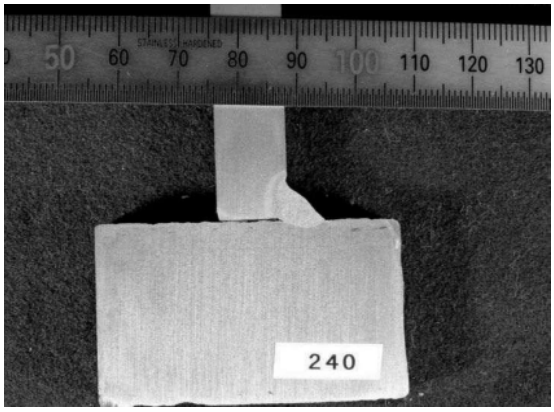
12-E7-37



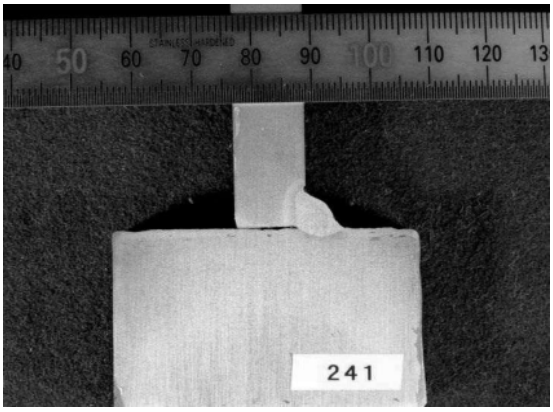
12-E7-38



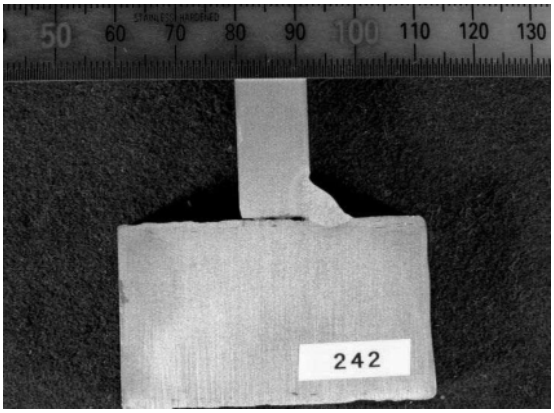
12-E7-39



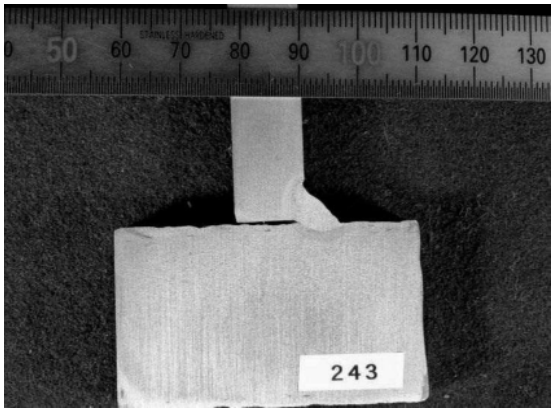
12-E7-40



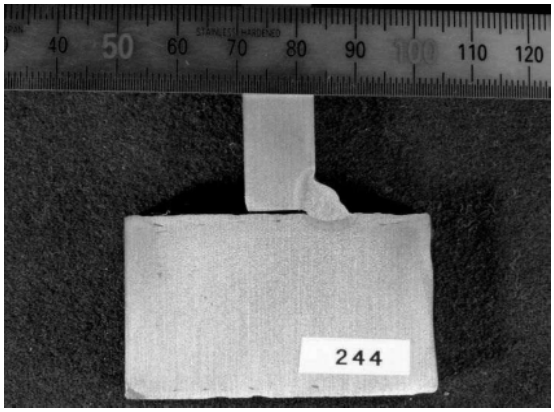
12-E7-41



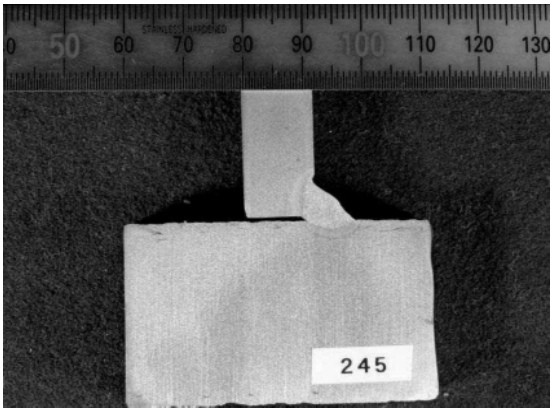
12-E7-42



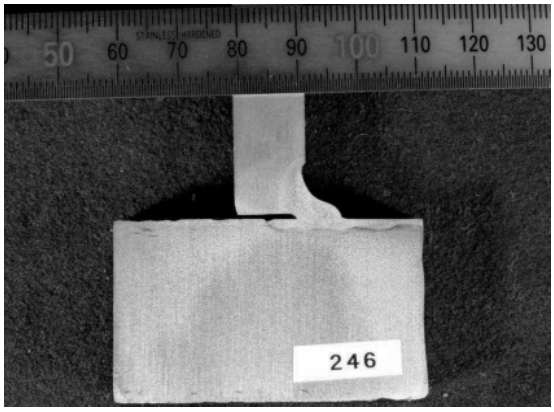
12-E7-43



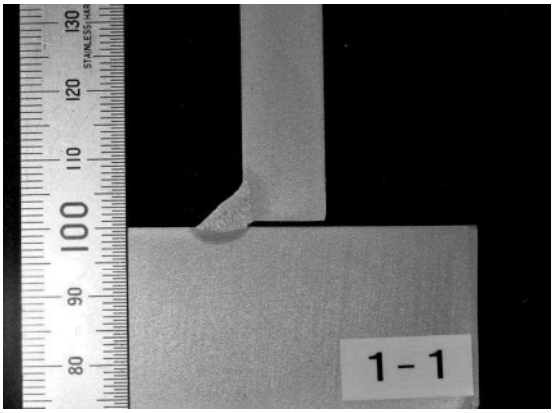
12-E7-44



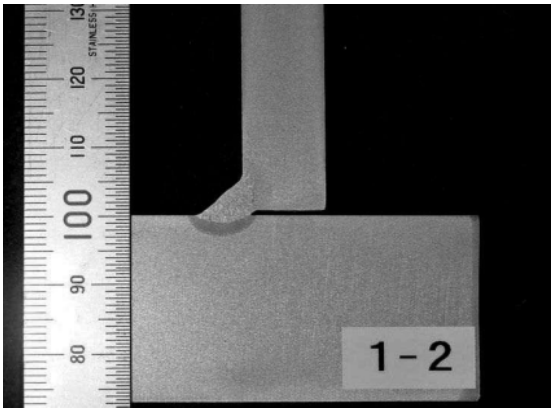
12-E7-45



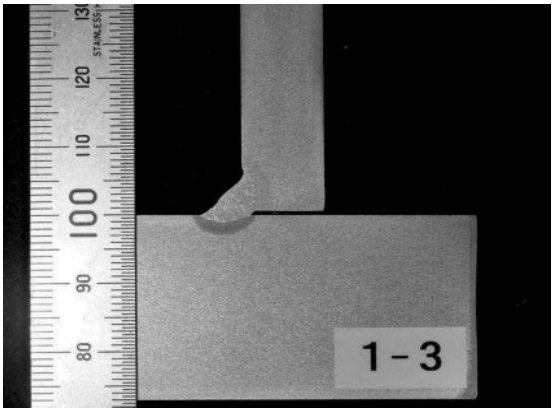
12-E7-46



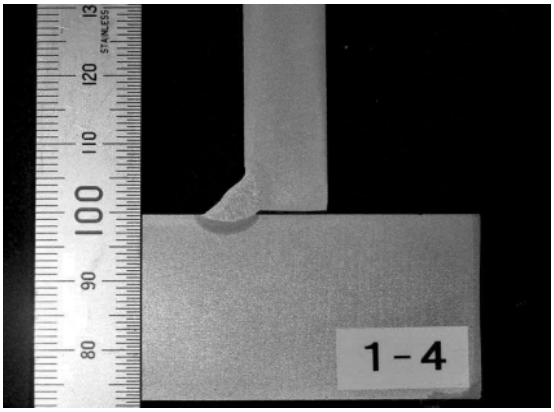
13-W1-1



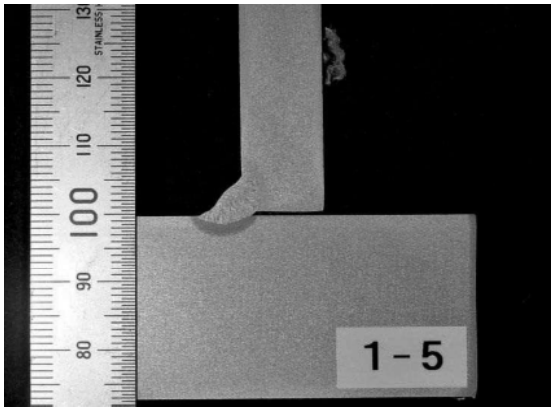
13-W1-2



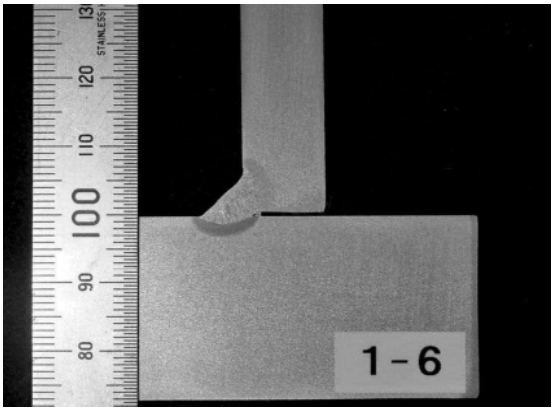
13-W1-3



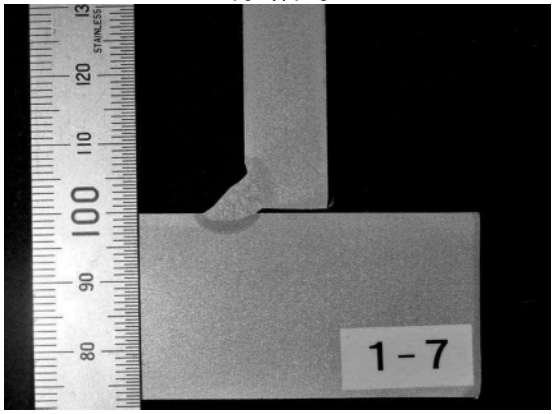
13-W1-4



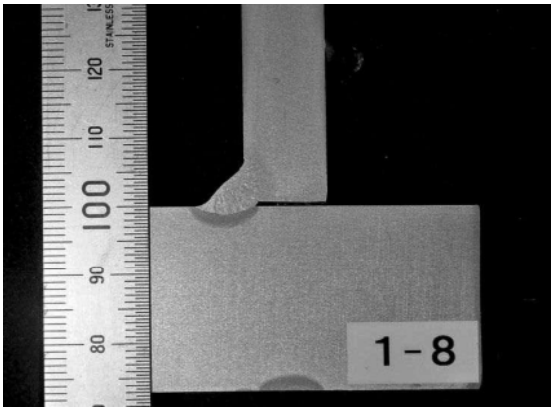
13-W1-5



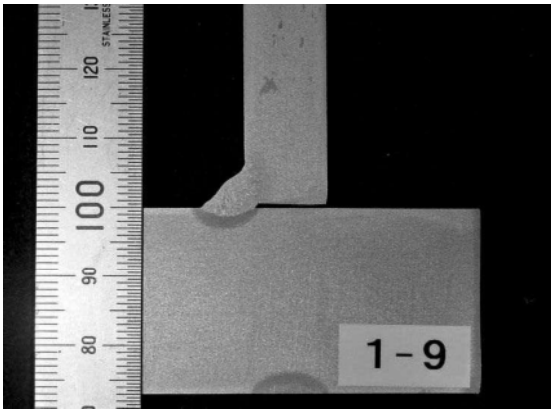
13-W1-6



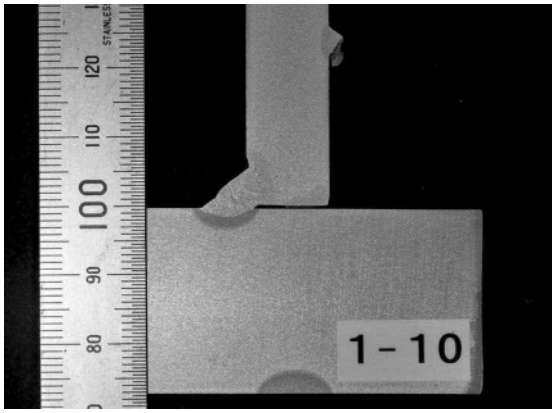
13-W1-7



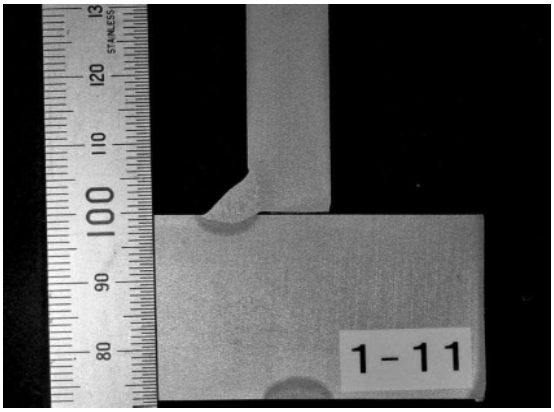
13-W1-8



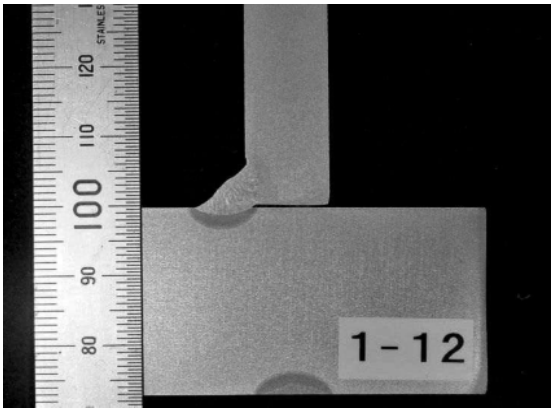
13-W1-9



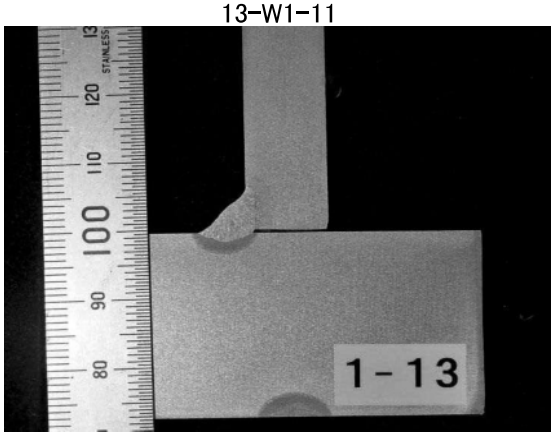
13-W1-10



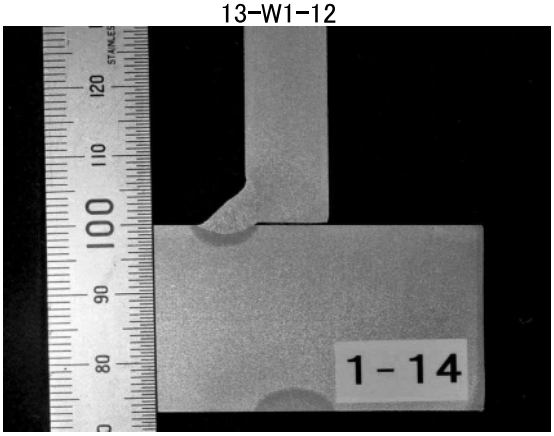
13-W1-11



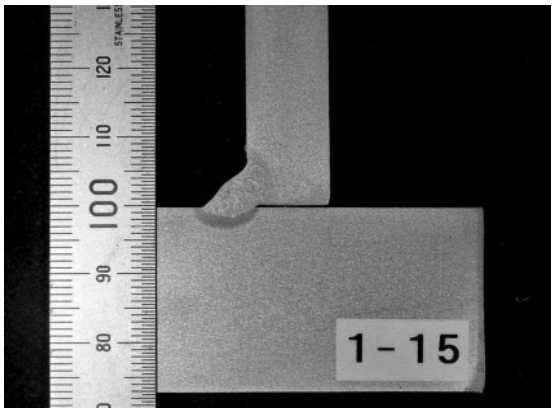
13-W1-12



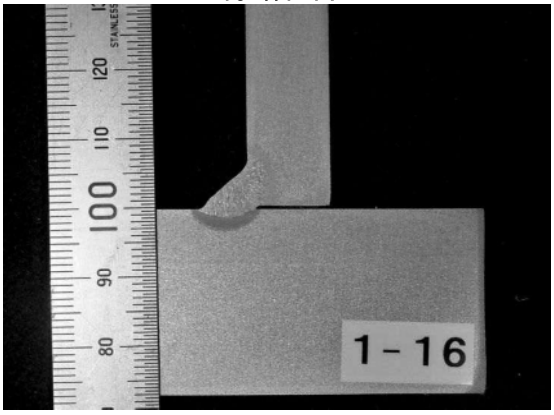
13-W1-13



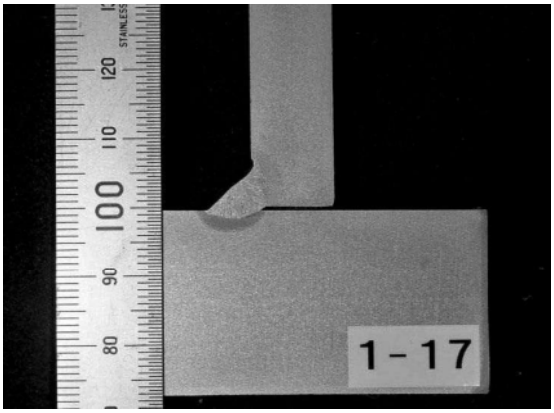
13-W1-14



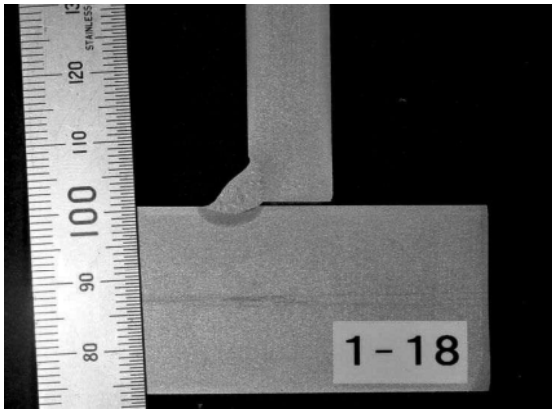
13-W1-15



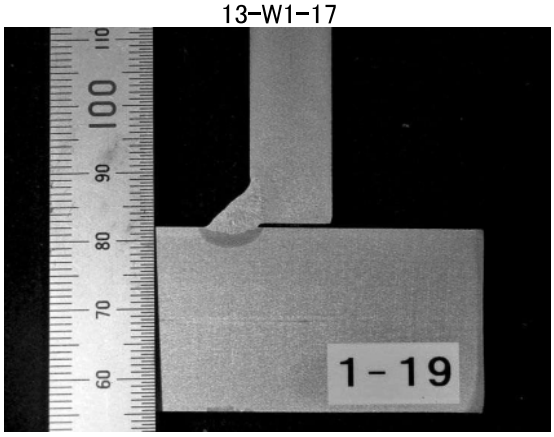
13-W1-16



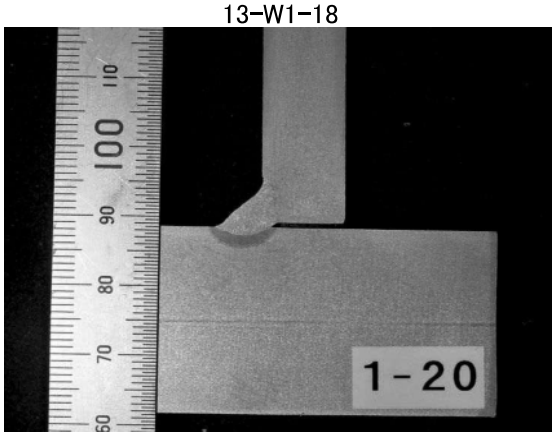
13-W1-17



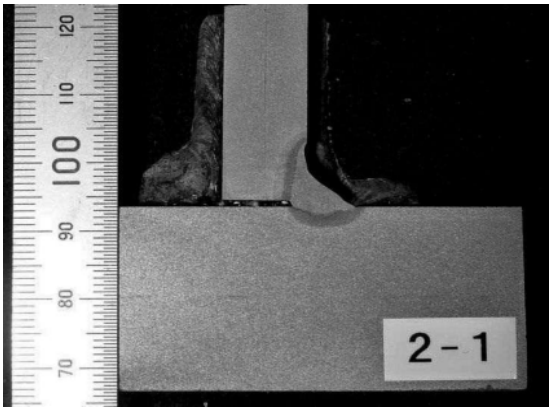
13-W1-18



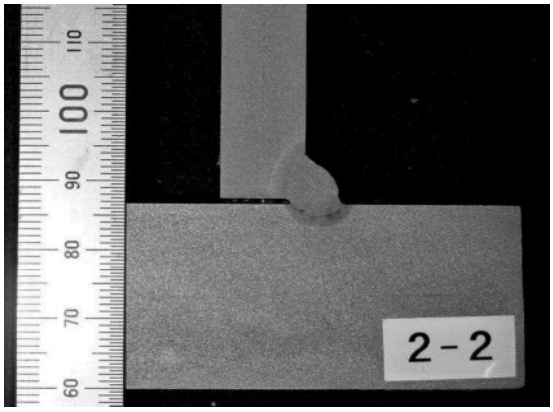
13-W1-19



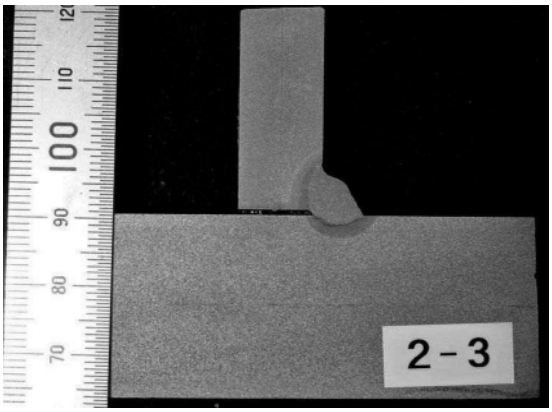
13-W1-20



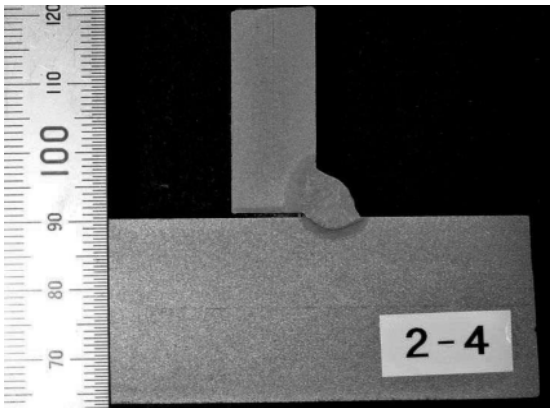
16-W2-1



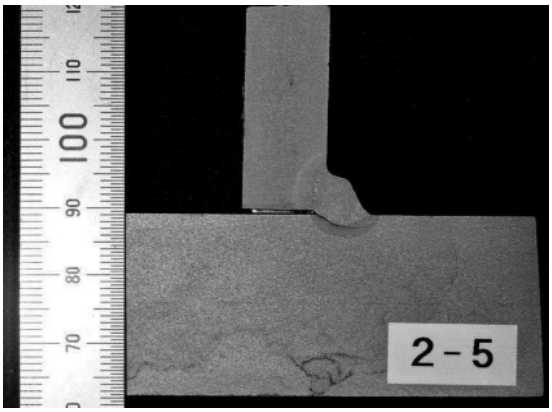
16-W2-2



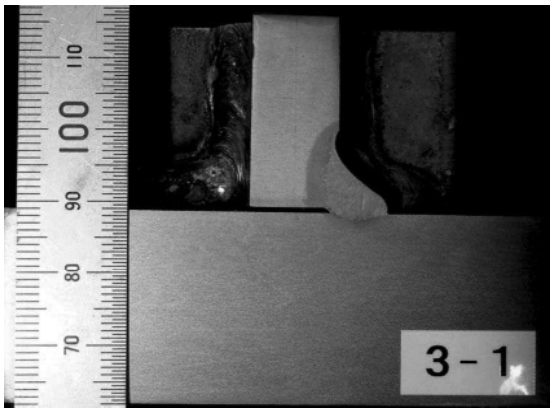
16-W2-3



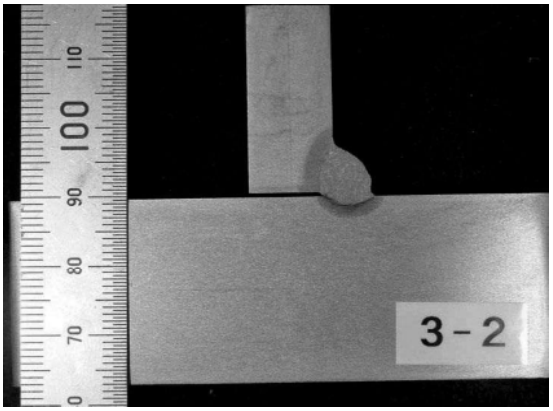
16-W2-4



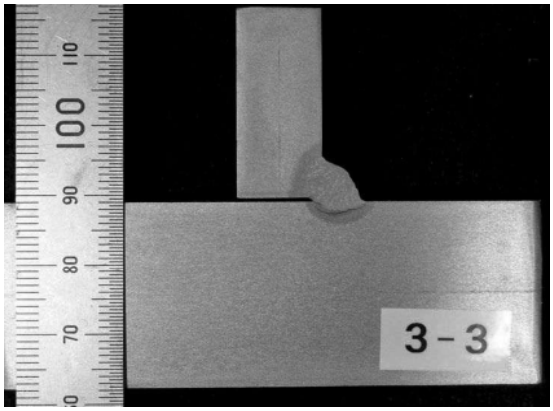
16-W2-5



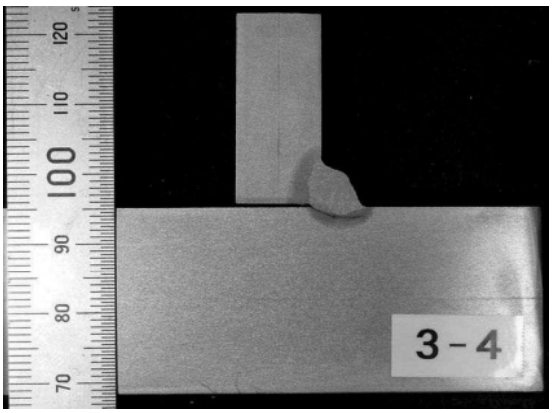
17-W3-1



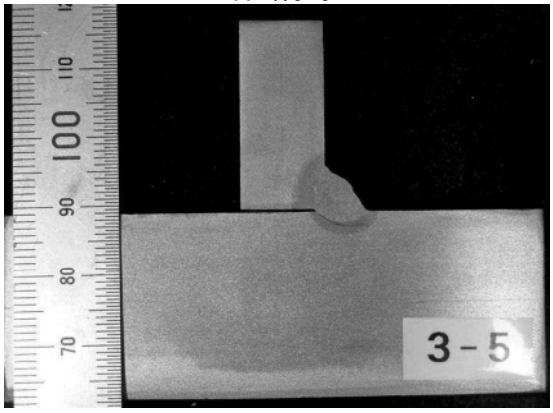
17-W3-2



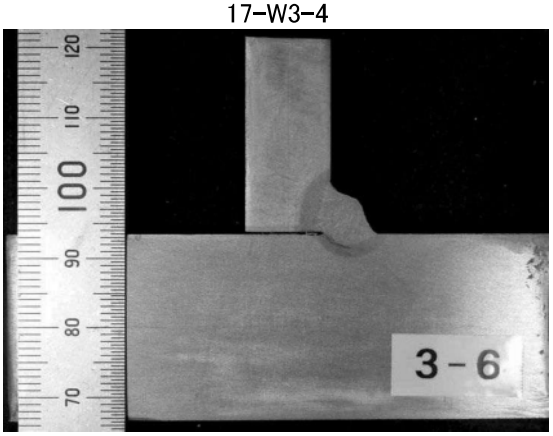
17-W3-3



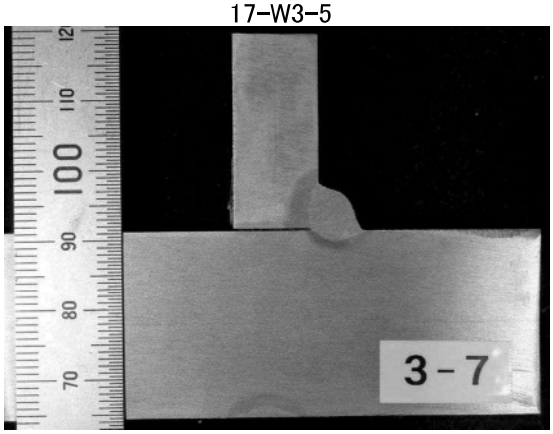
17-W3-4



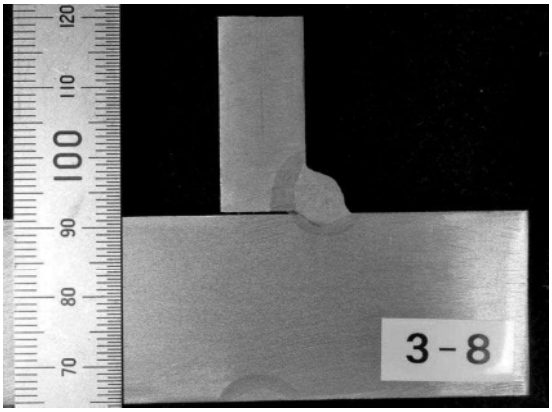
17-W3-5



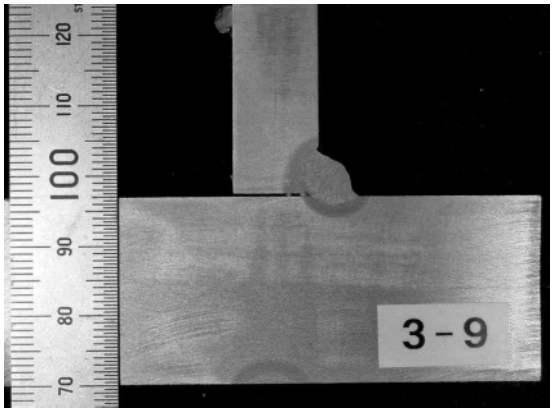
17-W3-6



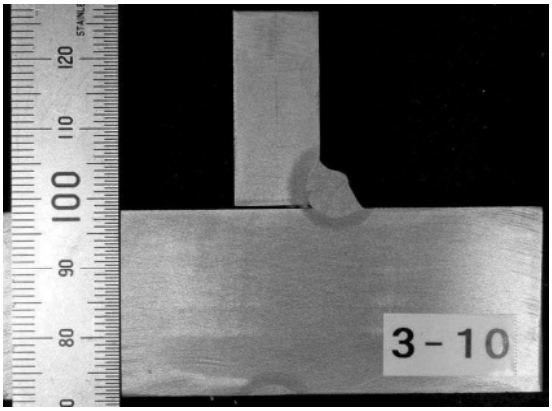
17-W3-7



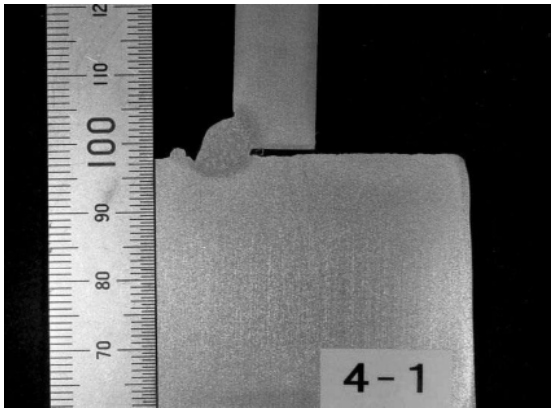
17-W3-8



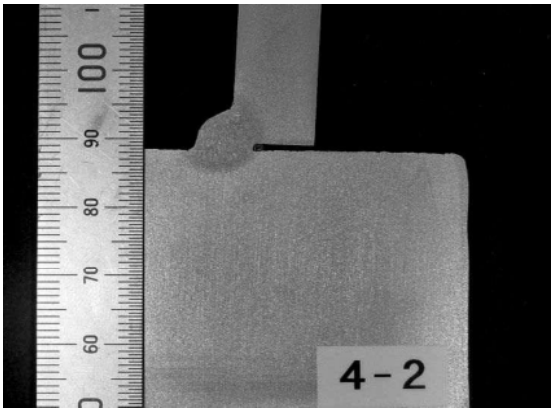
17-W3-9



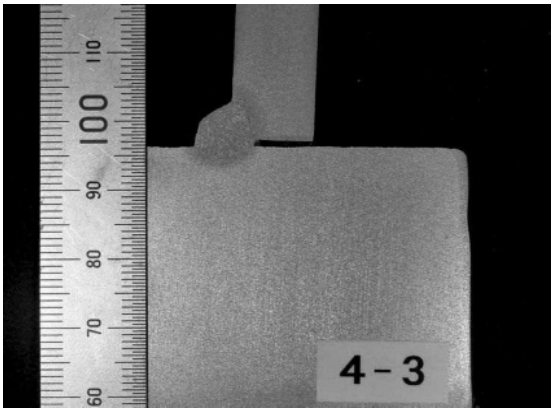
17-W3-10



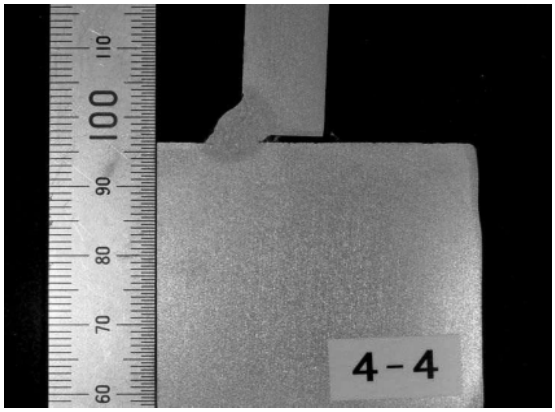
14-T3-1



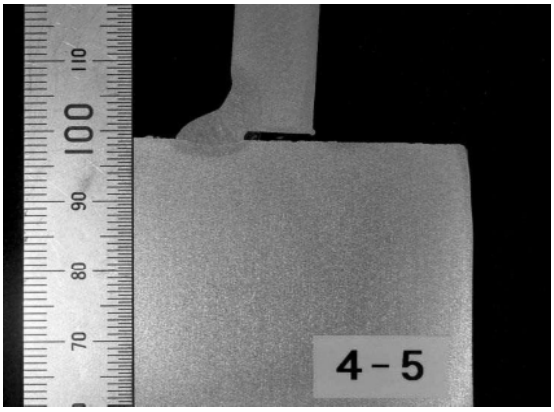
14-T3-2



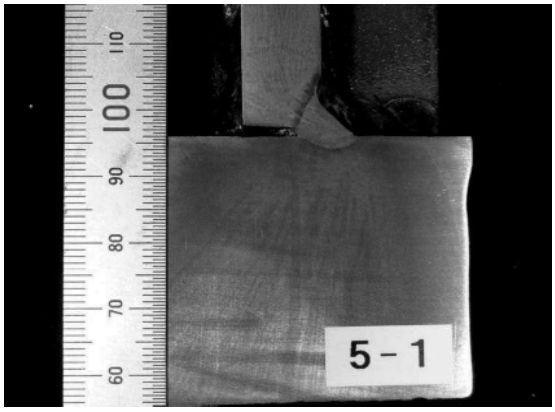
14-T3-3



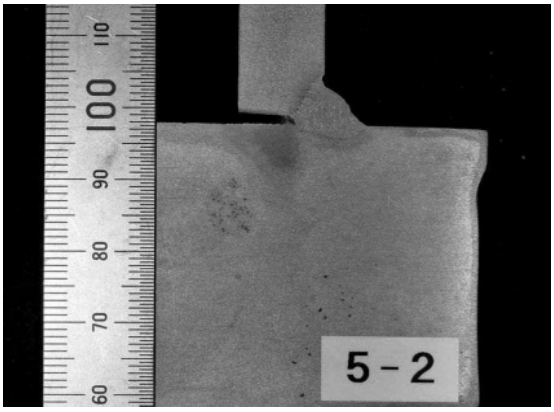
14-T3-4



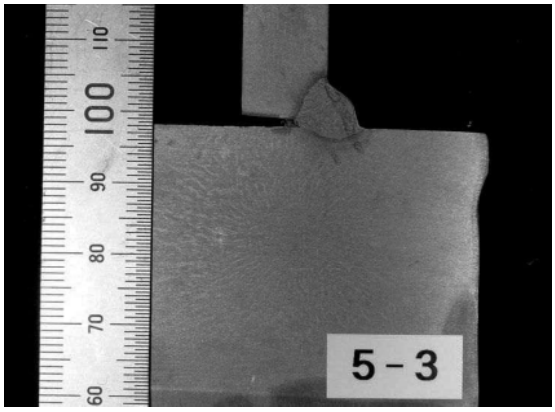
14-T3-5



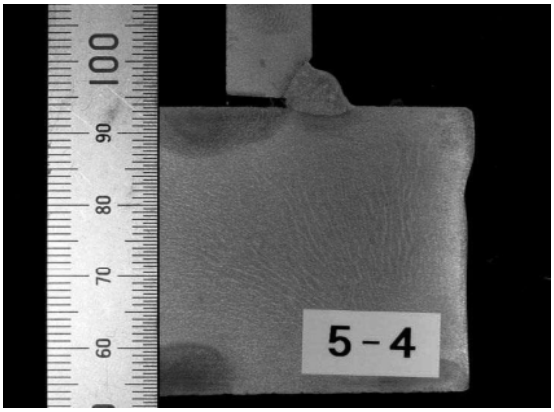
15-T4-1



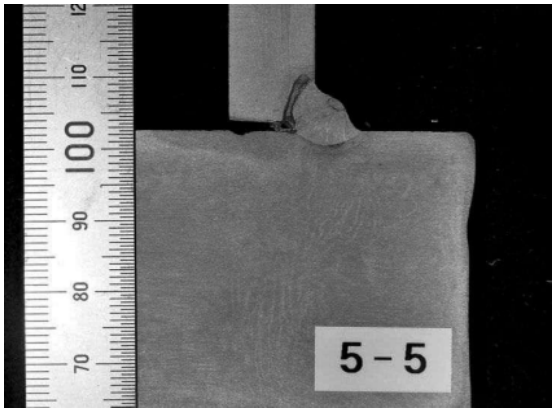
15-T4-2



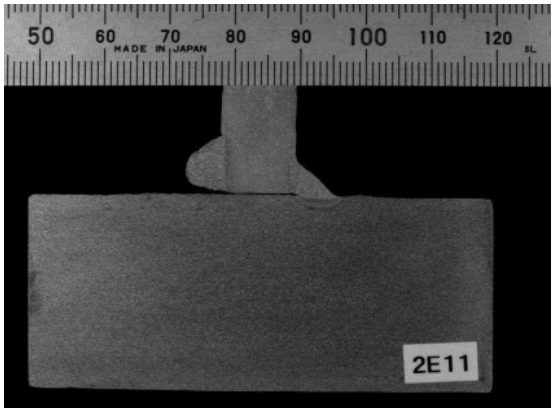
15-T4-3



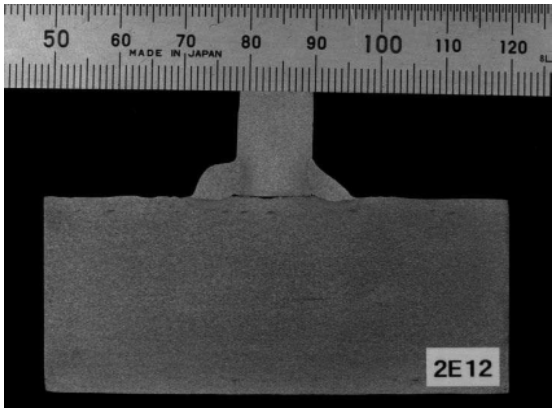
15-T4-4



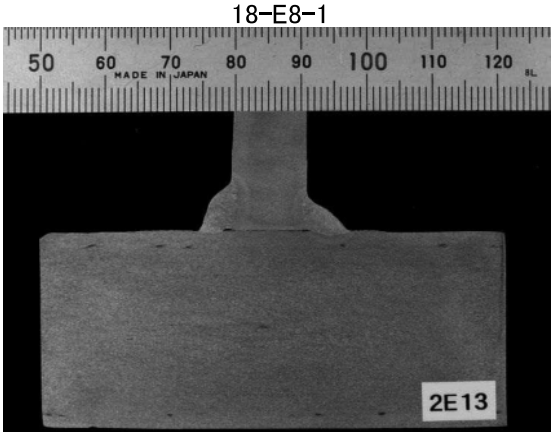
15-T4-5



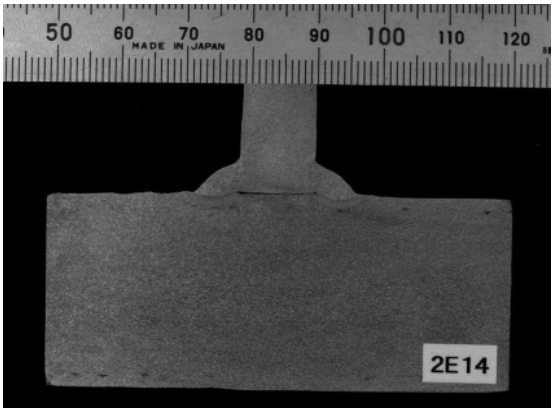
18-E8-1



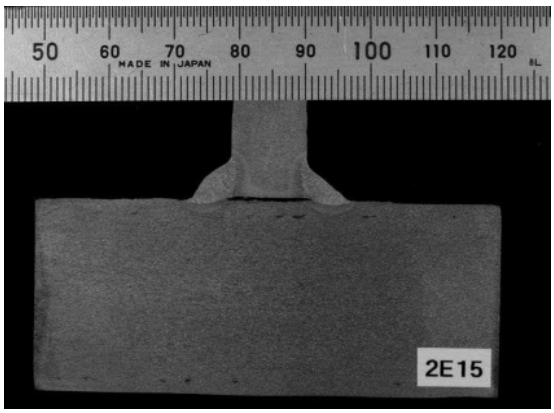
18-E8-2



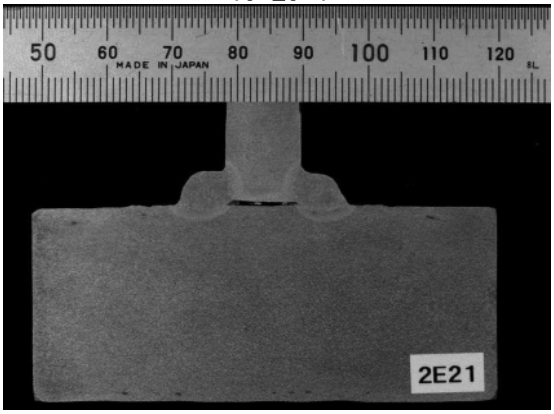
18-E8-3



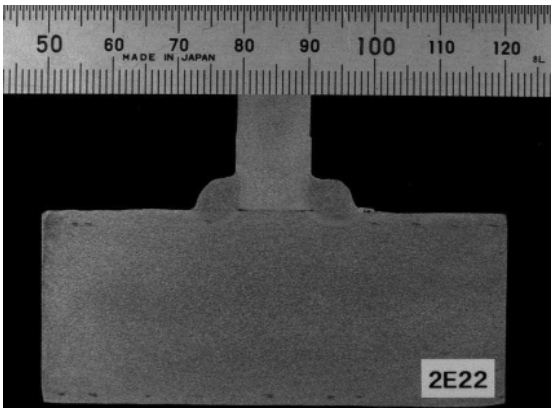
18-E8-4



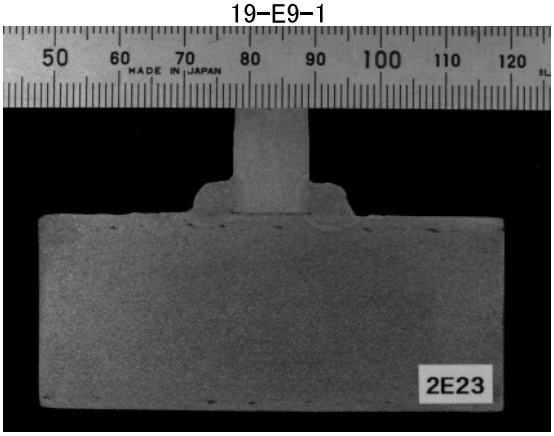
18-E8-5



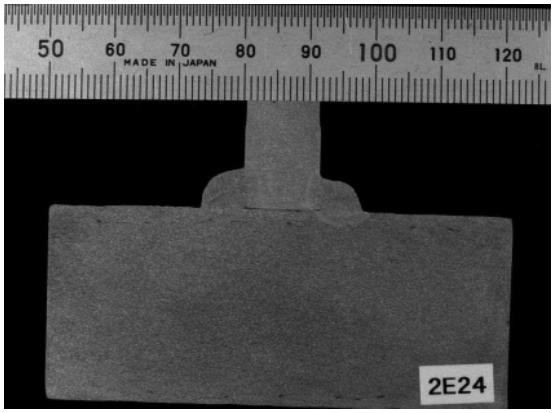
19-E9-1



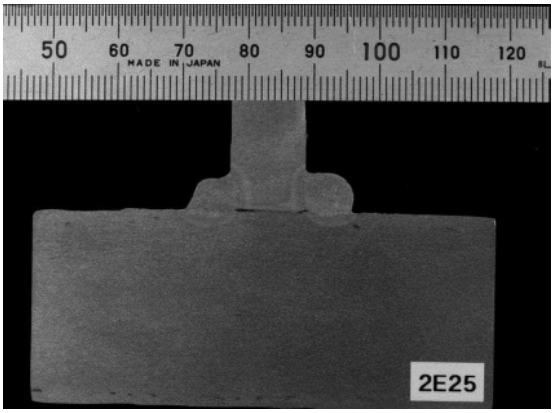
19-E9-2



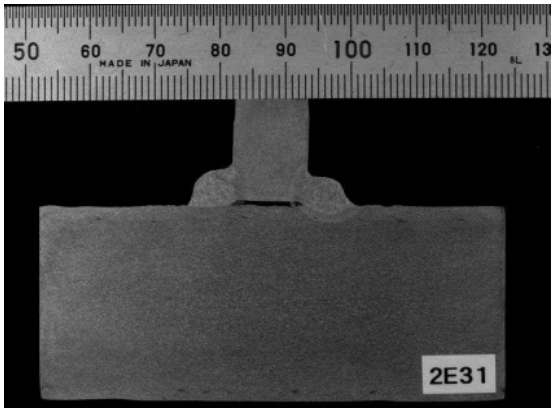
19-E9-3



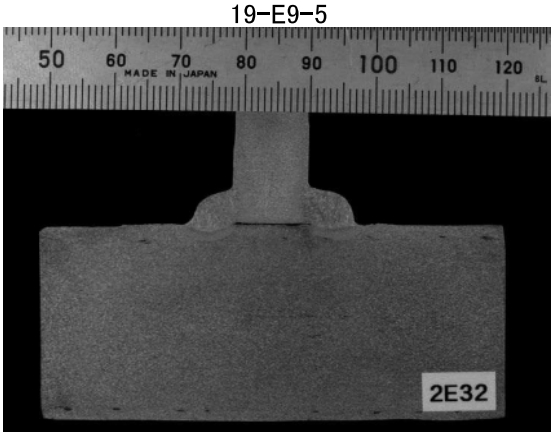
19-E9-4



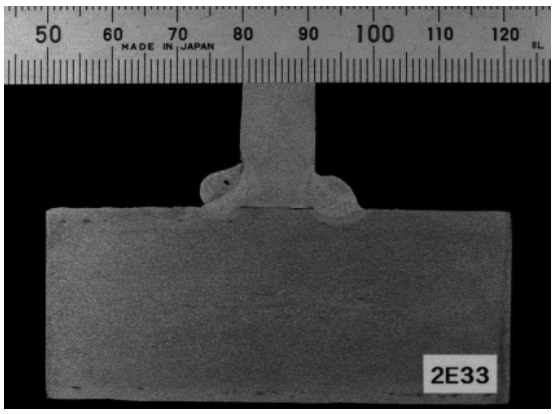
19-E9-5



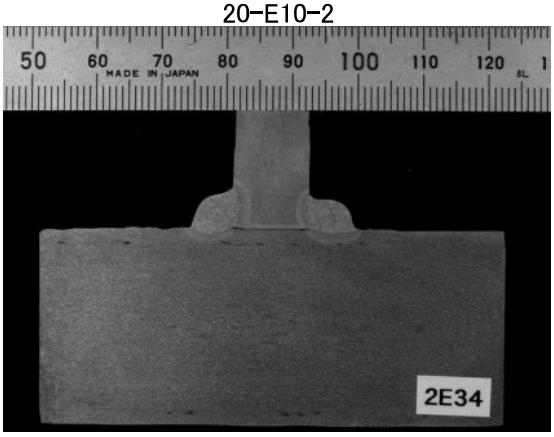
20-E10-1



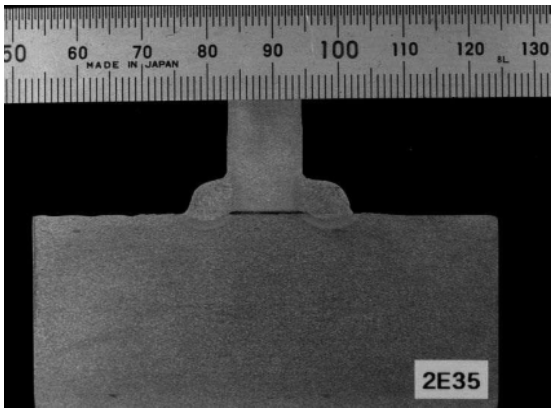
20-E10-2



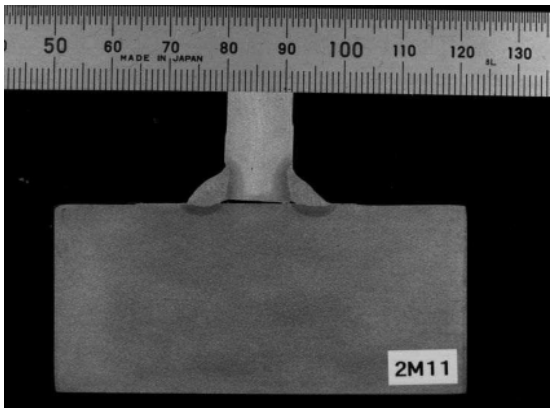
20-E10-3



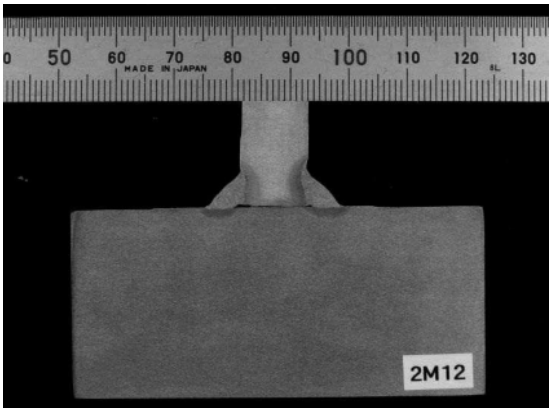
20-E10-4



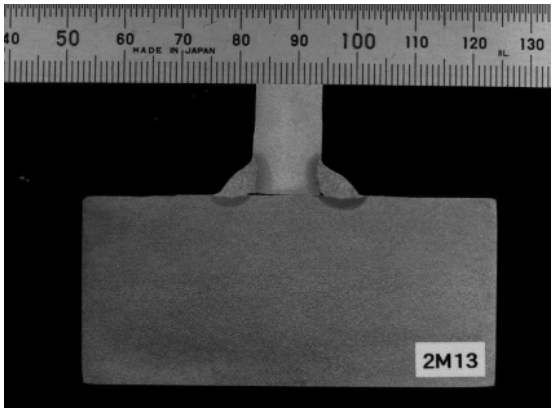
20-E10-5



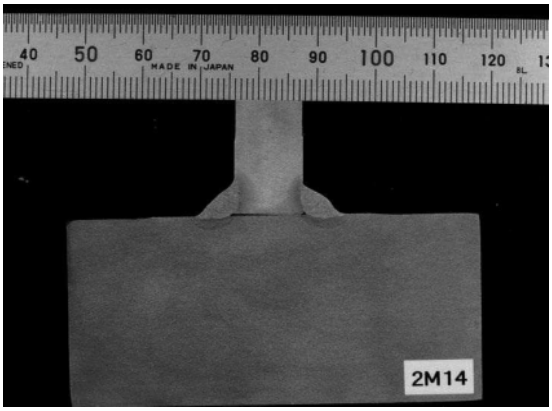
21-K1-1



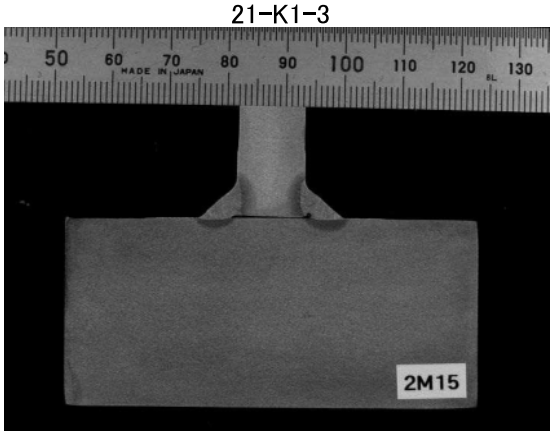
21-K1-2



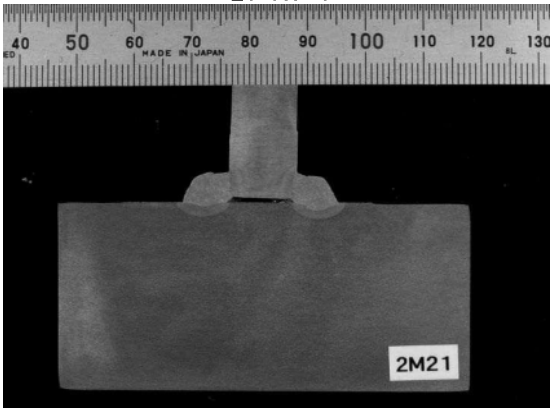
21-K1-3



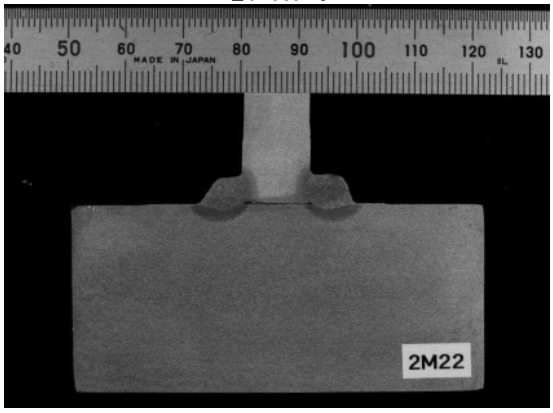
21-K1-4



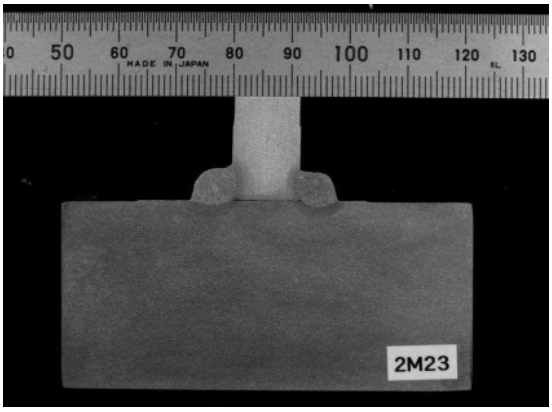
21-K1-5



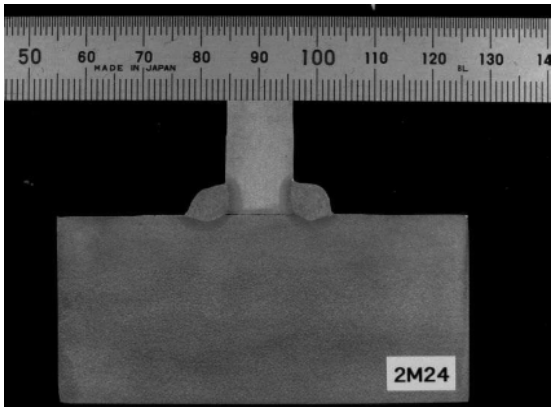
22-K2-1



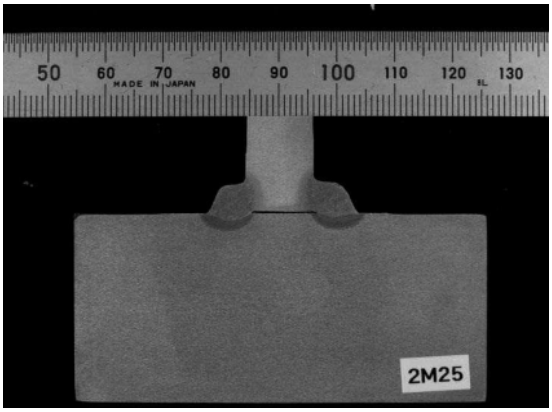
22-K2-2



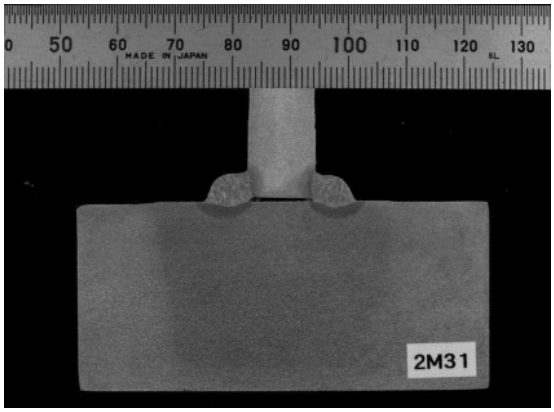
22-K2-3



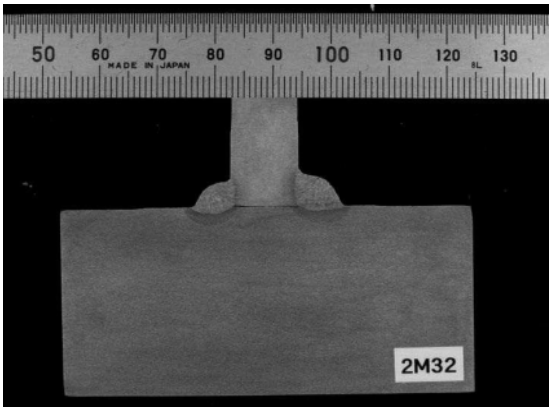
22-K2-4



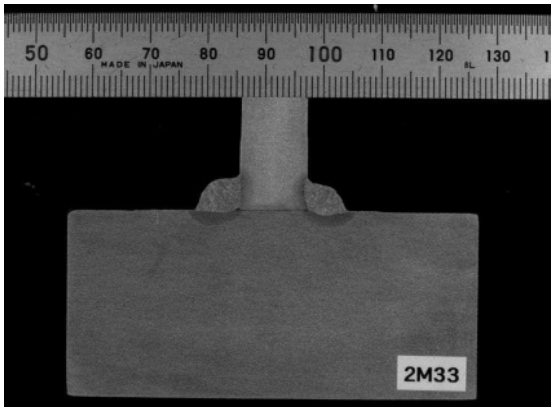
22-K2-5



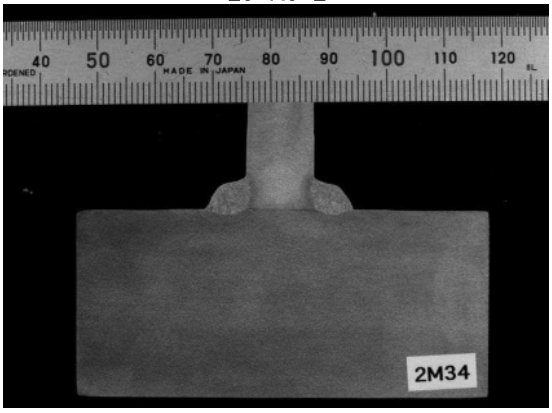
23-K3-1



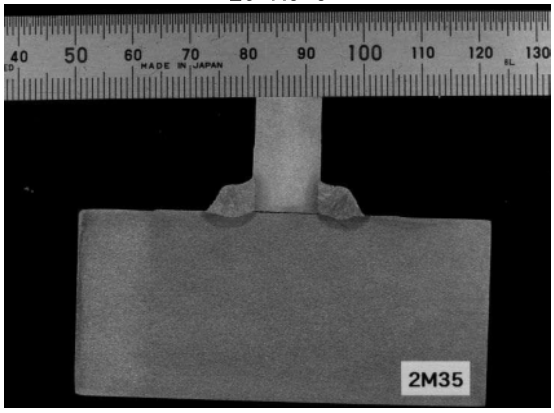
23-K3-2



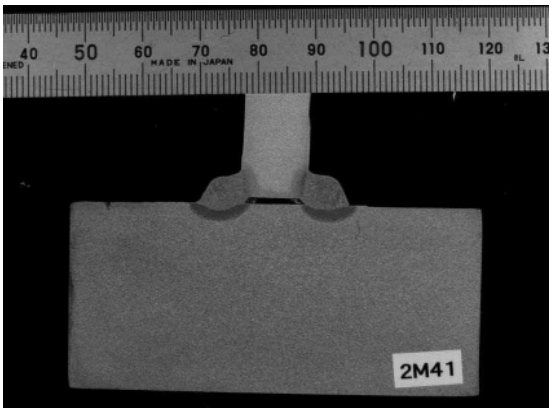
23-K3-3



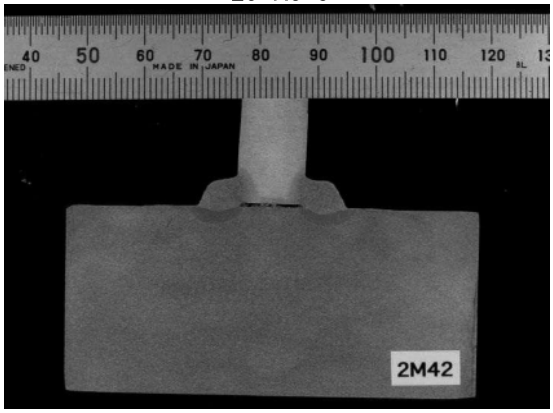
23-K3-4



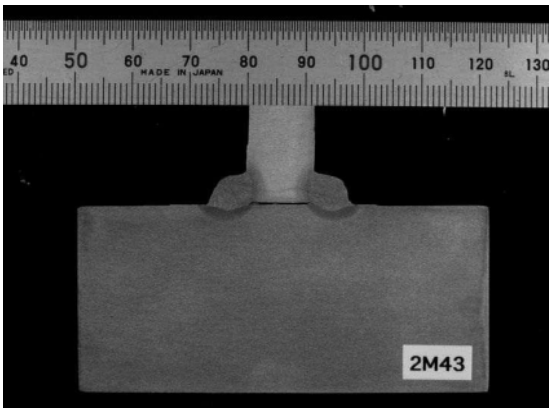
23-K3-5



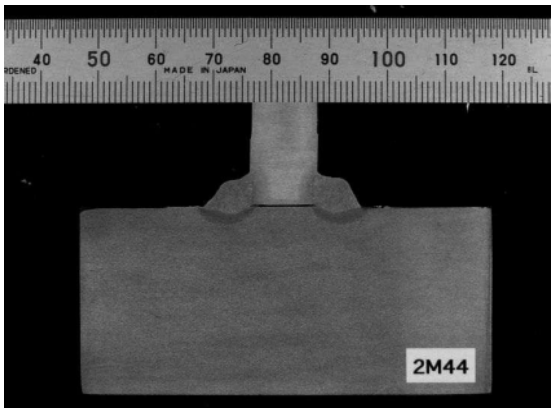
24-K4-1



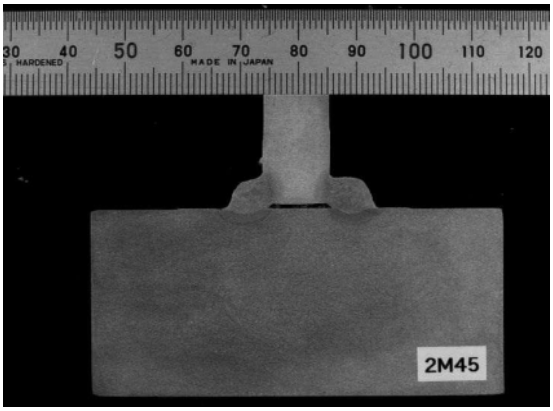
24-K4-2



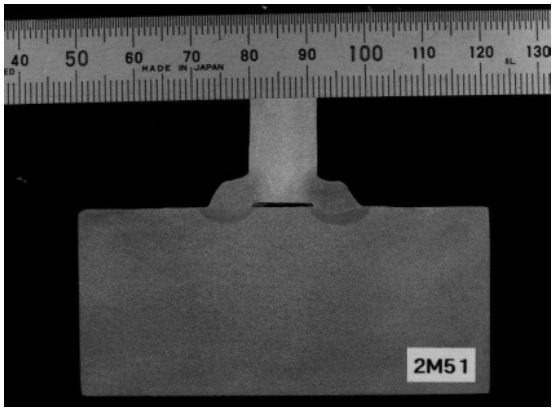
24-K4-3



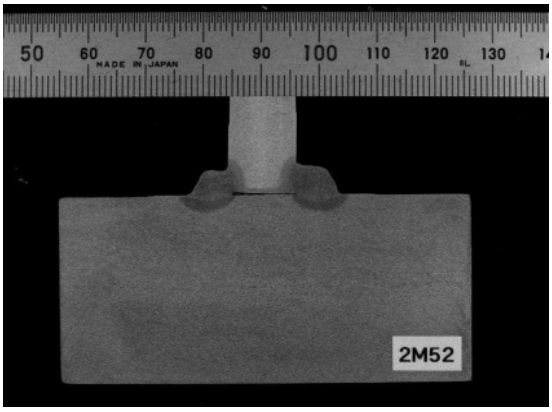
24-K4-4



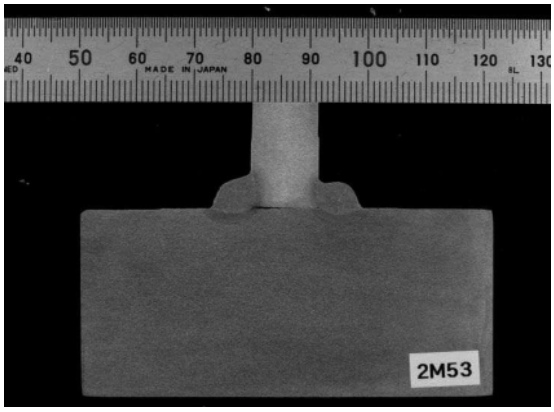
24-K4-5



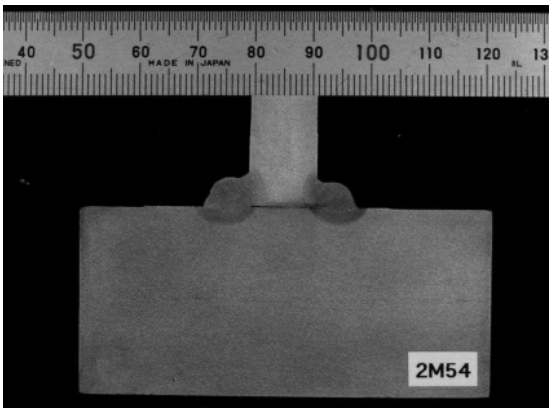
25-K5-1



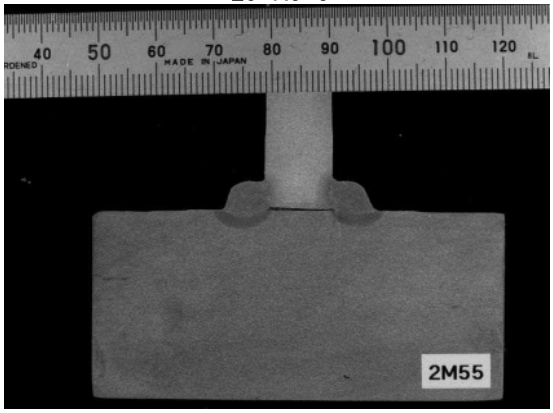
25-K5-2



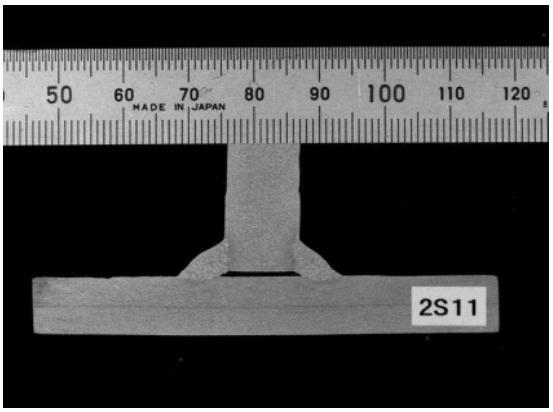
25-K5-3



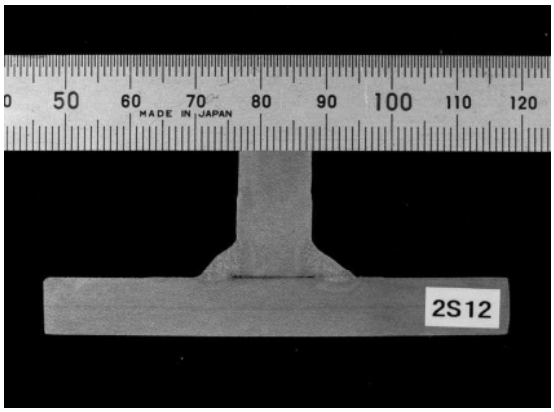
25-K5-4



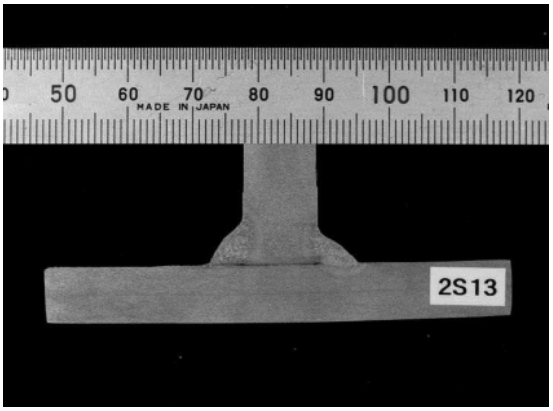
25-K5-5



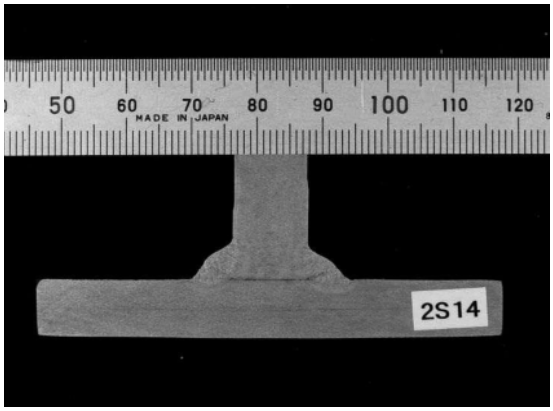
26-S5-1



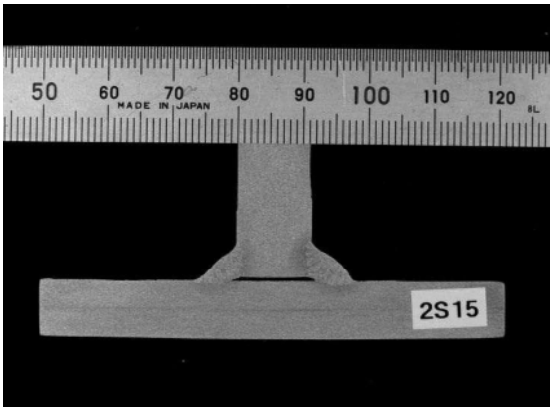
26-S5-2



26-S5-3

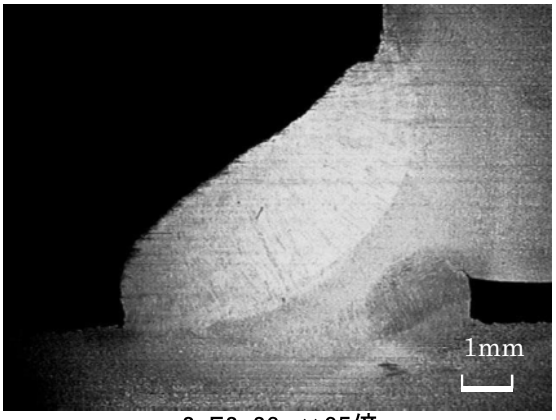


26-S5-4

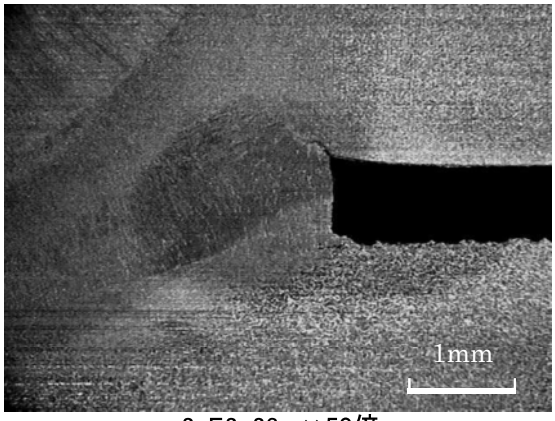


26-S5-5

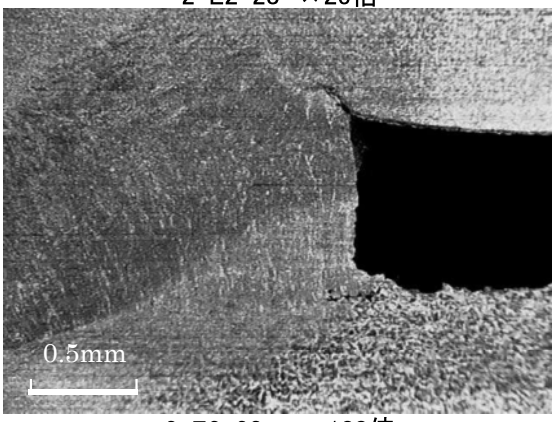
6-3. 溶接割れ試験マイクロスコープ写真



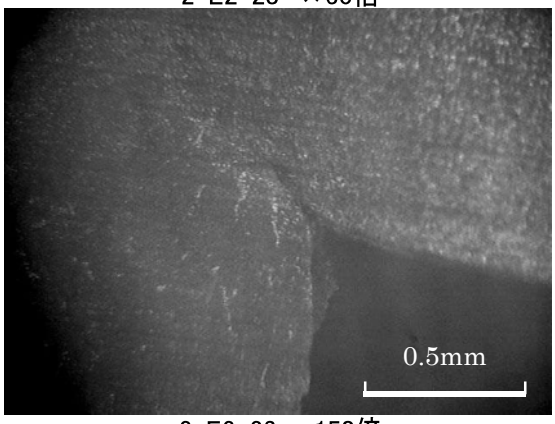
2-E2-23　×25倍



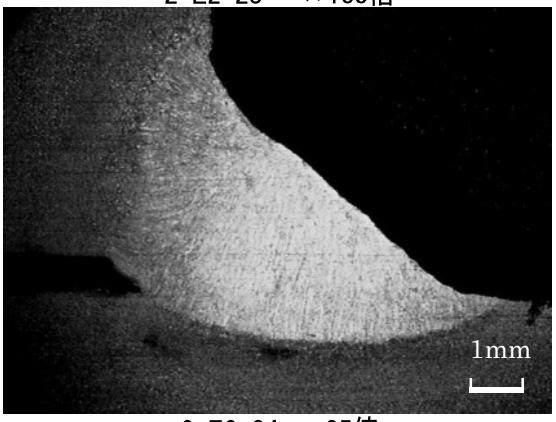
2-E2-23　×50倍



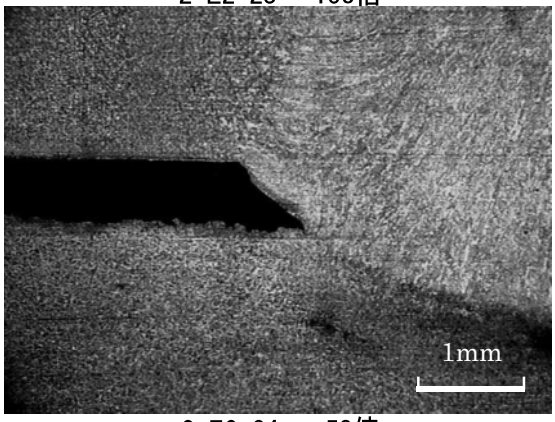
2-E2-23　×100倍



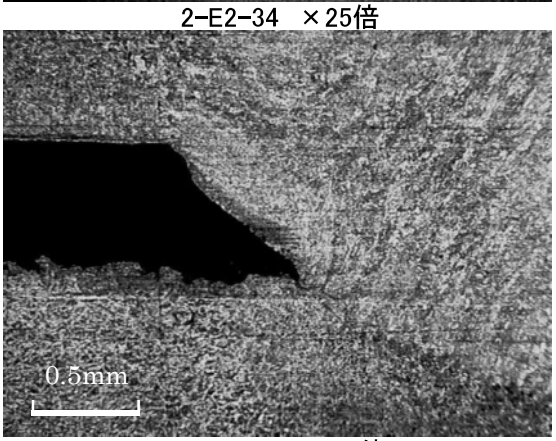
2-E2-23　150倍



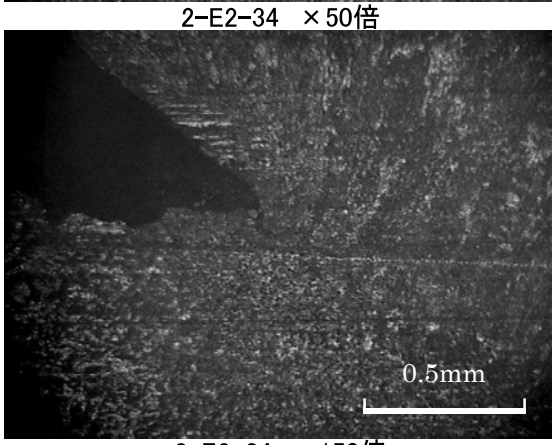
2-E2-34　×25倍



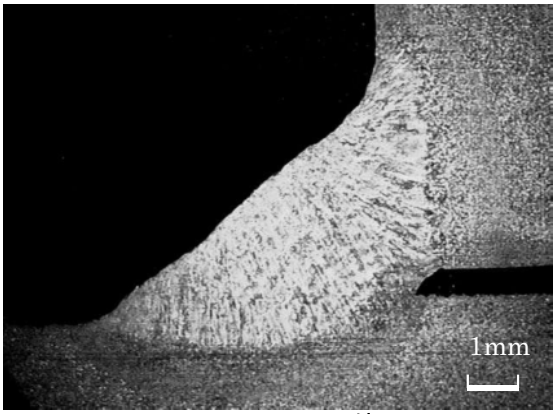
2-E2-34　×50倍



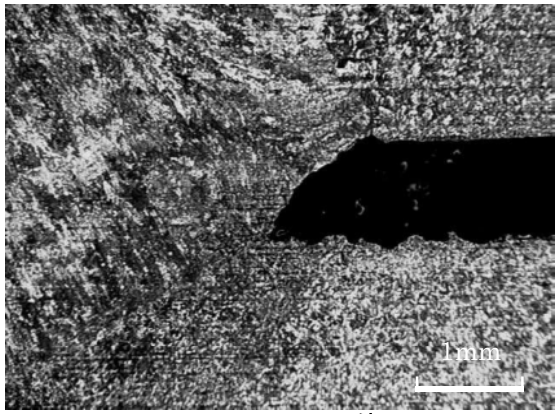
2-E2-34　×100倍



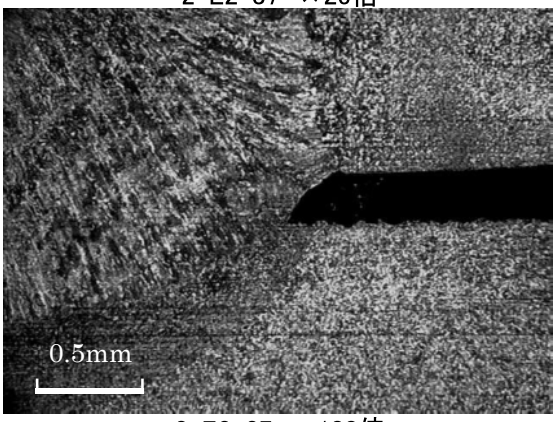
2-E2-34　×150倍



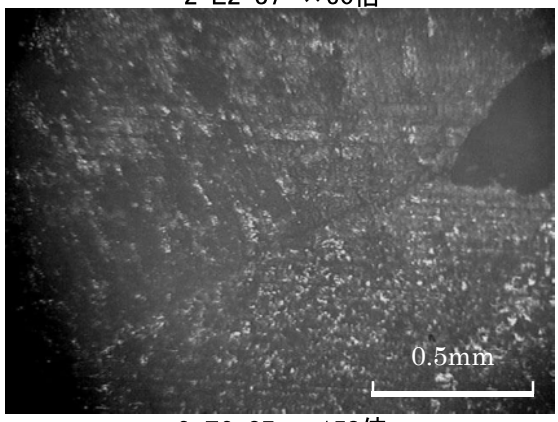
2-E2-37　×25倍



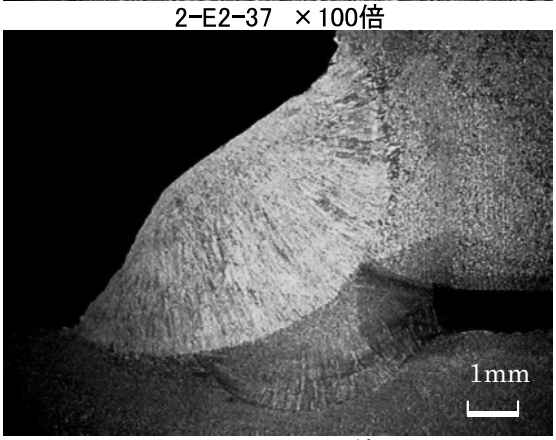
2-E2-37　×50倍



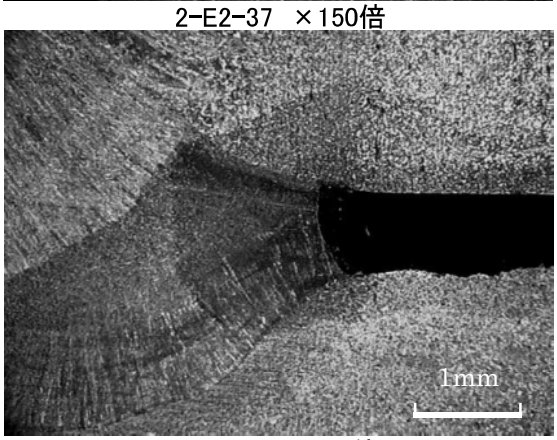
2-E2-37　×100倍



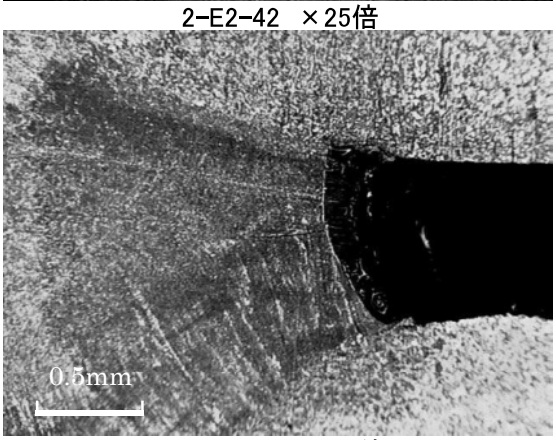
2-E2-37　×150倍



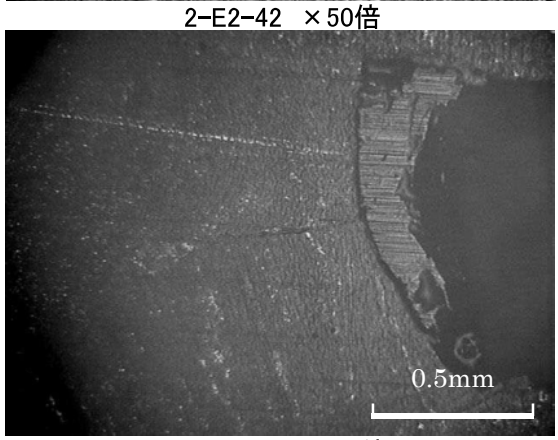
2-E2-42　×25倍



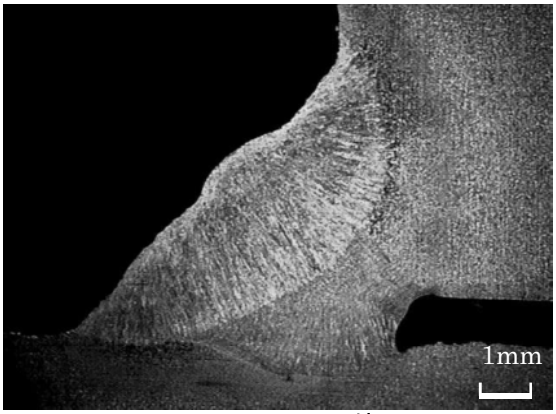
2-E2-42　×50倍



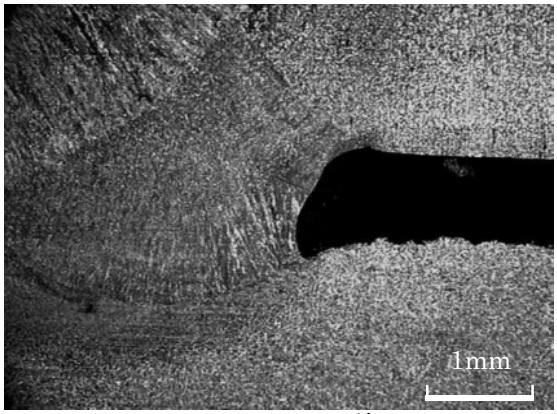
2-E2-42　×100倍



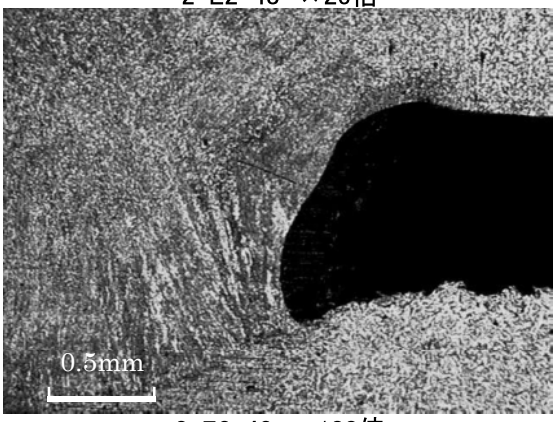
2-E2-42　×150倍



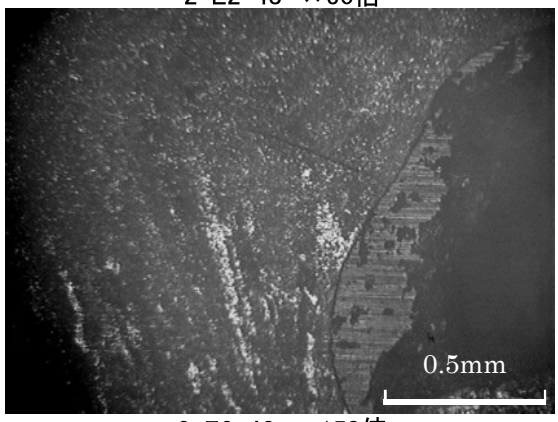
2-E2-43　×25倍



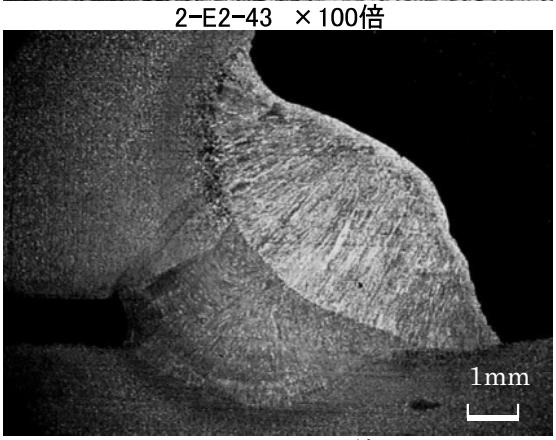
2-E2-43　×50倍



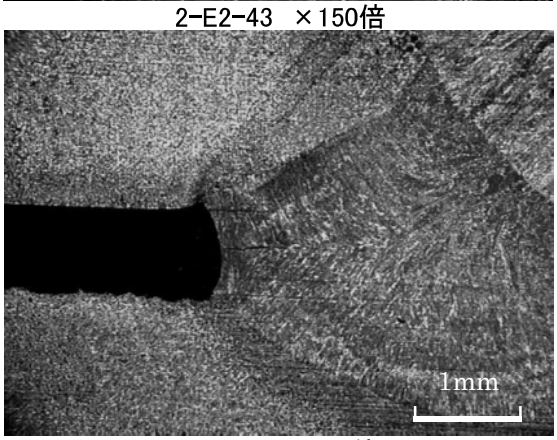
2-E2-43　×100倍



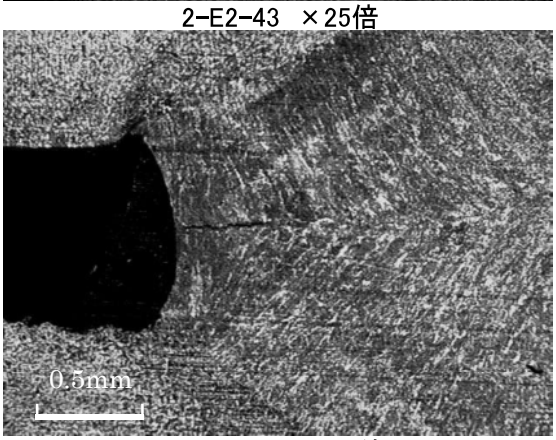
2-E2-43　×150倍



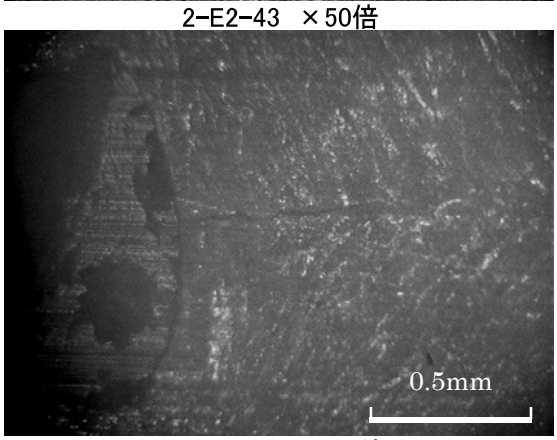
2-E2-43　×25倍



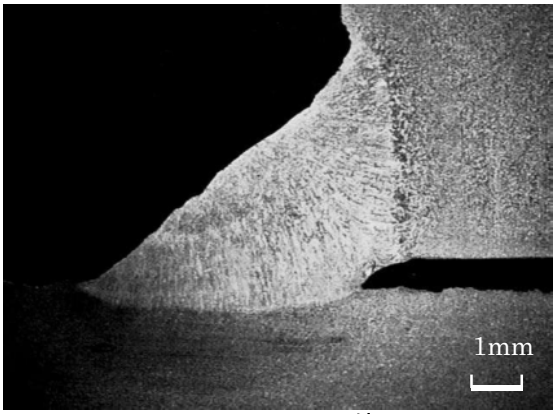
2-E2-43　×50倍



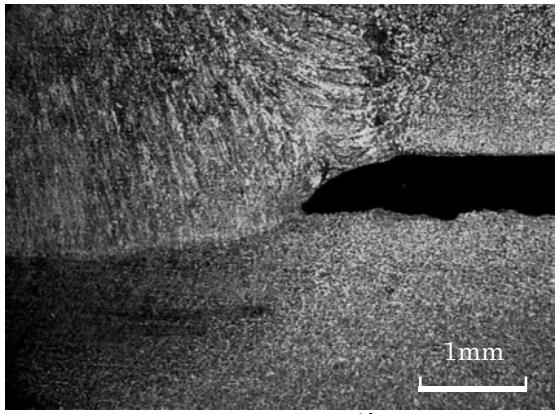
2-E2-43　×100倍



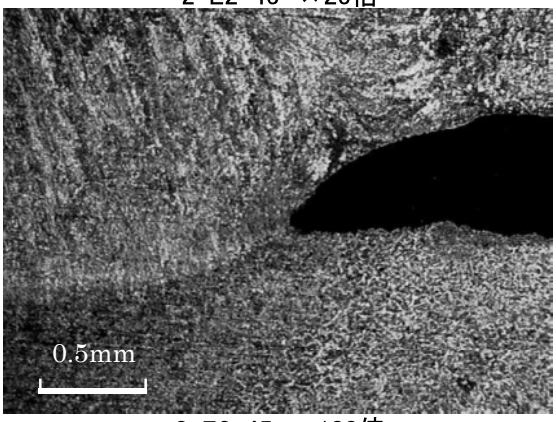
2-E2-43　×150倍



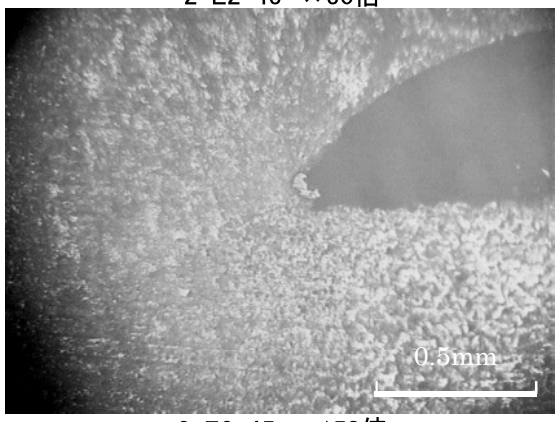
2-E2-45　×25倍



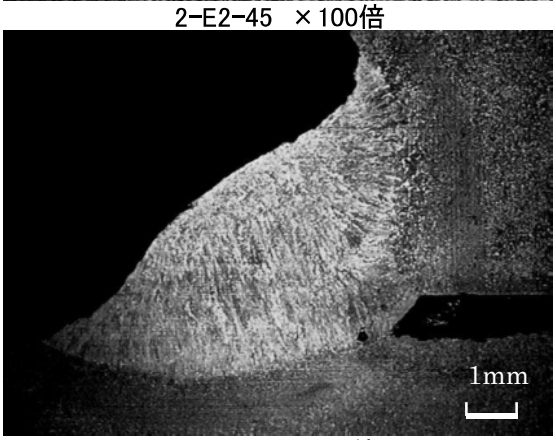
2-E2-45　×50倍



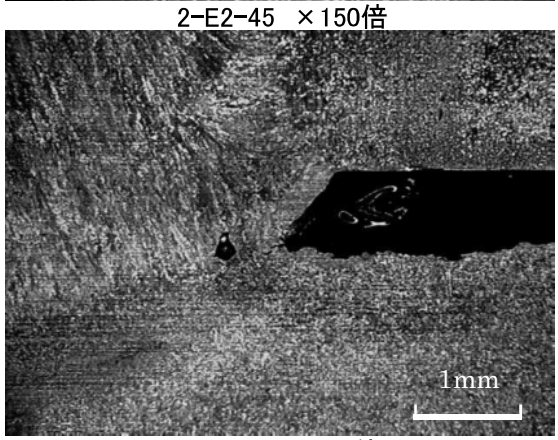
2-E2-45　×100倍



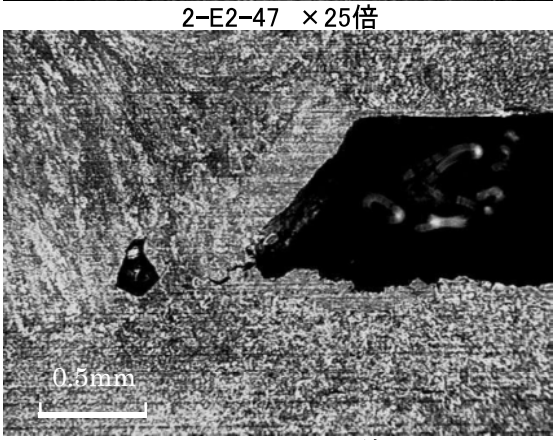
2-E2-45　×150倍



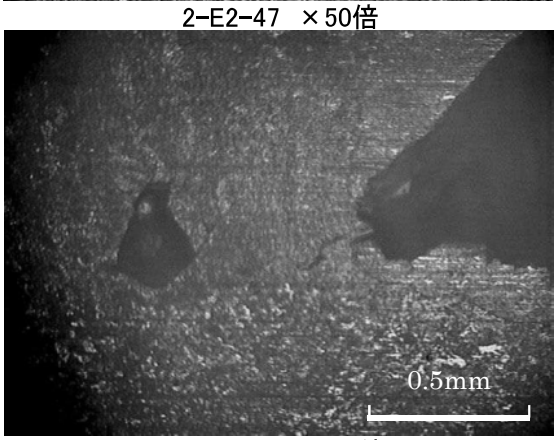
2-E2-47　×25倍



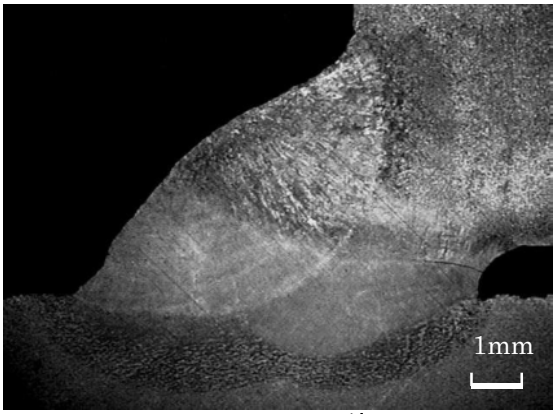
2-E2-47　×50倍



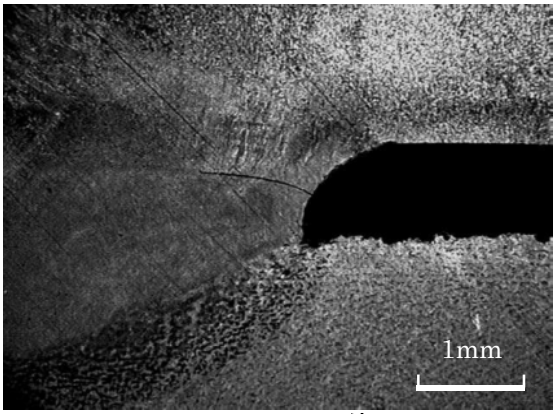
2-E2-47　×100倍



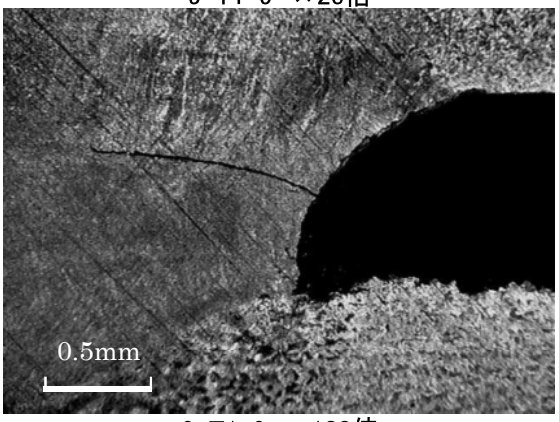
2-E2-47　×150倍



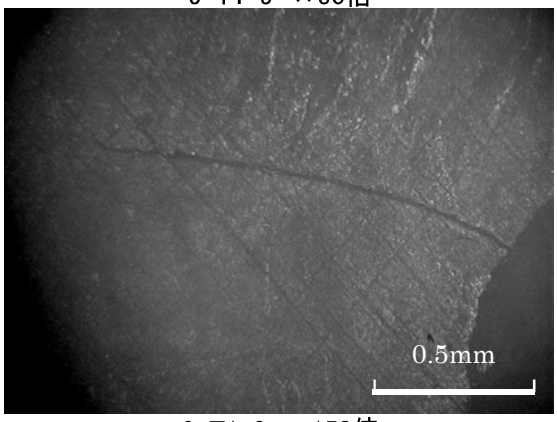
9-T1-9　×25倍



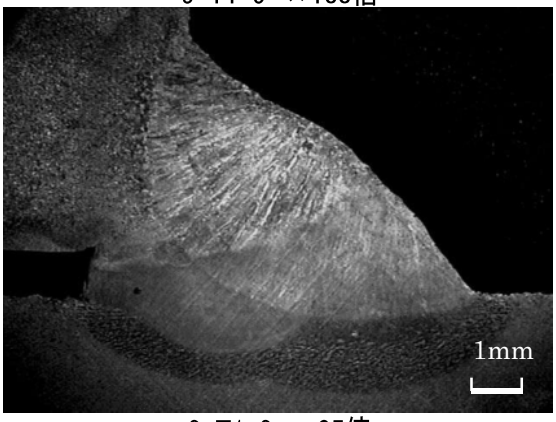
9-T1-9　×50倍



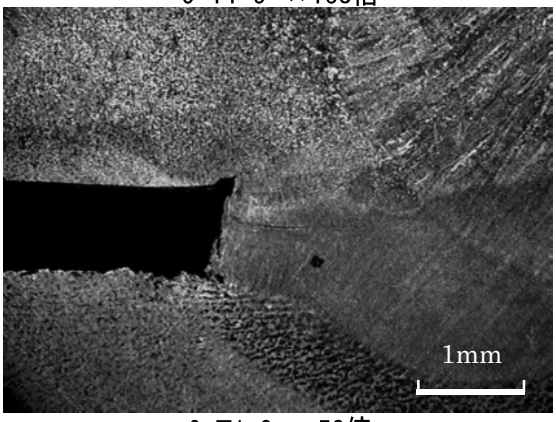
9-T1-9　×100倍



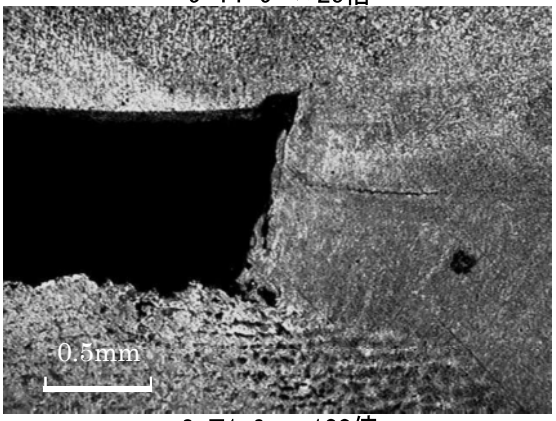
9-T1-9　×150倍



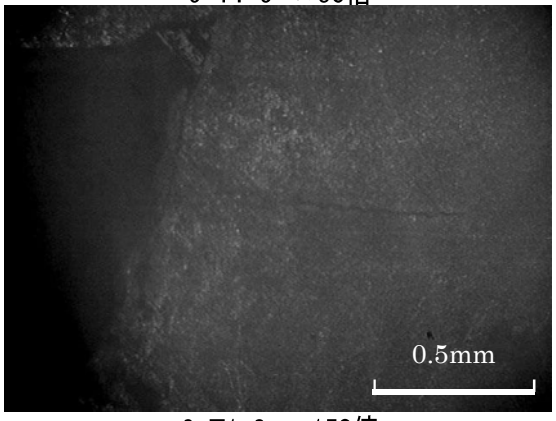
9-T1-9　×25倍



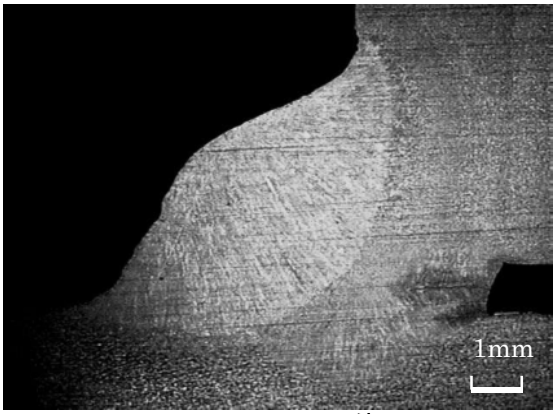
9-T1-9　×50倍



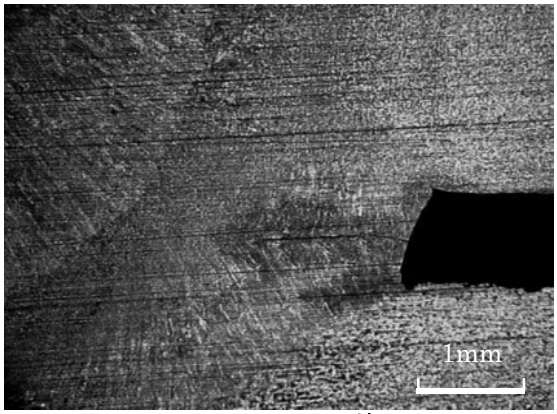
9-T1-9　×100倍



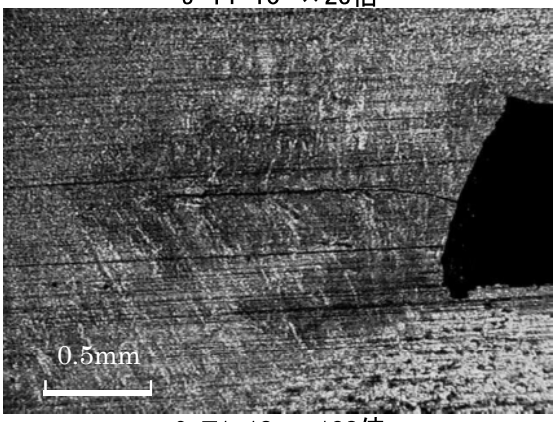
9-T1-9　×150倍



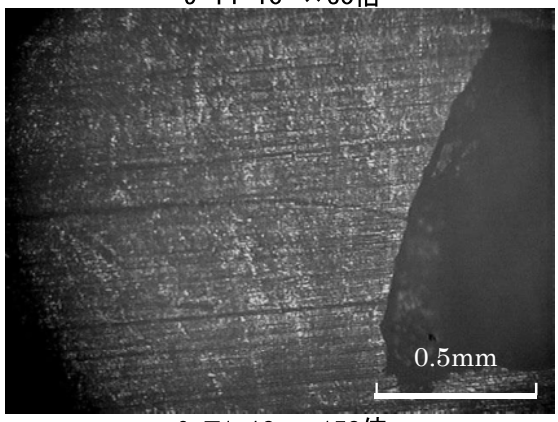
9-T1-10　×25倍



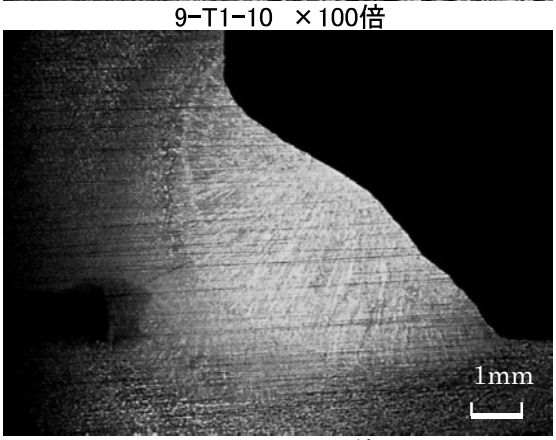
9-T1-10　×50倍



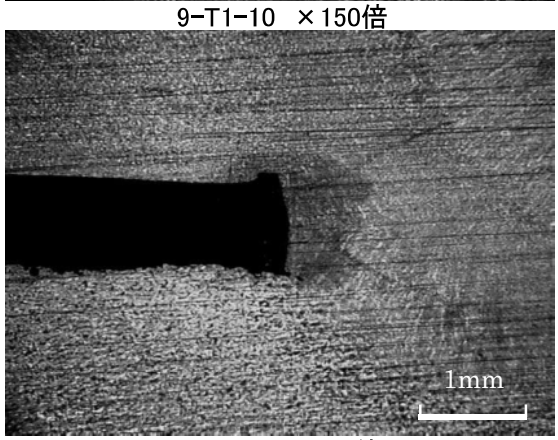
9-T1-10　×100倍



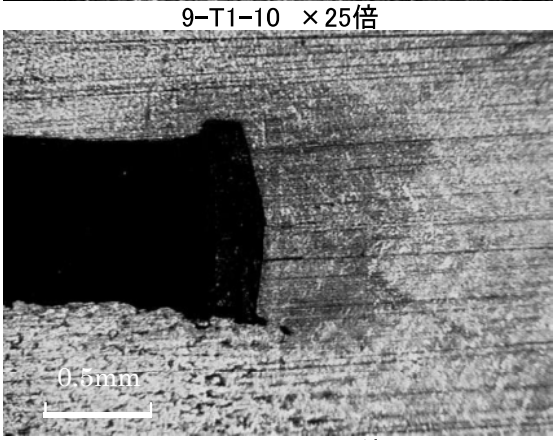
9-T1-10　×150倍



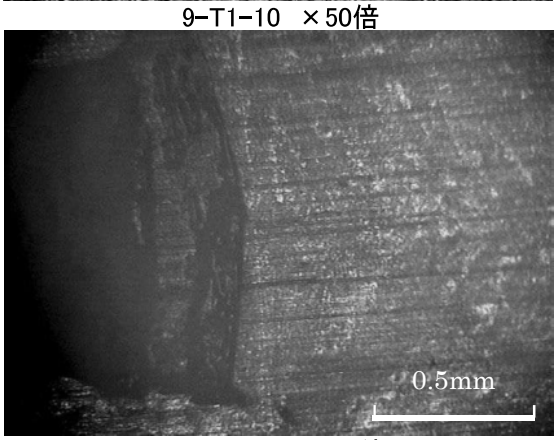
9-T1-10　×25倍



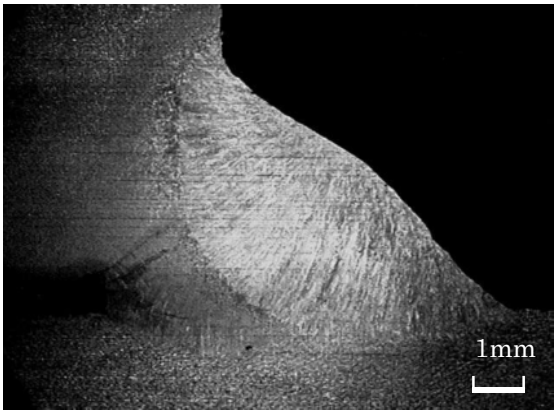
9-T1-10　×50倍



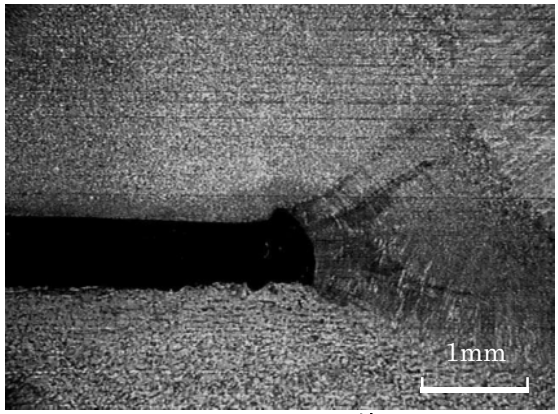
9-T1-10　×100倍



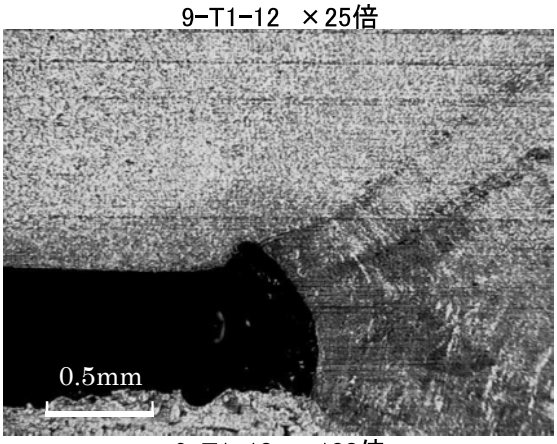
9-T1-10　×150倍



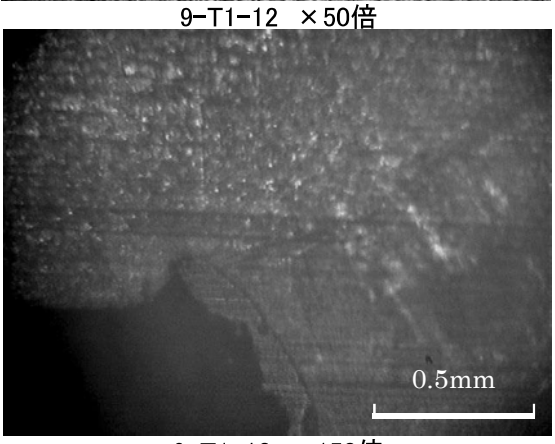
9-T1-12　×25倍



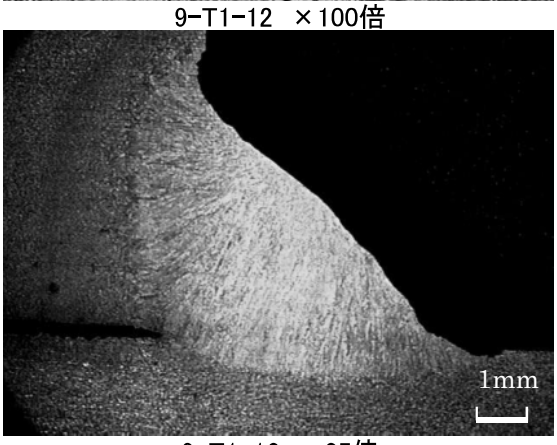
9-T1-12　×50倍



9-T1-12　×100倍



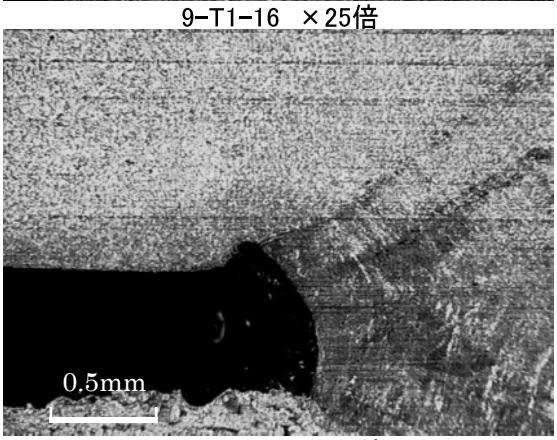
9-T1-12　×150倍



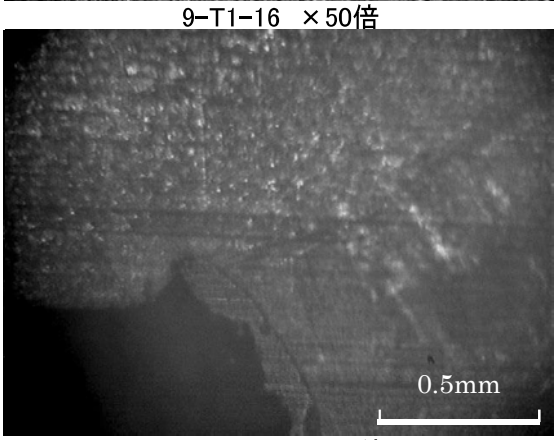
9-T1-16　×25倍



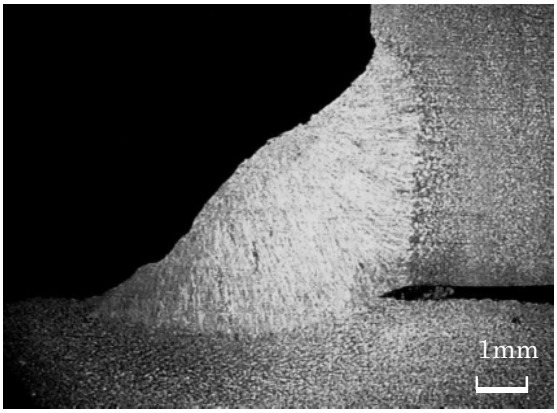
9-T1-16　×50倍



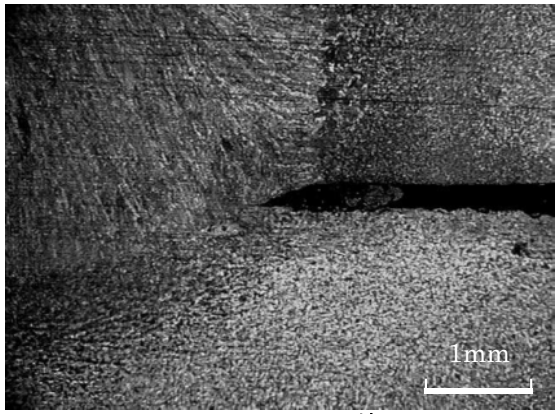
9-T1-16　×100倍



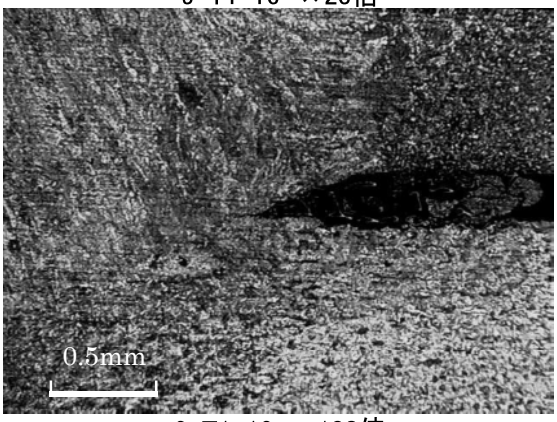
9-T1-16　×150倍



9-T1-16　×25倍



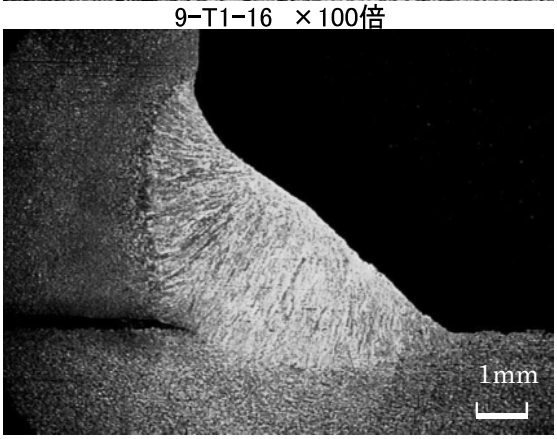
9-T1-16　×50倍



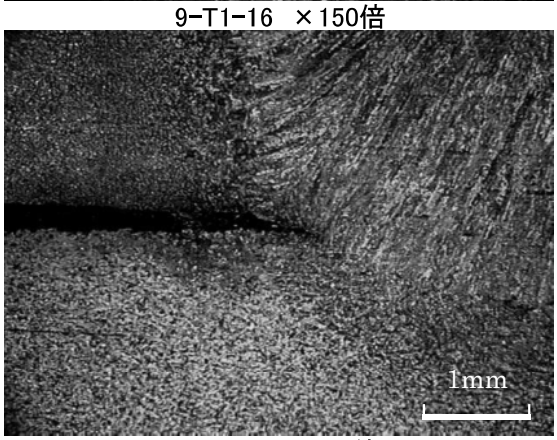
9-T1-16　×100倍



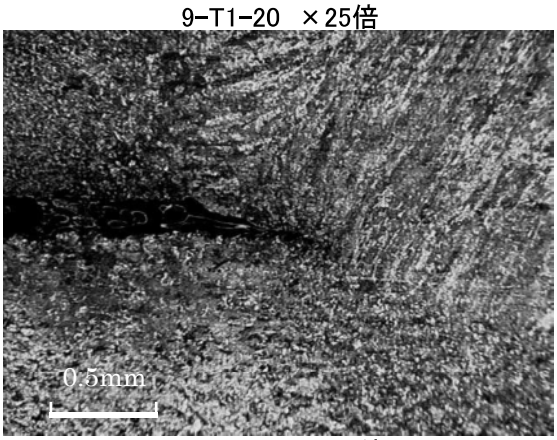
9-T1-16　×150倍



9-T1-20　×25倍



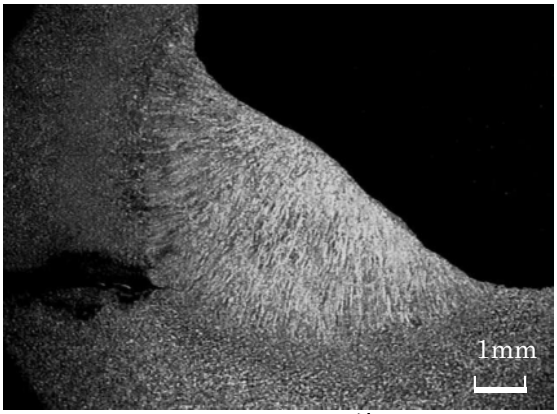
9-T1-20　×50倍



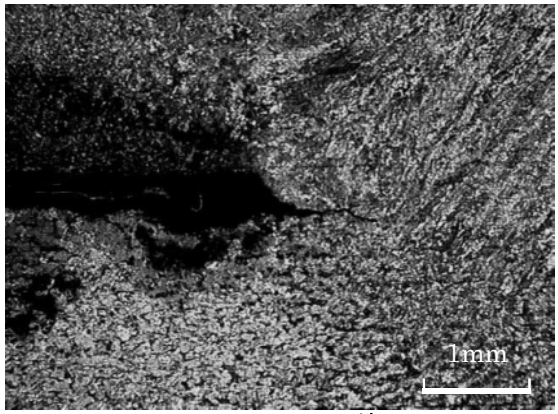
9-T1-20　×100倍



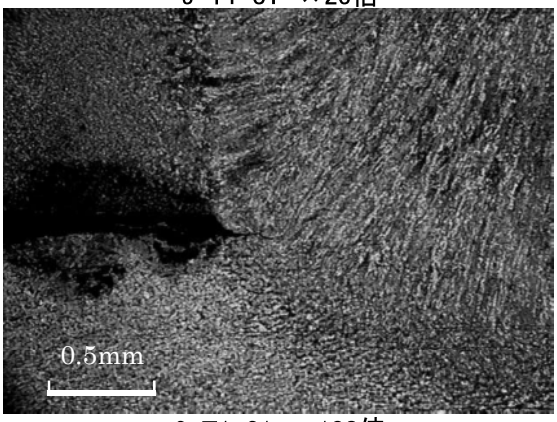
9-T1-20　×150倍



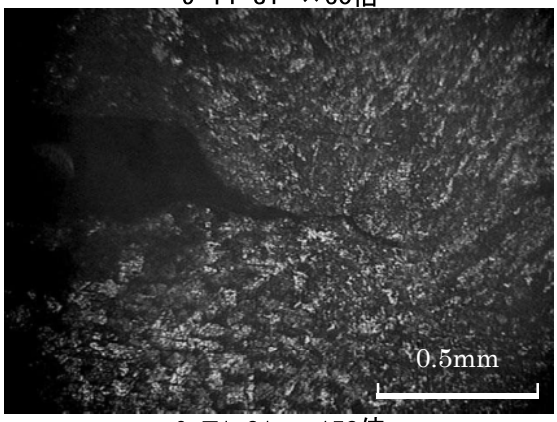
9-T1-31　×25倍



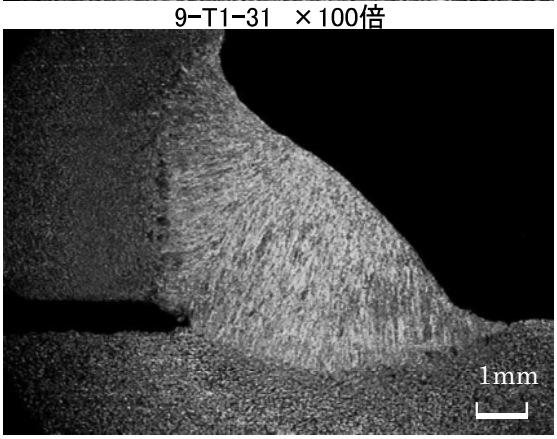
9-T1-31　×50倍



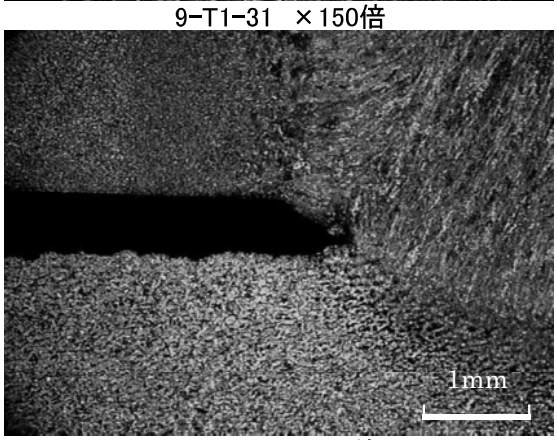
9-T1-31　×100倍



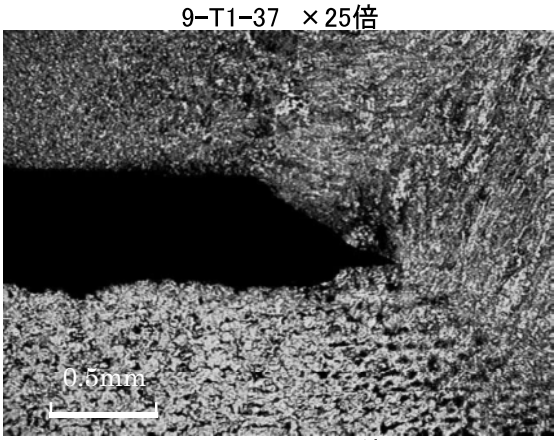
9-T1-31　×150倍



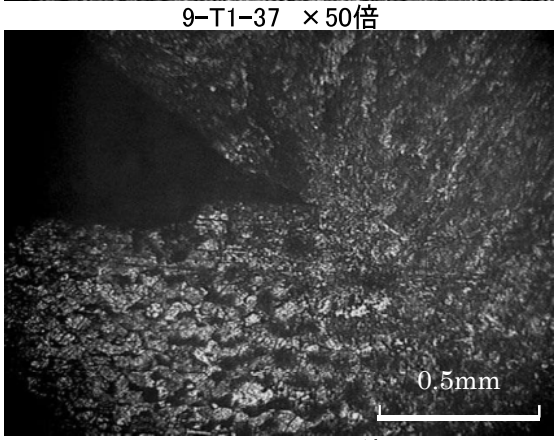
9-T1-37　×25倍



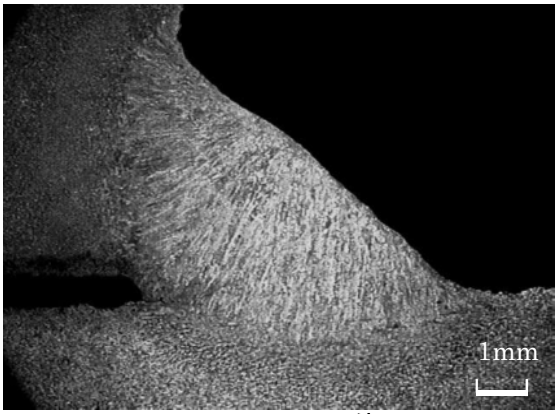
9-T1-37　×50倍



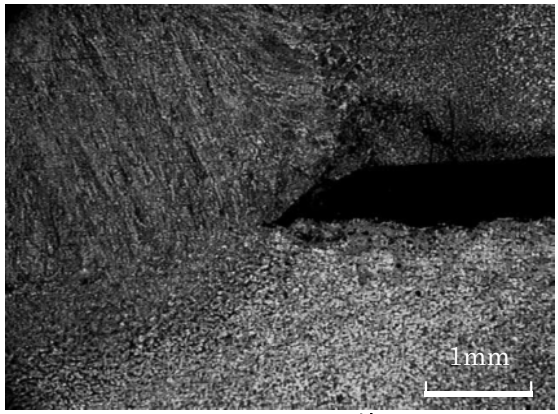
9-T1-37　×100倍



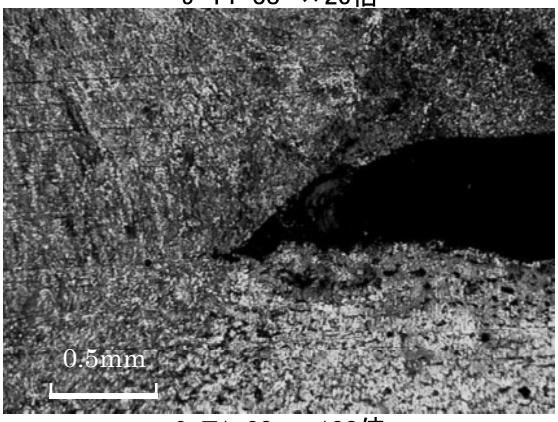
9-T1-37　×150倍



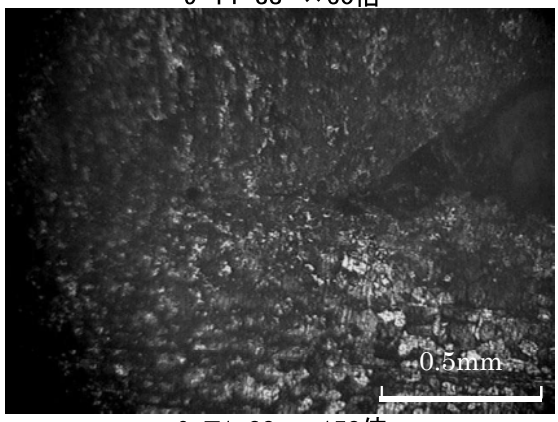
9-T1-38　×25倍



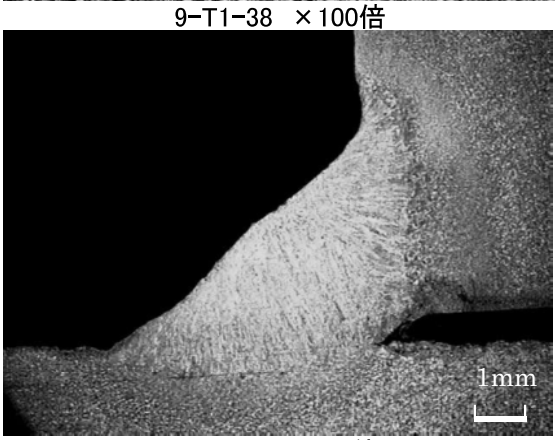
9-T1-38　×50倍



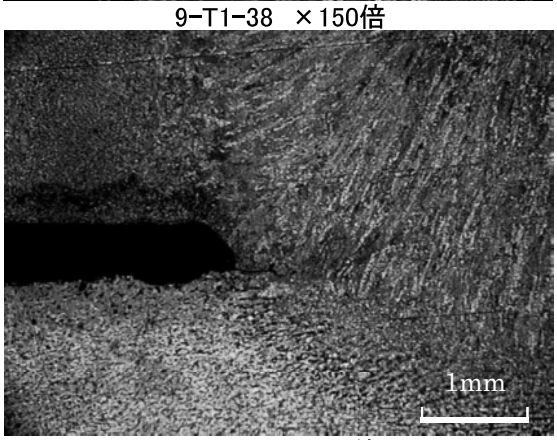
9-T1-38　×100倍



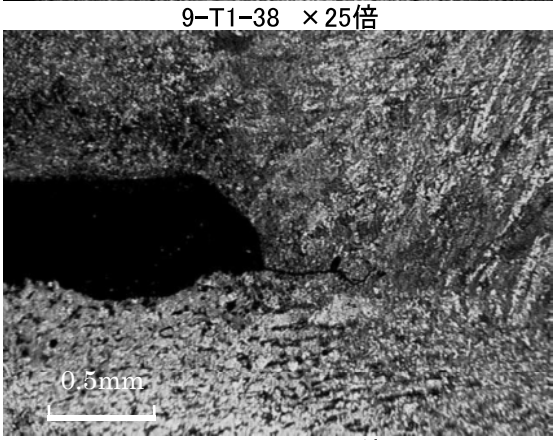
9-T1-38　×150倍



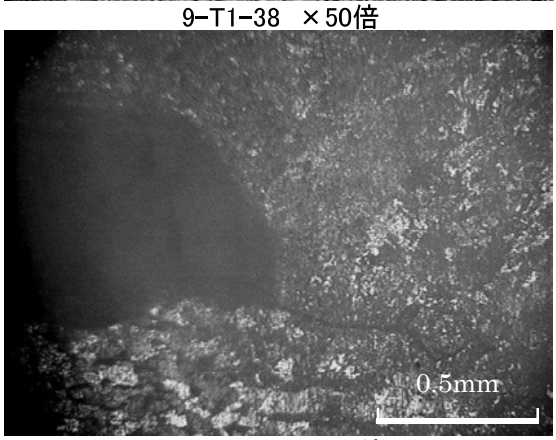
9-T1-38　×25倍



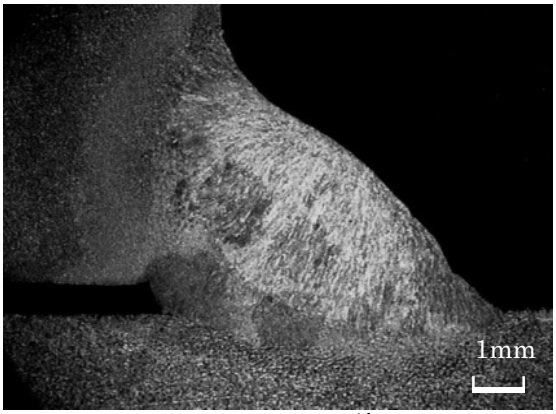
9-T1-38　×50倍



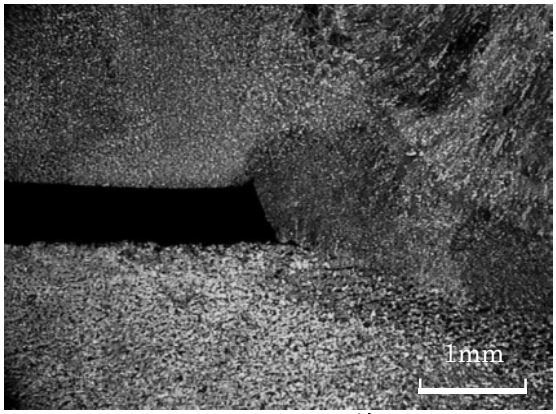
9-T1-38　×100倍



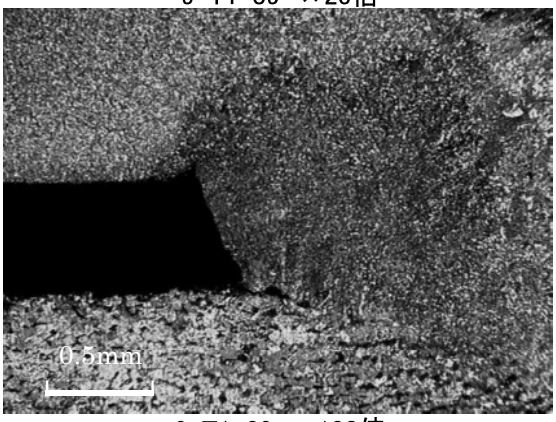
9-T1-38　×150倍



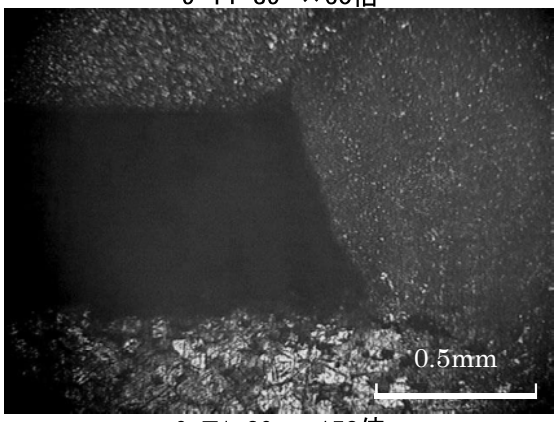
9-T1-39　×25倍



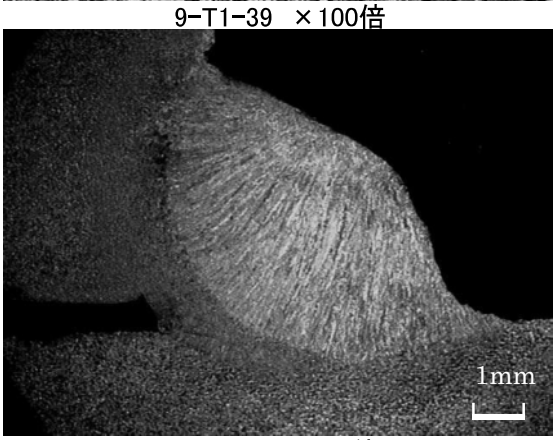
9-T1-39　×50倍



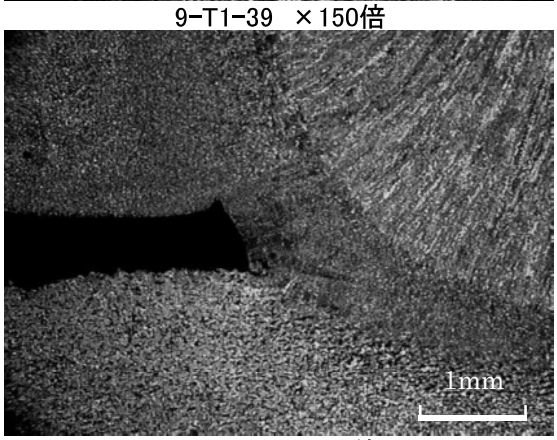
9-T1-39　×100倍



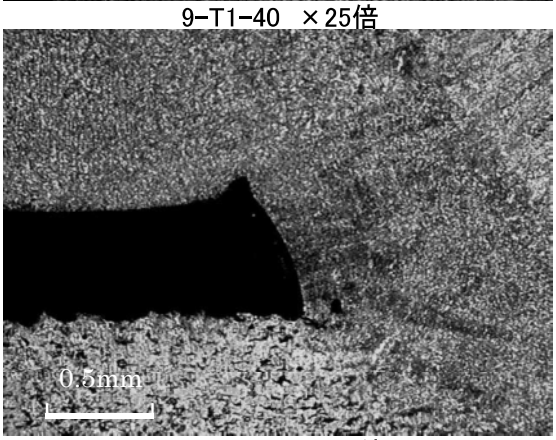
9-T1-39　×150倍



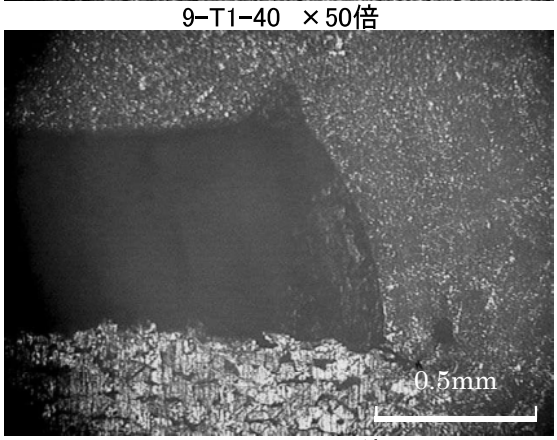
9-T1-40　×25倍



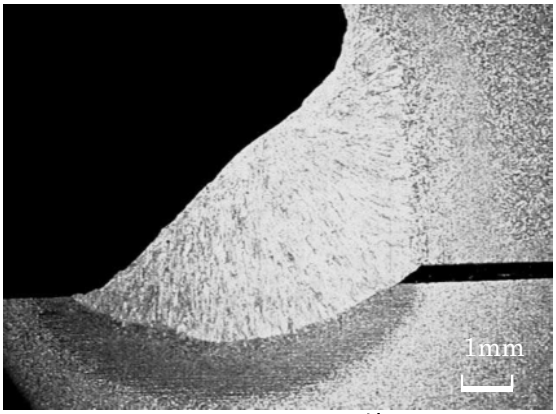
9-T1-40　×50倍



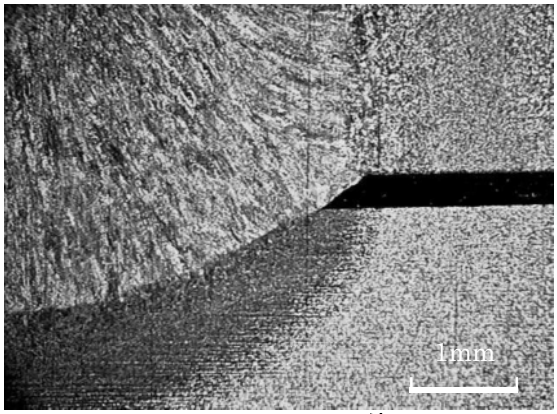
9-T1-40　×100倍



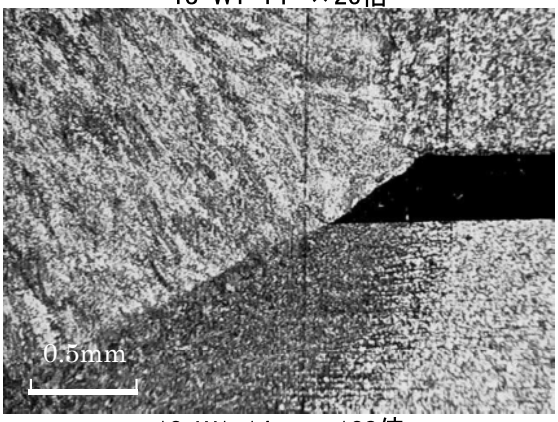
9-T1-40　×150倍



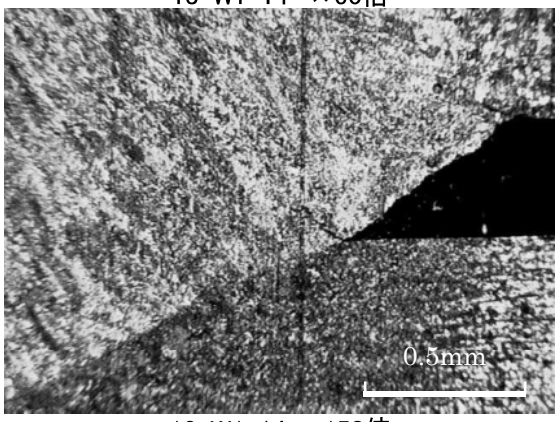
13-W1-14　×25倍



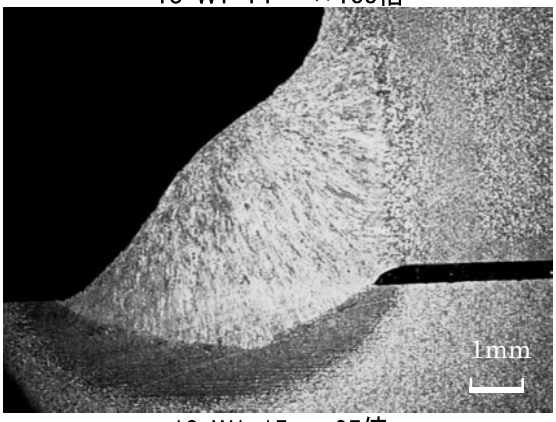
13-W1-14　×50倍



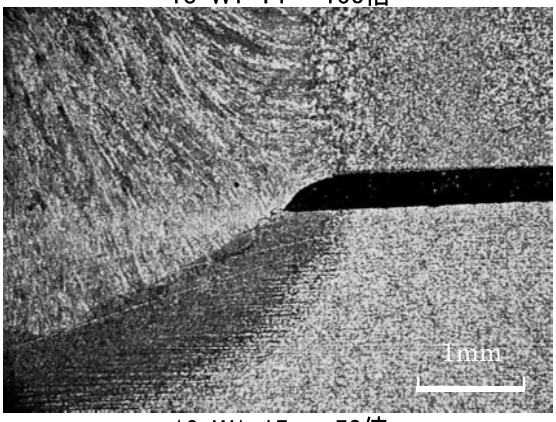
13-W1-14　×100倍



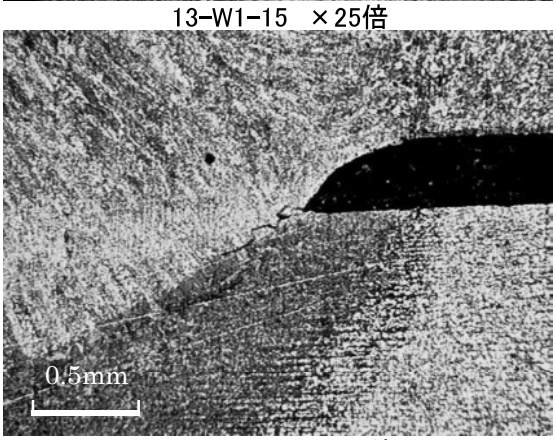
13-W1-14　150倍



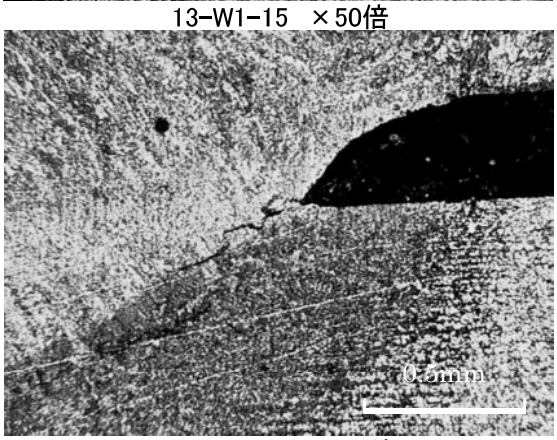
13-W1-15　×25倍



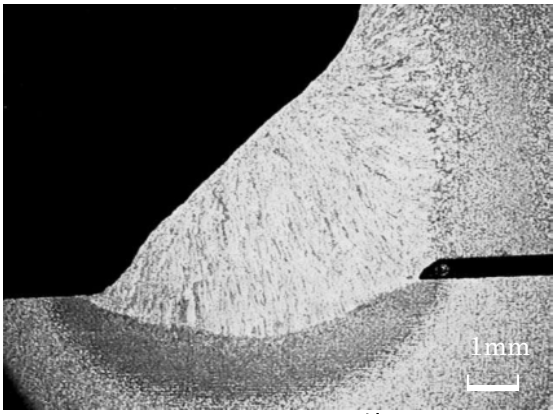
13-W1-15　×50倍



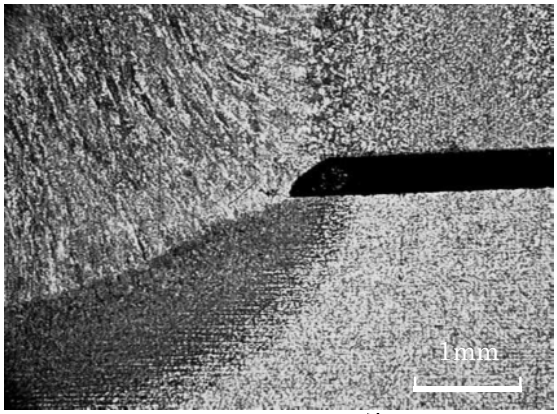
13-W1-15　×100倍



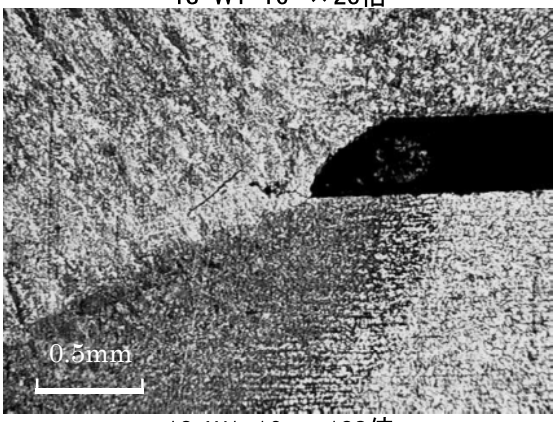
13-W1-15　×150倍



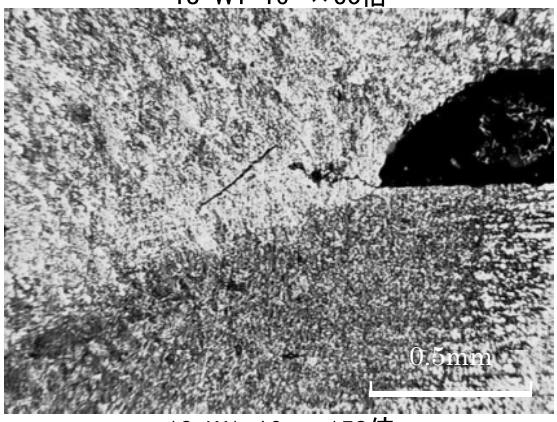
13-W1-16　×25倍



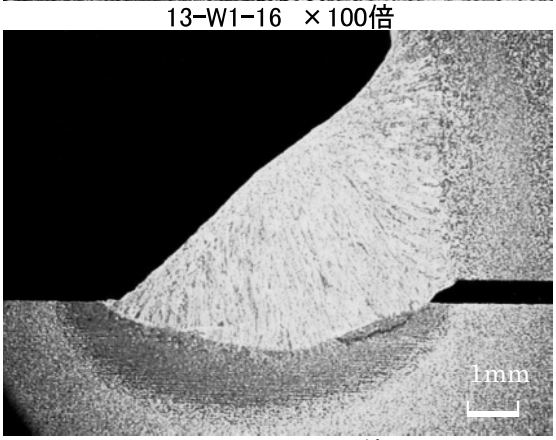
13-W1-16　×50倍



13-W1-16　×100倍



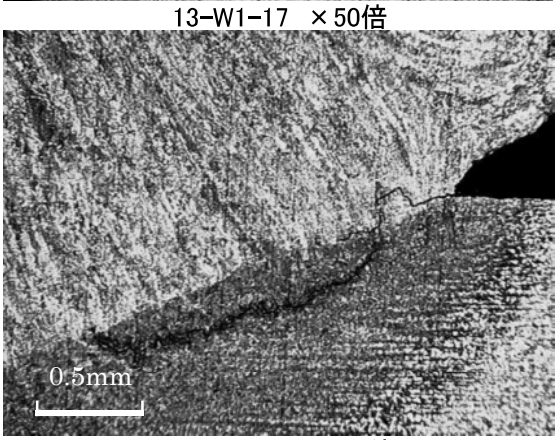
13-W1-16　×150倍



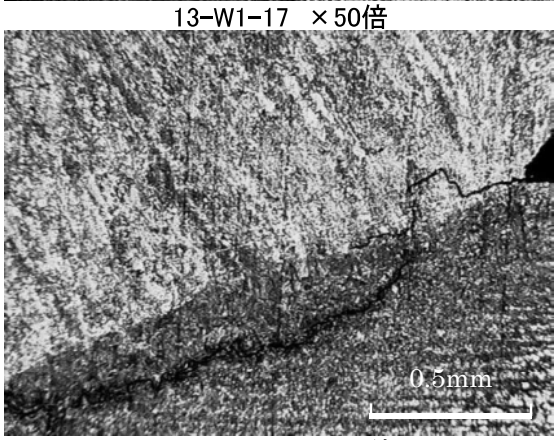
13-W1-17　×50倍



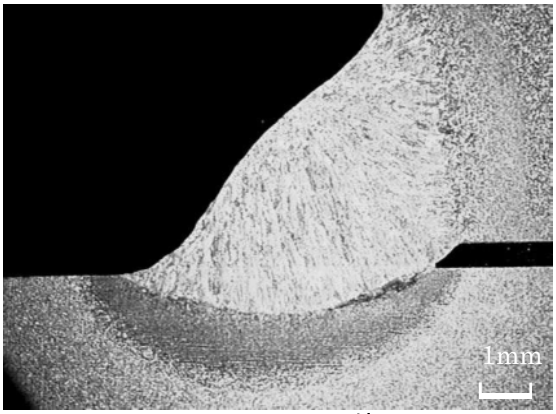
13-W1-17　×50倍



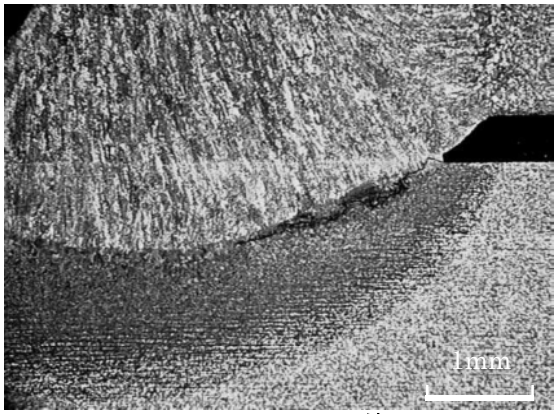
13-W1-17　×100倍



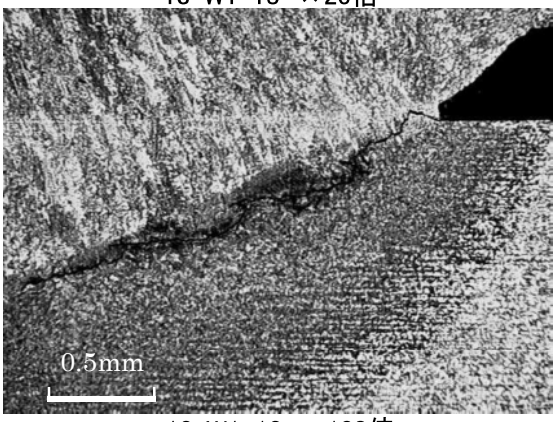
13-W1-17　×150倍



13-W1-18　×25倍



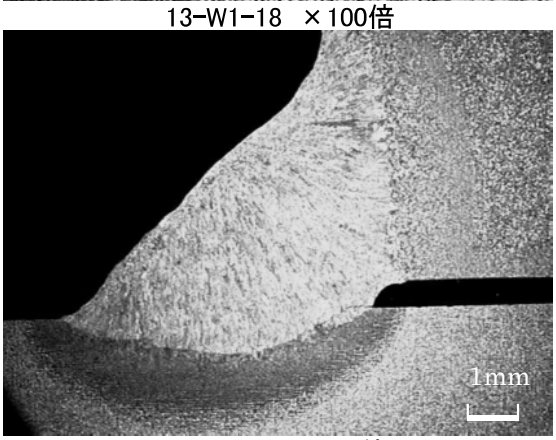
13-W1-18　×50倍



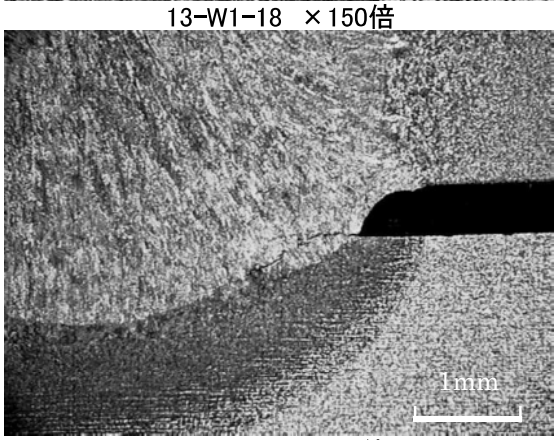
13-W1-18　×100倍



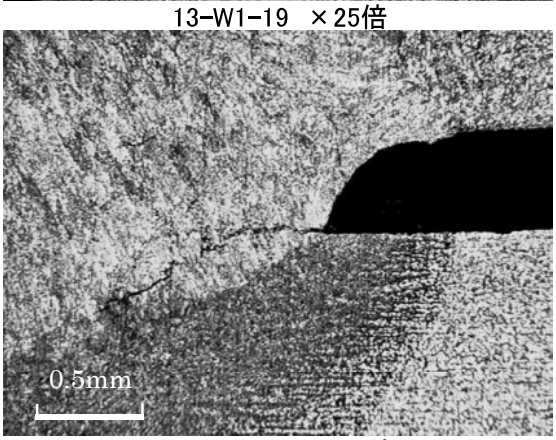
13-W1-18　×150倍



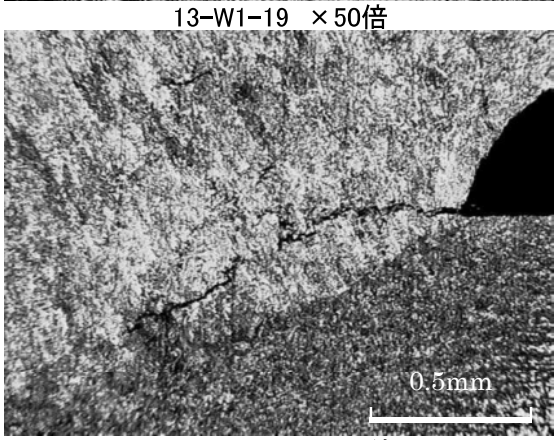
13-W1-19　×25倍



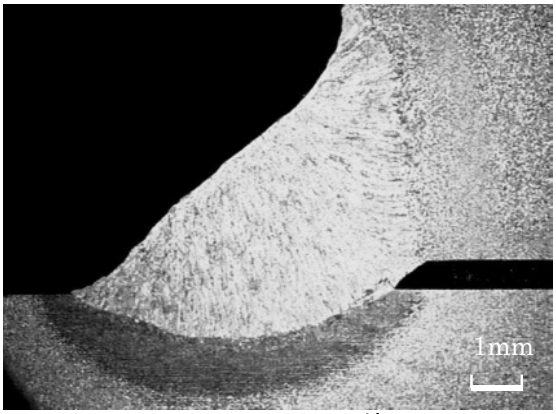
13-W1-19　×50倍



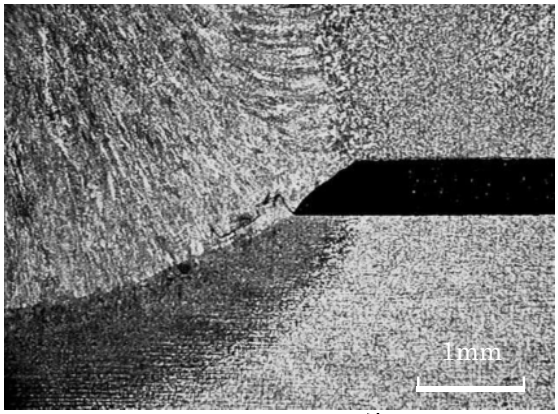
13-W1-19　×100倍



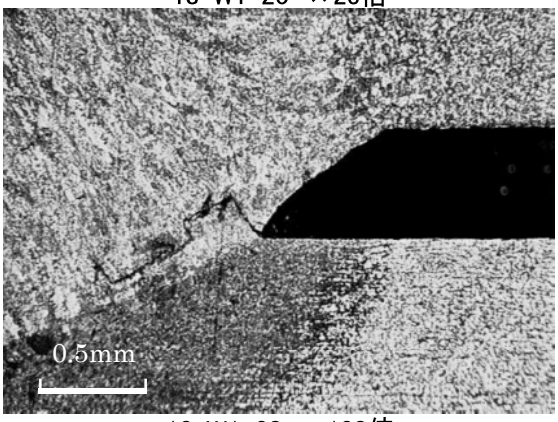
13-W1-19　×150倍



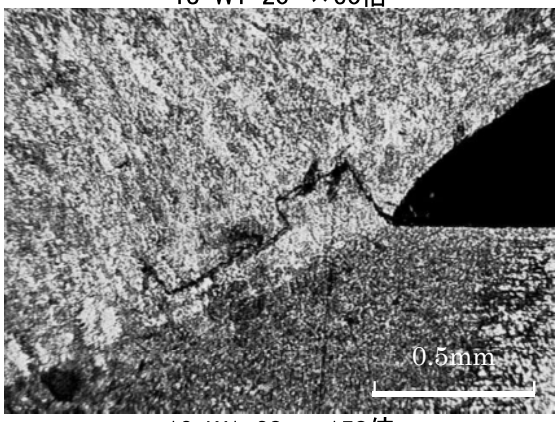
13-W1-20　×25倍



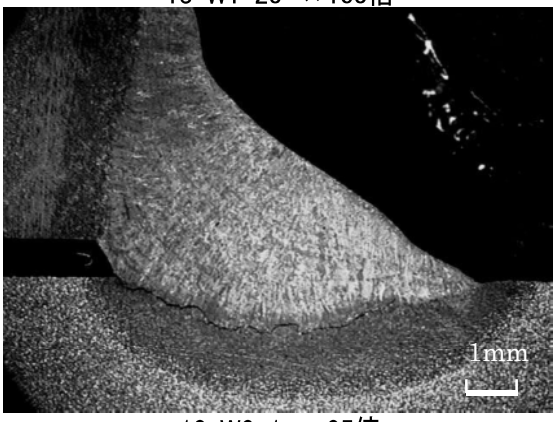
13-W1-20　×50倍



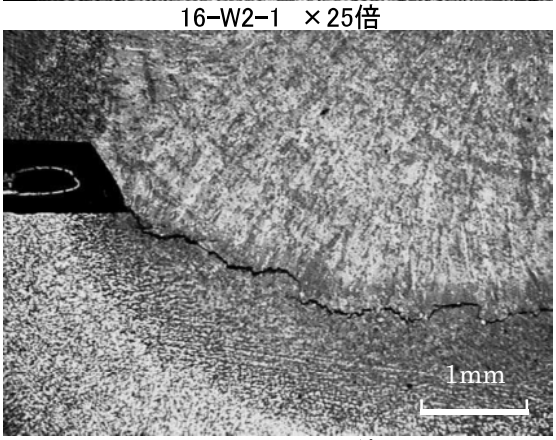
13-W1-20　×100倍



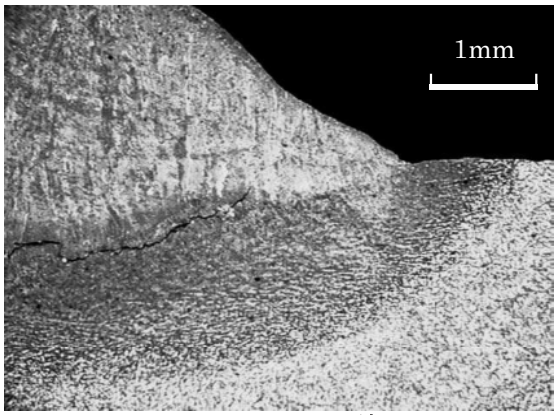
13-W1-20　×150倍



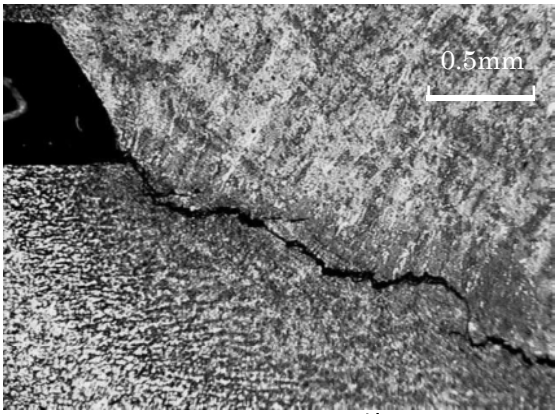
16-W2-1　×25倍



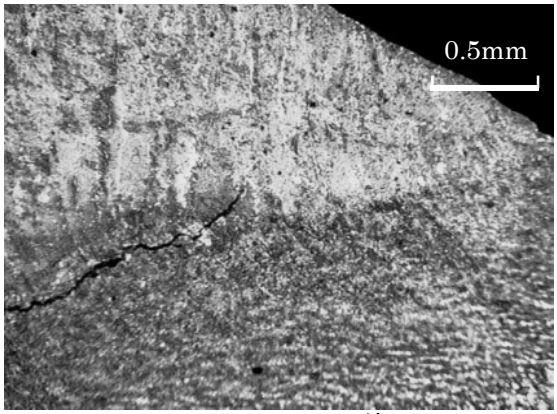
16-W2-1　×50倍



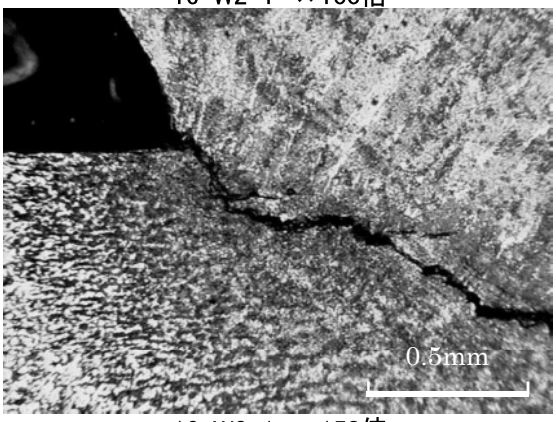
16-W2-1　×50倍



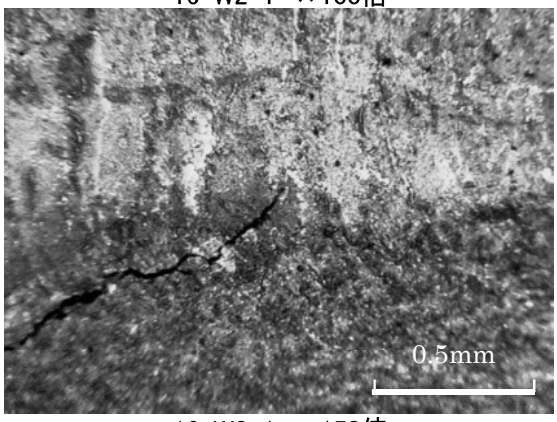
16-W2-1　×100倍



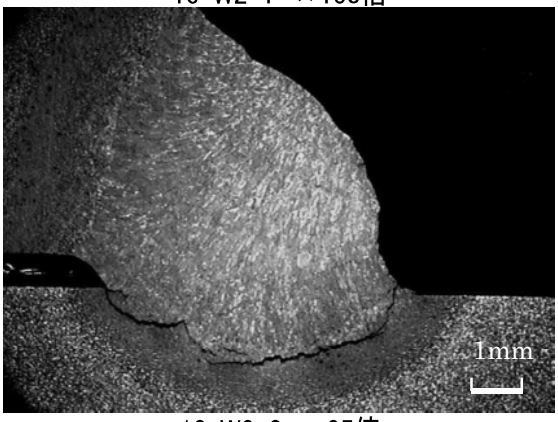
16-W2-1　×100倍



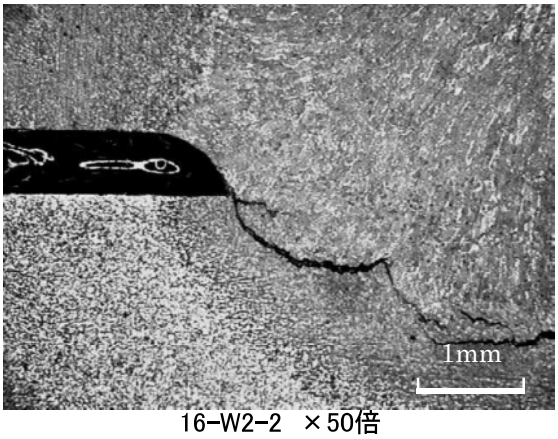
16-W2-1　×150倍



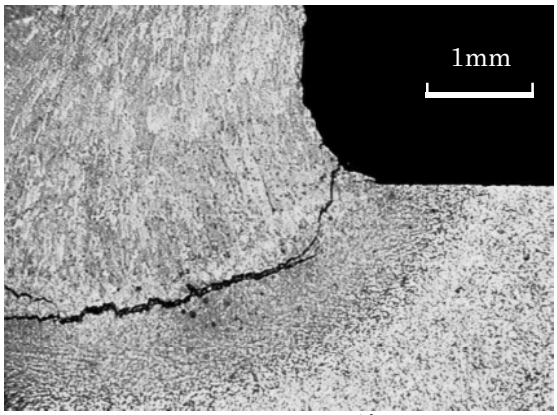
16-W2-1　×150倍



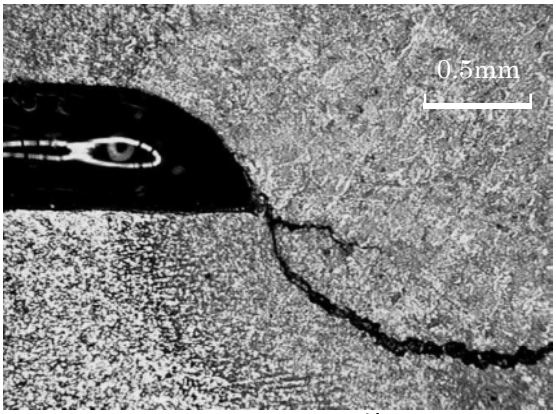
16-W2-2　×25倍



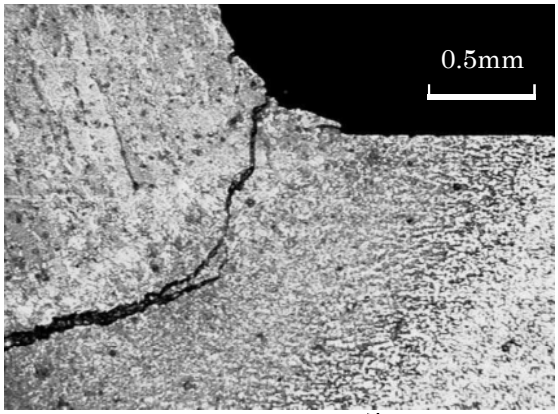
16-W2-2　×50倍



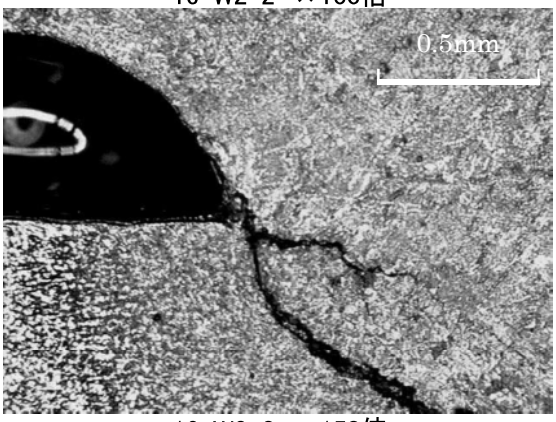
16-W2-2　×50倍



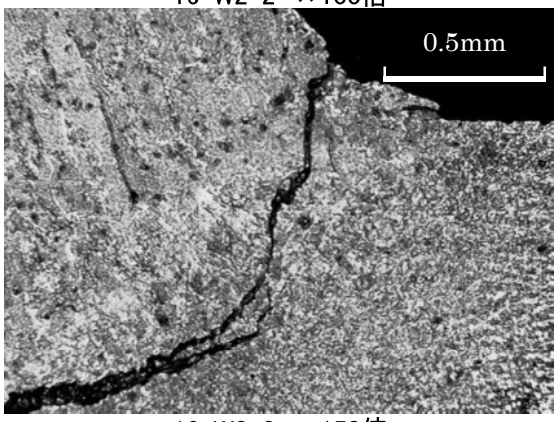
16-W2-2　×100倍



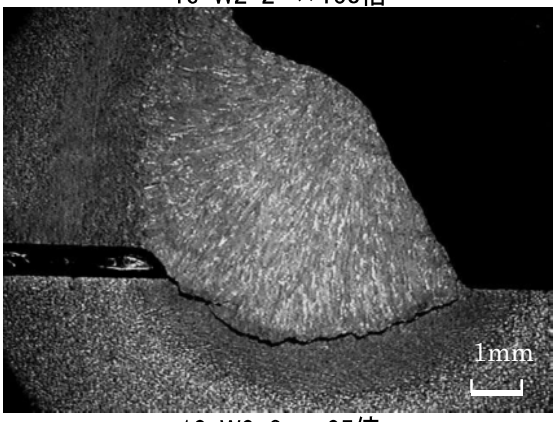
16-W2-2　×100倍



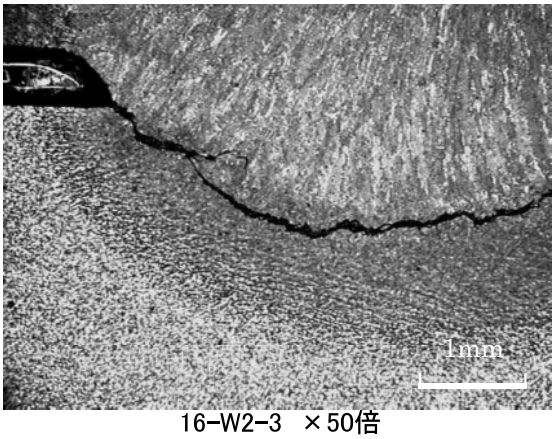
16-W2-2　×150倍



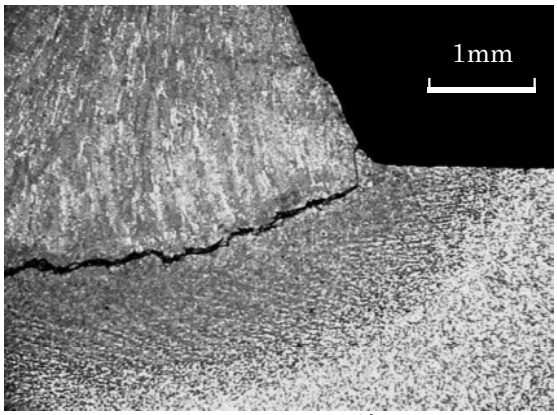
16-W2-2　×150倍



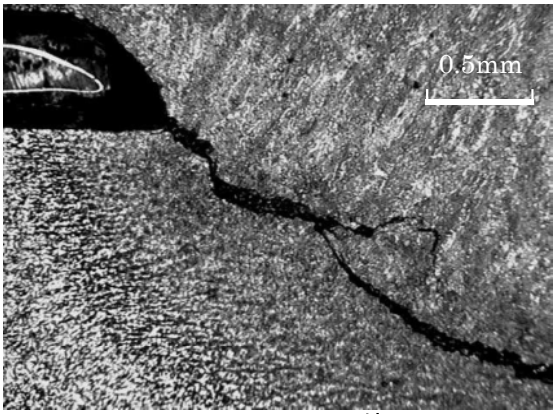
16-W2-3　×25倍



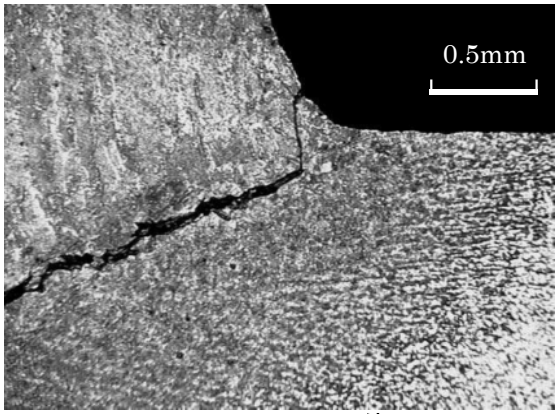
16-W2-3　×50倍



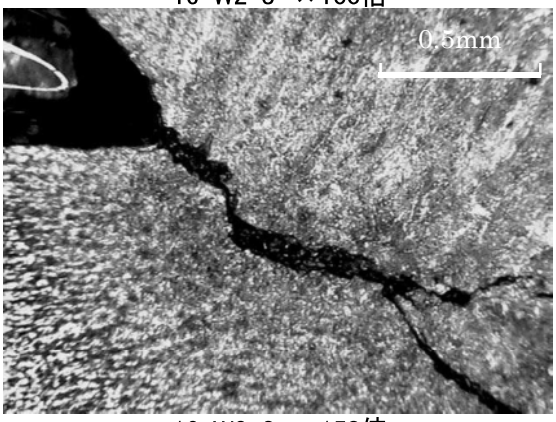
16-W2-3　×50倍



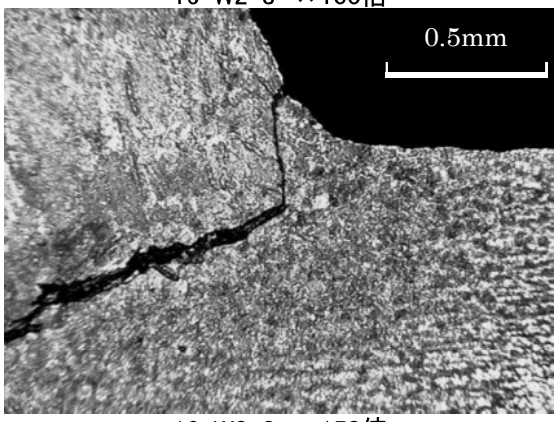
16-W2-3　×100倍



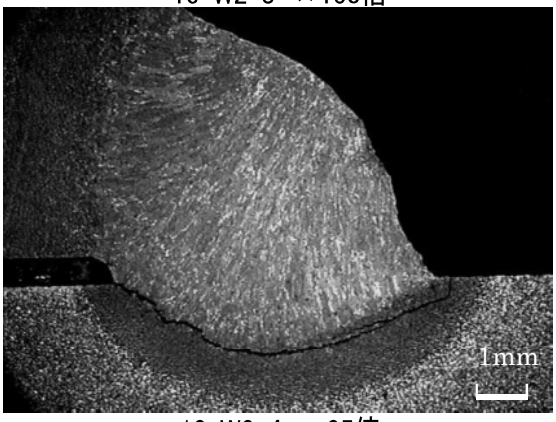
16-W2-3　×100倍



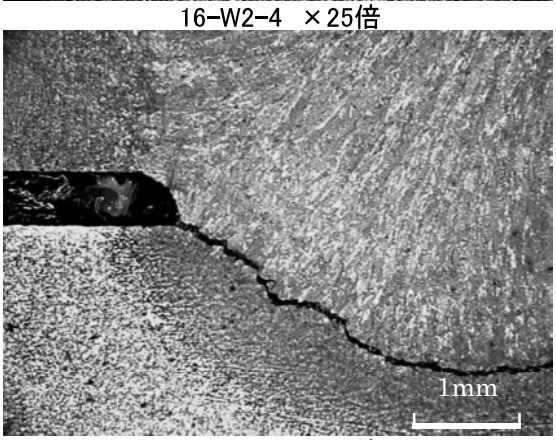
16-W2-3　×150倍



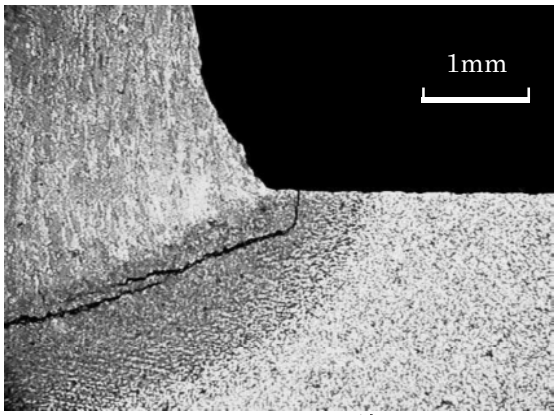
16-W2-3　×150倍



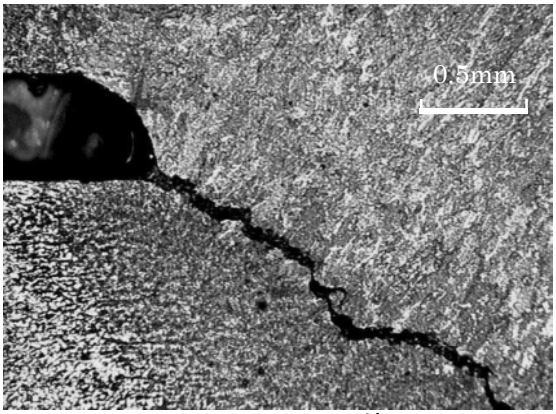
16-W2-4　×25倍



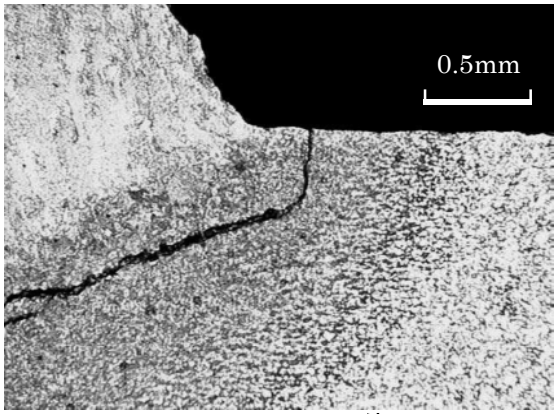
16-W2-4　×50倍



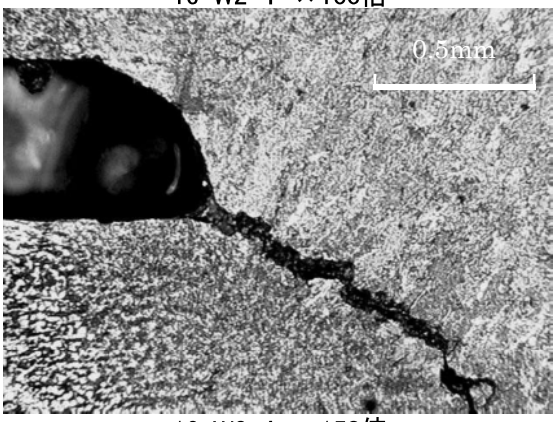
16-W2-4　×50倍



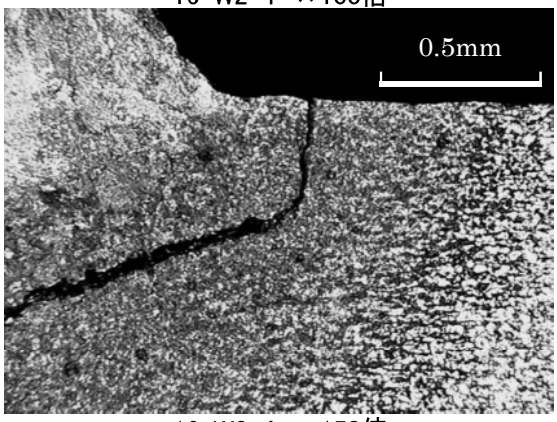
16-W2-4　×100倍



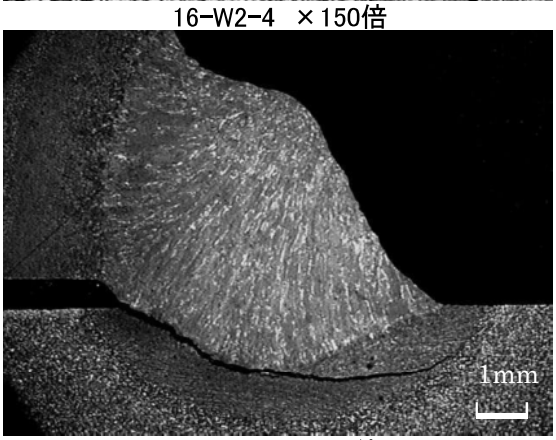
16-W2-4　×100倍



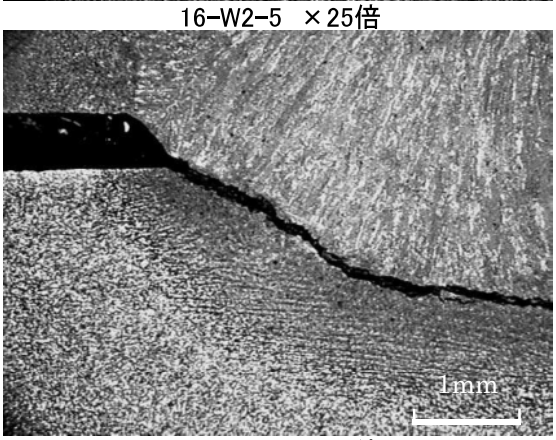
16-W2-4　×150倍



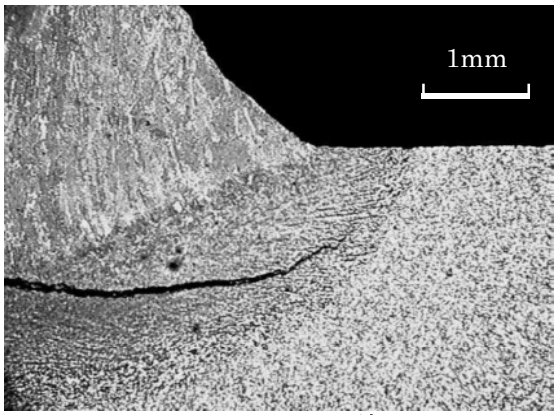
16-W2-4　×150倍



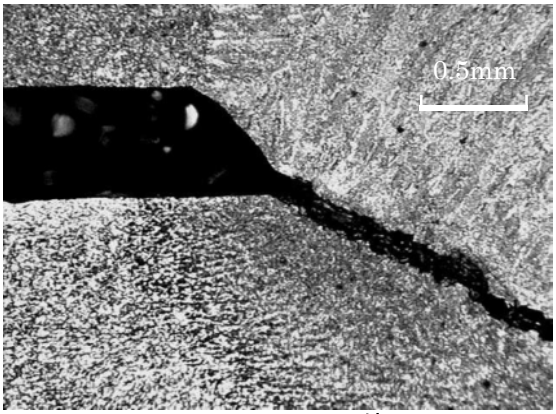
16-W2-5　×25倍



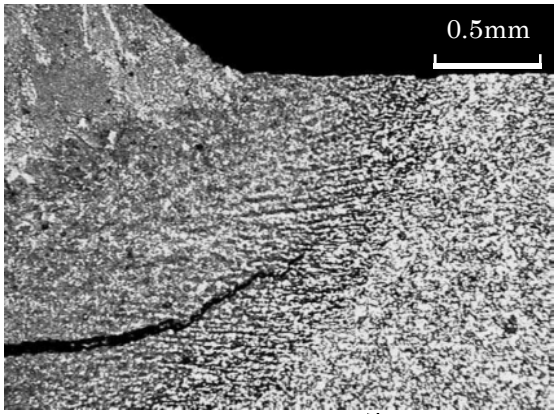
16-W2-5　×50倍



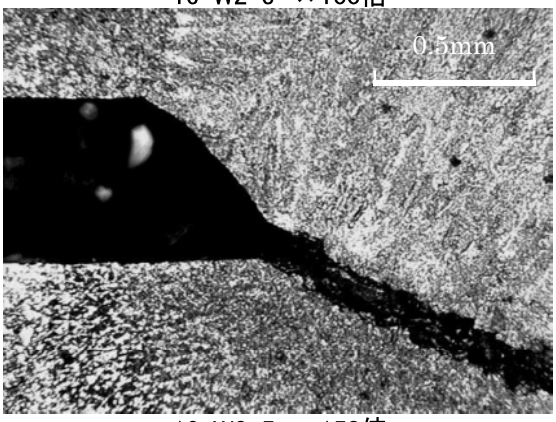
16-W2-5　×50倍



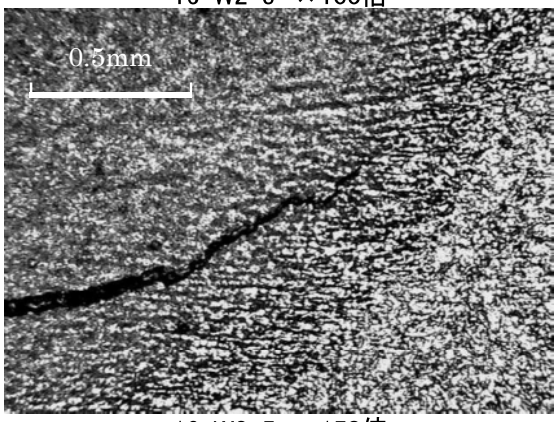
16-W2-5　×100倍



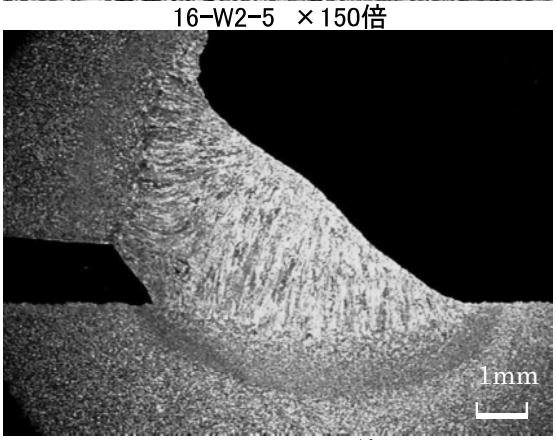
16-W2-5　×100倍



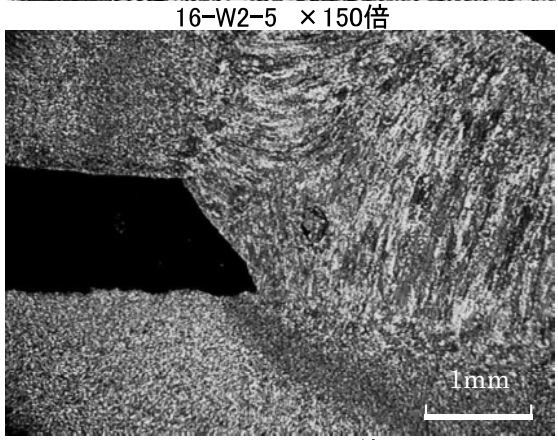
16-W2-5　×150倍



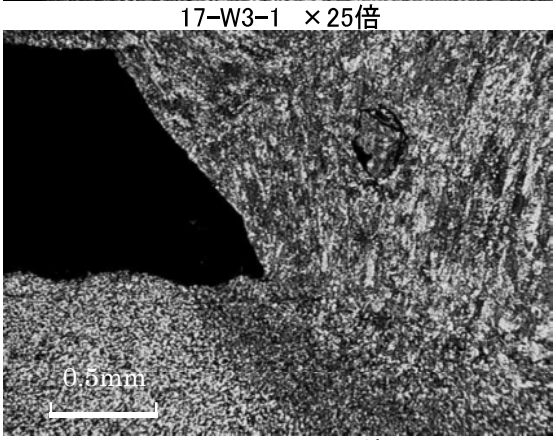
16-W2-5　×150倍



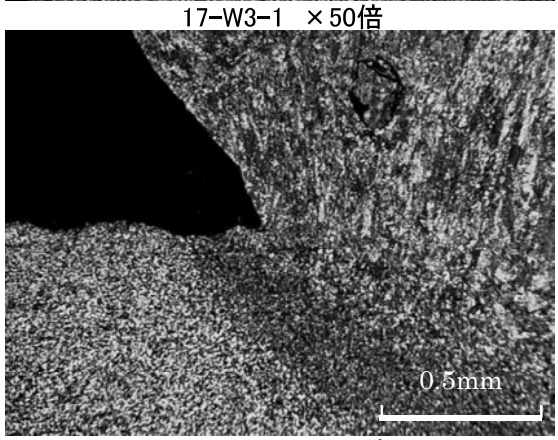
17-W3-1　×25倍



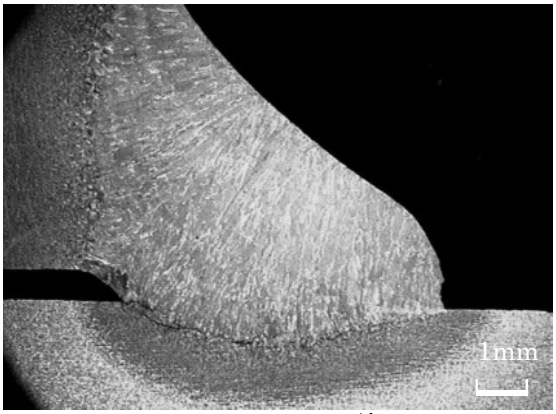
17-W3-1　×50倍



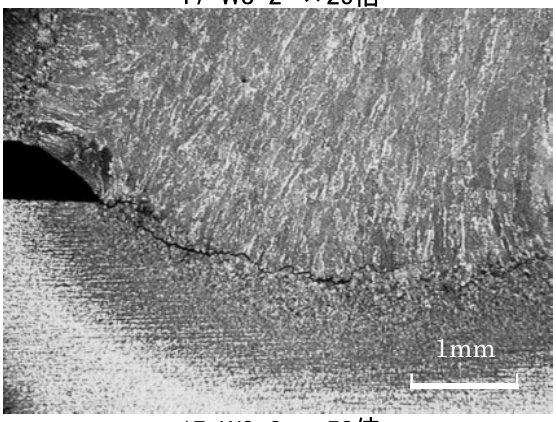
17-W3-1　×100倍



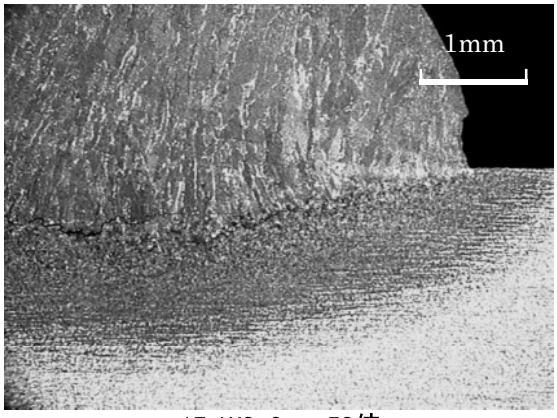
17-W3-1　×150倍



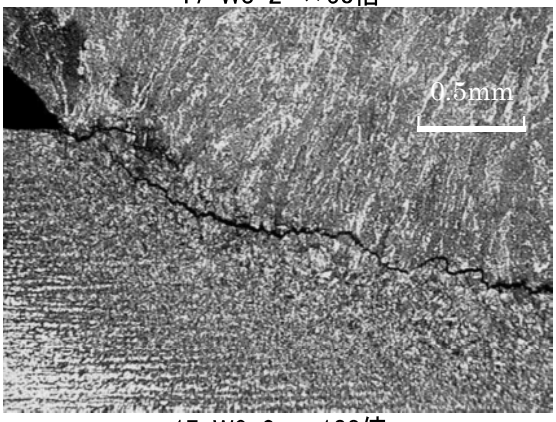
17-W3-2　×25倍



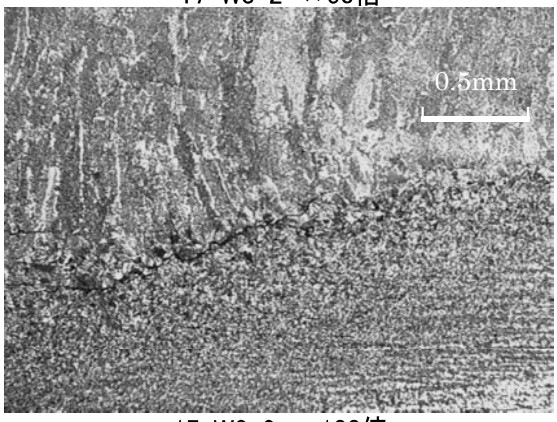
17-W3-2　×50倍



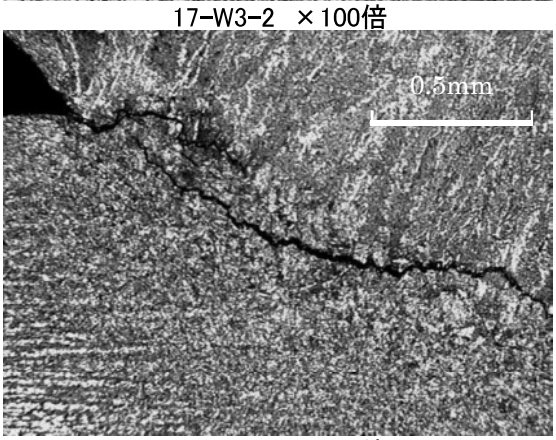
17-W3-2　×50倍



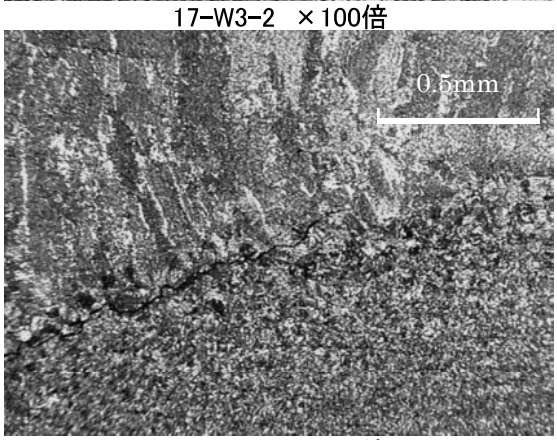
17-W3-2　×100倍



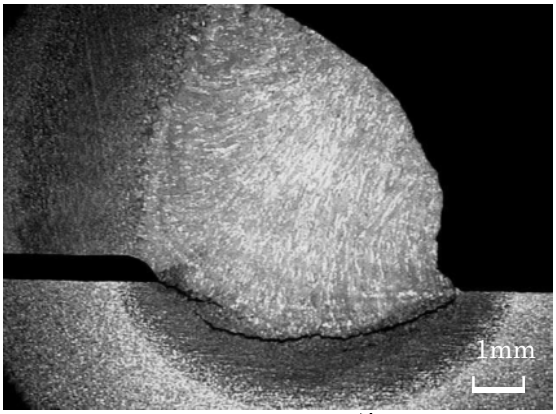
17-W3-2　×100倍



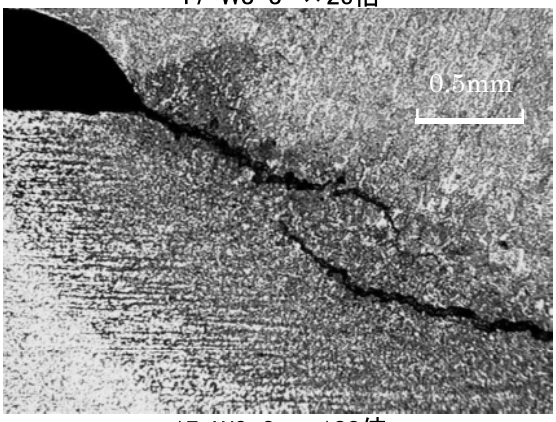
17-W3-2　×150倍



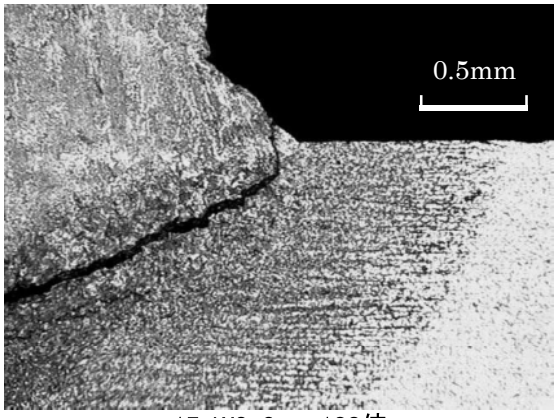
17-W3-2　×150倍



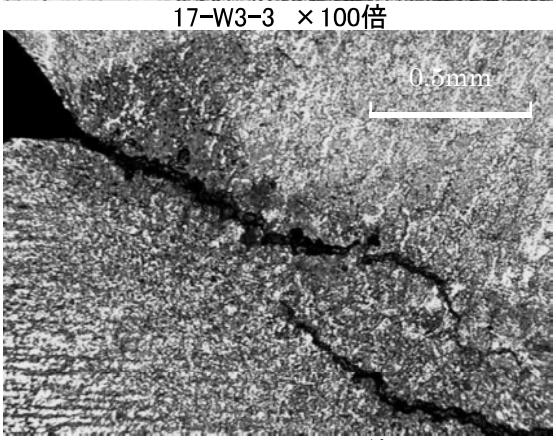
17-W3-3　×25倍



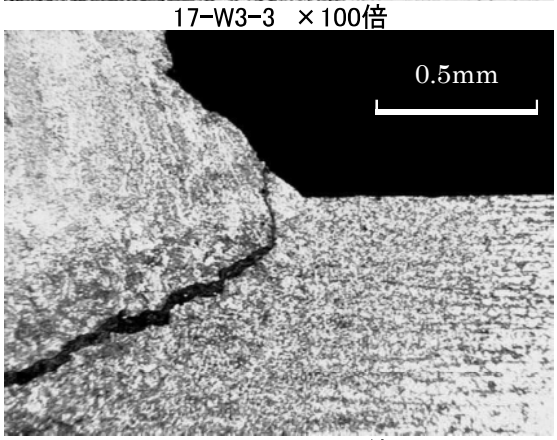
17-W3-3　×100倍



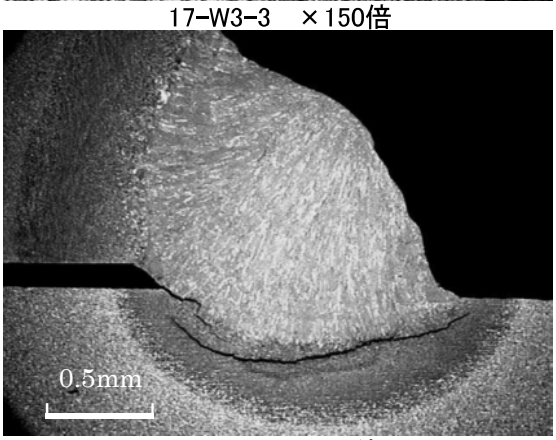
17-W3-3　×100倍



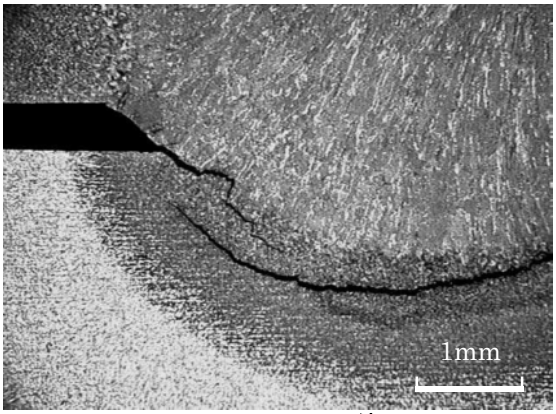
17-W3-3　×150倍



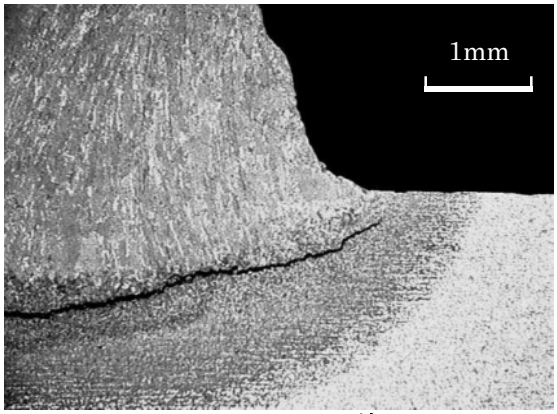
17-W3-3　×150倍



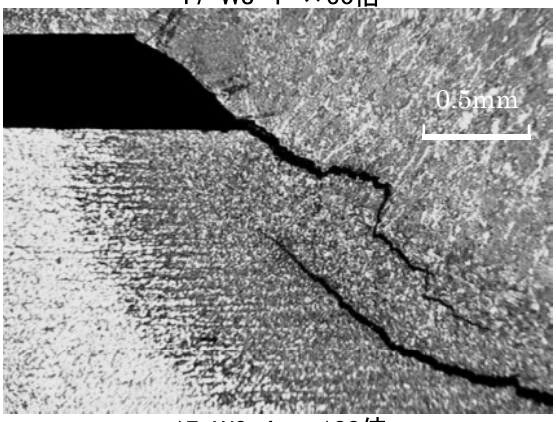
17-W3-4　×25倍



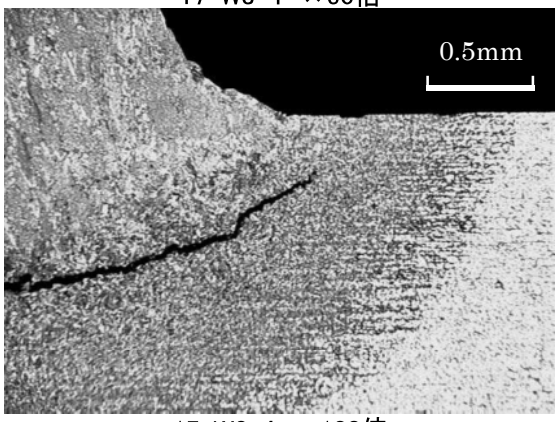
17-W3-4　×50倍



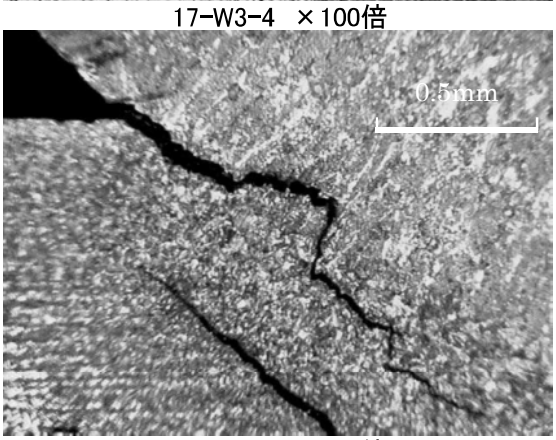
17-W3-4　×50倍



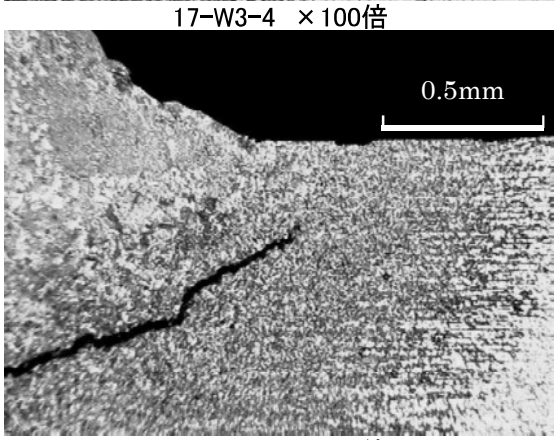
17-W3-4　×100倍



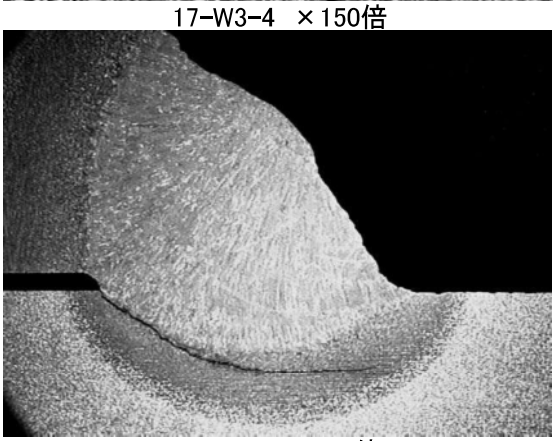
17-W3-4　×100倍



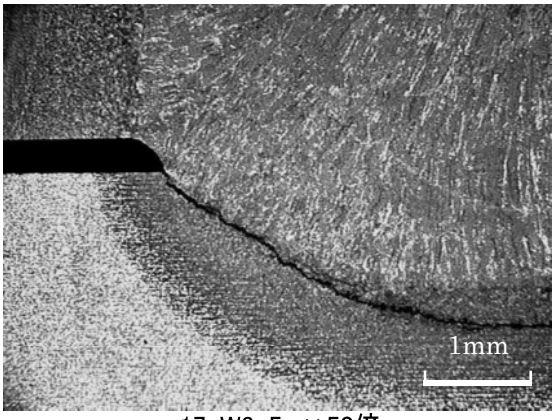
17-W3-4　×150倍



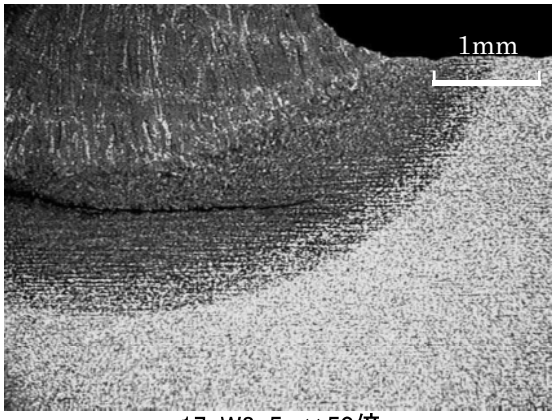
17-W3-4　×150倍



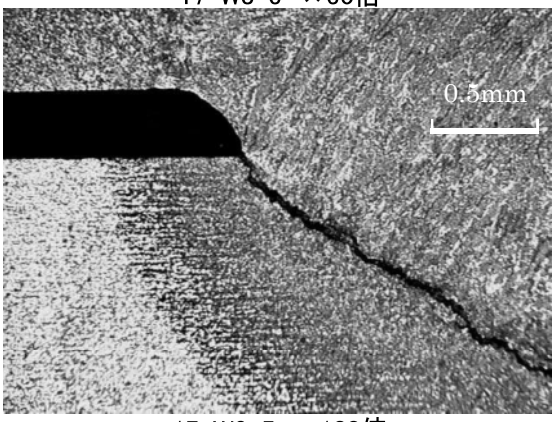
17-W3-5　×25倍



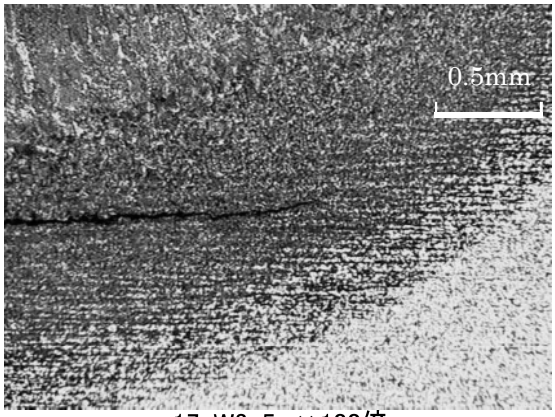
17-W3-5　×50倍



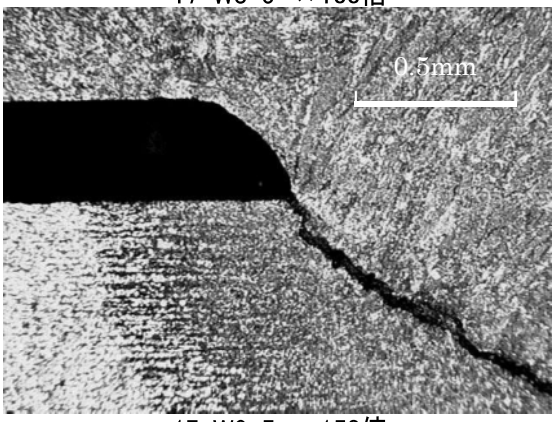
17-W3-5　×50倍



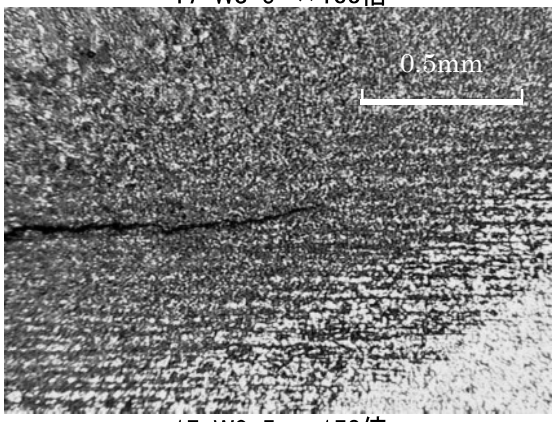
17-W3-5　×100倍



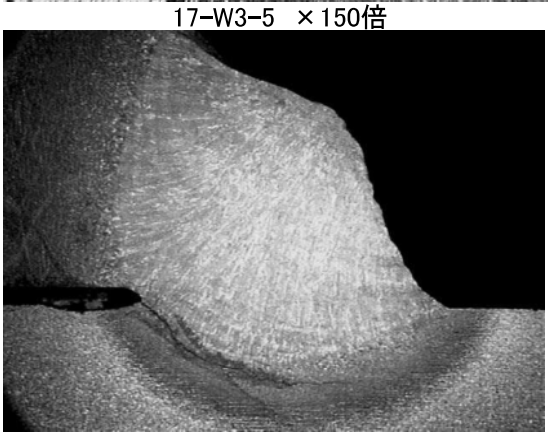
17-W3-5　×100倍



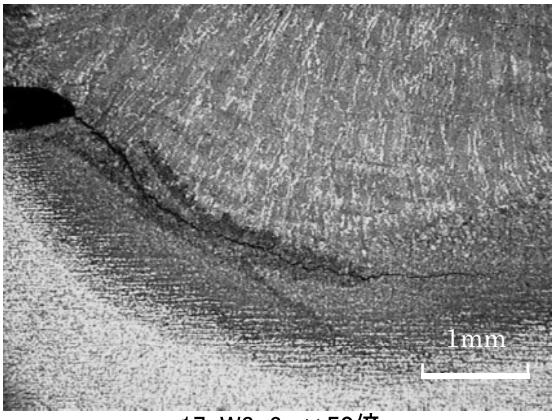
17-W3-5　×150倍



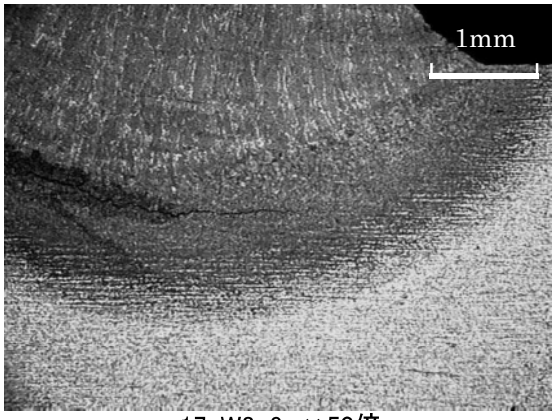
17-W3-5　×150倍



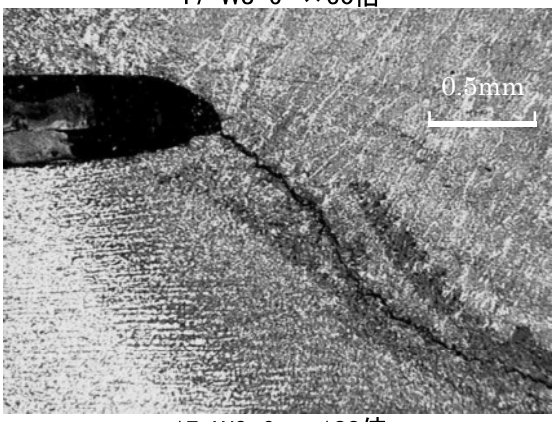
17-W3-6　×25倍



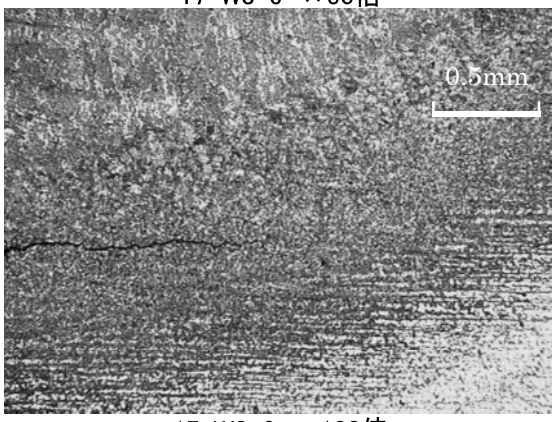
17-W3-6　×50倍



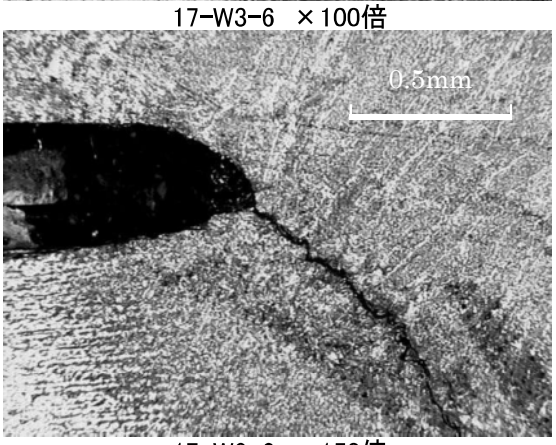
17-W3-6　×50倍



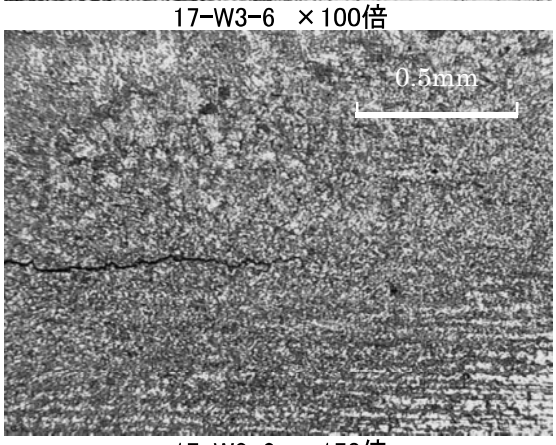
17-W3-6　×100倍



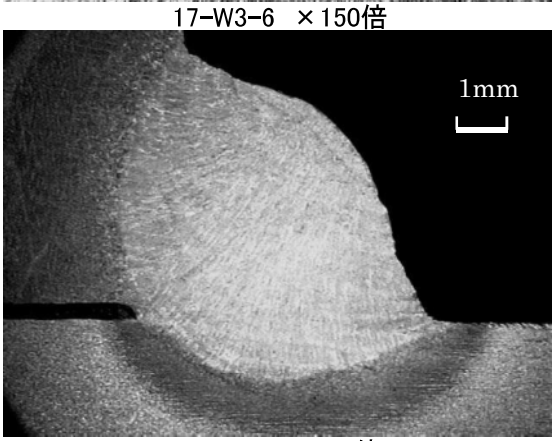
17-W3-6　×100倍



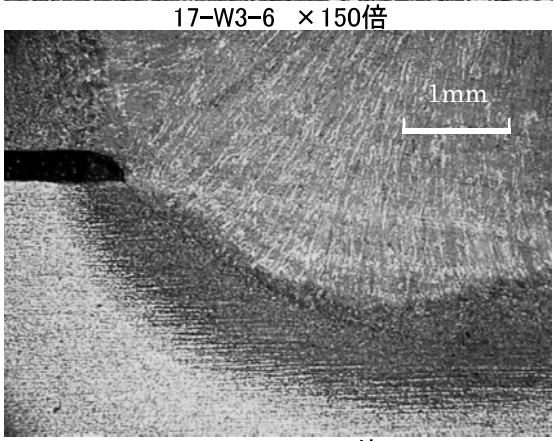
17-W3-6　×150倍



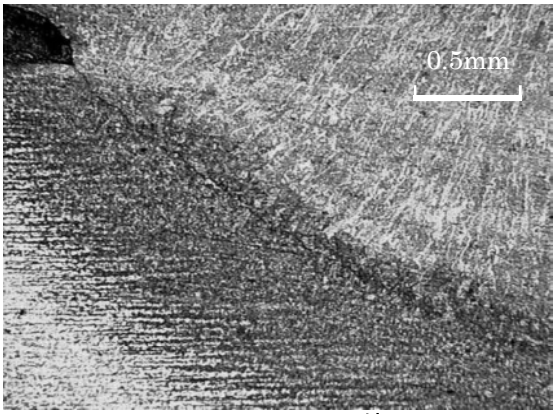
17-W3-6　×150倍



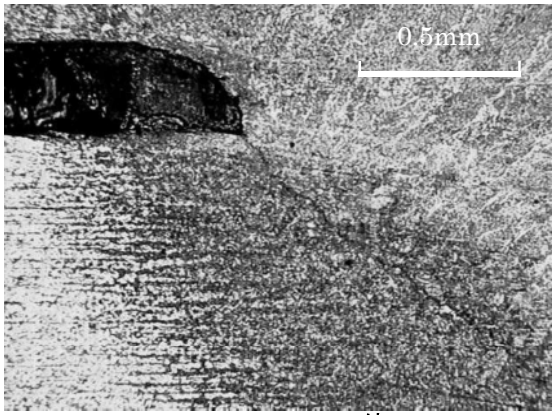
17-W3-7　×25倍



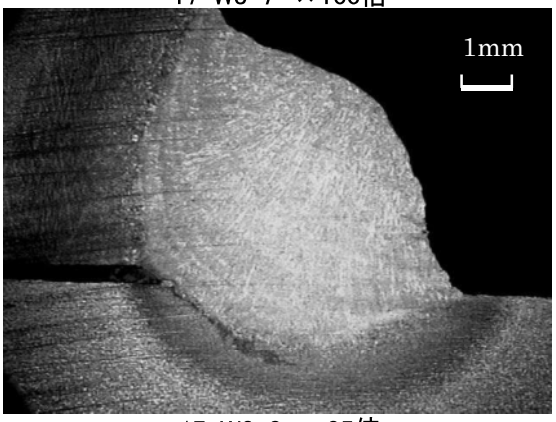
17-W3-7　×50倍



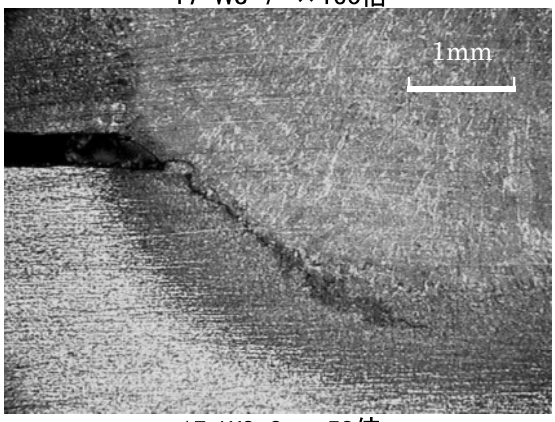
17-W3-7　×100倍



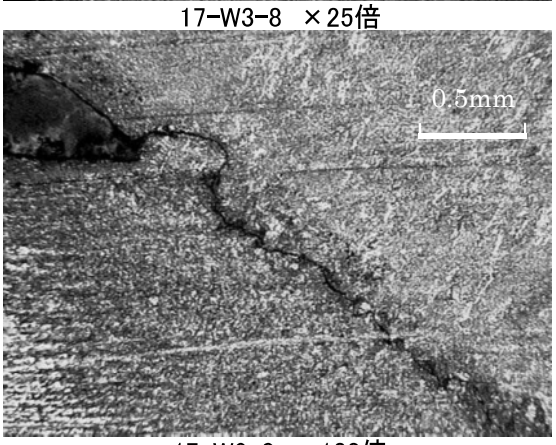
17-W3-7　×150倍



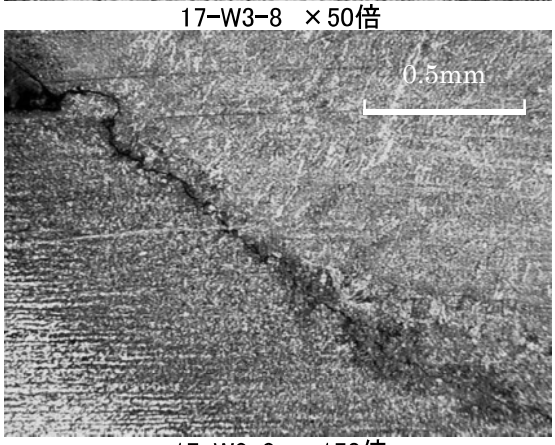
17-W3-8　×25倍



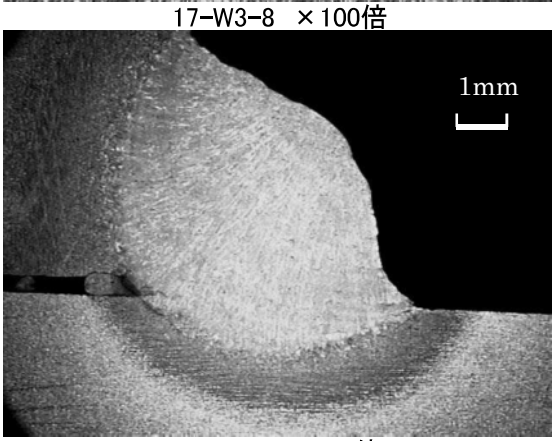
17-W3-8　×50倍



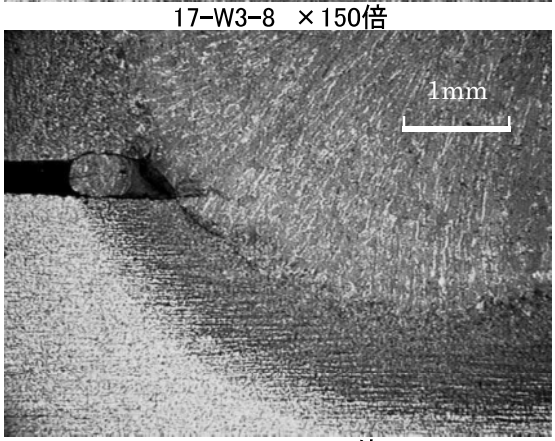
17-W3-8　×100倍



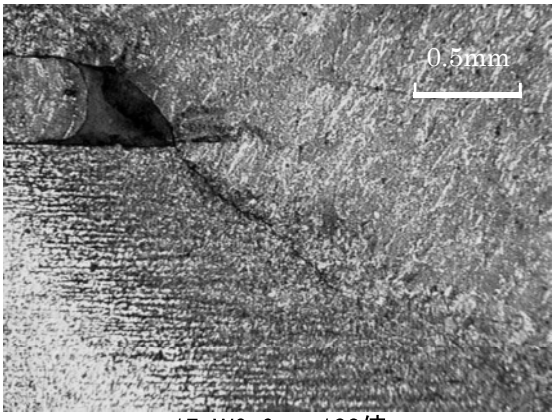
17-W3-8　×150倍



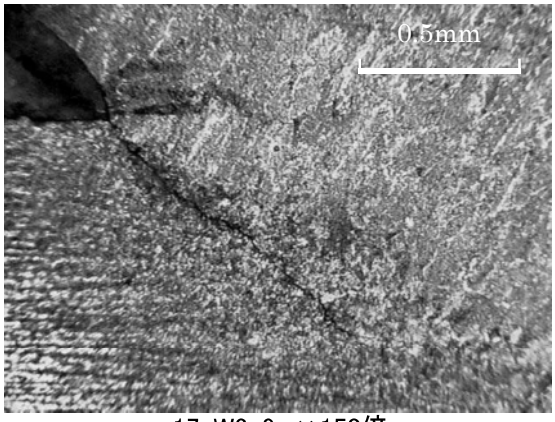
17-W3-9　×25倍



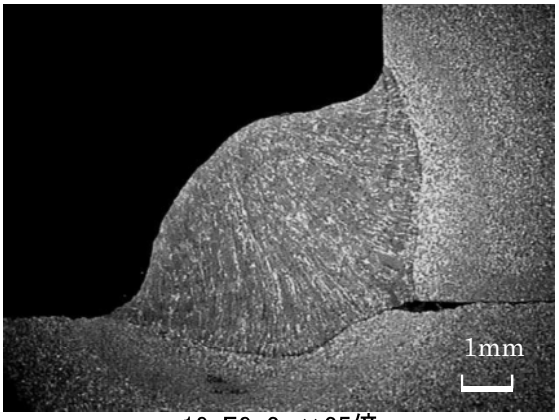
17-W3-9　×50倍



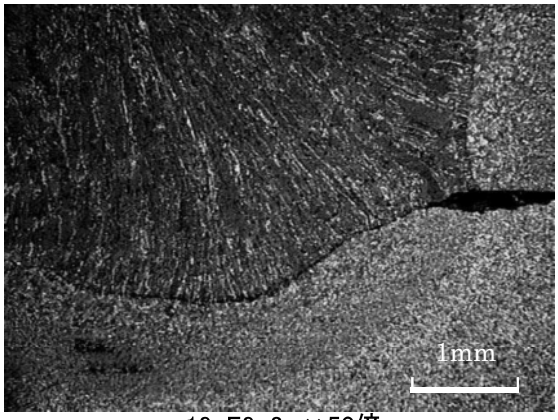
17-W3-9　×100倍



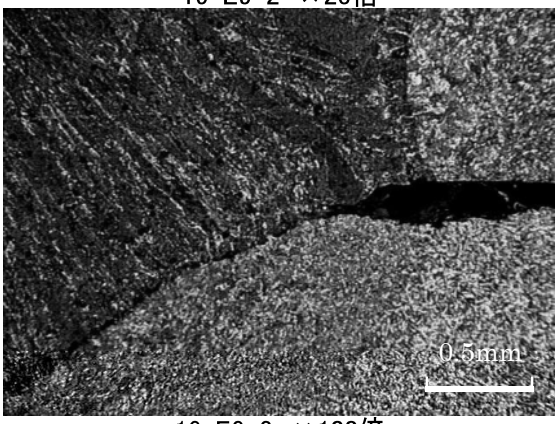
17-W3-9　×150倍



19-E9-2　×25倍



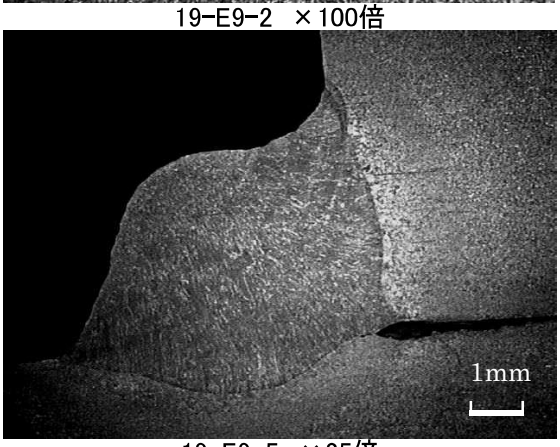
19-E9-2　×50倍



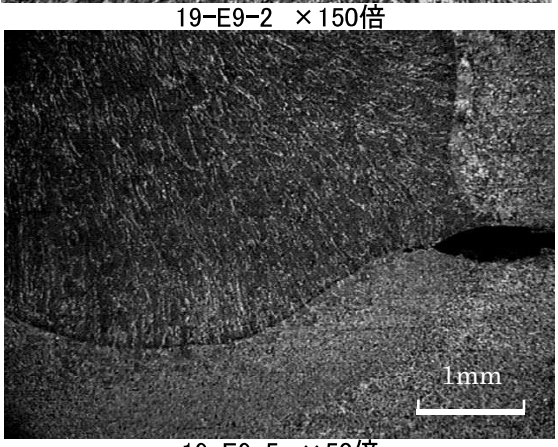
19-E9-2　×100倍



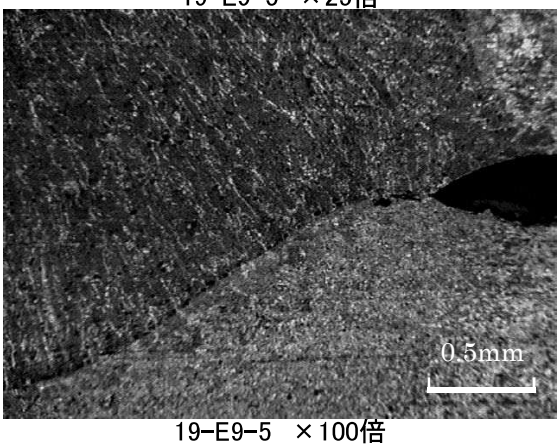
19-E9-2　×150倍



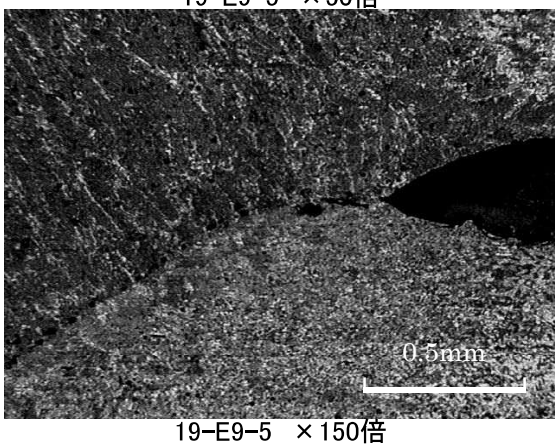
19-E9-5　×25倍



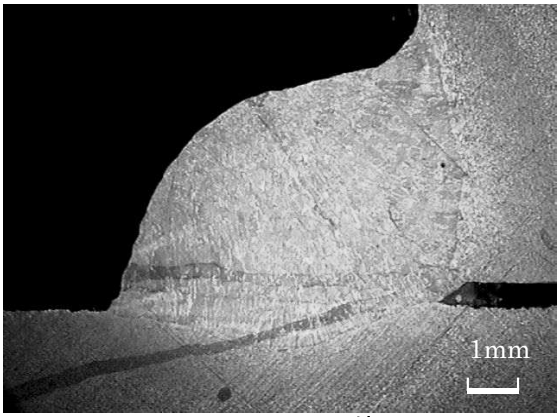
19-E9-5　×50倍



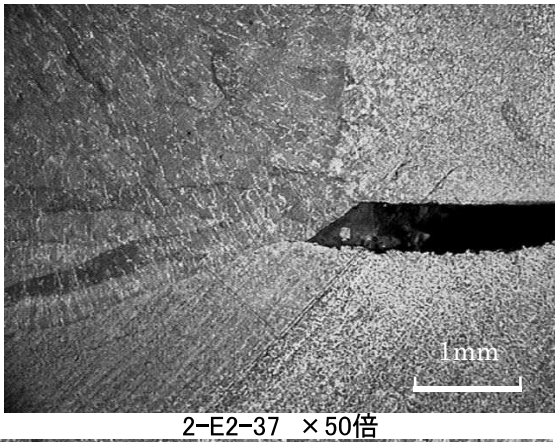
19-E9-5　×100倍



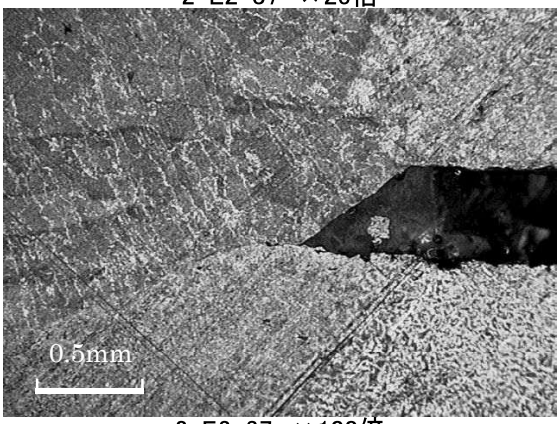
19-E9-5　×150倍



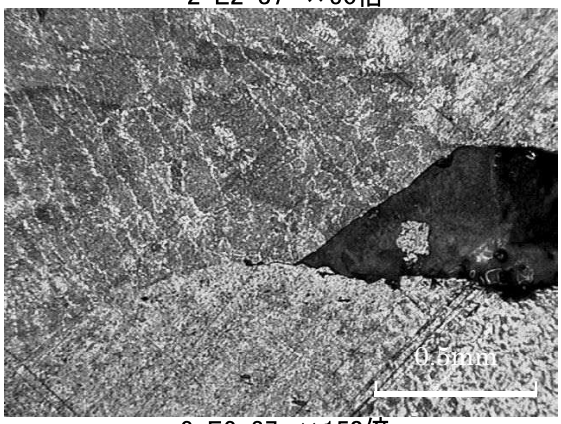
2-E2-37　×25倍



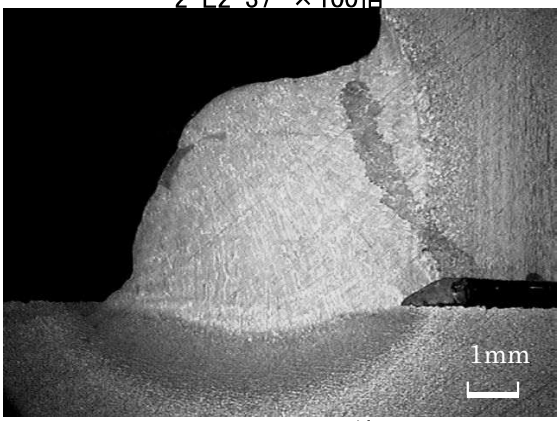
2-E2-37　×50倍



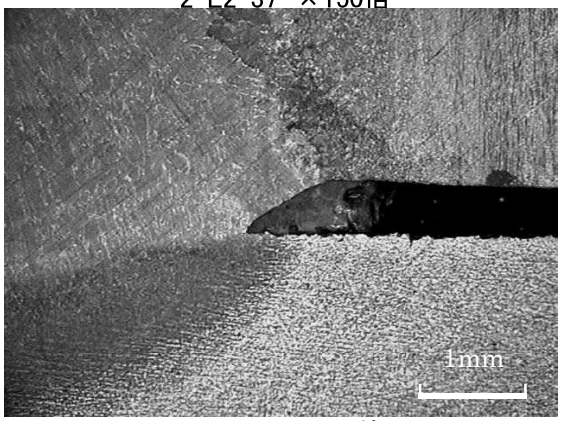
2-E2-37　×100倍



2-E2-37　×150倍



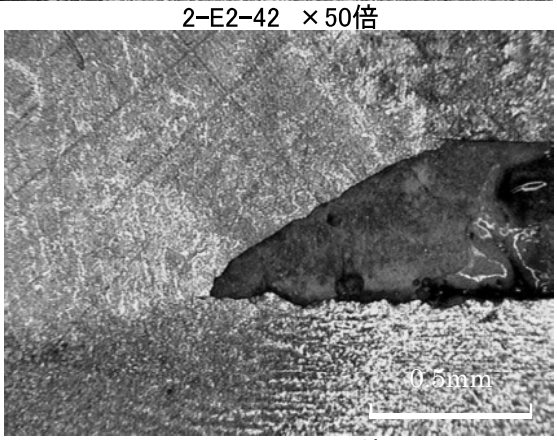
2-E2-42　×25倍



2-E2-42　×50倍



2-E2-42　×100倍



2-E2-42　×150倍

6-4　溶接割れ研究文献リスト

高温割れ	ラメラテア	拘束度	低温割れ	No.	和文標題	著者名	資料名	発行年月
		○		***1***	***箱げたのすみ肉溶接部付近の拘束度に関する研究***	井藤昭夫, 渡辺昇	土木学会論文集	1985.1
			○	***2***	***仮付け溶接の長さとヒール・クラックの発生について***	三木千寿, 中村勝樹, 遠藤秀	土木学会論文集	1989
				3	荷重伝達型十字すみ肉溶接継手・ルート破壊の疲労強度評価方法の提案	森猛, 貝沼重信	土木学会論文集	1994.1
				4	鋼製橋脚ラーメン隅角部の地震時脆性破壊	三木千寿, 穴見健吾, 四十沢	土木学会論文集	1998
				5	溶接姿勢とルートギャップが荷重伝達型十字溶接継手の疲労強度に及ぼす影響	貝沼重信, 川本恭朗, 高松大	土木学会論文集	2000.04.
	○			***6***	***既設鋼橋脚の補修溶接におけるラメラティアの発生の可能性検討***	三木千寿, 冨永知徳, 柳沼宝	土木学会論文集	2004.04.
				7	鋼床版のデッキプレートとトラフリブ間の縦方向溶接部の疲労に対するEFFECTIVE NOTCH S	菅沼久忠, 三木千壽	土木学会論文集	2007.05.
				8	疲労損傷の疑いのある橋梁の応力測定	三木千壽, 鈴木啓悟, 小野澤	土木学会論文集	2010
				9	斜め溶接割れからの疲労亀裂の発生と進展	三木千寿, 森猛, 時田英夫	構造工学論文集	1988
			○	***10***	***非低水素系すみ肉溶接棒使用時の溶接金属割れに及ぼす鋼板表面状態の影響***	堀川浩甫, 山本孝雄, 下畑陽	構造工学論文集	1988
				11	隅肉溶接部の疲労強度とルート部の欠陥について	三木千寿, 田中雅人, FAN H	構造工学論文集	1990
				12	荷重伝達型十字すみ肉溶接継手ルート破壊の疲労強度解析	森猛, 貝沼重信, 三木千寿	構造工学論文集	1993
				13	非分割箱桁橋の亜鉛めっき割れ防止に関する基礎的研究	阿部英彦, 紫桃孝一郎, 家洲	構造工学論文集	1996
				14	溶融亜鉛浸漬中に発生する鋼平板の熱ひずみと温度変化	今野貴史, 岩崎正二, 出戸秀	構造工学論文集	2006.03.
				15	2.構造安定・耐荷力　隅角部の曲面の大きさが箱形断面鋼製橋脚の耐震性能に及ぼす影響	大賀水田生, 竹村慎一郎, 葛	構造工学論文集	2004.03.
				16	ルートを起点に発生進展するき裂に着目した既設鋼床版の応力解析	高田佳彦, 田畑晶子, 橋本国	構造工学論文集	2010.03.
				17	高性能60kgf/mm`2´高張力鋼の完全溶込み溶接継手に関する実験	森田耕次, 山本昇, 望月晴加	構造工学論文集	1994
				18	建築用厚板HT780鋼板および溶接施工法の開発	望月晴雄, 山場良太, 山下達	鋼構造年次論文報告集	1994.1
			○	***19***	***HT780高張力鋼の予熱条件に関する研究***	中西保正 (石川島播磨重工	鋼構造年次論文報告集	1994.1
				20	梁端仕口部のフランジ破断および補修補強効果について	宇佐美徹, 金子洋文, 木村俊	鋼構造年次論文報告集	1996.1
				21	塗膜を利用した鋼橋部材の高サイクル疲労損傷度評価	坂野昌弘, 堀江佳平, 小林寛	鋼構造年次論文報告集	2000.11.
				22	ルート破壊を考慮した鋼管溶接継手の疲労挙動	藤冨隆行, 山田健太郎, 伊藤	鋼構造年次論文報告集	2000.11.
				23	鋼平板の溶融亜鉛浸潤試験中に発生する熱ひずみと温度変化	今野貴史, 岩崎正二, 出戸秀	鋼構造年次論文報告集	2002.11.
				24	溶接継手を有する山形鋼の溶融亜鉛浸漬時の温度および熱応力分布	今野貴史, 出戸秀明, 岩崎正	鋼構造年次論文報告集	2007.11.
				25	鋼床版の疲労損傷に対する溶接を用いた補修補強工法に関する検討	川上順子, 高田佳彦, 坂野昌	鋼構造年次論文報告集	2007.11.
				26	鋼製橋脚隅角部から採取した大コアの破面試験	梶原仁, 神田信也, 森猛	鋼構造年次論文報告集	2007.11.
				27	溶接継手の疲労き裂に対する延命対策の検討	安東祐樹, 小嶋悟, 山本健太	鋼構造年次論文報告集	2008.11.
				28	高速道路入路橋から採取した鋼桁試験体の疲労挙動	山岡大輔, 高田佳彦, 坂野昌	鋼構造年次論文報告集	2009.11.
			○	***991***	***溶接部の低温割れ感受性と防止***	糟谷正	溶接学会誌	2001.9
			○	***992***	***高張力鋼の溶接割れ感受性指示数について***	伊藤慶典, 別所清	溶接学会誌	1968.9
			○	***993***	***高張力鋼の溶接割れ感受性指数について(第2報)***	伊藤慶典, 別所清	溶接学会誌	1969.10
				29	80kg/mm`2´高張力鋼の溶接性―溶接熱影響部の諸性質	朝倉重次, 二へい正恭	溶接学会誌	1980.08.
				30	溶接欠陥からのぜい性破壊発生に関する研究Ⅰ溶接割れからの破壊	明石重雄, 深沢誠	溶接学会誌	1980.09.
			○	***31***	***新しい割れ指数PHによるルート割れの解析***	鈴木春義	溶接学会誌	1980.11.
				32	湿式水中溶接によるSM系鋼材の変質	衣川純一, 福島貞夫, 福島力	溶接学会誌	1981
			○	***33***	***鋼材の溶接遅れ割れの研究　Ⅲ 溶接金属ミクロ割れ・横割れの防止***	矢竹丘, 百合岡信孝, 片岡陽	溶接学会誌	1981
			○	***34***	***溶接入熱と拘束度を考慮した割れ指数PH***	鈴木春義	溶接学会誌	1981.1
				35	深海潜水調査船耐圧かく用高じん性高張力鋼の溶接に関する研究Ⅱ	木原博, 佐藤邦彦, 遠藤倫正	溶接学会誌	1981.1
			○	***36***	***厚板溶接部の水素濃度に関連する熱因子によぼす溶接諸条件の影響***	寺崎俊夫, 原沢秀明, 阪口勝	溶接学会誌	1981.1
○				***37***	***片面サブマージアーク溶接で発生する終端割れの発生機構と防止方法の検討Ⅰ 溶接諸条件***	奥田直樹, 田中和雄	溶接学会誌	1982
○				***38***	***片面サブマージアーク溶接で発生する終端割れの発生機構と防止方法の検討Ⅱ 終端部の***	奥田直樹, 田中和雄	溶接学会誌	1982.1

高温割れ	ラメラテア	拘束度	低温割れ	No.	和文標題	著者名	資料名	発行年月
			○	***39***	***任意板厚の斜めY形溶接割れ試験片の力学的特性***	上田幸雄, 福田敬二, 金裕哲	溶接学会誌	1982.1
		○		***40***	***スリット溶接継手に生じる拘束応力・拘束ひずみの一般特性及び拘束度の力学的指標として***	上田幸雄, 福田敬二, 金裕哲	溶接学会誌	1982.1
			○	***41***	***多層溶接継手の水素濃度分布におよぼす溶接諸条件の影響Ⅱ 溶接金属横割れ防止のため***	寺崎俊夫, 原沢秀明, 坂下章	溶接学会誌	1982.1
			○	***42***	***溶接継手部の応力集中率・応力拡大係数についてⅡ 低温割れ発生部の応力拡大係数・応力***	寺崎俊夫, 秋山哲也	溶接学会誌	1982.1
			○	***43***	***高炭素鋼のガスシールドアーク溶接に関する研究Ⅰ 溶接金属の性質に及ぼすシールドガス***	安藤精一, 大久保通則, 後藤	溶接学会誌	1983
		○		***44***	***厚板有限板スリット溶接継手の有効拘束度***	上田幸雄, 福田敬二, KIM Y	溶接学会誌	1983
				45	溶接技術の高度化による高効率・高信頼性溶接技術の開発　溶接変形予測モデルの開発	村川英一	溶接学会誌	2003.09.
			○	***46***	***高張力鋼溶接熱影響部における水素による割れと部分溶融Ⅴ 水素助長割れ感受性におよ***	渡辺健彦, 岡根功	溶接学会論文集	1983.1
				47	スポット溶接継手強さの温度依存性について	佐藤次彦, 片山じょう一, 藤	溶接学会論文集	1983.1
				48	鋼すみ肉溶接継手の曲げ疲労に関する研究Ⅱ すみ肉溶接継手の曲げ疲労寿命の推定と鋼	三井宜之, 黒羽啓明, 原田克	溶接学会論文集	1983.1
				49	不溶着部を有するすみ肉溶接継手のぜい性破壊強度	青木満, 小林真人	溶接学会論文集	1983.1
		○		***50***	***可変拘束度型スリット割れ試験片の提案***	迎静雄, 寺崎俊夫, 小南鮮秀	溶接学会論文集	1983.1
			○	***51***	***高張力鋼溶接熱影響部における再熱割れの研究***	渡辺健彦, SAVAGE W F	溶接学会論文集	1983.1
			○	***52***	***高炭素鋼のガスシールドアーク溶接に関する研究Ⅲ 溶接部の機械的性質に及ぼすSの影響***	安藤精一, 大久保通則, 西本	溶接学会論文集	1983.1
○				***53***	***高炭素鋼のガスシールドアーク溶接に関する研究Ⅱ 割れ試験法による溶接部の高温割れ感***	安藤精一, 大久保通則	溶接学会論文集	1983.1
			○	***54***	***高張力鋼溶接熱影響部における水素による割れと部分溶融Ⅳ 硫化介在物の形態と水素感***	渡辺健彦, 岡根功	溶接学会論文集	1983.1
			○	***55***	***船こぐブロック継手の拘束および残留応力分布に与える仮付け溶接の影響***	暮石正義, 中島宏幸, 春日秀	溶接学会論文集	1983.1
				56	バラツキを考慮した限界COD値とVシャルピ破面遷移温度の相関	木内晃, 青木満	溶接学会論文集	1983.1
				57	湿式水中アーク溶接における鋼材のTRC試験Ⅰ	屋良秀夫, 真喜志康二, 菊田	溶接学会論文集	1983.1
				58	TRC試験及びRRC試験の力学的特性と相関性	上田幸雄, 村松由樹	溶接学会論文集	1984
			○	***59***	***新しい割れ指数PHAによる冷間割れの解析***	鈴木春義, 奥村誠	溶接学会論文集	1984
				60	極厚板多層突合せ溶接残留応力分布とその生成機構特性に基づく理論解析及び実験の簡略	上田幸雄, 中長啓治	溶接学会論文集	1984
				61	付加物継手の疲労強度におよぼす継手端部形状の影響	大野啓充, 泉山泰三	溶接学会論文集	1984.1
	○			***62***	***クランフィールド形割れ試験におけるラメラテア伝ぱん特性***	村松由樹, 平岡和雄, 稲垣道	溶接学会論文集	1984.1
				63	局部的劣化部を含む鋼溶接継手の曲げ限界COD値と引張破壊強度	貝原正一郎, 村山武弘, 河野	溶接学会論文集	1984.1
				64	溶接残留応力場での疲労き裂成長速度の評価	村上理一, 秋園幸一	溶接学会論文集	1984.1
				65	溶接部COD試験におけるPop-in現象とその安全性評価法に関する研究	有持和茂, 井坂和実, 中西弘	溶接学会論文集	1985
○				***66***	***変動応力載荷中の溶接施工に関する研究Ⅰ 変動応力下の溶接割れ試験***	中西保正, 中村義隆, 村山武	溶接学会論文集	1985
				67	全ひずみ分布による二次元残留応力の解析	里中忍	溶接学会論文集	1985.1
			○	***68***	***溶接割れにおよぼす非金属介在物の影響Ⅰ 溶接低温割れ限界応力に対する検討***	菊田米男, 荒木孝雄, 広瀬明	溶接学会論文集	1985.1
				69	溶融亜鉛めっき時における溶接継手の液体ぜい化Ⅲ 液体金属ぜい化割れの再現試験およ	寺崎俊夫, 迎静雄, 小南鮮秀	溶接学会論文集	1985.1
				70	溶融亜鉛めっき時における溶接継手の液体ぜい化Ⅱ めっき浴浸せき時に生じる平板および	小南鮮寿, 矢野和敏, 石本寛	溶接学会論文集	1985.1
				71	溶融亜鉛めっき時における溶接継手の液体金属ぜい化Ⅰ 溶融亜鉛中における溶接継手強度	小南鮮寿, 矢野和敏, 石本寛	溶接学会論文集	1985.1
			○	***72***	***水素ぜい化と熱ひずみぜい化の複合効果を考慮した溶接低温割れの検討***	菊田米男, 荒木孝雄, きょう	溶接学会論文集	1985.1
				73	溶接部Pop-inの動的挙動に関する研究とその安全性評価法への適用	井坂和実, 有持和茂	溶接学会論文集	1985.1
				74	強度の異なる材の接合面近傍に存在するき裂のまわりの応力・ひずみ挙動	佐藤邦彦, 豊田政男, 佐藤道	溶接学会論文集	1985.1
			○	***75***	***溶接熱影響部における金属組織の再熱割れ感受性に及ぼす影響について***	中村満, 円城敏男, 菊地靖志	溶接学会論文集	1985.1
				76	溶融亜鉛中における鋼溶接部の時間依存性破壊の検討	菊田米男, 荒木孝雄, 米田琢	溶接学会論文集	1985.1
				77	鋼およびその溶接部の溶融亜鉛中での破壊に及ぼす諸因子の検討	菊田米男, 荒木孝雄, 米田琢	溶接学会論文集	1985.1
				78	インプラント試験とRRCおよびJIS-y試験の比較	鈴木春義, 奥村誠, 名村優	溶接学会論文集	1985.1
			○	***79***	***非金属介在物のトラップ効果を考慮した水素拡散集積挙動の解析***	菊田米男, 荒木孝雄, 広瀬明	溶接学会論文集	1985.1

高温割れ	ラメラテア	拘束度	低温割れ	No.	和文標題	著者名	資料名	発行年月
			○	***80***	***非金属介在物の水素トラップ効果に対する検討 III 溶接低温割れにおよぼす非金属介在物***	菊田米男, 荒木孝雄, 広瀬明	溶接学会論文集	1985.1
				81	水中溶接部の性能向上に関する研究 II 後熱による湿式水中溶接部の割れ防止について	菅泰雄	溶接学会論文集	1985.1
				82	多層盛溶接熱影響部の組織分布とじん性に関する研究 I 高張力鋼多層溶接熱影響部の組織	中尾よし邦, 大重広明 野井	溶接学会論文集	1985.1
				83	石油貯そうの底ぐう角部に生じるミクロ割れの防止に関する研究	菊田米男, 荒木孝雄, 米田玛	溶接学会論文集	1986.1
			○	***84***	***ルート割れ発生部の局部水素濃度について***	寺崎俊夫, 秋山哲也, 大下洁	溶接学会論文集	1986.1
				85	水中溶接部の気孔生成について II 水素による気孔の生成機構に関する研究	菅泰雄	溶接学会論文集	1986.1
				86	HY系高張力鋼溶接金属の低温割れに関する基礎的研究 V HY系高張力鋼溶接部の相変態	松田福久, 中川博二, 篠崎賢	溶接学会論文集	1987.1
				87	HY系高張力鋼溶接金属の低温割れに関する基礎的研究 III LB-TRC試験法による溶接金属	松田福久, 中川博二 (大阪大	溶接学会論文集	1987.1
				88	HY系高張力鋼溶接金属の低温割れに関する基礎的研究 II LB-TRC試験法の開発とその実用	松田福久, 中川博二 (大阪大	溶接学会論文集	1987.1
				89	異種材料の界面接合部に生ずる残留応力について II 残留応力に及ぼす材料定数,試験片寸	寺崎俊夫, 平居孝之, 瀬尾俊	溶接学会論文集	1988.1
				90	溶接継手へのJ積分の適用に関する数値解析的研究	林健治, 内藤将史, 堀川浩甫	溶接学会論文集	1988.1
○				***91***	***変動荷重下における溶接割れに対する実験的考察***	井元泉, 中西保正, 堀川浩甫	溶接学会論文集	1989.1
				92	高圧雰囲気中における重力式アーク溶接 (第3報) 気孔生成に及ぼす雰囲気圧力の影響	菅泰雄	溶接学会論文集	1990
				93	セラミックス/金属の固相接合が抱える力学的課題に対する考察	山本哲也, YUAN M G, KIM	溶接学会論文集	1990.1
				94	薄鋼板のフラッシュ溶接現象とプロセス制御に関する研究(第三報) アプセット現象の解析と溶	斉藤亨, 一山靖友	溶接学会論文集	1995.1
				95	荷重非伝達十字すみ肉溶接継手の疲労におけるルート破壊の防止 止端処理に起因する荷重	太田省三郎, 石塚桂太	溶接学会論文集	1996.1
				96	材料から見た溶接技術伝承の重要性	百合岡信孝	溶接学会論文集	1998
				97	温度依存型界面要素を用いた溶接高温割れのモデル化とFish Bone型高温割れ試験への応用	柴原正和, 芹沢久, 村川英一	溶接学会論文集	2001.05.
				98	純チタン材の溶接と継手性能 1 純チタン材の溶融特性と溶接施工条件の検討	藤井信之, 日向輝彦, 安田克	溶接学会論文集	2002.02.
				99	低変態温度溶接材による荷重非伝達型十字継手の疲労強度改善	毛利雅志, 阪野賢治, 荒川幸	溶接学会論文集	2002.05.
				100	溶融亜鉛めっきを施した溶接部の応力性状と小型試験体による疲労試験-溶融亜鉛めっきを施	南邦明, 堀川秀信, 森猛	溶接学会論文集	2003.11.
				101	鉄骨柱仕口スカラップの溶融亜鉛めっき割れに関する検討	小山明久, 岩崎雅紀, 永田晋	溶接学会論文集	2004.08.
				102	加圧水型原子炉容器炉内構造物の照射クリープおよびIASCC発生予測方法の研究-PWR炉内	亀山雅司, 千種直樹, 久保多	溶接学会論文集	2005.02.
			○	***103***	***道路橋示方書におけるすみ肉溶接サイズ基準の考察***	南邦明, 糟谷正 (新日鉄), 三	溶接学会論文集	2005.08.
				104	低入熱摩擦圧接法による中・高炭素鋼継手の引張強度に及ぼす摩擦時間,摩擦圧力の影響	木村真晃, 日下正広, 瀬尾俊	溶接学会論文集	2005.11.
				105	大温度増分・増分反復全ひずみ法の解析性能-高速熱弾塑性解析法の開発(第2報)-	中長啓治, 近藤秀雄, 荒木青	溶接学会論文集	2006.11.
			○	***106***	***鋼橋製作におけるすみ肉溶接予熱条件の考察***	南邦明 糟谷正 三木千壽	溶接学会論文集	2007
○				***107***	***三次元溶接高温割れ解析法の開発と狭開先溶接時における梨形ビード割れ問題への応用***	柴原正和, 正岡孝治, 伊藤真	溶接学会論文集	2009
○				***108***	***温度依存型界面要素を用いたT継手完全溶け込み溶接時における梨形ビード割れの発生予***	柴原正和, 正岡孝治, 伊藤真	溶接学会論文集	2009
				109	柱梁接合部における溶融亜鉛めっき割れ発生原因とその防止法	護雅典, 中込忠男, 鈴木至,	溶接学会論文集	2009
				110	溶接ロボットによる建築鉄骨溶接の狭開先化に関する初層溶接の施工条件範囲の検討	松村浩史, 高田篤人, 中込忠	溶接学会論文集	2010
				111	Ta/Zr接合界面における水素拡散および水素化物析出の計算機シミュレーション -SUS304UL	才田一幸, 西本和俊, 藤本哲	溶接学会論文集	2010
				112	ノースリッジ地震でなぜ鉄骨が割れたか	SKILES J L, CAMPPBELL H	溶接技術	1995
				113	高張力鋼溶接継手の疲労き裂成長速度に及ぼす引張および圧縮残留応力ならびに応力比の	村上理一, 秋園幸一	材料	1985
				114	天然海水中での溶接部材の腐食疲労き裂伝ぱ速度に及ぼす溶接残留応力および腐食生成物	村上理一, 秋園幸一, 津村嘉	材料	1987.1
				115	溶接継手の応力集中係数に及ぼす余盛形状因子と溶接条件の影響	藤崎渉, 田中洋征, 野田尚昭	材料	1990.1
				116	x線材料強度 中性子回析による炭素鋼配管突合せ溶接継手の残留応力	林真琴, 石渡雅幸, 森井幸生	材料	1996.1
				117	鉄道車両用台車枠の実物大要素モデル試験による強度評価	奥野澄生, 高井英夫, 平石夫	材料	2001.09.
				118	信頼性手法による溶接継手の脆性破壊発生に対する欠陥評価法	山本規雄, 村井亮介, 吉成仁	材料	2007.06.
				119	金属表面接着銅膜材の疲労損傷形態の特徴とその支配要因(膜材の変位場と樹脂接着層に	鳥居太始之, 清水憲一, 馬真	材料	2007
				120	厚鋼板の強度・じん性におよぼす変態域圧延法の効果	合田進, 渡辺国男, 橋本よし	鉄と鋼	1981

高温割れ	ラメラテア	拘束度	低温割れ	No.	和文標題	著者名	資料名	発行年月
			○	***121***	***溶接部の低温割れに関係する熱因子および硬度の推定式の検討***	寺崎俊夫	鉄と鋼	1981.12.
			○	***122***	***溶接継手部における低温割れの限界応力におよぼす硬度,水素濃度の影響***	寺崎俊夫, 佐藤邦彦	鉄と鋼	1982.01.
				123	高張力鋼板における点溶接継手疲労強度の改善	篠崎正利, 加藤俊之, 入江角	鉄と鋼	1982.07.
			○	***124***	***鋼溶接部の溶融亜鉛ぜい化割れにおよぼす硬さの影響***	菊田米男, 荒木孝雄, 米田玛	鉄と鋼	1986.1
			○	***125***	***カソード防食下における埋設鋼管の水素割れ感受性評価***	山口祐一郎, 野中英正, 山川	鉄と鋼	1992.1
				126	亜鉛めっき橋梁の溶融亜鉛めっきぜい化割れ発生に関する熱弾塑性解析	家沢徹, 金沢正午, 山下達成	鉄と鋼	1994.1
			○	***127***	***レ型開先多層溶接における折れ込み(フォールディング)発生機構の解明***	間淵秀里, 狩峰健一	鉄と鋼	1996
			○	***128***	***予熱低減型HT780鋼溶接部の再熱割れ感受性評価***	中村満, 堀江ひろし, 冨田和	鉄と鋼	1998.1
				129	寒冷環境下で溶接したSS400の溶着金属部の拡散性水素量	鎌田正巳, 田頭孝介, 橋本俊	高温学会誌	1993
			○	***130***	***低温環境下で溶接した低炭素鋼の割れ発生に及ぼす予・後熱処理の影響***	鎌田正巳, 田頭孝介, 橋本俊	高温学会誌	1994
			○	***131***	***低温環境下で連続2層盛溶接した高張力鋼の予熱の有無による割れ発生の検討***	鎌田正巳	高温学会誌	1995.1
				132	高温水中における炭素鋼のファンシェープト型応力腐食割れ感受性に関する研究 (第2報) 溶	阪口勝, 菊池靖志, 松田福久	高温学会誌	1996.1
				133	液化アンモニア中の溶接構造用鋼の応力腐食割れ	ます本弘き	圧力技術	1980.11.
	○			***134***	***耐ラメラテア鋼の特性とその評価方法***	稲垣道夫, 山戸一成, 井上尚	圧力技術	1981.1
○				***135***	***変動荷重下における溶接高温割れ発生・防止条件に関する研究***	井元泉	圧力技術	1991.1
				136	溶接部の信頼性と焼鈍についての考察	西尾安弘	圧力技術	1998.1
				137	鉄塔用高張力鋼鋼管の溶融亜鉛めっきぜい化割れに関する実験的検討	長野真康, 宮沢健博, 朝山昇	圧力技術	2000.09.
				138	圧縮予ひずみが590MPa級鋼の耐亜鉛めっき割れ性に及ぼす影響	長野真康, 宮沢健博, 三上康	圧力技術	2001.11.
				139	オースフォームドベイナイト技術を活用した多目的タンク用HT610厚鋼板の開発	川畑友弥, 弓野公久, 勝元弘	圧力技術	2002.11.
				140	590MPa級鋼管構造物の溶融亜鉛めっきぜい化割れに対する弾塑性熱応力解析に基づく予測	長野真康, 三上康朗, 宮沢俊	圧力技術	2003.01.
			○	***141***	***溶接割れへの欠陥関連樹解析法(FTA)適用の試み***	福田収一	日本機械学会論文集 A	1981
				142	疲労き裂伝ぱにおよぼす溶接残留応力の影響 き裂開閉口挙動に注目した実験的検討	福田収一, 堀川浩すけ, 渡秀	日本機械学会論文集 A	1981
			○	***143***	***溶接設計支援エキスパートシステムの開発 圧力容器における溶接割れ防止を考慮した溶接***	福田収一, 前田昭彦, 木村達	日本機械学会論文集 A	1986
				144	溶融亜鉛めっき時における送電鉄塔部材の熱弾塑性損傷解析	都井裕, LEE J-M	日本機械学会論文集 A	1999.04.
				145	WOL工法によって補修された管の塑性壊崩モーメント	LI Yinsheng, 長谷川邦夫, 渋	日本機械学会論文集 A	2009.04.
				146	重合メッシュ法を用いた溶接熱影響部におけるき裂進展解析	菊池正紀, 和田義孝, 清水真	日本機械学会論文集 A	2009.10.
			○	***147***	***PdおよびNi被覆したNbの水素吸収放出過程で生じた硬化と割れ***	だん武弘, 中村恵吉	日本金属学会誌	1982
				148	低温における780MPa級高張力鋼溶接各部の疲労き裂伝ぱ特性および疲労破壊じん性	佐藤清, 横堀武夫, 五十嵐寛	日本金属学会誌	1983.1
				149	フィラーを用いないニッケルとマグネシアの常圧接合	新谷光二, 黒川一哉, 長崎隆	日本金属学会誌	1986.1
			○	***150***	***解析解による溶接HAZ部の応力誘起水素拡散挙動解析と水素感受性評価***	横堀壽光, 大見敏仁, 櫛田隆	日本金属学会誌	2006
○				***151***	***片面自動溶接による突合せ溶接継手の終端割れ防止について***	辻勇, 山口喜久次, 小柳雅世	西部造船会会報	1985
	○			***152***	***新制御圧延鋼の疲労強度におよぼすセパレーション発生量の影響と評価***	勝田順一, 中島正樹, 出口明	西部造船会会報	1985.1
			○	***153***	***船体構造用TMCP鋼のHAZ割れに関する一考察***	山田桑太郎, 須沢良一, 村松	西部造船会会報	1987.1
				154	TMCP型降伏点40kgf/mm`2´級船体用高張力鋼板とその溶接・加工性	北田博重, 矢島浩, 野田俊介	西部造船会会報	1987.1
○				***155***	***鋼材の高温割れ感受性に関する一考察 Trans-Varestraint試験について***	辻勇	西部造船会会報	1988
				156	TMCP型低温用鋼板の現場工作に関する一考察	真谷捷郎, 多田益男, 川さき	西部造船会会報	1990.1
				157	界面要素を用いたFEMによる溶接高温割れに関する理論的研究 (第一報) 温度依存型界面要	柴原正和, 芹沢久, 村川英一	関西造船協会誌	1999.09.
				158	界面要素を用いたFEMによる溶接高温割れに関する理論的研究 第二報 温度依存型界面要	柴原正和, 芹沢久, 村川英一	関西造船協会誌	2000.03.
				159	界面要素を用いたFEMによる溶接高温割れに関する理論的研究 第三報 静的-動的混合解法	柴原正和, 芹沢久, 村川英一	関西造船協会論文集	2001.03.
				160	界面要素を用いたFEMによる溶接高温割れに関する理論的研究 第五報 板継溶接時におけ	柴原正和, DENG D, 芹沢久	関西造船協会論文集	2002.03.
				161	応力特異場問題へのp法有限要素法の適用	熊本秀喜, 吉川孝男, 山地成	関西造船協会論文集	2002.03.

高温割れ	ラメラテア	拘束度	低温割れ	No.	和文標題	著者名	資料名	発行年月
				162	多層溶接時に発生する延性低下割れのFEM解析	柴原正和, 曽根慎二, 西本和	関西造船協会論文集	2004.03.
	○			***163***	***鋼板のラメラテアとその対策***	笠松裕	日本造船学会誌	1981.1
			○	***164***	***溶融亜鉛中における鋼の液体金属ぜい化割れに関する研究***	菊池昌利, 家沢徹	日本造船学会論文集	1981.1
			○	***165***	***潜水船用高じん性高張力鋼の溶接割れ防止について***	今井保穂, 戸部陽一郎, 金谷	日本造船学会論文集	1984.1
				166	潜水船用高じん性高張力鋼の溶接施工について	今井保穂, 戸部陽一郎, 豊原	日本造船学会論文集	1985.1
			○	***167***	***連続多層溶接におけるルート割れ防止のための予熱温度選定手法***	井上好章, 矢島浩, 林田正,	日本造船学会論文集	1987.1
○				***168***	***突合せ溶接の初層ビードに発生する高温割れの生因に関する熱塑性学的研究***	辻勇	日本造船学会論文集	1987.1
				169	構造用鋼材のシャルピー衝撃特性に与える圧縮予ひずみおよび小入熱ビードの影響	橋本篤秀, 山田丈富, 三武弘	日本建築学会構造系論文集	1995
				170	建築用厚板HT750鋼板および溶接施工法の開発	山場良太, 萩原行人, 望月昭	日本建築学会構造系論文集	1995.1
				171	内部欠陥のある鋼板識別試験法の提案	橋本篤秀, 山田丈富	日本建築学会構造系論文集	1992.1
		○		***172***	***鋼構造物のすみ肉溶接継手の拘束度に関する研究***	井藤昭夫	北海道開発局開発土木研究所報告	1989.1
		○		***173***	***箱げたのすみ肉溶接部付近の拘束度に関する実験的研究***	吉田こう一, 北野初雄, 井藤	北海道開発局土木試験所月報	1986
		○		***174***	***円柱および型断面げたのすみ肉溶接継手の引張拘束度係数に関する実験的研究***	小玉茂, 吉田紘一, 井藤昭夫	北海道開発局土木試験所月報	1987.1
			○	***175***	***鋼の溶接熱影響部硬さの予測と必要予熱温度の選定方法***	糟谷正, 百合岡信孝, 奥村訓	新日鉄技報	1995
				176	2電極CO2片面溶接"NS-ワンサイドマグ"溶接について	木本勇 (日鐵溶接工業 研),	新日鉄技報	2006.10.
				177	耐サワーガス鋼管のHIC性能およびSSC性能,耐サワーガス鋼管の開発 I	平忠明, 東田幸四郎, 小林孝	日本鋼管技報	1980.1
				178	リグ用高張力UOE鋼管の性能	平忠明, 平林清照, う目和巧	日本鋼管技報	1981
				179	常中温用炭素鋼管の溶接部の特性	北田豊文, 赤尾一孝, 長縄祥	日本鋼管技報	1986
				180	ホイールリム用熱延高張力鋼板の開発	篠崎正利, 加藤俊之, 入江敏	川崎製鉄技報	1982.1
				181	制御冷却による船体構造用YP36kgf/mm`2´級高張力鋼板の材質特性	三宮好史, 西崎宏, 永井潤,	川崎製鉄技報	1985
○				***182***	***変動応力下の補修溶接棒KS-1000の開発***	佐藤功輝, 山口忠政, 西山昇	川崎製鉄技報	1987.1
				183	厚鋼板のT型すみ肉高能率サブマージアーク溶接技術	山口忠政, 林三郎 (川崎製鉄	川崎製鉄技報	1994
				184	予熱低減型HT980鋼板および溶接材料の特性と水圧鉄管への適用性	板倉教次, 安田功一, 青木邦	川崎製鉄技報	1998.1
				185	高速度帯状電極肉盛溶接法(HS法)	田中治, 竹馬一ひろ, 小川恒	R&D/神戸製鋼技報	1985.1
				186	低温用鋼用溶接材料のじん性挙動とその適用法	和田俊 (神戸製鋼所溶接棒	R&D/神戸製鋼技報	1985.1
				187	ボックス柱角継手部の高能率サブマージアーク溶接	長谷薫 (神戸製鋼所)	R&D/神戸製鋼技報	1990
				188	加速冷却型490N/mm`2´級建築用鋼板の製造技術	高嶋修嗣 (神戸製鋼所)	R&D/神戸製鋼技報	1991.1
				189	建築構造用780MPa級鋼板	畑野等, 川野晴弥, 岡野重放	R&D/神戸製鋼技報	2004.08.
				190	高r値焼付硬化型冷延鋼板の製造とその乗用車外装パネルへの適用	岡本あつ樹, 林豊 (住友金属	住友金属	1981.1
				191	ラップ格点の疲労強度	坂本傑, 大竹章夫, 飯田仲男	住友金属	1983.1
				192	溶接部COD試験におけるPop-in現象とその安全性評価法に関する研究	有持和茂, 井坂和実 (住友金	住友金属	1987.1
				193	ボイラドラム用高強度鋼の溶接に関する研究	石津康二, 馬木秀雄 (石川島	石川島播磨技報	1981.1
			○	***194***	***高張力鋼溶接割れのひずみによる評価 ひずみ集中形多層溶接割れ試験***	深川宗光, 河野武亮, 豊増潤	石川島播磨技報	1982
				195	管の溶接残留応力の簡便な計算方法	梅本忠宏, 田中伸治 (石川島	石川島播磨技報	1983.1
○				***196***	***供用中の補修溶接施工に関する研究 I 変動応力下の溶接割れ試験***	酒井啓一, 村山武弘, 浅井英	石川島播磨技報	1985.1
○				***197***	***供用中の補修溶接施工に関する研究 II 変動応力下の補修溶接棒の開発***	中西保正, 中村義隆, 酒井啓	石川島播磨技報	1987.1
				198	配管コンポーネント外面残留応力改善による応力腐食割れ対策	田中保博, 梅本忠宏 (石川島	石川島播磨技報	1988.1
○				***199***	***供用下にある鋼橋の溶接可否判定法***	井元泉 (石川島播磨重工業	石川島播磨技報	1991
				200	圧力容器用5Cr-1/2Mo鋼厚板材の鋼板特性および溶接性	自見義秋, 栗生弘美, 小林俊	川崎重工技報	1981
				201	中間負荷火力発電ボイラ高圧分離タンク用材料の溶接性および強度に関する研究	渡辺徹児, 新井たか之 (川崎	川崎重工技報	1982.1
				202	平底円筒タンクにおける側板 アニュラープレートすみ肉溶接部の曲げおよび疲労強度	池正文 (川崎重工業エネル	川崎重工技報	1982.1

高温割れ	ラメラテア	拘束度	低温割れ	No.	和文標題	著者名	資料名	発行年月
				203	LNG船体用厚板新制御圧延鋼材の溶接工作法の研究	中村昭和, 金谷文善, 松村祥	川崎重工技報	1983.1
				204	大型円筒タング溶接継手のステージ別分割焼鈍の施工	森田哲夫, 黒瀬大三郎, 佐木	川崎重工技報	1985
				205	60キロ級高張力鋼の硫化物応力腐食割れ防止に関する研究 表面軟化クラッドHT60鋼のLPG	図師純明, 大杉章生, 服部英	川崎重工技報	1990
				206	厚肉鋼板を用いた柱部材における溶接設計の合理化に関する研究	江上武史, 大西悦郎, 水上義	川崎重工技報	1998.1
				207	新温度制御圧延材の溶接特性について	大西たけし, 大岡孝幸, 吉識	三井造船技報	1982.10.
				208	原子力 蒸気発生器取替え工事における技術開発と適用	森田正彦, 半沢克巳, 佐藤姉	三菱重工技報	1995.1
				209	船舶・海洋 多目的LPG船のタンク材料と信頼性	多田益男, 斉藤正洋 (三菱重	三菱重工技報	1997.1
				210	制御圧延36キロ降伏点鋼の実船適用対策の検討	宮崎達雄 (日立造船有明工	日立造船技報	1984.1
	○			***211***	***かど継手部のラメラテアおよびルート割れ発生・伝ぱ挙動***	西村岩夫, 飯山英明, 千葉尚	クリモト技報	1982
				212	HT780鋼の建築構造部材への適用研究 その2 鋼材の開発	山場良太 (新日本製鉄), 田	巴コーポレーション技報	1994
				213	部分溶込み溶接継手の力学的性能に関する実験的研究	深沢隆, 石田交広, 田沼良一	巴コーポレーション技報	1996
				214	鋼構造物の溶融亜鉛ぜい化と旧オーステナイト粒界へのZnの侵入挙動	金谷研 (巴組コーポレーショ	巴コーポレーション技報	1997
				215	プラント設備の長寿命化への取り組み	炭矢芳男, 安西敏雄 (高田工	高田技報	2003.04.
				216	吊金具型フランジアタッチメント取付け部の一定振幅疲労実験 道路橋フランジアタッチメント取	米本栄一 (片山ストラテック	片山技報	1998.1
				217	建築構造用高性能鋼590N級(SA440)の溶接継手性能試験	沼田俊之, 藤平正一郎 (片山	片山技報	2003
				218	570N級海浜海岸耐候性鋼の溶接継手性能試験	上野康雄, 藤平正一郎 (片山	片山技報	2003
				219	1000N級鋼(950N/mm`2´鋼)の建築構造物への適用性について-その3 母材性能と溶接継手	沼田俊之, 橋田知幸, 藤平正	片山技報	2007.11.
○				***220***	***供用下における鋼橋の溶接による補修補強に関する研究***	上野康雄, 藤平正一郎 (片山	片山技報	2007.11.
○				***221***	***供用下における鋼橋の溶接による補修補強に関する研究(その2)***	上野康雄, 藤平正一郎 (片山	片山技報	2008.11.
○				***222***	***供用下における鋼橋の溶接による補修補強に関する研究(その3)***	上野康雄, 藤平正一郎 (片山	片山技報	2009.11.
				223	橋梁用高性能鋼材の加工性・溶接性について	藤田敏明, 湯田誠 (川田工業	川田技報	2006.01.
			○	***224***	***ヒール・クラックおよび予熱規定の一考察***	田中雅人 (東京鉄骨橋梁)	東京鉄骨橋梁技術報	1998.1
				225	レ形開先エレクトロスラグ溶接の検討	山田浩二, 田中雅人 (東京鉄	東京鉄骨橋梁技術報	2004.04.
				226	780N/mm`2´級高張力鋼の溶接性試験 (第3報) 1%Cu系予熱低減型HT780鋼の検討	田中雅人 (東京鉄骨橋梁製	東京鉄骨橋梁技術報	1994.1
				227	現場柱部分溶込み溶接継手の溶接施工性に関する実験	中村賢造, 小林正明 (東京鉄	東京鉄骨橋梁技術報	1997.1
				228	予熱低減型高張力鋼の溶接施工試験 Cu析出型予熱低減HT780鋼の溶接施工試験	江端末春, 毛利良介 (日本橋	日本橋梁技報	1994
				229	鉄骨ボックス柱角溶接法の技術進歩の歴史と現在の高能率溶接施工法	玉井尚治 (横河ブリッジ)	横河ブリッジグループ技報	1994
				230	鉄骨部材の溶融亜鉛めっき割れに関する検討	小山明久, 青木大輔, 岩崎邦	横河ブリッジグループ技報	2003.01.
				231	門型標識柱基部構造の改良について	宮脇潔, 時譲太 (阪神高速道	阪神高速道路公団技報	2001
				232	阪神・淡路大震災の被災鉄骨を用いた鉄骨柱梁接合部の動的載荷実験 破断状況の再現と補	杉本浩一, 高橋泰彦 (大林組	大林組技術研究所報	1996.1
				233	すみ肉溶接継手の残留応力	中野修, 小玉茂, 井藤昭夫 (	開発土木研究所月報	1990
				234	完全溶込み溶接部への異形歯付き裏当て金使用の検討	湯田誠, 梅沢宣雄 (川田工業	月刊鉄構技術	1999.10.
				235	電気炉H形鋼の鋼材特性と溶接性について 第2報	護雅典 (竹中工務店), 小島	月刊鉄構技術	2003
				236	建築鉄骨における25度レ形開先に関する実験研究	森田耕次 (全国鐵構工業協	月刊鉄構技術	2006.06.
				237	狭開先溶接技術に関する実験的研究	波川智明, 一宮清孝, 長澤二	月刊鉄構技術	2008.02.
				238	500N/mm`2´級TMCP鋼のPWHT特性 PWHT条件緩和の検討 (日本鉄鋼協会S)	日本圧力容器研究会議	500N/mm2級TMCP鋼のPWHT特性 PWHT条件緩和の検討 平成2年	1990
				239	原子炉容器上蓋管台部の1次冷却材漏洩経路等調査	福村卓也, 戸塚信夫 (原子力	INSS J	2008.1
				240	配管溶接継手の残留応力解析における反復サブストラクチャー法の適用による高速化	前川晃 (原子力安全システ	INSS J	2010.1
				241	溶接部のき裂進展特性	木本宏信, 遠山敬助, 真柄秀	PK技報	1999
				242	溶接ルート部の疲労き裂進展解析 第2報	佐藤弘幸, 内山広, 真柄秀一	PK技報	2000.01.
				243	赤外線による構成部材表面の監視と欠陥の検出	岡本芳三, 神永文人, 刑部真	UTNL-R(東京大学大学院工学系研究科附属原子力工学研究施設)	1989

高温ラメ割れ	ラデ	拘束度	低温割れ	No.	和文標題	著者名	資料名	発行年月
				244	チタン材のティグ溶接品質に及ぼすシールドガス流量の影響(独)産業技術総合研究所との共	葛西省五 (クロセ), 大谷忠幸	チタン	2007.07.
				245	T継手を有する溶接鋼板の溶融亜鉛浸漬試験中における熱ひずみと温度変化	宮本裕, 岩崎正二, 青田宗之	デンロ技報	2002.07.
				246	溶接鋼平板の急激な温度変化による熱伝導解析と熱応力分布	宮本裕, 岩崎正二, 出戸秀明	デンロ技報	2004.07.
				247	溶融亜鉛めっき割れに関する解析	宮本裕, 岩崎正二, 出戸秀明	デンロ技報	2007.07.
				248	最適化手法を用いた鋼構造物の溶融亜鉛めっき中のめっき割れおよび熱ひずみのメカニズム	岩崎正二, 出戸秀明 (岩手大	デンロ技報	2009.07.
				249	最適化手法を用いた鋼構造物の溶融亜鉛めっき中のめっき割れおよび熱ひずみのメカニズム	宮本裕, 岩崎正二, 出戸秀明	デンロ技報	2010.01.
				250	最適化手法を用いた鋼構造物の溶融亜鉛めっき中のめっき割れおよび熱ひずみのメカニズム	岩崎正二, 出戸秀明 (岩手大	デンロ技報	2010.07.
				251	海底シールドトンネルの地中接合 東京湾横断道路	山田憲夫, 増田隆 (東京湾横	トンネルと地下	1997
				252	ボイラーの腐食 最近の防食技術の動向 ボイラーの防食材料,防食設計の現状	大曽根隆 (バブ日立エンジニ	ボイラ研究	1994.1
				253	溶接構造物の高品質化−溶接初期溶込み改善−	安田克彦 (安田技術士事務	ボイラ研究	2010.10.
				254	寿命予測・評価技術 鉄道車両用台車部品の強度評価	石塚弘道 (鉄道総合技術研	マテリアルライフ	1999.07.
				255	常陽MK-III用下部端栓溶接部欠陥発生調査報告書 インクルージョン発生に関する調査報告	梶山登司, 沼田和明, 大谷謙	核燃料サイクル開発機構公開資料	2000
				256	原子力ベローズバルブの耐食性向上に関する研究	村田瑛二, 伊藤彦二, 牧信男	関西電力株式会社総研報告	1991
				257	既設鋼道路橋の疲労抵抗度診断とレトロフィッティング技術の開発に関する研究 平成13-15年	三木千寿 (東京工大 大学院	[illegible]	2004
				258	日本原子力発電(株)敦賀発電所1号機の手動停止の原因と対策について (科学技術庁原子力	資源エネルギー庁	原子力安全委員会月報	1997
				259	テーラードブランクのプレスシミュレーション	安部重毅, 森下勇樹, 坂元康	広島県立西部工業技術センター研究報告	2001.09.
				260	無補強角形鋼管柱・H形鋼はり接合部の降伏耐力に関する研究	高松隆夫, 松尾彰 (広島工大	広島工業大学研究紀要	1999
				261	大型構造物を対象とした低歪み溶接技術の開発 第1報	南典明, 本川高男 (高知県工	高知県工業技術センター研究報告	2001.12.
				262	大型構造物を対象とした低歪み溶接技術の開発 (第2報)	南典明, 本川高男 (高知県工	高知県工業技術センター研究報告	2002.12.
				263	高張力鋼の海洋環境強度の総合的評価に関する研究	駒井謙治郎 (京大 工)	[illegible]	1986
				264	沸騰硝酸中におけるジルコニウムの疲労き裂進展挙動	本岡隆文, 木内清 (原研 東	材料と環境	1999.05.
				265	ナノインデンテーション 銅板の圧接難易の方向性	牧清二郎 (豊橋技科大), 近	材料試験技術	2002.01.
				266	中,高炭素鋼の溶接HAZにおける冷間割れの研究 インブラント試験の限界応力におよぼす水	阪口勝, 山本俊二 (産業技術	産業技術短期大学誌	1992
				267	湿式水中アーク溶接における高張力鋼の水素割れについて	榊原実雄, 松岡敏 (四国工技	四国工業技術試験所報告	1980.1
				268	坑井内同軸熱交換方式用断熱内管の開発 (第2報) 管構成材料と溶接方法の検討 (I)	盛田耕二 (公害資源研)	資源(工業技術院資源環境技術総合研究所)	1989.1
				269	坑井内同軸熱交換方式用断熱内管の開発 (第3報) 管構成材料と溶接方法の検討 (II)	盛田耕二 (公害資源研)	資源(工業技術院資源環境技術総合研究所)	1990
				270	BMX車フレームの材料と接合部の調査 II	稲田映二, 近藤俊郎, 浜崎俊	自転車技術情報	1983.12.
				271	国際溶接学会(I.I.W.)第54回リュブリャーナ(スロベニア)大会におけるXI委員会(7月8日−7月13日	武見健二 (インターテック・テ	実務展望	2002.11.
				272	実用構造用鋼の金属組織と破壊特性 5.実用鋼の組織と破壊に関する最近の研究 5.3 高強	藤原知哉, 岡口秀治 (住友金	[illegible]	2009
				273	車関連デバイス技術 車載用チップ部品のはんだ接合部における高温劣化挙動の解明と寿命	豊田陵子, 牧野篤 (松下電工	松下電工技報	2001.05.
				274	日本海中部地震による危険物施設の挙動に関する調査報告書	座間信作, 吉原浩, 亀井浅道	消防研究所技術資料	1984
				275	溶接棒の吸湿と拡散性水素量の影響 水中溶接の場合	山崎直樹, 福井進治, 西川治	神戸商船大学紀要 第2類 商船・理工学編	1981.1
				276	水蒸気改質炉反応管のクリープ損傷とその対策	木原重光, 大友暁, 篠崎幸夫	石油学会誌	1981
		○		***277***	***多重溶接熱サイクルを受けた鋼熱影響部の低温割れ感受性の検討***	西川和美, 小林卓也, 植松邦	船舶技術研究所報告	1987.1
				278	揺動成形を用いたトラック・バス用大型ホイールディスクにおける成形条件の決定と円環肉厚分	海老原治, 好井健司 (トピー	塑性と加工	2001.04.
		○		***279***	***鋼の溶接硬化性および低温割れ感受性を評価する炭素当量***	百合岡信孝, 大下滋, 斉藤昭	製鉄研究	1982
				280	海洋構造物格点部の脆性破壊強度評価	萩原行人, 佐藤光雄, 井上俊	製鉄研究	1988.1
				281	曲げ加工を受けた鋼材の溶接熱による特性	坪井善勝, 有安久, 安藤儀一	足利工業大学研究集録	1981
				282	広幅平鋼(電炉材)の機械的性質について II	有安久, 安藤儀一 (足利工大	足利工業大学研究集録	1985
				283	NEWフラット,NEWプレートの材質特性について	新貝博, 須藤弘 (中山製鋼所	中山製鋼技報	1987.1
				284	開先付H形鋼の開発	樋口美貴雄, 梅原悟, 角野康	中山製鋼技報	1993.1

高温ラメ割れ	ラデ	拘束度	低温割れ	No.	和文標題	著者名	資料名	発行年月
				285	水中溶接部の割れに及ぼす板厚の影響	長谷川正義 (中部大 工)	中部大学工学部紀要	1986.1
				286	溶接ボンド部に欠陥を有する継手のJ積分解析	林健治 (長岡技科大), 松本	長岡技術科学大学研究報告	1987.1
				287	多層すみ肉溶接継手の残留応力について	佐藤進 (長崎総科大)	長崎総合科学大学紀要	1980.1
				288	強度の不均一を有する溶接部におけるき裂開口挙動の支配パラメータについて	佐藤進, 藤原康紀 (長崎総科	長崎総合科学大学紀要	1988.1
				289	集合住宅における非構造壁のALC化に関する研究 その2 無溶接工法と従来工法の変形追	平田延明, 中岡章郎 (長谷工	長谷工技報	2009.02.
				290	水中溶接とそれにともなう溶接割れに関する研究	向井喜彦, 藤原敏, 喜田裕 (	津山工業高等専門学校紀要	1981.10.
				291	摩擦圧接継手のシャルピー衝撃特性におよぼす圧接方式の影響について	森本富雄 (鉄鋼短大), 小川	鉄鋼大学誌	1986
				292	送電用鋼管鉄塔の溶融亜鉛めっき割れ防止に関する検討	本郷栄次郎, 漆原秀雄 (東京	鉄塔	1994.1
				293	送電鉄塔用690N/mm`2`高張力山形鋼の実用化研究	本郷栄次郎, 三上康朗 (東京	電気評論	2001.05.
				294	500kW級超大電力固体化中波送信機の開発	山添雅彦, 生岩量久, 溝上修	電子情報通信学会技術研究報告	1999.05.
				295	水リーク事故発生頻度に着目したFBR用二重管SGの信頼性	植田伸幸, 木下泉, 西義久 (	電力中央研究所狛江研究所報告	2000.1
				296	スポット溶接継手部の疲労き裂伝ぱ特性 破壊力学の適用への試み	黒崎茂 (東京工高専), 福田	東京工業高等専門学校研究報告書	1983.1
				297	隅内溶接継手部のせん断応力設計疲労曲線の検討	館石和雄, 三木千寿, 森猛 (	東京工業大学土木工学科研究報告	1990.1
				298	炉内水中遠隔操作ビークル	湯口康弘, 木村元比古 (東芝	東芝レビュー	2002.08.
				299	沸騰水型原子炉配管系における応力腐食割れ損傷データの確率統計的性質	明石正恒 (アイテック)	統計数理研究所共同研究リポート	2005
				300	人工海水中での腐食疲労き裂成長の自動計測システムの開発と高張力鋼溶接材への適用	村上理一 (徳島大 工), 山崎	徳島大学工学部研究報告	1990
				301	溶接及び高力ボルトによる接合技術の向上に関する研究 第2報	高田昇, 末吉一方 (栃木県工	栃木県工業試験研究機関研究集録	1996.1
				302	突合せ溶接継手の欠陥防止に関する研究	高田昇, 柏崎親彦, 大嶋剛 (	栃木県工業試験研究機関研究集録	1998.1
				303	TMCP型降伏点40キロ級高張力鋼の船体構造への適用	北田博重, 池上潔, 高橋直樹	日本海事協会会誌	1988
				304	溶接継手部材のSCC感受性評価における残留応力	竹本幹男 (青山学院大理工	防食技術	1981
				305	MAG溶接における融合不良,溶込み不良の発生要因	鵜飼隆好, 高田寿明 (北大	北海道大学工学部研究報告	1993.1
				306	蒸気タービンケーシングの溶接補修による寿命延伸技術に関する研究	長谷川聡, 山口修司 (北海道	北海道電力株式会社総合研究所研究年報(Web)	2009.1
				307	地震動の不確かさを考慮した経年配管の構造信頼性評価手法の開発	杉野英治, 伊藤裕人, 鬼沢邦	日本原子力学会和文論文誌	2005.12.
				308	オーバーパックの長期耐食性に関する調査	立川博一, 川久保文恵, 清水	日本原子力研究開発機構JAEA-Research	2006.1
				309	JRR-4反射体要素黒鉛反射材の照射成長に関する調査	八木理公, 堀口洋徳, 横尾健	日本原子力研究開発機構JAEA-Technology	2008.1
				310	JRR-4反射体要素割れの原因調査報告書	日本原子力研究開発機構	日本原子力研究開発機構JAEA-Technology	2008.1
				311	IASCC試験用キャプセルの組立てのための溶接技術の開発	柴田晃, 川又一夫, 田口剛俊	日本原子力研究開発機構JAEA-Technology	2008
				312	確率論的破壊力学解析コードPASCAL-SC及びPASCAL-EQの使用手引き	伊藤裕人, 鬼沢邦雄, 柴田勝	日本原子力研究所JAERI-Data/Code	2005.1
				313	核燃料再処理環境中におけるジルコニウムの応力腐食割れに関する研究	加藤千明 (原研 東海研)	日本原子力研究所JAERI-Research	2003.1
				314	沸騰硝酸溶液中におけるジルコニウム溶接継手の疲労き裂進展挙動(熱影響部の評価)	本岡隆文, 木内清 (原研 東	日本原子力研究所JAERI-Research	1999
				315	軽水炉用炉内構造材の高経年化損傷評価の高度化に関する研究	塚田隆 (原研 東海研)	日本原子力研究所JAERI-Review	2004
				316	HTTR水素製造システム実規模単一反応管試験装置 触媒粉塵用フィルタノズル部損傷の原因	森崎徳浩, 林光二, 稲垣嘉之	日本原子力研究所JAERI-Tech	2005
				317	福島第二原子力発電所2号機シュラウドサンプル(2F2-H3)に関する調査報告書(受託研究)	原研	日本原子力研究所JAERI-Tech	2004
				318	カソード防食下における埋設鋼管の水素割れ感受性評価	山口祐一郎, 野中英正 (大阪	日本材料学会腐食防食部門委員会資料	1992
				319	応力腐食割れ損傷とピーニングを利用した補修例	石田敏夫 (木村化工機)	日本材料学会腐食防食部門委員会資料	2004.03.
				320	溶接構造物における溶接欠陥と破損に関する観察	伊東ご郎 (国産機工)	燃料及燃焼	1982.1
				321	狭開先を用いた圧力容器の溶接法	古田庄五, 永井明, 大野八良	配管技術	1982.1
				322	溶接工技量検定試験結果の解析について 昭和54,55年度	定池幹夫, 高岡清彦, 松山治	福井県工業試験場年報	1981.1
				323	TIG溶接部の冷却特性に関する研究 3 鋼溶接部の冷却特性に及ぼす溶接入熱量,板厚及び	下山仁一 (福井工大)	福井工業大学研究紀要	1999.03.
				324	溶接構造用鋼溶接部の硬化性	下山仁一 (福井工大)	福井工業大学研究紀要	1994
				325	モリブデンと銅の拡散接合部の強度評価に関する研究	中村憲和 (福岡県工技セ),	福岡県工業技術センター研究報告	1994.1

6-5. 溶接施工技術基準

6-5-1. 道路橋

（3）電弧熔接鋼道路橋設計及び製作示方書案解説[3] S15

第三章　施　　工

清　　掃　第三十二條　熔接スヘキ材片ノ緣部ハ設計所定ノ形狀ニ入念ニ仕上ケ　且材片ノ表面ハ清潔ニシテ異物、錆、黑皮、塗料及瓦斯切斷ノ使用ニ因ル熔滓等ヲ存スヘカラス

手動瓦斯切斷ハ之ヲ禁ス

寸法ノ嚴守　第三十三條　熔接ノ施工ニハ設計圖ニ示サレタル寸法ヲ守リ指示寸法以上ノ熔接ハ監督員ノ許可ナキ限リ之ヲ行フヘカラス

材片ノ組合セ　第三十四條　熔接スヘキ材片ハ熔接ニ先チ適當ナル方法ニ依リ正確ニ組合セヲ行フヘシ

必要アル場合ニハ上向熔接ヲ避クル爲廻轉型枠等ノ裝置ヲ使用スヘシ

電極棒ノ直徑　第三十五條　應力ヲ傳達スヘキ熔接ニ使用スル電極棒ノ直徑ハ4 *mm* 又ハ6 *mm* ヲ標準トス

電極棒ハ十分乾燥セルモノタルヘシ

各層ノ施工　第三十六條　各層ノ表面ハ次層ノ施工ニ先チ槌打又ハ金**ブラシ**ニテ熔滓類ヲ入念ニ除去スヘシ　中斷セル熔接ヲ續行スル場合又ハ二熔接部ヲ接合スル場合ニモ同樣ノ注意ヲ拂フヘシ

熔接セラルル部分ハ熔接ニ先チ濕氣ヲ存セサル樣注意スヘシ

缺　　點　第三十七條　熔接ニハ氣泡、熔滓ノ包有、切込、間隙其ノ他ノ缺點ヲ生セサル樣注意スヘシ

歪　第三十八條　熱影響ニ因ル歪ヲ最小ナラシムル樣考慮スヘシ

熔接各部ノ施工順序ニハ十分ノ注意ヲ拂フヘシ

歪著シキ部材ハ取換ヲ命スルコトアルヘシ

補　強　盛　第三十九條　特ニ指定セル場合ヲ除クノ外應力ヲ傳達スヘキ熔接部ノ表面ニハ補強盛ヲ爲スヘシ　但シ補強盛ハ喉厚ノ15%ヲ超過スルコトヲ得ス

*V*型衝合熔接ノ底部ニ接シ背面裏附ヲ爲スヘシ　但シ裏附困難ナル箇所ニ在リテハ底部ノ熔接ニ特別ノ注意ヲ拂フヘシ

作業場　第四十條　熔接作業ハ雨、雪及風等ヲ避ケテ施工スヘシ

作業所ノ溫度カ零下5°C以下ニ達セル場合ハ作業ノ中止ヲ命スルコトアルヘシ

熔接工手　第四十一條　製作請負人ハ施工ニ先チ工事ニ從事スヘキ熔接工手ノ名簿ヲ監督員ニ提出スヘシ

熔接工手ハ第四十七條ニ規定スル檢定ニ合格シタルモノタルヘシ

熔接工手ニシテ監督員カ其ノ技能ニ疑アリト認メタル場合ハ再檢定ヲ要求スルコトヲ得

電力測定器　第四十二條　製作請負人ハ各熔接工ノ熔接回路ニ於ケル電流及電壓ヲ確メ得ル測定器ヲ備フヘシ

第四章　檢　　查

塗　　工　第四十三條　製品ハ檢查前ニ於テ塗料ヲ施スヘカラス

但シ已ムル得サル場合ハ亞麻仁油ノ塗工ヲ許可スルコトアルヘシ

削取リ檢查　第四十四條　監督員ハ必要ニ應シ熔接部ヲ削取リ檢查スルコトヲ得

發　　送　第四十五條　工場ニ於テ熔接セル部材ハ檢查終了後ニアラサレハ發送スヘカラス

棄　　却　第四十六條　工場發送後其ノ缺點又ハ損傷ヲ發見セラレタル材片又ハ熔接ハ請負人ノ負擔ニ依リ取換又ハ改作ヲ爲スヘキモノトス

第五章　熔接工手

熔接工手　第四十七條　熔接工手ハ內務省土木試驗所ノ定ムル熔接工檢定試驗ニ合格シタル者タルヲ要ス

第六章　雜　　則

第四十八條　特別ノ事由アル場合ニ限リ前各條ノ規定ニ依ラサルコトヲ得

3章 施　　工

1節 一　　般

一　　般 42条

溶接は正確でていねいに行い，溶接による収縮応力，ひずみなどをなるべく少くするようにしなければならない。

溶接の寸法は設計図のとおりとしなければならない。

〔解説〕

溶接の施工に関する一般原則を示したものである。

溶接構造は，施工の方法溶接の良否が橋の強度に直接大きな影響をもつものであって，不良な溶接のために予想外の大事故を招いた例も少くない。したがって，事前に溶接方法その他を考慮して設計することが大切であるが，いかに優秀な設計であっても，施工が悪ければ決定的な欠陥を残すことになるので，施工は特に慎重に行わなければならない。このためには工事に従事する技術者および作業員が責任観念と研究心をもつて，すみずみまで細心の注意を払って施工することが大切である。

溶接では，10条の解説にも述べたように，溶接部の冷却，収縮および母材ならびに既に固まった溶接部による拘束のために溶接部に収縮応力を生ずる。収縮応力のうち，ある部分は溶接作業の進行に伴って減少するが，一部は溶接後まで残留応力として残る。また鋼材は溶接中の膨脹，収縮によって変形する。この変形のことを一般に溶接ひずみと呼んでいる。

ひずみと収縮応力は相互に密接な関係をもち，ひずみを小さくしようとすると収縮応力が大きくなる傾向があるが，特に溶接線に直角方向の収縮ひずみを小さくしようとしてこの方向に対して大きな拘束を与えると，致命的な欠陥を残すことになる。いずれにしても，収縮応力とひずみは溶接条件や溶接方法によって大きな差があるから，これらをなるべく少くするように努力しなければならない。しかし，いかに優秀な施工を行っても，ある程度のひずみ特に寸法の縮まりは避けることができない。したがって，仕上りの諸寸法が正しく設計図に一致するように，あらかじめ考慮しておく必要がある。

溶接の寸法は設計図の通りとしなければならない。設計に示された溶接継手の長さは，19条に規定した有効長であるから，施工に当って注意しなければならない。寸法の不足は強度の不足を招くので確に慎まなければならない。また，寸法の過大なものはいたずらに悪影響を大きくするから好ましくない。

溶接順序　43条

> 溶接の順序は，溶接前に監督者の承認を受けなければならない。
> 溶接交さ部の溶接順序については，特別の考慮をしなければならない。

〔解説〕

収縮応力や溶接ひずみを少くするためには，溶接の順序がきわめて重要な事項である。そこで，特に溶接に着手する前に，施工の順序について監督者の承認を受けなければならないことにした。

溶接の順序に関する基本的な考え方としては次のような点をあげることができる。

1) 溶接後の収縮ひずみをなるべく少くするとともに，収縮に対して大きな拘束を与えないようにすること。
2) 一つの継手はできるだけ同じ日のうちに溶接を完了し，中途半端な溶接をしないこと。
3) 常に溶接熱の分布が均等になるように心がけ，一時に一箇所に多量の熱を集中しないようにすること。
4) 先の溶接によるひずみを次の溶接で打ち消すようなくふうをすること。
5) 二つの平行な溶接は，溶接の方向を常に同じ方向に保つこと。

プレートガーダーの現場継手のように，交さ部の溶接を同時に施工する場合には，溶接の種類，収縮などによる収縮ひずみ量の相異，溶接熱の影響およびさとから行う溶接に対する拘束など注意しなければならない事項が多いので，溶接交さ部の溶接順序については，特に慎重な考慮を払わなければならない。

溶接姿勢　44条

> 溶接は，回転わくなどの適当な治具を使用して，なるべく下向で行わなければならない。

〔解説〕

溶接部が十分な強度をもつようにするためには，溶接工がなるべく自然な姿勢で溶接作業を行えるようにするとともに，溶融金属の移行が理想的に行われ，収縮ひずみも少く，でき上りの形状も正確なものが得られるようにしなければならない。このためには，回転わくなどの適当な治具を使用して，すべての溶接がなるべく下向で行えるようにしなければならない（11条参照）。

立向，上向，横向などは溶接姿勢が不自然なばかりでなく，溶融金属の移行も円滑に行われにくく，スラグのまき込みなど溶接部の強度に悪影響を及ぼす結果となる。こうした溶接姿勢による欠点は，溶接棒の選定によってある程度は補うことができるが，その効果は下向溶接には遠く及ばない。

主ゲタの現場溶接　45 条

主ゲタの現場継手の溶接は，なるべく回転わくを使用し，一継手の溶接を完了するまで継続して行うのを原則とする。

〔解説〕

プレートガーダーの主ゲタの継手の溶接を現場で行う場合の基本的な事項を示したものである。

現場で溶接を行う場合には，よほど注意しても作業用設備が不完全になりやすく，また作業の管理も十分でない場合が多い。特に電源が遠く，溶接機の二次導線が長い場合には，電圧降下による影響をうけることになる。また，一般に作業足場などの関係で無理な溶接姿勢で溶接を行いがちであり，気象条件などのために悪影響をうけることにもなりがちである。したがって，原則的にはなるべく現場溶接を避けて工場溶接によるのがよいが，運搬の制約などで現場溶接によらなければならないことがある。この場合には，44 条で述べているように，回転わくを使用して溶接が下向で行えるようにし，一継手の溶接をできるだけ同じ条件で継続して行い，完了するようにしなければならない。やむをえず 2 回に分けて溶接を行う場合には，予熱などの方法によって溶接中断前と同じ条件を確保するように努め，また溶接後の急冷却を避けるようにするなどの慎重な考慮が必要である。

補 強 盛 り　46 条

補強盛りはのど厚の 15%　または 3 mm 以下とする。

表面仕上げを要求される継手では，10% ないし 15% の補強盛りを行った後平滑に仕上げるものとする。この際削り過ぎないように特に注意しなければならない。

〔解説〕

補強盛りの目的は，溶接を受けた表面のあらい組織組織を，さらに溶接を重ねる事によって一種の焼鈍効果を与えて，微細な結晶組織にしようとするものである。しかし，補強盛りがあまり大きいと母材に過度の熱影響を与え，また応力集中の原因ともなるので好ましくない。そこで一般に補強盛りの大きさは，のど厚の 15% または 3 mm 以下とすることにした。

プレートガーダーのフランジプレートや腹板を突合せ溶接で接合する場合には，表面を平滑に仕上げておかないと，この部分で断面が急変することになり，応力集中を生ずる。このためには、補強盛りは、原則として必要とするが、一般的には、10% ないし 15% の補強盛りを行った後に，表面を平滑に仕上げることが必要である。ただしこの際に，平滑を強調するのあまり削り過ぎて板厚より凹んだ仕上げを行うと，溶接部の有効断面積が母材よりも小さくなるので特に注意しなければならない。

すみ肉溶接における補強盛りの形状は，使用する溶接棒や溶接姿勢によって多少異なるが，一般に図－18・1 に示す通りである。

2 節　溶接作業員および溶接器材

製作技術者　47 条

製作技術者は橋の構造に十分な知識を持ち，溶接橋の製作に経験がある者でなければならない。

〔解説〕

製作技術者は，工場または工事現場に常駐して直接溶接工事を指揮監督し，工程どおり円滑に工事を進め，欠陥のないものを作るように努力する責任をもつ。特に溶接橋の場合には，工事全般のできばえが溶接工の能力に左右される割合が大きいので，溶接工を正しく指導し，能力を最大に発揮できるようにしなければならない。また特別な変更の必要が生じた場合には，直ちに監督者に申し出て，正しい処置をすみやかになしうるようにしなければならない。このためには，十分な溶接工事の実務経験と鋼橋に関する知識を持つ者を製作技術者として選ばなければならない。

溶　接　工　48 条

溶接工は JIS Z 3801 溶接技術検定における試験方法ならびにその判定基準に定められた技術検定試験 2 種の 2 級以上（またはこれと同等以上の検定試験）に合格した者でなければならない。

溶接工は 6 箇月以上溶接工事に従事し，工事前 2 箇月以上，引き続きその工場において溶接工事に従事した者でなければならない。

請負者はその工事に従事する溶接工の名簿を提出し，監督者の承認を受けなければならない。

〔解説〕

47 条でも述べたように，溶接では溶接工の能力が工事全般のできばえに支配的な影響をもつものであるから，特に 1 条設けて，溶接工として必要な事項について規定したものである。

溶接工として必要な資格は，日本工業規格で定めたアーク溶接の技術検定試験 2 種の 2 級以上（またはこれと同等以上の検定試験）に合格した者でなければならないことは，本文で述べているとおりである。

同じ溶接器材を用いても，電流の強弱や，溶接工の運棒の方法によって，溶接部に生ずる欠陥の程度は異なるものであり，また溶接順序の可否によって，溶接後の収縮応力やひずみの程度もかなり異なるものである。したがって溶接工の選定に当っては，段取り・電流の変動・溶接棒の乾燥・運棒の方法および溶接順序などに十分な注意を払い，しかも溶接中のひびわれなどの有害な欠陥の発生を積極的に製作技術者に申し出て，その指示を受けるような溶接工を選ばなければならない。

資格をもった溶接工でも，しばらく溶接作業から離れていると作業に対する勘が鈍り，良好な作業が行えなくなる。また製作技術者がその支配下にある溶接工のくせを知っておくためには，工事前ある程度の期間，その工場において溶接工の作業状況を観察する必要がある。このため 2 項でその工事に従事する溶接工としての必要な条件を規定した。

いずれにしても，溶接工の技能は工事のできばえにきわめて重大な影響があるので，請負者は，その工事に従事する溶接工の名簿を監督者に提出して，その承認を受けなければならないことにした。

溶　接　棒　49 条

使用する溶接棒の種類は，工事前に監督者の承認を受けなければならない。

応力を伝える溶接に使用する溶接棒の直径は，4 mm ないし 6 mm を標準とする。

溶接棒は入念に取り扱い，被覆剤がはげまたはよごれたものおよび湿気を吸収したものなどで，作業性および強度の低下する虞のあるものを用いてはならない。このため，乾燥器の使用などの考慮を必要とする。

溶接棒を赤熱するまで使用してはならない。

〔解説〕

溶接棒としての必要な性質については，既に 3 条で述べたとおりであるが，この条では施工上守らなければならない事項について規定した。

アーク溶接では，溶接棒の優秀なものを用いることが非常に重要なことである。したがって，請負者は，使用する溶接棒についてあらかじめ監督者の承認を受けなければならないことにした。

溶接の作業能率をよくするには，なるべく太い径の溶接棒を用いるのが効果的であるので，諸外国においても，7 mm ないし 8 mm といった太い溶接棒を使用しているところもある。しかし，一般にわが国では，溶接棒の強度特性は，同じ銘柄でも心線の細いものの方が太いものに比べてまさっているようである。したがって，現状においてはあまり太い径の溶接棒の使用を避ける意味から，4 mm ないし 6 mm を溶接棒の心線の標準直径として規定したものである。特に下向の第一層とか，上向，立向のように溶接中ひびわれの生じやすいところでは，ひびわれ発生の傾向が少い溶接棒を用いる事が大切である。

溶接棒における被覆剤の目的としては，被覆剤の燃焼によって生ずるガスおよびスラグによって溶融金属の酸化・窒化を防ぐとともにその精錬作用も行うこと，溶着金属の急冷却を防ぐことおよびアークの発生ならびに保持を容易にし，熱の集中性をよくすることなどである。したがって，被覆剤がはげているとこのような目的を達することができないし，また，汚損している場合には抵抗が増大して溶接棒が赤熱する原因となり，被覆剤の偏心がはなはだしいとアークが被覆の薄い方に押されて正しい運棒をさまたげることになるので注意しなければならない。

湿気を含んだ溶接棒や，長い間倉庫に放置されていたような溶接棒を使用すると，溶着金属に対するスラグの被覆が不完全になり，溶着金属の質が低下する。またスラグが側面に流れ出し，スラグまき込みの原因ともなる。したがって，溶接棒は常に乾燥した状態で使用しなければならない。このため，工場および工事現場に乾燥器を備え，溶接棒を貯蔵する倉庫の床を地面より高くするなどの注意が必要である。

ホルダーがよごれていると，その抵抗による熱のため溶接棒が赤熱することがある。また，あまり短くなるまで溶接棒を使用する場合にも赤熱することがある。このような溶接棒を赤熱したままで引き続き使用すると，スパッターが多くなって溶着金属に気ほうを生ずる原因となるので注意しなければならない。

機械器具　50条

溶接，切断およびはつりなどに使用する機械器具は正しい結果を得られるものを使用し，常に良好な状態に保たなければならない。

〔解説〕

この条では，溶接工事に使用する機械器具の備えるべき条件とその取扱いについて一般的な注意事項を述べたものである。

機械器具を大切にし，常に整備しておくような溶接工は，それだけでも全般の技能を信用することができるものであるから，監督者および製作技術者はこの点特に注意する必要がある。

溶　接　機　51条

溶接機は十分な容量をもち，適正電流で安定したアークを正常に発生，供給しうるものを使用しなければならない。

交流溶接機は，JIS　C　9301　交流アーク溶接機の規格に適合するものを標準とする。

溶接に用いるケーブルは，十分な太さをもち，過度の熱を発生しないもので，溶接回路に対し有効に絶縁できるものを使用しなければならない。

〔解説〕

溶接を行う場合には，最初大きな短絡電流が流れてアークを発生し，一度アークを発生すると，回路電圧によって，ほぼ一定の溶接電流が流れて溶接作業が進行してゆく。作業の進行にともなって，電源や溶接回路の電圧およびアークの長さなどは若干変動する場合があるので，こうした多少の変動に対して，溶接電流の変化が最少で，広い範囲で適正な電流，したがって安定したアークを正常に供給できるような溶接機を使用する必要がある。また比較的太い溶接棒を使用したり，定格使用率以上の高い使用率で使うと，溶接機を過熱して適正な電流の供給を阻害する虞がある。このような欠点を避けるためには，溶接機の通風をよくして，温度の上昇を制御しなければならないがそれと同時に，溶接機が十分な容量をもっていて，多少の過負荷状態に対しても安全なものであることがきわめて重要なことである。

溶接機には直流溶接機と交流溶接機がある。直流溶接機はアークが安定していることが特徴であるが，電流の方向が一定であるためにアークの磁場の影響を受けて，いわゆる磁気吹きの現象を生じ，溶接が困難になる場合がある。直流溶接機では，溶接棒を⊖に，母材を⊕に接続する正極性と，その反対の逆極性の二つの使用法があるので，それぞれに適した方法を選ぶのがよい。交流溶接機は一種の変圧機であるので，直流溶接機に比べて価格も安く，効率もよく，取扱いも簡単であるので，わが国では多く用いられている。なお，直流溶接機については特に規格はないが，交流溶接機については，JIS C 9301 に機能・定格および特性などについて規定してあるので，その規定によるのがよい。

溶接機のケーブルにはかなり大きな電流が流れる。このときケーブルが細すぎたり長すぎたりすると，抵抗のため電圧が降下し，適当な電流が流れなくなって溶接作業を困難にするばかりでなく，ケーブルの過熱のために溶接作業ができなくなることもある。また交流溶接機を用いる場合には，リアクタンスのために電流が流れにくくなることもある。このような欠点を除くためには，なるべく太いもので，絶縁の良好なキャップタイヤケーブルを用いるのがよい。これと同時にケーブルの長さをあまり長くしないようにし，やむをえず長いケーブルを用いる場合でも，遠方制御装置を設けるなどして，常に適正な電流を供給しうるようにしなければならない。また，ケーブルの途中に継手を設ける場合には，継手の性能に特に注意しなければならない。

継手の性能に特に注意しなければならない。

計　　器　52 条

溶接回路における電流を確かめるため，計器を用意しなければならない。

必要な場合には積算電力計を備えなければならない。

〔解説〕

溶接電流の強さは，溶接部の溶け込みと強度に関係があるので，溶接作業中は，電流の変化に特に注意し，常に適正な電流で作業が行われるようにしなければならない。溶接作業中のアークの長さの変動によって電流が多少変動することはやむをえないが，そのふれは ±10 A 以内であることが望ましい。

溶接電流は溶接機附属メーターによって大体の見当はつくが，メーターが附属していないものや，附属していても不正確なものがあるから，できるだけアンメーターによって確かめるようにしなければならない。また，アンメーターほど正確ではないが，トングによって溶接回路をはさんで測定するのも一つの方法である。

監督者が工場または工事現場に常駐して，常に電流の状態を検査し，正しい溶接作業が行われているかどうかを監督できる場合は，特に積算電力計を備えておく必要はない。しかし監督者が常駐できないような場合は，積算電力計によつてある程度のことは知りうる

3 節　施　　工

清　　掃　53 条

溶接を行う材片の表面は，溶接に先だって清掃しなければならない。特に溶接面および隣接部分は，水分，さび，塗料，スラグおよびごみなどを十分除去しなければならない。

〔解説〕

溶接を行う材片の表面に，ごみ・土砂・さびなどが附着していると，材片の密着を不良にし，また溶接完了後に清掃ができない箇所も生ずるので溶接に先だって材片の表面を清掃しなければならない。

溶接面およびその附近に水分があると，アークの発生・持続が悪くなり，溶着金属に気ほうを生ずる虞があり，また電撃の危険もともなうので，十分ぬぐい取ってから溶接するようにしなければならない。

溶接面に附着する赤さびやはがれやすい黒皮および，塗料は十分に除去しておくのがよい。鉛や亜鉛を含む塗料は，溶接中分解して有毒ガスを発生するので注意しなければならない。また溶接面にスラグやごみなどがあると，溶接に際して完全なアークの発生・持続の障害となり，また溶着金属の中に溶け込んでその質を低下する虞があるから，これらを十分除去するようにしなければならない。

有害な附着物の除去に当っては，溶接面はもちろん溶接線から左右 5 cm 程度の隣接部分についても行わなければならない。附着物の除去の方法は，サンドブラストによれば完全であるが，一般には，グラインダー・ケレンハンマー・ワイヤブラッシ・たがね等を用いる。

組　合　せ　54 条

溶接に当っては，適当な組合せ治具または仮付けなどにより，材片相互の位置を正確に保たなければならない。この場合，材片に過度の拘束を与えることは避けなければならない。

突合せ溶接においては，開先の底間隔を正確に保つように注意し，著しい誤差がないようにしなければならない。また，すみ肉溶接においては，材片の密着に注意し，著しいすきがないようにしなければならない。

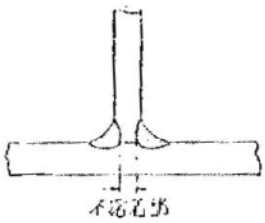
〔解説〕

溶接に当って組み合わされる材片相互の位置は，できるだけ正確に保つことが大切である。すなわち，接合しようとする板の中心の一致，板厚が異なるときの合わすべき板の面の一致，底間隔の維持，直角度の確保，仮のはだ合せ等の組合せを正確に行い，また，溶接中のひずみに対してもある程度のおさえをしておく必要がある。このためには，適当な組合せ治具を用いるかまたは仮付けの方法による。しかし，ひずみを防止する目的のために材片に過度の拘束を与えることは，溶接による材片の収縮ひずみを拘束することになり，大きな収縮応力を生ずる原因となるので注意しなければならない。

組み合わせた材片の偏心は，全くないようにするのが望ましいが，許し得る程度としては，接合する材片の薄い方の板厚の 10% 程度とし，これを越える場合には，適当な治具を用いて補正しなければならない。はなはだしい偏心がある場合には組直しを命ずるのがよい。

突合せ溶接の底間隔は溶着金属の収縮に対する余裕を与えるためにある程度の値が必要である。この間隔は板厚によって多少の差異があるが，通常 2 mm(裏当て板を用いる場合は 2~4 mm) 程度の値が用いられている。

図―54・1



突合せ溶接では，溶接が進むにつれて，先に溶接された部分の膨脹・収縮によって溶接前に保持しておいた底間隔が次第に変ってくる。これに対して仮付けのみで抵抗させようとすると，仮付けの大きさを大きくしたり間隔を小さくしたりすることになり好ましくない。その上溶接中仮付け部分にひびわれを生ずる危険性も増大するので，適当な治具を用いて，正しい間隔を保持するようにしなければならない。すみ肉溶接では，必ず図―54・1 に示すように不溶着部が残る。この部分ができるだけ少く，またすき間が小さいことが強度上望ましい事は明らかであるので，材片の密着に特に注意するとともに，その底を十分溶け込ませるようにしなければならない。

いずれにしても，突合せ溶接の底間隔およびすみ肉溶接の材片のすきは溶接部の強度およびひずみと密接な関係をもつものであるから，常に正確に保つように心がけなければならない。

組合せ冶具　55 条

組合せのために用いる冶具は，材片の位置を確保するとともに材片に過度の拘束を与えないものを選ばなければならない。組合せ冶具を部材に溶接するときは，溶接部分をできるだけ少くし，除去に際してはこれをはつり取り，あとを平滑に仕上げなければならない。

〔解説〕

組合せ冶具にはその使用目的によりいろいろの種類があるが，要求される性質としては次のとおりである。

1．溶接中，形状の狂いを防ぐが，溶接面内の収縮ひずみをできるだけ拘制しないこと。

2．取付け，取りはずしが容易で，あとに影響を残さないこと。

3．溶接作業をさまたげないこと。

4．溶接順序と相関性をもつこと。

普通組合せに用いる冶具にはケタとケタとのとり合い，床組構造の組立てなどに用いる仮締めボルト，突合せ溶接のひずみを防止するとともに材片相互の位置を正確に保つのを目的とするもの，重ね継手における材片の密着を確保するのを目的とするものおよびT継手の角度の保持を目的とするものなどがあるが，使用に当ってはそれぞれの特性や溶接順序などを考慮して適当なものを選ぶのがよい。

組合せ冶具の取付けのためには，冶具を部材に仮付けすることが多い。この場合の仮付けは材片相互の位置を正確に保ちうる最少限度にとどめなければならない。あまり強固に取り付けると，溶接中のひずみに対していたずらに拘束を大きくする結果となり好ましくない。

また，冶具の仮付けであってもあまり粗雑な溶接を行わないように心掛け，その取りはずしに当っても，たたいたり，さきとったりして，母材をいためないように注意しなければならない。また，冶具を取りはずした後の仮付け部は平滑に仕上げなければならない。

仮　付　け　56 条

仮付けはできるだけ最少限度にとどめ，本溶接の一部となる仮付けは特に欠陥のない溶接でなければならない。ひびわれの入った仮付け部に本溶接をするときには，底まで十分はつり取った後，溶接しなければならない。

〔解説〕

仮付けは欠陥を生じやすいので，できるだけ少くしなければならない。仮付けの適当な長さおよび間隔は一概に決めがたいが，あまり短いと欠陥を生じやすく，あまり長いと本溶接の際の拘束が大きくなるので好ましくない。また，本溶接の一部になる仮付けは特に注意して溶接し，欠陥のないものでなければならない。

一般に仮付けを行う場合，母材の熱容量が大きいため，溶着金属が急に冷却するので，溶接端部にひびわれを生じやすい。このひびわれは底より発生していることが多いので，底まで完全にはつり取った後再溶接しなければならない。仮付けに当っては溶接中の収縮ひずみを著しく拘束しないように注意し，小さい径の溶接棒を用いて溶け込みを確保するようにしなければならない。

開先の加工　57 条

開先は設計図に示す形状に正確に加工し，その面をなるべく平滑にしなければならない。

手動ガス切断は，原則として使用してはならない。

〔解説〕

開先の形状はひずみ，溶け込みの状態，溶接作業などの条件を考慮して決められたものであるから，これを正確に仕上げるか否かは溶接継手の良否に密接な関係がある。したがって，開先は設計図に示された形状に正確に仕上げることが大切である。

溶け込みが最も深いところは溶接棒の先端が向けられる箇所であるが，開先面に著しい凹凸があると溶け込みの深さにむらを生ずる。また凹凸を意識して運棒すると運棒にむらを生じ，アンダーカット・スラグまき込みの原因となる。したがって開先面の凹凸の程度は ± 0.5 mm 以内とすべきである。

開先の切断，加工には通常エッジプレーナーまたはプレーナーを用いるのがよい。最近機械加工に代って自動ガス切断が用いられるようになったが，これを適宜に使用すると，切断縁も正確で，切断面も平滑に仕上がり，表面の化学的および組織的変化を受ける部分も浅いので，機械加工に代って使用してよい。だたし，切断面が不揃の場合にはグラインダー仕上げを必要とする。

手動ガス切断は切断縁のひずみや切断面の凹凸が多いので，原則として使用してはならない。現場などでやむをえず使用する場合には，必ず切断面のグラインダー仕上げを行わなければならない。

溶 接 作 業　58 条

溶接には，溶け込みが十分に行われるような溶接電流および溶接速度を選定し，欠陥のないように溶接しなければならない。溶接開始点の溶け込み不足とスラグまき込み，ならびにクレーターの不正形状とひびわれには特に注意しなければならない。

〔解説〕

溶接作業に要求される大切な条件は，溶け込みが十分でしかも欠陥のない溶接を行うことである。

溶け込みをよくするには，溶接電流を大きくして母材に与える熱量を増すことが有効であるが，それに伴って溶接速度を速めることになる。また溶接電流をあまり大きくすると，母材に与える熱影響が大きくなり，溶接部に悪影響を及ぼす結果となる。一方，溶接速度があまり速すぎると，溶け込みが不十分になりがちである。したがって溶接電流の大きさは溶接棒の種類によって多少の相異はあるが，ある範囲内の適正な値がある。多くの場合，メーカーによってその溶接棒に適する値が示されているから参考にするとよい。しかしできれば簡単な試験として，2 枚の板を直角に組み合わせた後，メーカーの示す適正電流の近くのいろいろの大きさの電流ですみ肉溶接を行い，溶融金属の流動，溶着金属の外観，溶け込みの状態，スラグの含有状態および破面などを見ることにより適正な電流を選ぶとよい。実際の施工に当っては，各層の施工，溶接姿勢，板厚などによっても適正電流は変化するから注意しなければならない。

溶接速度は単位時間に溶ける溶接棒の重量すなわち溶融速度によって定まる。溶融速度は溶接棒の被覆材の種類によって異なるが，同じ溶接棒を用いる場合は溶接電流の大きさに比例する。したがって溶接棒とそれに対する適正電流が定まれば，溶接速度もおのずから定まるものである。しかし一般に 1 層の溶接を行うような場合には，溶接棒の先端が丁度溶融池のすぐ前におかれているような溶接速度を保つようにするのがよい。溶接速度が遅過ぎると溶融金属がアークの先に流れ出し，スラグまき込みの原因となる。

このほか，溶接棒を運棒するときに注意すべきことは，アークの中心を正しく底に向け，底の部分の溶け込みを十分にすることである。それとともに，アークの長さおよび溶接棒の保持角度を常に正しく保つようにしなければならない。ウィービングを行う場合にはその幅は溶接棒の直径の3倍以下とするのがよい。

溶接開始点の母材は大気とほぼ同じ温度であるから，溶接部から母材への温度こう配が急なため，大きな電流を用いて母材に与える熱量を大きくしないと，その部分の溶け込みが不足する。しかしあまり溶接熱を高くすると収縮応力が大きくなったり，アンダーカットやスラグまき込みを生じたりするので注意して施工しなければならない。

溶接終了点は温度こう配が最も急で，その後に熱および溶融金属が補なわれないので急に冷却して，最後に冷却する中央部に凹みを生じ，この形状のためにこの部分に収縮応力が集中し，他の箇所よりもさらに大きい応力を生ずる。このような溶接終了点のつぼ状の凹部をクレーターと称し，溶接部のうちで最もひびわれを生じやすい。クレーターの形の不正は溶接に対する注意が足らないことを示すもので応力集中の原因となり，ひびわれの発生を助長するものであるから，施工に当って特に注意しなければならない。

各層ごとの清掃　59 条

各層の表面は，次層の施工前にスラグ類を十分に除去しなければならない。

〔解説〕

母材の温度の低い最初の 1，2 層の溶接においては，スラグを除去しにくい。また，各層の溶着金属の重なり部分や，母材との重なり部分には，アンダーカットを生じやすく，この中に入ったスラグは除去しにくい。このようなスラグをそのままにしておいて次層の溶接を行うと，スラグの流動性が不十分なため，表面に浮び上らず，不純物として溶着金属の中に混入し，溶接部の強度を低下する。このために，各層の施工に当っては，スラグやスパッターなどを十分除去してから次層の溶接を行うようにしなければならない。

突合せ溶接　60 条

突合せ溶接においては健全な溶接層まで裏はつりを行い，裏溶接をしなければならない。裏溶接のできない突合せ溶接には裏当て板を用い，第一層の溶け込みを十分にし，ひびわれおよびスラグまき込みなどの生じないように特に注意しなければならない。

重要な突合せ溶接の両端には，継手と同じ開先をつけた補助板を仮付けして溶接を行い，溶接終了後補助板を除去し，溶接端部を仕上げなければならない。

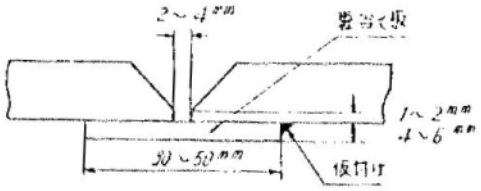
〔解説〕

突合せ溶接において裏はつりを行うことは，継手の強度の信頼性を確保する最も重要な事項である。

突合せ溶接継手の溶接中または溶接直後のひびわれの発生は，最初の第一層または第二層に起りやすい。これは最初の層を施工するときは，溶着金属に比べて母材の熱容量が大きいため急に冷却し，またこの時に生ずる収縮応力に対しても，抵抗断面積が小さいため抵抗力が小さく，しかも収縮応力の伝わる道がくびれているため応力集中を生ずる傾向が強いためである。また，第一層の施工の際，溶け込みをよくするため溶接電流を大きくすると，開先端部を溶かし過ぎて溶着金属がたれ下がり，直接外気の影響をうけてその質が

低下する。一方，使用電流を小さくすると溶け込みが不十分となる。このように，最初の層の溶接は不完全になりやすいから，健全な溶接層まで裏はつりを行い，裏溶接をしなければならない。

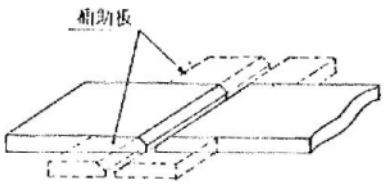
図－60・1



裏はつりの方法として酸素アセチレンガス切断装置を利用したガスガウジング等の新しいものがあるが，一般にはチッピングによる。施工に当っては，できるだけ丸味をおびた形状にはつり，裏はつりの中心が開先の底の中心と合うようにしなければならない。

裏はつりのできない継手の溶接には裏当て板を用いなければならない。この目的は第一層の溶接による収縮ひずみに対する抵抗をますと同時に，溶け込みを十分にするためのものであって，一般に図－60・1 に示すものが適当とされている。この場合裏当て板と母材とは密着させることが重要である。なお外側のフランジプレートを突合せ溶接する場合に，内側のフランジプレートを裏当て板の代りに利用してはならない。やむをえずこのような溶接を行う場合には，16 条の規定により溶接部の許容応力度を下げなければならない。

図 60・2



溶接部の欠陥は，その開始点と終了点に生じやすいことは 58 条に述べたとおりである。したがって，重要な突合せ継手では，この欠陥を除くために継手の両端に図－60・2 に示すような継手と同じ開先をつけた補助板を仮付けして，この部分まで延長して溶接を行った後補助板を除去し，仮付け部の母材の両側面を他の面と同一面に仕上げるようにしなければならない。なお，継手の強度を試験する場合には，補助板の寸法を試験片をとりうる大きさにしておいて，この部分から試験片を切り取るようにすると便利である。

すみ肉溶接　61 条

> 材片のぐう角部で終るすみ肉溶接は，ぐう角部を回って連続して溶接しなければならない。
>
> 現場継手のためにすみ肉溶接を完了しないでおく場合には，その端部を十分溶け込ませるように注意し，現場溶接に先だち，その部分のひびわれを検査し，不具合箇所を除いた後溶接するようにしなければならない。

〔解説〕

すみ肉溶接，特に側面すみ肉溶接の端部には応力集中を生ずる。したがって溶接終了点または開始点のような欠陥を生じやすい部分が応力集中部分と重なることは好ましくないので，材片のぐう角部で終るすみ肉溶接はぐう角部を回って連続して施工しなければならない。

すなわち，材片のぐう角部を回って溶接線が連続している場合には，ぐう角部の手前で一度アークを切り，溶接姿勢を整えた後，クレーターを完全にうめてからぐう角部を回って連続して溶接を延ばすようにしなければならないのはもちろんであるが，溶接線が材片のぐう角部で切れている場合でも，同じ趣旨から，ぐう角部を回って少くともサイズの 2 倍以上の長さに回し溶接を行わなければならない。同し溶接が不可能な場合には，溶接終了点においてサイズの 2 倍ないし 3 倍の長さに返し溶接を行うのがよい。プレートガーダーのフランジプレートに補剛材を取り付けるためのすみ肉溶接はこのような施工が困難であるが，図－61・1 に示すように，補剛材のぐう角部に適当な穴をあけ，穴の向かう側から溶接部を引き出すようにして溶接を行うのがよい。

現場でプレートガーダーを突合せ溶接する場合には，フランジおよびウエブの継手の溶接に際して拘束を少くするために，継手から約 20 cm の範囲のフランジプレートと腹板との工場すみ肉溶接は施工しないでおくほうがよい。しかしこの部分は溶接端部となるので，溶け込みやクレーターの処理が不十分な場合には，運搬中にひびわれを生じやすいので，施工に当って注意しなければならない。またこのひびわれは母材まで発展する可能性もあるので，このような箇所は現場溶接に先だって入念に検査し，ひびわれが入っている場合には，68 条の規定に従って不良な溶接部を削り取った後再溶接しなければならない。

図—61・1



自動溶接の施工　62 条

自動溶接の施工は，特に次の事項に注意して行わなければならない。

1) 溶接面およびその隣接部分は，溶接に先だって特に入念に清掃し，溶接面の黒皮も除去しなければならない。

2) 心線およびフラックスは特に乾燥したものを使用し，溶接はできるだけ乾燥した状態で行わなければならない。

3) 開先は特に入念に加工しなければならない。
突合せ溶接の開先およびすみ肉溶接される材片は密着させるのを原則とし，1 mm 以上のすきがあってはならない。

4) 本溶接の一部になる仮付けは特に少くし，被覆材に含まれる有機物の少い溶接棒を用いて行うのがよい。

5) 施工に当っては，心線とフラックスの選択，材片相互の位置の確保，電流および溶接速度などに注意し，できるだけ実験的な検討を行って溶接するようにしなければならない。

6) 溶接機は電源の変動の影響を受けないよう十分な電圧を確保できる状態におき，その性能を十分発揮できるように調整しておかなければならない。

〔解説〕

自動溶接の特徴としては作業能率が高く，溶け込みが深く，かなり厚い板でも 1 層で溶接できること，溶接部が均一で変形が少いことなどの長所があるが，大きい電流を用い，溶接速度が速く，熱影響も大きいので，手溶接の場合に比べて施工上特に注意しなければならない事項が多い。4 条に述べたように，現在わが国ではユニオンメルト法が多く用いられているので，この工法に対する施工上の注意事項を主眼としてこの条に規定した。

自動溶接といってもアーク溶接である以上この節にある施工上の諸規定に従わなければならないことはもちろんであるが，自動溶接は湿気・油・さびなどに特に敏感で，これらが溶接面に附着していると気ほうを生ずるので，1) および 2) のように特に溶接面およびその隣接部分の清掃と作業環境に注意するように規定した。

また，自動溶接では大きい電流を用い，溶け込みも深いので，底にすきがあったり，開先面や開先角度の加工が不正確であると，板が溶け落ちて溶融金属が流れ落ちることがある。しかし，溶け落ちを恐れるあまり溶接電流を小さくすると溶け込みの不足をきたすので 3) のように規定した。また，仮付け部の本溶接にさいして気ほうを生じやすいので，この欠点を防止するために 4) の規定を設けた。

自動溶接では通常 1 層で施工するので，46 条で述べたような補強盛りによる溶着金属の焼鈍効果が期待できないので，溶接部に柱状組織を形成し，これが応力に集中するとひびわれの原因となる。したがって，施工に当っては使用する鋼材と溶接条件に最も適した心線およびフラックスを選定することが大切である。その他施工に当って注意しなければならない事項を 5) に規定した。

ユニオンメルト法の基本的な原理はアーク電圧の変動に応じて溶接棒を送り出す速度を調整することである。したがって溶接機の使用に当っては，アーク電圧の変動による溶接棒の送り出し速度の調整が十分に行われるように整備しておかなければならない。また溶接機の移動速度は溶接電流や板厚などに応じて調整するものであるから，よい溶接を行うためには，移動速度にむらがあってはならない。またフラックスの供給も順調に行われるように調整しておかなければならない。

溶接電圧が低いと，溶け込みが浅くなる傾向をもつが，同時にひびわれを生ずる傾向が強くなるので十分な電圧を確保できる状態におかなければならない。6) はこのような趣旨で想定したものである。

溶接と併用するリベット　63 条

> 溶接と併用するリベットは，溶接後にリベット締めするのを原則とする。

〔解説〕

溶接とリベットを併用した継手では，リベット締めした後溶接を行うと溶接に対する拘束が大きくなるので好ましくない。したがって，溶接を行った後にリベット締めするのを原則とした。ただし，リベットを主体とした継手において，ろう水防止の目的で溶接を行う場合等はこの限りでない。

予　　熱　64 条

> 板厚が 25 mm を越える場合には，溶接線から 10 cm 以内の母材部分が溶接時に 60°C 以上となるように予熱しなければならない。板厚が 35 mm を越える場合には，此の温度を 80°C とする。
>
> ただし，低水素系の溶接棒を使用する場合には，予熱温度を 40°C まで下げることができる。

〔解説〕

板厚が大きい場合には多層溶接を行うことになるが，最初の層の溶接においては，母材の熱容量が非常に大きく，溶着金属の急冷を避けることができない。このために，溶け込みの不足および気ほうやひびわれの発生を招くことが多い。このような欠陥を除くために，厚さが 25 mm 以上の板を溶接する場合には，溶接線から 10 cm 以内の母材の温度が 60°C 以上になるように予熱することにした。この条件は溶接後少くとも 2，3 分間保つようにしなければならない。溶接しだすと母材の温度は上昇し，溶接の進行とともに温度の分布も変化するが，溶接終了点はあとから補われる熱がないため急冷する。この欠点を補うために，溶接終了後も 2，3 分間は母材の温度を 60°C 以上に保つことにした。

板厚が特に厚くなると，母材の等価炭素量が増大する傾向にあり，水素脆化の危険性を生ずるし，また急冷による影響も大きくなるので，35 mm を越える場合には予熱温度を 80°C とした。

また，低水素系の溶接棒は水素脆化の危険性が少く，等価炭素量の高い鋼材に適するので，予熱の温度も幾分低くしてよいと考えられる。A.S.T.M. の規定でもこのような趣旨のことを採り入れて予熱温度を半減しているので，それにならってこの各でも予熱温度を 40°C まで下げてよいことにした。

天　　候　65 条

工場溶接は屋内で行うのを原則とする。

雨・雪または強い風などの中では溶接を行ってはならない。ただし，天候の影響を受けないように十分な防護処置を行った場合には，監督者の許可を受けて溶接を行うことができる。

溶着金属の性質を良くし，溶接部の信頼度を高める重要な要素の一つは，溶接工の作業条件をよくすることである。このためには溶接工が常に楽な姿勢で作業ができるようにすること，良好な照明設備を設けること，天候の影響を受けないようにすることなどがあげられる。したがって，工場溶接は屋内で行うのを原則とした。工場によっては，設備が不十分なため，屋外で溶接を行うこともあるが，この場合には，上記の点に注意して作業条件をよくするように心掛けなければならない。

現場溶接はほとんどの場合屋外作業であるので，雨・雪などの中で溶接を行うと，溶接面やその隣接部分に水分が附着し，電撃の危険も生ずる。また，溶接工がほかのことに気をうばわれがちになり，その技能を十分発揮することができないので，このような天候のもとで作業を行ってはならない。また，溶接部の冷却速度は風速に支配され，風速が大となると非常に増大する傾向をもつものであり，同時に風によりアークが流されて気ほう混入の原因となるなどの障害も起るので，溶接中風が直接溶接部に当らないように注意するとともに，アークが極端に流される程度の強い風の時には溶接を行わないようにしなければならない。ただし，このような天候の悪影響を受けないように十分な防護処置を行った場合には，監督者の許可をえて作業を行ってもよい。

気　　温　66 条

気温が 5℃ 以下の場合には，溶接を行ってはならない。ただし，気温が −15℃ 以上の場合において，溶接線から 10 cm 以内の母材部分を溶接時に適当な温度になるように予熱すれば溶接を行ってもよい。

〔解説〕

溶接前の母材の温度は通常気温とほぼ等しいから，気温が低いときに溶接を行うと，溶接部の温度こう配が非常にきつくなるので，信頼しうる溶接の施工は望めない。したがって気温が 5℃ 以下の場合には溶接を行ってはならないことにした。しかし工程の都合上施工を急ぐ場合などには，気温が −15℃ 以上であれば 80℃ 程度に予熱を行って溶接することができることにした。なお，気温が −15℃ より低い場合には溶接を行ってはならない。

溶接部の欠陥　67 条

溶接部には，ひびわれ・気ほう・スラグまき込み・オーバーラップ・アンダーカット・不整な波面およびクレーター・のど厚およびサイズの過不足などの有害な欠陥があってはならない。

〔解説〕

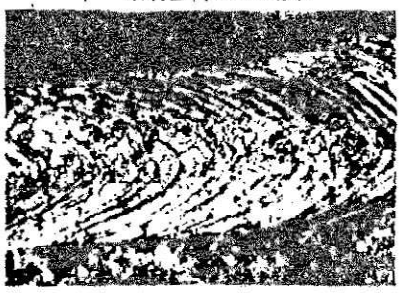
溶接部に生ずるおもな欠陥を示したものである。

ひびわれにはその発生位置および形状で分類すると溶着金属に生ずる縦・横および弧状ひびわれ，クレーターに生ずる縦・横および星状ひびわれなどがある。溶着金属に生ずる縦ひびわれは最も一般的なもので，主として第一層の溶接において溶接電流が大きすぎたり，溶接速度が速すぎたり，拘束が大きい場合などに生ずる。又横および弧状ひびわれは溶着金属の冷却速度がはやく，かつもろくなった場合に生ずる。このようなひびわれは溶接棒の選択・予熱などにより防止することができる。クレーターは冷却速度が速く，溶着金属の量も少いので最もひびわれが発生しやすい。できあがった溶接部ではひびわれの発見がむつかしいが，クレーターにひびわれを生じている場合には，他の溶接部にひびわれを伴いやすいので注意しなければならない。

溶着金属及びクレーターに生じたひびわれを写真—67・1，および 67・2 に示す。

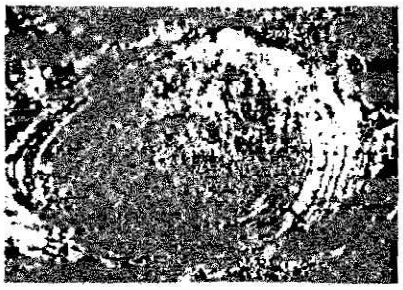
写真—67・1

溶着金属のひびわれ

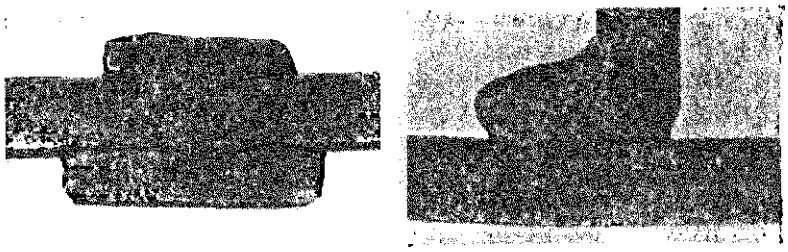


写真—67・2

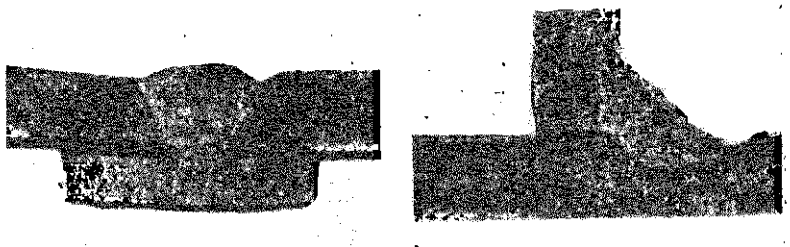
クレーターのひびわれ



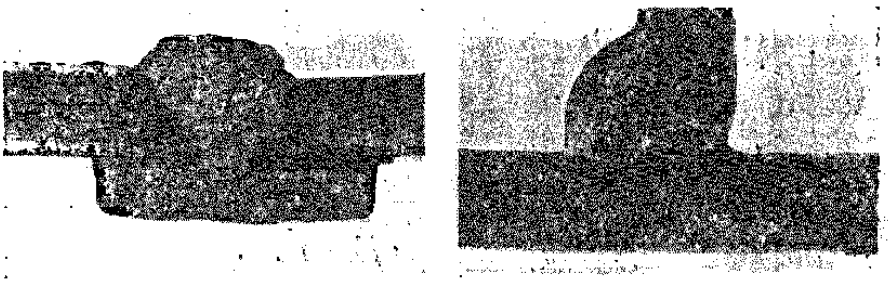
写真—67・3



オーバーラップ



アンダーカット



のど厚過大



のど厚不足

溶着金属中に発生する気ほうは銀白色を呈し球状のものと細長い形状のものとがある。これは溶接時に溶着金属中に飽和している水素や一酸化炭素が冷却時にガスとなって放出されることが原因であると言われている。スラグまき込みはスラグの流動性が悪く，かつ溶着金属の冷却速度が速い突合せ溶接の第一層などに起りやすい。これはいずれも溶接棒の質および溶接工の技能に左右されるもので，溶着金属の質を低下するから施工に当って注意しなければならない。

溶接部の形状の不良なものとして写真－67・3 に示すようなものがあるが，いずれも強度の不足や応力の集中を招くので施工に当って注意しなければならない。

不良溶接の手直し　68 条

> 67 条に示す欠陥は，監督者の指示に従い入念に手直ししなければならない。
>
> 溶着金属にひびわれの入った場合には，溶着金属を全長にわたって削り取って，再溶接しなければならない。放射線透過検査・磁気検査・しん透液検査などの方法でひびわれの限界を明らかにした場合でも，ひびわれの端から少くとも 50 mm 以上削り取り，手直ししなければならない。

〔解説〕

67 条に示すような欠陥を持つ不良溶接は，監督者の指示に従い，それぞれに適した手直しを行わなければならない。

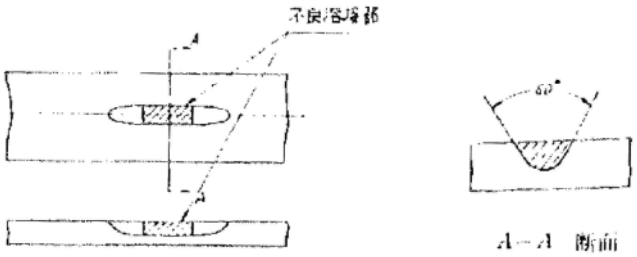
ひびわれ・気ほう・スラグのまき込み・不整な波面およびクレーターなどの欠陥を持つ不良溶接は，チッピングハンマーまたはグラインダーなどを使用して，母材を傷つけないように入念にかつ完全に除去しなければならない。除去する深さは溶け込み部分までとする。削り取りの要領は図－68・1 に示すようにおわん型に削り取り，溝の開先角度を 60° に保つようにするのがよい。再溶接に当っては，他の部分が溶接されているため拘束が大きいので，直径 4 mm 以下の細目の溶接棒を用いて丁寧に行わなければならない。

アンダーカットやのど厚の不足した溶接は盛り足しをしなければならない。またオーバーラップやのど厚の過大な溶接はグラインダーなどで削り取り，正しい形にしなければならない。

ひびわれは溶接部の欠陥のうちで最も危険なものであるから，特に注意してその発見に努めなければならない。ひびわれの限界がわからない溶接部は，溶着金属を全長にわたって削り取らなければならない。

ひびわれの存在およびその限界の発見のためには，放射線透過検査・磁気検査・しん透液検査などの方法によるのがよい。一般にひびわれに沿って溶着金属をはつって行けばその限界を確かめることができる。ひびわれが母材にまで及んでいる場合には，母材を取りかえなければならない。ただし軽度なもので位置的にも許しうる場合には，溶接によって修理することがあるが，あまり用いてはならない。

図—68・1



ひずみの補正　69 条

溶接による著しいひずみは，監督者の指示に従って手直しするものとする。

溶接はなるべくひずみを生じないように施工すべきであるが，ひずみの発生を避けることは困難である。強度上ならびに使用上さしつかえない程度のわずかなひずみはそのままにしておいてよいが，さしつかえる場合には，監督者の指示に従って手直しするものとした。

手直しに当っては，ひずみの生じた原因をよく調査して，母材の組織をいためたり，構造物に無理を生じたりしないような方法を適ばなければならない。

塗　　装　70 条

塗装は監督者の承認を受けるまで行ってはならない。

現場溶接を行う部分およびこれに隣接する幅 20 cm の部分には，工場塗装を行ってはならない。ただし，さびを生ずる虞のある場合には，ボイル油を塗布してもよい。

〔解説〕

溶接部の検査前に塗装を行うと，溶接部のひびわれその他の欠陥の発見が不可能になるので，監督者の承認を受けるまで塗装を行ってはならないことにした。

塗装は鋼道路橋製作示方書の 5 章工場塗装および 8 章現場塗装に定められた方法によって行えばよいが，特に溶接部附近にはスパッターやスラグ等が附着していることが多いので，これ等を完全に除去してから塗装するようにしなければならない。

現場溶接を行う部分およびこれに隣接する幅 20 cm の部分には，工場塗装を行ってはならない。これは溶接熱により塗料が変質することはもちろんであるが，53 条にも述べたように，溶接面およびその隣接部分に塗料があると，溶着金属に悪影響を与えるからである。

特にさびを生ずる虞のある場合には，ボイル油を塗布してもよい。

3章 施　　工

1節 一　　般

一　　般　52条

溶接は正確ていねいに行い，溶接による収縮力，ひずみなどをなるべく少くするようにしなければならない。

溶接の寸法は設計図のとおりとしなければならない。

品質の異なる鋼材を用いる場合には，それぞれの鋼材がめいりょうにわかるようにしなければならない。

〔解説〕 溶接の施工に関する一般原則を示したものである。

溶接橋では施工の方法，溶接の良否が橋の強度に直接大きな影響をもつものであって，不良な溶接のために予想外の大事故を招いた例も少くない。したがって，事前に溶接方法その他を考慮して設計することが大切であるが，いかに優秀な設計であっても，施工が悪ければ決定的な欠陥を残すことになるので，施工はとくに慎重に行わなければならない。このためには工事に従事する技術者および作業員が責任観念と研究心をもって，すみずみまで細心の注意を払って施工することが大切である。

溶接では，10条の解説にも述べたように，溶接部の冷却，収縮および母材ならびに既に固まった溶接部による拘束のために溶接部に収縮応力を生ずる。収縮応力のうちある部分は溶接作業の進行に伴って減少するが，一部は溶接後まで残留応力として残る。また鋼材は溶接中の膨脹，収縮によって変形する。この変形のことを一般に溶接ひずみと呼んでいる。

ひずみと収縮応力は相互に密接な関係をもち，ひずみを小さくしようとすると収縮応力が大きくなる傾向があるが，とくに溶接線に直角方向の収縮ひずみを小さくしようとしてこの方向に対して大きな拘束を与えると，致命的な欠陥を残すことになる。いずれにしても，収縮応力とひずみは溶接条件や溶接方法によって大きな差があるから，これらをなるべく少くするように努力しなければならない。しかし，いかに優秀な施工を行っても，ある程度のひずみとくに寸法の縮まりは避けることができない。したがって，仕上りの諸寸法が正しく設計図に一致するように，あらかじめ考慮しておく必要がある。

溶接の寸法は設計図のとおりとしなければならない。設計に示された溶接継手の長さは19条に規定した有効長であるから，施工にあたって注意しなければならない。寸法の不足は強度の不足を招くので厳に慎まなければならない。また，寸法の過大なものはいたずらに熱影響を大きくするから好ましくない。

工事に使用される鋼材が多種にわたる場合は，鋼材の機械的性質のみならず，溶接性も鋼材の種類によって異なるので，溶接棒もそれに応じたものを使用しなければならない。外観上その鋼材の種別を見分けることはできないので，適当な方法，たとえば鋼材の種類を応じて異なる色のペイントを塗るなどの方法でその材質を識別できるようにしなければならない。

溶接順序　53条

溶接の順序は，溶接構造に十分な知識と経験を有する技術者が決定し監督者の承認を受けるのを原則とする。

溶接交さ部の溶接順序については，特別な考慮をしなければならない。

〔解説〕 収縮応力や溶接ひずみを少くするためには，溶接の順序と方法がきわめて重要な事項である。従って，溶接構造に十分な知識と経験を有する技術者があらかじめその知識と経験にもとずいて最も適当と考える溶接順序と方法とを決定し，それに基づいて施工することが必要である。

溶接の順序に関する基本的な考え方としては次のような点をあげることができる。

(1) 溶接後の収縮ひずみをなるべく少くするとともに，収縮に対して大きな拘束を与えないようにすること。

(2) 一つの継手はできるだけ同じ日のうちに溶接を完了し，中途半端な溶接をしないこと。

(3) 常に溶接熱の分布が均等になるように心がけ，一時に一箇所に多量の熱を集中しないようにすること。

(4) 先の溶接によるひずみを次の溶接で打ち消すようなくふうをすること。

(5) 二つの平行な溶接は溶接の方向を常に同じ方向に保つこと。

プレートガーダーの現場継手のように，交さ部の溶接を同時に施工する場合には，溶接の種類，板厚などによる収縮ひずみ量の相異，溶接熱の影響およびあとから行う溶接に対する拘束など注意しなければならない事項が多いので，溶接交さ部の溶接順序についてはとくに慎重な考慮を払わなければならない。

また，未経験な構造の溶接順序は実験を行って決定するのがよい。

溶接姿勢　54条

溶接は，原則として，ポジショナーなどの適当な治具を用いて，下向で行う。

〔解説〕 溶接部が十分な強度をもつようにするためには，溶接工がなるべく自然な姿勢で溶接作業を行えるようにするとともに，溶接金属の移行が理想的に行われ，収縮ひずみも少く，でき上りの形状も正確なものがえられるようにしなければならない。このためには，回転わくなどのポジショナーを使用して，すべての溶接がなるべく下向で，かつ，ひずみに対して釣合いのとれるよう施工しなければならない。(11条参照)

立向，上向，横向などは溶接姿勢が不自然なばかりでなく，溶接金属の移行も円滑に行われにくく，スラグのまき込みなど溶接部の強度に悪影響をおよぼす結果となる。こうした溶接姿勢による欠点は，溶接棒の選定によってある程度は補うことができるが，下向で溶接を行う方がはるかに良好な結果がえられる。

主ゲタの現場溶接　55条

主ゲタの現場継手の溶接は継手の1つの溶接を完了するまで継続して行うのを原則とする。

〔解説〕 プレートガーダーの主ゲタの継手の溶接を現場で行う場合の基本的な事項を示したものである。

現場で溶接を行う場合には，よほど注意しても作業用設備が不完全になりやすく，また作業の管理も十分でない場合が多い。とくに電源が遠く，溶接機の二次導線が長い場合には，電圧降下による影響をうけることになる。また，一般に作業足場などの関係で無理な溶接姿勢で溶接を行いがちであり，気象条件などのために悪影響をうけることにもなりがちである。従って，原則的にはなるべく現場溶接を避けて工場溶接によるのがよいが，運搬方法などの関係で，どうしても現場溶接によらなければならないことがある。この場合には，54条で述べているように，ポジショナーを使用して溶接が下向で行えるようにし，一継手の溶接をできるだけ同じ条件で継続して行い，完了するようにしなければならない。やむをえず2回に分けて溶接を行う場合には，予熱などの方法によって溶接中断前と同じ条件を確保するように努め，また溶接後の急冷却を避けるようにするなどの慎重な考慮が必要である。

全　　盛　56条

余盛はのど厚の15%以下とし，3mmをこえてはならない。とくに表面仕上げを要する継手では，10%ないし15%の余盛を行った後平滑に仕上げる。この際削り過ぎないようにとくに注意しなければならない。

〔解説〕 余盛の役目は，急冷を受けた表面のあらい結晶組織を，さらに溶接を重ねることによって一種の焼鈍効果を与えて，微細な結晶組織にしようとするものである。しかし，余盛りがあまり大きいと母材に過度の熱影響を与え，断面が急変して応力集中の原因となるので好ましくない。そこで，一般に余盛の大きさは，のど厚の15%以下とし3mmをこえてはならないことにした。

とくに応力集中や疲労強度を考慮する必要のある箇所では，表面を仕上げるが，この際平滑を強調するあまり，削り過ぎて板厚よりも凹んだ仕上げを行うと，溶接部の有効断面が母材よりも小さくなるので注意しなければならない。

すみ肉溶接における余盛の形状は，使用する溶接棒や溶接姿勢によって多少異なるが，一般に図—18・1に示すとおりである。

2節　溶接作業員および溶接器材

製作技術者　57条

製作技術者は橋の構造に十分な知識を持ち，溶接橋の製作に経験がある者でなければならない。

〔解説〕 製作技術者は，工場または工事現場に常駐して直接溶接工事を指揮監督し，工程どおり円滑に工事を進め，欠陥のないものを作るように努力する責任をもつ。とくに溶接橋の場合には，工事全般のできばえが溶接工の能力に左右される割合が大きいので，溶接工を正しく指導し，能力を最大に発揮できるようにしなければならない。また特別な変更の必要が生じた場合には，直ちに監督者に申し出て，正しい処置をすみやかになしうるようにしなければならない。このためには，十分な溶接工事の実務経験と鋼橋に関する知識を持つ者を製作技術者として選ばなければならない。

溶 接 工 58条

溶接工は JIS Z 3801 溶接技術検定における試験方法ならびにその判定基準に定められた技術検定試験2種の2級以上（またはこれと同等以上の検定試験）に合格した者でなければならない。

溶接工は6カ月以上溶接工事に従事し，工事前2カ月以上，引き続きその工場において溶接工事に従事した者でなければならない。

請負者はその工事に従事する溶接工の名簿を提出し，監督者の承認を受けなければならない。

自動溶接の溶接工も，それぞれの溶接法溶接装置について十分な技術と経験を有する者でなければならない。

〔解説〕 57条でも述べたように，溶接では溶接工の能力が工事全般のできばえに支配的な影響をもつものであるから，とくに1条設け，溶接工として必要な事項について規定したものである。

溶接工として必要な資格は，日本工業規格で定めたアーク溶接の技術検定試験2種の2級以上（またはこれと同等以上の検定試験）に合格した者でなければならないことは，本文で述べているとおりである。

しかし，2種2級の試験は板厚9mmについての試験であり，厚板を対象としていないから板厚32mm以上の母材を溶接する場合には，溶接工は同試験3種の2級以上に合格した者でなければならない。

同じ溶接器材を用いても，電流の強弱や，溶接工の運棒の方法によって，溶接部に生ずる欠陥の程度は異なるものであり，また溶接順序の可否によって，溶接後の収縮応力やひずみの程度もかなり異なるものである。したがって，溶接工の選定にあたっては，段取り，電流の変動，溶接棒の良否，運棒の方法および溶接順序などに十分な注意を払い，しかも，溶接中のひびわれなどの有害な欠陥の発生を積極的に製作技術者に申し出て，その指示を受けるような溶接工を選ばなければならない。

資格をもった溶接工でも，しばらく溶接作業から離れていると作業に対する勘が鈍り，良好な作業が行えなくなる。また製作技術者がその支配下にある溶接工のくせを知っておくためには，工事前ある程度の期間，その工場において溶接工の作業状況を観察する必要がある。このため2項でその工事に従事する溶接工としての必要な条件を規定した。

いずれにしても，溶接工の技能は工事のできばえにきわめて重大な影響があるので，請負者は，その工事に従事する溶接工の名簿を監督者に提出し，その承認を受けなければならないことにした。

自動溶接の溶接工については，手溶接の場合のようなJIS規格が制定されていないが，単に自動溶接機を操作できるだけでは立派な溶接はできないので，手溶接に匹敵する自動溶接技術と経験をもたなければならない。

なお，Co_2 シールドなどの半自動溶接が使われる機運にあるが，これらについても自動溶接と同様な注意が必要である。

溶　接　棒　59条

溶接棒は溶接する鋼材の性質に適応したものを選定しなければならない

応力を伝える溶接に用いる溶接棒の直径は，4 mm ないし 6 mm を標準とする。

溶接棒は入念に取り扱い，被覆剤がはげまたはよごれたものおよび湿気を吸収したものなどで，作業性および強度の低下するおそれのあるものを用いてはならない。このため乾燥器の使用などの考慮を必要とする。

溶接棒を赤熱するまで用いてはならない。

〔解説〕 溶接棒としての必要な性質については，既に3条で述べたとおりであるが，この条では施工上守らなければならない事項について規定した。

溶接橋に使用される鋼材は本示方書に規定されている SS-41，SM-41，SM-50 のほか，現実には引張強さ 60～70 kg/cm² の 60 キロ鋼なども使用されている。溶接棒は使用する鋼種，継手形式，および溶接姿勢などに応じて最も適当したものを選定しなければならない。従ってその種類も非常に多くなるので，その使用方法を誤まらないよう十分な注意が必要である。SM-50 までの鋼材に適応する溶接棒は JIS 規格が制定されているから JIS に合格したものを使用すればよいが，60キロ鋼に対する溶接棒およびすべての鋼種に対する自動溶接の心線とフラックスは JIS 規格がないので，性能がはっきりわかっているものを使用するか，あるいは必要に応じて性能試験を行って選定しなければならない。

溶接の作業能率をよくするには，なるべく太い径の溶接棒を用いるのが効果的であるので，諸外国においても 7 mm ないし 8 mm といった太い溶接棒を使用しているところもある。しかし，一般にわが国では，溶接棒の強度特性は，同じ銘柄でも心線の細いものの方が太いものに比べてまさっているようである。従って，現状においてはあまり太い径の溶接棒の使用を避ける意味から，4 mm ないし 6 mm を溶接棒の心線の標準直径として規定したものである。とくに下向の第一層とか，上向，立向のように溶接中われの生じやすいところでは，われ発生の傾向が少い溶接棒を用いることが大切である。

溶接棒における被覆剤の目的としては，被覆剤の燃焼によって生ずるガスおよびスラグによって溶接金属の酸化窒化を防ぐとともにその精錬作用も行うこと，溶接金属の急冷却を防ぐことおよびアークの発生ならびに保持を容易にし，熱の集中性をよくすることなどである。したがって，被覆剤がはげているとこのような目的を達することができないし，また，汚損している場合には抵抗が増大して溶接棒が赤熱する原因となり，被覆剤の偏心がはなはだしいとアークが被覆の薄い方に押されて正しい運棒をさまたげることになるので注意しなければならない。

湿気を含んだ溶接棒や，長い間倉庫に放置されていたような溶接棒を使用すると，溶接金属に対するスラグの被覆が不完全になり，溶接金属の質が低下する。またスラグが側面に流れ出し，スラグまき込みの原因ともなる。従って，溶接棒は常に乾燥した状態で使用しなければならない。とくに低水素系溶接棒については吸湿に注意し開封後 12時間以上経過したものは 300°C で1時間以上乾燥しなければならない。このため，工場および工事現場に乾燥器を備え，溶接棒を貯蔵する倉庫の床を地面より高くするなどの注意が必要である。

ホルダーがよごれていると，その抵抗による熱のため溶接棒が赤熱することがある。また，あまり短くなるまで溶接棒を使用する場合にも赤熱することがある。このような溶接棒を赤熱したままで引き続き使用すると，スパッターが多くなって溶接金属にブローホールを生ずる原因となるので注意しなければならない。

機械器具　60条

溶接，切断およびはつりなどに用いる機械器具は正しい結果をえられるものを用い，常に良好な状態に保たなければならない。

〔解説〕　この条では，溶接工事に使用する機械器具の備えるべき条件とその取扱いについて一般的な注意事項を述べたものである。

機械器具を大切にし，常に整備しておくような溶接工は，それだけでも全般の技能を信用することができるものであるから，監督者および製作技術者はこの点とくに注意する必要がある。

溶　接　機　61条

溶接機は十分な容量をもち，適正電流で安定したアークを正常に発生供給しうるものを用いなければならない。

交流溶接機は JIS C 9301 交流アーク溶接機，整流器式直流アーク溶接機は JIS C 9306 整流器式直流アーク溶接機の規格に適合するものを標準とする。

溶接に用いるケーブルは，十分な太さをもち，過度の熱を発生しないもので，溶接回路に対し有効に絶縁できるものを用いなければならない。

〔解説〕　溶接を行う場合には，最初大きな短絡電流が流れてアークを発生し，一度アークを発生すると，回路電圧によってほぼ一定の溶接電流が流れて，溶接作業が進行してゆく。作業の進行にともなって，電源や溶接回路の電圧およびアークの長さなどは若干変動する場合があるので，こうした多少の変動に対して，溶接電流の変化が最少で，広い範囲で，適正な電流，従がって，安定したアークを正常に供給できるような溶接機を使用する必要がある。また，比較的太い溶接棒を用いたり，定格使用率以上の高い使用率で使うと，溶接機が過熱して適正な電流の供給を阻害するおそれがある。このような欠点を避けるためには，溶接機の通風をよくして，温度の上昇を制御しなければならないが，それと同時に，溶接機が十分な容量をもっていて，多少の過負荷状態に対しても安全なものであることがきわめて重要なことである。

溶接機には，直流溶接機と交流溶接機とがある。直流溶接機はアークが安定していることが特徴であるが，電流の方向が一定であるためにアークの磁場の影響を受けて，いわゆる磁気吹きの現象を生じ，溶接が困難になる場合がある。直流溶接機では溶接棒を⊖に，母材を⊕に接続する正極性と，その反対の逆極性の二つの使用法があるので，それぞれに適した方法を選ぶのがよい。交流溶接機は一種の変圧機であるので，直流溶接機に比べて価格も安く，効率もよく，取り扱いも簡単であるので，わが国では多く用いられている。なお，直流溶接機のうち，整流器式については JIS C 9306，交流溶接機については JIS C 9301 に機能，定格および特性などについて規定してあるので，その規定によるのがよい。

溶接機のケーブルには，かなり大きな電流が流れる。このとき，ケーブルが細すぎたり，長すぎたりすると，抵抗のため電圧が降下，適当な電流が流れなくなって溶接作業を困難にするばかりでなく，ケーブルの過熱のために溶接作業ができなくなることもある。また，交流溶接機を用いる場合には，リアクタンスのために電流が流れにくくなることもある。

このような欠点を除くためには，なるべく太いもの，絶縁の良好なキャップタイヤケーブルを用いるのがよい。これと同時にケーブルの長さをあまり長くしないようにし，やむをえず長いケーブルを用いる場合でも遠方制御装置を設けるなどして，常に適正な電流を供給しうるようにしなければならない。また，ケーブルの途中に継手を設ける場合には，継手の性能にとくに注意しなければならない。

計　　器　62条

溶接回路における電流を確かめるため，計器を用意しなければならない。

必要な場合には積算電力計を備えなければならない。

〔解説〕 溶接電流の強さは，溶接部の溶け込みと強度に関係があるので，溶接作業中は，電流の変化にとくに注意し，常に適正な電流で作業が行われるようにしなければならない。溶接作業中のアークの長さの変動によって電流が多少変動することはやむをえないが，そのふれは ±10A 以内であることが望ましい。

溶接電流は溶接機附属メーターによって大体の見当はつくが，メーターが附属していないものや，附属していても不正確なものがあるから，できるだけアンメーターによって確かめるようにしなければならない。また，アンメーターほど正確ではないが，トングによって溶接回路をはさんで測定するのも一つの方法である。

監督者が工場または工事現場に常駐して，常に電流の状態を検査し，正しい溶接作業が行われているかどうかを監督できる場合は，とくに積算電力を備えておく必要はない。しかし監督者が常駐できないような場合は，積算電力計によってある程度のことは知りうるから，監督者の指示がある場合には積算電力計を備えておかなければならない。

3節　施　　工

清　　掃　63条

溶接を行う材片の表面は，溶接に先だって清掃しなければならない。とくに溶接面および隣接部分は，水分，さび，塗料，スラグおよびごみなどを十分除去しなければならない。

〔解説〕 溶接を行う材片の表面に，ごみ・土砂・さびなどが付着していると，材片の密着を不良にし，また溶接完了後に清掃ができない箇所も生ずるので溶接に先だって材片の表面を清掃しなければならない。

溶接面およびその付近に水分があると，アークの発生・持続が悪くなり，溶接金属にブローホールを生ずるおそれがあり，また電撃の危険もともなうので，十分ぬぐい取ってから溶接するようにしなければならない。

溶接面に付着する赤さびやはがれやすい黒皮および，塗料は十分に除去しておくのがよい。鉛や亜鉛を含む塗料は，溶接中分解して有毒ガスを発生するので注意しなければならない。また溶接面にスラグやごみなどがあると，溶接に際して完全なアークの発生・持続の障害となり，また溶接金属の中に溶け込んでその質を低下するおそれがあるから，これらを十分除去するようにしなければならない。

有害な附着物の除去にあたっては，溶接面はもちろん溶接線から左右5 cm 程度の隣接部分についても行わなければならない。附着物の除去の方法は，サンドブラストによれば完全であるが，一般には，グラインダー・ケレンハンマー・ワイヤブラッシ・たがねなどを用いる。

組　合　せ　64条

溶接にあたっては適当な組合せ治具または仮付けなどにより，材片相互の位置を正確に保たなければならない。この場合，材片に過度の拘束を与えることは避けなければならない。

突合せ溶接においては開先のルート間隔を正確に保つように注意し，著しい誤差がないようにしなければならない。また，すみ肉溶接においては材片の密着に注意し，著しいすきがないようにしなければならない。

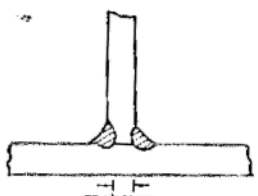
〔解説〕 溶接にあたって組合される材片相互の位置は，できるだけ正確に保つことが大切である。すなわち，接合しようとする板の中心の一致，板厚が異なるときの合すべき板の面の一致，ルート間隔の維持，直角度の確保，板のはだ合せなどの組合せを正確に行い，また，溶接中のひずみに対してもある程度のおさえをしておく必要がある。このためには適当な組合せ治具を用いるか，または仮付の方法による。しかし，ひずみを防止する目的のために材片に過度の拘束を与えることは溶接による材片の収縮ひずみを拘束することになり，大きな収縮応力を生ずる原因となるので注意しなければならない。

組合せた材片の偏心は，全くないようにするのが望ましいが，許しうる限度としては，接合する材片の薄い方の板厚の10%程度とし，これをこえる場合には適当な治具を用いて補正しなければならない。はなはだしい偏心がある場合には組直しを命ずるのがよい。

突合せ溶接のルート間隔は溶接法，溶接姿勢，溶接棒径などによって開先角度，ルート面などとともに総合的にきめるべきものであって，手溶接の場合はルート部の溶け込みをよくするために通常2 mm程度のすきまが必要である。しかし自動溶接の場合は溶け込みが深いためルート間隔をとったり，ルート面を小さくすると焼け落ちるおそれがある上にいたずらに溶接長と収縮長を大きくすることになる。突合せ溶接部のルート間隔が不同であると溶け落ちや溶け込み不良の原因となるから注意しなければならない。

突合せ溶接では溶接が進むにつれて先に溶接された部分の膨脹，収縮によって溶接前に保持しておいたルート間隔が次第に変ってくる。これに対して仮付けのみで抵抗させようとすると，仮付けの大きさを大きくしたり間隔を小さくしたりすることになり好ましくない。その上，溶接中仮付け部分にひびわれを生ずる危険性も増大するので，適当な治具を用いて，正しい間隔を保持するようにしなければならない。すみ肉溶接では，必らず図—64・1に示すように不溶着部が残る。この部分ができるだけ少く，また，すき間が小さいことが強度上望ましいことは明きらかであるので，材片の密着にとくに注意するとともに，その底を十分溶け込ませるようにしなければならない。

図—64・1



いずれにしても，突合せ溶接のルート間隔，およびすみ肉溶接の材片のすきは，溶接部の強度およびひずみと密接な関係をもつものであるから，常に正確に保つように心がけなければならない。

組合せ冶具　65条

組合せのために用いる冶具は材片の位置を確保するとともに材片に過度の拘束を与えないものを選ばなければならない。組合せ冶具を部材に溶接するときは，溶接部分をなるべく少くし，除去に際してはこれをはつり取り，あとを平滑に仕上げなければならない。

〔解説〕 組合せ冶具にはその使用目的によりいろいろの種類があるが，要求される性質としては次のとおりである。

1. 溶接中形状の狂いを防ぐが，溶接面内の収縮ひずみをできるだけ抑制しないこと。
2. 取付け，取りはずしが容易で，あとに悪影響を残さないこと。
3. 溶接作業をさまたげないこと。
4. 溶接順序と相関性をもつこと。

普通組合せに用いる冶具にはケタとケタのとり合い，床組構造の組立てなどに用いる仮締めボルト，突合せ溶接のひずみを防止するとともに材片相互の位置を正確に保つのを目的とするもの，重ね継手における材片の密着を確保するのを目的とするものおよび丁継手の角度の保持を目的とするものなどがあるが，使用にあたっては，それぞれの特性や溶接順序などを考慮して適当なものを選ぶのがよい。

組合せ冶具の取り付けのためには，冶具を部材に仮付けすることが多い。この場合の仮付けは材片相互の位置を正確に保ちうる最少限度にとどめなければならない。あまりに強固に取り付けると溶接中のひずみに対していたずらに拘束を大きくする結果となり好ましくない。

また，冶具の仮付けであってもあまり粗雑な溶接を行わないように心掛け，その取りはずしにあたっても，たたいたり，きりとったりして母材をいためないように注意しなければならない。また，冶具を取りはずした後の仮付け部は平滑に仕上げなければならない。

とくに，SM-50，60 キロ鋼など高張力鋼の場合には，小さな仮付け溶接は母材を硬化させ悪影響を与えるから，なるべく冶具の溶接は行わないことが望ましい。やむをえず冶具などを部材に溶接する時は溶接そのものに細心の注意を払うとともに，取りはずした後の処置に慎重でなければならない。とくに硬化のおそれのあるときはガス焔などにより焼もどしすることも必要である。

仮　付　け　66条

本溶接の一部となる仮付け溶接は最少限度にとどめ，とくに欠陥のない溶接でなければならない。

仮付け溶接の最小長は 40 mm とする。

〔解説〕 仮付け溶接は，本溶接の一部となることが多く，しかも欠陥を生じやすい溶接であるにかかわらず，わりあい軽視されがちであるが，あくまで本溶接の一部であることを認識し，なるべく本溶接の一部となる仮付け溶接はさけるとともに，やむをえず行う場合でも欠陥のないよう溶接を行わなければならない。そのためには，仮付けをする場合も本溶接を行う溶接工と同等以上の技術を持つ者を従事させ，また部材を溶接しやすい状態で組立てることが必要である。

仮付けの適当な長さは一概に決め難いが，あまり短いと硬化が著しくひびわれの原因となるのでその最小長を 40 mm と定めた。

もし，仮付け溶接にひびわれが発見されたときは底まで完全にはつり取ってから再溶接しなければならない。

開先の加工　67条

開先は設計図に示す形状どおりに正確に加工し，その面をなるべく平滑にしなければならない。

手動ガス切断は，原則として用いてはならない。

〔解説〕 開先の形状はひずみ，溶け込みの状態，溶接作業などの条件を考慮して決められたものであるから，これを正確に仕上げるか否かは溶接継手の良否に密接な関係がある。従って開先は設計図に示された形状に正確に仕上げることが大切である。

溶け込みが最も深いところは溶接棒の先端が向けられる箇所であるが，開先面に著しい凹凸があると溶け込みの深さにむらを生ずる。また凹凸を意識して運棒すると運棒にむらを生じ，アンダーカット・スラグまき込みの原因となる。従って開先面の凹凸の程度は ±0.5 mm 以内とすべきである。

開先の切断，加工には通常エッジプレーナーまたはプレーナーを用いるのがよい。最近機械加工にかわって自動ガス切断が用いられるようになったが，これを適確に使用すると，切断縁も正確で，切断面も平滑に仕上がり，表面の化学的および組織的変化を受ける部分も浅いので，機械加工に代って使用してよい。ただし，切断面が不整の場合にはグラインダー仕上げを必要する。

手動ガス切断は切断縁のひずみや切断面の凹凸が多いので，原則として使用してはならない。現場などでやむをえず使用する場合には，必ず切断面のグラインダー仕上げを行わなければならない。

溶接作業　68条

溶接に際しては，溶け込みが十分になるような溶接電流，溶接電圧および溶接速度を選定し，欠陥のないように溶接しなければならない。溶接開始点の溶け込み不足とスラグまき込み，ならびにクレーターの不正形状とひびわれにはとくに注意しなければならない。

〔解説〕 溶接作業に要求される大切な条件は，溶け込みが十分でしかも欠陥のない溶接を行うことである。

溶け込みをよくするには，溶接電流を大きくして母材に与える熱量を増すことが有効であるが，それに伴って溶接速度を速めることになる。また，溶接電流をあまり大きくすると母材に与える熱影響が大きくなり，溶接部に悪影響をおよぼす結果となる。一方，溶接速度があまり速すぎると，溶け込みが不十分になりがちである。したがって，溶接電流の大きさは溶接棒の種類によって多少の相異はあるが，ある範囲の適正な値がある。多くの場合，メーカーによってその溶接棒に適する値が示されているから参考にするとよい。しかし，できれば簡単な試験として，2枚の板を直角に組み合せた後，メーカーの示す適正電流の近くのいろいろの大きさの電流ですみ肉溶接を行い，溶接金属の流動，外観，溶け込みの状態，スラグの含有状態および破面などを見ることにより適正な電流を選ぶとよい。実際の施工にあたっては，各層の施工，溶接姿勢，板厚などによっても適正電流は変化するから注意しなければならない。

溶接速度は単位時間に溶ける溶融棒の重量，すなわち溶融速度によって定まる。溶融速度は溶接棒の被覆材の種類によって異なるが，同じ溶接棒を用いる場合は溶接電流の大きさに比例する。従って，溶接棒とそれに対する適正電流が定まれば，溶接速度もおのずから定まるものである。しかし，一般に1層の溶接を行うような場合には，溶接棒の先端が丁度溶融池のすぐ前におかれているような溶接速度を保つようにするのがよい。溶接速度が遅過ぎると溶融金属がアークの先に流れ出し，スラグまき込みの原因となる。

このほか，溶接棒を運棒するときに注意すべきことは，アークの中心を正しく底に向け，底の部分の溶け込みを十分にすることである。それとともに，アークの長さおよび溶接棒の保持角度を常に正しく保つようにしなければならない。ウィービングを行う場合にはその幅は溶接棒の直径の3倍以下とするのがよい。

溶接開始点の母材は大気とほぼ同じ温度であるから，溶接部から母材への温度こう配が急なため，大きな電流を用いて母材に与える熱量を大きくしないと，その部分の溶け込みが不足する。しかし，あまり溶接熱を高くすると収縮応力が大きくなったり，アンダーカットやスラグまき込みを生じたりするので注意して施工しなければならない。

溶接終了点は温度こう配が最も急で，その後に熱および溶融金属が補なわれないので急に冷却して，最後に冷却する中央部に凹みを生じ，この形状のためにこの部分に収縮応力が集中し，他の箇所よりもさらに大きい応力を生ずる。このような溶接終了点のつぼ状の凹部をクレーターと称し，溶接部のうちで最もひびわれを生じやすい。クレーターの形の不正は溶接に対する注意が足らないことを示すもので，応力集中の原因となり，ひびわれの発生を助長するものであるから，施工にあたってとくに注意しなければならない。

低水素系溶接棒を使用する場合は，溶接の始端，終端にブローホールを生じやすいからとくに注意する必要がある。

各層ごとの清掃　69条

> 各層の表面は，次層の施工前にスラグ類を十分に除去しなければならない。

〔解説〕 母材の温度の低い最初の1，2層の溶接においては，スラグを除去しにくい。また，各層の溶接金属の重なり部分や，母材との重なり部分には，アンダーカットを生じやすく，この中に入ったスラグは除去しにくい。このようなスラグをそのままにしておいて次層の接溶を行うと，スラグの流動性が不十分なため，表面に浮び上らず，不純物として溶接金属の中に混入し，溶接部の強度を低下する。このために，各層の施工にあたっては，スラグやスパッターなどを十分除去してから次層の溶接を行うようにしなければならない。

突合せ溶接　70条

> 突合せ溶接においては，表溶接，裏溶接が重なり合うよう十分な溶け込みを確保しなければならない。裏当て板を用いる突合せ溶接では第一層の溶け込みを十分にし，ひびわれおよびスラグまき込みなどの生じないようとくに注意しなければならない。
>
> 重要な突合せ溶接の両端には，継手と同じ開先をつけたタブプレートを仮付けして溶接を行い，溶接終了後タブプレートを除去し，溶接端部を仕上げなければならない。

〔解説〕 突合せ溶接においては，溶け込みを完全にし，不溶着部を残さないことが最も重要な事項である。このため，手溶接の場合は健全な溶接層まで裏はつりを行い，裏溶接しなければならない。

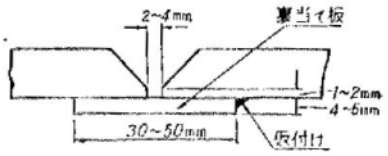
自動溶接の場合は，溶け込みが深いから，手接溶のように完全に裏はつりする必要はないが，実験によって溶け込みの程度と，第一層の重なり具合を確認してから溶接することが重要である。

突合せ溶接継手の第一層は，開先底部の形状の関係で欠陥を生じやすく，また急冷のため溶接金属の性質もあまりよくないから，手溶接のように溶け込みの少い場合には，これをはつり取り，自動溶接の場合は裏から再溶融することがよい継手をうるための条件となる。

裏はつりの方法としては，チッピング，ガスガウジンクなどもあるが，アークエアガウジングによるのが騒音もなくよい結果がえられる。

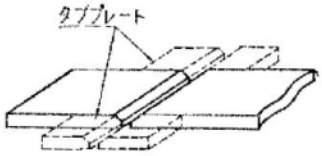
裏はつりのできない継手で裏当て板を用いる場合，この目的は第一層の溶接による収縮ひずみに対する抵抗をますと同時に，溶け込みを十分にするためのものであって，一般に図—70・1に示すものが適当とされている。この場合，裏当て板と母材とは密着させることが重要である。

図—70・1



なお外側のフランジプレートを突合せ溶接する場合に，内側のフランジプレートを裏当て板の代りに利用してはならない。やむをえずこのような溶接を行う場合には，16条の規定により溶接部の許容応力度を下げなければならない。

図—70・2



溶接部の欠陥は，その開始点と終了点に生じやすいことは68条に述べたとおりである。従って，重要な突合せ継手では，この欠陥を除くために継手の両端に図—70・2に示すような継手と同じ開先をつけたタブプレートを仮付けして，この部分まで延長して溶接を行った後タブプレートを除去し，仮付け部の母材の両側面を他の面と同一面に仕上げるようにしなければならない。なお，継手の強度を試験する場合には，タブプレートの寸法を試験片をとりうる大きさにしておいてこの部分から試験片を切り取るようにすると便利である。

なおタブプレートを取除く際に，ハンマーで叩き落したりすると母材を損傷することになるから，ガス切断機でていねいに切取った後仕上げを行わなければならない。

すみ肉溶接　71条

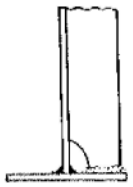
> 材片のぐう角部で終るすみ肉溶接は，ぐう角部を回って連続して溶接しなければならない。
>
> 現場継手のためにすみ肉溶接を完了しないでおく場合には，その端部を十分溶け込ませるように注意し，現場溶接に先だち，その部分のひびわれを検査し，不良箇所を除いた後溶接するようにしなければならない。

〔解説〕 すみ肉溶接，特に側面すみ肉溶接の端部には応力集中を生ずる。従って溶接終了点または開始点のような欠陥を生じやすい部分が応力集中部分と重なることは好ましくないので，材片のぐう角部で終るすみ溶接はぐう角部を回って連続して施工しなければならない。

すなわち，材片のぐう角部を回って溶接線が連続している場合には，ぐう角部の手前で一度アークを切り，溶接姿勢を整えた後，クレーターを完全にうめてからぐう角部を回って連続して溶接を延ばすようにしなければならないのはもちろんであるが，溶接線が材片のぐう角部で切れている場合でも，同じ趣旨から，ぐう角部を回って少くともサイズの2倍以上の長さに回し溶接を行わなければならない。回し溶接が不可能な場合には，溶接終了点においてサイズの2倍ないし3倍の長さに返し溶接を行うのがよい。プレートガーダーのフランジプレートに補剛材を取り付けるためのすみ肉溶接はこのような施工が困難であるが，図—71・1に示すように，補剛材のぐう角部に適当な穴をあけ，穴の向かう側から溶接棒を引き出すように溶接を行うのがよい。

現場でプレートガーダーを突合せ溶接する場合には，フランジおよびウエブの継手の溶接に際して拘束を少くするために，継手から約 20 cm の範囲のフランジプレートと腹板との工場すみ肉溶接は施工しないでおくほうがよい。しかしこの部分は溶接端部となるので，溶け込みやクレーターの処理が不十分な場合には，運搬中にひびわれを生じやすいので，施工にあたって注意しなければならない。またこのひびわれは母材まで発展する可能性もあるので，このような箇所は現場溶接に先だって入念に検査し，ひびわれが入っている場合には，76条の規定に従って不良な溶接部を削り取った後再溶接しなければならない。

図71—•1



自動溶接の施工　72条

自動溶接の施工は，とくに次の事項に注意して行わなければならない。

1. 溶接面およびその隣接部分は，溶接に先だってとくに入念に清掃し溶接面の黒皮も除去しなければならない。
2. 心線およびフラックスはとくに乾燥したものを用い，溶接は乾燥した状態で行わなければならない。
3. 開先はとくに入念に加工しなければならない。
   突合せ溶接の開先およびすみ肉溶接される材片は密着させるのを原則とし 1 mm 以上のすきがあってはならない。
4. 本溶接の一部になる仮付けはとくに少くし，被覆材に含まれる有機物の少い溶接棒を用いて行うのがよい。
5. 心線とフラックスの選択，材片相互の位置の確保，電流および溶接速度などに注意し，できるだけ実験的な検討を行って溶接するようにしなければよい。
6. 溶接機は電源の変動の影響を受けないよう十分な電圧を確保できる状態におき，その性能を十分発揮できるように調整しておかなければならない。

〔解説〕 自動溶接の特徴としては作業能率が高く，溶け込みが深く，かなり厚い板でも1層で溶接できること，溶接部が均一で変形が少いことなどの長所があるが，大きい電流を用い，溶接速度が速く，熱影響も大きいので，手溶接の場合に比べて施工上とくに注意しなければならない事項が多い。自動溶接法としては現在わが国ではユニオンメルト法が多く用いられているので，この工法に対する施工上の注意事項を主眼としてこの条に規定した。

自動溶接といってもアーク溶接である以上この節にある施工上の諸規定に従わなければならないことはもちろんであるが，自動溶接は湿気・油・さびなどにとくに敏感で，これらが溶接面に附着しているとブローホールを生ずるので1項および2項のようにとくに溶接面およびその隣接部分の清掃と作業環境に注意するように規定した。

また，自動溶接では大きい電流を用い，溶け込みも深いので，底にすきがあったり，開先面や開先角度の加工が不正確であると，板が溶け落ちて溶融金属が流れ落ちることがある。しかし，溶け落ちを恐れるあまり溶接電流を小さくすると溶け込みの不足をきたすので，3項のように規定した。また，仮付けは本溶接にさいしてブローホールを生じやすいので，この欠点を防止するために4項の規定を設けた。

自動溶接では通常1層で施工するので，56条で述べたような余盛による溶接金属の焼鈍効果が期待できないので，溶接部に柱状組織を形成し，これがち密に集中するとひびわれの原因となる。したがって，施工に当っては用いる鋼材と溶接条件に最も適したワイヤおよびフラックスを選定することが大切である。その他施工にあたって注意しなければならない事項を5項に規定した。

ユニオンメルト法の基本的な原理はアーク電圧の変動に応じて溶接棒を送り出す速度を調整することである。従って溶接機の使用にあたっては，アーク電圧の変動による溶接棒の送り出し速度の調整が十分に行われるように整備しておかなければならない。また，溶接機の移動速度は溶接電流や板厚などに応じて調整するものであるから，均一な溶接を行うためには，移動速度にむらがあってはならない。また，フラックスの供給も順調に行われるように調整しておかなければならない。

溶接電圧が低いと，溶け込みが深くなる傾向をもつが，同時にひびわれを生ずる傾向が強くなるので十分な電圧を確保できる状態におかなければならない。6項はこのような趣旨で規定したものである。

自動溶接はその特性上から使用範囲に限界があり，溶接線の短いものや，複雑な構造には活用できない。このような場合に手溶接に代る方法として，E. H. V. (Elin-Hafergut 法)，重力式，炭酸ガスを使う各種の半自動溶接が使われているが，これらについては，それぞれの方法に応じて，適当な注意が必要である。

溶接と併用するリベット　73条

溶接と併用するリベットは，溶接後にリベット締めするのを原則とする。

〔解説〕 溶接とリベットを併用した継手では，リベット締めした後溶接を行うと溶接に対する拘束が大きくなるので好ましくない。したがって，溶接を行った後にリベット締めするのを原則とした。ただし，リベットを主体とした継手において，ろう水防止の目的で溶接を行う場合などはこの限りでない。

予　　熱　74条

SS41，SM41 に対しては板厚が 32 mm 以上の場合

SM50 に対しては板厚が 25 mm をこえる場合には溶接線から少くとも 10 cm の範囲内の母材部分が溶接時 50°～100°C になるように予熱しなければならない。

〔解説〕 板厚が大きい場合に多層溶接を行うことになるが，最初の層の溶接においては，母材の熱容量が非常に大きく，溶接金属の急冷を避けることができない。このために，溶け込みの不足およびブローホールやひびわれの発生を招くことが多い。このような欠陥を除くために，軟鋼と高張力鋼とに分けて上記のように規定した。SM50 以上の高張力鋼は強度をあげるために，M_n，S_i などの合金元素を添加しているので等価炭素量が増し軟鋼より硬化度が強いから予熱すべき板厚を下げたのである。また予熱温度は 100°C 以下でははっきり認定しがたいので 50°～100°C と範囲を広く取った。

自動溶接の場合は，溶接電流が高く入熱が大きいため硬化の程度は手溶接に比べるとわずかであるし，水素の発生量がきわめて少く，水素脆化の危険性もないので予熱は必要ない。ただし，自動溶接の場合でもブロホールなどの欠陥が発生することを防止するためには予熱が有効である。

また，低水素系の溶接棒は水素脆化の危険性が少く，等価炭素量の高い鋼材に適するので，予熱の温度も幾分低くしてよいと考えられる。ASTM の規定でもこのような趣旨のことを採り入れて予熱温度を半減しているので，それにならってこの条でも予熱温度を 40°C まで下げてよい。

天　　候　75条

工場溶接は屋内で行うのを原則とする。

雨・雪または強い風などの中では溶接を行ってはならない。ただし，天候の影響を受けないように十分な防護処置を行った場合には，監督者の許可を受けて溶接を行うことができる。

〔解説〕 溶接金属の性質を均一にし，溶接部の信頼度を高める重要な要素の一つは，溶接工の作業条件をよくすることである。このためには溶接工が常に楽な姿勢で作業ができるようにすること，良好な照明設備を設けること，天候の影響を受けないようにすることなどがあげられる。従って，工場溶接は屋内で行うのを原則とした。工場によっては，設備が不十分なため，屋外で溶接を行うこともあるが，この場合には，上記の点に注意して作業条件をよくするように心掛けなければならない。

現場溶接はほとんどの場合屋外作業であるので，雨・雪などの中で溶接を行うと，溶接面やその隣接部分に水分が付着し，電撃の危険も生ずる。また，溶接工がほかのことに気をうばわれがちになり，その技能を十分発揮することができないので，このような天候のもとで作業を行ってはならない。また，溶接部の冷却速度は風速に支配され，風速が大となると非常に増大する傾向をもつものであり，同時に風によりアークが流されてブローホール混入の原因となるなどの障害も起るので，溶接中風が直接溶接部にあたらないように注意するとともに，アークが極端に流される程度の強い風の時には溶接を行わないようにしなければならない。ただし，このような天候の悪影響を受けないように十分な防護処置を行った場合には，監督者の許可をえて作業を行ってもよい。

気　　温　76条

> 気温が 0°C 以下の場合には，溶接を行ってはならない。ただし，気温が −15°C 以上の場合において溶接線から 10 cm 範囲内の母材部分を溶接時に適当な温度になるように予熱すれば溶接を行うことができる。

〔解説〕 溶接前の母材の温度は通常気温とほぼ等しいから，気温が低いときに溶接を行うと，溶接部の温度こう配が非常にきつくなるので，信頼しうる溶接の施工は望めない。従がって気温が0°C以下の場合には溶接を行ってはならないこととした。しかし，工程の都合上施工を急ぐ場合などには，気温が −15°C 以上であれば 64 条を参考にし予熱温度を決める必要があるが，一般には 50°C 程度以上に予熱を行って溶接することができることにした。なお，気温が −15°C より低い場合には溶接を行ってはならない。

溶接部の欠陥　77条

> 溶接部には，われ・有害なブローホール・スラグまき込み・オーバーラップ・アンダーカット・不整な被面およびクレーター・のど厚およびサイズの過不足などの欠陥があってはならない。

〔解説〕 溶接部に生ずるおもな欠陥を示したものである。

ひびわれにはその発生位置および形状で分類すると溶接金属に生ずる縦・横および弧状ひびわれ，クレーターに生ずる縦・横および星状われなどがある。溶接金属に生ずる縦われは最も一般的なもので，主として第一層の溶接において溶接電流が大きすぎたり，溶接速度が速すぎりたり，拘束が大きい場合などに生ずる。また，横および弧状われは溶接金属の冷却速度がはやく，かつ，もろくなった場合に生ずる。このようなひびわれは溶接棒の選択・予熱などにより防止することができる。クレーターは冷却速度が速く，溶接金属の量も少いので最もわれが発生しやすい。できあがった溶接部ではひびわれの発見がむずかしいが，クレーターにひびわれを生じている場合には，他の溶接部にひびわれを伴いやすいので注意しなければならない。

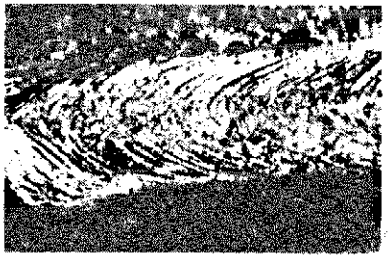
溶接金属およびクレーターに生じたひびわれを写真—77・1 および 77・2 に示す。

溶接金属中に発生するブローホールは銀白色を呈し球状のものと細長い形状のものとがある。これは溶接時に溶接金属中に飽和している水素や一酸化炭素が冷却中にガスとなって放出されることが原因であるといわれている。スラグまき込みはスラグの流動性が悪く，かつ，溶接金属の冷却速度が速い突合せ溶接の第一層などに起りやすい。これはいずれも溶接棒の質および溶接工の技能に左右されるもので，溶接金属の質を低下するから施工にあたって注意しなければならない。

溶接部の形状の不良なものとして写真—77・3 に示すようなものがあるが，いずれも強度の不足や応力の集中を招くので施工にあたって注意しなければならない。

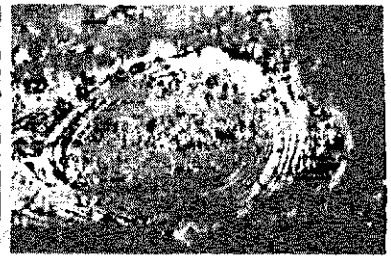
図—77・1

溶接金属のひびわれ

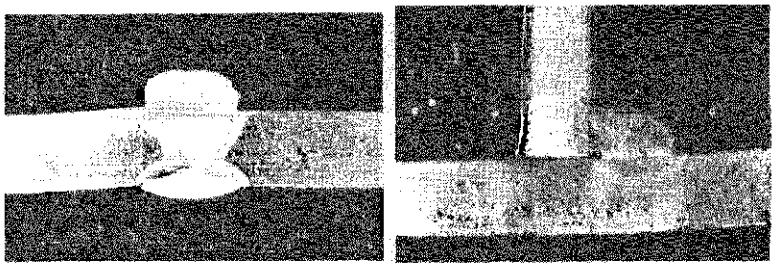


図—77・2

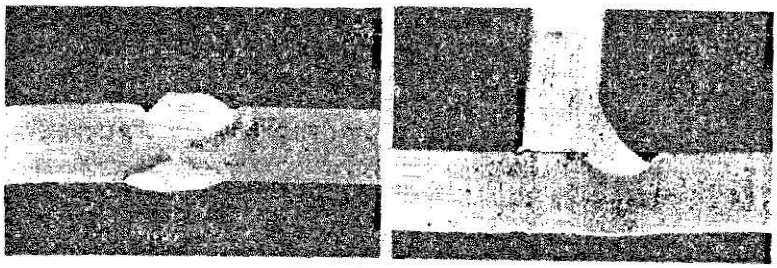
クレーターのひびわれ



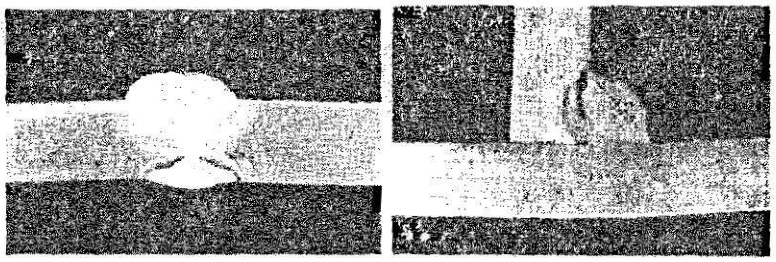
図—77・3



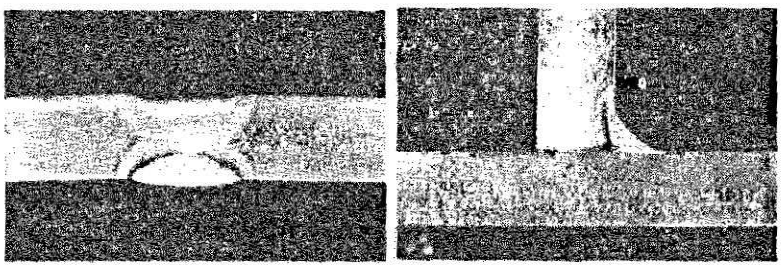
オーバーラップ



アンダーカット



のど厚過大



のど厚不足

不良溶接の手直し　78条

77条に示す欠陥は，入念に手直ししなければならない。
溶接金属にわれの入った場合には，溶接金属を全長にわたって削り取って，再溶接しなければならない。放射線透過検査・磁気検査・しん透液検査などの方法でわれの限界を明きらかにした場合でも，われの端から少くとも 50mm 以上削り取り，手直ししなければならない。

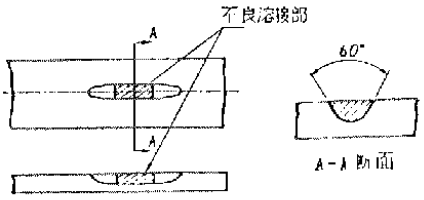
〔解説〕 77条に示すような欠陥を持つ不良溶接は，それぞれに適した手直しを行わなければならない。また不良溶接を生じた場合は，その原因をしらべ再び欠陥の生じないよう注意することが肝要である。

ひびわれ・有害なブロホール・スラグのまき込み・不整な波面およびクレーターなどの欠陥を持つ不良溶接は，チッピングハンマーまたはグラインダーなどを使用して，母材を傷つけないように入念に，かつ完全に除去しなければならない。除去する深さは溶け込み部分までとする。削り取りの要領は図—78・1 に示すようにおわん型に削り取り，溝の開先角度を 60° に保つようにするのがよい。再溶接にあたっては，他の部分が溶接されているため拘束が大きいので，直径 4 mm 以下の細目の溶接棒を用いてていねいに行わなければならない。

アンダーカットやのど厚の不足した溶接は盛り足しをしなければならない。またオーバーラップやのど厚の過大な溶接はグラインダーなどで削り取り，正しい形にしなければならない。

われは溶接部の欠陥のうちで最も危険なものであるから，とくに注意してその発見に努めなければならない。われの限界がわからない溶接部は溶接金属を全長にわたって削り取らなければならない。

図—78・1



われの存在およびその限界の発見のためには，放射線透過検査・磁気検査・しん透液検査などの方法によるのがよい。一般にわれに沿って溶接金属をはつってゆけば，その限界を確かめることができる。ひびわれが母材にまでおよんでいる場合には，母材を取りかえなければならない。ただし，軽度なもので位置的にも許しうる場合には，溶接によって修理することがあるが，あまり用いてはならない。

ひずみの補正　79条

溶接による著しいひずみは，監督者の指示に従って手直しするものとする。

〔解説〕 溶接はなるべくひずみを生じないように施工すべきであるが，ひずみの発生を避けることは困難である。強度上ならびに使用上さしつかえない程度のわずかなひずみはそのままにしておいてよいが，さしつかえる場合には，監督者の指示に従って手直しするものとした。

手直しにあたっては，ひずみの生じた原因をよく調査して，母材の組織をいためたり，構造物に無理を生じたりしないような方法を選ばなければならない。

塗　　装　80条

塗装は監督者の承認を受けるまで行ってはならない。

現場溶接を行う部分およびこれに隣接する幅 20 cm の部分には工場塗装を行ってはならない。ただし，さびを生ずるおそれのある場合にはボイル油を塗布してもよい。

〔解説〕 溶接部の検査前に塗装を行うと，溶接部のひびわれその他の欠陥の発見が不可能になるので，監督者の承認を受けるまで塗装を行ってはならないことにした。

塗装は鋼道路橋製作示方書の5章工場塗装および8章現場塗装に定められた方法によって行えばよいが，とくに溶接部附近にはスパッターやスラグなどが，附着していることが多いので，これらを完全に除去してから塗装するようにしなければならない。

現場溶接を行う部分およびこれに隣接する幅 20cm の部分には工場塗装を行ってはならない。これは溶接熱により塗料が変質することはもちろんであるが，63条にも述べたように，溶接面およびその隣接部分に塗料があると，溶接金属に悪影響を与えるからである。

ウォッシュプライマーを除去しないで，その上に直接溶接を行っても，ウォッシュプライマーの品質によってはさほど溶接に影響を与えず，清掃を必要としないものもあるが，有害なブローホールの発生原因となることもあるので，その施工には十分注意しなければならない。とくにさびを生ずるおそれのある場合には，ボイル油を塗布してもよい。

3章　施　　工

1節　一　　般

一　　般　52条

溶接は正確ていねいに行い，溶接による収縮力，ひずみなどをなるべく少くするようにしなければならない。

溶接の寸法は設計図のとおりとしなければならない。

品質の異なる鋼材を用いる場合には，それぞれの鋼材がめいりようにわかるようにしなければならない。

〔解説〕　溶接の施工に関する一般原則を示したものである。

溶接橋では施工の方法，溶接の良否が橋の強度に直接大きな影響をもつものであって，不良な溶接のために予想外の大事故を招いた例も少くない。したがって，事前に溶接方法その他を考慮して設計することが大切であるが，いかに優秀な設計であっても，施工が悪ければ決定的な欠陥を残すことになるので，施工はとくに慎重に行わなければならない。このためには工事に従事する技術者および作業員が責任観念と研究心をもって，すみずみまで細心の注意を払って施工することが大切である。

溶接では，10条の解説にも述べたように，溶接部の冷却，収縮および母材ならびに既に固まった溶接部による拘束のために溶接部に収縮応力を生ずる。収縮応力のうちある部分は溶接作業の進行に伴って減少するが，一部は溶接後まで残留応力として残る。また鋼材は溶接中の膨脹，収縮によって変形する。この変形のことを一般に溶接ひずみと呼んでいる。

ひずみと収縮応力は相互に密接な関係をもち，ひずみを小さくしようとすると収縮応力が大きくなる傾向があるが，とくに溶接線に直角方向の収縮ひずみを小さくしようとしてこの方向に対して大きな拘束を与えると，致命的な欠陥を残すことになる。いずれにしても，収縮応力とひずみは溶接条件や溶接方法によって大きな差があるから，これらをなるべく少くするように努力しなければならない。しかし，いかに優秀な施工を行っても，ある程度のひずみとくに寸法の縮まりは避けることができない。したがって，仕上りの諸寸法が正しく設計図に一致するように，あらかじめ考慮しておく必要がある。

溶接の寸法は設計図のとおりとしなければならない。設計に示された溶接熊手の長さは19条に規定した有効長であるから，施工にあたって注意しなければならない。寸法の不足は強度の不足を招くので厳に慎まなければならない。また，寸法の過大なものはいたずらに熱影響を大きくするから好ましくない。

工事に使用される鋼材が多種にわたる場合は，鋼材の機械的性質のみならず，溶接性も鋼材の種類によって異なるので，溶接棒もそれに応じたものを使用しなければならない。外観上その鋼材の種別を見分けることはできないので，適当な方法，たとえば鋼材の種類を応じて異なる色のペイントを塗るなどの方法でその材質を識別できるようにしなければならない。

溶接順序　53条

溶接の順序は，溶接構造に十分な知識と経験を有する技術者が決定し監督者の承認を受けるのを原則とする。

溶接交さ部の溶接順序については，特別な考慮をしなければならない。

〔解説〕 収縮応力や溶接ひずみを少くするためには，溶接の順序と方法がきわめて重要な事項である。従って，溶接構造に十分な知識と経験を有する技術者があらかじめその知識と経験にもとずいて最も適当と考える溶接順序と方法とを決定し，それに基づいて施工することが必要である。

溶接の順序に関する基本的な考え方としては次のような点をあげることができる。

(1) 溶接後の収縮ひずみをなるべく少くするとともに，収縮に対して大きな拘束を与えないようにすること。

(2) 一つの継手はできるだけ同じ日のうちに溶接を完了し，中途半端な溶接をしないこと。

(3) 常に溶接熱の分布が均等になるように心がけ，一時に一箇所に多量の熱を集中しないようにすること。

(4) 先の溶接によるひずみを次の溶接で打ち消すようなくふうをすること。

(5) 二つの平行な溶接は溶接の方向を常に同じ方向に保つこと。

プレートガーダーの現場継手のように，交さ部の溶接を同時に施工する場合には，溶接の種類，板厚などによる収縮ひずみ量の相異，溶接熱の影響およびあとから行う溶接に対する拘束など注意しなければならない事項が多いので，溶接交さ部の溶接順序についてはとくに慎重な考慮を払わなければならない。

また，未経験な構造の溶接順序は実験を行って決定するのがよい。

溶接姿勢　54条

溶接は，原則として，ポジショナーなどの適当な治具を用いて，下向で行う。

〔解説〕 溶接部が十分な強度をもつようにするためには，溶接工がなるべく自然な姿勢で溶接作業を行えるようにするとともに，溶接金属の移行が理想的に行われ，収縮ひずみも少く，でき上りの形状も正確なものがえられるようにしなければならない。このためには，回転わくなどのポジショナーを使用して，すべての溶接がなるべく下向で，かつ，ひずみに対して釣合いのとれるよう施工しなければならない。(11条参照)

立向，上向，横向などは溶接姿勢が不自然なばかりでなく，溶接金属の移行も円滑に行われにくく，スラグのまき込みなど溶接部の強度に悪影響をおよぼす結果となる。こうした溶接姿勢による欠点は，溶接棒の選定によってある程度は補うことができるが，下向で溶接を行う方がはるかに良好な結果がえられる。

主ゲタの現場溶接　55条

主ゲタの現場継手の溶接は継手の１つの溶接を完了するまで継続して行うのを原則とする。

〔解説〕 プレートガーダーの主ゲタの継手の溶接を現場で行う場合の基本的な事項を示したものである。

現場で溶接を行う場合には，よほど注意しても作業用設備が不完全になりやすく，また作業の管理も十分でない場合が多い。とくに電源が遠く，溶接機の二次導線が長い場合には，電圧降下による影響をうけることになる。また，一般に作業足場などの関係で無理な溶接姿勢で溶接を行いがちであり，気象条件などのために悪影響をうけることにもなりがちである。従って，原則的にはなるべく現場溶接を避けて工場溶接によるのがよいが，運搬方法などの関係で，どうしても現場溶接によらなければならないことがある。この場合には，54条で述べているように，ポジショナーを使用して溶接が下向で行えるようにし，一継手の溶接をできるだけ同じ条件で継続して行い，完了するようにしなければならない。やむをえず２回に分けて溶接を行う場合には，予熱などの方法によって溶接中断前と同じ条件を確保するように努め，また溶接後の急冷却を避けるようにするなどの慎重な考慮が必要である。

余　　盛　56条

余盛はのど厚の15%以下とし，３mmをこえてはならない。とくに表面仕上げを要する継手では，10%ないし15%の余盛を行った後平滑に仕上げる。この際削り過ぎないようにとくに注意しなければならない。

〔解説〕 余盛の役目は，急冷を受けた表面のあらい結晶組織を，さらに溶接を重ねることによって一種の焼鈍効果を与えて，微細な結晶組織にしようとするものである。しかし，余盛りがあまり大きいと母材に過度の熱影響を与え，断面が急変して応力集中の原因となるので好ましくない。そこで，一般に余盛の大きさは，のど厚の15%以下とし３mmをこえてはならないことにした。

とくに応力集中や疲労強度を考慮する必要のある箇所では，表面を仕上げるが，この際平滑を強調するあまり，削り過ぎて板厚よりも凹んだ仕上げを行うと，溶接部の有効断面が母材よりも小さくなるので注意しなければならない。

すみ肉溶接における余盛の形状は，使用する溶接棒や溶接姿勢によって多少異なるが，一般に図―18・1に示すとおりである。

2 節　溶接作業員および溶接器材

製作技術者　57 条

製作技術者は橋の構造に十分な知識を持ち，溶接橋の製作に経験がある者でなければならない。

〔解説〕 製作技術者は，工場または工事現場に常駐して直接溶接工事を指揮監督し，工程どおり円滑に工事を進め，欠陥のないものを作るように努力する責任をもつ。とくに溶接橋の場合には，工事全般のできばえが溶接工の能力に左右される割合が大きいので，溶接工を正しく指導し，能力を最大に発揮できるようにしなければならない。また特別な変更の必要が生じた場合には，直ちに監督者に申し出て，正しい処置をすみやかになしうるようにしなければならない。このためには，十分な溶接工事の実務経験と鋼橋に関する知識を持つ者を製作技術者として選ばなければならない。

溶　接　工　58 条

溶接工は JIS Z 3801 溶接技術検定における試験方法ならびにその判定基準に定められた試験の種類のうち，その作業に該当する試験（またはこれと同等以上の検定試験）に合格した者でなければならない。

溶接工は 6 カ月以上溶接工事に従事し，工事前 2 カ月以上，引き続きその工場において溶接工事に従事した者でなければならない。

請負者はその工事に従事する溶接工の名簿を提出し，監督者の承認を受けなければならない。

自動溶接の溶接工も，それぞれの溶接法，溶接装置について十分な技術と経験を有する者でなければならない。

〔解説〕 57条でも述べたように，溶接では溶接工の能力が工事全般のできばえに支配的な影響をもつものであるから，とくに 1 条設け，溶接工として必要な事項について規定したものである。

JIS Z 3801 の試験は溶接姿勢，溶接作業の区分（板厚），溶接方法の区分（アーク溶接，ガス溶接，裏アテ板の有無）によって多くの種類に分かれており，また橋の構造，使用板厚，工場の設備によって必要とする技能が分かれる。

したがって試験の種類を一概に定めることができないので各工事ごとに定めることにしたものである。

同じ溶接器材を用いても，電流の強弱や，溶接工の運棒の方法によって，溶接部に生ずる欠陥の程度は異なるものであり，また溶接順序の可否によって，溶接後の収縮応力やひずみの程度もかなり異なるものである。したがって，溶接工の選定にあたっては，段取り，電流の変動，溶接棒の良否，運棒の方法および溶接順序などに十分な注意を払い，しかも，溶接中のひびわれなどの有害な欠陥の発生を積極的に製作技術者に申し出て，その指示を受けるような溶接工を選ばなければならない。

資格をもった溶接工でも，しばらく溶接作業から離れていると作業に対する勘が鈍り，良好な作業が行えなくなる。また製作技術者がその支配下にある溶接工のくせを知っておくためには，工事前ある程度の期間，その工場において溶接工の作業状況を観察する必要がある。このため 2 項でその工事に従事する溶接工としての必要な条件を規定した。

いずれにしても，溶接工の技能は工事のできばえにきわめて重大な影響があるので，請負者は，その工事に従事する溶接工の名簿を監督者に提出し，その承認を受けなければならないとにした。

自動溶接の溶接工については，手溶接の場合のような JIS 規格が制定されていないが，単に自動溶接機を操作できるだけでは立派な溶接はできないので，手溶接に匹敵する自動溶接技術と経験をもたなければならない。

なお，CO_2 シールドなどの半自動溶接が使われる機運にあるが，これらについても自動溶接と同様な注意が必要である。

溶 接 棒 59条

溶接棒は溶接する鋼材の性質に適応したものを選定しなければならない

応力を伝える溶接に用いる溶接棒の直径は，4 mm ないし 6 mm を標準とする。

溶接棒は入念に取り扱い，被覆剤がはげまたはよごれたものおよび湿気を吸収したものなどで，作業性および強度の低下するおそれのあるものを用いてはならない。このため乾燥器の使用などの考慮を必要とする。

溶接棒を赤熱するまで用いてはならない。

〔解説〕 溶接棒としての必要な性質については，既に3条で述べたとおりであるが，この条では施工上守らなければならない事項について規定した。

溶接橋に使用される鋼材は本示方書に規定されている SS 41，SM 41，SM 50 のほか，現実には引張強さ 60～70 kg/cm² の 60 キロ鋼なども使用されている。溶接棒は使用する鋼種，継手形式，および溶接姿勢などに応じて最も適当したものを選定しなければならない。従ってその種類も非常に多くなるので，その使用方法を誤まらないよう十分な注意が必要である。SM-50 までの鋼材に適応する溶接棒は JIS 規格が制定されているから JIS に合格したものを使用すればよいが，60キロ鋼に対する溶接棒およびすべての鋼種に対する自動溶接の心線とフラックスは JIS 規格がないので，性能がはっきりわかっているものを使用するか，あるいは必要に応じて性能試験を行って選定しなければならない。

溶接の作業能率をよくするには，なるべく太い径の溶接棒を用いるのが効果的であるので，諸外国においても 7 mm ないし 8 mm といった太い溶接棒を使用しているところもある。しかし，一般にわが国では，溶接棒の強度特性は，同じ銘柄でも心線の細いものの方が太いものに比べてまさっているようである。従って，現状においてはあまり太い径の溶接棒の使用を避ける意味から，4 mm ないし 6 mm を溶接棒の心線の標準直径として規定したものである。とくに下向の第一層とか，上向，立向のように溶接中われの生じやすいところでは，われ発生の傾向が少い溶接棒を用いることが大切である。

溶接棒における被覆剤の目的としては，被覆剤の燃焼によって生ずるガスおよびスラグによって溶接金属の酸化窒化を防ぐとともにその精錬作用も行うこと，溶接金属の急冷却を防ぐことおよびアークの発生ならびに保持を容易にし，熱の集中性をよくすることなどである。したがって，被覆剤がはげているとこのような目的を達することができないし，また，汚損している場合には抵抗が増大して溶接棒が赤熱する原因となり，被覆剤の偏心がはなはだしいとアークが被覆の薄い方に押されて正しい運棒をさまたげることになるので注意しなければならない。

湿気を含んだ溶接棒や，長い間倉庫に放置されていたような溶接棒を使用すると，溶接金属に対するスラグの被覆が不完全になり，溶接金属の質が低下する。またスラグが側面に流れ出し，スラグまき込みの原因ともなる。従って，溶接棒は常に乾燥した状態で使用しなければならない。とくに低水素系溶接棒については吸湿に注意し開封後 12 時間以上経過したものは 300°C で 1 時間以上乾燥しなければならない。このため，工場および工事現場に乾燥器を備え，溶接棒を貯蔵する倉庫の床を地面より高くするなどの注意が必要である。

ホルダーがよごれていると，その抵抗による熱のため溶接棒が赤熱することがある。また，あまり短くなるまで溶接棒を使用する場合にも赤熱することがある。このような溶接棒を赤熱したままで引き続き使用すると，スパッターが多くなって溶接金属にブローホールを生ずる原因となるので注意しなければならない。

機械器具　60条

溶接，切断およびはつりなどに用いる機械器具は正しい結果をえられるものを用い，常に良好な状態に保たなければならない。

〔解説〕　この条では，溶接工事に使用する機械器具の備えるべき条件とその取扱いについて一般的な注意事項を述べたものである。

機械器具を大切にし，常に整備しておくような溶接工は，それだけでも全般の技能を信用することができるものであるから，監督者および製作技術者はこの点とくに注意する必要がある。

溶　接　機　61条

溶接機は十分な容量をもち，適正電流で安定したアークを正常に発生供給しうるものを用いなければならない。

交流溶接機は JIS C 9301 交流アーク溶接機，整流器式直流アーク溶接機は JIS C 9306 整流器式直流アーク溶接機の規格に適合するものを標準とする。

溶接に用いるケーブルは，十分な太さをもち，過度の熱を発生しないもので，溶接回路に対し有効に絶縁できるものを用いなければならない。

〔解説〕　溶接を行う場合には，最初大きな短絡電流が流れてアークを発生し，一度アークを発生すると，回路電圧によってほぼ一定の溶接電流が流れて，溶接作業が進行してゆく。作業の進行にともなって，電源や溶接回路の電圧およびアークの長さなどは若干変動する場合があるので，こうした多少の変動に対して，溶接電流の変化が最少で，広い範囲で，適正な電流，従がって，安定したアークを正常に供給できるような溶接機を使用する必要がある。また，比較的太い溶接棒を用いたり，定格使用率以上の高い使用率で使うと，溶接機が過熱して適正な電流の供給を阻害するおそれがある。このような欠点を避けるためには，溶接機の通風をよくして，温度の上昇を制御しなければならないが，それと同時に，溶接機が十分な容量をもっていて，多少の過負荷状態に対しても安全なものであることがきわめて重要なことである。

溶接機には，直流溶接機と交流溶接機とがある。直流溶接機はアークが安定していることが特徴であるが，電流の方向が一定であるためにアークの磁場の影響を受けて，いわゆる磁気吹きの現象を生じ，溶接が困難になる場合がある。直流溶接機では溶接棒を⊖に，母材を⊕に接続する正極性と，その反対の逆極性の二つの使用法があるので，それぞれに適した方法を選ぶのがよい。交流溶接機は一種の変圧機であるので，直流溶接機に比べて価格も安く，効率もよく，取り扱いも簡単であるので，わが国では多く用いられている。なお，直流溶接機のうち，整流器式については JIS C 9306，交流溶接機については JIS C 9301 に機能，定格および特性などについて規定してあるので，その規定によるのがよい。

溶接機のケーブルには，かなり大きな電流が流れる。このとき，ケーブルが細すぎたり，長すぎたりすると，抵抗のため電圧が降下，適当な電流が流れなくなって溶接作業を困難にするばかりでなく，ケーブルの過熱のために溶接作業ができなくなることもある。また，交流溶接機を用いる場合には，リアクタンスのために電流が流れにくくなることもある。

このような欠点を除くためには，なるべく太いもの，絶縁の良好なキャップタイヤケーブルを用いるのがよい。これと同時にケーブルの長さをあまり長くしないようにし，やむをえず長いケーブルを用いる場合でも遠方制御装置を設けるなどして，常に適正な電流を供給しうるようにしなければならない。また，ケーブルの途中に継手を設ける場合には，継手の性能にとくに注意しなければならない。

計　　器　62条

> 溶接回路における電流を確かめるため，計器を用意しなければならない。
>
> 必要な場合には積算電力計を備えなければならない。

〔解説〕 溶接電流の強さは，溶接部の溶け込みと強度に関係があるので，溶接作業中は，電流の変化にとくに注意し，常に適正な電流で作業が行われるようにしなければならない。溶接作業中のアークの長さの変動によって電流が多少変動することはやむをえないが，そのふれは ±10A 以内であることが望ましい。

溶接電流は溶接機附属メーターによって大体の見当はつくが，メーターが附属していないものや，附属していても不正確なものがあるから，できるだけアンメーターによって確かめるようにしなければならない。また，アンメーターほど正確ではないが，トングによって溶接回路をはさんで測定するのも一つの方法である。

監督者が工場または工事現場に常駐して，常に電流の状態を検査し，正しい溶接作業が行われているかどうかを監督できる場合は，とくに積算電力を備えておく必要はない。しかし監督者が常駐できないような場合は，積算電力計によってある程度のことは知りうるから，監督者の指示がある場合には積算電力計を備えておかなければならない。

3節　施　　工

清　　掃　63条

> 溶接を行う材片の表面は，溶接に先だって清掃しなければならない。とくに溶接面および隣接部分は，水分，さび，塗料，スラグおよびごみなどを十分除去しなければならない。

〔解説〕 溶接を行う材片の表面に，ごみ・土砂・さびなどが付着していると，材片の密着を不良にし，また溶接完了後に清掃ができない箇所も生ずるので溶接に先だって材片の表面を清掃しなければならない。

溶接面およびその付近に水分があると，アークの発生・持続が悪くなり，溶接金属にブローホールを生ずるおそれがあり，また電撃の危険もともなうので，十分ぬぐい取ってから溶接するようにしなければならない。

溶接面に付着する赤さびやはがれやすい黒皮および，塗料は十分に除去しておくのがよい。鉛や亜鉛を含む塗料は，溶接中分解して有毒ガスを発生するので注意しなければならない。また溶接面にスラグやごみなどがあると，溶接に際して完全なアークの発生・持続の障害となり，また溶接金属の中に溶け込んでその質を低下するおそれがあるから，これらを十分除去するようにしなければならない。

有害な附着物の除去にあたっては，溶接面はもちろん溶接線から左右5cm 程度の隣接部分についても行わなければならない。附着物の除去の方法は，サンドブラストによれば完全であるが，一般には，グラインダー・ケレンハンマー・ワイヤブラッシ・たがねなどを用いる。

組　合　せ　64条

溶接にあたっては適当な組合せ冶具または仮付けなどにより，材片相互の位置を正確に保たなければならない。この場合，材片に過度の拘束を与えることは避けなければならない。

突合せ溶接においては開先のルート間隔を正確に保つように注意し，著しい誤差がないようにしなければならない。また，すみ肉溶接においては材片の密着に注意し，著しいすきがないようにしなければならない。

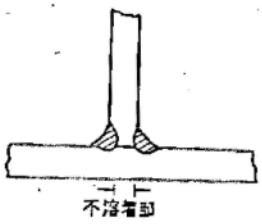
〔解説〕 溶接にあたって組合される材片相互の位置は，できるだけ正確に保つことが大切である。すなわち，接合しようとする板の中心の一致，板厚が異なるときの合すべき板の面の一致，ルート間隔の維持，直角度の確保，板のはだ合せなどの組合せを正確に行い，また，溶接中のひずみに対してもある程度のおさえをしておく必要がある。このためには適当な組合せ冶具を用いるか，または仮付の方法による。しかし，ひずみを防止する目的のために材片に過度の拘束を与えることは溶接による材片の収縮ひずみを拘束することになり，大きな収縮応力を生ずる原因となるので注意しなければならない。

組合せた材片の偏心は，全くないようにするのが望ましいが，許しうる限度としては，接合する材片の薄い方の板厚の10%程度とし，これをこえる場合には適当な冶具を用いて補正しなければならない。はなはだしい偏心がある場合には組直しを命ずるのがよい。

突合せ溶接のルート間隔は溶接法，溶接姿勢，溶接棒径などによって開先角度，ルート面などとともに総合的にきめるべきものであって，手溶接の場合はルート部の溶け込みをよくするために通常2mm程度のすきまが必要である。しかし自動溶接の場合は溶け込みが深いためルート間隔をとったり，ルート面を小さくすると焼け落ちるおそれがある上にいたずらに溶接長と収縮長を大きくすることになる。突合せ溶接部のルート間隔が不同であると溶け落ちや溶け込み不良の原因となるから注意しなければならない。

突合せ溶接では溶接が進むにつれて先に溶接された部分の膨脹，収縮によって溶接前に保持しておいたルート間隔が次第に変ってくる。これに対して仮付けのみで抵抗させようとすると，仮付けの大きさを大きくしたり間隔を小さくしたりすることになり好ましくない。その上，溶接中仮付け部分にひびわれを生ずる危険性も増大するので，適当な冶具を用いて，正しい間隔を保持するようにしなければならない。すみ肉溶接では，必らず図—64・1に示すように不溶着部が残る。この部分ができるだけ少く，また，すき間が小さいことが強度上望ましいことは明きらかであるので，材片の密着にとくに注意するとともに，その底を十分溶け込ませるようにしなければならない。

図—64・1



いずれにしても，突合せ溶接のルート間隔，およびすみ肉溶接の材片のすきは，溶接部の強度およびひずみと密接な関係をもつものであるから，常に正確に保つように心がけなければならない。

組合せ治具　65条

組合せのために用いる治具は材片の位置を確保するとともに材片に過度の拘束を与えないものを選ばなければならない。組合せ治具を部材に溶接するときは，溶接部分をなるべく少くし，除去に際してはこれをはつり取り，あとを平滑に仕上げなければならない。

〔解説〕 組合せ治具にはその使用目的によりいろいろの種類があるが，要求される性質としては次のとおりである。

1. 溶接中形状の狂いを防ぐが，溶接面内の収縮ひずみをできるだけ抑制しないこと。
2. 取付け，取りはずしが容易で，あとに悪影響を残さないこと。
3. 溶接作業をさまたげないこと。
4. 溶接順序と相関性をもつこと。

普通組合せに用いる治具にはケタとケタのとり合い，床組構造の組立てなどに用いる仮締めボルト，突合せ溶接のひずみを防止するとともに材片相互の位置を正確に保つのを目的とするもの，重ね継手における材片の密着を確保するのを目的とするものおよびT継手の角度の保持を目的とするものなどがあるが，使用にあたっては，それぞれの特性や溶接順序などを考慮して適当なものを選ぶのがよい。

組合せ治具の取り付けのためには，治具を部材に仮付けすることが多い。この場合の仮付けは材片相互の位置を正確に保ちうる最少限度にとどめなければならない。あまりに強固に取り付けると溶接中のひずみに対していたずらに拘束を大きくする結果となり好ましくない。

また，治具の仮付けであってもあまり粗雑な溶接を行わないように心掛け，その取りはずしにあたっても，たたいたり，きりとったりして母材をいためないように注意しなければならない。また，治具を取りはずした後の仮付け部は平滑に仕上げなければならない。

とくに，SM-50，60 キロ鋼など高張力鋼の場合には，小さな仮付け溶接は母材を硬化させ悪影響を与えるから，なるべく治具の溶接は行わないことが望ましい。やむをえず治具などを部材に溶接する時は溶接そのものに細心の注意を払うとともに，取りはずした後の処置に慎重でなければならない。とくに硬化のおそれのあるときはガス焔などにより焼もどしすることも必要である。

仮　付　け　66条

本溶接の一部となる仮付け溶接は最少限度にとどめ，とくに欠陥のない溶接でなければならない。

仮付け溶接の最小長は 40 mm とする。

〔解説〕 仮付け溶接は，本溶接の一部となることが多く，しかも欠陥を生じやすい溶接であるにかかわらず，わりあい軽視されがちであるが，あくまで本溶接の一部であることを認識し，なるべく本溶接の一部となる仮付け溶接はさけるとともに，やむをえず行う場合でも欠陥のないよう溶接を行わなければならない。そのためには，仮付けをする場合も本溶接を行う溶接工と同等以上の技術を持つ者を従事させ，また部材を溶接しやすい状態で組立てることが必要である。

仮付けの適当な長さは一概に決め難いが，あまり短いと硬化が著しくひびわれの原因となるのでその最小長を 40 mm と定めた。

もし，仮付け溶接にひびわれが発見されたときは底まで完全にはつり取ってから再溶接しなければならない。

開先の加工　67条

開先は設計図に示す形状どおりに正確に加工し，その面をなるべく平滑にしなければならない。

手動ガス切断は，原則として用いてはならない。

〔解説〕 開先の形状はひずみ，溶け込みの状態，溶接作業などの条件を考慮して決められたものであるから，これを正確に仕上げるか否かは溶接継手の良否に密接な関係がある。従って開先は設計図に示された形状に正確に仕上げることが大切である。

溶け込みが最も深いところは溶接棒の先端が向けられる箇所であるが，開先面に著しい凹凸があると溶け込みの深さにむらを生ずる。また凹凸を意識して運棒すると運棒にむらを生じ，アンダーカット・スラグまき込みの原因となる。従って開先面の凹凸の程度は±0.5mm 以内とすべきである。

開先の切断，加工には通常エッジプレーナーまたはプレーナーを用いるのがよい。最近機械加工にかわって自動ガス切断が用いられるようになったが，これを適確に使用すると，切断縁も正確で，切断面も平滑に仕上がり，表面の化学的および組織的変化を受ける部分も浅いので，機械加工に代って使用してよい。ただし，切断面が不整の場合にはグラインダー仕上げを必要する。

手動ガス切断は切断縁のひずみや切断面の凹凸が多いので，原則として使用してはならない。現場などでやむをえず使用する場合には，必ず切断面のグラインダー仕上げを行わなければならない。

溶接作業　68条

溶接に際しては，溶け込みが十分になるような溶接電流，溶接電圧および溶接速度を選定し，欠陥のないように溶接しなければならない。溶接開始点の溶け込み不足とスラグまき込み，ならびにクレーターの不正形状とひびわれにはとくに注意しなければならない。

〔解説〕 溶接作業に要求される大切な条件は，溶け込みが十分でしかも欠陥のない溶接を行うことである。

溶け込みをよくするには，溶接電流を大きくして母材に与える熱量を増すことが有効であるが，それに伴って溶接速度を速めることになる。また，溶接電流をあまり大きくすると母材に与える熱影響が大きくなり，溶接部に悪影響をおよぼす結果となる。一方，溶接速度があまり速すぎると，溶け込みが不十分になりがちである。したがって，溶接電流の大きさは溶接棒の種類によって多少の相異はあるが，ある範囲の適正な値がある。多くの場合，メーカーによってその溶接棒に適する値が示されているから参考にするとよい。しかし，できれば簡単な試験として，2枚の板を直角に組み合せた後，メーターの示す適正電流の近くのいろいろの大きさの電流ですみ肉溶接を行い，溶接金属の流動，外観，溶け込みの状態，スラグの含有状態および破面などを見ることにより適正な電流を選ぶとよい。実際の施工にあたっては，各層の施工，溶接姿勢，板厚などによっても適正電流は変化するから注意しなければならない。

溶接速度は単位時間に溶ける溶融棒の重量，すなわち溶融速度によって定まる。溶融速度は溶接棒の被覆材の種類によって異なるが，同じ溶接棒を用いる場合は溶接電流の大きさに比例する。従って，溶接棒とそれに対する適正電流が定まれば，溶接速度もおのずから定まるものである。しかし，一般に1層の溶接を行うような場合には，溶接棒の先端が丁度溶融池のすぐ前におかれているような溶接速度を保つようにするのがよい。溶接速度が遅過ぎると溶融金属がアークの先に流れ出し，スラグまき込みの原因となる。

このほか，溶接棒を運棒するときに注意すべきことは，アークの中心を正しく底に向け，底の部分の溶け込みを十分にすることである。それとともに，アークの長さおよび溶接棒の保持角度を常に正しく保つようにしなければならない。ウィービングを行う場合にはその幅は溶接棒の直径の3倍以下とするのがよい。

溶接開始点の母材は大気とほぼ同じ温度であるから，溶接部から母材への温度こう配が急なため，大きな電流を用いて母材に与える熱量を大きくしないと，その部分の溶け込みが不足する。しかし，あまり溶接熱を高くすると収縮応力が大きくなったり，アンダーカットやスラグまき込みを生じたりするので注意して施工しなければならない。

溶接終了点は温度こう配が最も急で，その後に熱および溶融金属が補なわれないので急に冷却して，最後に冷却する中央部に凹みを生じ，この形状のためにこの部分に収縮応力が集中し，他の箇所よりもさらに大きい応力を生ずる。このような溶接終了点のつぼ状の凹部をクレーターと称し，溶接部のうちで最もひびわれを生じやすい。クレーターの形の不正は溶接に対する注意が足らないことを示すもので，応力集中の原因となり，ひびわれの発生を助長するものであるから，施工にあたってとくに注意しなければならない。

低水素系溶接棒を使用する場合は，溶接の始端，終端にブローホールを生じやすいからとくに注意する必要がある。

各層ごとの清掃　69条

各層の表面は，次層の施工前にスラグ類を十分に除去しなければならない。

〔解説〕 母材の温度の低い最初の1，2層の溶接においては，スラグを除去しにくい。また，各層の溶接金属の重なり部分や，母材との重なり部分には，アンダーカットを生じやすく，この中に入ったスラグは除去しにくい。このようなスラグをそのままにしておいて次層の接溶を行うと，スラグの流動性が不十分なため，表面に浮び上らず，不純物として溶接金属の中に混入し，溶接部の強度を低下する。このために，各層の施工にあたっては，スラグやスパッターなどを十分除去してから次層の溶接を行うようにしなければならない。

突合せ溶接　70条

突合せ溶接においては，表溶接，裏溶接が重なり合うよう十分な溶け込みを確保しなければならない。裏当て板を用いる突合せ溶接では第一層の溶け込みを十分にし，ひびわれおよびスラグまき込みなどの生じないようとくに注意しなければならない。

重要な突合せ溶接の両端には，継手と同じ開先をつけたタブプレートを仮付けして溶接を行い，溶接終了後タブプレートを除去し，溶接端部を仕上げなければならない。

〔解説〕 突合せ溶接においては，溶け込みを完全にし，不溶着部を残さないことが最も重要な事項である。このため，手溶接の場合は健全な溶接層まで裏はつりを行い，裏溶接しなければならない。

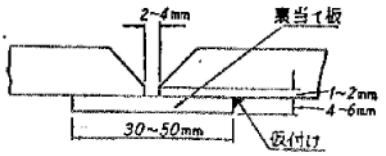
自動溶接の場合は，溶け込みが深いから，手接溶のように完全に裏はつりする必要はないが，実験によって溶け込みの程度と，第一層の重なり具合を確認してから溶接することが重要である。

突合せ溶接継手の第一層は，開先底部の形状の関係で欠陥を生じやすく，また急冷のため溶接金属の性質もあまりよくないから，手溶接のように溶け込みの少い場合には，これをはつり取り，自動溶接の場合は裏から再溶融することがよい継手をうるための条件となる。

裏はつりの方法としては，チッピング，ガスガウジンクなどもあるが，アークエアガウジングによるのが騒音もなくよい結果がえられる。

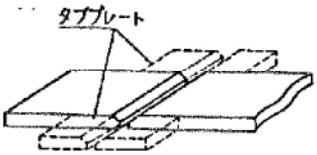
裏はつりのできない継手で裏当て板を用いる場合，この目的は第一層の溶接による収縮ひずみに対する抵抗をますと同時に，溶け込みを十分にするためのものであって，一般に図—70・1に示すものが適当とされている。この場合，裏当て板と母材とは密着させることが重要である。

図--70・1



なお外側のフランジプレートを突合せ溶接する場合に，内側のフランジプレートを裏当て板の代りに利用してはならない。やむをえずこのような溶接を行う場合には，16条の規定により溶接部の許容応力度を下げなければならない。

図—70・2



溶接部の欠陥は，その開始点と終了点に生じやすいことは68条に述べたとおりである。従って，重要な突合せ継手では，この欠陥を除くために継手の両端に図—70・2に示すような継手と同じ開先をつけたタブプレートを仮付けして，この部分まで延長して溶接を行った後タブプレートを除去し，仮付け部の母材の両側面を他の面と同一面に仕上げるようにしなければならない。なお，継手の強度を試験する場合には，タブプレートの寸法を試験片をとりうる大きさにしておいてこの部分から試験片を切り取るようにすると便利である。

なおタブプレートを取除く際に，ハンマーで叩き落したりすると母材を損傷することになるから，ガス切断機でていねいに切取った後仕上げを行わなければならない。

すみ肉溶接　71条

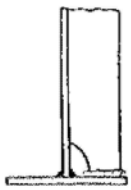
> 材片のぐう角部で終るすみ肉溶接は，ぐう角部を回って連続して溶接しなければならない。
>
> 現場継手のためにすみ肉溶接を完了しないでおく場合には，その端部を十分溶け込ませるように注意し，現場溶接に先だち，その部分のひびわれを検査し，不良箇所を除いた後溶接するようにしなければならない。

〔解説〕 すみ肉溶接，特に側面すみ肉溶接の端部には応力集中を生ずる。従って溶接終了点または開始点のような欠陥を生じやすい部分が応力集中部分と重なることは好ましくないので，材片のぐう角部で終るすみ溶接はぐう角部を回って連続して施工しなければならない。

すなわち，材片のぐう角部を回って溶接線が連続している場合には，ぐう角部の手前で一度アークを切り，溶接姿勢を整えた後，クレーターを完全にうめてからぐう角部を回って連続して溶接を延ばすようにしなければならないのはもちろんであるが，溶接線が材片のぐう角部で切れている場合でも，同じ趣旨から，ぐう角部を回って少くともサイズの2倍以上の長さに回し溶接を行わなければならない。回し溶接が不可能な場合には，溶接終了点においてサイズの2倍ないし3倍の長さに返し溶接を行うのがよい。プレートガーダーのフランジプレートに補剛材を取り付けるためのすみ肉溶接はこのような施工が困難であるが，図—71・1に示すように，補剛材のぐう角部に適当な穴をあけ，穴の向かう側から溶接棒を引き出すように溶接を行うのがよい。

現場でプレートガーダーを突合せ溶接する場合には，フランジおよびウエブの継手の溶接に際して拘束を少くするために，継手から約20cmの範囲のフランジプレートと腹板との工場すみ肉溶接は施工しないでおくほうがよい。しかしこの部分は溶接端部となるので，溶け込みやクレーターの処理が不十分な場合には，運搬中にひびわれを生じやすいので，施工にあたって注意しなければならない。またこのひびわれは母材まで発展する可能性もあるので，このような箇所は現場溶接に先だって入念に検査し，ひびわれが入っている場合には，78条の規定に従って不良な溶接部を削り取った後再溶接しなければならない。

図71—・1



自動溶接の施工　72条

自動溶接の施工は，とくに次の事項に注意して行わなければならない。

1. 溶接面およびその隣接部分は，溶接に先だってとくに入念に清掃し溶接面の黒皮も除去しなければならない。
2. 心線およびフラックスはとくに乾燥したものを用い，溶接は乾燥した状態で行わなければならない。
3. 開先はとくに入念に加工しなければならない。
   突合せ溶接の開先およびすみ肉溶接される材片は密着させるのを原則とし1mm以上のすきがあってはならない。
4. 本溶接の一部になる仮付けはとくに少くし，被覆材に含まれる有機物の少い溶接棒を用いて行うのがよい。
5. 心線とフラックスの選択，材片相互の位置の確保，電流および溶接速度などに注意し，できるだけ実験的な検討を行って溶接するようにしなければならない。
6. 溶接機は電源の変動の影響を受けないよう十分な電圧を確保できる状態におき，その性能を十分発揮できるように調整しておかなければならない。

〔解説〕 自動溶接の特徴としては作業能率が高く，溶け込みが深く，かなり厚い板でも1層で溶接できること，溶接部が均一で変形が少いことなどの長所があるが，大きい電流を用い，溶接速度が速く，熱影響も大きいので，手溶接の場合に比べて施工上とくに注意しなければならない事項が多い。自動溶接法としては現在わが国ではユニオンメルト法が多く用いられているので，この工法に対する施工上の注意事項を主眼としてこの条に規定した。

自動溶接といってもアーク溶接である以上この節にある施工上の諸規定に従わなければならないことはもちろんであるが，自動溶接は湿気・油・さびなどにとくに敏感で，これらが溶接面に附着しているとブローホールを生ずるので1項および2項のようにとくに溶接面およびその隣接部分の清掃と作業環境に注意するように規定した。

また，自動溶接では大きい電流を用い，溶け込みも深いので，底にすきがあったり，開先面や開先角度の加工が不正確であると，板が溶け落ちて溶融金属が流れ落ちることがある。しかし，溶け落ちを恐れるあまり溶接電流を小さくすると溶け込みの不足をきたすので，3項のように規定した。また，仮付けは本溶接にさいしてブローホールを生じやすいので，この欠点を防止するために4項の規定を設けた。

自動溶接では通常1層で施工するので，56条で述べたような余盛による溶接金属の焼鈍効果が期待できないので，溶接部に柱状組織を形成し，これがち密に集中するとひびわれの原因となる。したがって，施工に当っては用いる鋼材と溶接条件に最も適したワイヤおよびフラックスを選定することが大切である。その他施工にあたって注意しなければならない事項を5項に規定した。

ユニオンメルト法の基本的な原理はアーク電圧の変動に応じて溶接棒を送り出す速度を調整することである。従って溶接機の使用にあたっては，アーク電圧の変動による溶接棒の送り出し速度の調整が十分に行われるように整備しておかなければならない。また，溶接機の移動速度は溶接電流や板厚などに応じて調整するものであるから，均一な溶接を行うためには，移動速度にむらがあってはならない。また，フラックスの供給も順調に行われるように調整しておかなければならない。

溶接電圧が低いと，溶け込みが深くなる傾向をもつが，同時にひびわれを生ずる傾向が強くなるので十分な電圧を確保できる状態におかなければならない。6項はこのような意旨で規定したものである。

自動溶接はその特性上から使用範囲に限界があり，溶接線の短いものや，複雑な構造には活用できない。このような場合に手溶接に代る方法として，E. H. V. (Elin-Hafergut 法)，重力式，炭酸ガスを使う各種の半自動溶接が使われているが，これらについては，それぞれの方法に応じて，適当な注意が必要である。

溶接と併用するリベット　73条

溶接と併用するリベットは，溶接後にリベット締めするのを原則とする。

〔解説〕 溶接とリベットを併用した継手では，リベット締めした後溶接を行うと溶接に対する拘束が大きくなるので好ましくない。したがって，溶接を行った後にリベット締めするのを原則とした。ただし，リベットを主体とした継手において，ろう水防止の目的で溶接を行う場合などはこの限りでない。

予　　熱　74条

SS41，SM41 に対しては板厚が 32 mm 以上の場合
SM50 に対しては板厚が 25 mm をこえる場合には溶接線から少くとも 10 cm の範囲内の母材部分が溶接時 50°～100°C になるように予熱しなければならない。

〔解説〕 板厚が大きい場合に多層溶接を行うことになるが，最初の層の溶接においては，母材の熱容量が非常に大きく，溶接金属の急冷を避けることができない。このために，溶け込みの不足およびブローホールやひびわれの発生を招くことが多い。このような欠陥を除くために，軟鋼と高張力鋼とに分けて上記のように規定した。SM50 以上の高張力鋼は強度をあげるために，M_n，S_i などの合金元素を添加しているので等価炭素量が増し軟鋼より硬化度が強いから予熱すべき板厚を下げたのである。また予熱温度は 100°C 以下でははっきり認定しがたいので 50°～100°C と範囲を広く取った。

自動溶接の場合は，溶接電流が高く入熱が大きいため硬化の程度は手溶接に比べるとわずかであるし，水素の発生量がきわめて少く，水素脆化の危険性もないので予熱は必要ない。ただし，自動溶接の場合でもブロホールなどの欠陥が発生することを防止するためには予熱が有効である。

また，低水素系の溶接棒は水素脆化の危険性が少く，等価炭素量の高い鋼材に適するので，予熱の温度も幾分低くしてよいと考えられる。ASTM の規定でもこのような趣旨のことを採り入れて予熱温度を半減しているので，それにならってこの条でも予熱温度を 40°C まで下げてよい。

天　　候　75条

工場溶接は屋内で行うのを原則とする。
雨・雪または強い風などの中では溶接を行ってはならない。ただし，天候の影響を受けないように十分な防護処置を行った場合には，監督者の許可を受けて溶接を行うことができる。

〔解説〕 溶接金属の性質を均一にし，溶接部の信頼度を高める重要な要素の一つは，溶接工の作業条件をよくすることである。このためには溶接工が常に楽な姿勢で作業ができるようにすること，良好な照明設備を設けること，天候の影響を受けないようにすることなどがあげられる。従って，工場溶接は屋内で行うのを原則とした。工場によっては，設備が不十分なため，屋外で溶接を行うこともあるが，この場合には，上記の点に注意して作業条件をよくするように心掛けなければならない。

現場溶接はほとんどの場合屋外作業であるので，雨・雪などの中で溶接を行うと，溶接面やその隣接部分に水分が付着し，電撃の危険も生ずる。また，溶接工がほかのことに気をうばわれがちになり，その技能を十分発揮することができないので，このような天候のもとで作業を行ってはならない。また，溶接部の冷却速度は風速に支配され，風速が大となると非常に増大する傾向をもつものであり，同時に風によりアークが流されてブローホール混入の原因となるなどの障害も起るので，溶接中風が直接溶接部にあたらないように注意するとともに，アークが極端に流される程度の強い風の時には溶接を行わないようにしなければならない。ただし，このような天候の悪影響を受けないように十分な防護処置を行った場合には，監督者の許可をえて作業を行ってもよい。

気　　温　76条

気温が 0°C 以下の場合には，溶接を行ってはならない。ただし，気温が −15°C 以上の場合において溶接線から 10 cm 範囲内の母材部分を溶接時に適当な温度になるように予熱すれば溶接を行うことができる。

〔解説〕 溶接前の母材の温度は通常気温とほぼ等しいから，気温が低いときに溶接を行うと，溶接部の温度こう配が非常にきつくなるので，信頼しうる溶接の施工は望めない。従がって気温が0°C以下の場合には溶接を行ってはならないこととした。しかし，工程の都合上施工を急ぐ場合などには，気温が −15°C 以上であれば 74 条を参考にし予熱温度を決める必要があるが，一般には 50°C 程度以上に予熱を行って溶接することができることにした。なお，気温が −15°C より低い場合には溶接を行ってはならない。

溶接部の欠陥　77条

溶接部には，われ・有害なブローホール・スラグまき込み・オーバーラップ・アンダーカット・不整な波面およびクレーター・のど厚およびサイズの過不足などの欠陥があってはならない。

〔解説〕 溶接部に生ずるおもな欠陥を示したものである。

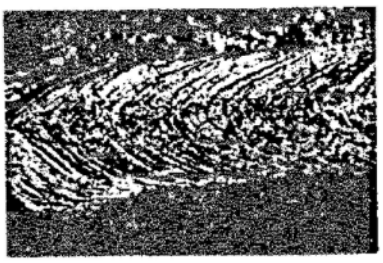
ひびわれにはその発生位置および形状で分類すると溶接金属に生ずる縦・横および弧状ひびわれ，クレーターに生ずる縦・横および星状われなどがある。溶接金属に生ずる縦われは最も一般的なもので，主として第一層の溶接において溶接電流が大きすぎたり，溶接速度が速すぎりたり，拘束が大きい場合などに生ずる。また，横および弧状われは溶接金属の冷却速度がはやく，かつ，もろくなった場合に生ずる。このようなひびわれは溶接棒の選択・予熱などにより防止することができる。クレーターは冷却速度が速く，溶接金属の量も少いので最もわれが発生しやすい。できあがった溶接部ではひびわれの発見がむずかしいが，クレーターにひびわれを生じている場合には，他の溶接部にひびわれを伴いやすいので注意しなければならない。

溶接金属およびクレーターに生じたひびわれを写真—77・1 および 77・2 に示す。

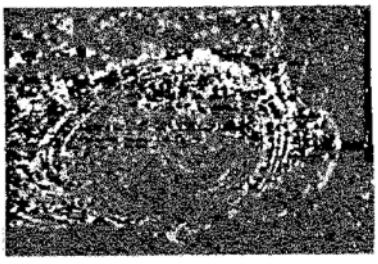
溶接金属中に発生するブローホールは銀白色を呈し球状のものと細長い形状のものとがある。これは溶接時に溶接金属中に飽和している水素や一酸化炭素が冷却中にガスとなって放出されることが原因であるといわれている。スラグまき込みはスラグの流動性が悪く，かつ，溶接金属の冷却速度が速い突合せ溶接の第一層などに起りやすい。これはいずれも溶接棒の質および溶接工の技能に左右されるもので，溶接金属の質を低下するから施工にあたって注意しなければならない。

溶接部の形状の不良なものとして写真—77・3 に示すようなものがあるが，いずれも強度の不足や応力の集中を招くので施工にあたって注意しなければならない。

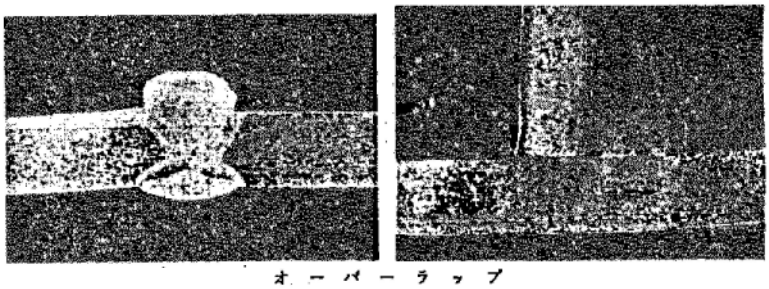
図—77・1
溶接金属のひびわれ



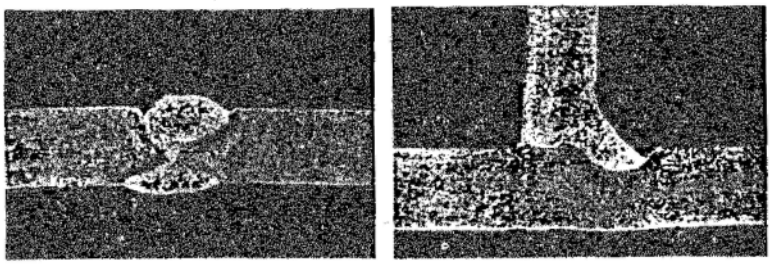
図—77・2
クレーターのひびわれ



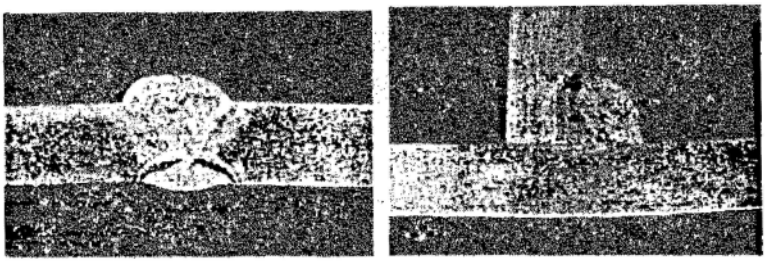
図—77・3



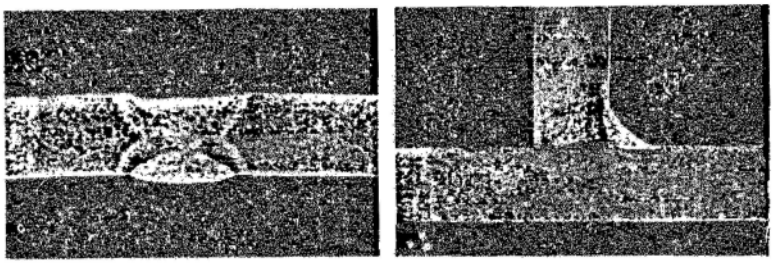
オーバーラップ



アンダーカット



のど厚過大



のど厚不足

不良溶接の手直し　78条

77条に示す欠陥は，入念に手直ししなければならない。

溶接金属にわれの入った場合には，溶接金属を全長にわたって削り取って，再溶接しなければならない。放射線透過検査・磁気検査・しん透液検査などの方法でわれの限界を明きらかにした場合でも，われの端から少くとも 50mm 以上削り取り，手直ししなければならない。

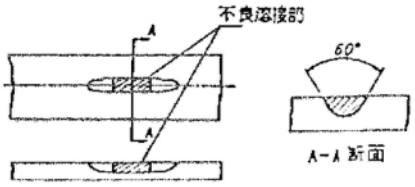
〔解説〕 77条に示すような欠陥を持つ不良溶接は，それぞれに適した手直しを行わなければならない。また不良溶接を生じた場合は，その原因をしらべ再び欠陥の生じないよう注意することが肝要である。

ひびわれ・有害なブロホール・スラグのまき込み・不整な波面およびクレーターなどの欠陥を持つ不良溶接は，チッピングハンマーまたはグラインダーなどを使用して，母材を傷つけないように入念に，かつ完全に除去しなければならない。除去する深さは溶け込み部分までとする。削り取りの要領は図—78・1 に示すようにおわん型に削り取り，溝の開先角度を 60° に保つようにするのがよい。再溶接にあたっては，他の部分が溶接されているため拘束が大きいので，直径 4 mm 以下の細目の溶接棒を用いてていねいに行わなければならない。

アンダーカットやのど厚の不足した溶接は盛り足しをしなければならない。またオーバーラップやのど厚の過大な溶接はグラインダーなどで削り取り，正しい形にしなければならない。

われは溶接部の欠陥のうちで最も危険なものであるから，とくに注意してその発見に努めなければならない。われの限界がわからない溶接部は溶接金属を全長にわたって削り取らなければならない。

図—78・1



われの存在およびその限界の発見のためには，放射線透過検査・磁気検査・しん透液検査などの方法によるのがよい。一般にわれに沿って溶接金属をはつってゆけば，その限界を確かめることができる。ひびわれが母材にまでおよんでいる場合には，母材を取りかえなければならない。ただし，軽度なもので位置的にも許しうる場合には，溶接によって修理することがあるが，あまり用いてはならない。

ひずみの補正　79条

溶接による著しいひずみは，監督者の指示に従って手直しするものとする。

〔解説〕 溶接はなるべくひずみを生じないように施工すべきであるが，ひずみの発生を避けることは困難である。強度上ならびに使用上さしつかえない程度のわずかなひずみはそのままにしておいてよいが，さしつかえる場合には，監督者の指示に従って手直しするものとした。

手直しにあたっては，ひずみの生じた原因をよく調査して，母材の組織をいためたり，構造物に無理を生じたりしないような方法を選ばなければならない。

塗　　装　80条

塗装は監督者の承認を受けるまで行ってはならない。

現場溶接を行う部分およびこれに隣接する幅20 cmの部分には工場塗装を行ってはならない。ただし，さびを生ずるおそれのある場合にはボイル油を塗布してもよい。

〔解説〕 溶接部の検査前に塗装を行うと，溶接部のひびわれその他の欠陥の発見が不可能になるので，監督者の承認を受けるまで塗装を行ってはならないことにした。

塗装は鋼道路橋製作示方書の5章工場塗装および8章現場塗装に定められた方法によって行えばよいが，とくに溶接部附近にはスパッターやスラグなどが，附着していることが多いので，これらを完全に除去してから塗装するようにしなければならない。

現場溶接を行う部分およびこれに隣接する幅20cmの部分には工場塗装を行ってはならない。これは溶接熱により塗料が変質することはもちろんであるが，63条にも述べたように，溶接面およびその隣接部分に塗料があると，溶接金属に悪影響を与えるからである。

ウォッシュプライマーを除去しないで，その上に直接溶接を行っても，ウォッシュプライマーの品質によってはさほど溶接に影響を与えず，清掃を必要としないものもあるが，有害なブローホールの発生原因となることもあるので，その施工には十分注意しなければならない。とくにさびを生ずるおそれのある場合には，ボイル油を塗布してもよい。

（１２）道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編[12)]　S48.2

15.3.3 溶　　接

(1) 溶接施工

溶接は，必要な継手性能を満足するよう，下記の事項を確認したのち慎重に施工しなければならない。

1) 鋼材の種類と特性
2) 溶接方法，開先形状および溶接材料の種類と特性
3) 組合せる材片の加工，組立て精度，溶接部分の清浄度と乾燥状態
4) 溶接材料の乾燥状態
5) 溶接条件と溶接順序

工場溶接は，屋内またはこれに相当する環境で行なわなければならない。

(2) 溶　接　工

溶接工は，JIS Z 3801「溶接技術検定における試験方法ならびにその判定基準」に定められた試験の種類のうち，その作業に該当する試験（またはこれと同等以上の検定試験）に合格した者でなければならない。

溶接工は，6カ月以上溶接工事に従事し，工事前2カ月以上引き続きその工場において溶接工事に従事した者でなければならない。

(3) 溶接施工試験

下記事項のいずれかに該当する場合は，溶接施工試験を行なうのを原則とする。溶接施工試験は表-15.3.2により行なうのを標準とする。

1) SMA 41，SM 50，SM 53，SM 58の板厚が38 mmをこえる場合
2) SMA 50，SMA 58の板厚が25 mmをこえる場合
3) SM 58またはSMA 58において1パスの入熱量が70,000 joule/cmをこえる場合
4) 被覆棒アーク溶接法（手溶接のみ）・サブマージアーク溶接法以外の溶接法を用いる場合
5) 現場溶接を行なう場合

溶接施工試験に際しての供試鋼板の選定，溶接条件の選定その他については，下記によるのを原則とする。

1) 供試鋼板では同じような溶接条件で取扱う鋼板のうち最も条件の悪いものを用いるのがよい。
2) 溶接は実際の施工で用いる溶接条件とし，溶接姿勢は実際に行なう姿勢のうち最も不利なもので行なう。
3) 異種の鋼材のグループ溶接試験は，強度の高いほうの鋼材で試験を行なう。同鋼種で板厚の異なる継手については，板厚の薄いほうの鋼材で行なってもよい。

4) 再試験は最初の個数の２倍とする。

表-15.3.2 溶接施工試験

試験の種類	試験項目	溶接方法	試験片の形状	試験片個数	試験方法	判定基準
素材試験	引張試験	——	JIS Z2201 1，4，5号	2	JIS Z 2241	JIS G3101，JIS G3106による
	曲げ試験		JIS Z 2204 1号	2	JIS Z 2248	
	衝撃試験		JIS Z 2202 4号	3	JIS Z 2242	
グループ溶接試験	引張試験	図-15.3.1による	JIS Z 3121 1号	2	JIS Z 2241	引張強さが母材の規格値以上
	型曲げ試験（19mm未満裏曲げ）（19mm以上側曲げ）		JIS Z 3122 3号	2	JIS Z 3122 3号	きれつが生じてはならない
	衝撃試験		JIS Z 2202 4号（試験片採取位置は図-15.3.2による）	3	JIS Z 2242	溶着金属で母材の規格値以上（3個の平均値）
	マクロ試験		——	1	JIS G 0553に準ずる	欠陥があってはならない
	放射線透過試験		——	試験片継手全長	JIS Z 3104	2級以上(引張側) 3級以上(圧縮側)
すみ肉溶接試験	マクロ試験	図-15.3.3による	図-15.3.3による	1	JIS G 0553に準ずる	欠陥があってはならない
	すみ肉施工試験	付録-1参照				
最高かたさ試験	最高かたさ試験	図-15.3.4による	図-15.3.4による	1	JIS Z 2244	$H_V \leqq 370$
スタッド溶接試験	スタッド曲げ試験	図-15.3.5による	図-15.3.5による	3本	図-15.3.5による	溶接部にわれを生じてはならない

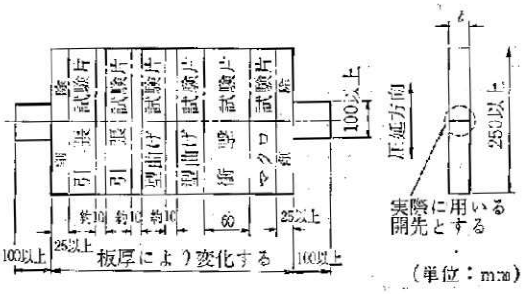


図-15.3.1 グループ溶接試験溶接方法

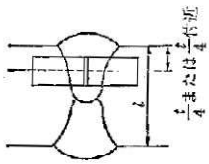


図-15.3.2 衝撃試験片(グルーブ溶接試験片の採取位置

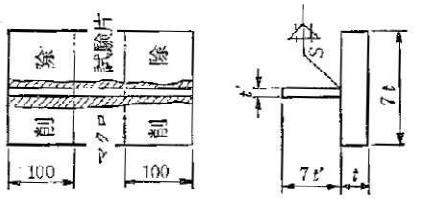
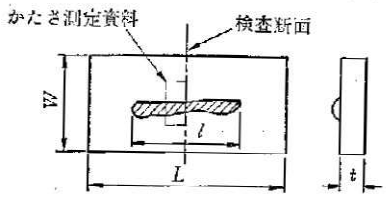


図-15.3.3 すみ肉溶接試験（マクロ試験）溶接方法および試験片の形状

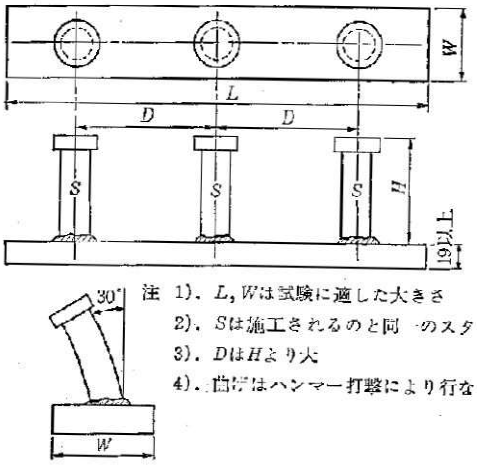


（単位：mm）

溶接方法	L	W	l
手溶接	200	150	125
自動溶接	250	190	150

溶接ビードに1層とし，溶接条件は初層の溶接条件とする。また，かたさ測定資料の採取およびかたさの判定はJIS Z 3101に準ずる。

図-15.3.4 最高かたさ試験溶接方法および試験片の形状



注 1). L, Wは試験に適した大きさ
2). Sは施工されるのと同一のスタッド
3). DはHより大
4). 曲げはハンマー打撃により行なう

図-15.3.5 スタッド溶接試験方法・試験片の形状・試験方法

(4) 組立て

部材の組立てにさいしては，補助治具を有効に利用し，無理のない姿勢で仮付け溶接できるように考慮しなければならない。また支材やストロングバックなどの異材を母材に仮付けすることはできるだけ避け，やむを得ず仮付けを行なって母材を傷つけた場合は，表-15.3.10により補修するものとする。

(5) 材片の組合せ精度

材片の組合せ精度は，溶接部の応力伝達が円滑で，かつ，溶接不良を起さないものにしなければならない。材片の組合せ精度は下記の値を標準とする。

ただし，施工試験によって誤差の許容量が確認された場合は，下記の値以上とすることができる。

1) グルーブ溶接

i) ルート間隔の誤差：規定値±1.0 mm以下

ii) 板厚方向の材片の偏心：薄い方の板厚の10%以下

iii) 裏当金を用いる場合の密着度：0.5 mm以下

iv) 開先角度：規定値±10°

2) すみ肉溶接

材片の密着度：1.0 mm以下

(6) 仮付け溶接

本溶接の一部となる仮付溶接には，本溶接を行なう溶接工と同等の技術をもつ者を従事させ，使用溶接棒および溶接姿勢は，本溶接の場合と同様に管理しなければならない。

仮付け溶接の長さは，80 mm以上，すみ肉（または換算）脚長は4 mm以上とする。

仮付け溶接は，組立て終了時までにスラグを除去するものとし，少なくとも溶接部表面にわれがないことを確認しなければならない。もし，われが発見された場合には，その原因を究明し，適当な対策を講じなければならない。

(7) 溶接前の部材の清掃と乾燥

溶接を行なおうとする部分には，ブローホールやわれを発生させるおそれのある黒皮，さび，塗料，油などがあってはならない。

材片に結露したり，水分の付着した状態で溶接を行なってはならない。また，組立て後12時間以上経過した部材を溶接する場合，溶接線近傍を十分乾燥させなければならない。

(8) 溶接材料

1) 被覆アーク溶接棒の使用区分は，表-15.3.3によるものを標準とする。

表-15.3.3 被覆アーク溶接棒使用区分

被覆アーク溶接棒の種類	適用鋼種および板厚（mm）
軟鋼用被覆アーク溶接棒	SS 41，SM 41（t <25） SS 41，SM 41（25≦ t <38：予熱を行なう場合）
低水素系被覆アーク溶接棒	SS 41，SM 41（25≦ t <38：予熱を行なわない場合） SMA 41，SM 50，SMA 50，SM 50Y，SM 53，SM 58，SMA 58

2) 溶接材料の乾燥

被覆アーク溶接棒の乾燥は，表-15.3.4に示す標準で行なうものとする。

表-15.3.4 溶接棒乾燥の標準

溶接棒の種類	溶接棒の状態	乾燥温度	乾燥時間
軟鋼用被覆アーク溶接棒	乾燥（開封）後12時間以上経過したとき，もしくは溶接棒が吸湿したおそれがあるとき	100～150°C	1時間以上
低水素系被覆アーク溶接棒	乾燥（開封）後4時間以上経過したとき，もしくは溶接棒が吸湿したおそれがあるとき	300～400°C	1時間以上

サブマージアーク溶接に用いるフラックスの乾燥は，表-15.3.5に示す標準で行なうものとする。

表-15.3.5 フラックスの乾燥標準

フラックスの種類	乾燥温度	乾燥時間
溶融フラックス	150～200°C	1時間以上
焼成フラックス	200～250°C	1時間以上

(9) 予　熱

下記事項のいずれかに該当する場合は，溶接線の両側10 cmおよびアークの前方10 cmの範囲内の母材を表-15.3.6に示す標準によって予熱しなければならない。

ただし，サブマージアーク溶接に関してにこの項を適用しない。また特別な実験資料によってわれ防止が確実に保証される場合には，この項の適用を除外することができる。

1) 鋼材のミルシートからつぎの式により計算した炭素当量が0.44%をこえる場合。

$$Ceq=C+\frac{Mn}{6}+\frac{Si}{24}+\frac{Ni}{40}+\frac{Cr}{5}+\frac{Mo}{4}+\frac{V}{14}+\left(\frac{Cu}{13}\right)\ (\%)$$

……(15.3.1)

ただし，( ) の項は Cu≧0.5 の場合に加えるものとする。

2) 表-15.3.2 の最高硬さ試験において予熱なしで最高硬さ(H_V)が370をこえた場合。

3) 気温（室内の場合は室温）が5°C 以下の場合。

表-15.3.6 予熱温度の標準

鋼種＼板厚mm	$t<25$	$25\leqq t<38$	$38\leqq t\leqq 50$
SM 41 A SM 41	予熱なし	予熱なし[1] 40°C～60°C[2]	40°C～60°C[3]
SMA 41 SM 50	予熱なし[3]	40°C～60°C[3]	80°C～100°C[3]
SMA 50 SM 50Y SM 53 SM 58 SMA 58	40°C～60°C[3]	80°C～100°C[3]	80°C～100°C[3]

注：1) 低水素系の溶接棒を使用する場合

2) 低水素系以外の溶接棒を使用する場合

3) 低水素系溶接棒を使用するのを標準とする。

(10) 溶接施工上の注意

1) エンドタブ

グルーブ溶接および主げたのフランジと腹板のすみ肉溶接等の施工にさいしては，部材と同等な開先を有するエンドタブを取りつけるものとする。溶接の始点・終端の処理はエンドタブ上50 mm以上のクレータが入らない範囲で行なわれなければならない。

エンドタブは，溶接終了後ガス切断法によって除去し，そのあとをグラインダー仕上げするものとする。

2) 部分溶け込みグルーブ溶接の施工

部分溶け込みグルーブ溶接の施工において，連続した溶接線を2種の溶接法で施工する場合には，前のビードの端部をはつり，欠陥のないことを確認してからつぎの溶接を行なうものとする。ただし完全な手溶接ビードが先行している場合にこのかぎりでない。

3) すみ肉溶接および部分溶け込みグルーブ溶接の施工

材片の隅角部で終るすみ肉溶接は，隅角部をまわって連続的に施工しなければならない。

サブマージアーク溶接法またはその他の自動，半自動溶接法を使用する場合，継手の途中でアークを切らないのがよい。

サブマージアーク溶接法で水平すみ肉溶接を行なう場合，1層のサイズの最大値は8 mmを原則とする。

(11) グループ溶接の余盛と仕上げ

設計においてとくに仕上げの指定のないグループ溶接においては，表-15.3.7 に示す範囲内の余盛は溶接のままでよい。余盛高が表記の値をこえる場合には，ビード形状，とくに止端部を滑らかに仕上げなければならない。

表-15.3.7 グループ溶接の余盛（mm）

ビード幅 （B）	余盛高さ （h）
$B<15$	$h\leqq 3$
$15\leqq B<25$	$h\leqq 4$
$B\geqq 25$	$h\leqq \frac{4}{25}\cdot B$

(12) 溶接の検査

1) 突合せ継手の内部欠陥に対する検査

主要部材の突合せ継手は，表-15.3.8 に示す標準以上について放射線透過試験を行なうものとする。放射線透過試験は JIS Z 3104「鋼溶接部の放射線透過試験方法および透過写真の等級分類方法」によって行なうものとし，試験の結果はつぎの範囲に合格しなければならない。

表-15.3.8 放射線透過試験適用の標準

Iげた，箱げた，ラーメンなどの引張フランジ，トラス，アーチなどの引張部材	1継手につき1枚（クレータ側）
上記部材の圧縮側	5継手につき1枚
Iげた，箱げたの腹板	2継手につき1枚（引張側）
鋼床版，けた腹板の水平継手	1継手につき1枚（クレータ側）

JIS Z 3104　　2級以上（引張側）

JIS Z 3104　　3級以上（圧縮側）

ただし，十分な資料を有する場合は，放射線透過試験のかわりに超音波探傷試験を適用することができる。

2) 溶接われの検査

溶接ビードおよびその近傍には，いかなる場合もわれがあってはならない。われの検査は肉眼で行なうものとするが，疑わしい場合には，磁粉探傷法または浸透液探傷法を適用するのがよい。

3) 溶接ビードの外観，形状の検査

i）溶接ビード表面のピット

主要部材の突合せ継手および断面を構成するT継手，かど継手に関しては，ビード表面にピットがあってはならない。その他のすみ肉溶接または部分溶け込みグループ溶接に関しては，1継手につき3個，または継手長さ1mにつき3個までを許容する。ただしピットの大きさが1mm以下の場合には，3個を1個として計算するものとする。

ii）溶接ビード表面の凹凸

ビード表面の凹凸は，ビード長さ25mmの範囲における高低差で表わし，3mmをこえる凹凸があってはならない。

iii）アンダーカット

アンダーカットの深さは，表-15.3.9の値をこえてはならない。

表-15.3.9　アンダーカットの深さ

アンダーカットの位置	許容差（mm）
主要部材の材片に働く一次応力に直交するビードの止端部	0.3
主要部材の材片に働く一次応力に平行なビードの止端部	0.5
二次部材のビード止端部	0.8

iv）オーバーラップ

オーバーラップはあってはならない。

v）すみ肉溶接の大きさ

すみ肉溶接の脚長およびのど厚は，指定すみ肉サイズおよびそれに相当するのど厚を下まわってはならない。ただし，1溶接線の両端各50 mmを除く部分では，長さの10%までの範囲で−1.0 mmの許容差を認めるものとする。

(13)　吊金具・架設用治具等のとりつけ

工場内運搬・架設等の用に供する吊金具・治具等をとりつける際の溶接は，原則として工場内で行なうものとし，その条件は工場溶接と同等以上のものでなければならない。吊金具・治具等の除去は母材に有害な欠陥を残さないよう入念に行なわれなければならない。

(14)　欠陥部の補修

欠陥部の補修は，表-15.3.10に示す要領で行なうものとする。

表-15.3.10　欠陥の補修方法

	欠陥の種類	補修方法
1	鋼材の表面きずで，あばた，かき傷など範囲が明瞭なもの	溶接肉盛り，グラインダー仕上げ，溶接ビードは長さ40 mm以上とする。
2	鋼材の表面きずで，へげ，われなど範囲が不明瞭なもの	たがねやアークエアガウジング法により不良部分を除去したのち溶接肉盛り，グラインダー仕上げする。
3	鋼材端面の層状われ	板厚の4/1程度の深さにガウジングし，溶接肉盛り，グラインダー仕上げのみでよい。
4	アークストライク	母材表面に凹みを生じた部分は溶接肉盛りののちグラインダー仕上げする。わずかな痕跡のある程度のものはグラインダー仕上げのみでよい。溶接ビードの大きさは第1欄に同じ。
5	仮付け溶接	溶接ビードはたがねまたはアークエアスカーフィング法で除去する。母材にアンダーカットのある場合は，溶接肉盛り，グラインダー仕上げする。 溶接ビードの大きさは第1欄に同じ。
6	溶接われ	われ部分を完全に除去し，発生原因を究明して，それに応じた再溶接を行なう。
7	溶接ビード表面のピット，オーバーラップ	アークエアガウジングでその部分を除去し，再溶接する。最小溶接ビード長さは40 mmとする。
8	溶接ビード表面の凹凸	グラインダー仕上げする。
9	アンダーカット	ビード溶接したのち，グラインダー仕上げする。溶接ビードの長さは40 mm以上とする。
10	スタッド溶接の欠陥	ハンマー打撃検査で溶接部の破損したものは完全に除去し，母材面を整えたのち再溶接する。アンダーカット，余盛不足に対する被覆棒での補修溶接は避けるのがよい。

(15) ひずみとり

溶接によって生じた部材のひずみ変形は，ガス炎加熱法によってきょう正することができる。ただし，加熱時の鋼材表面温度は900°C以下とし，赤熱状態からの水冷は避けなければならない。

(1) 溶接施工

溶接継手には，突合せ継手，T継手，かど継手，かさね継手などがあって，継手の強度や剛性の面で必要な溶接の寸法，形状は，溶接記号によって設計図に示される。

しかし，一般に，溶接継手の性能は，溶接記号の指示のみで決定されるものではなく，施工に関連する冶金的性質や欠陥の存在程度などによって大きく変化する。

この条では，橋梁に必要な溶接部の品質を確保するため，施工上の規定を種々設けており，これを守ることは当然であるが，施工者の選択にまかせられている条件もかなりあるので，これらについては，経験豊富な溶接技術者が最適の施工要領を立案し，管理組織を通じて末端まで徹底させることが重要である。

この条にあげた各項目は，施工要領書に記載されて，その実施を管理者が確認すべき最小限度を示したものである。

この示方書は，約20種類におよぶ鋼種を対象としており，また，溶接方法も手溶接に加えて自動，半自動溶接が使用できることになっているので，とくに鋼種と溶接方法や溶接条件との組合せについて誤りがないよう十分なチェックが必要である。

2.2.3の表-2.2.3は，工場溶接と現場溶接の許容応力度を区別し，工場溶接の品種を一段と高く評価している。この期待を満足させるためにも，工場施工は，現場施工よりすぐれた環境条件で行なわれなければならない。したがって，単に工場敷地内で行なわれるということだけで，これを工場溶接と定義することは危険であり，工場でも屋外で施工する場合には，温度，湿度，風速，溶接姿勢などについて不利な条件とならないよう，十分な考慮を払わなければならない。

(2) 溶接工

溶接の品質は，溶接工の技術によるところが大きいので，定められた認定試験に合格した有資格者を当てることが溶接構造では常識になっている。道路橋では，JIS Z 3801（溶接技術検定における試験方法，ならびにその判定基準）を採用しているが，この規格は，溶接姿勢（下向F，立向V，横向H，上向O），溶接作業（薄板1，中板2，厚板3），溶接方法（ガス溶接G，アーク溶接裏当金付きA，アーク溶接裏当金なしN）の組合せで，非常に多くの試験種類を包含している。これは，多岐にわたる現在の溶接構造継手のすべてに対応するように立案されたもので，各溶接工が全試験に合格する必要はない。

鋼橋の工場施工では，もっぱらアーク溶接が用いられ，片面施工を要求される場合はほとんどないから，溶接方法としては，アーク溶接裏当金付きを，また薄板や厚板の突合せ継手を手溶接で施工することはまれであるから，溶接作業区分としては中板を対象とすればよく，結局，A—2F，A—2V，A—2Oに合格していれば十分である。厚板の橋脚柱を現場突合せ溶接する場合などは，A—3Hの有資格者を当てなければならない。サブマージアーク溶接については，現在，技術検定の国家規格がないが，手溶接は溶接の基本であるから，オペレータは少なくともA—2Fの試験に合格していることが望ましい。

半自動溶接に関しては，国家規格はないが，JIS Z 3801とほぼ同様な規格として，WES 121—1968（半自動アーク溶接技術検定における試験方法，ならびにその判定基準）があるので，使用する状況に応じてその資格を取得させるのがよい。通常，半自動溶接は，下向き突合せ溶接，水平すみ肉溶接に用いられるので，SA—2Fがこれに該当すると考えてよい。

(3) 溶接施工試験

従来，使用経験の少ない鋼材や溶接工法を採用する場合に，監督者の指示，または施工者の意志によって，適当な溶接施工試験が実施されてきた。

前示方書においては，これらを正式な規定とし，適用範囲，試験方法，判定規準を明確にしたが，その後の実状をもとにし，さらに内容を検討して若干の修正を加えたのがこの項の規定である。

溶接施工試験の目的は，使用鋼材の溶接性や溶接方法の適性を知ることにあるので，適用範囲としては現状で使用実績が少なく，したがって施工上特別な注意を要する鋼材，および溶接方法を対象とし，鋼材2項目，溶接法3項目をあげた。

1) 一般に引張強さ50キロ級の厚板は，製鋼技術的に炭素当量が高くなりがちで，溶接われに対しとくに注意を要するので，従来使用制限を受けていた38㎜を越える場合について施工試験を課すことにした。40キロ級の厚板にあっても，耐候性のSMA 41については，強度は低いが，Cu，Crなどの合金元素を含有するので同列に扱うこととした。SM 58については，調質により強度をあげているので，実績では，むしろ50キロ級鋼より炭素当量が小で耐われ性もすぐれているが，強度レベルが高いことを考慮して同列に扱っている。

2) の鋼材は，前記のSM 58に対し，耐候性を与えるための成分を添加しているので，われ感受性を考慮して適用範囲を25㎜まで下げた。

3) は，調質鋼に対する溶接入熱の問題である。調質鋼溶接のビード近傍は，熱サイクルによって焼入れ焼もどし効果が失なわれ，軟化やぜい化を起こしやすい。

$$\text{入熱量}\left(Q\ (\text{joule/cm})=\frac{\text{電流(amp)}\times\text{電圧(volt)}\times 60}{\text{溶接速度}\ (\text{cm/min})}\right)$$

が大きいと，変質の程度と範囲も大となって継手の性能が低下する。SM 58の場合，ほぼ70,000 joule/cm以下の入熱量では，継手性能の低下は見られないことが多くの実験から確認されており，また通常の橋梁施工で使用されるサブマージアーク溶接方法もこの入熱量以下で十分溶接施工が可能なので，70,000 joule/cmを一般的な施工の上限値とした。厚板のグルーブ溶接でとくに大電流を使用するかタンデム工法を使用するかして，そのときの入熱量が70,000 joule/cmをこす場合には，施工試験でその適性を調べることとした。

4) では，被覆棒による手溶接とサブマージアーク溶接法を一般扱いとし，その他の溶接法を施工試験の対象とした。鋼構造の溶接方法としては，現在，CO_2アーク溶接，MIG溶接，ノーガスアーク溶接，エレクトロスラグ溶接，グラビティ溶接などが用いられている。これらの溶接方法は，能率上手溶接よりまさっているが，現状では，溶接工の訓練や適性条件の管理の面で，無制限に採用できるほど一般化していないし，また適用する継手によっては，特有な問題点も発生することがあるので，施工試験によってそれらを確認することとした。

5) では，現場溶接をすべて施工試験の対象とした。元来，現場溶接は，気象条件，溶接姿勢，開先精度など種々の面で工場施工より不利な条件にあるのが普通であるが，橋梁の場合には，鋼床版の片面溶接や橋脚の横向き溶接，あるいは旧橋の補強のように，継手そのものも，施工方法も一般の工場溶接とはいちじるしく異っていることが多い。したがって，このような構造物の施工には，とうぜん基本的な研究が必要であり，そのうえで現場の条件を加味した施工試験を行なうことが望ましい。

以上，施工試験の適用について述べたが，その目的からいえば，同種類の試験を工事ごとにくりかえすことは，無意味であるばかりでなく，そのために要する経費や工期のぎせいも無視できない。したがって，施工者がすでに同種の施工試験と実際施工の経験をもち，施工管理に信頼のおける場合には，資料の提出，検討によって施工試験を省略できることもある。

表-15.3.2 には，大別して，素材試験，グループ溶接試験，すみ肉溶接試験，最高かたさ試験，スタッド溶接試験の５種類があげられている。しかし，溶接施工試験といえば，つねにこの全部を実施すると解釈する必要はない。たとえば，1)，2)に該当する場合は，鋼材特性を問題とするので，ほぼ全種類となる（スタッドが用いられないときは，スタッド溶接を除く）が，3)のみに該当する場合は，素材とグループ溶接の２試験でよいし，4)にのみ該当するものは，すみ肉溶接試験のみを行なえばよい。

また，ここにあげた試験内容には，技術検定的な色彩の強いもの（たとえば，放射線透過試験，すみ肉施工試験，スタッド溶接試験）も含んでいるが，これらによって，施工者の品質管理態勢をチェックすることもできるので，施工試験の意味を広く解釈してこれらの試験をも含めることにした。

(5) 材片の組合せ精度

部材を組立てる場合，材片の組合せ精度が悪いと，完成した部材そのものの精度，ひいては橋梁全体の精度を低下させるばかりでなく，局部的な溶接不良を起しやすいので，この項を定めた。この項でいう規定値とは，過去の実績から良好な溶接ができるものとして施工要領に記載された数値を指している。したがって，グループ溶接のルート間隔や開先精度は，施工者によって異なることもある。

ただし，板厚方向の材片の偏心許容量は，鋼床版現場継手やパイプの突合せ継手など，精度保持のむずかしい継手もあることを想定して定められたものであるから，一般の工場施工の場合には許容範囲の下限値を目標に施工することが望ましい。

すみ肉溶接における材片の密着度は，一般の直線部分については，比較的容易に確保されるが，素材に曲げ加工や突合せ継手が存在する場合には不良となりやすいので，このような場合について十分な管理が行なわれるように許容量を定めた。部材が他部材のスリットを貫通する十字継手で，施工上この密着度が守れない場合には，片側に開先をつけてグループ溶接にするのがよい。

(6) 仮付け溶接

仮付け溶接は本溶接によって全部再溶融されてしまう場合もあるが，一般には一部あるいは大部分が本溶接内に残留するので，仮付け溶接の品質を本溶接同様良好なものにするためこの項を定めた。

仮付け溶接は組立て段階で行なわれるため，とかく溶接管理がおろそかになりやすいので，それを防ぐためにはさず資格を有する溶接工を従事させることが重要である。AWSでは仮付け溶接工についても技術検定を行なうよう定めているが，わが国では現在，仮付け溶接だけの検定制度がないので，本溶接を行なう溶接工と同等の技術をもつ者を従事させることとした。

仮付け溶接の長さを今回80 mm以上と改めたのは，最近の研究で50キロ級高張力鋼のT継手にショートビードのすみ肉溶接を行なった場合ルートからボンドに沿ってわれの発生しやすいことが明らかにされたためである。

この研究によれば室温でもビード長がほぼ80 mmになるとわれの発生が止まり，また約120°C以上の予熱でも同様な効果が認められる。一般橋梁の組立段階では120°C以上の予熱がかなり困難である事情を考えて仮付け溶接のビード長を80 mm以上とした。

前述のルートわれはビード表面に現われないことが多いが，その他の仮付けわれは断面が小さいためしばしばビード表面に現われる。したがって組立終了時に表面検査を行なってわれを検出すればその段階で対策を立てることができるので，仮付けビードのスラグは組立て終了時に除去し，ビード表面の検査を行なうこととした。

(7) 溶接前の部材の清掃と乾燥

溶接線近傍の黒皮，さび，塗料，油などはブローホールやわれの発生原因となる。しかし欠陥の発生状況は異物の量と溶接方法とによってかなり異なり，たとえば通常のプライマー塗膜は下向き手溶接ではほとんど無害であるが，立向き下進溶接では高速度で施工するすみ肉溶接にとくに有害である。

溶接線に水分の付着した状態は明らかに溶接に悪影響を与えるのでこれを禁止した。

(8) 溶接材料

1) ここでは被覆アーク溶接棒の使用区分を規定し，耐候性鋼および高張力鋼については耐われ性を考慮してすべて低水素溶接棒を使用することとした。

2) ここでは被覆アーク溶接棒とサブマージアーク溶接用フラックスの乾燥条件および許容放置時間の標準を示した。軟鋼用溶接棒はわれのおそれのない場合に使用されるが，吸湿が甚だしいと思わぬ欠陥が生じるので，乾燥をおろそかにしてはならない。低水素系溶接棒は，水素の発生量が少なく耐われ性のよいことを特徴としているので，その特徴をそこなうような取扱いを避けたければならない。低水素系溶接棒に規定した乾燥温度と時間は，吸湿水分を十分排除するのに必要な条件であり，放置時間，吸湿水分放出水素量の関係は図-解 15.3.2および図-解 15.3.3 に示すとおりである。

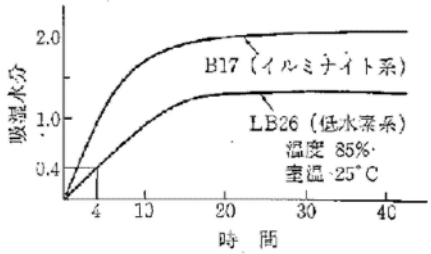


図-解 15.3.2

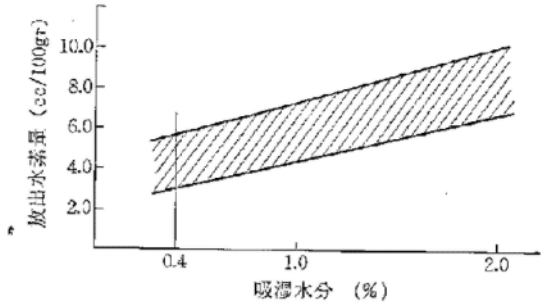


図-解 15.3.3

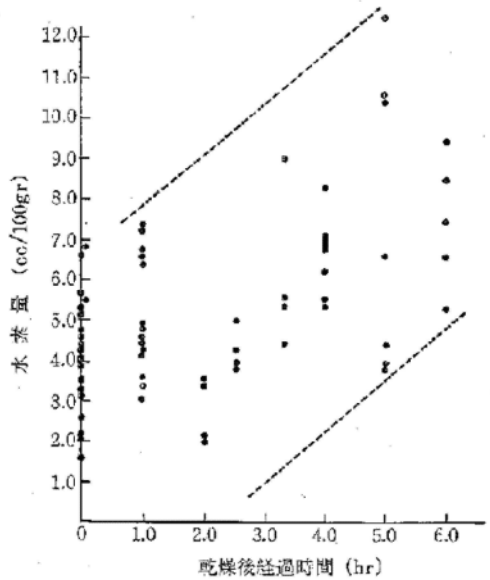


図-解 15.3.4 工場内溶接棒による溶着金属の拡散性水素量の測定結果

すなわち，低水素系溶接棒を25°C 湿度85%のもとで4時間放置した場合の吸湿水分は約0.4%となり，その吸湿水分における放出水素量（JIS Z 3113水素試験方法による）は，ほぼ3～5.5cc/100gである。この値はJIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）に定められた水素量（表 解-15.3.1参照）をすべて満足する。いっぽう，D5016系を主とする工場内溶接棒を任意に抽出して行なった拡散性水素量の測定結果は，図-解15.3.4に示すようなものであり，以上の事柄から許容放置時間として4時間を適当と考えた。

表-解 15.3.1 水素量の JIS

D 5016 D 5026	<10 cc/100gr
D 5316 D 5326	<8
D 5816 D 5826	<6

サブマージアーク溶接用フラックスとして現在多用されている溶融タイプのものは，それ自体は吸湿しないが高温多湿の場合に粒子の表面に水分の付着することもあるので，やはり乾燥を行なうのがよい。焼成フラックスは粒子自体吸湿するので乾燥温度を高く規定した。

(9) 予 熱

前示方書では，予熱を必要とする範囲は，SS 41，SM 41の場合は板厚32㎜以上になっていたが，今回の改定では対象とする鋼種がふえ，また溶接施工試験についても正式に規定されたので，それらの状況を考慮して予熱を要する条件と予熱温度の標準とをこの項のように規定した。

予熱を必要とする条件として，1) に鋼材の炭素当量をあげ，Ceq>0.44%の場合に予熱を行なうこととした。Ceq=0.44%はSM 58に対して JIS で規定された最大値である。現在，Ceq=0.44%となるおそれのある鋼材はSM 50，SM 50Y，SM 53，SMA 50，SMA 58であり，とくにそれらの厚板は可能性が大きいので，これらについてはミルシートをチェックして該当品に，マークを付ける必要がある。2) の事項は最高硬さ試験の結果を予熱の要，不要の判断資料としたもので，$Hv \leq 370$ であれば，われ発生のおそれもなく，曲げ延性も十分あると考えられる。

3)は気温の条件を定めたもので，従来予熱必要範囲が0°C以下であったのを5°C以下と改めたのは，実績の少ない耐候性鋼やSM 50Y，SM 53などに対して，安全を考えたためである。

表-15.3.6 には鋼種板厚ごとの予熱温度が示されているが，これは従来の経験，他の示方書類を参考とし，施工性も考慮して定めた一応の標準である。予熱は，われのない健全な溶接を行なうための手段であるから，表に示した温度に予熱しさえすればよいというわけではなく，状況によってはわれ発生を防止するためさらに高温の予熱を必要とする場合もあると考えなければならない。また逆に前記事項に該当する場合でも溶接施工試験結果や他の実験資料によってわれの発生しないことが確かめられている場合には，かならずしも予熱の必要はない。参考までにAWSの溶接橋示方書（Specification for Welded Highway and Railway Bridges）に定められた予熱規定を表-解 15.3.2に示す。

表-解 15.3.2

溶接部の最大板厚 (mm)	低水素系以外の被覆アーク溶接	低水素系被覆アーク溶接 サブマージアーク溶接 ガス被覆アーク溶接
	A36, A500, A501	A36, A441, A572 のG42, 45, A588
19以下	なし	なし
19をこえ38以下	65°C	21°C
38をこえ63以下	107°C	65°C
63をこえるもの	150°C	107°C

(10) 溶接施工上の注意

1) エンドタブ

溶接ビードの始端，終端には欠陥が生じやすいので，構造的に重要で，かつ多層盛りのためビードの始端，終端が継手端に集中するようなグルーブ溶接の施工に際しては，従来からエンドタブの使用が規定されていたが，今回の改訂では，主げた端部のすみ肉溶接についても，同様にエンドタブを使用することとした。これは現在，主げたのフランジとウエブのすみ肉溶接は主としてサブマージアーク溶接法で施工されており，自動溶接特有の大きなクレータが，せん断応力の大となる材端部に残存することは好ましくないからである。

2) 部分溶け込みグルーブ溶接の施工

一般に溶接ビード終端にはクレータが生じ，この部分にはいわゆるクレータわれが生じやすいが，部分溶け込みグルーブ溶接のような比較的開先角度の小さい場合にはこの傾向がいちじるしい。したがって，自動溶接法および半自動溶接法では途中でビードを切らずに溶接線を連続して施工することが望ましい。部材の形状や開先の変化などによりやむをえず途中でビードを切ったり，溶接方法を変える場合は先行ビードの終端部をはつり取ってつぎの溶接を行なうこととした。手溶接では終端部処理を注意して行なえば，クレータが生じることもないので，そのような場合はしいて端部をはつり取る必要はない。

3) すみ肉溶接および部分溶け込みグルーブ溶接の施工

この規定は，2)で述べたのと同じ理由による。半自動溶接法で長い継手を施工する場合には，装置の配置や移動性が悪いと連続溶接が行なえなくなるので，あらかじめそれらに十分な配慮をしておくことが望ましい。

最近サブマージアーク溶接による水平すみ肉溶接が行なわれるようになった。通常の単電極溶接では適正なビード形状が得られる限界はほぼ8㎜であり，無理をしてそれ以上大きいビードをおこうとすると，アンダーカットやビード形状の不整を生じるので，この規定を設けた。

(11) グルーブ溶接の余盛と仕上げ

前示方書では主として手溶接を対象としており，以前はあまり厚い板も使用されなかったので，余盛の高さをのど厚の15%以下で3㎜をこえてはならないと規定していた。しかし最近はサブマージアーク溶接が主となり，また使用板厚も大となって突合せ継手のビード幅も，必然的に以前より大きくなっているので，余盛を上記の制限内に抑えることは困難な場合が多い。いっぽう，余盛による応力集中はビード止端部の形状に関係するものであり，余盛中央部の高さとは直接に関係しないと考えられるので，今回はビード幅を基準にとって表-15.3.7のような規定に改めた。

この規定をこえる余盛については当然グラインダーで，超過分を削り取らなければならないが，その際中央部だけ削って高さを減じても，止端部の形状による影響を減じることにはならないので止端部をとくに滑らかにするよう注意する必要がある。

従来，余盛仕上げの要，不要はとかくあいまいにされており，施工時にトラブルを起すことが多かった。余盛の存在による応力集中は溶接構造物にとって重要であり，外観上からも仕上げを要求されることもあるので，余盛仕上げの必要な箇所は設計図に指示すべきである。施工時にはこの仕上げ記号の有無をよく確認して施工する必要がある。

(2) 溶接の検査

1) 突合せ継手の内部欠陥に対する検査

突合せ継手の放射線検査に関しては今回二つの大きな改正を行なった。第1は試験方法が旧 JIS Z 2341 から JIS 3104（鋼溶接部の放射線透過試験方法および透過写真の等級分類方法）として1968年に全面的に改訂されたので，本示方書でもこれを採用したことである。第2は，前示方書では検査抜取率が「重要な突合せ継手の全延長の20%」となっており適用にあいまいな点や最近の構造物の実状に沿わない点があったので，構造物形式に応じた抜取り方法に改めた点である。

JIS の放射線透過試験における大きな変更は，欠陥が第1種（ブローホールおよびこれに類する丸味を帯びた欠陥）第2種（細長いスラグ巻込みおよびこれに類する欠陥）第3種（われおよびこれに類する欠陥）に分類され，それぞれの等級を判定して，その総合で等級を判定すること，第1種欠陥の視野が小さくなったこと，等級分類が6等級から4等級になったことなどである。

欠陥の程度による1級から3級までの各等級分類は前よりややきびしくなった範囲とゆるめられた範囲とがあるが，全般的には旧 JIS と新 JIS との間に極端な差はない。ただ新 JIS の等級分類は疲労試験の結果を統計的に処理して，定められている点で，旧 JIS の等級分類よりは合理的であるといえる。

新 JIS の解説によれば2級は「余盛を削除しないが，繰返し荷重を受けるか，あるいは強さが重要なもの」とされ，3級は「疲れ強さを考慮しなくてもよいもの」とされていること，旧 JIS と新 JIS の3級とは欠陥程度に大きな差がないこと，などから放射線透過試験は，新 JIS でも3級以上でよいと考えられたが，抜取り検査である点，最近の実績では2級までとしても大きな混乱はないと考えられる点，道路橋でも部分的に疲れ強さを問題とする場合があることなどを考慮して，引張側2級以上，圧縮側3級以上と定めた。

前示方書の検査抜取率は，プレートガーダーに溶接が始めて採用されたとき以来のもので，構造形式が多様化した現在では不合理な面が多く，また「重要な突合せ継手」の解釈もややあいまいであったので，今回抜取標準は表-15.3.8 のように定めた。この標準によれば，引張フランジおよび引張部材に，1継手につきかならず1枚の撮影が行なわれるので，不良継手を見落す確率は非常に少なくなったと考えてよく，ほぼ一様な条件で自動溶接される鋼床版や腹板水平継手については，品質を十分に保ちうるものと考えられる。

2) 溶接われの検査

溶接構造物にわれの存在を許容できないことはいうまでもないが，その完全な検出はきわめて困難である。したがって溶接われについては発生を抑えることが第一の課題であり，示方書の規定をまもり最大限の防止努力を払わなければならない。そのような施工条件をすべて満足することができず，発生したわれのうち少なくとも表面に検出できるものは許容しないという意味からこの規定をもうけた。しかし，表面検出が可能なわれを防止しさえすれば，他はかまわないという意味ではなく，われの発生を防ぐ，施工条件は確実に守らなければならない。

内部欠陥の検出方法として，超音波探傷試験が現在かなり使用されているが，われかその他の欠陥かの判別にまだ不明確な点があり，またT継手やかど継手では適用がむずかしいのでわれ検出方法として正式に採用することは見合わせた。

3) 溶接ビードの外観，形状の検査

溶接ビードの外観，形状について従来は「有害なブローホール，オーバーラップ，アンダーカット，不整な波およびクレータ，のど厚およびサイズの過不足などの欠陥があってはならない」と規定されていたが，有害か否かの判断には個人差があり，検査時のトラブルとなる場合も多かった。そこで，この項にこれらの適正な許容量を与えて，客観的な判断が行なえるような検査基準を設けた。

グループ溶接の余盛についてはすでに他項で言及しているが，そのほかビードの外観形状の良否を決定する因子として，表面のピット，表面の凹凸，アンダーカット，オーバーラップ，すみ肉溶接の大きさなどがあげられる。これに対して検査基準を与えることは今回がはじめての試みであるので，関連資料を集収し，すでに成案となっている「船体外観の定量的検査ならびに管理基準，（日本溶接協会造船部会溶接施工委員会編）」を参考にし，これに橋梁の諸事情を加味してこの規定を作成した。

ビード表面のピットは，異物や水分の存在によって発生したガスの抜け穴である。このうち小径で散発的なものは強度的に影響しないが，大きなもの，集中発生したものは応力集中の原因となり，また外観的にも好ましくない。そこで，主要な継手では，これの存在を認めず，二次的な継手では若干の存在を許容した。

ビード表面の凹凸は，主としてビード継目に現れるもので，クレータ処理，始端処理の不良な場合に極端に大きくなるので，それらの処理をていねいに行なわせる意味と外観上の良否とから3㎜を基準にした。

アンダーカットは応力集中の主因となり，腐食の促進にもつながるので，深さをかなりきびしく規定した。アンダーカットの深さと疲労強度に関する資料として，多田，立花，寺尾の実験研究があり，応力直角方向の突合せ継手と十字すみ肉継手について表-解15.3.3，表-解15.3.4が示されている。

表-解 15.3.3

試験片記号		A	B	C	D
アンダーカットの深さ（mm）		0.0	0.3	0.6	0.9
疲労強度（応力度幅）（kg/mm²）	下限幅 破壊確率 5%	11.0	13.2	11.3	6.4
	平均	18.5	15.5	13.9	9.0
	上限幅 破壊確率 95%	30.5	18.5	17.1	12.3

表-解 15.3.4

試験片記号		I	II	III	IV	V（溶着鋼を部分的にグラインダがけしたもの）
アンダーカットの深さ（mm）		0.01≦～≦0.11	0.13≦～≦0.25	0.27≦～≦0.33	0.43≦～≦0.58	0.41≦～≦0.50
疲労強度（応力度幅）（kg/mm²）	下限幅（破壊確率 5%）	14.2	11.5	9.8	9.6	10.8
	平均	15.2	13.2	12.0	13.6	13.3
	上限幅（破壊確率 95%）	16.2	15.0	14.6	19.2	16.3

これらの表によれば0.3㎜程度のアンダーカットは疲労強度を15～20%低下させることになるが，道路橋ではこの程度の低下はとくに問題になることはないと考えられるので，主要部材で応力の作用方向に直交するビードの場合0.3㎜まで許容することとした。応力に平行なビードの場合はアンダーカットが直接のノッチにはならないので許容量を0.5㎜まで上げ，二次部材では0.8㎜までゆるめた。

最近の溶接材料ではよほど悪い条件でないかぎりオーバーラップが生じることはないことを考慮してオーバーラップは全面的に認めないこととした。

すみ肉溶接のサイズには，脚長がこれに匹敵すればよいとして事実上全面的にマイナス公差を認め，さらに1溶接線の中間部では長さの10%まで−1.0㎜を許容することとした。これは実際のサイズが測定困難であること，すみ肉溶接の溶着鋼強度が一般に母材よりかなり高いことなどを考慮したためであり，また施工のばらつきの下限を規定サイズとして，目標値を設定すれば，平均サイズは不必要に大となり，変形の点で不利になると判断したからである。

（１３）道路橋示方書・同解説　Ⅱ鋼橋編[13)]　55.2

15.3.3 溶　　接

(1) 溶接施工

1) 溶接は，必要な継手性能を満足するよう，下記の事項を確認したのち慎重に施工しなければならない。

i) 鋼材の種類と特性

ii) 溶接方法，開先形状および溶接材料の種類と特性

iii) 組合わせる材片の加工，組立精度，溶接部分の清浄度と乾燥状態

iv) 溶接材料の乾燥状態

v) 溶接条件と溶接順序

2) 工場溶接は，屋内またはこれに相当する環境で行わなければならない。

(2) 溶　接　工

1) 溶接工は，JIS Z 3801「溶接技術検定における試験方法ならびにその判定基準」に定められた試験の種類のうち，その作業に該当する試験（またはこれと同等以上の検定試験）に合格した者でなければならない。ただし，半自動溶接を行う場合は，JIS Z 3841「半自動溶接技術検定における試験方法及び判定基準」に定められた試験の種類のうち，その作業に該当する試験（またはこれと同等以上の検定試験）に合格したものでなければならない。

2) 溶接工は，6カ月以上溶接工事に従事し，かつ，工事前2カ月以上引き続きその工場において溶接工事に従事した者でなければならない。

(3) 溶接施工試験

1) 下記事項のいずれかに該当する場合は，溶接施工試験を行うのを原則とする。

i) 板厚が38mmをこえるSMA41，SM50，SM53およびSM58

ii) 板厚が25mmをこえるSMA50およびSMA58

iii) SM58およびSMA58において1パスの入熱量が70,000 joule/cmをこえる場合

iv) 被覆棒アーク溶接法（手溶接のみ），CO_2 ガスシールド半自動溶接法，サブマージアーク溶接法以外の溶接を行う場合

v) 現場溶接を行う場合

2) 溶接施工試験は表-15.3.2にあげた試験項目から該当する項目を選んで行うのを標準とし，供試鋼板の選定，溶接条件の選定その他は，下記によるのを原則とする。

i) 供試鋼板には同じような溶接条件で取り扱う鋼板のうち最も条件の悪いものを用いる。

ii) 溶接は実際の施工で用いる溶接条件で行うものとし，溶接姿勢は実際に行う姿勢のうち最も不利なもので行う。

iii) 異種の鋼材のグループ溶接試験は，強度の高いほうの鋼材で試験を行う。同鋼種で板厚の異なる継手については，板厚の薄い方の鋼材で行ってもよい。

iv) 再試験は最初の個数の2倍とする。

表-15.3.2　溶接施工試験

試験の目的	試験項目	溶接方法	試験片の形状	試験片の個数	試験方法	判定基準
グループ溶接試験	引張試験	図-15.3.1による	JIS Z 3121 1号	2	JIS Z 2241	引張強さが母材の規格値以上
	型曲げ試験（19mm未満厚曲げ）（19mm以上厚曲げ）		JIS Z 3122 3号	2	JIS Z 3122 3号	原則として，きれつが生じてはならない．
	衝撃試験		JIS Z 2202 4号（試験片採取位置は図-15.3.2による）	3	JIS Z 2242	溶着金属で母材の規格値以上（3個の平均値）
	マクロ試験		——	1	JIS G 0553に準ずる	欠陥があってはならない
	放射線透過試験		——	試験片継手全長	JIS Z 3104	2級以上（引張側）3級以上（圧縮側）
すみ肉溶接試験	マクロ試験	図-15.3.3による	図-15.3.3による	1	JIS G 0553に準ずる	欠陥があってはならない
	すみ肉施工試験	すみ肉溶接施工試験（日本道路協会）				
最高硬さ試験	最高硬さ試験	図-15.3.4による	図-15.3.4による	1	JIS Z 2244	$Hv \leqq 370$
スタッド溶接試験	引張試験	図-15.3.5による	図-15.3.5による	3（6）（図-15.3.5参照）	JIS Z 2241	降伏点は24kg/mm²以上，引張強さは41～56kg/mm²，伸びは20%以上とする．ただし溶接部で切れてはいけない．
	曲げ試験	図-15.3.6による	図-15.3.6による	3	図-15.3.6による	溶接部にきれつを生じてはならない

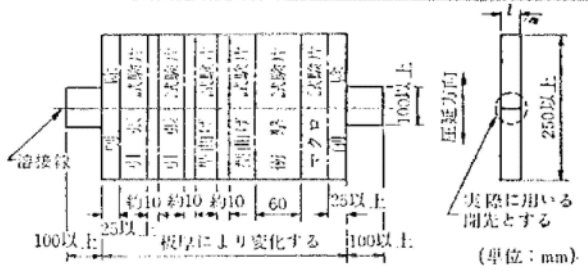


図-15.3.1　グループ溶接試験溶接方法

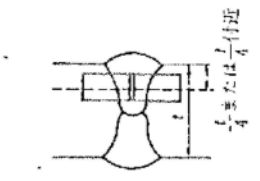


図-15.3.2　衝撃試験片（グループ溶接試験片の採取位置）

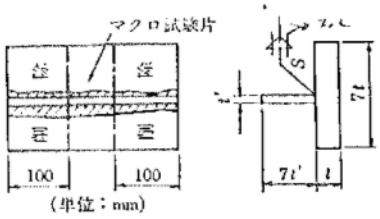
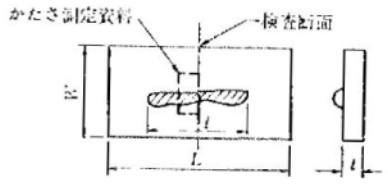


図-15.3.3　すみ肉溶接試験（マクロ試験）溶接方法および試験片の形状

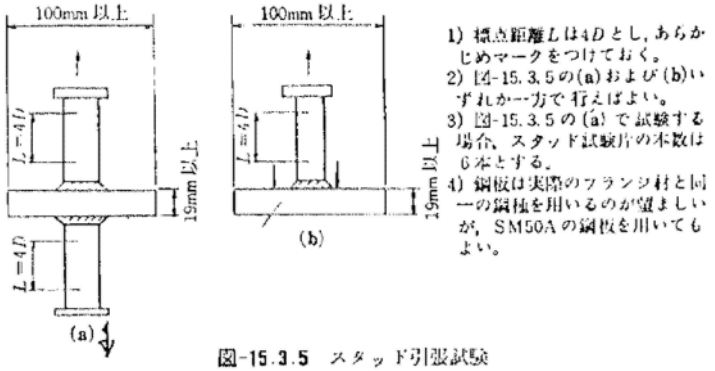


（単位：mm）

溶接方法	L	W	t
手溶接	200	150	125
自動溶接	250	190	150

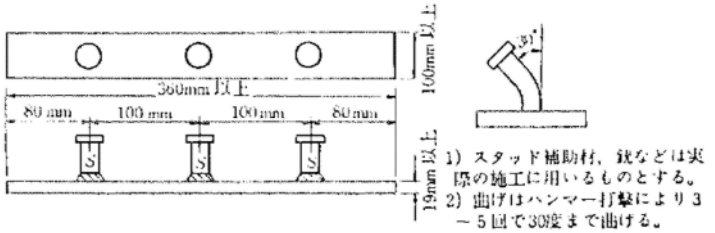
溶接ビードは1層とし，溶接条件は初層の溶接条件とする。また，かたさ測定資料の採取およびかたさの測定はJIS Z 3101に準ずる。

図-15.3.4　最高かたさ試験溶接方法および試験片の形状



1) 標点距離Lは$4D$とし，あらかじめマークをつけておく。
2) 図-15.3.5の(a)および(b)いずれか一方で行えばよい。
3) 図-15.3.5の(a)で試験する場合，スタッド試験片の本数は6本とする。
4) 鋼板は実際のフランジ材と同一の鋼種を用いるのが望ましいが，SM50Aの鋼板を用いてもよい。

図-15.3.5　スタッド引張試験



1) スタッド補助材，鉄などは実際の施工に用いるものとする。
2) 曲げはハンマー打撃により3－5回で30度まで曲げる。

図-15.3.6　スタッド曲げ試験

(4)　組　　立

部材の組立に際しては，補助治具を有効に利用し，無理のない姿勢で仮付け溶接できるようにしなければならない。また，支材やストロングバックなどの異材を母材に仮付けすることはできるだけ避け，やむを得ず仮付けを行って母材を傷つけた場合は，表-15.3.11により補修するものとする。

(5)　材片の組合せ精度

1)　材片の組合せ精度は，溶接部の応力伝達が円滑で，かつ，溶接不良を起さないものにしなければならない。

2)　材片の組合せ精度は下記の値を標準とする。ただし，施工試験によって誤差の許容量が確認された場合はこれによらなくてよい。

ｉ）グループ溶接

ａ）ルート間隔の誤差：規定値±1.0mm以下

ｂ）板厚方向の材片の偏心：薄い方の板厚の10％以下

ｃ）裏当金を用いる場合の密着度：0.5mm以下

d）開先角度：規定値±10°

ii）すみ肉溶接

材片の密着度：1.0㎜以下

(6) 仮付け溶接

1) 本溶接の一部となる仮付け溶接には，本溶接を行う溶接工と同等の技術をもつ者を従事させるものとする。

2) 溶接姿勢は本溶接の場合と同じとするのを原則とする。

3) 使用溶接棒は本溶接の場合と同様に管理しなければならない。

4) 仮付け溶接の長さは80㎜以上とし，すみ肉（または換算）脚長は4㎜以上とする。

5) 仮付け溶接は，組立終了時までにスラグを除去するものとし，溶接部表面にわれがないことを確認しなければならない。もし，われが発見された場合は，その原因を究明し，適当な対策を講じなければならない。

(7) 溶接前の部材の清掃と乾燥

1) 溶接を行おうとする部分には，黒皮，錆，塗料，油などがあってはならない。

2) 材片に水分の付着した状態で溶接を行ってはならない。組立後12時間以上経過した部材を溶接する場合は，溶接線近傍を十分乾燥させなければならない。

(8) 溶接材料

1) 被覆アーク溶接棒の使用区分は，表-15.3.3によるのを標準とする。

表-15.3.3 被覆アーク溶接棒使用区分

被覆アーク溶接棒の種類	適用鋼種および板厚（㎜）
軟鋼用被覆アーク溶接棒	SS41，SM41（t<25） SS41，SM41（25≦t<38：予熱を行う場合）
低水素系被覆アーク溶接棒	SS41，SM41（25≦t<38：予熱を行わない場合） SMA41，SM50，SMA50，SM50Y，SM53，SM58，SMA58

2) 溶接材料の乾燥

i）被覆アーク溶接棒の乾燥は，表-15.3.4によるのを標準とする。

表-15.3.4 溶接棒の乾燥

溶接棒の種類	溶接棒の状態	乾燥温度	乾燥時間
軟鋼用被覆アーク溶接棒	乾燥（開封）後12時間以上経過した場合，または溶接棒が吸湿したおそれがある場合	100～150°C	1時間以上
低水素系被覆アーク溶接棒	乾燥（開封）後4時間以上経過した場合，または溶接棒が吸湿したおそれがある場合	300～400°C	1時間以上

ii）サブマージアーク溶接に用いるフラックスの乾燥は，表-15.3.5によるのを標準とする。

表-15.3.5 フラックスの乾燥

フラックスの種類	乾燥温度	乾燥時間
溶融フラックス	150～200°C	1時間以上
ボンドフラックス	200～250°C	1時間以上

(9) 予　　熱

下記事項のいずれかに該当する場合は，溶接線の両側10cmおよびアークの前方10cmの範囲内の母材を，表-15.3.6により予熱するのを標準とする。ただし，サブマージアーク溶接に関してはこの項を適用しないものとする。また，特別な実験資料によってわれ防止が確実に保証される場合は，この項の適用を除外することができる。

1) 鋼材のミルシートから次の式により計算した炭素当量が0.44%をこえる場合。

$$C_{eq}=C+\frac{Mn}{6}+\frac{Si}{24}+\frac{Ni}{40}+\frac{Cr}{5}+\frac{Mo}{4}+\frac{V}{14}+\left(\frac{Cu}{13}\right)(\%) \quad \cdots\cdots(15.3.1)$$

ただし，（　）の項はCu≧0.5の場合に加えるものとする。

2) 表-15.3.2の最高かたさ試験において予熱なしで最高かたさがHv370をこえる場合。

3) 気温（室内の場合は室温）が5°C以下の場合。

表-15.3.6　予熱温度の標準

鋼種 ＼ 板厚(cm)	$t<25$	$25\leqq t<38$	$38\leqq t\leqq 50$
SS 41 SM 41	予熱なし	予熱なし[1] 40°C～60°C[2]	40°C～80°C[3]
SMA 41 SM 50	予熱なし[1]	40°C～60°C[3]	80°C～100°C[3]
SMA 50 SM 50Y SM 53 SM 58 SMA 58	40°C～60°C[3]	80°C～100°C[3]	80°C～100°C[3]

注：1) 低水素系の溶接棒を使用する場合
2) 低水素系以外の溶接棒を使用する場合
3) 低水素系溶接棒を使用するのを標準とする

(10) 溶接施工上の注意

1) エンドタブ

i) グルーブ溶接および主桁たのフランジと腹板のすみ肉溶接などの施工に際しては，部材と同等な開先を有するエンドタブを取りつけ，溶接の始点および終端が溶接する部材上に入らないようにしなければならない。

ii) エンドタブは，溶接終了後ガス切断法によって除去し，そのあとをグラインダー仕上げするものとする。

2) 部分溶込みグルーブ溶接の施工

部分溶込みグルーブ溶接の施工において，連続した溶接線を2種の溶接法で施工する場合は，前のビードの端部をはつり，欠陥のないことを確認してから次の溶接を行うものとする。ただし，完全な手溶接ビードが先行している場合はこの限りでない。

3) すみ肉溶接および部分溶込みグルーブ溶接の施工

i) 材片の隅角部で終るすみ肉溶接は，隅角部をまわして連続的に施工しなければならない。

ii) サブマージアーク溶接法またはその他の自動，半自動溶接法を使用する場合，継手の途中でアークを切らないのがよい。

(11) グルーブ溶接の余盛りと仕上げ

設計においてとくに仕上げの指定のないグルーブ溶接は，表-15.3.7に示す範囲内の余盛りは仕上げなくてよい。余盛り高さが表-15.3.7に示す値をこえる場合は，ビード形状，とくに止端部を滑らかに仕上げなければならない。

表-15.3.7　グループ溶接の余盛り（mm）

ビード幅(B)	余盛り高さ(h)
$B<15$	$h \leqq 3$
$15 \leqq B<25$	$h \leqq 4$
$25 \leqq B$	$h \leqq \frac{1}{25}B$

(2)　溶接の検査

1)　突合せ継手の内部欠陥に対する検査

i）主要部材の突合せ継手は，放射線透過試験により表-15.3.8に示す1グループごとに1継手の抜取り検査を行うものとする。ただし，十分な資料を有する場合は，放射線透過試験のかわりに超音波探傷試験を用いることができる。

表-15.3.8　放射線透過試験

部材			1検査ロットをグループ分けする場合の1グループの最大継手数	撮影枚数
引張部材			1	1枚（端部を含む）
圧縮部材			5	1枚
曲げ部材	引張フランジ		1	1枚
	圧縮フランジ		5	1枚
	腹板	応力に直角な方向の継手	1	1枚（引張側）
		応力に平行な方向の継手	1	1枚（端部を含む）
鋼床版			1	1枚（端部を含む）

ii）放射線透過試験はJIS Z 3104「鋼溶接部の放射線透過試験方法および透過写真の等級分類方法」によって行うものとし，試験の結果は次の規定を満足しなければならない。

a）引張応力を受ける溶接部はJIS Z 3104に示す2級以上とする。

b）圧縮応力を受ける溶接部はJIS Z 3104に示す3級以上とする。

iii）放射線透過試験の結果がii）の規定を満足しない場合は，試験を行ったその継手を不合格とする。ただし，検査ロットのグループが二つ以上の継手から成る場合は，そのグループの残りの各継手に対し放射線透過試験を行い合否を判定するものとする。

iv）不合格となった継手は，その継手全体を放射線透過試験によって検査して欠陥の範囲を確認し，(4)の規定にしたがい補修しなければならない。補修部分はii）の規定を満足しなければならない。

2)　溶接われの検査

溶接ビードおよびその近傍には，いかなる場合もわれがあってはならない。われの検査は肉眼で行うのを原則とするが，疑わしい場合は，磁粉探傷法または浸透液探傷法を用いるのがよい。

3)　溶接ビードの外観，形状の検査

i）溶接ビード表面のピット

主要部材の突合せ継手および断面を構成するT継手，かど継手には，ビード表面にピットがあってはならない。その他のすみ肉溶接および部分溶込みグループ溶接には，1継手につき3個，または継手長さ1mにつき3個までを許容するものとする。ただし，ピットの大きさが1mm以下の場合は，3個を1個として計算するものとする。

ii）溶接ビード表面の凹凸

ビード表面の凹凸は，ビード長さ25mmの範囲における高低差で表わし，3mmをこえる凹凸があってはならない。

iii）アンダーカット

アンダーカットの深さは，表-15.3.9の値をこえてはならない。

表-15.3.9　アンダーカットの許容深さ

アンダーカットの位置	許容深さ（mm）
主要部材の材片に働く一次応力に直交するビードの止端部	0.3
主要部材の材片に働く一次応力に平行なビードの止端部	0.5
二次部材のビード止端部	0.8

iv）オーバーラップ

オーバーラップはあってはならない。

v）すみ肉溶接の大きさ

すみ肉溶接のサイズおよびのど厚は，指定すみ肉サイズおよびのど厚を下回ってはならない。ただし，1溶接線の両端各50mmを除く部分では，溶接長さの10%までの範囲で，サイズおよびのど厚ともに−1.0mmの誤差を認めるものとする。

vi）アークスタッド

アークスタッドの外観検査は，全数について行うものとし，表-15.3.10を満足しなければならない。

表-15.3.10　アークスタッドの外観検査基準

欠陥	判定基準
余盛形状の不整	余盛は全周にわたり包囲していなければならない。なお，余盛は高さ1mm 幅0.5mm以上のものをいう。
クラックおよびスラグ巻込み	あってはならない。
アンダーカット	するどい切欠状のアンダーカットおよび深さ0.5mm以上のアンダーカットがあってはならない。ただし，グラインダー仕上げ量が0.5mm以内に収まるものは仕上げて合格する。
スタッドジベルの仕上り高さ	（設計値±2mm）をこえてはならない。

(13) 吊金具，架設用治具などの取付けおよび除去

1) 運搬，架設などの用に供する吊金具，治具などを取り付ける場合の溶接は，原則として工場内で行うものとし，その条件は工場溶接と同等以上のものでなければならない。

2) 吊金具，治具などの除去は母材に有害な欠陥を残さないよう入念に行われなければならない。

(14) 欠陥部の補修

欠陥部の補修は，表-15.3.11に示す要領で行うものとする。

表-15.3.11　欠陥の補修方法

	欠陥の種類	補修方法
1	鋼材の表面きずで，あばた，かき傷など範囲が明瞭なもの	溶接で肉盛りし，グラインダー仕上げする。溶接ビードの長さは40mm以上とする。
2	鋼材の表面きずで，へげ，われなど範囲が不明瞭なもの	たがねやアークエアガウジング法により不良部分を除去したのち溶接で肉盛りし，グラインダー仕上げする。
3	鋼材端面の帯状われ	板厚の1/4程度の深さにガウジングし，溶接で肉盛りし，グラインダー仕上げする。

4	アークストライク	母材表面に凹みを生じた部分は溶接肉盛りののちグラインダー仕上げする。わずかな痕跡のある程度のものはグラインダー仕上げのみでよい。溶接ビードの大きさは第1欄に同じとする。
5	仮付け溶接の欠陥	溶接ビードはたがねまたはアークエアスカーフィング法で除去する。母材にアンダーカットのある場合は，溶接で肉盛りし，グラインダー仕上げする。溶接ビードの大きさは第1欄に同じとする。
6	溶接われ	われ部分を完全に除去し，発生原因を究明して，それに応じた再溶接を行う。
7	溶接ビード表面のピット，オーバーラップ	アークエアガウジングでその部分を除去し，再溶接する。溶接ビードの長さは40mm以上とする。
8	溶接ビード表面の凹凸	グラインダー仕上げする。
9	アンダーカット	ビード溶接したのち，グラインダー仕上げする。溶接ビードの長さは40mm以上とする。
10	スタッド溶接の欠陥	ハンマー打撃検査で溶接部の疑問したものは完全に除去し，母材面を整えたのち再溶接する。アンダーカット，余盛不足に対する被覆棒での補修溶接は避けるのがよい。

(5) ひずみとり

1) 溶接によって生じた部材の変形は，プレスまたはガス炎加熱法などによってきょう正するものとする。

2) ガス炎加熱法によってきょう正する場合の鋼材表面温度および冷却法は表-15.3.12によるものとする。

表-15.3.12 ガス炎加熱法による線状加熱時の鋼材表面温度および冷却法

鋼種	鋼材表面温度	冷却法
SM 58 SMA58	750°C 以下	空冷または空冷後600°C 以下で水冷
その他の鋼材	900°C 以下	赤熱状態からの水冷を避ける

(6) 溶接施工

溶接継手には，突合せ継手，T継手，かど継手，かさね継手などがあって，継手の強度や剛度や靱性の面で必要な溶接の寸法，形状は，溶接記号によって設計図に示される。

しかし，一般に，溶接継手の性能は，溶接記号の指示のみで決定されるものではなく，施工に関連する冶金的性質や欠陥の存在程度などによって大きく変化する。

この条では，橋梁に必要な溶接部の品質を確保するため，施工上の規定を種々設けており，これを守ることは当然であるが，施工者の選択にまかせられている条件もかなりあるので，これらについては，経験豊富な溶接技術者が施工要領を立案し，管理組織を通じて末端まで徹底させることが重要である。

この条にあげた各項目は，施工要領書に記載し，その実施を管理者が確認すべき最小限度を示したものである。この示方書は，約20種類におよぶ鋼種を対象としており，また，溶接方法も手溶接に加えて自動，半自動溶接が使用できることになっているので，とくに鋼種と溶接方法や溶接条件との組合せについて誤りがないよう十分なチェックが必要である。2.2.3の表-2.2.6は，工場溶接と現場溶接の許容応力度を区別し，工場溶接の品種を一段と高く評価している。この規定を満足させるためにも，工場施工は，現場施工よりすぐれた環境条件で行わなければならない。したがって，単に工場敷地内で行われるということだけで，これを工場溶接と定義することは危険であり，工場でも屋外で施工する場合は，温度，湿度，風速，溶接姿勢などについて不利な条件とならないよう，十分な考慮をはらわなければならない。

(2) 溶 接 工

溶接の品質は溶接工の技術によるところが大きいので，定められた認定試験に合格した有資格者を当てることが溶接構造では常識になっている。この示方書では，JIS Z 3801「溶接技術検定における試験方法ならびにその判定基準」を採用しているが，この規格は，溶接姿勢（下向F，立向V，横向H，上向O），溶接作業（薄板1，中板2，厚板3），溶接方法（ガス溶接G，アーク溶接裏当金付きA，アーク溶接裏当金なしN）の組合せで，非常に多くの試験種類を包含している。これは，多岐にわたる現在の溶接継手のすべてに対応するように立案されたもので，各溶接工が全試験に合格する必要はない。

鋼橋の工場溶接では，もっぱらアーク溶接が用いられ，片面溶接を要求される場合はほとんどないから，溶接方法としては，アーク溶接裏当金付きを対象とし，また，薄板や厚板の突合せ継手を溶接で施工することはまれであるから，溶接作業区分としては中板を対象とすればよく，結局，A-2F，A-2V，A-2Oに合格していれば十分である。厚板の橋脚柱を現場突合せ溶接する場合などは，A-3H の有資格者をあてなければならない。サブマージアーク溶接については，現在，技術検定の国家規格がないが，手溶接は溶接の基本であるから，オペレータは少なくともA-2Fの試験に合格していることが望ましい。

近年，溶接作業の能率向上の面などから半自動溶接の採用が普及してきており，1974年に半自動溶接工検定に関するJIS規格も制定されたので，今回の改正にあたり，これを追加した。

ここにいう半自動溶接とは，ワイヤを自動的にトーチのノズルから供給し，溶接工の手の操作によって溶接する溶接法のことであって，一般にCO_2ガスあるいはCO_2とArの混合気体でアークをシールドするもので，いわゆるグラビティ溶接は含めない。

半自動溶接工の資格については，手溶接工に関する考え方と同様に実際作業で採用する溶接姿勢によりJIS Z 3841「半自動溶接技術検定における試験方法及び判定基準」のSA-2F，SA-2V，SA-3H，SA-2Oの中から試験種目を選ぶものとする。

(3) 溶接施工試験

1) 溶接施工試験の目的は，使用鋼材の溶接性や溶接方法の適性を知ることにあるので，適用範囲としては，現状で使用実績が少なく，したがって，施工上特別な注意を要する鋼材および溶接方法を対象とすることにした。

しかしながら，同種類の試験を工事ごとに繰り返すことは無意味であるばかりでなく，そのために要する経費や工期のぎせいも無視できない。したがって，施工者がすでに同種の施工試験と実際施工の経験をもち，施工管理に信頼のおける場合は，資料の提出，検討によって溶接施工試験を省略できることもある。

i) 一般に引張強さ50キロ鋼の厚板は，製鋼技術的に炭素当量が高くなりがちで，溶接われに対しとくに注意を要するので，38mmをこえる場合について施工試験を課すことにした。40キロ鋼の厚板にあっても，耐候性のSMA41については，強度は低いが，Cu，Crなどの合金元素を含有するので同列に扱うこととした。SM58については，調質により強度をあげているので，実績ではむしろ50キロ鋼鋼より炭素当量が小さく耐われ性もすぐれているが，強度レベルが高いことを考慮して同列に扱っている。

ii) の鋼材は，前記のSM58に対し，耐候性を与えるための成分を添加しているので，われ感受性を考慮して適用範囲を25mmまで下げた。

iii）は調質鋼に対する溶接入熱の問題である。調質鋼の溶接ビード近傍は，熱サイクルによって焼入れ焼もどし効果が失われ，軟化や脆化を起しやすい。したがって，

$$\text{入熱量 } Q\,(\text{joule/cm}) = \frac{\text{電流(amp)} \times \text{電圧(volt)} \times 60}{\text{溶接速度(cm/min)}}$$

が大きいと，変質の程度と範囲も大きくなって継手の性能が低下する。SM58の場合，ほぼ70,000joule/cm以下の入熱量では，継手性能の低下は見られないことが多くの実験から確認されており，また通常の橋梁施工で使用されるサブマージアーク溶接方法もこの入熱量以下で十分溶接施工が可能なので，70,000joule/cmを一般的な施工の上限値とした。厚板のグルーブ溶接でとくに大電流を使用するかタンデム工法を使用するかして，そのときの入熱量が70,000joule/cmをこす場合は，施工試験でその適性を調べることとした。

iv）では，被覆棒による手溶接，サブマージアーク溶接法およびCO_2ガスシールド半自動溶接を一般扱いとし，その他の溶接法を施工試験の対象とした。鋼構造の溶接方法としては，現在，MIG溶接，ノーガスアーク溶接，エレクトロスラグ溶接，グラビティ溶接などが用いられている。これらの溶接方法は，能率上，手溶接よりまさっているが，現状では，溶接工の訓練や適性条件の管理の面で，無制限に採用できるほど一般化していないし，また適用する継手によっては，特有な問題点も発生することがあるので，施工試験によってそれらを確認することとした。

v）現場溶接は，気象条件，溶接姿勢，開先精度など種々の面で工場施工より不利な条件にあるのが普通である。また，鋼床版の片面溶接や橋脚の横向き溶接，あるいは既設橋の補強などの現場溶接は，継手そのものも施工方法も一般の工場溶接とは著しく異なっていることが多い。したがって，現場溶接に対しては現場の条件を加味した施工試験を行うのを原則とした。

2) 表-15.3.2には，グルーブ溶接試験，すみ肉溶接試験，最高かたさ試験，スタッド溶接試験の4種類の試験があげられている。しかし，溶接施工試験といえば，つねにこの全部を実施するものと解釈する必要はない。たとえば，1）のi）またはii）に該当する場合は，鋼材の特性を問題とするのではば全種類となる（スタッドが用いられないときはスタッド溶接を除く）が，iii）のみに該当する場合は，グルーブ溶接試験のみでよいし，iv）にのみ該当するものは，すみ肉溶接試験のみを行えばよい。

また，ここにあげた試験内容には，技術検定的な色彩の強いもの（たとえば，放射線透過試験，すみ肉施工試験，スタッド溶接試験）も含んでいるが，これらによって施工者の品質管理体制をチェックすることもできるので，施工試験の意味を広く解釈してこれらの試験をも含めることにした。

グルーブ溶接試験の型曲げ試験における従来の判定基準は「きれつが生じてはならない。」となっていたが，この試験が実際に比べて過酷な試験であり，ブローホールあるいはスラグ巻込みからの小さなきれつを禁ずることは厳しすぎるといえる。この試験においてきれつが生じた場合であっても，その発生原因がブローホールあるいはスラグ巻込みであることが確認され，かつ，きれつの長さが3mm程度までの場合は許容できるものと考えられることから，今回条文のように改めた。

なお，「JIS Z 3801溶接技術検定における試験方法ならびにその判定基準3.2」，「通産省電気工作物の溶接の技術基準」，「AWS 5, 12, 1, 2 Root-, Face-, and Side Bend Tests」，「ASME QW-1 Acceptance Criteria-Bend Tests」などでも，きれつの長さ3mmを許容限度としている。

(5) 母片の組合せ精度

部材を組立る場合，材片の組合せ精度が悪いと完成した部材そのものの精度，ひいては橋梁全体の精度を低下させるばかりでなく局部的な溶接不良を起しやすいのでこの項を定めた。この項でいう規定値とは，過去の実績から良好な溶接ができるものとして施工要領に記載された数値を指している。したがって，グルーブ溶接のルート間隔や開先精度は，施工者によって異なることもある。

ただし，板厚方向の材片の偏心許容量は，鋼床版現場継手やハブの突合せ継手など，精度保持のむずかしい継手もあることを想定して定められたものであるから，一般の工場施工の場合は許容範囲の下限値を目標に施工することが望ましい。

すみ肉溶接における材片の密着度は，一般の直線部分では比較的容易に確保されるが，素材に曲げ加工や突合せ継手が存在する場合は不良となりやすいので，このような場合について十分な管理が行われるように許容量を定めた。部材が他部材のスリットを貫通する十字継手で，施工上この密着度が守れない場合は，片側に開先をつけてグルーブ溶接にするのがよい。

(6) 仮付け溶接

仮付け溶接は，本溶接によって全部再溶融されてしまう場合もあるが，一般には一部あるいは大部分が本溶接内に残留するので，仮付け溶接の品質を本溶接同様良好なものにするためこの項を定めた。

仮付け溶接は，組立段階で行われるため，とかく溶接管理がおろそかになりやすいので，それを防ぐためにはまず資格を有する溶接工を従事させることが重要である。AWSでは仮付け溶接工についても技術検定を行うよう定めているが，わが国では現在，仮付け溶接だけの検定制度がないので，本溶接を行う溶接工と同等の技術をもつ者を従事させることとした。

仮付け溶接の長さを80mm以上としたのは，最近の研究で50キロ級高張力鋼の下向手動ショートビードのすみ肉溶接を行った場合，ルートからボンドに沿ってわれの発生しやすいことが明らかにされたためである。この研究によれば，室温でもビード長がほぼ80mmになるとわれの発生が止まり，また，約120℃以上の予熱でも同様な効果が認められる。一般に橋梁の組立段階では120℃以上の予熱がかなり困難である事情を考えて，仮付け溶接のビード長を80mm以上とした。

前述のルートわれはビード表面に現われないことが多いが，その他の仮付けわれは断面が小さいためしばしばビード表面に現われる。したがって，組立終了時に表面検査を行ってわれを検出すれば，その段階で対策を立てることができるので，仮付けビードのスラグは組立終了時に除去し，ビード表面の検査を行うこととした。

(7) 溶接前の部材の清掃と乾燥

溶接線近傍の黒皮，錆，塗料，油などはブローホールやわれの発生原因となる。しかし，欠陥の発生状況は異物の量と溶接方法とによってかなり異なり，たとえば，通常のプライマー塗装は，下向き手溶接ではほとんど無害であるが，立向き下進溶接では高速度で施工するすみ肉溶接にとくに有害である。溶接線に水分の付着した状態は明らかに溶接に悪影響を与えるので，これを禁止した。

(8) 溶接材料

1) ここでは被覆アーク溶接棒の使用区分を規定し，耐候性鋼および高張力鋼については耐われ性を考慮してすべて低水素溶接棒を使用することとした。

2) ここでは被覆アーク溶接棒とサブマージアーク溶接用フラックスの乾燥条件および許容放置時間の標準を示した。軟鋼用溶接棒はわれのおそれのない場合に使用されるが，吸湿がはなはだしいと思わぬ欠陥が生じるので，乾燥をおろそかにしてはならない。低水素系溶接棒は，水素の発生量が少なく耐われ性のよいことを特徴としているので，その特徴を損なうような取扱いを避けなければならない。低水素系溶接棒に規定した乾燥温度と時間は，吸湿水分を十分排除するのに必要な条件であり，放置時間，吸湿水分放出水素量の関係は図-解 15.3.3および図-解 15.3.4に示すとおりである。

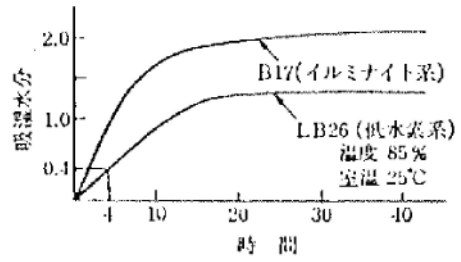


図-解 15.3.3

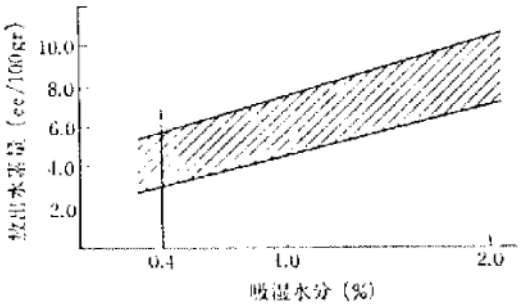


図-解 15.3.4

すなわち，低水素系溶接棒を 25℃ 湿度85%のもとで4時間放置した場合の吸湿水分は約0.4% となり，その吸湿水分における放出水素量(JIS Z 3113水素試験方法による)は，ほぼ3～5.5cc/100g である。この値は JIS Z3212 (高張力鋼用被覆アーク溶接棒)に定められた水素量（表-解 15.3.1参照）をすべて満足する。一方，D5016系を主とする工場内溶接棒を任意に抽出して行った拡散性水素量の測定結果は，図-解 15.3.4 に示すようなものであり，以上のことから許容放置時間として4時間を適当と考えた。

表-解 15.3.1 水素量の JIS

D 5016 D 5026	＜10cc/100g
D 5316 D 5326	＜8
D 5816 D 5826	＜6

サブマージアーク溶接用フラックスとして現在多用されている溶融タイプのものは，それ自体は吸湿しないが，高温多湿の場合は粒子自体が吸湿するので乾燥温度を高く規定した。

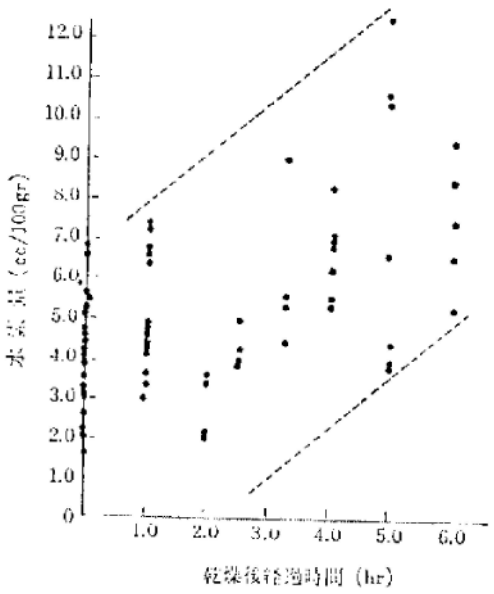


図-解 15.3.5 工場内溶接棒による溶着金属の拡散性水素量の測定結果

CO_2ガスシールド半自動溶接用ワイヤとしては，ソリッドワイヤが最も普及しているが，フラックスワイヤを使用する場合は乾燥および保管に十分注意しなければならない。またCO_2ガスに水分が含まれていると溶接部にブローホールなどの欠陥が生ずる原因となるので，できるだけ水分の少ない JIS K 1106「液化炭酸」に規定された3種を使用しなければならない。なお，CO_2にArを混合すると，スパッタを少なくすることができ，ビードの表面整形などの点で良い結果を得ることができる。

(9) 予　　熱

予熱を必要とする条件として，1)に鋼材の炭素当量をあげ，$C_{eq}>0.44\%$の場合に予熱を行うこととした。$C_{eq}=0.44\%$はSM58に対して JIS で規定された最大値である。現在，$C_{eq}=0.44\%$となるおそれのある鋼材はSM50，SM50Y，SM53，SMA50，SMA58であり，とくにそれらの厚板は可能性が大きいので，これらについてはミルシートをチェックして該当品にマークを付ける必要がある。

2)の事項は最高かたさ試験の結果を予熱の要，不要の判断資料としたもので，H_v≦370であれば，われ発生のおそれもなく，曲げ延性も十分あると考えられる。

3)は気温の条件を定めたもので，予熱必要範囲を5℃以下としたのは，実績の少ない耐候性鋼やSM50Y，SM53などに対して安全を考えたためである。

表-15.3.6 には鋼種板厚ごとの予熱温度が示されているが，これは従来の経験，他の示方書類を参考とし，施工性も考慮して定めた一応の標準である。予熱はわれのない健全な溶接を行うための手段であるから，表に示した温度に予熱しさえすればよいというわけではなく，状況によっては，われ発生を防止するためさらに高温の予熱を必要とする場合もあると考えなければならない。また，逆に前記事項に該当する場合でも溶接施工試験結果や他の実験資料によってわれの発生しないことが確かめられている場合は，必ずしも予熱の必要はない。参考までに AWS の溶接指示方書(Specification for Welded Highway and Railway Bridges) に定められた予熱規定を表-解 15.3.2に示す。

半自動溶接は，単位時間当りの入熱量が手溶接に比べはるかに高いので，サブマージアーク溶接と同様予熱を省略することも考えられるが，それを確証するデータも少ないので，手溶接と同様に取扱うこととした。なお，特別な実験資料によってわれ防止が確実に保証される場合はこの限りでない。

表-解 15.3.2　AWS溶接橋示方書の予熱規定

溶接部の最大板厚 (mm)	低水素系以外の被覆アーク溶接	低水素系被覆アーク溶接 サブマージアーク溶接 ガス被覆アーク溶接
	A36，A500，A501	A36，A441，A572のG42，45，A588
19以下	な　し	な　し
19をこえ38以下	65℃	21℃
38をこえ63以下	107℃	65℃
63をこえるもの	150℃	107℃

(10)　溶接施工上の注意

1)　エンドタブ

溶接ビードの始端および終端には欠陥が生じやすいので，エンドタブを使用する必要があるが，主げた端部のすみ肉溶接についても，同様にエンドタブを使用することとした。これは現在，主げたのフランジとウェブのすみ肉溶接は主としてサブマージアーク溶接法で施工されており，自動溶接特有の大きなクレータがせん断応力が大きくなる材端部に残存することは好ましくないからである。

2)　部分溶込みグルーブ溶接の施工

一般に溶接ビード終端にはクレータが生じ，この部分にはいわゆるクレータわれが生じやすく，部分溶込みグルーブ溶接のように比較的開先角度の小さい場合はこの傾向がいちじるしい。したがって，自動溶接法および半自動溶接法では，途中でビードを切らずに溶接線を連続して施工することが望ましい。部材の形状や開先の変化などにより，やむを得ず途中でビードを切ったり溶接方法を変える場合は，先行ビードの終端部をはつり取って次の溶接を行うこととした。手溶接では終端部処理を注意して行えばクレータが生じることもないので，そのような場合はしいて端部をはつり取る必要はない。

3)　すみ肉溶接および部分溶込みグルーブ溶接の施工

この規定は，2)で述べたのと同じ理由により定めたものである。半自動溶接法で長い継手を施工する場合は，実際の配置や移動性が悪いと連続溶接が行えなくなるので，あらかじめそれらに十分な配慮をしておくことが望ましい。

(11)　グルーブ溶接の余盛りと仕上げ

余盛りによる応力集中はビード止端部の形状に関係するものであり，余盛り中央部の高さとは直接に関係しないと考えられるので，ビード幅を基準にとって表-15.3.7のように規定した。

この規定をこえる余盛りについては，当然グラインダーで超過分を削り取らなければならないが，その際中央部だけ削って高さを減じても止端部の形状による影響を減じることにはならないので，止端部をとくになめらかにするよう注意する必要がある。

従来，余盛り仕上げの要，不要はとかくあいまいにされており，施工時にトラブルを起すことが多かった。余盛りの存在による応力集中は溶接構造物にとって重要であり，外観上からも仕上げを要求されることもあるので，余盛り仕上げの必要な箇所は設計図に指示すべきである。施工時にはこの仕上げ記号の有無をよく確認して施工する必要がある。

(2) 溶接の検査

1) 突合せ継手の内部欠陥に対する検査

従来の規定は，抜取り検査における検査ロットの取り方および検査で不合格となった場合の処置が明確でなかったので，今回これらを明確に規定した。

溶接品質に影響を与える条件には，継手形式，材質，板厚，溶接条件，開先および組立の精度，開先面の清浄度，予熱，後熱および層間温度の管理，溶接工の技量などがある。そこでこれらの溶接条件が同じ溶接継手は品質管理上同じものであるとみなし，そのような継手の集合を一つの検査ロットとする。たとえば，同じ板厚構成の突合せ継手を同じ溶接方法で10個溶接した場合，これら10個の継手で一つの検査ロットを構成することになる。ただし，ここでいう1継手とは，板と板との継手のことであり，部材と部材との継手という意味ではない。また，したがって，1度に連続して溶接した部材を後から切断して10個にしても継手としては1個として考える。次に，この検査ロットを表-15.3.8 に示した最大継手個数ごとのグループに分け，各グループから1継手を抜取って検査するものとした。

抜取り検査箇所はそのグループを代表しているので，これが不合格の場合，そのグループを不合格とする。不合格になった場合は，そのグループの各継手に対し，表-15.3.8 と同様の検査を行ってそれぞれの継手の合否を判定することとする。

なお，抜取り検査においては，溶接部の品質を確保するために，適正な検査ロット，抜取り検査箇所を決定しなければならない。表-15.3.8 中の撮影枚数の欄において（端部を含む）とは溶接線のはじめまたは終りの部分を含めて撮影するという意味である。

超音波探傷試験による溶接部の非破壊検査は，

a）エコー高さや範囲の測定に若干問題がある。

b）エコーに対して欠陥かどうかの判定が検査者によって微妙に異なる場合がある。

c）検査結果が放射線透過試験のフィルムのようなものとならず手書になることが多い。

などの問題点もあるが，放射線透過試験に比べ，

a）部材にとって最も有害なわれを欠陥の一つとして検出することにすぐれている。

b）現場溶接部や比較的厚板の溶接部の検査などに適している。

など利点もある。

放射線透過試験においては，フィルムの長さによって1度に試験される溶接長が規定されるが，超音波探傷試験にはこのような制約がなく連続した試験が可能である。しかし，抜取り検査を前提としているこの示方書においては，放射線透過試験に準じてよい。

超音波探傷試験は昭和50年に JIS として制定されたが，放射線透過試験のかわりに超音波探傷試験を行う場合は下記によるのがよい。

a）超音波探傷試験は，JIS Z 3060「鋼溶接部の超音波探傷試験方法および試験結果の等級分類方法」によるものとし，溶接線長30cmを1単位として，表-15.3.8 の「1枚」を「1単位」と読みかえた抜取り検査とする。

b）試験結果の判定は，引張応力を受ける溶接部は JIS Z 3060に示す2級以上，圧縮応力を受ける溶接部は JIS Z 3060に示す3級以上を合格とし，不合格となった場合の処置は放射線透過試験に準ずるものとする。

なお，超音波探傷試験の適用にあたっては，前記のような問題点について発注者と受注者とで十分協議しておく必要がある。

2) 溶接われの検査

溶接構造物のわれの存在を許容できないことはいうまでもないが，その完全な検出はきわめて困難である。したがって，発生したわれのうち少なくとも表面に検出できるものは許容しないという意味からこの規定をもうけたが，表面検出が可能なわれを防止しさえすれば，他はかまわないという意味ではなく，われの発生を防ぐために施工条件は確実に守らなければならない。すなわち，溶接われについてはその発生を抑えることが第一の課題であり，示方書の規定をまもり最大限の防止努力を払わなければならない。

なお，内部欠陥の検出方法として，超音波探傷試験が現在かなり使用されているが，われかその他の欠陥かの判別にまだ不明確な点があり，また，T継手やかど継手では適用がむずかしいので，われ検出方法として採用することは見合わせた。

3) 溶接ビードの外観および形状の検査

溶接ビードの外観および形状については欠陥か否かの判断には個人差があり，検査時のトラブルとなる場合も多い。そこで，この項にこれらの適正な許容量を与えて，客観的な判断が行えるような検査基準を設けた。

グルーブ溶接の余盛りについては，すでに前項で言及しているが，そのほかビードの外観形状の良否を決定する因子として，表面のピット，表面の凹凸，アンダーカット，オーバーラップ，すみ肉溶接の大きさなどがあげられる。ここでは，「船体外観の定量的検査ならびに管理基準（日本溶接協会造船部会溶接施工委員会編）」を参考にし，これに橋梁の諸事情を加味して規定を作成したものである。

i）ビード表面のピットは，異物や水分の存在によって発生したガスの抜け穴である。このうち小径で散発的なものは強度に影響しないが，大きなものや集中発生したものは応力集中の原因となり，また，外観的にも好ましくない。そこで，主要な継手では，これの存在を認めず，二次的な継手では若干の存在を許容した。

ii）ビード表面の凹凸は，主としてビードの縞目に現われるもので，クレータ処理や始端処理の不良な場合に極端に大きくなるので，それらの処理をていねいに行わせる意味と外観上の良否とから3㎜を基準にした。

iii）アンダーカットは応力集中の主因となり，腐食の促進にもつながるので，深さをきびしく規定した。アンダーカットの深さと疲労強度に関する資料として，多田，立花，寺尾の実験研究があり，応力直角方向の突合せ継手と十字すみ肉継手について表-解 15.3.3，表-解 15.3.4が示されている。

表-解 15.3.3 応力直角方向の突合せ継手におけるアンダーカットの深さと疲労強度の関係

試験片記号		A	B	C	D
アンダーカットの深さ (mm)		0.0	0.3	0.6	0.9
疲労強度 (応力範囲) (kg/mm²)	破壊確率 5%	11.0	13.2	11.3	6.4
	破壊確率 50%	18.5	15.5	13.9	9.0
	破壊確率 95%	30.5	18.5	17.1	12.3

表-解 15.3.4 十字すみ肉継手におけるアンダーカットの深さと疲労強度の関係

試験片記号		I	II	III	IV	V（溶着金属を部分的にグラインダがけしたもの）
アンダーカットの深さ(mm)		0.01～0.11	0.13～0.25	0.27～0.33	0.43～0.58	0.41～0.50
疲労強度 (応力範囲) (kg/mm²)	破壊確率 5%	14.2	11.5	9.8	9.6	10.8
	破壊確率50%	15.2	13.2	12.0	13.6	13.3
	破壊確率95%	16.2	15.0	14.6	19.2	16.3

これらの表によれば，0.3㎜ 程度のアンダーカットは疲労強度を15～20％低下させることになるが，道路橋ではこの程度の低下はとくに問題になることはないと考えられるので，主要部材で応力の作用方向に直交するビードの場合は0.3㎜まで許容することとした。応力に平行なビードの場合は，アンダーカットが直接のノッチにはならないので，許容量を0.5㎜まで上げ，二次部材では0.8㎜までゆるめた。

ⅳ）最近の溶接材料ではよほど悪い条件でない限りオーバーラップが生じないことを考慮して，オーバーラップは全面的に認めないこととした。

ⅴ）すみ肉溶接のサイズおよびのど厚にはマイナス公差を認め，溶接線の中間部では長さの10％まで −1.0㎜ を許容することとした。これは，すみ肉溶接の溶着鋼強度が一般に母材よりかなり高いことなどを考慮したためであり，また，施工のばらつきの下限を規定サイズとして目標値を設定すれば平均サイズは不必要に大きくなり，変形の点で不利になると判断したからである。

(5) ひずみとり

調質鋼に対しては，15.3.2(7)で熱間加工が禁止されているが，溶接ひずみを除去するために行われる線状加熱の熱影響は板表面数㎜程度の深さに限られ，鋼板としての機械的性質におよぼす影響はわずかである。このため調質鋼についてもガス炎による局部的な加熱によってひずみとりを行うことができるものとした。この場合，使用バーナーの種類や加熱温度について検討を加え，表-15.3.11に規定した鋼材表面温度を厳密に守るように，その施工法に注意しなければならない。

15.3.3 溶　　接

(1)　溶接施工

1)　溶接は，必要な継手性能を満足するよう，下記の事項を確認したのち慎重に施工しなければならない。

ⅰ）鋼材の種類と特性

ⅱ）溶接方法，開先形状および溶接材料の種類と特性

ⅲ）組合わせる材片の加工，組立精度，溶接部分の清浄度と乾燥状態

ⅳ）溶接材料の乾燥状態

ⅴ）溶接条件と溶接順序

2)　工場溶接は，屋内またはこれに相当する環境で行わなければならない。

(2)　溶　接　工

1)　溶接工は，JIS Z 3801「溶接技術検定における試験方法ならびにその判定基準」に定められた試験の種類のうち，その作業に該当する試験（またはこれと同等もしくはそれ以上の検定試験）に合格したものでなければならない。ただし，半自動溶接を行う場合は，JIS Z 3841「半自動溶接技術検定における試験方法及び判定基準」に定められた試験の種類のうち，その作業に該当する試験（またはこれと同等もしくはそれ以上の検定試験）に合格したものでなければならない。

2)　溶接工は，６カ月以上溶接工事に従事し，かつ，工事前２カ月以上引き続きその工場において溶接工事に従事した者でなければならない。

(3)　溶接施工試験

1)　下記事項のいずれかに該当する場合は，溶接施工試験を行うのを原則とする。

ⅰ）板厚が38mmをこえるSMA41W，SM50，SM53およびSM58

ⅱ）板厚が25mmをこえるSMA50WおよびSMA58W

ⅲ）SM58およびSMA58Wにおいて１パスの入熱量が70,000 joule/cmをこえる場合

ⅳ）被覆棒アーク溶接法（手溶接のみ），CO_2ガスシールド半自動溶接法，サブマージアーク溶接法以外の溶接を行う場合

ⅴ）現場溶接を行う場合

なお，過去に同等もしくはそれ以上の条件で溶接施工試験を行い，かつ施工経験をもつ工場では，その時の試験報告書を提出することにより溶接施工試験を省略できるものとする。

2)　溶接施工試験は表-15.3.4にあげた試験項目から該当する項目を選んで行うのを標準とし，供試鋼板の選定，溶接条件の選定その他は，下記によるのを原則とする。

表-15.3.4　溶接施工試験

試験の種類	試験項目	溶接方法	試験片の形状	試験片個数	試験方法	判定基準
グループ溶接試験	引張試験	図-15.3.1による	JIS Z 3121 1号	2	JIS Z 2241	引張強さが母材の規格値以上
	型曲げ試験（19mm未満裏曲げ）（19mm以上側曲げ）		JIS Z 3122 3号	2	JIS Z 3122 3号	原則として、きれつが生じてはならない
	衝撃試験		JIS Z 2202 4号（試験片採取位置は図-15.3.2による）	3	JIS Z 2242	溶着金属で母材の規格値以上（3個の平均値）
	マクロ試験		——	1	JIS G 0553に準ずる	欠陥があってはならない
	放射線透過試験		——	試験片継手全長	JIS Z 3104	2級以上（引張側）3級以上（圧縮側）
すみ肉溶接試験	マクロ試験	図-15.3.3による	図-15.3.3による	1	JIS Z 0553に準ずる	欠陥があってはならない
最高硬さ試験	最高硬さ試験	図-15.3.4による	図-15.3.4による	1	JIS Z 2244	$H_v \leqq 370$
スタッド溶接試験	引張試験	JISB1198	JISB1198	3	JIS Z 2241	降伏点は24kgf/mm²以上，引張強さは41～56kgf/mm²，伸びは20%以上とする。ただし溶接部で切れてはいけない
	曲げ試験	JIS Z 3145	JIS Z 3145	3	JIS Z 3145	溶接部にきれつを生じてはならない

i）供試鋼板には同じような溶接条件で取り扱う鋼板のうち最も条件の悪いものを用いる。

ii）溶接は実際の施工で用いる溶接条件で行うものとし，溶接姿勢は実際に行う姿勢のうち最も不利なもので行う。

iii）異種の鋼材のグループ溶接試験は，実際の施工と同様の組合せの鋼材で行う。

同鋼種で板厚が異なる継手については，板厚の薄い方の鋼材で試験を行ってもよい。

iv）再試験は最初の個数の2倍とする。

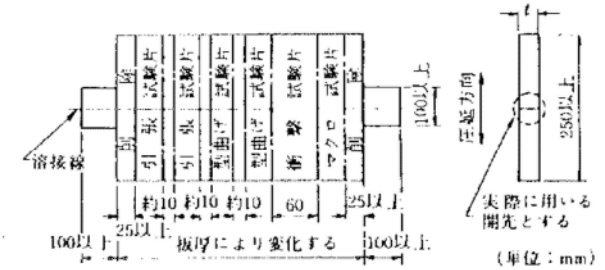


図-15.3.1　グループ溶接試験溶接方法

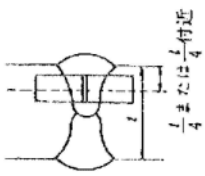


図-15.3.2 衝撃試験片（グループ溶接試験片の採取位置）

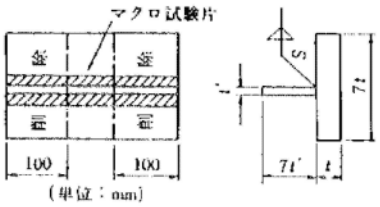
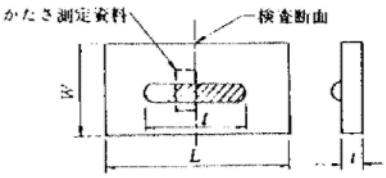


図-15.3.3 すみ肉溶接試験（マクロ試験）溶接方法および試験片の形状



(単位：mm)

溶接方法	L	W	t
手溶接	200	150	125
自動溶接	250	190	150

溶接ビードは1層とし，溶接条件は初層の溶接条件とする。また，かたさ測定資料の採取およびかたさの測定はJIS Z3101に準ずる。

図-15.3.4 最高かたさ試験溶接方法および試験片の形状

(4) 組　立

部材の組立に際しては，補助治具を有効に利用し，無理のない姿勢で仮付け溶接できるようにしなければならない。また，支材やストロングバックなどの異材を母材に仮付けすることはできるだけ避け，やむを得ず仮付けを行って母材を傷つけた場合は，表-15.3.14により補修するものとする。

(5) 材片の組合せ精度

1) 材片の組合せ精度は，溶接部の応力伝達が円滑で，かつ，溶接不良を起さないものにしなければならない。

2) 材片の組合せ精度は下記の値を標準とする。ただし，施工試験によって誤差の許容量が確認された場合はこれによらなくてよい。

i) グループ溶接

a) ルート間隔の誤差：規定値±1.0mm以下

b) 板厚方向の材片の偏心：薄い方の板厚の10%以下

c) 裏当金を用いる場合の密着度：0.5mm以下

d) 開先角度：規定値±10°

ii) すみ肉溶接

材片の密着度：1.0mm以下

(6) 仮付け溶接

1) 本溶接の一部となる仮付け溶接には，本溶接を行う溶接工と同等の技能をもつ者を従事させるものとする。

2) 溶接姿勢は本溶接の場合と同じとするのを原則とする。

3) 使用溶接棒は本溶接の場合と同様に管理しなければならない。

4) 仮付け溶接のすみ肉（または換算）脚長は4mm以上とし，長さは80mm以上とする。ただし，厚い方の板厚が12mm以下の場合，または次の式により計算した鋼材の炭素当量が0.36%以下の場合は50mm以上とすることができる。

$$C_{eq}=C+\frac{Mn}{6}+\frac{Si}{24}+\frac{Ni}{40}+\frac{Cr}{5}+\frac{Mo}{4}+\frac{V}{14}+\left(\frac{Cu}{13}\right)\ (\%) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (15.3.1)$$

ただし，（ ）の項は$Cu \geq 0.5(\%)$の場合に加えるものとする。

5) 仮付け溶接は，組立終了時までにスラグを除去するものとし，溶接部表面にわれがないことを確認しなければならない。もし，われが発見された場合は，その原因を究明し，適当な対策を講じなければならない。

(7) 溶接前の部材の清掃と乾燥

1) 溶接を行おうとする部分には，黒皮，錆，塗料，油などがあってはならない。

2) 溶接を行う場合は溶接線近傍を十分に乾燥させなければならない。

(8) 溶接材料

1) 溶接材料の使用区分は，表-15.3.5によるのを標準とする。

表-15.3.5 溶接材料区分

	使用区分
強度の同じ鋼材を溶接する場合	母材と同等もしくはそれ以上の機械的性質を有する溶接材料
強度の異なる鋼材を溶接する場合	低強度側の母材と同等もしくはそれ以上の機械的性質を有する溶接材料

耐候性鋼材を溶接する場合は，耐候性鋼材用の溶接材料を用いるものとする。

なお，被覆アーク溶接で施工する場合で次の項目に該当する場合は，低水素系溶接棒を使用するものとする。

i）板厚25mm以上38mm未満のSS41，SM41を予熱を行わないで溶接する場合

ii）耐候性鋼材を溶接する場合

iii）50キロ鋼以上の鋼材を溶接する場合

2) 溶接材料の乾燥

i）被覆アーク溶接棒の乾燥は，表-15.3.6によるのを標準とする。

表-15.3.6 溶接棒の乾燥

溶接棒の種類	溶接棒の状態	乾燥温度	乾燥時間
軟鋼用被覆アーク溶接棒	乾燥（開封）後12時間以上経過した場合，または溶接棒が吸湿したおそれがある場合	100～150℃	1時間以上
低水素系被覆アーク溶接棒	乾燥（開封）後4時間以上経過した場合，または溶接棒が吸湿したおそれがある場合	300～400℃	1時間以上

ii）サブマージアーク溶接に用いるフラックスの乾燥は，表-15.3.7によるのを標準とする。

表-15.3.7　フラックスの乾燥

フラックスの種類	乾燥温度	乾燥時間
溶融フラックス	150～200℃	1時間以上
ボンドフラックス	200～250℃	1時間以上

(9)　予　　熱

下記事項のいずれかに該当する場合は，溶接線の両側10cmおよびアークの前方10cmの範囲内の母材を，表-15.3.8により予熱するのを標準とする。ただし，サブマージアーク溶接に関してはこの項を適用しなくてもよい。また，特別な実験資料によってわれ防止が確実に保証される場合は，この項の適用を除外することができる。

1)　鋼材の規格合格証明書（ミルシート）から式（15.3.1）により計算した炭素当量が0.44%をこえる場合。

2)　表-15.3.4の最高かたさ試験において予熱なしで最高かたさ（H_V）が370をこえた場合。

3)　気温（室内の場合は室温）が5℃以下の場合。

表-15.3.8　予熱温度の標準

鋼種＼板厚(mm)	$t<25$	$25\leqq t<38$	$38\leqq t\leqq 50$
SS 41 SM 41	予熱なし	予熱なし[1] 40℃～60℃[2]	40℃～60℃[3]
SMA 41W SM 50	予熱なし[3]	40℃～60℃[3]	80℃～100℃[3]
SMA 50W SM 50Y SM 53 SM 58 SMA 58W	40℃～60℃[3]	80℃～100℃[3]	80℃～100℃[3]

注：1)　低水素系の溶接棒を使用する場合
　　2)　低水素系以外の溶接棒を使用する場合
　　3)　低水素系溶接棒を使用するのを標準とする

(10)　溶接施工上の注意

1)　エンドタブ

i）グループ溶接および主げたのフランジと腹板のすみ肉溶接などの施工に際しては，原則として部材と同等な開先を有するエンドタブを取りつけ，溶接の始端および終端が溶接する部材上に入らないようにしなければならない。

ii）エンドタブは，溶接終了後ガス切断法によって除去し，そのあとをグラインダー仕上げするものとする。

2)　部分溶込みグループ溶接の施工

部分溶込みグループ溶接の施工において，連続した溶接線を2種の溶接法で施工する場合は，前のビードの端部をはつり，欠陥のないことを確認してから次の溶接を行うものとする。ただし，手溶接，もしくは半自動溶接で，クレータの処理を行う場合はこの限りでない。

3) すみ肉溶接および部分溶込みグルーブ溶接の施工

i) 材片の隅角部で終るすみ肉溶接は，隅角部をまわして連続的に施工しなければならない。

ii) サブマージアーク溶接法またはその他の自動溶接法を使用する場合，継手の途中でアークを切らないのがよい。

(11) グルーブ溶接の余盛りと仕上げ

設計においてとくに仕上げの指定のないグルーブ溶接は，表-15.3.9に示す範囲内の余盛りは仕上げなくてよい。余盛り高さが表-15.3.9に示す値をこえる場合は，ビード形状，とくに止端部を滑らかに仕上げなければならない。

表-15.3.9 グルーブ溶接の余盛り (mm)

ビード幅(B)	余盛り高さ(h)
$B<15$	$h\leqq 3$
$15\leqq B<25$	$h\leqq 4$
$25\leqq B$	$h\leqq \frac{4}{25}B$

(12) 溶接の検査

1) 突合せ継手の内部欠陥に対する検査

i) 主要部材の突合せ継手は，放射線透過試験により表-15.3.10に示す1グループごとに1継手の抜取り検査を行うものとする。ただし現場溶接を行う全断面溶け込みグルーブ溶接継手のうち，鋼製橋脚

表-15.3.10 主要部材の突合せ継手の放射線透過試験

部材			1検査ロットをグループ分けする場合の1グループの最大継手数	撮影枚数
引張部材			1	1枚（端部を含む）
圧縮部材			5	1枚
曲げ部材	引張フランジ		1	1枚
	圧縮フランジ		5	1枚
	腹板	応力に直角な方向の継手	1	1枚（引張側）
		応力に平行な方向の継手	1	1枚（端部を含む）
鋼床版			1	1枚（端部を含む）

表-15.3.11 現場溶接を行う全断面溶け込みグルーブ溶接継手の放射線透過試験

部材	撮影箇所
鋼製橋脚のはりおよび柱	継手全長を原則とする
主げたのフランジ(鋼床版を除く)および腹板	
鋼床版のデッキプレート	継手の始終端で連続して50cm(2枚)，中間部で1mにつき1箇所(1枚)およびワイヤ通し部で1箇所(1枚)を原則とする

のはりおよび柱，主げたのフランジおよび腹板，鋼床版のデッキプレートの溶接部については放射線透過試験により表-15.3.11に従い検査を行うものとする。また，その他の部材において許容応力度を工場溶接の同種の継手と同じ値とする場合には，継手全長にわたって放射線透過試験により検査を行うものとする。

ただし，十分な資料を有する場合は，放射線透過試験のかわりに超音波探傷試験を用いることができる。

ii）放射線透過試験はJIS Z 3104「鋼溶接部の放射線透過試験方法および透過写真の等級分類方法」によって行うものとし，試験の結果は次の規定を満足しなければならない。

a) 引張応力を受ける溶接部はJIS Z 3104に示す2級以上とする。

b) 圧縮応力を受ける溶接部はJIS Z 3104に示す3級以上とする。

iii）表-15.3.10による放射線透過試験の結果がii)の規定を満足しない場合は，試験を行ったその継手を不合格とする。ただし，検査ロットのグループが二つ以上の継手から成る場合は，そのグループの残りの各継手に対して放射線透過試験を行い合否を判定するものとする。不合格となった継手は，その継手全体を放射線透過試験によって検査して欠陥の範囲を確認し，(4)の規定にしたがい補修しなければならない。補修部分はii)の規定を満足しなければならない。

iv）現場溶接を行う全断面溶け込みグループ溶接継手の放射線透過試験の結果がii)の規定を満足しない場合は，次の処置をとるものとする。

a) 継手全長を検査した場合は，規定を満足しない撮影箇所を不合格とし，(4)の規定にしたがい補修しなければならない。補修部分はii)の規定を満足しなければならない。

b) 抜取り検査をした場合は，規定を満足しない撮影箇所の両側各1mの範囲について検査を行うものとし，それらの箇所においてもii)の規定を満足しない場合にはその1継手の残りの部分の全てを検査するものとする。不合格となった箇所は欠陥の範囲を確認し，(4)の規定にしたがい補修しなければならない。補修部分はii)の規定を満足しなければならない。なお，ここでいう継手とは継手の端部から交差部，あるいは交差部から交差部までを指す。

2) 溶接われの検査

溶接ビードおよびその近傍には，いかなる場合もわれがあってはならない。われの検査は肉眼で行うのを原則とするが，疑わしい場合は，磁粉探傷法または浸透液探傷法を用いるのがよい。

3) 溶接ビードの外観，形状の検査

i）溶接ビード表面のピット

主要部材の突合せ継手および断面を構成するT継手，かど継手には，ビード表面にピットがあってはならない。その他のすみ肉溶接および部分溶込みグループ溶接には，1継手につき3個，または継手長さ1mにつき3個までを許容するものとする。ただし，ピットの大きさが1mm以下の場合は，3個を1個として計算するものとする。

ii）溶接ビード表面の凹凸

ビード表面の凹凸は，ビード長さ25mmの範囲における高低差で表し，3mmをこえる凹凸があってはならない。

iii）アンダーカット

アンダーカットの深さは，表-15.3.12の値をこえてはならない。

表-15.3.12 アンダーカットの許容深さ

アンダーカットの位置	許容深さ（mm）
主要部材の材片に働く一次応力に直交するビードの止端部	0.3
主要部材の材片に働く一次応力に平行なビードの止端部	0.5
二次部材のビード止端部	0.8

iv）オーバーラップ

オーバーラップはあってはならない。

v）すみ肉溶接の大きさ

すみ肉溶接のサイズおよびのど厚は，指定すみ肉サイズおよびのど厚を下回ってはならない。ただし，1溶接線の両端各50mmを除く部分では，溶接長さの10%までの範囲で，サイズおよびのど厚ともに−1.0mmの誤差を認めるものとする。

4) アークスタッドの検査

i）アークスタッドの外観検査

アークスタッドの外観検査は，全数について行うものとし，表-15.3.13を満足しなければならない。

表-15.3.13 アークスタッドの外観検査基準

欠陥	判定基準
余盛形状の不整	余盛は全周にわたり包囲していなければならない。なお，余盛は高さ1mm 幅0.5mm以上のものをいう。
クラックおよびスラグ巻込み	あってはならない。
アンダーカット	するどい切欠状のアンダーカットおよび深さ0.5mm以上のアンダーカットがあってはならない。ただし，グラインダー仕上げ量が0.5mm以内に収まるものは仕上げて合格する。
スタッドジベルの仕上り高さ	（設計値±2mm）をこえてはならない。

ii）ハンマー打撃検査

外観検査の結果が不合格となったスタッドジベルは全数ハンマー打撃による曲げ検査を行う。余盛が包囲していないスタッドジベルはその方向と反対の方向に15°の角度まで曲げるものとする。さらに

外観検査の結果が合格のスタッドジベルの中から1％について抜取り曲げ検査を行う。

iii) ハンマー打撃検査の結果，割れなどの欠陥が生じないものを合格とする。15°曲げても欠陥の生じないものは元に戻すことなく，曲げたままにしておかなければならない。

iv) 抜取り曲げ検査の結果が不合格の場合さらに2倍の本数について検査を行い，全数合格をもって合格とする。

(13) 吊金具，架設用治具などの取付けおよび除去

1) 運搬，架設などの用に供する吊金具，治具などを取り付ける場合の溶接は，原則として工場内で行うものとし，その条件は工場溶接と同等以上のものでなければならない。やむを得ず，現場で取付ける場合は，十分な管理のもとで，慎重に施工しなければならない。

2) 吊金具，治具などの除去は母材に有害な欠陥を残さないよう入念に行われなければならない。

(14) 欠陥部の補修

欠陥部の補修は，補修によって母材に与える影響を十分に検討し，注意深く行わなければならない。

表-15.3.14に，欠陥の補修方法を示す。なお，補修溶接のビードの長さは40mm以上とし，補修にあたっては予熱等の配慮を十分に行うこととする。

表-15.3.14 欠陥の補修方法

	欠陥の種類	補修方法
1	鋼材の表面きずで，あばた，かき傷など範囲が明瞭なもの	グラインダー仕上げを原則とする。局部的に深いきずがある場合は，溶接で肉盛りし，グラインダー仕上げする。
2	鋼材の表面きずで，へげ，われなど範囲が不明瞭なもの	アークエアガウジング等により不良部分を除去したのち溶接で肉盛りし，グラインダー仕上げする。
3	鋼材端面の層状われ	板厚の1/4程度の深さにガウジングし，溶接で肉盛りし，グラインダー仕上げする。
4	アークストライク	母材表面に凹みを生じた部分は溶接肉盛りののちグラインダー仕上げする。わずかな痕跡のある程度のものはグラインダー仕上げのみでよい。
5	仮付け溶接の欠陥	欠陥部をアークエアガウジング等で除去し，必要であれば再度仮付け溶接を行う。
6	溶接われ	われ部分を完全に除去し，発生原因を究明して，それに応じた再溶接を行う。
7	溶接ビード表面のピット	アークエアガウジングでその部分を除去し，再溶接する。
8	オーバーラップ	グラインダーで削り整形する。
9	溶接ビード表面の凹凸	グラインダー仕上げする。
10	アンダーカット	程度に応じて，グラインダー仕上げのみ，またはビード溶接後，グラインダー仕上げする。
11	スタッド溶接の欠陥	ハンマー打撃検査で溶接部の破損したものは完全に除去し，母材面を整えたのち再溶接する。アンダーカット，余盛不足に対する被覆棒での補修溶接は避けるのがよい。

(15) ひずみとり

1) 溶接によって生じた部材の変形は，プレスまたはガス炎加熱法などによってきょう正するものとする。

2) ガス炎加熱法によってきょう正する場合の鋼材表面温度および冷却法は表-15.3.15によるものとする。

表-15.3.15 ガス炎加熱法による線状加熱時の鋼材表面温度および冷却法

鋼種	鋼材表面温度	冷却法
SM 58 SMA58W	750℃以下	空冷または空冷後600℃以下で水冷
その他の鋼材	900℃以下	赤熱状態からの水冷を避ける

(1) 溶接施工

溶接継手には，突合せ継手，T継手，かど継手，かさね継手などがあって，継手の強度や剛度や剛性の面で必要な溶接の寸法，形状は，溶接記号によって設計図に示される。

しかし，一般に，溶接継手の性能は，溶接記号の指示のみで決定されるものではなく，施工に関連する冶金的性質や欠陥の存在程度などによって大きく変化する。

この条では，橋梁に必要な溶接部の品質を確保するため，施工上の規定を種々設けており，これを守ることは当然であるが，施工者の選択にまかせられている条件もかなりあるので，これらについては，経験豊富な溶接技術者が施工要領を立案し，管理組織を通じて末端まで徹底させることが重要である。

この条にあげた各項目は，施工要領書に記載し，その実施を管理者が確認すべき最小限度を示したものである。この示方書は，約20種類におよぶ鋼種を対象としており，また，溶接方法も手溶接に加えて自動，半自動溶接が使用できることになっているので，とくに鋼種と溶接方法や溶接条件との組合せについて誤りがないよう十分なチェックが必要である。

(2) 溶接工

溶接の品質は溶接工の技術によるところが大きいので，定められた認定試験に合格した有資格者を当てることが溶接構造では常識になっている。この示方書では，JIS Z 3801「溶接技術検定における試験方法ならびにその判定基準」を採用しているが，この規格は，溶接姿勢(下向F，立向V，横向H，上向O)，溶接作業(薄板1，中板2，厚板3)，溶接方法(ガス溶接G，アーク溶接裏当金付きA，アーク溶接裏当金なしN)の組合せで，非常に多くの試験種類を包含している。これは，多岐にわたる現在の溶接継手のすべてに対応するように立案されたもので，各溶接工が全試験に合格する必要はない。

鋼橋の工場溶接では，もっぱらアーク溶接が用いられ，片面溶接を要求される場合はほとんどないから，溶接方法としてはアーク溶接裏当金付きを対象とし，また，薄板や厚板の突合せ継手を溶接で施工することはまれであるから，溶接作業区分としては中板を対象とすればよく，結局，A-2F，A-2V，A-2Oに合格していれば十分である。厚板の橋脚柱を現場突合せ溶接する場合などは，A-3Hの有資格者をあてなければならない。サブマージアーク溶接については，現在，技術検定の国家規格がないが，手溶接は溶接の基本であるから，オペレータは少なくともA-2Fの試験に合格していることが望ましい。

この条にあげた半自動溶接とは，ワイヤーを自動的にトーチのノズルから供給し，溶接工の手の操作によって溶接する溶接法のことであって，一般にCO_2ガスあるいはCO_2とArの混合気体でアークをシールドするもので，いわゆるグラビティ溶接は含めない。

半自動溶接工の資格については，手溶接工に関する考え方と同様に実際作業で採用する溶接姿勢によりJIS Z 3841「半自動溶接技術検定における試験方法及び判定基準」のSA-2F，SA-2V，SA-3H，SA-2Oの中から試験種目を選ぶものとする。

(3) 溶接施工試験

1) 溶接施工試験の目的は，使用鋼材の溶接性や溶接方法の適性を知ることにあるので，適用範囲としては，現状で使用実績が少なく，施工上特別な注意を要する鋼材および溶接方法を対象とすることにした。

なお，工場においてすでに同じ材質，同じ施工方法で，試験対象の板厚以上の条件による溶接施工試験を実施している場合で，かつ施工経験をもつ場合は，資料の提出，検討によって溶接施工試験を省略できるものとした。

i) 一般に引張強さ50キロ級の厚板は，製鋼技術的に炭素当量が高くなりがちで，溶接われに対しとくに注意を要するので，38mmをこえる場合について施工試験を課すことにした。40キロ級の厚板にあっても，耐候性のSMA41Wについては，強度は低いが，Cu，Crなどの合金元素を含有するので同列に扱うこととした。SM58については，調質により強度をあげているので，実績ではむしろ50キロ級鋼より炭素当量が小さく耐われ性もすぐれているが，強度レベルが高いことを考慮して同列に扱っている。

ii) SMA50およびSMA58については，耐候性を与えるための成分を添加しているので，われ感受性を考慮して適用範囲を25mmまで下げた。

iii) 調質鋼に対する溶接入熱の問題である。調質鋼の溶接ビード近傍は，熱サイクルによって焼入れ焼もどし効果が失われ，軟化や脆化を起しやすい。したがって，

$$\text{入熱量}Q\ (\text{joule/cm}) = \frac{\text{電流}\ (\text{amp}) \times \text{電圧}\ (\text{volt}) \times 60}{\text{溶接速度}\ (\text{cm/min})}$$

が大きいと，変質の程度と範囲も大きくなって継手の性能が低下する。SM58の場合，ほぼ70,000joule/cm以下の入熱量では，継手性能の低下は見られないことが多くの実験から確認されており，また通常の橋梁施工で使用されるサブマージアーク溶接方法もこの入熱量以下で十分溶接施工が可能なので，70,000joule/cmを一般的な施工の上限値とした。厚板のグルーブ溶接でとくに大電流を使用するかタンデム工法を使用するかして，そのときの入熱量が70,000joule/cmをこす場合は，施工試験でその適性を調べることとした。

iv) 被覆棒による手溶接，サブマージアーク溶接法およびCO_2ガスシールド半自動溶接を一般扱いとし，その他の溶接法を施工試験の対象とした。鋼構造の溶接方法としては，現在，MIG溶接，ノーガスアーク溶接，エレクトロスラグ溶接，グラビティ溶接などが用いられている。これらの溶接方法は，能率上，手溶接よりまさっているが，現状では，溶接工の訓練や適性条件の管理の面で，無制限に採用できるほど一般化していないし，また適用する継手によっては，特有な問題点も発生することがあるので，施工試験によってそれらを確認することとした。

v) 現場溶接は，気象条件，溶接姿勢，開先精度など種々の面で工場施工より不利な条件にあるのが普通である。また，鋼床版の片面溶接や橋脚の横向き溶接，あるいは既設橋の補強などの現場溶接は，継手そのものも施工方法も一般の工場溶接とは著しく異なっていることが多い。したがって，現場溶接に対しては現場の条件を加味した施工試験を行うのを原則とした。

2) 表-15.3.4には，グルーブ溶接試験，すみ肉溶接試験，最高かたさ試験，スタッド溶接試験の4種類の試験があげられている。しかし，溶接施工試験といえば，つねにこの全部を実施するものと解釈する必要はない。たとえば，1)のi)またはii)に該当する場合は，鋼材の特性を問題とするのでほぼ全種類となる(スタッドが用いられないときはスタッド溶接を除く)が，iii)のみに該当する場合は，グルーブ溶接試験のみでよいし，iv)にのみ該当するものは，すみ肉溶接試験のみを行えばよい。なお，従来溶接施工試験の項目としてすみ肉施工試験を設けていたが，品質管理の実績を考慮して今回削除することとした。

また，ここにあげた試験内容には，技術検定的な色彩の強いもの(たとえば，放射線透過試験，スタッド溶接試験)も含んでいるが，これらによって施工者の品質管理体制をチェックすることもできるので，施工試験の意味を広く解釈してこれらの試験をも含めることにした。

グループ溶接試験の型曲げ試験においてきれつが生じた場合であっても，その発生原因がブローホールあるいはスラグ巻込みであることが確認され，かつ，きれつの長さが3mm程度までの場合は許容できるものと考えられる。

なお，「JIS Z 3801溶接技術検定における試験方法ならびに判定基準3.2」，「通産省電気工作物の溶接の技術基準」，「AWS 5.12.1.2 Root-, Face , and Side-Bend Tests」，「ASME QW-1 Acceptance Criteria-Bend Tests」などでも，きれつの長さ3mmを許容限度としている。

iii)の規定は施工試験と実施工との整合性を考慮したものである。異種の鋼材の溶接施工試験は，実際に用いる鋼材および溶接材料を使用することとした。

なお，この場合の合否の判定は，低強度側の鋼材の規格値で行う。

(5) 材片の組合せ精度

部材を組立てる場合，材片の組合せ精度が悪いと完成した部材そのものの精度，ひいては橋梁全体の精度を低下させるばかりでなく局部的な溶接不良を起しやすいのでこの項を定めた。この項でいう規定値とは，過去の実績から良好な溶接ができるものとして施工要領に記載された数値を指している。したがって，グループ溶接のルート間隔や開先精度は，施工者によって異なることもある。

ただし，板厚方向の材片の偏心許容量は，鋼床版現場継手やパイプの突合せ継手など，精度保持のむずかしい継手もあることを想定して定められたものであるから，一般の工場施工の場合は許容範囲の下限値を目標に施工することが望ましい。

すみ肉溶接における材片の密着度は，一般の直線部分では比較的容易に確保されるが，素材に曲げ加工や突合せ継手が存在する場合は不良となりやすいので，このような場合について十分な管理が行われるように許容量を定めた。ただし，部材が他部材のスリットを貫通する十字継手などのはめ込み形式となる継手で，施工上やむをえずこの密着度が守れない場合は，

$1 < \delta \leqq 3$のとき　脚長をδだけ増す

$3 < \delta$　のとき　開先をとり溶接

ここに，δ：材片間のすき間 (mm)

とするのがよい。

(6) 仮付け溶接

仮付け溶接は，本溶接によって全部再溶融されてしまう場合もあるが，一般には一部あるいは大部分が本溶接内に残留するので，仮付け溶接の品質を本溶接同様良好なものにするためこの項を定めた。

仮付け溶接は，組立段階で行われるため，とかく溶接管理がおろそかになりやすいので，それを防ぐためにはまず資格を有する溶接工を従事させることが重要である。AWSでは仮付け溶接工についても技術検定を行うよう定めているが，わが国では現在，仮付け溶接だけの検定制度がないので，本溶接を行う溶接工と同等の技能をもつ者を従事させることとした。

仮付け溶接の長さは，従来80mm以上と規定されていた。これは，50キロ鋼のT継手にショートビードのすみ肉溶接を行った場合，ルートからボンドに沿ってわれが発生しやすいが，ビード長さが80mm以上となるとわれの発生が止まるとの研究成果に基づくものである。しかし，最近の研究によれば，厚い方の板厚が12mm以下の場合や鋼材の炭素当量が0.36%以下では仮付け溶接長が50mmであってもわれが発生しないことが明らかにされている。そこで，今回このような場合は仮付け溶接長を50mm以上とすることができることとした。

前述のルートわれはビード表面に現われないことが多いが，その他の仮付けわれは断面が小さいためしばしばビード表面に現われる。したがって，組立終了時に表面検査を行ってわれを検出すれば，その段階で対策を立てることができるので，仮付けビードのスラグは組立終了時に除去し，ビード表面の検査を行うこととした。

(7) 溶接前の部材の清掃と乾燥

溶接線近傍の黒皮，錆，塗料，油などはブローホールやわれの発生原因となる。しかし，欠陥の発生状況は異物の量と溶接方法とによってかなり異なり，たとえば，通常のプライマー塗膜は，下向き手溶接ではほとんど無害であるが，立向き下進溶接では高速度で施工するすみ肉溶接にとくに有害である。溶接線に水分の付着した状態は明らかに溶接に悪影響を与えるので，これを禁止した。

(8) 溶接材料

1) ここでは溶接材料の使用区分を規定し，耐候性鋼および高張力鋼については被覆アーク溶接棒を用いる場合は耐われ性を考慮してすべて低水素溶接棒を使用することとした。

2) ここでは被覆アーク溶接棒とサブマージアーク溶接用フラックスの乾燥条件および許容放置時間の標準を示した。

軟鋼用溶接棒はわれのおそれのない場合に使用されるが，吸湿がはなはだしいと思わぬ欠陥が生じるので，乾燥をおろそかにしてはならない。低水素系溶接棒は，水素の発生量が少なく耐われ性のよいことを特徴としているので，その特徴を損なうような取扱いを避けなければならない。低水素系溶接棒に規定した乾燥温度と時間は，吸湿水分を十分排除するのに必要な条件であり，放置時間，吸湿水分放出水素量の関係は図-解 15.3.3および図-解 15.3.4に示すとおりである。

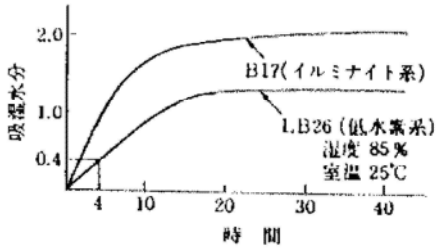


図-解 15.3.3

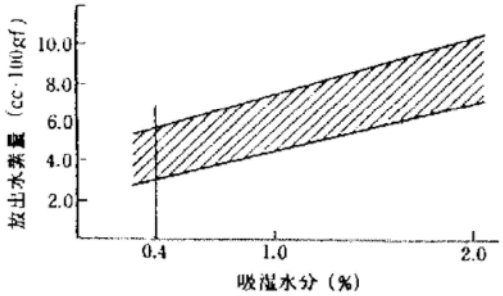


図-解 15.3.4

すなわち，低水素系溶接棒を25℃湿度85%のもとで4時間放置した場合の吸湿水分は約0.4%となり，その吸湿水分における放出水素量（JIS Z 3113「水素試験方法」による）は，ほぼ3～5.5cc/100gfである。この値はJIS Z 3212「高張力鋼用被覆アーク溶接棒」に定められた水素量（表-解 15.3.1参照）をすべて満足する。一方，D5016系を主とする工場内溶接棒を任意に抽出して行った拡散水素量の測定結果は，図-解15.3.5に示すようなものであり，以上のことから許容放置時間として4時間を適当と考えた。

表-解 15.3.1　水素量のJIS

D 5016 D 5026	＜10cc/100gf
D 5316 D 5326	＜8
D 5816 D 5826	＜6

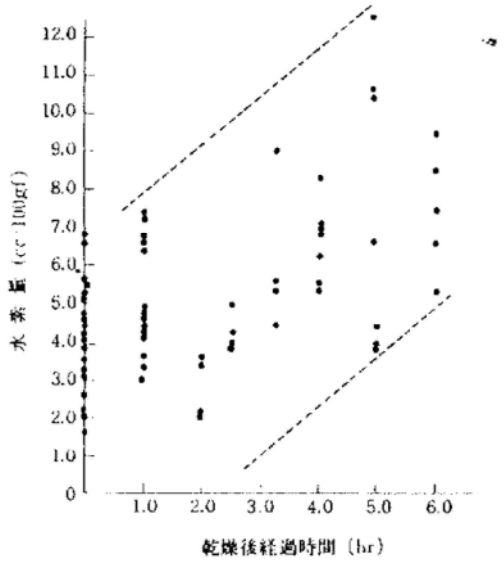


図-解 15.3.5　工場内溶接棒による溶着金属の拡散性水素量の測定結果

サブマージアーク溶接用フラックスとして現在多用されている溶融タイプのものは，それ自体は吸湿しないが，高温多湿の場合は粒子自体が吸湿するので乾燥温度を高く規定した。

CO_2ガスシールド半自動溶接用ワイヤとしては，ソリッドワイヤが最も普及しているが，フラックス入りワイヤを使用する場合は乾燥および保管に十分注意しなければならない。またCO_2ガスに水分が含まれていると溶接部にブローホールなどの欠陥が生ずる原因となるので，できるだけ水分の少ないJIS K 1106「液化炭酸」に規定された3種を使用しなければならない。なお，CO_2にArを混合すると，スパッタを少なくすることができ，ビードの表面整形などの点で良い結果を得ることができる。

（9）予　　熱

予熱を必要とする条件として，1)に鋼材の炭素当量をあげ，C_{eq}＞0.44%の場合に予熱を行うこととした。C_{eq}=0.44%はSM58に対してJISで規定された最大値である。現在，C_{eq}=0.44%となるおそれのある鋼材はSM50，SM50Y，SM53，SMA50W，SMA58Wであり，とくにそれらの厚板は可能性が大きいので，これらについてはミルシートをチェックして該当品にマークを付ける必要がある。

2)の事項は最高かたさ試験の結果を予熱の要，不要の判断資料としたもので，H_v≦370であれば，われ発生のおそれもなく，曲げ延性も十分あると考えられる。

3)は気温の条件を定めたもので，予熱必要範囲を5℃以下としたのは，実績の少ない耐候性鋼やSM50Y，SM53などに対して安全を考えたためである。

表 15.3.8には鋼種板厚ごとの予熱温度が示されているが，これは従来の経験，他の示方書類を参考とし，施工性も考慮して定めた一応の標準である。予熱はわれのない健全な溶接を行うための手段であるから，表に示した温度に予熱しさえすればよいというわけではなく，状況によっては，われ発生を防止するためさらに高温の予熱を必要とする場合もあると考えなければならない。また，逆に前記事項に該当する場合でも溶接施工試験結果や他の実験資料によってわれの発生しないことが確かめられている場合は，必ずしも予熱の必要はない。

半自動溶接は，単位時間あたりの入熱量が手溶接に比べはるかに高いので，サブマージアーク溶接と同様予熱を省略することも考えられるが，それを確証するデータも少ないので，手溶接と同様に取扱うこととした。なお，特別な実験資料によってわれ防止が確実に保証される場合はこの限りでない。

(10) 溶接施工上の注意

1) エンドタブ

溶接ビードの始端および終端には欠陥が生じやすいので，エンドタブを使用する必要があるが，主げた端部のすみ肉溶接についても，同様にエンドタブを使用することとした。これは現在，主げたフランジとウェブのすみ肉溶接は主としてサブマージアーク溶接法で施工されており，自動溶接特有の大きなクレータがせん断応力が大きくなる材端部に残存することは好ましくないからである。

ただし，近年フラックスタブなどの鋼製エンドタブなし工法が開発されてきているが，その施工性を確認したうえで，鋼製エンドタブと同等に溶接端部の欠陥の発生を防止しうると認められた場合には，使用してもよい。

2) 部分溶込みグループ溶接の施工

一般に溶接ビード終端にはクレータが生じ，この部分にはいわゆるクレータわれが生じやすく，部分溶込みグループ溶接のように比較的開先角度の小さい場合はこの傾向がいちじるしい。したがって，自動溶接法では，途中でビードを切らずに溶接線を連続して施工することが望ましい。部材の形状や開先の変化などにより，やむを得ず途中でビードを切ったり溶接方法を変える場合は，先行ビードの終端部をはつり取ってその次の溶接を行うこととした。

手溶接では終端部処理を注意して行えばクレータが生じることはなく，半自動溶接の場合は，クレータフィラ機能がある電源を使って，クレータフィラ電流で終端部処理を行えば，大きなクレータを生じることもないので，そのような場合はしいて端部をはつり取る必要はない。

3) すみ肉溶接および部分溶込みグループ溶接の施工

この規定は，2)で述べたのと同じ理由により定めたものである。半自動溶接法で長い継手を施工する場合は，装置の配置や移動性が悪いと連続溶接が行えなくなるので，あらかじめそれらに十分な配慮をしておくことが望ましい。

(11) グループ溶接の余盛りと仕上げ

余盛りによる応力集中はビード止端部の形状に関係するものであり，余盛り中央部の高さとは直接に関係しないと考えられるので，ビード幅を基準にとって表-15.3.9のように規定した。

この規定をこえる余盛りについては，当然グラインダーで超過分を削り取らなければならないが，その際中央部だけ削って高さを減じても止端部の形状による影響を減じることにはならないので，止端部をとくになめらかにするよう注意する必要がある。

従来，余盛り仕上げの要，不要はとかくあいまいにされており，施工時にトラブルを起すことが多かった。余盛りの存在による応力集中は溶接構造物にとって重要であり，外観上からも仕上げを要求されることもあるので，余盛り仕上げの必要な箇所は設計図に指示すべきである。施工時にはこの仕上げ記号の有無をよく確認して施工する必要がある。

(12) 溶接の検査

1) 突合せ継手の内部欠陥に対する検査

溶接品質に影響を与える条件には，継手形式，材質，板厚，溶接条件，開先および組立の精度，開先面の清浄度，予熱，後熱および層間温度の管理，溶接工の技量などがある。そこでこれらの溶接条件が同じ溶接継手は品質管理上同じものであるとみなし，そのような継手の集合を一つの検査ロットとする。たとえば，同じ板厚構成の突合せ継手を同じ溶接方法で10個溶接した場合，これら10個の継手で一つの検査ロットを構成することになる。ただし，ここでいう1継手とは，板と板との継手のことであり，部材と部材との継手という意味ではない。また，したがって，1度に連続して溶接した部材を後から切断して10個にしても継手としては1個として考える。次に，この検査ロットを表-15.3.10に示した最大継手個数ごとのグループに分け，各グループから1継手を抜取って検査するものとした。

抜取り検査箇所はそのグループを代表しているので，これが不合格の場合，そのグループを不合格とする。不合格になった場合は，そのグループの各継手に対し，表 15.3.10と同様の検査を行ってそれぞれの継手の合否を判定することとする。

なお，抜取り検査においては，溶接部の品質を確保するために，適正な検査ロット，抜取り検査箇所を決定しなければならない。表-15.3.10中の撮影枚数の欄において(端部を含む) とは溶接線のはじめまたは終りの部分を含めて撮影するという意味である。

現場溶接を行う全断面溶け込みグループ溶接継手については，今回検査方法を明確に規定した。特に鋼製橋脚のはりおよび柱，主げたのフランジおよび腹板，鋼床版のデッキプレートの溶接部については主要部材の溶接部であり，品質の確保が重要であることから，

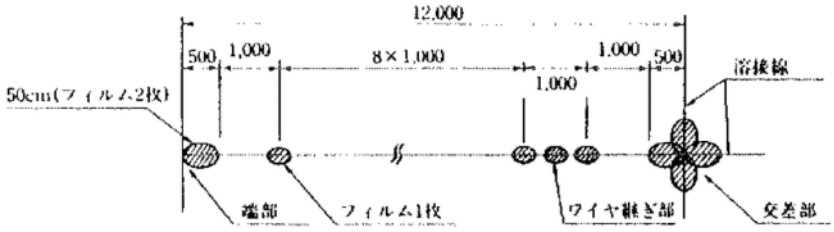


図-解 15.3.6 鋼床版デッキプレートのX線撮影箇所の例

現場溶接の品質管理の実績を踏まえて検査方法を規定し検査結果については ii)の規定を満足しなければならないこととした。主げたのフランジおよび腹板，鋼製橋脚については，原則として，継手全長を検査することとした。

鋼床版のデッキプレートの全断面溶け込みグループ溶接継手については，撮影箇所を1溶接線に均等に配分することにしたが，溶接線の始終端部，交差部，ワイヤ継ぎ部に欠陥が発生し易い傾向があるため，これらの部分を重点的に検査することにした。なお，自動溶接以外の工法を用いる場合や，開先条件や溶接条件が管理値をこえるような箇所はこの規定にかかわらず検査するのが望ましい。

鋼床版デッキプレート現場溶接継手の撮影箇所の例を図-解 15.3.6に示す。

なお，不合格の欠陥があった場合，それが局部的な欠陥であるのか，連続した欠陥であるのかを判断するため欠陥の箇所の両側各1mの範囲についてさらに検査して欠陥の発生状況を判断することにした。追加検査部に不合格となる欠陥のない場合には局部的な欠陥と考えることとした。一方，追加検査部にも不合格の欠陥があった場合は，その1継手を全線検査することとした。

超音波探傷試験による溶接部の非破壊検査は，一般的に

a) 部材にとって最も有害なわれに類する欠陥の検出能力に優れている。

b) 各種の継手形状への適応性に優れている。

c) 探傷装置の取扱いが容易で安全である。

d) 探傷結果が即座に判断できて，能率的である。

ことから，橋梁の現場溶接部や他の構造物でも用いられつつある。

そこで，適用実績についての資料を有する場合は，放射線透過試験のかわりに超音波探傷試験を用いることができるものとした。この場合，試験要領は下記によるものとする。

a) 超音波探傷試験は，JIS Z 3060「鋼溶接部の超音波探傷試験方法および試験結果の等級分類方法」によって行うものとし，溶接線長30cmを1単位として，表-15.3.10の「1枚」を「1単位」と読み変えた抜き取り検査とする。

b) 試験結果の判定は，引張応力を受ける溶接部はJIS Z 3060に示す2級以上，圧縮応力を受ける溶接部は3級以上を合格とし，不合格となった場合の処置は放射線透過試験に準ずるものとする。

c) 検査技術者は，社団法人日本非破壊検査協会によって認定された2級以上の有資格者とし，超音波探傷試験の検出レベルはL検出レベルとする。(L検出およびその検出能力については，JIS Z 3060の解説に述べられている。)

なお，超音波探傷試験と，放射線透過試験とは，欠陥の検出方法が異なっており，溶接欠陥に対して必ずしも同じ結果にはならないが，上記の要領では，両者の試験要領を便宜上合わせている。ただし，両試験の等級分類の許容寸法の決め方は必ずしも同じではないので適用にあたっては試験の特徴を十分理解しておく必要がある。

また，超音波探傷法としては，最近自動探傷装置が開発されているが，まだJISに規定されていないのでその使用にあたっては，欠陥検出精度とその信頼性等について上記JIS規格を満足できることを確認する必要がある。

2) 溶接われの検査

溶接構造物のわれの存在を許容できないことはいうまでもないが，その完全な検出はきわめて困難である。したがって，発生したわれのうち少なくとも表面に検出できるものは許容しないという意味からこの規定をもうけたが，表面検出が可能なわれを防止しさえすれば，他はかまわないという意味ではなく，われの発生を防ぐために施工条件は確実に守らなければならない。すなわち，溶接われについてはその発生を抑えることが第一の課題であり，示方書の規定をまもり最大限の防止努力を払わなければならない。

なお，内部欠陥の検出方法として，放射線透過試験あるいは超音波探傷試験があるが，T継手のすみ肉溶接部やかど継手の部分溶け込み溶接部ではルート部の不溶着部と溶接欠陥の識別が困難であるので，われの検出方法として採用することを見合せた。

3) 溶接ビードの外観および形状の検査

溶接ビードの外観および形状については欠陥か否かの判断には個人差があり，検査時のトラブルとなる場合も多い。そこで，この項にこれらの適正な許容量を与えて，客観的な判断が行えるような検査基準を設けた。

グループ溶接の余盛りについては，すでに(1)項で言及しているが，そのほかビードの外観形状の良否を決定する因子として，表面のピット，表面の凹凸，アンダーカット，オーバーラップ，すみ肉溶接の大きさなどがあげられる。ここでは，「船体外観の定量的検査ならびに管理基準(日本溶接協会造船部会溶接施工委員会編)」を参考にし，これに橋梁の諸事情を加味して規定を作成したものである。

i)ビード表面のピットは，異物や水分の存在によって発生したガスの抜け穴である。このうち小径で散発的なものは強度に影響しないが，大きなものや集中発生したものは応

表-解 15.3.2 応力直角方向の突合せ継手におけるアンダーカットの深さと疲労強度の関係

試験片記号		A	B	C	D
アンダーカットの深さ(mm)		0.0	0.3	0.6	0.9
疲労強度(応力範囲)(kgf/mm^2)	破壊確率 5%	11.0	13.2	11.3	6.4
	破壊確率 50%	18.5	15.5	13.9	9.0
	破壊確率 95%	30.5	18.5	17.1	12.3

表-解 15.3.3 十字すみ肉継手におけるアンダーカットの深さと疲労強度の関係

試験片記号		I	II	III	IV	V(溶着鋼を部分的にグラインダーがけしたもの)
アンダーカットの深さ(mm)		0.01～0.11	0.13～0.25	0.27～0.33	0.43～0.58	0.41～0.50
疲労強度(応力範囲)(kgf/mm^2)	破壊確率 5%	14.2	11.5	9.8	9.6	10.8
	破壊確率50%	15.2	13.2	12.0	13.6	13.3
	破壊確率95%	16.2	15.0	14.6	19.2	16.3

力集中の原因となり，また，外観的にも好ましくない。そこで，主要な継手では，これの存在を認めず，二次的な継手では若干の存在を許容した。

ii)ビード表面の凹凸は，主としてビードの継目に現われるもので，クレータ処理や始端処理の不良な場合に極端に大きくなるので，それらの処理をていねいに行わせる意味と外観上の良否とから3mmを基準にした。

iii)アンダーカットは応力集中の主因となり，腐食の促進にもつながるので，深さをきびしく規定した。アンダーカットの深さと疲労強度に関する資料として，多田，立花，寺尾の実験研究があり，応力直角方向の突合せ継手と十字すみ肉継手について表-解 15.3.2，表-解 15.3.3が示されている。

これらの表によれば，0.3mm程度のアンダーカットは疲労強度を15～20%低下させることになるが，道路橋ではこの程度の低下はとくに問題になることはないと考えられるので，主要部材で応力の作用方向に直交するビードの場合は0.3mmまで許容することとした。応力に平行なビードの場合は，アンダーカットが直接のノッチにはならないので，許容量を0.5mmまで上げ，二次部材では0.8mmまでゆるめた。

iv)最近の溶接材料ではよほど悪い条件でない限りオーバーラップが生じないことを考慮して，オーバーラップは全面的に認めないこととした。

v)すみ肉溶接のサイズおよびのど厚にはマイナス公差を認め，溶接線の中間部では長さの10%まで−1.0mmを許容することとした。これは，すみ肉溶接の溶着鋼強度が一般に母材よりかなり高いことなどを考慮したためであり，また，施工のばらつきの下限を規定サイズとして目標値を設定すれば平均サイズは不必要に大きくなり，変形の点で不利になると判断したからである。

(13) 吊金具架設用治具などの取付けおよび除法

ここでは，吊金具および架設用治具などを取付ける場合の溶接を主要部材への溶接という点を考慮して原則として工場内で行うことを規定している。なお，吊金具のうち床版を打設する際に上フランジ上面に取付ける床版型わく吊金具のように施工上やむを得ず，現場溶接を行う場合は，工場溶接と同等の溶接条件を満足する必要がある。

(14) 欠陥部の補修

補修の目的は，母材と溶接継手部の健全な機能を確保するために行うものであり，部材全体に与える影響をよく検討した上で補修方法を決定し，必要以上の溶接や加熱をしないよう，注意深く行わなければならない。

15.3.3 溶　　接

(1)　溶 接 施 工

1)　溶接は，必要な継手性能を満足するよう，下記の事項を確認したのち慎重に施工しなければならない。

ｉ）鋼材の種類と特性

ii）溶接方法，開先形状および溶接材料の種類と特性

iii）組合わせる材片の加工，組立精度，溶接部分の清浄度と乾燥状態

iv）溶接材料の乾燥状態

ｖ）溶接条件と溶接順序

2)　工場溶接は，屋内またはこれに相当する環境で行わなければならない。

(2)　溶　接　工

1)　溶接工は，JIS Z 3801「溶接技術検定における試験方法ならびにその判定基準」に定められた試験の種類のうち，その作業に該当する試験（またはこれと同等もしくはそれ以上の検定試験）に合格したものでなければならない。ただし，半自動溶接を行う場合は，JIS Z 3841「半自動溶接技術検定における試験方法及び判定基準」に定められた試験の種類のうち，その作業に該当する試験（またはこれと同等もしくはそれ以上の検定試験）に合格したものでなければならない。

2)　溶接工は，６カ月以上溶接工事に従事し，かつ，工事前２カ月以上引き続きその工場において溶接工事に従事した者でなければならない。

(3)　溶接施工試験

1)　下記事項のいずれかに該当する場合は，溶接施工試験を行うのを原則とする。

ｉ）板厚が38mmをこえるSMA400W, SM490, SM520およびSM570

ii）板厚が25mmをこえるSMA490WおよびSMA570W

iii）SM570およびSMA570Wにおいて１パスの入熱量が70,000 joule/cmをこえる場合

iv）被覆棒アーク溶接法（手溶接のみ），CO_2ガスシールド半自動溶接法，サブマージアーク溶接法以外の溶接を行う場合

ｖ）現場溶接を行う場合

なお，過去に同等もしくはそれ以上の条件で溶接施工試験を行い，かつ施工経験をもつ工場では，その時の試験報告書を提出することにより溶接施工試験を省略できるものとする。

2)　溶接施工試験は表-15.3.4にあげた試験項目から該当する項目を選んで行うのを標準とし，供試鋼板の選定，溶接条件の選定その他は，下記によるのを原則とする。

表-15.3.4　溶接施工試験

試験の種類	試験項目	溶接方法	試験片の形状	試験片個数	試験方法	判定基準
グループ溶接試験	引張試験	図-15.3.1による	JIS Z 3121 1号	2	JIS Z 2241	引張強さが母材の規格値以上
	型曲げ試験（19mm未満裏曲げ）（19mm以上側曲げ）		JIS Z 3122 3号	2	JIS Z 3122 3号	原則として，きれつが生じてはならない
	衝撃試験		JIS Z 2202 4号（試験片採取位置は図-15.3.2による）	3	JIS Z 2242	溶着金属で母材の規格値以上（3個の平均値）
	マクロ試験		——	1	JIS G 0553に準ずる	欠陥があってはならない
	放射線透過試験		——	試験片継手全長	JIS Z 3104	2級以上(引張側) 3級以上(圧縮側)
すみ肉溶接試験	マクロ試験	図-15.3.3による	図-15.3.3による	1	JIS Z 0553に準ずる	欠陥があってはならない
最高硬さ試験	最高硬さ試験	図-15.3.4による	図-15.3.4による	1	JIS Z 2244	$H_V \leqq 370$
スタッド溶接試験	引張試験	JISB1198	JISB1198	3	JIS Z 2241	降伏点は24kgf/mm²以上，引張強さは41～56kgf/mm²，伸びは20%以上とする。ただし溶接部で切れてはいけない
	曲げ試験	JIS Z3145	JIS Z 3145	3	JIS Z 3145	溶接部にきれつを生じてはならない

i）供試鋼板には同じような溶接条件で取り扱う鋼板のうち最も条件の悪いものを用いる。

ii）溶接は実際の施工で用いる溶接条件で行うものとし，溶接姿勢は実際に行う姿勢のうち最も不利なもので行う。

iii）異種の鋼材のグループ溶接試験は，実際の施工と同様の組合せの鋼材で行う。

同鋼種で板厚が異なる継手については，板厚の薄い方の鋼材で試験を行ってもよい。

iv）再試験は最初の個数の2倍とする。

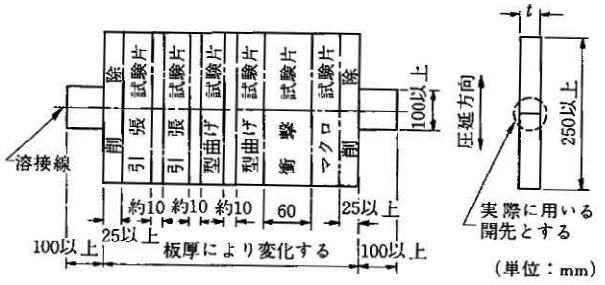


図-15.3.1　グループ溶接試験溶接方法

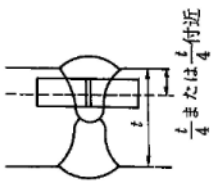


図-15.3.2　衝撃試験片（グルーブ溶接試験片の採取位置）

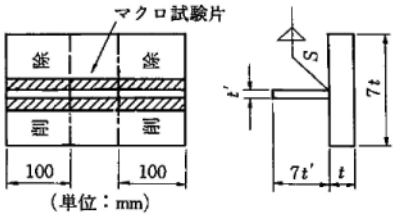
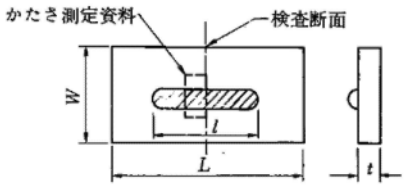


図-15.3.3　すみ肉溶接試験（マクロ試験）溶接方法および試験片の形状



（単位：mm）

溶接方法	L	W	l
手溶接	200	150	125
自動溶接	250	190	150

溶接ビードは1層とし，溶接条件は初層の溶接条件とする。また，かたさ測定資料の採取およびかたさの測定はJIS Z3101に準ずる。

図-15.3.4　最高かたさ試験溶接方法および試験片の形状

(4)　組　　立

部材の組立に際しては，補助治具を有効に利用し，無理のない姿勢で仮付け溶接できるようにしなければならない。また，支材やストロングバックなどの異材を母材に仮付けすることはできるだけ避け，やむを得ず仮付けを行って母材を傷つけた場合は，表-15.3.14により補修するものとする。

(5)　材片の組合せ精度

1)　材片の組合せ精度は，溶接部の応力伝達が円滑で，かつ，溶接不良を起さないものにしなければならない。

2)　材片の組合せ精度は下記の値を標準とする。ただし，施工試験によって誤差の許容量が確認された場合はこれによらなくてよい。

ⅰ）グルーブ溶接

a)　ルート間隔の誤差：規定値±1.0mm以下

b)　板厚方向の材片の偏心：薄い方の板厚の10%以下

c)　裏当金を用いる場合の密着度：0.5mm以下

d)　開先角度：規定値±10°

ⅱ）すみ肉溶接

材片の密着度：1.0mm以下

(6)　仮付け溶接

1)　本溶接の一部となる仮付け溶接には，本溶接を行う溶接工と同等の技能をもつ者を従事させるものとする。

2)　溶接姿勢は本溶接の場合と同じとするのを原則とする。

3)　使用溶接棒は本溶接の場合と同様に管理しなければならない。

4) 仮付け溶接のすみ肉(または換算)脚長は4mm以上とし，長さは80mm以上とする。ただし，厚い方の板厚が12mm以下の場合，または次の式により計算した鋼材の炭素当量が0.36%以下の場合は50mm以上とすることができる。

$$C_{eq}=C+\frac{Mn}{6}+\frac{Si}{24}+\frac{Ni}{40}+\frac{Cr}{5}+\frac{Mo}{4}+\frac{V}{14}+\left(\frac{Cu}{13}\right)(\%) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (15.3.1)$$

ただし，( ) の項はCu≧0.5(%)の場合に加えるものとする。

5) 仮付け溶接は，組立終了時までにスラグを除去するものとし，溶接部表面にわれがないことを確認しなければならない。もし，われが発見された場合は，その原因を究明し，適当な対策を講じなければならない。

(7) 溶接前の部材の清掃と乾燥

1) 溶接を行おうとする部分には，黒皮，錆，塗料，油などがあってはならない。

2) 溶接を行う場合は溶接線近傍を十分に乾燥させなければならない。

(8) 溶接材料

1) 溶接材料の使用区分は，表-15.3.5によるのを標準とする。

表-15.3.5 溶接材料区分

	使用区分
強度の同じ鋼材を溶接する場合	母材と同等もしくはそれ以上の機械的性質を有する溶接材料
強度の異なる鋼材を溶接する場合	低強度側の母材と同等もしくはそれ以上の機械的性質を有する溶接材料

耐候性鋼材を溶接する場合は，耐候性鋼材用の溶接材料を用いるものとする。

なお，被覆アーク溶接で施工する場合で次の項目に該当する場合は，低水素系溶接棒を使用するものとする。

i) 板厚25mm以上38mm未満のSS400, SM400を予熱を行わないで溶接する場合

ii) 耐候性鋼材を溶接する場合

iii) 50キロ鋼以上の鋼材を溶接する場合

2) 溶接材料の乾燥

i) 被覆アーク溶接棒の乾燥は，表-15.3.6によるのを標準とする。

表-15.3.6 溶接棒の乾燥

溶接棒の種類	溶接棒の状態	乾燥温度	乾燥時間
軟鋼用被覆アーク溶接棒	乾燥（開封）後12時間以上経過した場合，または溶接棒が吸湿したおそれがある場合	100～150℃	1時間以上
低水素系被覆アーク溶接棒	乾燥（開封）後4時間以上経過した場合，または溶接棒が吸湿したおそれがある場合	300～400℃	1時間以上

ii）サブマージアーク溶接に用いるフラックスの乾燥は，表-15.3.7によるのを標準とする。

表-15.3.7 フラックスの乾燥

フラックスの種類	乾燥温度	乾燥時間
溶融フラックス	150～200℃	1時間以上
ボンドフラックス	200～250℃	1時間以上

(9) 予　　熱

下記事項のいずれかに該当する場合は，溶接線の両側10cmおよびアークの前方10cmの範囲内の母材を，表-15.3.8により予熱するのを標準とする。ただし，サブマージアーク溶接に関してはこの項を適用しなくてもよい。また，特別な実験資料によってわれ防止が確実に保証される場合は，この項の適用を除外することができる。

1) 鋼材の規格合格証明書（ミルシート）から式（15.3.1）により計算した炭素当量が0.44%をこえる場合。

2) 表-15.3.4の最高かたさ試験において予熱なしで最高かたさ（H_V）が370をこえた場合。

3) 気温（室内の場合は室温）が5℃以下の場合。

表-15.3.8 予熱温度の標準

鋼種＼板厚(mm)	$t<25$	$25\leqq t<38$	$38\leqq t\leqq 50$
SS400 SM400	予熱なし	予熱なし[1] 40℃～60℃[2]	40℃～60℃[3]
SMA400W SM490	予熱なし[3]	40℃～60℃[3]	80℃～100℃[3]
SMA490W SM490Y SM520 SM570 SMA570W	40℃～60℃[3]	80℃～100℃[3]	80℃～100℃[3]

注：1) 低水素系の溶接棒を使用する場合
2) 低水素系以外の溶接棒を使用する場合
3) 低水素系溶接棒を使用するのを標準とする

(10) 溶接施工上の注意

1) エンドタブ

i）グルーブ溶接および主げたのフランジと腹板のすみ肉溶接などの施工に際しては，原則として部材と同等な開先を有するエンドタブを取りつけ，溶接の始端および終端が溶接する部材上に入らないようにしなければならない。

ii）エンドタブは，溶接終了後ガス切断法によって除去し，そのあとをグラインダー仕上げするものとする。

2) 部分溶込みグルーブ溶接の施工

部分溶込みグルーブ溶接の施工において，連続した溶接線を2種の溶接法で施工する場合は，前のビードの端部をはつり，欠陥のないことを確認してから次の溶接を行うものとする。ただし，手溶接，もしくは半自動溶接で，クレータの処理を行う場合はこの限りでない。

3) すみ肉溶接および部分溶込みグルーブ溶接の施工

i）材片の隅角部で終るすみ肉溶接は，隅角部をまわして連続的に施工しなければならない。

ii）サブマージアーク溶接法またはその他の自動溶接法を使用する場合，継手の途中でアークを切らないのがよい。

(11) グルーブ溶接の余盛りと仕上げ

設計においてとくに仕上げの指定のないグルーブ溶接は，表-15.3.9に示す範囲内の余盛りは仕上げなくてよい。余盛り高さが表-15.3.9に示す値をこえる場合は，ビード形状，とくに止端部を滑らかに仕上げなければならない。

表-15.3.9 グルーブ溶接の余盛り（mm）

ビード幅(B)	余盛り高さ(h)
$B<15$	$h\leq 3$
$15\leq B<25$	$h\leq 4$
$25\leq B$	$h\leq\frac{4}{25}B$

(12) 溶接の検査

1) 突合せ継手の内部欠陥に対する検査

i）主要部材の突合せ継手は，放射線透過試験により表-15.3.10に示す1グループごとに1継手の抜取り検査を行うものとする。ただし現場溶接を行う全断面溶け込みグルーブ溶接継手のうち，鋼製橋脚

表-15.3.10 主要部材の突合せ継手の放射線透過試験

部材			1検査ロットをグループ分けする場合の1グループの最大継手数	撮影枚数
引張部材			1	1枚（端部を含む）
圧縮部材			5	1枚
曲げ部材	引張フランジ		1	1枚
	圧縮フランジ		5	1枚
	腹板	応力に直角な方向の継手	1	1枚（引張側）
		応力に平行な方向の継手	1	1枚（端部を含む）
鋼床版			1	1枚（端部を含む）

表-15.3.11 現場溶接を行う全断面溶け込みグルーブ溶接継手の放射線透過試験

部材	撮影箇所
鋼製橋脚のはりおよび柱	継手全長を原則とする
主げたのフランジ(鋼床版を除く)および腹板	
鋼床版のデッキプレート	継手の始終端で連続して50cm(2枚)，中間部で1mにつき1箇所(1枚)およびワイヤ継ぎ部で1箇所(1枚)を原則とする

のはりおよび柱，主げたのフランジおよび腹板，鋼床版のデッキプレートの溶接部については放射線透過試験により表-15.3.11に従い検査を行うものとする。また，その他の部材において許容応力度を工場溶接の同種の継手と同じ値とする場合には，継手全長にわたって放射線透過試験により検査を行うものとする。

ただし，十分な資料を有する場合は，放射線透過試験のかわりに超音波探傷試験を用いることができる。

ii）放射線透過試験はJIS Z 3104「鋼溶接部の放射線透過試験方法および透過写真の等級分類方法」によって行うものとし，試験の結果は次の規定を満足しなければならない。

a） 引張応力を受ける溶接部はJIS Z 3104に示す2級以上とする。

b） 圧縮応力を受ける溶接部はJIS Z 3104に示す3級以上とする。

iii）表-15.3.10による放射線透過試験の結果がii）の規定を満足しない場合は，試験を行ったその継手を不合格とする。ただし，検査ロットのグループが二つ以上の継手から成る場合は，そのグループの残りの各継手に対して放射線透過試験を行い合否を判定するものとする。不合格となった継手は，その継手全体を放射線透過試験によって検査して欠陥の範囲を確認し，(14)の規定にしたがい補修しなければならない。補修部分はii）の規定を満足しなければならない。

iv）現場溶接を行う全断面溶け込みグループ溶接継手の放射線透過試験の結果がii）の規定を満足しない場合は，次の処置をとるものとする。

a） 継手全長を検査した場合は，規定を満足しない撮影箇所を不合格とし，(14)の規定にしたがい補修しなければならない。補修部分はii）の規定を満足しなければならない。

b） 抜取り検査をした場合は，規定を満足しない撮影箇所の両側各1mの範囲について検査を行うものとし，それらの箇所においてもii）の規定を満足しない場合にはその1継手の残りの部分の全てを検査するものとする。不合格となった箇所は欠陥の範囲を確認し，(14)の規定にしたがい補修しなければならない。補修部分はii）の規定を満足しなければならない。なお，ここでいう継手とは継手の端部から交差部，あるいは交差部から交差部までを指す。

2） 溶接われの検査

溶接ビードおよびその近傍には，いかなる場合もわれがあってはならない。われの検査は肉眼で行うのを原則とするが，疑わしい場合は，磁粉探傷法または浸透液探傷法を用いるのがよい。

3) 溶接ビードの外観，形状の検査

i）溶接ビード表面のピット

主要部材の突合せ継手および断面を構成するT継手，かど継手には，ビード表面にピットがあってはならない。その他のすみ肉溶接および部分溶込みグルーブ溶接には，1継手につき3個，または継手長さ1mにつき3個までを許容するものとする。ただし，ピットの大きさが1mm以下の場合は，3個を1個として計算するものとする。

ii）溶接ビード表面の凹凸

ビード表面の凹凸は，ビード長さ25mmの範囲における高低差で表し，3mmをこえる凹凸があってはならない。

iii）アンダーカット

アンダーカットの深さは，表-15.3.12の値をこえてはならない。

表-15.3.12 アンダーカットの許容深さ

アンダーカットの位置	許容深さ（mm）
主要部材の材片に働く一次応力に直交するビードの止端部	0.3
主要部材の材片に働く一次応力に平行なビードの止端部	0.5
二次部材のビード止端部	0.8

iv）オーバーラップ

オーバーラップはあってはならない。

v）すみ肉溶接の大きさ

すみ肉溶接のサイズおよびのど厚は，指定すみ肉サイズおよびのど厚を下回ってはならない。ただし，1溶接線の両端各50mmを除く部分では，溶接長さの10%までの範囲で，サイズおよびのど厚ともに−1.0mmの誤差を認めるものとする。

4) アークスタッドの検査

i）アークスタッドの外観検査

アークスタッドの外観検査は，全数について行うものとし，表-15.3.13を満足しなければならない。

表-15.3.13 アークスタッドの外観検査基準

欠陥	判定基準
余盛形状の不整	余盛は全周にわたり包囲していなければならない。なお，余盛は高さ1mm 幅0.5mm以上のものをいう。
クラックおよびスラグ巻込み	あってはならない。
アンダーカット	するどい切欠状のアンダーカットおよび深さ 0.5mm以上のアンダーカットがあってはならない。ただし，グラインダー仕上げ量が0.5mm以内に収まるものは仕上げて合格する。
スタッドジベルの仕上り高さ	(設計値±2mm)をこえてはならない。

ii）ハンマー打撃検査

外観検査の結果が不合格となったスタッドジベルは全数ハンマー打撃による曲げ検査を行う。余盛が包囲していないスタッドジベルはその方向と反対の方向に15°の角度まで曲げるものとする。さらに外観検査の結果が合格のスタッドジベルの中から１％について抜取り曲げ検査を行う。

iii）ハンマー打撃検査の結果，割れなどの欠陥が生じないものを合格とする。15°曲げても欠陥の生じないものは元に戻すことなく，曲げたままにしておかなければならない。

iv）抜取り曲げ検査の結果が不合格の場合さらに２倍の本数について検査を行い，全数合格をもって合格とする。

(13) 吊金具，架設用治具などの取付けおよび除去

1) 運搬，架設などの用に供する吊金具，治具などを取り付ける場合の溶接は，原則として工場内で行うものとし，その条件は工場溶接と同等以上のものでなければならない。やむを得ず，現場で取付ける場合は，十分な管理のもとで，慎重に施工しなければならない。

2) 吊金具，治具などの除去は母材に有害な欠陥を残さないよう入念に行われなければならない。

(14) 欠陥部の補修

欠陥部の補修は，補修によって母材に与える影響を十分に検討し，注意深く行わなければならない。

表-15.3.14に，欠陥の補修方法を示す。なお，補修溶接のビードの長さは40mm以上とし，補修にあたっては予熱等の配慮を十分に行うこととする。

表-15.3.14　欠陥の補修方法

	欠陥の種類	補修方法
1	鋼材の表面きずで，あばた，かき傷など範囲が明瞭なもの	グラインダー仕上げを原則とする。局部的に深いきずがある場合は，溶接で肉盛りし，グラインダー仕上げする。
2	鋼材の表面きずで，へげ，われなど範囲が不明瞭なもの	アークエアガウジング等により不良部分を除去したのち溶接で肉盛りし，グラインダー仕上げする。
3	鋼材端面の層状われ	板厚の1/4程度の深さにガウジングし，溶接で肉盛りし，グラインダー仕上げする。
4	アークストライク	母材表面に凹みを生じた部分は溶接肉盛りののちグラインダー仕上げする。わずかな痕跡のある程度のものはグラインダー仕上げのみでよい。
5	仮付け溶接の欠陥	欠陥部をアークエアガウジング等で除去し，必要であれば再度仮付け溶接を行う。
6	溶接われ	われ部分を完全に除去し，発生原因を究明して，それに応じた再溶接を行う。
7	溶接ビード表面のピット	アークエアガウジングでその部分を除去し，再溶接する。
8	オーバーラップ	グラインダーで削り整形する。
9	溶接ビード表面の凹凸	グラインダー仕上げする。
10	アンダーカット	程度に応じて，グラインダー仕上げのみ，またはビード溶接後，グラインダー仕上げする。
11	スタッド溶接の欠陥	ハンマー打撃検査で溶接部の破損したものは完全に除去し，母材面を整えたのち再溶接する。アンダーカット，余盛不足に対する被覆棒での補修溶接は避けるのがよい。

(15)　ひずみとり

1)　溶接によって生じた部材の変形は，プレスまたはガス炎加熱法などによってきょう正するものとする。

2)　ガス炎加熱法によってきょう正する場合の鋼材表面温度および冷却法は表-15.3.15によるものとする。

表-15.3.15　ガス炎加熱法による線状加熱時の鋼材表面温度および冷却法

鋼種	鋼材表面温度	冷却法
SM570 SMA570W	750℃以下	空冷または空冷後600℃以下で水冷
その他の鋼材	900℃以下	赤熱状態からの水冷を避ける

(1) 溶接施工

溶接継手には，突合せ継手，T継手，かど継手，かさね継手などがあって，継手の強度や剛度や剛性の面で必要な溶接の寸法，形状は，溶接記号によって設計図に示される。

しかし，一般に，溶接継手の性能は，溶接記号の指示のみで決定されるものではなく，施工に関連する冶金的性質や欠陥の存在程度などによって大きく変化する。

この条では，橋梁に必要な溶接部の品質を確保するため，施工上の規定を種々設けており，これを守ることは当然であるが，施工者の選択にまかせられている条件もかなりあるので，これらについては，経験豊富な溶接技術者が施工要領を立案し，管理組織を通じて末端まで徹底させることが重要である。

この条にあげた各項目は，施工要領書に記載し，その実施を管理者が確認すべき最小限度を示したものである。この示方書は，約20種類におよぶ鋼種を対象としており，また，溶接方法も手溶接に加えて自動，半自動溶接が使用できることになっているので，とくに鋼種と溶接方法や溶接条件との組合せについて誤りがないよう十分なチェックが必要である。

(2) 溶　接　工

溶接の品質は溶接工の技術によるところが大きいので，定められた認定試験に合格した有資格者を当てることが溶接構造では常識になっている。この示方書では，JIS Z 3801「溶接技術検定における試験方法ならびにその判定基準」を採用しているが，この規格は，溶接姿勢(下向F，立向V，横向H，上向O)，溶接作業(薄板1，中板2，厚板3)，溶接方法(ガス溶接G，アーク溶接裏当金付きA，アーク溶接裏当金なしN)の組合せで，非常に多くの試験種類を包含している。これは，多岐にわたる現在の溶接継手のすべてに対応するように立案されたもので，各溶接工が全試験に合格する必要はない。

鋼橋の工場溶接では，もっぱらアーク溶接が用いられ，片面溶接を要求される場合はほとんどないから，溶接方法としてはアーク溶接裏当金付きを対象とし，また，薄板や厚板の突合せ継手を溶接で施工することはまれであるから，溶接作業区分としては中板を対象とすればよく，結局，A-2F，A-2V，A-2Oに合格していれば十分である。厚板の橋脚柱を現場突合せ溶接する場合などは，A-3Hの有資格者をあてなければならない。サブマージアーク溶接については，現在，技術検定の国家規格がないが，手溶接は溶接の基本であるから，オペレータは少なくともA-2Fの試験に合格していることが望ましい。

この条にあげた半自動溶接とは，ワイヤーを自動的にトーチのノズルから供給し，溶接工の手の操作によって溶接する溶接法のことであって，一般にCO_2ガスあるいはCO_2とArの混合気体でアークをシールドするもので，いわゆるグラビティ溶接は含めない。

半自動溶接工の資格については，手溶接工に関する考え方と同様に実際作業で採用する溶接姿勢によりJIS Z 3841「半自動溶接技術検定における試験方法及び判定基準」のSA-2F，SA-2V，SA-3H，SA-2Oの中から試験種目を選ぶものとする。

(3) 溶接施工試験

1) 溶接施工試験の目的は，使用鋼材の溶接性や溶接方法の適性を知ることにあるので，適用範囲としては，現状で使用実績が少なく，施工上特別な注意を要する鋼材および溶接方法を対象とすることにした。

なお，工場においてすでに同じ材質，同じ施工方法で，試験対象の板厚以上の条件による溶接施工試験を実施している場合で，かつ施工経験をもつ場合は，資料の提出，検討によって溶接施工試験を省略できるものとした。

i）一般に引張強さ50キロ級の厚板は，製鋼技術的に炭素当量が高くなりがちで，溶接われに対しとくに注意を要するので，38mmをこえる場合について施工試験を課すことにした。40キロ級の厚板にあっても，耐候性のSMA400Wについては，強度は低いが，Cu，Crなどの合金元素を含有するので同列に扱うこととした。SM570については，調質により強度をあげているので，実績ではむしろ50キロ級鋼より炭素当量が小さく耐われ性もすぐれているが，強度レベルが高いことを考慮して同列に扱っている。

ii） SMA490 および SMA570 については，耐候性を与えるための成分を添加しているので，われ感受性を考慮して適用範囲を25mmまで下げた。

iii）調質鋼に対する溶接入熱の問題である。調質鋼の溶接ビード近傍は，熱サイクルによって焼入れ焼もどし効果が失われ，軟化や脆化を起しやすい。したがって，

$$\text{入熱量}Q\ (\text{joule/cm}) = \frac{\text{電流}\ (\text{amp}) \times \text{電圧}\ (\text{volt}) \times 60}{\text{溶接速度}\ (\text{cm/min})}$$

が大きいと，変質の程度と範囲も大きくなって継手の性能が低下する。SM570の場合，ほぼ70,000joule/cm以下の入熱量では，継手性能の低下は見られないことが多くの実験から確認されており，また通常の橋梁施工で使用されるサブマージアーク溶接方法もこの入熱量以下で十分溶接施工が可能なので，70,000joule/cmを一般的な施工の上限値とした。厚板のグルーブ溶接でとくに大電流を使用するかタンデム工法を使用するかして，そのときの入熱量が70,000joule/cmをこす場合は，施工試験でその適性を調べることとした。

iv）被覆棒による手溶接，サブマージアーク溶接法およびCO_2ガスシールド半自動溶接を一般扱いとし，その他の溶接法を施工試験の対象とした。鋼構造の溶接方法としては，現在，MIG溶接，ノーガスアーク溶接，エレクトロスラグ溶接，グラビティ溶接などが用いられている。これらの溶接方法は，能率上，手溶接よりまさっているが，現状では，溶接工の訓練や適性条件の管理の面で，無制限に採用できるほど一般化していないし，また適用する継手によっては，特有な問題点も発生することがあるので，施工試験によってそれらを確認することとした。

v）現場溶接は，気象条件，溶接姿勢，開先精度など種々の面で工場施工より不利な条件にあるのが普通である。また，鋼床版の片面溶接や橋脚の横向き溶接，あるいは既設橋の補強などの現場溶接は，継手そのものも施工方法も一般の工場溶接とは著しく異なっていることが多い。したがって，現場溶接に対しては現場の条件を加味した施工試験を行うのを原則とした。

2) 表-15.3.4には，グルーブ溶接試験，すみ肉溶接試験，最高かたさ試験，スタッド溶接試験の4種類の試験があげられている。しかし，溶接施工試験といえば，つねにこの全部を実施するものと解釈する必要はない。たとえば，1)のi)またはii)に該当する場合は，鋼材の特性を問題とするのでほぼ全種類となる(スタッドが用いられないときはスタッド溶接を除く)が，iii)のみに該当する場合は，グルーブ溶接試験のみでよいし，iv)にのみ該当するものは，すみ肉溶接試験のみを行えばよい。

また，ここにあげた試験内容には，技術検定的な色彩の強いもの(たとえば，放射線透過試験，スタッド溶接試験)も含んでいるが，これらによって施工者の品質管理体制をチェックすることもできるので，施工試験の意味を広く解釈してこれらの試験をも含めることにした。

グループ溶接試験の型曲げ試験においてきれつが生じた場合であっても、その発生原因がブローホールあるいはスラグ巻込みであることが確認され，かつ，きれつの長さが3mm程度までの場合は許容できるものと考えられる。

なお，「JIS Z 3801溶接技術検定における試験方法ならびに判定基準3.2」，「通産省電気工作物の溶接の技術基準」，「AWS 5, 12, 1, 2 Root-, Face-, and Side-Bend Tests」，「ASME QW-1 Acceptance Criteria-Bend Tests」などでも，きれつの長さ3mmを許容限度としている。

iii)の規定は施工試験と実施工との整合性を考慮したものである。異種の鋼材の溶接施工試験は，実際に用いる鋼材および溶接材料を使用することとした。

なお，この場合の合否の判定は，低強度側の鋼材の規格値で行う。

(5) 材片の組合せ精度

部材を組立てる場合，材片の組合せ精度が悪いと完成した部材そのものの精度，ひいては橋梁全体の精度を低下させるばかりでなく局部的な溶接不良を起しやすいのでこの項を定めた。この項でいう規定値とは，過去の実績から良好な溶接ができるものとして施工要領に記載された数値を指している。したがって，グループ溶接のルート間隔や開先精度は，施工者によって異なることもある。

ただし，板厚方向の材片の偏心許容量は，鋼床版現場継手やパイプの突合せ継手など，精度保持のむずかしい継手もあることを想定して定められたものであるから，一般の工場施工の場合は許容範囲の下限値を目標に施工することが望ましい。

すみ肉溶接における材片の密着度は，一般の直線部分では比較的容易に確保されるが，素材に曲げ加工や突合せ継手が存在する場合は不良となりやすいので，このような場合について十分な管理が行われるように許容量を定めた。ただし，部材が他部材のスリットを貫通する十字継手などのはめ込み形式となる継手で，施工上やむをえずこの密着度が守れない場合は，

$1<\delta\leqq 3$のとき　脚長をδだけ増す

$3<\delta$　のとき　開先をとり溶接

ここに，δ：材片間のすき間（mm）

とするのがよい。

(6) 仮付け溶接

仮付け溶接は，本溶接によって全部再溶融されてしまう場合もあるが，一般には一部あるいは大部分が本溶接内に残留するので，仮付け溶接の品質を本溶接同様良好なものにするためこの項を定めた。

仮付け溶接は，組立段階で行われるため，とかく溶接管理がおろそかになりやすいので，それを防ぐためにはまず資格を有する溶接工を従事させることが重要である。AWSでは仮付け溶接工についても技術検定を行うよう定めているが，わが国では現在，仮付け溶接だけの検定制度がないので，本溶接を行う溶接工と同等の技能をもつ者を従事させることとした。

仮付け溶接の長さ（80mm以上）は，50キロ鋼のT継手にショートビードのすみ肉溶接を行った場合，ルートからボンドに沿ってわれが発生しやすいが，ビード長さが80mm以上となるとわれの発生が止まるとの研究成果に基づくものである。しかし，最近の研究によれば，厚い方の板厚が12mm以下の場合や鋼材の炭素当量が0.36%以下では仮付け溶接長が50mmであってもわれが発生しないことが明らかにされている。そこで，このような場合は仮付け溶接長を50mm以上とすることができることとした。

前述のルートわれはビード表面に現われないことが多いが，その他の仮付けわれは断面が小さいためしばしばビード表面に現われる。したがって，組立終了時に表面検査を行ってわれを検出すれば，その段階で対策を立てることができるので，仮付けビードのスラグは組立終了時に除去し，ビード表面の検査を行うこととした。

(7) 溶接前の部材の清掃と乾燥

溶接線近傍の黒皮，錆，塗料，油などはブローホールやわれの発生原因となる。しかし，欠陥の発生状況は異物の量と溶接方法とによってかなり異なり，たとえば，通常のプライマー塗膜は，下向き手溶接ではほとんど無害であるが，立向き下進溶接では高速度で施工するすみ肉溶接にとくに有害である。溶接線に水分の付着した状態は明らかに溶接に悪影響を与えるので，これを禁止した。

(8) 溶接材料

1) ここでは溶接材料の使用区分を規定し，耐候性鋼および高張力鋼については被覆アーク溶接棒を用いる場合は耐われ性を考慮してすべて低水素系溶接棒を使用することとした。

2) ここでは被覆アーク溶接棒とサブマージアーク溶接用フラックスの乾燥条件および許容放置時間の標準を示した。

軟鋼用溶接棒はわれのおそれのない場合に使用されるが，吸湿がはなはだしいと思わぬ欠陥が生じるので，乾燥をおろそかにしてはならない。低水素系溶接棒は，水素の発生量が少なく耐われ性のよいことを特徴としているので，その特徴を損なうような取扱いを避けなければならない。低水素系溶接棒に規定した乾燥温度と時間は，吸湿水分を十分排除するのに必要な条件であり，放置時間，吸湿水分放出水素量の関係は図-解 15.3.3および図-解 15.3.4に示すとおりである。

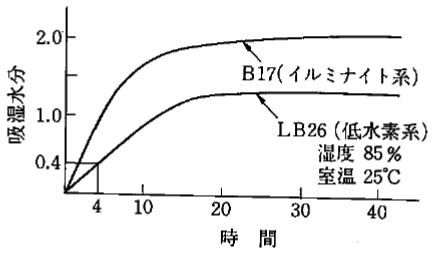


図-解 15.3.3

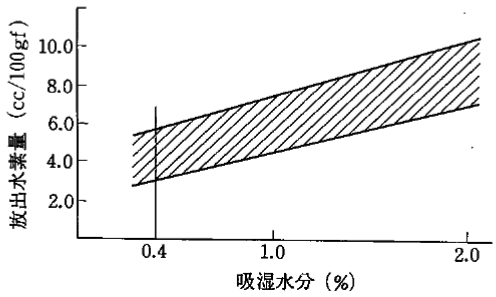


図-解 15.3.4

すなわち，低水素系溶接棒を25℃湿度85％のもとで4時間放置した場合の吸湿水分は約0.4％となり，その吸湿水分における放出水素量（JIS Z 3113「水素試験方法」による）は，ほぼ3～5.5cc/100gfである。この値はJIS Z 3212「高張力鋼用被覆アーク溶接棒」に定められた水素量（表-解 15.3.1参照）をすべて満足する。一方，D5016系を主とする工場内溶接棒を任意に抽出して行った拡散水素量の測定結果は，図-解15.3.5に示すようなものであり，以上のことから許容放置時間として4時間を適当と考えた。

表-解 15.3.1 水素量のJIS

D 5016 D 5026	＜10cc/100gf
D 5316 D 5326	＜8
D 5816 D 5826	＜6

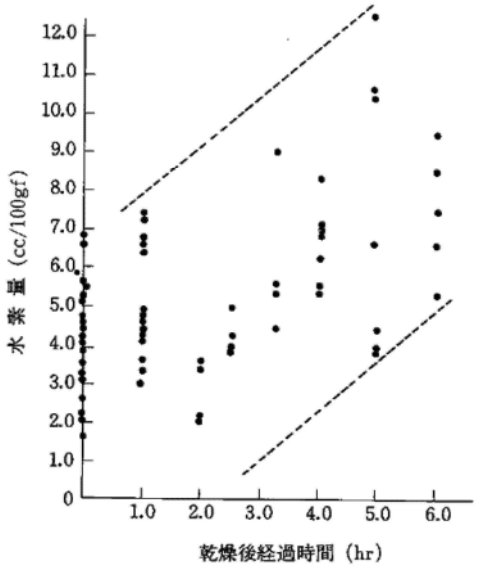


図-解 15.3.5 工場内溶接棒による溶着金属の拡散性水素量の測定結果

サブマージアーク溶接用フラックスとして現在多用されている溶融タイプのものは，それ自体は吸湿しないが，高温多湿の場合は粒子自体が吸湿するので乾燥温度を高く規定した。

CO_2ガスシールド半自動溶接用ワイヤとしては，ソリッドワイヤが最も普及しているが，フラックス入りワイヤを使用する場合は乾燥および保管に十分注意しなければならない。またCO_2ガスに水分が含まれていると溶接部にブローホールなどの欠陥が生ずる原因となるので，できるだけ水分の少ないJIS K 1106「液化炭酸」に規定された3種を使用しなければならない。なお，CO_2にArを混合すると，スパッタを少なくすることができ，ビードの表面整形などの点で良い結果を得ることができる。

(9) 予　　熱

予熱を必要とする条件として，1)に鋼材の炭素当量をあげ，C_{eq}>0.44%の場合に予熱を行うこととした。C_{eq}=0.44%はSM570に対してJISで規定された最大値である。現在，C_{eq}=0.44%となるおそれのある鋼材は SM490，SM490Y，SM520，SMA490W，SMA570W であり，とくにそれらの厚板は可能性が大きいので，これらについてはミルシートをチェックして該当品にマークを付ける必要がある。

2)の事項は最高かたさ試験の結果を予熱の要，不要の判断資料としたもので，H_V≦370であれば，われ発生のおそれもなく，曲げ延性も十分あると考えられる。

3)は気温の条件を定めたもので，予熱必要範囲を5℃以下としたのは，実績の少ない耐候性鋼やSM490Y，SM520などに対して安全を考えたためである。

表-15.3.8には鋼種板厚ごとの予熱温度が示されているが，これは従来の経験，他の示方書類を参考とし，施工性も考慮して定めた一応の標準である。予熱はわれのない健全な溶接を行うための手段であるから，表に示した温度に予熱しさえすればよいというわけではなく，状況によっては，われ発生を防止するためさらに高温の予熱を必要とする場合もあると考えなければならない。また，逆に前記事項に該当する場合でも溶接施工試験結果や他の実験資料によってわれの発生しないことが確かめられている場合は，必ずしも予熱の必要はない。

半自動溶接は，単位時間あたりの入熱量が手溶接に比べはるかに高いので，サブマージアーク溶接と同様予熱を省略することも考えられるが，それを確証するデータも少ないので，手溶接と同様に取扱うこととした。なお，特別な実験資料によってわれ防止が確実に保証される場合はこの限りでない。

(10) 溶接施工上の注意

1) エンドタブ

溶接ビードの始端および終端には欠陥が生じやすいので，エンドタブを使用する必要があるが，主げた端部のすみ肉溶接についても，同様にエンドタブを使用することとした。これは現在，主げたフランジとウェブのすみ肉溶接は主としてサブマージアーク溶接法で施工されており，自動溶接特有の大きなクレータがせん断応力が大きくなる材端部に残存することは好ましくないからである。

ただし，近年フラックスタブなどの鋼製エンドタブなし工法が開発されてきているが，その施工性を確認したうえで，鋼製エンドタブと同等に溶接端部の欠陥の発生を防止しうると認められた場合には，使用してもよい。

2) 部分溶込みグルーブ溶接の施工

一般に溶接ビード終端にはクレータが生じ，この部分にはいわゆるクレータわれが生じやすく，部分溶込みグルーブ溶接のように比較的開先角度の小さい場合はこの傾向がいちじるしい。したがって，自動溶接法では，途中でビードを切らずに溶接線を連続して施工することが望ましい。部材の形状や開先の変化などにより，やむを得ず途中でビードを切ったり溶接方法を変える場合は，先行ビードの終端部をはつり取ってその次の溶接を行うこととした。

手溶接では終端部処理を注意して行えばクレータが生じることはなく，半自動溶接の場合は，クレータフィラ機能がある電源を使って，クレータフィラ電流で終端部処理を行えば，大きなクレータを生じることもないので，そのような場合はしいて端部をはつり取る必要はない。

3) すみ肉溶接および部分溶込みグルーブ溶接の施工

この規定は，2)で述べたのと同じ理由により定めたものである。半自動溶接法で長い継手を施工する場合は，装置の配置や移動性が悪いと連続溶接が行えなくなるので，あらかじめそれらに十分な配置をしておくことが望ましい。

(11) グループ溶接の余盛りと仕上げ

余盛りによる応力集中はビード止端部の形状に関係するものであり，余盛り中央部の高さとは直接に関係しないと考えられるので，ビード幅を基準にとって表-15.3.9のように規定した。

この規定をこえる余盛りについては，当然グラインダーで超過分を削り取らなければならないが，その際中央部だけ削って高さを減じても止端部の形状による影響を減じることにはならないので，止端部をとくになめらかにするよう注意する必要がある。

従来，余盛り仕上げの要，不要はとかくあいまいにされており，施工時にトラブルを起すことが多かった。余盛りの存在による応力集中は溶接構造物にとって重要であり，外観上からも仕上げを要求されることもあるので，余盛り仕上げの必要な箇所は設計図に指示すべきである。施工時にはこの仕上げ記号の有無をよく確認して施工する必要がある。

(12) 溶接の検査

1) 突合せ継手の内部欠陥に対する検査

溶接品質に影響を与える条件には，継手形式，材質，板厚，溶接条件，開先および組立の精度，開先面の清浄度，予熱，後熱および層間温度の管理，溶接工の技量などがある。そこでこれらの溶接条件が同じ溶接継手は品質管理上同じものであるとみなし，そのような継手の集合を一つの検査ロットとする。たとえば，同じ板厚構成の突合せ継手を同じ溶接方法で10個溶接した場合，これら10個の継手で一つの検査ロットを構成することになる。ただし，ここでいう1継手とは，板と板との継手のことであり，部材と部材との継手という意味ではない。また，したがって，1度に連続して溶接した部材を後から切断して10個にしても継手としては1個として考える。次に，この検査ロットを表-15.3.10に示した最大継手個数ごとのグループに分け，各グループから1継手を抜取って検査するものとした。

抜取り検査箇所はそのグループを代表しているので，これが不合格の場合，そのグループを不合格とする。不合格になった場合は，そのグループの各継手に対し，表-15.3.10と同様の検査を行ってそれぞれの継手の合否を判定することとする。

なお，抜取り検査においては，溶接部の品質を確保するために，適正な検査ロット，抜取り検査箇所を決定しなければならない。表-15.3.10中の撮影枚数の欄において(端部を含む) とは溶接線のはじめまたは終りの部分を含めて撮影するという意味である。

現場溶接を行う全断面溶け込みグループ溶接継手については，検査方法を明確に規定した。特に鋼製橋脚のはりおよび柱，主げたのフランジおよび腹板，鋼床版のデッキプレートの溶接部については主要部材の溶接部であり，品質の確保が重要であることから，現場

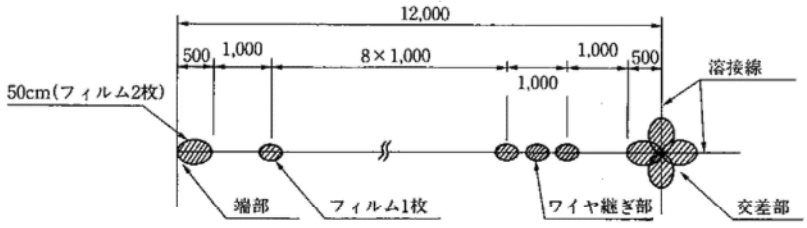


図-解 15.3.6 鋼床版デッキプレートのX線撮影箇所の例

溶接の品質管理の実績を踏まえて検査方法を規定し検査結果については ii)の規定を満足しなければならないこととした。主げたのフランジおよび腹板，鋼製橋脚については，原則として，継手全長を検査することとした。

鋼床版のデッキプレートの全断面溶け込みグループ溶接継手については，撮影箇所を1溶接線に均等に配分することにしたが，溶接線の始終端部，交差部，ワイヤ継ぎ部に欠陥が発生し易い傾向があるため，これらの部分を重点的に検査することにした。なお，自動溶接以外の工法を用いる場合や，開先条件や溶接条件が管理値をこえるような箇所はこの規定にかかわらず検査するのが望ましい。

鋼床版デッキプレート現場溶接継手の撮影箇所の例を図-解 15.3.6に示す。

なお，不合格の欠陥があった場合，それが局部的な欠陥であるのか，連続した欠陥であるのかを判断するため欠陥の箇所の両側各1mの範囲についてさらに検査して欠陥の発生状況を判断することにした。追加検査部に不合格となる欠陥のない場合には局部的な欠陥と考えることとした。一方，追加検査部にも不合格の欠陥があった場合は，その1継手を全線検査することとした。

超音波探傷試験による溶接部の非破壊検査は，一般的に

a) 部材にとって最も有害なわれに類する欠陥の検出能力に優れている。

b) 各種の継手形状への適応性に優れている。

c) 探傷装置の取扱いが容易で安全である。

d) 探傷結果が即座に判断できて，能率的である。

ことから，橋梁の現場溶接部や他の構造物でも用いられつつある。

そこで，適用実績についての資料を有する場合は，放射線透過試験のかわりに超音波探傷試験を用いることができるものとした。この場合，試験要領は下記によるものとする。

a) 超音波探傷試験は，JIS Z 3060「鋼溶接部の超音波探傷試験方法および試験結果の等級分類方法」によって行うものとし，溶接線長30cmを1単位として，表-15.3.10の「1枚」を「1単位」と読み変えた抜き取り検査とする。

b) 試験結果の判定は，引張応力を受ける溶接部はJIS Z 3060に示す2級以上，圧縮応力を受ける溶接部は3級以上を合格とし，不合格となった場合の処置は放射線透過試験に準ずるものとする。

c) 検査技術者は，社団法人日本非破壊検査協会によって認定された2種以上の有資格者とし，超音波探傷試験の検出レベルはL検出レベルとする。（L検出およびその検出能力については，JIS Z 3060の解説に述べられている。）

なお，超音波探傷試験と，放射線透過試験とは，欠陥の検出方法が異なっており，溶接欠陥に対して必ずしも同じ結果にはならないが，上記の要領では，両者の試験要領を便宜上合わせている。ただし，両試験の等級分類の許容寸法の決め方は必ずしも同じではないので適用にあたっては試験の特徴を十分理解しておく必要がある。

また，超音波探傷法としては，最近自動探傷装置が開発されているが，まだJISに規定されていないのでその使用にあたっては，欠陥検出精度とその信頼性等について上記JIS規格を満足できることを確認する必要がある。

2) 溶接われの検査

溶接構造物のわれの存在を許容できないことはいうまでもないが，その完全な検出はきわめて困難である。したがって，発生したわれのうち少なくとも表面に検出できるものは許容しないという意味からこの規定をもうけたが，表面検出が可能なわれを防止しさえすれば，他はかまわないという意味ではなく，われの発生を防ぐために施工条件は確実に守らなければならない。すなわち，溶接われについてはその発生を抑えることが第一の課題であり，示方書の規定をまもり最大限の防止努力を払わなければならない。

なお，内部欠陥の検出方法として，放射線透過試験あるいは超音波探傷試験があるが，T継手のすみ肉溶接部やかど継手の部分溶け込み溶接部ではルート部の不溶着部と溶接欠陥の識別が困難であるので，われの検出方法として採用することを見合せた。

3) 溶接ビードの外観および形状の検査

溶接ビードの外観および形状については欠陥か否かの判断には個人差があり，検査時のトラブルとなる場合も多い。そこで，この項にこれらの適正な許容量を与えて，客観的な判断が行えるような検査基準を設けた。

グループ溶接の余盛りについては，すでに(1)項で言及しているが，そのほかビードの外観形状の良否を決定する因子として，表面のピット，表面の凹凸，アンダーカット，オーバーラップ，すみ肉溶接の大きさなどがあげられる。ここでは，「船体外観の定量的検査ならびに管理基準（日本溶接協会造船部会溶接施工委員会編）」を参考にし，これに橋梁の諸事情を加味して規定を作成したものである。

i)ビード表面のピットは，異物や水分の存在によって発生したガスの抜け穴である。このうち小径で散発的なものは強度に影響しないが，大きなものや集中発生したものは応

表-解 15.3.2 応力直角方向の突合せ継手におけるアンダーカットの深さと疲労強度の関係

試験片記号		A	B	C	D
アンダーカットの深さ(mm)		0.0	0.3	0.6	0.9
疲労強度 (応力範囲) (kgf/mm^2)	破壊確率 5%	11.0	13.2	11.3	6.4
	破壊確率 50%	18.5	15.5	13.9	9.0
	破壊確率 95%	30.5	18.5	17.1	12.3

表-解 15.3.3 十字すみ肉継手におけるアンダーカットの深さと疲労強度の関係

試験片記号		I	II	III	IV	V（溶着鋼を部分的にグラインダーがけしたもの）
アンダーカットの深さ(mm)		0.01～0.11	0.13～0.25	0.27～0.33	0.43～0.58	0.41～0.50
疲労強度 (応力範囲) (kgf/mm^2)	破壊確率 5%	14.2	11.5	9.8	9.6	10.8
	破壊確率50%	15.2	13.2	12.0	13.6	13.3
	破壊確率95%	16.2	15.0	14.6	19.2	16.3

力集中の原因となり，また，外観的にも好ましくない。そこで，主要な継手では，これの存在を認めず，二次的な継手では若干の存在を許容した。

ii)ビード表面の凹凸は，主としてビードの継目に現われるもので，クレータ処理や始端処理の不良な場合に極端に大きくなるので，それらの処理をていねいに行わせる意味と外観上の良否とから3mmを基準にした。

iii)アンダーカットは応力集中の主因となり，腐食の促進にもつながるので，深さをきびしく規定した。アンダーカットの深さと疲労強度に関する資料として，多田，立花，寺尾の実験研究があり，応力直角方向の突合せ継手と十字すみ肉継手について表-解 15.3.2，表-解 15.3.3が示されている。

これらの表によれば，0.3mm程度のアンダーカットは疲労強度を15～20%低下させることになるが，道路橋ではこの程度の低下はとくに問題になることはないと考えられるので，主要部材で応力の作用方向に直交するビードの場合は0.3mmまで許容することとした。応力に平行なビードの場合は，アンダーカットが直接のノッチにはならないので，許容量を0.5mmまで上げ，二次部材では0.8mmまでゆるめた。

iv)最近の溶接材料ではよほど悪い条件でない限りオーバーラップが生じないことを考慮して，オーバーラップは全面的に認めないこととした。

v)すみ肉溶接のサイズおよびのど厚にはマイナス公差を認め，溶接線の中間部では長さ

の10%まで−1.0mmを許容することとした。これは，すみ肉溶接の溶着鋼強度が一般に母材よりかなり高いことなどを考慮したためであり，また，施工のばらつきの下限を規定サイズとして目標値を設定すれば平均サイズは不必要に大きくなり，変形の点で不利になると判断したからである。

(13) 吊金具架設用治具などの取付けおよび除法

ここでは，吊金具および架設用治具などを取付ける場合の溶接を主要部材への溶接という点を考慮して原則として工場内で行うことを規定している。なお，吊金具のうち床版を打設する際に上フランジ上面に取付ける床版型わく吊金具のように施工上やむを得ず，現場溶接を行う場合は，工場溶接と同等の溶接条件を満足する必要がある。

(14) 欠陥部の補修

補修の目的は，母材と溶接継手部の健全な機能を確保するために行うものであり，部材全体に与える影響をよく検討した上で補修方法を決定し，必要以上の溶接や加熱をしないよう，注意深く行わなければならない。

15.3.3 溶　　接

(1)　溶 接 施 工

1)　溶接は，必要な継手性能を満足するよう，下記の事項を確認したのち慎重に施工しなければならない。

ｉ）鋼材の種類と特性

ii）溶接方法，開先形状および溶接材料の種類と特性

iii）組合わせる材片の加工，組立精度，溶接部分の清浄度と乾燥状態

iv）溶接材料の乾燥状態

ｖ）溶接条件と溶接順序

2)　工場溶接は，屋内またはこれに相当する環境で行わなければならない。

(2)　溶　接　工

1)　溶接工は，JIS Z 3801「溶接技術検定における試験方法ならびにその判定基準」に定められた試験の種類のうち，その作業に該当する試験（またはこれと同等もしくはそれ以上の検定試験）に合格したものでなければならない。ただし，半自動溶接を行う場合は，JIS Z 3841「半自動溶接技術検定における試験方法および判定基準」に定められた試験の種類のうち，その作業に該当する試験（またはこれと同等もしくはそれ以上の検定試験）に合格したものでなければならない。

2)　溶接工は，６カ月以上溶接工事に従事し，かつ，工事前２カ月以上引き続きその工場において溶接工事に従事した者でなければならない。

(3)　溶接施工試験

1)　下記事項のいずれかに該当する場合は，溶接施工試験を行うのを原則とする。

ｉ）板厚が50mmをこえる溶接構造用圧延鋼材（JIS Z 3106）

ii）板厚が40mmをこえる溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材（JIS Z 3114）

iii）SM570およびSMA570Wにおいて１パスの入熱量が70,000 joule/cmをこえる場合

iv）被覆アーク溶接法（手溶接のみ），ガスシールドアーク溶接法（CO_2ガスあるいはArとCO_2の混合ガス），サブマージアーク溶接法以外の溶接を行う場合

ｖ）過去に使用実績のないところから材料供給を受ける場合

vi）現場溶接を行う場合

なお，過去に同等もしくはそれ以上の条件で溶接施工試験を行い，かつ施工経験をもつ工場では，その時の試験報告書を提出することにより溶接施工試験を省略できるものとする。

2)　溶接施工試験は表-15.3.5にあげた試験項目から該当する項目を選んで行うのを標準とし，供試鋼板の選定，溶接条件の選定その他は，下記によるのを原則とする。

表-15.3.5　溶接施工試験

試験の種類	試験項目	溶接方法	試験片の形状	試験片個数	試験方法	判定基準
グループ溶接試験	引張試験	図-15.3.1による	JIS Z 3121 1号	2	JIS Z 2241	引張強さが母材の規格値以上
	型曲げ試験 (19mm未満裏曲げ) (19mm以上側曲げ)		JIS Z 3122	2	JIS Z 3122	原則として，きれつが生じてはならない
	衝撃試験		JIS Z 2202 4号 (試験片採取位置は図-15.3.2による)	各部位につき3	JIS Z 2242	溶着金属および溶接熱影響部で母材の規格値以上 (それぞれの3個の平均値)
	マクロ試験		—	1	JIS G 0553 に準ずる	欠陥があってはならない
	放射線透過試験		—	試験片継手全長	JIS Z 3104	2類以上(引張側) 3類以上(圧縮側)
すみ肉溶接試験	マクロ試験	図-15.3.3による	図-15.3.3による	1	JIS G 0553 に準ずる	欠陥があってはならない
スタッド溶接試験	引張試験	JIS B 1198	JIS B 1198	3	JIS Z 2241	降伏点は24kgf/mm²以上，引張強さは41～56kgf/mm²，伸びは20%以上とする。ただし溶接部で切れてはいけない
	曲げ試験	JIS Z 3145	JIS Z 3145	3	JIS Z 3145	溶接部にきれつを生じてはならない

i）供試鋼板には同じような溶接条件で取り扱う鋼板のうち最も条件の悪いものを用いる。

ii）溶接は実際の施工で用いる溶接条件で行うものとし，溶接姿勢は実際に行う姿勢のうち最も不利なもので行う。

iii）異種の鋼材のグループ溶接試験は，実際の施工と同様の組合せの鋼材で行う。

同鋼種で板厚が異なる継手については，板厚の薄い方の鋼材で試験を行ってもよい。

iv）再試験は最初の個数の2倍とする。

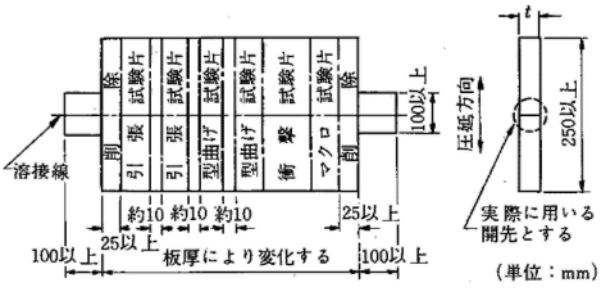
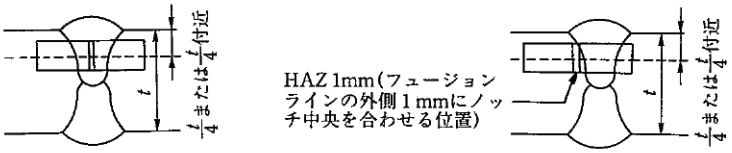


図-15.3.1　グループ溶接試験溶接方法



（a）溶接金属部　　（b）熱影響部

図-15.3.2　衝撃試験片（グループ溶接試験片の採取位置）

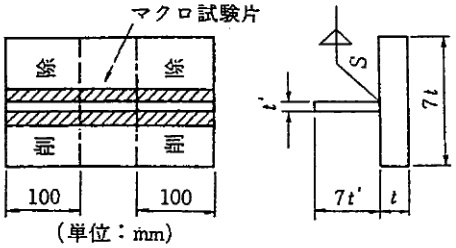


図-15.3.3　すみ肉溶接試験（マクロ試験）
溶接方法および試験片の形状

(4)　組　　立

部材の組立に際しては，補助治具を有効に利用し，無理のない姿勢で仮付け溶接できるようにしなければならない。また，支材やストロングバックなどの異材を母材に仮付けすることはできるだけ避け，やむを得ず仮付けを行って母材を傷つけた場合は，表-15.3.16により補修するものとする。

(5)　材片の組合せ精度

1)　材片の組合せ精度は，溶接部の応力伝達が円滑で，かつ，溶接不良を起さないものにしなければならない。

2)　材片の組合せ精度は下記の値を標準とする。ただし，施工試験によって誤差の許容量が確認された場合はこれによらなくてよい。

ｉ）グループ溶接

a)　ルート間隔の誤差：規定値±1.0mm以下

b)　板厚方向の材片の偏心：　$t \leqq 50$　薄い方の板厚の10%以下
$50 < t$　5 mm以下
t：薄い方の板厚

c)　裏当金を用いる場合の密着度：0.5mm以下

d)　開先角度：規定値±10°

ii）すみ肉溶接

材片の密着度：1.0mm以下

(6)　仮付け溶接

1)　本溶接の一部となる仮付け溶接には，本溶接を行う溶接工と同等の技能をもつ者を従事させるものとする。

2)　使用溶接棒は本溶接の場合と同様に管理しなければならない。

3) 仮付け溶接のすみ肉（または換算）脚長は4mm以上とし，長さは80mm以上とする。ただし，厚い方の板厚が12mm以下の場合，または次の式により計算した鋼材の炭素当量が0.36%以下の場合は50mm以上とすることができる。

$$C_{eq}=C+\frac{Mn}{6}+\frac{Si}{24}+\frac{Ni}{40}+\frac{Cr}{5}+\frac{Mo}{4}+\frac{V}{14}+\left(\frac{Cu}{13}\right)(\%) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (15.3.1)$$

ただし，（ ）の項はCu≧0.5(%)の場合に加えるものとする。

4) 仮付け溶接は，組立終了時までにスラグを除去するものとし，溶接部表面にわれがないことを確認しなければならない。もし，われが発見された場合は，その原因を究明し，適当な対策を講じなければならない。

(7) 溶接前の部材の清掃と乾燥

1) 溶接を行おうとする部分には，溶接に有害となる黒皮，錆，塗料，油などがあってはならない。

2) 溶接を行う場合は溶接線近傍を十分に乾燥させなければならない。

(8) 溶接材料

1) 溶接材料の使用区分は，表-15.3.6によるのを標準とする。

表-15.3.6 溶接材料区分

	使用区分
強度の同じ鋼材を溶接する場合	母材と同等もしくはそれ以上の機械的性質を有する溶接材料
強度の異なる鋼材を溶接する場合	低強度側の母材と同等もしくはそれ以上の機械的性質を有する溶接材料

耐候性鋼材を溶接する場合は，耐候性鋼材用の溶接材料を用いるものとする。

なお，被覆アーク溶接で施工する場合で次の項目に該当する場合は，低水素系溶接棒を使用するものとする。

i）耐候性鋼材を溶接する場合

ii）SM490以上の鋼材を溶接する場合

2) 溶接材料の乾燥

i）被覆アーク溶接棒の乾燥は，表-15.3.7によるのを標準とする。

表-15.3.7 溶接棒の乾燥

溶接棒の種類	溶接棒の状態	乾燥温度	乾燥時間
軟鋼用被覆アーク溶接棒	乾燥（開封）後12時間以上経過した場合，または溶接棒が吸湿したおそれがある場合	100～150℃	1時間以上
低水素系被覆アーク溶接棒	乾燥（開封）後4時間以上経過した場合，または溶接棒が吸湿したおそれがある場合	300～400℃	1時間以上

ii）サブマージアーク溶接に用いるフラックスの乾燥は，表-15.3.8によるのを標準とする。

表-15.3.8　フラックスの乾燥

フラックスの種類	乾　燥　温　度	乾　燥　時　間
溶融フラックス	150～200℃	1時間以上
ボンドフラックス	200～250℃	1時間以上

(9)　予　　熱

鋼材の溶接われ感受性組成P_{CM}が表-15.3.9を満足する場合には，鋼種，板厚および溶接方法に応じて，溶接線の両側10cmおよびアークの前方10cmの範囲の母材を表-15.3.10により予熱することを標準とする。

表-15.3.9　予熱温度の標準を適用する場合のP_{CM}の条件（%）

鋼材の板厚(mm) ＼ 鋼種	SM400	SMA400W	SM490 SM490Y	SM520 SM570	SMA490W SMA570W
25以下	0.24以下	0.24以下	0.26以下	0.26以下	0.26以下
25をこえ50以下	0.24以下	0.24以下	0.26以下	0.27以下	0.27以下
50をこえ100以下	0.24以下	－	0.27以下	0.29以下	－

表-15.3.10　予熱温度の標準

鋼　種	溶　接　方　法	予　熱　温　度（℃） 板　厚　区　分（mm）				
		25以下	25をこえ 40以下	40をこえ 50以下	50をこえ 75以下	75をこえ 100以下
SM400	低水素系以外の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	40～ 60	－	－	－
	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	20	20～ 40	40～ 60	60～ 80
	サブマージアーク溶接 ガスシールトアーク溶接	予熱なし	予熱なし	20	20～ 40	40～ 60
SMA400W	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	20	20～ 40	－	－
	サブマージアーク溶接 ガスシールトアーク溶接	予熱なし	予熱なし	20	－	－
SM490 SM490Y	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	20～ 40	40～ 60	60～ 80	80～100	100～120
	サブマージアーク溶接 ガスシールトアーク溶接	予熱なし	20	20～ 40	60～ 80	80～100
SM520 SM570	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	20～ 40	60～ 80	60～ 80	100～120	120～140
	サブマージアーク溶接 ガスシールトアーク溶接	予熱なし	40～ 60	40～ 60	80～100	100～120
SMA490W SMA570W	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	20～ 40	60～ 80	60～ 80	－	－
	サブマージアーク溶接 ガスシールトアーク溶接	予熱なし	40～ 60	40～ 60	－	－

注：1）“予熱なし”については，気温（室内の場合は室温）が5℃以下の場合は20℃以上に予熱する。

2）P_{CM}の算定式

$$P_{CM}=C+\frac{Si}{30}+\frac{Mn}{20}+\frac{Cu}{20}+\frac{Ni}{60}+\frac{Cr}{20}+\frac{Mo}{15}+\frac{V}{10}+5B\ (\%)$$

(10) 溶接施工上の注意

1) エンドタブ

i) グルーブ溶接および主げたのフランジと腹板のすみ肉溶接などの施工に際しては，原則として部材と同等な開先を有するエンドタブを取りつけ，溶接の始端および終端が溶接する部材上に入らないようにしなければならない。

ii) エンドタブは，溶接終了後ガス切断法によって除去し，そのあとをグラインダー仕上げするものとする。

2) 部分溶込みグルーブ溶接の施工

部分溶込みグルーブ溶接の施工において，連続した溶接線を2種の溶接法で施工する場合は，前のビードの端部をはつり，欠陥のないことを確認してから次の溶接を行うものとする。ただし，手溶接，もしくは半自動溶接で，クレータの処理を行う場合はこの限りでない。

3) すみ肉溶接および部分溶込みグルーブ溶接の施工

i) 材片の隅角部で終るすみ肉溶接は，隅角部をまわして連続的に施工しなければならない。

ii) サブマージアーク溶接法またはその他の自動溶接法を使用する場合，継手の途中でアークを切らないのがよい。

(11) グルーブ溶接の余盛りと仕上げ

設計においてとくに仕上げの指定のないグルーブ溶接は，表-15.3.11に示す範囲内の余盛りは仕上げなくてよい。余盛りの高さが表-15.3.11に示す値をこえる場合は，ビード形式，とくに止端部を滑らかに仕上げなければならない。

表-15.3.11 グルーブ溶接の余盛り (mm)

ビード幅(B)	余盛り高さ(h)
$B<15$	$h\leqq 3$
$15\leqq B<25$	$h\leqq 4$
$25\leqq B$	$h\leqq\frac{4}{25}B$

(12) 溶接の検査

1) 突合せ継手の内部欠陥に対する検査

i) 主要部材の突合せ継手は，放射線透過試験により表-15.3.12に示す1グループごとに1継手の抜取り検査を行うものとする。ただし，現場溶接を行う全断面溶込みグルーブ溶接継手のうち，鋼製橋脚のはりおよび柱，主げたのフランジおよび腹板，鋼床版のデッキプレートの溶接部については放射線透過試験により表-15.3.13に従い検査を行うものとする。また，その他の部材において許容応力度を工場溶接の同種の継手と同じ値とする場合には，継手全長にわたって放射線透過試験により検査を行うものとする。

ただし，十分な資料を有する場合は，放射線透過試験のかわりに超音波探傷試験を用いることができる。

表-15.3.12　主要部材の突合せ継手の放射線透過試験

部材			1検査ロットをグループ分けする場合の1グループの最大継手数	撮影枚数
引張部材			1	1枚（端部を含む）
圧縮部材			5	1枚
曲げ部材	引張フランジ		1	1枚
	圧縮フランジ		5	1枚
	腹板	応力に直角な方向の継手	1	1枚（引張側）
		応力に平行な方向の継手	1	1枚（端部を含む）
鋼床版			1	1枚（端部を含む）

表-15.3.13　現場溶接を行う全断面溶込みグループ溶接継手の放射線透過試験

部材	撮影箇所
鋼製橋脚のはりおよび柱	継手全長を原則とする
主げたのフランジ（鋼床版を除く）および腹板	
鋼床版のデッキプレート	継手の始終端で連続して50cm（2枚），中間部で1mにつき1箇所（1枚）およびワイヤ継ぎ部で1箇所（1枚）を原則とする

ii）放射線透過試験は，JIS Z 3104「鋼溶接継手の放射線透過試験方法」によって行うものとし，試験の結果は次の規定を満足しなければならない。

a）引張応力を受ける溶接部は，JIS Z 3104附属書4「透過写真によるきずの像の分類方法」に示す2類以上とする。

b）圧縮応力を受ける溶接部は，JIS Z 3104附属書4「透過写真によるきずの像の分類方法」に示す3類以上とする。

iii）表-15.3.12による放射線透過試験の結果がii）の規定を満足しない場合は，試験を行ったその継手を不合格とする。ただし，検査ロットのグループが二つ以上の継手から成る場合は，そのグループの残りの各継手に対して放射線透過試験を行い合否を判定するものとする。不合格となった継手は，その継手全体を放射線透過試験によって検査して欠陥の範囲を確認し，(14)項の規定に従い補修しなければならない。補修部分はii）の規定を満足しなければならない。

iv）現場溶接を行う全断面溶け込みグループ溶接継手の放射線透過試験の結果がii）の規定を満足しない場合は，次の処置をとるものとする。

a）継手全長を検査した場合は，規定を満足しない撮影箇所を不合格とし，(14)項の規定に従い補修しなければならない。補修部分はii）の規定を満足しなければならない。

b) 抜取り検査をした場合は，規定を満足しない撮影箇所の両側各１mの範囲について検査を行うものとし，それらの箇所においてもii）の規定を満足しない場合にはその１継手の残りの部分の全てを検査するものとする。不合格となった箇所は欠陥の範囲を確認し，(14)項の規定に従い補修しなければならない。補修部分はii）の規定を満足しなければならない。なお，ここでいう継手とは継手の端部から交差部，あるいは交差部から交差部までを指す。

2) 溶接われの検査

溶接ビードおよびその近傍には，いかなる場合もわれがあってはならない。われの検査は肉眼で行うのを原則とするが，疑わしい場合は，磁粉探傷法または浸透液探傷法を用いるのがよい。

3) 溶接ビードの外観，形状の検査

i）溶接ビード表面のピット

主要部材の突合せ継手および断面を構成するT継手，かど継手には，ビード表面にピットがあってはならない。その他のすみ肉溶接および部分溶込みグループ溶接には，１継手につき３個，または継手長さ１mにつき３個までを許容するものとする。ただし，ピットの大きさが１mm以下の場合は，３個を１個として計算するものとする。

ii）溶接ビード表面の凹凸

ビード表面の凹凸は，ビード長さ25mmの範囲における高低差で表し，３mmをこえる凹凸があってはならない。

iii）アンダーカット

アンダーカットの深さは，表-15.3.14の値をこえてはならない。

表-15.3.14 アンダーカットの許容深さ

アンダーカットの位置	許容深さ (mm)
主要部材の材片に働く一次応力に直交するビードの止端部	0.3
主要部材の材片に働く一次応力に平行なビードの止端部	0.5
二次部材のビード止端部	0.8

iv）オーバーラップ

オーバーラップはあってはならない。

v）すみ肉溶接の大きさ

すみ肉溶接のサイズおよびのど厚は，指定すみ肉サイズおよびのど厚を下回ってはならない。ただし，１溶接線の両端各50mmを除く部分では，溶接長さの10%までの範囲で，サイズおよびのど厚ともに−1.0mmの誤差を認めるものとする。

4) アークスタッドの検査

i）アークスタッドの外観検査

アークスタッドの外観検査は，全数について行うものとし，表-15.3.15を満足しなければならない。

表-15.3.15 アークスタッドの外観検査基準

欠陥	判定基準
余盛り形状の不整	余盛りは全周にわたり包囲していなければならない。なお，余盛りは高さ1㎜，幅0.5㎜以上のものをいう。
クラックおよびスラグ巻込み	あってはならない。
アンダーカット	するどい切欠状のアンダーカットおよび深さ0.5㎜以上のアンダーカットがあってはならない。ただし，グランンダー仕上げ量が0.5㎜以内に収まるものは仕上げて合格とする。
スタッドジベルの仕上り高さ	(設計値±2㎜)をこえてはならない。

ii）ハンマー打撃検査

外観検査の結果が不合格となったスタッドジベルは全数ハンマー打撃による曲げ検査を行う。余盛りが包囲していないスタッドジベルはその方向と反対の方向に15°の角度まで曲げるものとする。さらに外観検査の結果が合格のスタッドジベルの中から1％について抜取り曲げ検査を行う。

iii）ハンマー打撃検査の結果，割れなどの欠陥が生じないものを合格とする。15°曲げても欠陥の生じないものは元に戻すことなく，曲げたままにしておかなければならない。

iv）抜取り曲げ検査の結果が不合格の場合さらに2倍の本数について検査を行い，全数合格をもって合格とする。

(13) 吊金具，架設用治具などの取付けおよび除去

1) 運搬，架設などの用に供する吊金具，治具などを取り付ける場合の溶接は，原則として工場内で行うものとし，その条件は工場溶接と同等以上のものでなければならない。やむを得ず，現場で取付ける場合は，十分な管理のもとで，慎重に施工しなければならない。

2) 吊金具，治具などの除去は母材に有害な欠陥を残さないよう入念に行われなければならない。

(14) 欠陥部の補修

欠陥部の補修は，補修によって母材に与える影響を十分に検討し，注意深く行わなければならない。

表-15.3.16に，欠陥の補修方法を示す。なお，補修溶接のビードの長さは40mm以上とし，補修にあたっては予熱等の配慮を十分に行うこととする。

表-15.3.16 欠陥の補修方法

	欠陥の種類	補修方法
1	鋼材の表面きずで，あばた，かき傷など範囲が明瞭なもの	グラインダー仕上げを原則とする。局部的に深いきずがある場合は，溶接で肉盛りし，グラインダー仕上げする。
2	鋼材の表面きずで，へげ，われなど範囲が不明瞭なもの	アークエアガウジング等により不良部分を除去したのち溶接で肉盛りし，グラインダー仕上げする。
3	鋼材端面の層状われ	板厚の1/4程度の深さにガウジングし，溶接で肉盛りし，グラインダー仕上げする。
4	アークストライク	母材表面に凹みを生じた部分は溶接肉盛りののちグラインダー仕上げする。わずかな痕跡のある程度のものはグラインダー仕上げのみでよい。
5	仮付け溶接の欠陥	欠陥部をアークエアガウジング等で除去し，必要であれば再度仮付け溶接を行う。
6	溶接われ	われ部分を完全に除去し，発生原因を究明して，それに応じた再溶接を行う。
7	溶接ビード表面のピット	アークエアガウジングでその部分を除去し，再溶接する。
8	オーバーラップ	グラインダーで削り整形する。
9	溶接ビード表面の凹凸	グラインダー仕上げする。
10	アンダーカット	程度に応じて，グラインダー仕上げのみ，またはビード溶接後，グラインダー仕上げする。
11	スタッド溶接の欠陥	ハンマー打撃検査で溶接部の破損したものは完全に除去し，母材面を整えたのち再溶接する。アンダーカット，余盛不足に対する被覆棒での補修溶接は避けるのがよい。

(5) ひずみとり

1) 溶接によって生じた部材の変形は，プレスまたはガス炎加熱法などによってきょう正するものとする。

2) ガス炎加熱法によってきょう正する場合の鋼材表面温度および冷却法は表-15.3.17によるものとする。

表-15.3.17 ガス炎加熱法による線状加熱時の鋼材表面温度および冷却法

鋼種		鋼材表面温度	冷却法
調質鋼 (Q)		750℃以下	空冷または空冷後600℃以下で水冷
熱加工制御鋼 (TMC)	$C_{eq}>0.38$	900℃以下	空冷または空冷後500℃以下で水冷
	$C_{eq}\leq 0.38$	900℃以下	加熱直後水冷または空冷
その他の鋼材		900℃以下	赤熱状態からの水冷を避ける

(1) 溶接施工

溶接継手には，突合せ継手，T継手，かど継手，かさね継手などがあって，継手の強度や剛度や剛性の面で必要な溶接の寸法，形状は，溶接記号によって設計図に示される。

しかし，一般に，溶接継手の性能は，溶接記号の指示のみで決定されるものではなく，施工に関連する冶金的性質や欠陥の存在程度などによって大きく変化する。

この条では，橋梁に必要な溶接部の品質を確保するため，施工上の規定を種々設けており，これを守ることは当然であるが，施工者の選択にまかせられている条件もかなりあるので，これらについては，経験豊富な溶接技術者が施工要領を立案し，管理組織を通じて末端まで徹底させることが重要である。

この条にあげた各項目は，施工要領書に記載し，その実施を管理者が確認すべき最小限度を示したものである。この示方書は，約20種類におよぶ鋼種を対象としており，また，溶接方法も手溶接に加えて自動，半自動溶接が使用できることになっているので，とくに鋼種と溶接方法や溶接条件との組合せについて誤りがないよう十分なチェックが必要である。

(2) 溶　接　工

溶接の品質は溶接工の技術によるところが大きいので，定められた認定試験に合格した有資格者を当てることが溶接構造では常識になっている。この示方書では，JIS Z 3801「溶接技術検定における試験方法ならびにその判定基準」を採用しているが，この規格は，溶接姿勢(下向F，立向V，横向H，上向O)，溶接作業(薄板1，中板2，厚板3)，溶接方法(ガス溶接G，アーク溶接裏当金付きA，アーク溶接裏当金なしN)の組合せで，非常に多くの試験種類を包含している。これは，多岐にわたる現在の溶接継手のすべてに対応するように立案されたもので，各溶接工が全試験に合格する必要はない。

鋼橋の工場溶接では，もっぱらアーク溶接が用いられ，裏当金なしの片面溶接を要求される場合はほとんどないから，溶接方法としてはアーク溶接裏当金付きを対象とし，また，薄板や厚板の突合せ継手を手溶接で施工することはまれであるから，溶接作業区分としては中板を対象とすればよく，結局，A-2F，A-2V，A-2Oに合格していれば十分である。厚板の橋脚柱を現場突合せ溶接する場合などは，A-3Hなどその溶接施工に合った有資格者をあてなければならない。サブマージアーク溶接については，現在，技術検定の国家規格がないが，手溶接は溶接の基本であるから，オペレータは少なくともA-2Fの試験に合格していることが望ましい。

この条にあげた半自動溶接とは，ワイヤを自動的にトーチのノズルから供給し，溶接工の手の操作によって溶接する溶接法のことであって，一般にCO_2ガスあるいはCO_2とArの混合気体でアークをシールドするもので，いわゆるグラビティ溶接は含めない。

半自動溶接工の資格については，被覆アーク溶接工に関する考え方と同様に実際作業で採用する溶接姿勢によりJIS Z 3841「半自動溶接技術検定における試験方法および判定基準」のSA-2F，SA-2V，SA-3H，SA-2Oの中から試験種目を選ぶものとする。

(3) 溶接施工試験

1) 溶接施工試験の目的は，使用鋼材の溶接性や溶接方法の適性を知ることにあるので，適用範囲としては，現状で使用実績が少なく，施工上特別な注意を要する鋼材および溶接方法を対象とすることにした。

なお，工場においてすでに同じ材質，同レベルの炭素当量，溶接われ感受性組成，特殊成分，同じ施工方法，同じ溶接技術で，試験対象の板厚以上の条件による溶接施工試験を実施している場合で，かつ施工経験をもつ場合は，資料の提出，検討によって溶接施工試験を省略できるものとした。

i) 一般に鋼板は板厚が厚くなると，鋼材の機械的性質を確保するための材質設計の面

から溶接われ感受性組成が高くなりがちで，溶接われに対しとくに注意を要するので，SM570を除く鋼材については50mmをこえる場合，施工試験を課すことにした。SM570については，調質により強度をあげているので，実績ではむしろSM520鋼より溶接われ感受性組成が小さく耐われ性もすぐれているが，強度レベルが高いことを考慮して同列に扱っている。

ii）SMA400，SMA490およびSMA570については板厚40mmまでの実績を踏まえて，溶接試験の適用範囲を40mmをこえるものとした。

iii）調質鋼に対する溶接入熱の問題である。調質鋼の溶接ビード近傍は，熱サイクルによって焼入れ焼もどし効果が失われ，軟化やぜい化を起しやすい。したがって，

$$\text{入熱量}Q\ (\text{joule/cm}) = \frac{\text{電流}\ (\text{amp}) \times \text{電圧}\ (\text{volt}) \times 60}{\text{溶接速度}\ (\text{cm/min})}$$

が大きいと，変質の程度と範囲も大きくなって継手の性能が低下する。SM570の場合，ほぼ70,000joule/cm以下の入熱量では，継手性能の低下は見られないことが多くの実験から確認されており，また通常の橋梁施工で使用されるサブマージアーク溶接方法もこの入熱量以下で十分溶接施工が可能なので，70,000joule/cmを一般的な施工の上限値とした。厚板のグループ溶接でとくに大電流を使用するかタンデム工法を使用するかして，そのときの入熱量が70,000joule/cmをこす場合は，施工試験でその適性を調べることとした。

iv）被覆棒による手溶接，サブマージアーク溶接法およびガスシールドアーク溶接法（CO_2ガスあるいはArとCO_2の混合ガス）を一般扱いとし，その他の溶接法を施工試験の対象とした。鋼構造の溶接方法としては，現在，MIG溶接，セルフシールドアーク溶接，エレクトロガス溶接，エレクトロスラグ溶接，グラビティ溶接などが用いられている。これらの溶接方法は，能率上，手溶接よりまさっているが，現状では，溶接工の訓練や適性条件の管理の面で，無制限に採用できるほど一般化していないし，また適用する継手によっては，特有な問題点も発生することがあるので，施工試験によってそれらを確認することとした。

v）過去に使用実績のないところから材料供給を受ける場合は，信頼性のある試験データの蓄積が得られるまでの間，溶接施工試験を行うこととした。

vi）現場溶接は，気象条件，溶接姿勢，開先精度など種々の面で工場施工より不利な条件にあるのが普通である。また，鋼床版の片面溶接や橋脚の横向き溶接，あるいは既設橋の補強などの現場溶接は，継手そのものも施工方法も一般の工場溶接とは著しく異なっていることが多い。したがって，現場溶接に対しては現場の条件を加味した施工試験を行うのを原則とした。

2) 表-15.3.5には，グループ溶接試験，すみ肉溶接試験，スタッド溶接試験の3種類の試験があげられている。しかし，溶接施工試験といえば，つねにこの全部を実施するものと解釈する必要はない。たとえば，1)のi）またはii）に該当する場合は，鋼材の特性を問題とするのでほぼ全種類となる（スタッドが用いられないときはスタッド溶接を除く）が，iii）のみに該当する場合は，グループ溶接試験のみでよいし，iv）にのみ該当するものは，すみ肉溶接試験のみを行えばよい。

また，ここにあげた試験内容には，技術検定的な色彩の強いもの（たとえば，放射線透過試験，スタッド溶接試験）も含んでいるが，これらによって施工者の品質管理体制をチェックすることもできるので，施工試験の意味を広く解釈してこれらの試験をも含めることにした。

グループ溶接試験の型曲げ試験においてきれつが生じた場合であっても、その発生原因がブローホールあるいはスラグ巻込みであることが確認され，かつ，きれつの長さが3mm程度までの場合は許容できるものと考えられる。

なお，「JIS Z 3801溶接技術検定における試験方法ならびに判定基準3.2」，「通産省電気工作物の溶接の技術基準」，「AWS 5, 12, 1, 2 Root-, Face-, and Side-Bend Tests」，「ASME QW-1 Acceptance Criteria-Bend Tests」などでも，きれつの長さ3mmを許容限度としている。

iii)の規定は施工試験と実施工との整合性を考慮したものである。異種の鋼材の溶接施工試験は，実際に用いる鋼材および溶接材料を使用することとした。

なお，この場合の合否の判定は，低強度側の鋼材の規格値で行う。

グループ溶接部の衝撃試験は従来は溶接金属のみとなっていたが，より確実な試験検査を行うため溶接熱影響部の衝撃試験を追加し，母材じん性値を満足することとした。また，従来は，予熱の要否を判定するために最高硬さ試験を実施してきたが，今回，溶接われ感受性組成にて予熱を規定したので溶接施工試験の項目から最高硬さ試験を削除した。

(5) 材片の組合せ精度

部材を組立てる場合，材片の組合せ精度が悪いと完成した部材そのものの精度，ひいては橋梁全体の精度を低下させるばかりでなく局部的な溶接不良を起しやすいのでこの項を定めた。この項でいう規定値とは，過去の実績から良好な溶接ができるものとして施工要領に記載された数値を指している。したがって，グループ溶接のルート間隔や開先精度は，施工者によって異なることもある。

ただし，板厚方向の材片の偏心許容量は，鋼床版現場継手やパイプの突合せ継手など，精度保持のむずかしい継手もあることを想定して定められたものであるから，一般の工場施工の場合は許容範囲の下限値を目標に施工することが望ましい。

すみ肉溶接における材片の密着度は，一般の直線部分では比較的容易に確保されるが，素て十分な管理が行われるように許容量を定めた。ただし，部材が他部材のスリットを貫通する十字継手などのはめ込み形式となる継手で，施工上やむをえずこの密着度が守れない場合は，

$1<\delta\leqq 3$のとき　脚長をδだけ増す

$3<\delta$　のとき　開先をとり溶接

ここに，δ：材片間のすき間（mm）

とするのがよい。

(6) 仮付け溶接

仮付け溶接は，本溶接によって全部再溶融されてしまう場合もあるが，一般には一部あるいは大部分が本溶接内に残留するので，仮付け溶接の品質を本溶接同様良好なものにするためこの項を定めた。

仮付け溶接は，組立段階で行われるため，とかく溶接管理がおろそかになりやすいので，それを防ぐためにはまず資格を有する溶接工を従事させることが重要である。AWSでは仮付け溶接工についても技術検定を行うよう定めているが，わが国では現在，仮付け溶接だけの検定制度がないので，本溶接を行う溶接工と同等の技能をもつ者を従事させることとした。

仮付け溶接の長さ(80mm以上)の規定は，50キロ鋼のT継手にショートビードのすみ肉溶接を行った場合，ルートからボンドに沿ってわれが発生しやすいが，ビード長さが80mm以上となるとわれの発生が止まるとの研究成果に基づくものである。しかし，最近の研究[5]によれば，厚い方の板厚が12mm以下の場合や鋼材の炭素当量が0.36%以下では仮付け溶接長が50mmであってもわれが発生しないことが明らかにされている。そこで，このような場合は仮付け溶接長を50mm以上とすることができることとした。

前述のルートわれはビード表面に現われないことが多いが，その他の仮付けわれは断面が小さいためしばしばビード表面に現われる。したがって，組立終了時に表面検査を行ってわれを検出すれば，その段階で対策を立てることができるので，仮付けビードのスラグは組立終了時に除去し，ビード表面の検査を行うこととした。

(7) 溶接前の部材の清掃と乾燥

溶接線近傍の黒皮，錆，塗料，油などはブローホールやわれの発生原因となる。しかし，欠陥の発生状況は異物の量と溶接方法とによってかなり異なり，たとえば，通常のプライマー塗膜は，下向き手溶接ではほとんど無害であるが，立向き下進溶接では高速度で施工するすみ肉溶接にとくに有害である。溶接線に水分の付着した状態は明らかに溶接に悪影響を与えるので，これを禁止した。

(8) 溶接材料

1) ここでは溶接材料の使用区分を規定し，耐候性鋼および高張力鋼については被覆アーク溶接棒を用いる場合は耐われ性を考慮してすべて低水素系溶接棒を使用することとした。

2) ここでは被覆アーク溶接棒とサブマージアーク溶接用フラックスの乾燥条件および許容放置時間の標準を示した。

軟鋼用溶接棒はわれのおそれのない場合に使用されるが，吸湿がはなはだしいと思わぬ欠陥が生じるので，乾燥をおろそかにしてはならない。低水素系溶接棒は，水素の発生量が少なく耐われ性のよいことを特徴としているので，その特徴を損なうような取扱いを避けなければならない。低水素系溶接棒に規定した乾燥温度と時間は，吸湿水分を十分排除するのに必要な条件であり，放置時間，吸湿水分，拡散性水素量(H_{GL})の関係は図-解 15.3.4および図-解 15.3.5に示すとおりである。

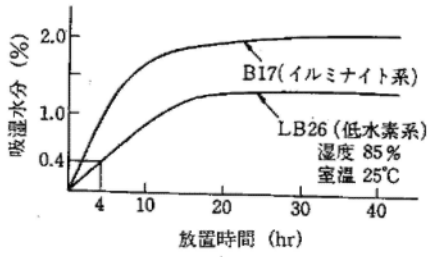


図-解 15.3.4 被覆アーク溶接棒の放置時間と吸湿水分の関係

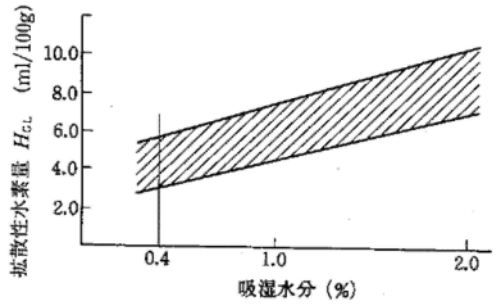


図-解 15.3.5 低水素系溶接棒の吸湿水分と拡散性水素量の関係

すなわち，低水素系溶接棒を25℃湿度85%のもとで4時間放置した場合の吸湿水分は約0.4%となり，その吸湿水分における拡散性水素量（JIS Z 3118「鋼溶接部の水素量測定方法」のグリセリン置換法によるH_{GL}）は，ほぼ3～5.5ml/100gである。この値はJIS Z 3212「高張力鋼用被覆アーク溶接棒」に定められた拡散性水素量(表-解 15.3.2参照)をすべて満足する。一方，D5016系を主とする工場内溶接棒を任意に抽出して行った拡散性水

表-解 15.3.2　低水素系溶接棒の拡散性水素量

種　類	拡散性水素量（ml/100g）	
	グリセリン置換法によるH_{GL}	ガスクロマトグラフ法によるH_{GL}
D5016 D5026	10以下	15以下
D5316 D5326	8以下	12以下
D5816 D5826	6以下	10以下

素量の測定結果は，図-解 15.3.6に示すようなものであり，以上のことから許容放置時間として4時間を適当と考えた。

サブマージアーク溶接用フラックスとして現在多用されている溶融タイプのものは，それ自体は吸湿しないが，高温多湿の場合は粒子自体が吸湿するので乾燥温度を高く規定した。

CO_2ガスシールド半自動溶接用ワイヤとしては，ソリッドワイヤが最も普及しているが，フラックス入りワイヤを使用する場合は乾燥および保管に十分注意しなければならない。またCO_2ガスに水分が含まれていると溶接部にブローホールなどの欠陥が生ずる原因となるので，できるだけ水分の少ないJIS K 1106「液化炭酸」に規定された3種を使用しな

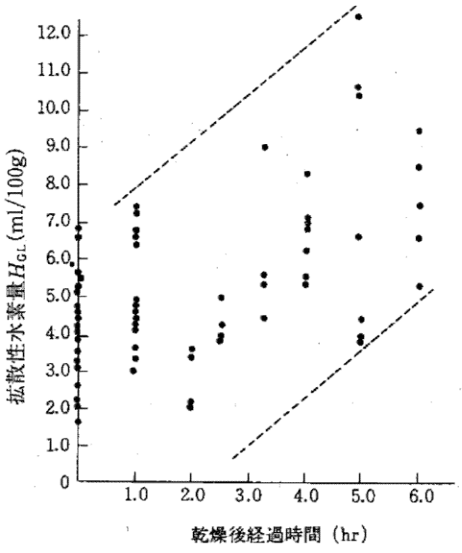


図-解 15.3.6　工場内溶接棒による溶着金属の拡散性水素量の測定結果

ければならない。なお，CO_2にArを混合すると，スパッタを少なくすることができ，ビードの表面整形などの点で良い結果を得ることができる。

(9) 予　　熱

予熱については，最近の研究[5]によって，指標として従来の炭素当量よりも，溶接われ感受性組成（P_{CM}）を用いた方がよいことが明らかになってきた。また，今回の改訂において適用板厚を100mmまで拡大したため，溶接にあたっては水素による遅れわれを防止するための予熱条件をより正確に選定することが必要となったため，P_{CM}を基本に予熱の規定を見直すこととした。

橋梁の一般的な溶接継手における鋼材のP_{CM}値と板厚および溶接法に応じたわれ防止のための予熱温度は表-解 15.3.3となる。これに対し，従来の国内の橋梁用鋼材の実績に基づき，P_{CM}について整理したのが表-15.3.9である。また，条文の表-15.3.10は表-解15.3.3と，溶接金属の拡散性水素量と溶接継手の拘束度が標準的な橋梁の溶接継手条件に基づいて，従来の経験と他の基準類を参考に予熱温度を整理したものである。

なお，低水素系以外の溶接棒を用いた被覆アーク溶接の予熱温度については，P_{CM}を用いて整理できないので，従来のとおりとした。

予熱はわれの生じない健全な溶接を行うための手段であるから，常にこれらの表に示した温度に予熱しさえすればよいというわけではなく，継手の拘束条件等によってはわれの発生を防止するためにさらに高温の予熱を行う等，施工条件に配慮する必要がある。

また，鋼材のP_{CM}値を低減すれば予熱温度を低減できる。この場合の予熱温度は表-解15.3.3に従うものとする。極低水素溶接棒をよく管理した状態で使用する場合は，ガスシールドアーク溶接法と同じ予熱温度に低減できる。また，実構造物を模擬した溶接われ試験等の実験資料によってわれ防止が保証される場合にも予熱温度を表-15.3.10に示す温度より低減することができる。

表-解 15.3.3　P_{CM}値と最低予熱温度の目安

P_{CM} (%)	溶接方法	予熱温度 (℃) 板厚区分 (mm)				
		$t \leqq 25$	$25 < t \leqq 40$	$40 < t \leqq 50$	$50 < t \leqq 75$	$75 < t \leqq 100$
0.21	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	予熱なし	予熱なし	20	20～40
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	予熱なし	予熱なし	予熱なし	20
0.22	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	予熱なし	20	20～40	40～60
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	予熱なし	予熱なし	予熱なし	20
0.23	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	予熱なし	20	40～60	40～60
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	予熱なし	予熱なし	20	20～40
0.24	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	20	20～40	40～60	60～80
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	予熱なし	20	20～40	40～60
0.25	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	20	20～40	40～60	60～80	80～100
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	20	20～40	20～40	40～60
0.26	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	20～40	40～60	60～80	60～80	80～100
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	20	20～40	40～60	60～80
0.27	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	40～60	60～80	60～80	80～100	100～120
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	20～40	40～60	40～60	60～80	80～100
0.28	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	40～60	60～80	80～100	100～120	120～140
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	20～40	40～60	60～80	60～80	80～100
0.29	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	60～80	80～100	100～120	100～120	120～140
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	40～60	60～80	60～80	80～100	100～120

注：1)　“予熱なし”については，気温（室内の場合は室温）が5℃以下の場合は20℃以上に予熱する。

2)　予熱温度の算定式　T_P(℃)$=1,440P_W-392$

ここに，$P_W=P_{CM}+\dfrac{H_{GL}}{60}+\dfrac{K}{40,000}$

3)　表中の予熱温度は下記の仮定に基づき，算定したものである。

a）溶接金属の拡散性水素量（H_{GL}）

低水素被覆アーク溶接の場合　$H_{GL}=2$ ml/100g

サブマージアーク溶接およびガスシールドアーク溶接の場合

$H_{GL}=1$ ml/100g

b）溶接継手の拘束度（K）

橋梁溶接継手の平均的な拘束度として板厚tの20倍を想定

$K=20t$ kgf/mm·mm

(10)　溶接施工上の注意

1)　エンドタブ

溶接ビードの始端および終端には欠陥が生じやすいので，エンドタブを使用する必要があるが，主げた端部のすみ肉溶接についても，同様にエンドタブを使用することとした。これは現在，主げたフランジと腹板のすみ肉溶接は主としてサブマージアーク溶接法で施工されており，自動溶接特有の大きなクレータがせん断応力が大きくなる材端部に残存

ただし，近年フラックスタブなどの鋼製エンドタブなし工法が開発されてきているが，その施工性を確認したうえで，鋼製エンドタブと同等に溶接端部の欠陥の発生を防止しうると認められた場合には，使用してもよい。

2) 部分溶込みグループ溶接の施工

一般に溶接ビード終端にはクレータが生じ，この部分にはいわゆるクレータわれが生じやすく，部分溶込みグループ溶接のように比較的開先角度の小さい場合はこの傾向がいちじるしい。したがって，自動溶接法では，途中でビードを切らずに溶接線を連続して施工することが望ましい。部材の形状や開先の変化などにより，やむを得ず途中でビードを切ったり溶接方法を変える場合は，先行ビードの終端部をはつり取ってその次の溶接を行うこととした。

手溶接では終端部処理を注意して行えばクレータが生じることはなく，半自動溶接の場合は，クレータフィラ機能がある電源を使って，クレータフィラ電流で終端部処理を行えば，大きなクレータを生じることもないので，そのような場合はしいて端部をはつり取る必要はない。

3) すみ肉溶接および部分溶込みグループ溶接の施工

この規定は，2)で述べたのと同じ理由により定めたものである。半自動溶接法で長い継手を施工する場合は，装置の配置や移動性が悪いと連続溶接が行えなくなるので，あらかじめそれらに十分な配置をしておくことが望ましい。

(11) グループ溶接の余盛りと仕上げ

余盛りによる応力集中はビード止端部の形状に関係するものであり，余盛り中央部の高さとは直接に関係しないと考えられるので，ビード幅を基準にとって表-15.3.11のように規定した。

この規定をこえる余盛りについては，当然グラインダーで超過分を削り取らなければならないが，その際中央部だけ削って高さを減じても止端部の形状による影響を減じることにはならないので，止端部をとくになめらかにするよう注意する必要がある。

余盛りの存在による応力集中は溶接構造物にとって重要であり，外観上からも仕上げを要求されることもあるので，余盛り仕上げの必要な箇所は設計図に指示すべきである。施工時にはこの仕上げ記号の有無をよく確認して施工する必要がある。

(12) 溶接の検査

1) 突合せ継手の内部欠陥に対する検査

溶接品質に影響を与える条件には，継手形式，材質，板厚，溶接条件，開先および組立の精度，開先面の清浄度，予熱，後熱および層間温度の管理，溶接工の技量などがある。そこでこれらの溶接条件が同じ溶接継手は品質管理上同じものであるとみなし，そのような継手の集合を一つの検査ロットとする。たとえば，同じ板厚構成の突合せ継手を同じ溶接方法で10個溶接した場合，これら10個の継手で一つの検査ロットを構成することになる。ただし，ここでいう1継手とは，板と板との継手のことであり，部材と部材との継手という意味ではない。したがって，1度に連続して溶接した部材を後から切断して10個にしても継手としては1個として考える。次に，この検査ロットを表-15.3.12に示した最大継手個数ごとのグループに分け，各グループから1継手を抜取って検査するものとした。

抜取り検査箇所はそのグループを代表しているので，これが不合格の場合，そのグループを不合格とする。不合格になった場合は，そのグループの各継手に対し，表-15.3.12と同様の検査を行ってそれぞれの継手の合否を判定することとする。

なお，抜取り検査においては，溶接部の品質を確保するために，適正な検査ロット，抜取り検査箇所を決定しなければならない。表-15.3.12中の撮影枚数の欄において(端部を含む）とは溶接線のはじめまたは終りの部分を含めて撮影するという意味である。

現場溶接を行う全断面溶込みグループ溶接継手については，検査方法を明確に規定した。とくに鋼製橋脚のはりおよび柱，主げたのフランジおよび腹板，鋼床版のデッキプレートの溶接部については主要部材の溶接部であり，品質の確保が重要であることから，現場溶接の品質管理の実績を踏まえて検査方法を規定し検査結果についてはii）の規定を満足しなければならないこととした。主げたのフランジおよび腹板，鋼製橋脚については，原則として，継手全長を検査することとした。

鋼床版のデッキプレートの全断面溶込みグループ溶接継手については，撮影箇所を1溶接線に均等に配分することにしたが，溶接線の始終端部，交差部，ワイヤ継ぎ部に欠陥が発生し易い傾向があるため，これらの部分を重点的に検査することにした。なお，自動溶接以外の工法を用いる場合や，開先条件や溶接条件が管理値をこえるような箇所はこの規定にかかわらず検査するのが望ましい。

鋼床版デッキプレート現場溶接継手の撮影箇所の例を図-解 15.3.7 に示す。

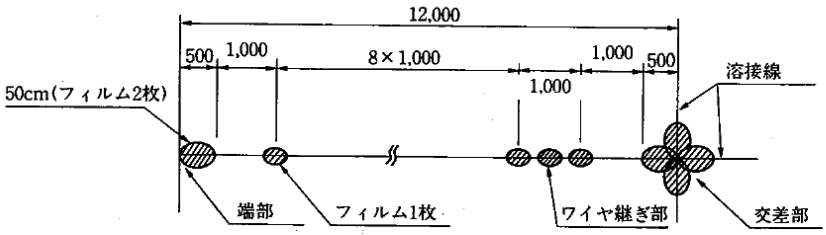


図-解 15.3.7 鋼床版デッキプレートのX線撮影箇所の例

なお，不合格の欠陥があった場合，それが局部的な欠陥であるのか，連続した欠陥であるのかを判断するため欠陥の箇所の両側各1mの範囲についてさらに検査して欠陥の発生状況を判断することにした。追加検査部に不合格となる欠陥のない場合には局部的な欠陥と考えることとした。一方，追加検査部にも不合格の欠陥があった場合は，その1継手を全線検査することとした。

超音波探傷試験による溶接部の非破壊検査は，一般的に次の特徴を有する。

a）各種の継手形状への適応性に優れている。

b）探傷装置の取扱いが容易である。

c）探傷結果が即座に判断できて，能率的である。

d）放射線透過試験のように放射線障害防止のための特別な対策が不要である。

また，適切に試験方法を選択すれば有害なわれに類する欠陥の検出能力に優れており，橋梁の現場溶接部や他の構造物での実績も増加している。さらに，極厚板の使用にともなって，放射線透過試験の探傷能力をこえる場合があることも考慮し，適用性についての十分な資料を有する場合は，放射線透過試験のかわりに超音波探傷試験を用いることができるものとした。

超音波探傷試験を用いた場合の適用性の評価や検査規定は必ずしも確立されていないが，当面，下記を最小限必要な品質上の目安としてよい。

a）超音波探傷試験方法は，JIS Z 3060「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」によって行うものとし，溶接長30cmを1単位として，表-15.3.12の「1枚」を「1単位」と読み変えた抜取り検査とする。

b）試験結果の判定は，引張応力を受ける溶接部は，JIS Z 3060附属書6「試験結果の分類方法」に示す2類以上，圧縮応力を受ける溶接部は3類以上を合格とし，不合格となった場合の処置は放射線透過試験に準ずるものとする。

c）検査技術者は，社団法人日本非破壊検査協会によって認定された2種以上の有資格者とする。

ここで，b）は放射線透過試験の等級分類を参考に設定したものであるが，もとより超音波探傷試験と放射線透過試験とは，欠陥の検出方法が異なっており，必ずしも同じ検出能力を有するものではないことに留意する必要がある。また，規格としてJIS Z 3060「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」と，JIS Z 3104の「鋼溶接継手の放射線透過試験方法」があるが，両者によるきずの分類は必ずしも同じ結果にはならないので，放射線透過試験のかわりに超音波探傷試験を適用する場合には，上記b）による場合でも試験方法と欠陥の分類方法を十分理解した上で適用する必要がある。とくに，主げたフランジを現場溶接する場合のように，溶接欠陥が橋梁本体の致命的な損傷につながるおそれのある重要な継手への適用にあたっては，当面，手探傷を基本に慎重に行う必要がある。この場合，機器の性能，欠陥の検出方法，欠陥の判定方法，検査技術者の技量等を十分に検討する。

また，超音波探傷法としては，最近，自動探傷装置が開発されてきているが，その使用にあたっても，きずの検出精度とその信頼性等について十分に確認するとともに上述の点に留意する必要がある。

2) 溶接われの検査

溶接構造物のわれの存在を許容できないことはいうまでもないが，その完全な検出はきわめて困難である。したがって，発生したわれのうち少なくとも表面に検出できるものは許容しないという意味からこの規定をもうけたが，表面検出が可能なわれを防止しさえすれば，他はかまわないという意味ではなく，われの発生を防ぐために施工条件は確実に守らなければならない。すなわち，溶接われについてはその発生を抑えることが第一の課題であり，示方書の規定をまもり最大限の防止努力を払わなければならない。

なお，内部欠陥の検出方法として，放射線透過試験あるいは超音波探傷試験があるが，T継手のすみ肉溶接部やかど継手の部分溶け込み溶接部ではルート部の不溶着部と溶接欠陥の識別が困難であるので，われの検出方法として採用することを見合せた。

3) 溶接ビードの外観および形状の検査

溶接ビードの外観および形状については欠陥か否かの判断には個人差があるので，この項にこれらの適正な許容量を与えて，客観的な判断が行えるような検査基準を設けた。

グループ溶接の余盛りについては，すでに(1)項で言及しているが，そのほかビードの外観形状の良否を決定する因子として，表面のピット，表面の凹凸，アンダーカット，オーバーラップ，すみ肉溶接の大きさなどがあげられる。ここでは，「船体外観の定量的検査ならびに管理基準（日本溶接協会造船部会溶接施工委員会編）」を参考にし，これに橋梁の諸事情を加味して規定を作成したものである。

i)ビード表面のピットは，異物や水分の存在によって発生したガスの抜け穴である。このうち小径で散発的なものは強度に影響しないが，大きなものや集中発生したものは応力集中の原因となり，また，外観的にも好ましくない。そこで，主要な継手では，これの存在を認めず，二次的な継手では若干の存在を許容した。

ii)ビード表面の凹凸は，主としてビードの継目に現われるもので，クレータ処理や始端処理の不良な場合に極端に大きくなるので，それらの処理をていねいに行わせる意味と外観上の良否とから3mmを基準にした。

iii)アンダーカットは応力集中の主因となり，腐食の促進にもつながるので，深さをきびしく規定した。アンダーカットの深さと疲労強度に関する資料として，多田，立花，寺尾の実験研究があり，応力直角方向の突合せ継手と十字すみ肉継手について表-解 15.3.4，表-解 15.3.5が示されている。

これらの表によれば，0.3mm程度のアンダーカットは疲労強度を15～20%低下させることになるが，道路橋ではこの程度の低下はとくに問題になることはないと考えられるので，主要部材で応力の作用方向に直交するビードの場合は0.3mmまで許容することとした。応力に平行なビードの場合は，アンダーカットが直接のノッチにはならないので，許容量を0.5mmまで上げ，二次部材では0.8mmまでゆるめた。

表-解 15.3.4 応力直角方向の突合せ継手におけるアンダーカットの深さと疲労強度の関係

試験片記号		A	B	C	D
アンダーカットの深さ(mm)		0.0	0.3	0.6	0.9
疲労強度 (応力範囲) (kgf/mm^2)	破壊確率 5%	11.0	13.2	11.3	6.4
	破壊確率 50%	18.5	15.5	13.9	9.0
	破壊確率 95%	30.5	18.5	17.1	12.3

表-解 15.3.5 十字すみ肉継手におけるアンダーカットの深さと疲労強度の関係

試験片記号		I	II	III	IV	V(溶着鋼を部分的にグラインダーがけしたもの)
アンダーカットの深さ(mm)		0.01～0.11	0.13～0.25	0.27～0.33	0.43～0.58	0.41～0.50
疲労強度 (応力範囲) (kgf/mm^2)	破壊確率 5%	14.2	11.5	9.8	9.6	10.8
	破壊確率50%	15.2	13.2	12.0	13.6	13.3
	破壊確率95%	16.2	15.0	14.6	19.2	16.3

iv)最近の溶接材料ではよほど悪い条件でない限りオーバーラップが生じないことを考慮して，オーバーラップは全面的に認めないこととした。

v)すみ肉溶接のサイズおよびのど厚にはマイナス公差を認め，溶接線の中間部では長さの10%まで−1.0mmを許容することとした。これは，すみ肉溶接の溶着鋼強度が一般に母材よりかなり高いことなどを考慮したためであり，また，施工のばらつきの下限を規定サイズとして目標値を設定すれば平均サイズは不必要に大きくなり，変形の点で不利になると判断したからである。

(13) 吊金具架設用治具などの取付けおよび除法

ここでは，吊金具および架設用治具などを取付ける場合の溶接を主要部材への溶接という点を考慮して原則として工場内で行うことを規定している。なお，吊金具のうち床版を打設する際に上フランジ上面に取付ける床版型わく吊金具のように施工上やむを得ず，現場溶接を行う場合は，工場溶接と同等の溶接条件を満足する必要がある。

(14) 欠陥部の補修

補修の目的は，母材と溶接継手部の健全な機能を確保するために行うものであり，部材全体に与える影響をよく検討した上で補修方法を決定し，必要以上の溶接や加熱をしないよう，注意深く行わなければならない。

(15) ひずみとり

ひずみとりはガス炎によってひずみをきょう正する場合について規定した。熱加工制御鋼（TMC）の条件は，日本溶接協会の行った研究[7]に基づいて設定した。

17.4 溶　　接

17.4.1 溶接一般

溶接施工は，各継手に要求される溶接品質を確保するため，下記に示すような事項について十分な検討を加えた後，適切に施工しなければならない。

1）鋼材の種類と特性
2）溶接材料の種類と特性
3）溶接作業者の保有資格
4）継手の形状と精度
5）溶接環境や使用設備
6）溶接施工条件や留意事項
7）溶接部の検査方法
8）不適合品の取り扱い

溶接継手には，突合せ継手，T継手，かど継手，重ね継手等があって，継手の強度や剛度や剛性の面で必要な溶接の寸法，形状は，溶接記号によって設計図等に示される。しかし，一般に，溶接継手の性能は，溶接記号の指示のみで決定されるものではなく，施工に関連する冶金的性質やきずの存在程度等によって大きく変化する。しかも溶接継手は，必ずしも全線の検査ができるものではなく，要求された溶接品質が確保されていることを施工後に100％検証することは一般にはできない。そのような理由から，継手部の適正な品質を確保するためには，十分な経験と知識を有した技術者が，少なくとも条文に規定した内容を含む適切な施工要領を策定することと，その施工要領にしたがって正しく施工が行われることの２点が非常に重要となる。

本条では，溶接品質の確保のために最低限確認しておくべき事項を規定したが，溶接品質には作業者の能力や意識に左右される部分もあり，溶接品質の確保のためには，事前に定められた要領通りに正しく施工されるように，その内容を関係者に徹底するとともに継手の重要度や，施工の難易度等も十分に考慮した適切な施工管理体制と手法を確立しておくことが必要である。さらに，定められた溶接施工要領にしたがって正しく施工されたことをどのような手法で示すのかについても，事前に定めておくことが必要である。

17.4.2 溶接材料

(1) 使用する溶接材料は，適用される鋼種に合わせ，継手に要求される成分や機械的性質を満足するものでなければならない。
(2) 1)から3)までの規定による場合は，(1)を満足するとみなしてよい。
1）溶接材料の使用区分は，表-17.4.1によるのを標準とする。

表-17.4.1　溶接材料区分

	使　用　区　分
強度の同じ鋼材を溶接する場合	母材の規格値と同等もしくはそれ以上の機械的性質を有する溶接材料
強度の異なる鋼材を溶接する場合	低強度側の母材の規格値と同等もしくはそれ以上の機械的性質を有する溶接材料
じん性の同じ鋼材を溶接する場合	母材の要求値と同等もしくはそれ以上のじん性を有する溶接材料
じん性の異なる鋼材を溶接する場合	低じん性側の母材の要求値と同等もしくはそれ以上のじん性を有する溶接材料
耐候性鋼と普通鋼を溶接する場合	母材と同等もしくはそれ以上の機械的性質，じん性を満足する溶接材料
耐候性鋼と耐候性鋼を溶接する場合	母材と同等もしくはそれ以上の機械的性質，じん性及び耐候性能を満足する溶接材料

2）次の項目に該当する場合は，低水素系溶接材料を使用するものとする。

ｉ）耐候性鋼を溶接する場合

ii）SM490 以上の鋼材を溶接する場合

3）溶接材料の乾燥

ｉ）溶接材料は適切に保管されていることを確認したうえで使用するものとする。

ii）被覆アーク溶接棒及びサブマージアーク溶接用フラックスの乾燥は，表-17.4.2 及び表-17.4.3 によるのを標準とする。

表-17.4.2　溶接棒の乾燥

溶接棒の種類	溶接棒の乾燥状態	乾燥温度	乾燥時間
軟鋼用被覆アーク溶接棒	乾燥（開封）後12時間以上経過した場合又は溶接棒が吸湿したおそれがある場合	100～150℃	1時間以上
低水素系被覆アーク溶接棒	乾燥（開封）後4時間以上経過した場合又は溶接棒が吸湿したおそれがある場合	300～400℃	1時間以上

表-17.4.3　フラックスの乾燥

フラックスの種類	乾燥温度	乾燥時間
溶融フラックス	150～200℃	1時間以上
ボンドフラックス	200～250℃	1時間以上

(2) 1) 2) ここでは溶接材料の使用区分を規定し，耐候性鋼及び高張力鋼については被覆アーク溶接棒を用いる場合は耐われ性を考慮してすべて低水素系溶接棒を使用することとした。

3) ここでは被覆アーク溶接棒とサブマージアーク溶接用フラックスの乾燥条件及び許容放置時間の標準を示した。

軟鋼用溶接棒はわれのおそれのない場合に使用されるが，吸湿がはなはだしいと思わぬ欠陥が生じるので，乾燥をおろそかにしてはならない。低水素系溶接棒は，水素の発生が少なく耐われ性のよいことを特徴としているので，その特徴を損なうような取扱いを避けなければならない。低水素系溶接棒に規定した乾燥温度と時間は，吸湿水分を十分排除するのに必要な条件であり，放置時間，吸湿水分，拡散性水素量(H_{GC})の関係は図－解 17.4.1 及び図－解 17.4.2 に示すとおりである。

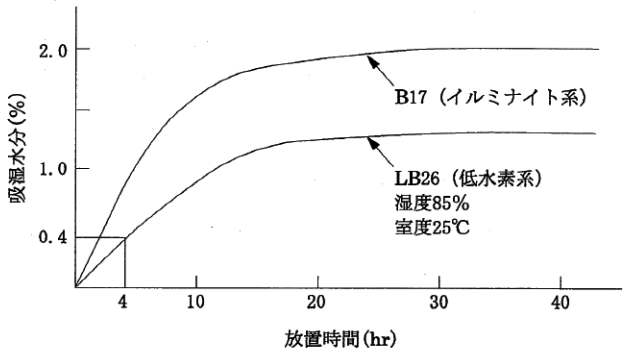


図-解 17.4.1 被覆アーク溶接棒の放置時間と吸湿水分の関係

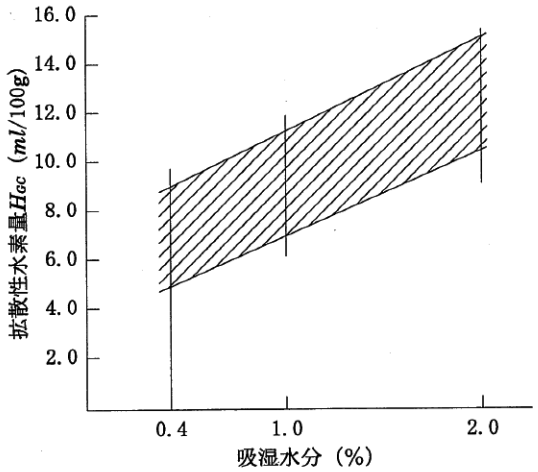


図-解 17.4.2 低水素系溶接棒の吸湿水分と拡散性水素量の関係

すなわち，低水素系溶接棒を25℃湿度85％のもとで4時間放置した場合の吸湿水分は約0.4％となり，その吸湿水分における各拡散性水素量（JIS Z 3118「鋼溶接部の水素量測定方法」のガスクロマトグラフ法によるH_{GC}）は，ほぼ5～9ml/100gである。この値はJIS Z 3212「高張力鋼用被覆アーク溶接棒」に定められた拡散性水素量（表－解 17.4.1参照）をすべて満足する。一方，D5016系の溶接棒の拡散性水素量の測定結果は，図－解 17.4.3に示すようなものであり，以上のことから許容放置時間として4時間を適当と考えた。

表-解 17.4.1　低水素系溶接棒の拡散性水素量

種　類	ガスクロマトグラフ法による拡散性水素量(*ml*/100g)
D5016 D5026	15以下
D5316 D5326	12以下
D5816 D5826	10以下

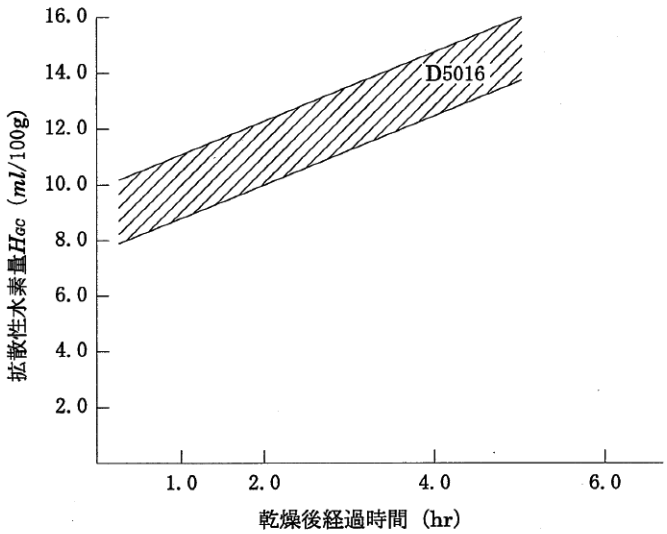


図-解 17.4.3 低水素系溶接棒の乾燥後経過時間と拡散性水素量の関係

サブマージアーク溶接用フラックスとして現在多用されている溶融タイプのものは，それ自体は吸湿しないが，高温多湿の場合は粒子の表面に水分が付着する場合もあるので乾燥を行うのがよい。一方，ボンドフラックスは粒子自体が吸湿するので乾燥温度を高く規定した。CO_2ガスシールド半自動溶接用ワイヤとして，フラックス入りワイヤを使用する場合は吸湿に十分注意しなければならない。

またCO_2ガスに水分が含まれていると溶接部にブローホール等の欠陥が生ずる原因となるので，できるだけ水分の少ないJIS K 1106「液化二酸化炭素（液化炭酸ガス）」に規定された3種を使用しなければならない。

17.4.3　材片の組合せ精度

(1) 材片の組合せ精度は，継手部の応力伝達が円滑に行われ，かつ継手性能が満足されるものでなければならない。

(2) (3)の規定による場合は，(1)を満足するとみなしてよい。

(3) 材片の組合せ精度は下記の値を標準とする。ただし，施工試験によって誤差の許容量が確認された場合はそれに従ってもよい。

i）開先溶接

a）ルート間隔の誤差：規定値±1.0mm以下

b）板厚方向の材片の偏心：$t \leqq 50$　薄い方の板厚の10%以下

$50 < t$　5mm以下

t：薄い方の板厚

c）裏当金を用いる場合の密着度：0.5mm以下

d）開先角度：規定値±10°

ii）すみ肉溶接

材片の密着度：1.0mm以下

部材を組立てる場合，材片の組合せ精度が悪いと完成した部材そのものの精度，ひいては橋全体の精度を低下させるばかりでなく局部的な溶接不良を起しやすいので，材片の組合せ精度は，継手部の応力伝達が円滑に行われ，かつ，継手性能が満足されるものでなければならない。

この項で示した標準値は，過去の実績から良好な溶接ができるものとして施工要領に記載された数値を指している。したがって，開先溶接のルート間隔や開先精度は，施工者によって異なることもある。ただし，板厚方向の材片の偏心許容量は，鋼床版現場継手やパイプの突合せ継手等，精度保持のむずかしい継手もあることを想定して定められたものであるから，一般の工場施工の場合は許容範囲の下限値を目標に施工することが望ましい。

すみ肉溶接における材片の密着度は，一般の直線部分では比較的容易に確保されるが，素材に曲げ加工や突合せ継手が存在する場合は不良となりやすいので，このような場合について十分な管理が行われるように許容量を定めた。ただし，部材が他部材のスリットを貫通する十字継手等のはめ込み形式となる継手で，施工上やむをえずこの密着度が守れない場合は，

$1 < \delta \leqq 3$のとき　脚長をδだけ増す

$3 < \delta$のとき　　開先をとり溶接

ここに，

δ：材片間のすき間（mm）

とするのがよい。

なお，部材の組立に際しては，補助治具を有効に利用し，無理のない姿勢で組立溶接できるようにしなければならない。また，支材やストロングバック等の異材を母材に仮付けすることはできるだけ避け，やむを得ず仮付けを行って母材を傷つけた場合は，表-17.4.9により補修するものとする。

17.4.4 溶接施工法

(1) 溶接の施工は，所定の溶接品質を確保できる方法で行わなければならない。

(2) 1)から5)までの規定による場合は，(1)を満足するとみなしてよい。

1) 溶接作業者の資格

i) 組立溶接及び本溶接に従事する溶接作業者は，以下に示す資格を有していなければならない。

a) 溶接作業者は，JIS Z 3801「手溶接技術検定における試験方法及び判定基準」に定められた試験の種類のうち，その作業に該当する試験（又は，これと同等以上の検定試験）に合格したものでなければならない。ただし，半自動溶接を行う場合は，JIS Z 3841「半自動溶接技術検定における試験方法及び判定基準」に定められた試験の種類のうち，その作業に該当する試験（又はこれと同等もしくはそれ以上の検定試験）に合格したものでなければならない。

b) 工場溶接に従事する溶接作業者は，6ヶ月以上溶接工事に従事し，かつ工事前2カ月以上引き続きその工場において溶接工事に従事した者でなければならない。

c) 現場溶接に従事する溶接作業者は，6ヶ月以上溶接工事に従事し，かつ適用する溶接施工方法の経験がある者又は十分な訓練を受けた者でなければならない。

2) 溶接施工試験

i) 下記事項のいずれかに該当する場合は，溶接施工試験を行うものとする。

a) SM570，SMA570W，SM520及びSMA490Wにおいて，1パスの入熱量が7,000J/mmをこえる場合

b) SM490，SM490Yにおいて，1パスの入熱量が10,000J/mmをこえる場合

c) 被覆アーク溶接法（手溶接のみ），ガスシールドアーク溶接法（CO_2ガスあるいはArとCO_2の混合ガス），サブマージアーク溶接法以外の溶接を行う場合

d) 鋼橋製作の実績がない場合

e) 使用実績のないところから材料供給を受ける場合

f) 採用する溶接方法の施工実績がない場合

なお，過去に同等もしくはそれ以上の条件で溶接施工試験を行い，かつ施工経験をもつ工場では，その時の試験報告書によって判断し，溶接施工試験を省略できるものとする。

ii）溶接施工試験は，表-17.4.4にあげた試験項目から該当する項目を選んで行うのを標準とし，供試鋼材の選定，溶接条件の選定その他は，下記によるのを原則とする。

表-17.4.4　溶接施工試験

試験の種類	試験項目	溶接方法	試験片の形状	試験片の個数	試験方法	判定基準
開先溶接試験	引張試験	図-17.4.1による	JIS Z 3121 1号	2	JIS Z 2241	引張強さが母材の規格値以上
	型曲げ試験（19mm未満裏曲げ）（19mm以上側曲げ）		JIS Z 3122	2	JIS Z 3122	原則として，きれつが生じてはならない
	衝撃試験		JIS Z 2202 4号	各部位につき3	JIS Z 2242	溶接金属及び溶接熱影響部で母材の規格値以上（それぞれの3個の平均値）
			（試験片採収位置は図-17.4.2による）			
	マクロ試験		—	1	JIS G 0553に準ずる	欠陥があってはならない
	非破壊試験		—	試験片継手全長	JIS Z*) 3104	2類以上（引張側）*) 3類以上（圧縮側）
すみ肉溶接試験	マクロ試験	図-17.4.3による	図-17.4.3による	1	JIS G 0553に準ずる	欠陥があってはならない
スタッド溶接試験	引張試験	JIS B 1198	JIS B 1198	3	JIS Z 2241	降伏点は235N/mm²以上，引張強さは400～550N/mm²，伸びは20%以上とする。ただし溶接で切れてはいけない
	曲げ試験	JIS Z 3145	JIS Z 3145	3	JIS Z 3145	溶接部にきれつを生じてはならない

*）放射線透過試験による場合

a）供試鋼板には，同じような溶接条件で取り扱う鋼板のうち最も条件の悪いものを用いる。

b）溶接は実際の施工で用いる溶接条件で行うものとし，溶接姿勢は実際に行う姿勢のうち最も不利なもので行う。

c）異種の鋼材の開先溶接試験は，実際の施工と同等の組合せの鋼材で行う。同鋼種で板厚が異なる継手については，板厚の薄い方の鋼材で試験を行ってもよい。

d）再試験は最初の個数の2倍とする。

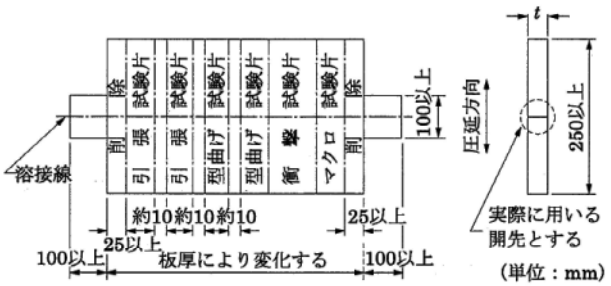


図-17.4.1　開先溶接試験溶接方法

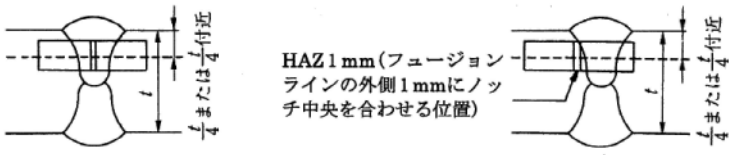


図-17.4.2　衝撃試験片(開先溶接試験片の採取位置)

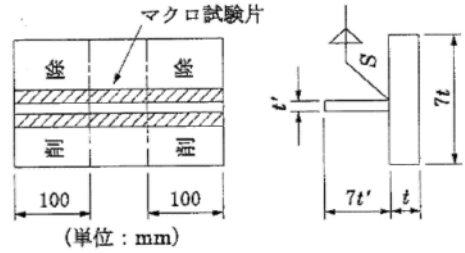


図-17.4.3　すみ肉溶接試験(マクロ試験)
溶接方法及び試験片の形状

3) 組立溶接

i) 組立溶接は，本溶接の場合と同様に管理して施工しなければならない。

ii) 組立溶接のすみ肉（又は換算）脚長は4mm以上とし，長さは80mm以上とする。ただし，厚い方の板厚が12mm以下の場合又は次の式により計算した鋼材の溶接われ感受性組成 P_{CM} が0.22%以下の場合は50mm以上とすることができる。

$$P_{CM} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Si}{30} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + \frac{Cu}{20} + 5B \quad (\%)$$

iii) 組立溶接は，組立終了時までにはスラグを除去するものとし，溶接部表面にわれがないことを確認しなければならない。もし，われが発見された場合は，その原因を究明し，適当な対策を講じなければならない。

4）予　熱

鋼種，板厚及び溶接方法に応じて，溶接線の両側100mm及びアークの前方100mm範囲の母材を表-17.4.5により予熱することを標準とする。

表-17.4.5　予熱温度の標準

鋼種	溶接方法	予熱温度（℃） 板厚区分（mm）			
		25以下	25をこえ40以下	40をこえ50以下	50をこえ100以下
SM400	低水素系以外の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	50	—	—
	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	予熱なし	50	50
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	予熱なし	予熱なし	予熱なし
SMA400W	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	予熱なし	50	50
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	予熱なし	予熱なし	予熱なし
SM490 SM490Y	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	50	80	80
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	予熱なし	50	50
SM520 SM570	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	80	80	100
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	50	50	80
SMA490W SMA570W	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	80	80	100
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	50	50	80

注：“予熱なし”については，気温（室内の場合は室温）が5℃以下の場合は，20℃程度に加熱する。

5）入熱制限

i）SM570，SMA570W，SM520及びSMA490Wの場合，1パスの入熱量を7,000J/mm以下，SM490，SM490Yの場合，入熱量を10,000J/mm以下に管理することを原則とする。

ii）i）の入熱量を超える場合には，溶接施工試験を実施して溶接部に所定の品質が確保できることを確認する必要がある。

6）溶接施工上の注意

i）溶接部の部材清掃と乾燥

a）溶接を行おうとする部分には，溶接に有害な黒皮，さび，塗料，油等があってはならない。

b）溶接を行う場合は溶接線近傍を十分に乾燥させなければならない。

ii）エンドタブ

a）開先溶接及び主げたのフランジと腹板のすみ肉溶接等の施工に際しては，原則として部材と同等な開先を有するエンドタブを取りつけ，溶接の始端及び終端が溶接する部材上に入らないようにしなければならない。

b）エンドタブは，溶接終了後ガス切断法によって除去し，そのあとをグラインダー仕上げするものとする。

iii）部分溶込み開先溶接の施工

部分溶込み開先溶接の施工において，連続した溶接線を2種の溶接法で施工する場合は，前のビードの端部をはつり，欠陥のないことを確認してから次の溶接を行うものとする。ただし，手溶接もしくは半自動溶接で，クレータの処理を行う場合はこの限りでない。

iv）すみ肉溶接及び部分溶込み開先溶接の施工

a）材片の隅角部で終わるすみ肉溶接は，隅角部をまわして連続的に施工しなければならない。

b）サブマージアーク溶接法又はその他の自動溶接法を使用する場合，継手の途中でアークを切らないのがよい。

v）吊金具，架設用治具等の取り付け及び除去

a）運搬，架設等に使用する吊金具，治具等を取り付ける場合の溶接は，原則として工場内で行うものとし，その条件は工場溶接と同等以上のものでなければならない。やむを得ず，現場で取り付ける場合は，十分な管理のもとで，慎重に施工しなければならない。

b）吊金具，治具等の除去は母材に有害なきずを残さないよう入念に行わなければならないほか，たとえば鋼床版の上面では，舗装に対する影響について配慮した除去跡の処理を行わなければならない等，部位等に応じて適切な施工が行われる必要がある。

(2) 1) 溶接作業者

溶接の品質は溶接作業者の技量によるところが大きいので，定められた認定試験に合格した有資格者を当てることが溶接構造では常識になっている。この示方書では，JIS Z 3801「手溶接技術検定における試験方法及び判定基準」を採用しているが，この規格は，溶接姿勢（下向F，立向V，横向H，上向O），溶接作業（薄板1，中板2，厚板3），溶接方法（ガス溶接G，アーク溶接裏当金付きA，アーク溶接裏当金なしN）の組合せで，非常に多くの試験種類を包含している。これは，多岐にわたる現在の溶接継手のすべてに対応するように立案されたもので，各溶接作業者が全試験に合格する必要はない。

鋼橋の溶接では，アーク溶接が用いられ，裏当材を用いない片面の裏波溶接を要求される場合はほとんどないから，溶接方法としてはアーク溶接裏当金付きを対象とし，また，薄板や厚板の突合せ継手を溶接で施工することはまれであるから，溶接作業区分としては中板を対象とすればよく，結局，A-2F, A-2V, A-20に合格していれば十分である。厚板の橋脚柱を現場突合せ溶接する場合等は，A-3Hの有資格者をあてなければならない。サブマージアーク溶接については，現在，技術検定の国家規格がないが，手溶接は溶接の基本であるから，オペレータは少なくともA-2Fの試験に合格していることが望ましい。

この条にあげた半自動溶接とは，ワイヤを自動的にトーチのノズルから供給し，溶接作業者の手の操作によって溶接する溶接法のことであって，一般にCO_2ガスあるいはCO_2とArの混合気体でアークをシールドするもので，いわゆるグラビティ溶接は含めない。

半自動溶接工の資格については，手溶接工に関する考え方と同様に実際作業で採用する溶接姿勢によりJIS Z 3841「半自動溶接技術検定における試験方法及び判定基準」のSA-2F，SA-2V，SA-3H，SA-20の中から試験種目を選ぶものとする。

現場突合せ溶接では，一般的にCO_2自動溶接やサブマージアーク溶接が用いられている。そのため，溶接作業者には，適用する箇所の溶接方法，溶接作業区分，溶接姿勢に応じた有資格者をあてるだけでなく，溶接施工方法についての施工実績がある者又は自動機の操作等を含めて十分な訓練を受けた者とした。

2) 溶接施工試験

i) 溶接施工試験の目的は，使用鋼材の溶接性や溶接方法の適性を知ることにあるので，適用範囲としては，現状で使用実績が少なく，施工上特別な注意を要する鋼材及び溶接方法を対象とすることにした。

なお，すでに同じ材質，同レベルの炭素当量，溶接われ感受性組成，特殊成分，同じ施工方法，同じ溶接技術で，試験対象の以上の条件による溶接施工試験を実施している場合で，かつ施工経験をもつ場合は，資料の提出，検討によって溶接施工試験を省略できるものとした。

a) 現在の鋼橋に使用している鋼材は，通常の場合板厚が厚くなっても溶接われ感受性組成が低く管理されているので材質・板厚による施工試験の実施は省略することとした。しかし，調質鋼の溶接ビード近傍は，熱サイクルによって焼入れ焼もどし効果が失われ，軟化やぜい化を起しやすい。

したがって，

$$\text{入熱量 } Q\,(\text{J/mm}) = \frac{\text{電流(amp)} \times \text{電圧(volt)} \times 60}{\text{溶接速度(mm/min)}}$$

が大きいと，変質の程度と範囲も大きくなって継手の性能が低下する。SM570，SMA570W，SM520及びSMA490Wの場合，ほぼ7,000J/mm以下の入熱量では，継手性能の低下は見られないことが多くの実験から確認されており，また通常の鋼橋の施工で使用されるサブマージアーク溶接方法もこの入熱量以下で十分溶接施工が可能なので，7,000J/mmを一般的な施工の上限値とした。厚板の開先溶接でとくに大電流を使用するかタンデム工法を使用する等により，そのときの入熱量が7,000J/mmをこす場合は，施工試験でその適性を調べることとした。

b) SM490，SM490Yの場合，溶接入熱量が10,000J/mmを越す場合は，継手性能が低下する可能性があるため施工試験で確認することとした。

c) 被覆アーク溶接棒による手溶接，サブマージアーク溶接法及びガスシールドアーク溶接法（CO_2ガスあるいはArとCO_2の混合ガス）を一般扱いとし，その他の溶接法を施工試験の対象とした。鋼構造の溶接方法としては，現在，*MIG*溶接，セルフシールドアーク溶接，エレクトロスラグ溶接及びエレクトロガスアーク溶接，グラビティ溶接等が用いられている。これらの溶接方法は，能率上，手溶接よりまさっているが，現状では，溶接作業者の訓練や適性条件の管理の面で，無制限に採用できるほど一般化していないし，また適用する継手によっては，特有な問題点も発生することがあるので，施工試験によってそれらを確認することとした。

d) 過去に鋼橋の製作実績のない場合は，(必要に応じて，実物大の試験体による) 施工試験を行い，溶接部の品質及び出来形形状に問題がないことを確認しなければならない。

e) 過去に使用実績のないところから材料供給を受ける場合は，信頼性のある試験データの蓄積が得られるまでの間，溶接施工試験を行うこととした。

f) 現場溶接は，気象条件，溶接姿勢，開先精度等種々の面で工場施工より不利な条件にあるのが普通であり，また，鋼床版の片面溶接や橋脚の横向き溶接あるいは既設橋の補強などの現場溶接は，継手そのものも施工方法も一般の工場溶接とは著しく異なっていることが多い。こういったことから従来は，現場溶接に対しては現場の条件を加味した施工試験を行うことを原則としていたが，施工実績も多くなってきたため，品質が確保できる場合には必ずしも溶接施工試験を行わなくてもよいこととした。しかし，過去に実績がない施工方法を用いる場合には施工試験による確認を行わなければならない。

ii）表-17.4.4には，開先溶接試験，すみ肉溶接試験，スタッド溶接試験の3種類の試験があげられている。しかし，溶接施工試験といえば，つねにこの全部を実施するものと解釈する必要はない。たとえば，板厚が標準的な値を越えるような場合には，鋼材の特性を問題とするのでほぼ全種類となる（スタッドが用いられないときはスタッド溶接を除く）が，a)又はb)のみに該当する場合には，開先溶接試験のみでよい。

また，ここにあげた試験内容には，技術検定的な色彩の強いもの（たとえば，放射線透過試験，スタッド溶接試験）も含んでいるが，これらによって施工者の品質管理体制をチェックすることもできるので，施工試験の意味を広く解釈してこれらの試験をも含めることにした。

開先溶接試験の型曲げ試験においてきれつが生じた場合であっても，その発生原因がブローホールあるいはスラグ巻込みであることが確認され，かつ，きれつの長さが3mm程度までの場合は許容できるものと考えられる。

なお，「JIS Z 3801手溶接技術検定における試験方法及び判定基準3.2」，「通産省電気工作物の溶接の技術基準」，「AWS 5,12,1,2 Root-, Face-, and Side-Bend Tests」，「ASME QW-1 Acceptance Criteria-Bend Tests」等でも，きれつの長さ3mmを許容限度としている。

c)の規定は施工試験と実施工との整合性を考慮したものである。異種の鋼材の溶接施工試験は，実際に用いる鋼材及び溶接材料を使用することとした。

なお，この場合の合否の判定は，低強度側の鋼材の規格値で行う。

開先溶接部の衝撃試験は従来は溶接金属のみとなっていたが，より確実な試験検査を行うため溶接熱影響部の衝撃試験を追加し，母材じん性値を満足することとした。また，従来は，予熱の要否を判定するために最高硬さ試験を実施してきたが，前回より，溶接われ感受性組成にて予熱を規定したので溶接施工試験の項目から最高硬さ試験を削除している。

3）組立溶接

組立溶接は，本溶接によって全部再溶融されてしまう場合もあるが，一般には一部あるいは大部分が本溶接内に残留するので，組立溶接の品質を本溶接同様良好なものにするためこの項を定めた。なお，従来，「仮付け溶接」という言葉を使用してきたが，溶接割れ防止に対する配慮は本溶接の場合と同様に重要であり，「仮」という表現は必ずしも適切でないため，「組立溶接」に変更した。

組立溶接は，組立段階で行われるため，とかく溶接管理がおろそかになりやすいので，それを防ぐためにはまず資格を有する溶接作業者を従事させることが重要である。AWSでは組立て溶接を行う溶接作業者についても技術検定を行うよう定めているが，わが国では現在，組立溶接だけの検定制度がないので，本溶接を行う溶接作業者と同等の技能をもつ者を従事させることが必要である。

組立溶接の長さ（80mm以上）は，490N/mm²鋼のT継手にショートビードのすみ肉溶接を行った場合，ルートからボンドに沿ってわれが発生しやすいが，ビード長さが80mm以上となるとわれの発生が止まるとの研究成果に基づくものである。しかし，最近の研究によれば，厚い方の板厚が12mm以下の場合や鋼材の炭素当量（C_{eq}）が0.36%以下では組立溶接長が50mmであってもわれが発生しないことが明らかにされている。また，橋梁用に使用される570N/mm²級以下の鋼材であれば，C_{eq}とP_{CM}の間にはほぼ相関があり，C_{eq}0.36%に相当するP_{CM}は0.22%となる。そこで，P_{CM}が0.22%以下の場合は組立溶接長を50mm以上とすることができることとした。

前述のルートわれはビード表面に現われないことが多いが，その他の組立溶接われは断面が小さいためしばしばビード表面に現われる。したがって，組立終了時に表面検査を行ってわれを検出すれば，その段階で対策を立てることができるので，組立溶接のビードのスラグは組立終了時に除去し，ビード表面の検査を行うこととした。

4）予　熱

予熱については，最近の研究[2)]によって，指標として従来の炭素当量よりも，溶接われ感受性組成（P_{CM}）を用いた方がよいことが明らかになってきた。また，前回の改訂での板厚拡大に加え今回の改訂では耐候性鋼の適用板厚を100mmまで拡大したため，溶接にあたっては水素による遅れわれを防止するための予熱条件をより正確に選定することが必要となったため，P_{CM}を基本に予熱の規定を見直すこととした。

現在の国内の橋梁用鋼材の使用実績に基づき，P_{CM}について整理したのが表－解17.4.2である。一方，鋼橋の一般的な溶接継手における鋼材のP_{CM}値と板厚及び溶接法に応じたわれ防止のための予熱温度は表－解 17.4.3となる。板厚が厚くなると溶接による継手の拘束度が増大するが，板厚が40～50mmを越えると頭打ちとなり，予熱温度をある温度以上高めなくてもわれが防止できることが知られており，板厚50mm以上の鋼材の使用実績も増加してきたことから，板厚50mm以上では拘束度が一定になるとし，同じP_{CM}の鋼材では板厚40mm～100mmの予熱温度を同じとした。また，予熱温度区分は，われの防止に配慮の上，「予熱なし」「50℃」「80℃」「100℃」と，20～30℃間隔で簡略化して，予熱管理の合理化を図った。

表-解 17.4.2　予熱温度の標準を適用する場合のP_{CM}の条件　(%)

鋼材の板厚(mm) ＼ 鋼種	SM400	SMA400W	SM490 SM490Y	SM520 SM570	SMA490W SMA570W
25以下	0.24以下	0.24以下	0.26以下	0.26以下	0.26以下
25をこえ50以下	0.24以下	0.24以下	0.26以下	0.27以下	0.27以下
50をこえ100以下	0.24以下	0.24以下	0.27以下	0.29以下	0.29以下

条文の表-17.4.5の予熱温度の標準は，表－解 17.4.2の鋼材のP_{CM}の条件を前提に，表－解 17.4.3のP_{CM}と板厚と予熱温度の関係から，溶接金属の拡散性水素量と溶接継手の拘束度が標準的な鋼橋の溶接継手条件に基づいて，従来の経験と他の基準類を参考に予熱温度を整理したものである。

なお，低水素系以外の溶接棒を用いた被覆アーク溶接の予熱温度についてはP_{CM}を用いて整理できないので，従来のとおりとした。

予熱はわれの生じない健全な溶接を行うための手段であるから，常にこれらの表に示した温度に予熱しさえすればよいというわけではなく，鋼材のP_{CM}や継手の拘束条件等によってはわれの発生を防止するためにさらに高温の予熱を行う等，施工条件に配慮する必要がある。

また，鋼材のP_{CM}値を低減すれば予熱温度を低減できる。この場合の予熱温度は表-解17.4.3に従うものとする。極低水素溶接棒をよく管理した状態で使用する場合は，ガスシールドアーク溶接法と同じ予熱温度に低減できる。また，実構造物を模擬した溶接われ試験等の実験資料によってわれ防止が保証される場合にも予熱温度を表-17.4.5に示す温度より低減することができる。

表-解 17.4.3　P_{CM}値と予熱温度の標準

P_{CM}	溶接方法	予熱温度(℃)		
		板厚区分(mm)		
		$t \leqq 25$	$25 < t \leqq 40$	$40 < t \leqq 100$
0.21	SMAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
	GMAW, SAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
0.22	SMAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
	GMAW, SAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
0.23	SMAW	予熱なし	予熱なし	50
	GMAW, SAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
0.24	SMAW	予熱なし	予熱なし	50
	GMAW, SAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
0.25	SMAW	予熱なし	50	50
	GMAW, SAW	予熱なし	予熱なし	50
0.26	SMAW	予熱なし	50	80
	GMAW, SAW	予熱なし	予熱なし	50
0.27	SMAW	50	80	80
	GMAW, SAW	予熱なし	50	50
0.28	SMAW	50	80	100
	GMAW, SAW	50	50	80
0.29	SMAW	80	100	100
	GMAW, SAW	50	80	80

注）SMAW：低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接
GMAW：ガスシールドアーク溶接
SAW　：サブマージアーク溶接

注：1）“予熱なし”については，気温（室内の場合は室温）が5℃以下の場合は結露除去のためのウォームアップ（20℃程度に加熱）を行う。

2）予熱温度算定式

$$T_p(℃) = 1,440P_w - 392$$

ここに，

$$P_w = P_{CM} + \frac{H_{GL}}{60} + \frac{K}{400,000}$$

3）表中の予熱温度は下記の仮定に基づき，算定したものである。

a）溶接金属の拡散性水素量（H_D）

低水素被覆アーク溶接の場合　　$H_{GL} = 2\text{ml}/100\text{g}$

サブマージアーク溶接及びガスシールドアーク溶接の場合

$H_{GL} = 1\text{ml}/100\text{g}$

b）溶接継手の拘束度（K）

橋梁溶接継手の平均的な拘束度として板厚 t の 200 倍を想定

$K = 200t$　N/mm·mm

板厚 t は，50mm 以上の場合は 50mm とする。

5）入熱制限

溶接施工において，溶接入熱量を増大した場合，溶接熱でピーク温度に達した後の温度低下速度が遅くなるため，一般に溶接金属や溶接熱影響部（HAZ）のじん性や強度が低下する。したがって，その鋼材や溶接方法に応じて入熱を抑え，継手に要求される機械的性質を確保できるよう配慮する必要がある。

鋼橋の溶接施工では一般に過大な入熱量での溶接は少ない。ただし，溶接施工効率向上のためサブマージアーク溶接やエレクトロガスアーク溶接等で過大な入熱量での溶接が採用され，鋼材の溶接熱影響部（HAZ）の靱性劣化が問題となる場合がある。したがって，溶接熱影響部（HAZ）のじん性確保のため，サブマージアーク溶接では，SM570，SMA570W，SM520，SMA490W の場合，入熱量 7,000J/mm 以下，SM490，SM490Y の場合，入熱量 10,000J/mm 以下に管理するのを原則とする。この入熱量を越える溶接を行う場合あるいはエレクトロガスアーク溶接を行う場合は，溶接施工試験での性能確認が必要である。

なお，こうした大入熱溶接を行う場合，大入熱溶接でも溶接熱影響部（HAZ）じん性の良好な鋼材も開発されているので，入熱量に応じて適切な材料を使用することが望ましい。一方，溶接材料についても，溶接金属の性能を確保できる適切な材料を選定する必要がある。

6）溶接施工上の注意

i）溶接前の部材の清掃と乾燥

溶接線近傍の黒皮，さび，塗料，油等はブローホールやわれの発生原因となる。しかし，欠陥の発生状況は異物の量と溶接方法とによってかなり異なり，たとえば，通常のプライマー塗膜は，下向き手溶接ではほとんど無害であるが，立向き下進溶接のように高速度で施工するすみ肉溶接にとくに有害である。溶接線に水分の付着した状態は明らかに溶接に悪影響を与えるので，これを禁止した。

ii）エンドタブ

溶接ビードの始端及び終端には欠陥が生じやすいので，エンドタブを使用する必要があるが，主げた端部のすみ肉溶接についても，同様にエンドタブを使用することとした。これは現在，主げたフランジとウェブのすみ肉溶接は主としてサブマージアーク溶接法で施工されており，自動溶接特有の大きなクレータがせん断応力が大きくなる材端部に残存することは好ましくないからである。

ただし，近年フラックスタブ等の鋼製エンドタブなし工法が開発されてきている

が，その施工性を確認したうえで，鋼製エンドタブと同等に溶接端部の欠陥の発生を防止しうると認められた場合には，使用してもよい。

ⅲ）部分溶込み開先溶接の施工

一般に溶接ビード終端にはクレータが生じ，この部分にはいわゆるクレータわれが生じやすく，部分溶込み開先溶接のように比較的開先角度の小さい場合はこの傾向がいちじるしい。したがって，自動溶接法では，途中でビードを切らずに溶接線を連続して施工することが望ましい。部材の形状や開先の変化等により，やむを得ず途中でビードを切ったり溶接方法を変える場合は，先行ビードの終端部をはつり取ってその次の溶接を行うこととした。

手溶接では終端部処理を注意して行えばクレータが生じることはなく，半自動溶接の場合は，クレータフィラ機能がある電源を使って，クレータフィラ電流で終端部処理を行えば，大きなクレータを生じることもないので，そのような場合はしいて端部をはつり取る必要はない。

ⅳ）すみ肉溶接及び部分溶込み開先溶接の施工

この規定は，ⅲ)で述べたのと同じ理由により定めたものである。半自動溶接法で長い継手を施工する場合は，装置の配置や移動性が悪いと連続溶接が行えなくなるので，あらかじめそれらに十分な配置をしておくことが望ましい。

ⅴ）吊金具架設用治具等の取付け及び除去

ここでは，吊金具及び架設用治具等を取付ける場合の溶接を主要部材への溶接という点を考慮して原則として工場内で行うことを規定している。なお，吊金具のうち床版を打設する際に上フランジ上面に取付ける床版型わく吊金具のように施工上やむを得ず，現場溶接を行う場合は，工場溶接と同等の溶接条件を満足する必要がある。

吊金具や治具等の除去にあたっては，きず等が母材に及ぼす影響のみならず，仕上げの程度や除去跡の突起高さ等が塗装や橋面舗装等の施工や品質に及ぼす影響についても配慮しなければならない。舗装に対する仕上げの程度等は「橋面舗装基準（案）昭和58年4月本州四国連絡橋公団」[3)]が参考になる。

17.4.5 外部きず検査

(1) 溶接完了後，肉眼又は適切な他の非破壊検査方法によりビード形状及び外観を検査し，継手に必要とされる溶接品質を満足していることを確認しなければならない。

(2) 1)から5)までの規定による場合は，(1)を満足するとみなしてよい。

1）溶接われの検査

溶接ビード及びその近傍には，いかなる場合もわれがあってはならない。われの検査は肉眼で行うのを原則とするが，疑わしい場合は，磁粉探傷法又は浸透液探傷法を用いるのがよい。

2）溶接ビードの外観，形状の検査

ⅰ）溶接ビード表面のピット

主要部材の突合せ継手及び断面を構成するT継手，かど継手には，ビード表面にピットがあってはならない。その他のすみ肉溶接及び部分溶込み開先溶接には，1継手につき3個又は継手長さ1mにつき3個までを許容するものとする。ただし，ピットの大きさが1mm以下の場合は，3個を1個として計算するものとする。

ii）溶接ビード表面の凹凸

ビード表面の凹凸は，ビード長さ25mmの範囲における高低差で表し，3mmをこえる凹凸があってはならない。

iii）アンダーカット

アンダーカットの深さは，0.5mm以下でなければならない。

iv）オーバーラップ

オーバーラップはあってはならない。

v）すみ肉溶接の大きさ

すみ肉溶接のサイズ及びのど厚は，指定すみ肉サイズ及びのど厚を下回ってはならない。ただし，1溶接線の両端各50mmを除く部分では，溶接長さの10%までの範囲で，サイズ及びのど厚ともに－1.0mmの誤差を認めるものとする。

3）開先溶接の余盛りと仕上げ

設計においてとくに仕上げの指定のない開先溶接は，表-17.4.6に示す範囲内の余盛りは仕上げなくてよい。余盛り高さが表-17.4.6に示す値をこえる場合は，ビード形状，とくに止端部を滑らかに仕上げなければならない。

表-17.4.6　開先溶接の余盛り　(mm)

ビード幅(B)	余盛り高さ(h)
$B<15$	$h\leqq 3$
$15\leqq B<25$	$h\leqq 4$
$25\leqq B$	$h\leqq(\frac{4}{25})\cdot B$

4）アークスタッドの検査

i）アークスタッドの外観検査

アークスタッドの外観検査は，全数について行うものとし，表-17.4.7を満足しなければならない。

表-17.4.7　アークスタッドの外観検査基準

欠　陥	判　定　基　準
余盛り形状の不整	余盛りは全周にわたり包囲していなければならない。 なお，余盛りは高さ1mm，幅0.5mm以上のものをいう。
クラック及び スラグ巻込み	あってはならない。
アンダーカット	するどい切欠状のアンダーカット及び深さ0.5mmを越えるアンダーカットがあってはならない。ただし，グラインダー仕上げ量が0.5mm以内に収まるものは仕上げて合格とする。
スタッドジベルの 仕上り高さ	(設計値±2mm) をこえてはならない。

ii）ハンマー打撃検査

外観検査の結果が不合格となったスタッドジベルは全数ハンマー打撃による曲げ検査を行う。余盛りが包囲していないスタッドジベルはその方向と反対の方向に15°の角度まで曲げるものとする。さらに，外観検査の結果が合格のスタッドジベルの中から１％について抜き取り曲げ検査を行う。

iii）ハンマー打撃検査の結果，われ等の欠陥が生じないものを合格とする。15°曲げても欠陥の生じないものは元に戻すことなく，曲げたままにしておかなければならない。

iv）抜き取り曲げ検査の結果が不合格の場合さらに２倍の本数について検査を行い，全数合格をもって合格とする。

5）欠陥部の補修

欠陥部の補修は，補修によって母材に与える影響を十分に検討し，注意深く行わなければならない。

表-17.4.8に欠陥の補修方法を示す。なお，補修溶接のビードの長さは40mm以上とし，補修にあたっては予熱等の配慮を十分に行うこととする。

表-17.4.8　欠陥の補修方法

	欠陥の種類	補修方法
1	アークストライク	母材表面に凹みを生じた部分は溶接肉盛りの後グラインダー仕上げする。わずかな痕跡のある程度のものはグラインダー仕上げのみでよい。
2	組立溶接の欠陥	欠陥部をアークエアガウジング等で除去し，必要があれば再度組立溶接を行う。
3	溶接われ	われ部分を完全に除去し，発生原因を究明して，それに応じた再溶接を行う。
4	溶接ビードの表面のピット	アークエアガウジングでその部分を除去し，再溶接する。
5	オーバーラップ	グラインダーで削り整形する。
6	溶接ビードの表面の凹凸	グラインダー仕上げする。
7	アンダーカット	程度に応じて，グラインダー仕上げのみ，また溶接後，グラインダー仕上げする。

(2) 1) 溶接われの検査

溶接構造物のわれの存在を許容できないことはいうまでもないが，その完全な検出はきわめて困難である。したがって，発生したわれのうち少なくとも表面に検出できるものは許容しないという意味からこの規定をもうけたが，表面検出が可能なわれを防止しさえすれば，他はかまわないという意味ではなく，われの発生を防ぐために施工条件は確実に守らなければならない。すなわち，溶接われについてはその発生を抑えることが第一の課題であり，示方書の規定をまもり最大限の防止努力を払わなければならない。

なお，内部きずの検出方法として，放射線透過試験あるいは超音波探傷試験があるが，T継手のすみ肉溶接部やかど継手の部分溶込み溶接部ではルート部の不溶着部と溶接欠陥の識別が困難であるので，われの検出方法として採用することを見合せた。

2) 溶接ビードの外観，形状の検査

溶接ビードの外観及び形状については欠陥か否かの判断には個人差があるので，この項にこれらの適正な許容量を与えて，客観的な判断が行えるような検査基準を設けた。開先溶接の余盛りについては，3)項で言及しているが，そのほかビードの外観形状の良否を決定する因子として，表面のピット，表面の凹凸，アンダーカット，オーバーラップ，すみ肉溶接の大きさ等があげられる。ここでは，「船体外観の定量的検査ならびに管理基準」(日本溶接協会造船部会溶接施工委員会編)[4]を参考にし，これに橋梁の諸事情を加味して規定を作成したものである。

i) ビード表面のピットは，異物や水分の存在によって発生したガスの抜け穴である。このうち小径で散発的なものは強度に影響しないが，大きなものや集中発生したものは応力集中の原因となり，また外観的にも好ましくない。そこで主要な継手は，これの存在を認めず，二次的な継手では若干の存在を許容した。

ii) ビード表面の凹凸は，主としてビードの継目に現れるもので，クレータ処理や始端処理の不良な場合に極端に大きくなるので，それらの処理を丁寧に行わせる意味と外観上の良否とから3mmを基準にした。

iii) アンダーカットは応力集中の主因となり，腐食の促進にもつながるので，過去の実績等から，0.5mm以下としたものである。なお，リブやスティフナー等のすみ肉溶接継手の場合には，応力集中の観点から本体構造物との止端部（すみ肉下足側）のアンダーカットがとくに重要であり，下足側を確実に検査しなければならない。

また，所定の疲労強度等級を満足するうえで許容されるアンダーカットの要求については本条の規定より厳しい場合があり，別途検討が必要である。疲労に関する事項については「鋼道路橋の疲労設計指針」(日本道路協会)[5]が参考にできる。

iv) 最近の溶接材料では，よほど悪い条件でない限りオーバーラップが生じないことを考慮して，オーバーラップは全面的に認めないこととした。

v) すみ肉溶接のサイズ及びのど厚にはマイナス公差を認め，溶接線の中間部では長さの10%まで－1.0mmを許容することとした。これは，すみ肉溶接の溶着金属の強度が一般に母材よりかなり高いこと等を考慮したためであり，また施工のばらつきの下限を規定サイズとして目標値を設定すれば平均サイズは不必要に大きくなり，変形の点で不利になると判断したからである。

3) 開先溶接の余盛りと仕上げ

余盛りによる応力集中はビード止端部の形状に関係するものであり，余盛り中央

部の高さとは直接に関係しないと考えられるので，ビード幅を基準にとって表-17.4.6のように規定した。

この規定をこえる余盛りについては，当然グラインダーで超過分を削り取らなければならないが，その際中央部だけ削って高さを減じても止端部の形状による影響を減じることにはならないので，止端部をとくになめらかにするよう注意する必要がある。

余盛りの存在による応力集中は溶接構造物にとって重要であり，外観上からも仕上げを要求されることもあるので，余盛り仕上げの必要な箇所は設計図に指示すべきである。施工時にはこの仕上げ記号の有無をよく確認して施工する必要がある。

5）欠陥部の補修

補修の目的は，母材と溶接継手部の健全な機能を確保するために行うものであり，部材全体に与える影響をよく検討した上で補修方法を決定し，必要以上の溶接や加熱をしないよう，注意深く行わなければならない。

とくに，補修溶接部の始終端には有害な欠陥が生じやすく，注意が必要である。

17.4.6　内部きず検査

(1) 完全溶込みの突合せ溶接継手の内部きずに対する検査は，溶接完了後，適切な非破壊検査により行い，要求される溶接品質を満足していることを確認しなければならない。

(2) 完全溶込みの突合せ溶接継手の内部きずに対する検査を以下に示す方法で行う場合は，(1)を満足しているとみなしてよい。

1）検査方法

非破壊試験は放射線透過試験，超音波探傷試験による。

2）抜取り検査率，判定基準，合否判定

i）抜取り検査率

主要部材については，表-17.4.9に示す1グループごとに1継手の抜取り検査を行う。ただし現場溶接を行う完全溶込みの突合せ溶接継手のうち，鋼製橋脚のはり及び柱，主げたのフランジ及び腹板，鋼床版のデッキプレートの溶接部については表-17.4.10に従い検査を行う。

また，その他の部材において許容応力度を工場溶接の同種の継手と同じ値とする場合には，継手全長にわたって非破壊試験により検査を行う。

同じ値とする場合には，継手全長にわたって非破壊試験により検査を行う。

表-17.4.9　主要部材の完全溶込みの突合せ溶接継手の非破壊試験検査率

部材			1検査ロットをグループ分けする場合の1グループの最大継手数	放射線透過試験撮影枚数	超音波探傷試験検査継手数
引張部材			1	1枚(端部を含む)	1
圧縮部材			5	1枚	1
曲げ部材	引張フランジ		1	1枚	1
	圧縮フランジ		5	1枚	1
	腹板	応力に直角方向の継手	1	1枚(引張側)	1
		応力に平行方向の継手	1	1枚(端部を含む)	1
鋼床版			1	1枚(端部を含む)	1

表-17.4.10　現場溶接を行う完全溶込みの突合せ溶接継手の非破壊試験検査率

部材	放射線透過試験	超音波探傷試験
	撮影箇所	検査長さ
鋼製橋脚のはり及び柱	継手全長を原則とする	
主げたのフランジ（鋼床版を除く）及び腹板		
鋼床版のデッキプレート	継手の始終端で連続して50cm(2枚)中間部で1mにつき1箇所(1枚)及びワイヤ継ぎ部で1箇所（1枚）を原則とする	継手全長を原則とする

ii）判定基準

試験で検出されたきず寸法は，設計上許容される寸法以下でなければならない。

ただし，寸法によらず表面に開口した割れ等の面状きずはあってはならない。

なお，放射線透過試験による場合で板厚が25mm以下の試験の結果については，次の規定を満足する場合に合格としてよい。

a）引張応力を受ける溶接部は，JIS Z 3104附属書4「透過写真によるきずの像の分類方法」に示す2類以上とする。

b）圧縮応力を受ける溶接部は，JIS Z 3104附属書4「透過写真によるきずの像の分類方法」に示す3類以上とする。

iii）合否判定，不合格部の処置

①表-17.4.9による非破壊試験の結果がii）の規定を満足しない場合は，次の処置をとるものとする。

a）検査ロットのグループが1つの継手からなる場合には，試験を行ったその継手を不合格とする。また，検査ロットのグループが二つ以上の継手から成る場合は，そのグループの残りの各継手に対して非破壊試験を行い合否を判定するものとする。不合格となった継手は，その継手全体を非破壊試験によって検査して欠陥の範囲を確認し，不合格部分は17.4.5 (2)4)項の規定に従い補修しなければならない。補修部分はii）の規定を満足しなければならない。

②表-17.4.10による，現場溶接を行う完全溶込み突合せ溶接継手の非破壊試験の結果がii）の規定を満足しない場合は，次の処置をとるものとする。

a）継手全長を検査した場合は，規定を満足しない試験箇所を不合格とし，17.4.5 (2) 4)項の規定に従い補修しなければならない。補修部分はii）の規定を満足しなければならない。

b）放射線透過試験により，抜取り検査をした場合は，規定を満足しない撮影箇所の両側各1mの範囲について検査を行うものとし，それらの箇所においてもii）の規定を満足しない場合にはその1継手の残り部分の全てを検査するものとする。不合格となった箇所はきずの範囲を確認し，17.4.5 (2) 5)項の規定に従い補修しなければならない。補修部分はii）の規定を満足しなければならない。なお，ここでいう継手とは継手の端部から交差部あるいは交差部から交差部までを指す。

1）完全溶込み突合せ溶接継手の内部きずに対する試験方法

放射線透過試験は，JIS Z 3104「鋼溶接継手の放射線透過試験方法」によって行い，超音波自動探傷試験は文献6），7）等を参考に，手探傷はJIS Z 3060「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」によって行うのがよい。

非破壊検査の適用板厚は，超音波探傷試験で8mmから100mmまでとし，放射線透過試験では40mm以下を目安とする。ただし，十分な資料を有する場合は40mmを越える板厚においても放射線透過試験を用いることができる。

40mmを越える板厚においては，放射線透過試験の探傷能力が越える場合があることなども考慮して，超音波探傷試験によることを標準とするが，このとき，検査対象とする板厚，溶接条件等も考慮して，探傷条件に対して信頼性の確かめられた超音波自動探傷装置によるものとする。また，検査技術者は社団法人日本非破壊検査協会によって認定された3種以上の検査技術者によることが望ましい。

なお，信頼性の確かめられた超音波自動探傷装置とは，あらかじめ破壊試験を含む実証試験などにより，当該検査に必要な性能を満足することが確認された超音波探傷試験装置という意味であり，超音波探傷器，探触子，走査装置，画像表示装置，及び装置に組み込まれた判定支援ソフト等の構成機器とプログラムについて，単体及びそれらを組み合わせた状態において必要な性能を満足することがあらかじめ確認されているとともに検査の過程においてその性能が維持されることが確認されなければならない。[7)]

手探傷は，超音波自動探傷が適用できない部位に限って用いるものとし，このとき，きずのエコー高さの領域ときずの指示長さ及び実きず長さの相関に関して，破壊試験等による証明がなされた十分な資料を有していなければならない。

手探傷の検査技術者は社団法人日本非破壊検査協会によって認定された２種以上の有資格者とする。

2）抜取り検査率，判定基準，合否判定

i）抜取り検査率

今回の改訂では，表-17.4.9，表-17.4.10に超音波探傷試験の検査率を追加した。検査手法の特性の相違により，単位検査長は放射線透過試験の30cmに対して，超音波探傷試験では１継手の全線としている。これは，今回新たに超音波探傷試験について規定したものの，まだ実績が十分でないこと及び現状ではきず種別の判定が困難であること等も配慮した結果である。さらに超音波探傷試験では，検査技術者の技能に依存する部分がとくに大きいことに注意が必要である。

表-17.4.9の圧縮部材の検査率について，疲労設計を行った結果，所定の疲労強度を満足する条件として当該継手に内部きずに対する要求が示された継手に対しては，残留応力の影響から疲労亀裂の発生に関して圧縮部材と引張部材で相違がないと考えられるため引張部材と同じ検査率とするなど別途検討を行わなければならない。

溶接品質に影響を与える条件には，継手形式，材質，板厚，溶接条件，開先及び組立の精度，開先の清浄度，予熱，後熱及び層間温度の管理，溶接工の技量等がある。そこでこれらの溶接条件が同じ溶接継手は品質管理上同じものであるとみなし，そのような継手の集合を１つの検査ロットとする。たとえば，同じ板厚構成の突合せ継手を同じ溶接方法で10個溶接した場合，これら10個の継手で一つの検査ロットを構成することになる。ただし，ここでいう１継手とは，板と板との継手であり，部材と部材との継手という意味でない。したがって，１度に連続して溶接した部材を後から切断して10個にしても継手としては１個として考える。次に，この検査ロットを表-17.4.9に示した最大継手個数ごとのグループに分け，各グループから１継手を取って検査するものとした。

抜取り検査個所はそのグループを代表しているので，これが不合格の場合，そのグループを不合格とする。不合格になった場合は，そのグループの各継手に対し，表-17.4.9と同様の検査を行ってそれぞれの継手の合否を判定することとする。なお，抜取り検査においては，溶接部の品質を確保するために，適正な検査ロット，抜取り検査個所を決定しなければならない。表-17.4.9中の放射線透過試験の撮影枚数の欄において（端部を含む）とは溶接のはじめ又は終りの部分を含めて撮影するという意味である。

現場溶接を行う完全溶込み突合せ溶接継手については，検査方法を明確に規定した。とくに鋼製橋脚のはり及び柱，主げたのフランジ及び腹板，鋼床版のデッキプレートの溶接部については主要部材の溶接部であり，品質の確保が重要であることから，現場溶接の品質管理の実績を踏まえて検査方法を規定し検査結果についてはii)の規定を満足しなければならないこととした。主げたのフランジ及び腹板，鋼製橋脚については，原則として，継手全長を検査することとした。

鋼床版のデッキプレートの完全溶込み突合せ溶接継手に対する放射線透過試験については，撮影個所を1溶接線に均等に配分することとしたが，溶接線の始終端部，交差部，ワイヤ継ぎ部に欠陥が発生し易い傾向があるため，これらの部分を重点的に検査することとした。なお，自動溶接以外の工法を用いる場合や，開先条件や溶接条件が管理値をこえるような箇所はこの規定にかかわらず検査するのが望ましい。

鋼床版デッキプレート現場溶接継手の撮影箇所の例を図－解 17.4.4に示す。

なお，不合格のきずがあった場合，それが局所的なきずであるのか，連続したきずであるのかを判断するためきず箇所両側各1mの範囲についてさらに検査してきずの発生状況を判断することにした。追加検査部に不合格となるきずのない場合には局所的な欠陥と考えることとした。一方，追加検査部にも不合格のきずがあった場合は，その1継手を全線検査することとした。また，超音波探傷試験の場合には，原則として継手全長を検査することとした。

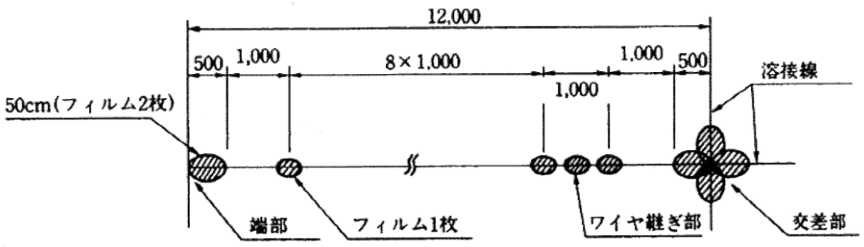


図-解 17.4.4　鋼床版デッキプレートのX線撮影箇所の例

ii）判定基準

完全溶込み突合せ溶接継手に許容される内部きずの寸法は，国土交通省等による最近の疲労に関する研究成果等によると，板厚の1/3以下となっている。この寸法は，ビード仕上げの有無に関わらない。また，複数のきずが近接して存在するいわゆる隣接きずや密集ブローホールに対しては，それらを単独のきずに換算した寸法に対して適用できる。

なお，本編の規定に従って良好な施工が行われた溶接部に対する内部きず寸法の許容値も板厚の1/3と考えてよいが，疲労の影響が考えられる継手では，所定の疲労強度を満足する上で許容できるきず寸法はこの値より小さい場合があり，その場合には別途検討が必要である。疲労強度からの要求品質等，疲労に関する事項について「鋼道路橋の疲労設計指針」(日本道路協会)[5]が参考にできる。

なお，従来の示方書では，大きさによらずわれの存在は認めていなかったが，最近の研究成果では，きずの種類に対して疲労強度に大きな差異が見られなかったことから，許容実きず寸法はきずの種別にかかわらず適用できると考えてよい。ただし，磁粉探傷試験によって検出できる程度のごく表面近傍のきずについては，表面に開口している場合と同様，大きさによらず存在を認めないので許容きず寸法未満であっても補修を行わなければならない。

超音波探傷試験では，溶接ビードの形状によっては高いレベルできず以外によるエ

コーが検出され，きずの判別が困難となる場合があるが，このような場合には慎重なエコーの判別を行う必要がある。とくに外観上われが存在する疑いがあるビード形状となっている場合等では注意が必要である。超音波探傷試験で詳細なきずの判別が困難な場合には，磁粉探傷試験による最終的な確認を行うものとする。

放射線透過試験ではこれまでJIS Z 3104「鋼溶接継手の放射線透過試験方法」の判定基準付属書4に従い，きずの種別及び大きさによる点数で判定を行ってきたが，この判定基準は疲労に対する検討からのものでないこともあり，超音波探傷検査の判定基準とは必ずしも整合しないことが考えられる。しかし，従来の判定基準との整合等にも考慮し，板厚が25mm以下を対象とした放射線透過試験については従来の判定基準によってもよいこととした。ただし，板厚が25mmを越える場合には，放射線透過試験に対しても超音波探傷試験による場合と同様の判定基準を適用し，きず種別を区別せずに単独きずと隣接きずを含めた換算きず寸法で評価することが必要である。

超音波自動探傷試験では，これまで慣例として，JIS Z 3060「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」付属書6を準用した，きずエコー高さ領域ときずの指示長さによる判定基準が用いられてきたが，今回の改訂では，実際のきず寸法で評価することに改めた。実際のきず寸法の評価方法の妥当性は，個々の超音波自動探傷試験装置ごとにその特性に応じて定めなければならない。またそれらの評価方法の妥当性はあらかじめ信頼できる方法で確認しておかなければならない。さらに，現状の超音波自動探傷試験では，判定作業において，まだ検査技術者の技量に依存する部分も多いため注意が必要である。

なお，非破壊検査の実施時期については，一般的に溶接完了後24時間以内に行われているが，材質や板厚などの関係で，遅れ破壊を特に考慮する必要がある場合には，溶接が完了してから適切な時間経過後に実施する等の配慮が必要である。

18.4　溶　　接

18.4.1　溶接一般

溶接施工は，各継手に要求される溶接品質を確保するため，下記に示すような事項について十分な検討を加えた後，適切に施工しなければならない。

1)　鋼材の種類及び特性
2)　溶接材料の種類及び特性
3)　溶接作業者の保有資格
4)　継手の形状及び精度
5)　溶接環境及び使用設備
6)　溶接施工条件及び留意事項
7)　溶接部の検査方法
8)　不適合品の取扱い

溶接継手には，突合せ継手，T 継手，角継手，重ね継手等があって，継手の強度，剛度及び剛性の面で必要な溶接の寸法，形状は，溶接記号によって設計図等に示される。しかし，一般に，溶接継手の性能は，溶接記号の指示のみで決定されるものではなく，施工に関連する冶金的性質やきずの存在程度等によって大きく変化する。しかも溶接継手は，必ずしも全線の検査ができるものではなく，要求された溶接品質が確保されていることを施工後に 100%検証することは一般にはできない。そのような理由から，継手部の適正な品質を確保するためには，十分な経験と知識を有した技術者が，少なくとも条文に規定している内容を含む適切な施工要領を策定することと，その施工要領に従って正しく施工が行われることの 2 点が非常に重要となる。

この条文では，溶接品質の確保のために最低限確認しておくべき事項を規定しているが，溶接品質には作業者の能力や意識に左右される部分もあり，溶接品質の確保のためには，事前に定められた要領どおりに正しく溶接施工されるように，その内容を関係者に徹底するとともに継手の重要度や，施工の難易度等も十分に考慮した適切な施工管理体制と手法を確立しておくことが必要である。さらに，定められた溶接施工要領に従って正しく施工されたことをどのような手法で示すのかについても，事前に定めておくことが必要である。

18.4.2　溶接材料

(1) 使用する溶接材料は，適用される鋼種に合わせ，継手に要求される成分や機械的性質を満たすものでなければならない。

(2) 1)から4)までの規定による場合においては，(1)を満たすものとみなす。

1)　溶接材料の使用区分は，表-18.4.1 によるのを標準とする。

表-18.4.1　溶接材料区分

使用区分	使用する溶接材料
強度の同じ鋼材を溶接する場合	母材の規格値と同等又はそれ以上の機械的性質を有する溶接材料
強度の異なる鋼材を溶接する場合	低強度側の母材の規格値と同等又はそれ以上の機械的性質を有する溶接材料
じん性の同じ鋼材を溶接する場合	母材の要求値と同等又はそれ以上のじん性を有する溶接材料
じん性の異なる鋼材を溶接する場合	低じん性側の母材の要求値と同等又はそれ以上のじん性を有する溶接材料
耐候性鋼と普通鋼を溶接する場合	普通鋼の母材と同等又はそれ以上の機械的性質，じん性を有する溶接材料
耐候性鋼と耐候性鋼を溶接する場合	母材と同等又はそれ以上の機械的性質，じん性及び耐候性能を有する溶接材料

2)　次の項目に該当する場合には，低水素系溶接材料を使用する。

ⅰ）耐候性鋼を溶接する場合

ⅱ）SM490 以上の鋼材を溶接する場合

3) 溶接材料の乾燥

ⅰ）溶接材料は適切に保管されていることを確認したうえで使用する。

ⅱ）被覆アーク溶接棒及びサブマージアーク溶接用フラックスの乾燥は，表-18.4.2 及び表-18.4.3 によるのを標準とする。

表-18.4.2　溶接棒の乾燥

溶接棒の種類	溶接棒の乾燥状態	乾燥温度	乾燥時間
軟鋼用被覆アーク溶接棒	乾燥(開封)後 12 時間以上経過した場合，又は溶接棒が吸湿したおそれがある場合	100～150℃	1 時間以上
低水素系被覆アーク溶接棒	乾燥（開封）後 4 時間以上経過した場合，又は溶接棒が吸湿したおそれがある場合	300～400℃	1 時間以上

表-18.4.3　フラックスの乾燥

フラックスの種類	乾燥温度	乾燥時間
溶融フラックス	150～200℃	1 時間以上
ボンドフラックス	200～250℃	1 時間以上

4)　CO_2 ガスシールドアーク溶接に用いる CO_2 ガスは，JIS K 1106（液化二酸化炭素（液化炭酸ガス））に規定する 3 種とする。

(2) 1), 2)　ここでは溶接材料の使用区分について規定し，耐候性鋼及び高張力鋼については被覆アーク溶接棒を用いる場合は耐割れ性を考慮して全て低水素系溶接棒を使用することとしている。

3)　ここでは被覆アーク溶接棒とサブマージアーク溶接用フラックスの乾燥条件及び許容放置時間の標準を示している。

軟鋼用溶接棒は割れのおそれのない場合に使用されるが，吸湿がはなはだしいと思わぬ欠陥が生じるので，乾燥をおろそかにしてはならない。低水素系溶接棒は，水素の発生が少なく耐割れ性のよいことを特徴としているので，その特徴を損なうような取扱いを避ける必要がある。低水素系溶接棒に規定している乾燥温度と時間は，吸湿水分を十分排除するのに必要な条件であり，放置時間，吸湿水分，拡散性水素量（H_{GC}）の関係は図-解 18.4.1 及び図-解 18.4.2 に示すとおりである。

すなわち，低水素系溶接棒を 25℃湿度 85％のもとで 4 時間放置した場合の吸湿水分は約 0.4％となり，その吸湿水分における拡散性水素量（JIS Z 3118（鋼溶接部の水素量測定方法）のガスクロマトグラフ法による H_{GC}）は，ほぼ 5～9 ml/100g である。この値は JIS Z 3211（軟鋼，高張力鋼及び低温用鋼用被覆アーク溶接棒）に定められる溶接棒のうち，表-解 18.4.1 に示す種類の低水素系溶接棒の拡散性水素の許容値を満たす。一方，E4916 H15 の溶接棒の乾燥後経過時間と拡散性水素量の測定結果は，図-解 18.4.3 に示すようなものであり，以上のことから許容放置時間として 4 時間を適当と考えたものである。

なお，乾燥時間が長時間となると，被覆材の性能が低下するおそれがあるため，使用する被覆アーク溶接棒に適した乾燥時間とするのがよい。

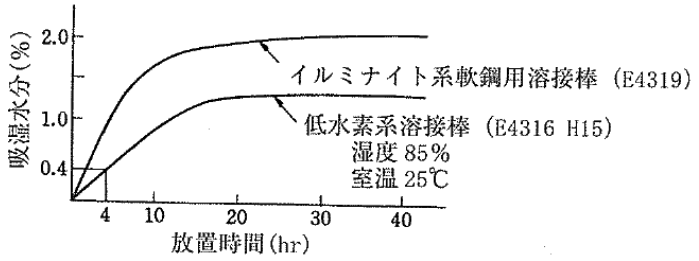


図-解 18.4.1　被覆アーク溶接棒の放置時間と吸湿水分の関係

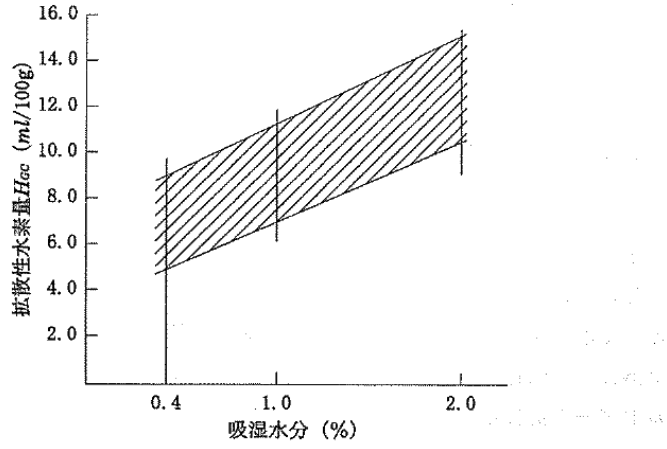


図-解 18.4.2　低水素系溶接棒の吸湿水分と拡散性水素量の関係

図-解 18.4.2　低水素系溶接棒の吸湿水分と拡散性水素量の関係

表-解 18.4.1　JIS に規定された拡散性水素量

低水素系溶接棒の種類	ガスクロマトグラフ法による拡散性水素量 (ml/100g)
E4316　H15 E4916　H15 E4928　H15	15 以下
E5516-G　H10 E5716　H10 E5728　H10	10 以下

注）本表は，JIS Z 3211（軟鋼，高張力鋼及び低温用鋼用被覆アーク溶接棒）による。表中には，主な低水素溶接棒の種類を示している。

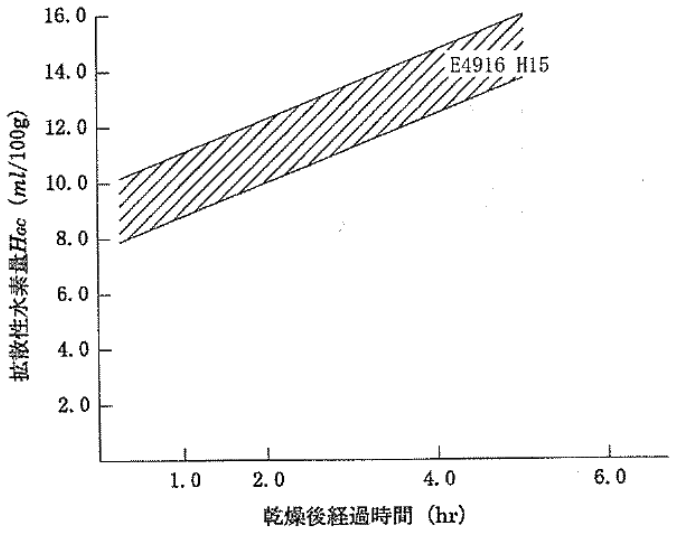


図-解 18.4.3　低水素系溶接棒の乾燥後経過時間と拡散性水素量の関係

サブマージアーク溶接用フラックスとして現在多用されている溶融タイプのものは，それ自体は吸湿しないが，高温多湿の場合には粒子の表面に水分が付着する場合もあるので乾燥を行うのがよい。一方，ボンドフラックスの場合には粒子自体が吸湿するので溶融フラックスより乾燥温度を高く規定している。なお，乾燥時間は被覆アーク溶接棒と同様に，使用するフラックスに適した乾燥時間とする必要がある。ガスシールドアーク溶接用ワイヤとして，フラックス入りワイヤを使用する場合には吸湿に十分注意する必要がある。

4)　CO_2 ガスは，ガス中に水分が含まれていると溶接部にブローホール等の欠陥が生じる原因となるので，できるだけ水分の少ない JIS K 1106（液化二酸化炭素（液化炭酸ガス））に規定される 3 種を使用する必要がある。また，Ar と CO_2 の混合ガスは，ガス中の水分及び N_2 が多いと溶接部の性能に影響するため，できるだけ水分及び N_2 が少ない混合ガスを使用する必要がある。一般的には，原料ガスとして JIS K 1105（アルゴン）に規定される 2 級の Ar 及び JIS K 1106 に規定される 3 種の CO_2 を用いて，JIS Z 3253（溶接及び熱切断用シールドガス）に規定される M21 の組成（Ar 80%，CO_2 20%を標準とする組成）のシールドガスが使用されている。

18.4.3　材片の組合せ精度

(1) 材片の組合せ精度は，継手部の応力伝達が円滑に行われ，かつ継手性能が確保されるものでなければならない。

(2) (3)の規定による場合においては，(1)を満たすものとみなす。

(3) 材片の組合せ精度は下記の値を標準とする。ただし，施工試験によって誤差の許容量が確認された場合にはそれに従ってもよい。

ⅰ）開先溶接

a)　ルート間隔の誤差：規定値±1.0mm 以下

b)　板厚方向の材片の偏心：$t \leqq 50$　薄い方の板厚の 10%以下

$50 < t$　5mm 以下

t：薄い方の板厚

c)　裏当金を用いる場合の密着度：0.5mm 以下

d)　開先角度：規定値±10°

ⅱ）すみ肉溶接

材片の密着度：1.0mm 以下

部材を組立てる場合，材片の組合せ精度が悪いと完成した部材そのものの精度，ひいては橋全体の精度を低下させるばかりでなく局部的な溶接不良を起しやすいので，材片の組合せ精度は，継手部の応力伝達が円滑に行われ，かつ，継手性能が満足されるものである必要がある。

この項で示している標準値は，過去の実績から良好な溶接ができるものとして施工要領に記載された数値を指している。したがって，開先溶接のルート間隔や開先精度は，施工者によって異なることもある。ただし，板厚方向の材片の偏心許容量は，鋼床版現場継手やパイプの突合せ継手等，精度保持のむずかしい継手もあることを想定して定められたものであるから，一般の工場施工の場合には許容範囲の下限値を目標に施工することが望ましい。

すみ肉溶接における材片の密着度は，一般の直線部分では比較的容易に確保されるが，素材に曲げ加工や突合せ継手が存在する場合は不良となりやすいので，このような場合について十分な管理が行われるように許容量を定めている。ただし，例えば，鋼床版閉断面縦リブと横リブの交差部等，部材が他部材のスリットを貫通するはめ込み形式となる継手で，施工上やむを得ずこの密着度が守れない場合には，

1.0mm$< \delta \leqq$3.0mm のとき　：脚長を δ だけ増す

3.0mm$< \delta$ のとき　：開先をとり溶接

ここに，δ：材片間の隙間(mm)

とするのがよい。

上記の材片の組合せ精度は，溶接後では確認が不可能となるため，適切な方法により溶接前に確認する必要がある。

なお，部材の組立に際しては，補助治具を有効に利用し，無理のない姿勢で組立溶接できるように行う必要がある。また，支材やストロングバック等の異材を母材に溶接することはできるだけ避け，やむを得ず溶接を行って母材をきずつけた場合には，表-18.4.8 により補修する必要がある。

18.4.4　溶接施工法

(1) 溶接の施工は，所定の溶接品質を確保できる方法で行わなければならない。

(2) 1)から6)までの規定による場合においては，(1)を満たすものとみなす。

1)　溶接作業者の資格

ⅰ）組立溶接及び本溶接に従事する溶接作業者は，次に示す資格を有していなければならない。

a)　溶接作業者は，JIS Z 3801（手溶接技術検定における試験方法及び判定基準）に定められた試験の種類のうち，その作業に該当する試験（又は，これと同等以上の検定試験）に合格したものでなければならない。ただし，半自動溶接を行う場合には，JIS Z 3841（半自動溶接技術検定における試験方法及び判定基準）に定められた試験の種類のうち，その作業に該当する試験（又は，これと同等以上の検定試験）に合格したものでなければならない。

b)　工場溶接に従事する溶接作業者は，6ヶ月以上溶接工事に従事し，かつ工事前2ヶ月以上引き続きその工場において溶接工事に従事した者でなければならない。

c)　現場溶接に従事する溶接作業者は，6ヶ月以上溶接工事に従事し，かつ適用する溶接施工方法の経験がある者又は十分な訓練を受けた者でなければならない。

2)　溶接施工試験

ⅰ）下記事項のいずれかに該当する場合には，溶接施工試験を行う。

a)　SM570，SMA570W，SM520及びSMA490Wにおいて，1パスの入熱量が7,000J/mmを超える場合

b)　SM490及びSM490Yにおいて，1パスの入熱量が10,000J/mmを超える場合

c)　被覆アーク溶接法（手溶接のみ），ガスシールドアーク溶接法（CO_2ガス又はArとCO_2の混合ガス），サブマージアーク溶接法以外の溶接を行う場合

d)　鋼橋製作の実績がない場合

e)　使用実績のないところから材料供給を受ける場合

f)　採用する溶接方法の施工実績がない場合

なお，過去に同等又はそれ以上の条件で溶接施工試験を行い，かつ施工経験をもつ工場では，その時の試験報告書によって判断し，溶接施工試験を省略できる。

ⅱ）溶接施工試験は，表-18.4.4に示す試験項目から該当する項目を選んで行うのを標準とし，供試鋼材の選定，溶接条件の選定その他は，下記によるのを原則とする。

表-18.4.4　溶接施工試験

試験の種類	試験項目	溶接方法	試験片の形状	試験片の個数	試験方法	判定基準
開先溶接試験	引張試験	図-18.4.1による	JIS Z 3121 1号	2	JIS Z 2241	引張強さが母材の規格値以上
	型曲げ試験（19mm未満裏曲げ）（19mm以上側曲げ）		JIS Z 3122	2	JIS Z 3122	原則として，亀裂が生じてはならない
	衝撃試験		JIS Z 2242 Vノッチ	各部位につき3（試験片採取位置は図-18.4.2による）	JIS Z 2242	溶接金属及び溶接熱影響部で母材の要求値以上（それぞれの3個の平均値）
	マクロ試験		－	1	JIS G 0553に準じる	欠陥があってはならない
	非破壊試験		－	試験片継手全長	18.4.6及び18.4.7の規定による	
すみ肉溶接試験	マクロ試験	図-18.4.3による	図-18.4.3による	1	JIS G 0553に準じる	欠陥があってはならない
スタッド溶接試験	引張試験	JIS B 1198	JIS B 1198	3	JIS Z 2241	降伏点は235N/mm²以上，引張強さは400～550N/mm²，伸びは20%以上とする。ただし溶接で切れてはいけない
	曲げ試験	JIS Z 3145	JIS Z 3145	3	JIS Z 3145	溶接部に亀裂が生じてはならない

a)　供試鋼板には，同じような溶接条件で取扱う鋼板のうち最も条件の悪いものを用いる。

b)　溶接は実際の施工で用いる溶接条件で行い，溶接姿勢は実際に行う姿勢のうち最も不利なもので行う。

c)　異種の鋼材の開先溶接試験は，実際の施工と同等の組合せの鋼材で行う。同鋼種で板厚が異なる継手については，板厚の薄い方の鋼材で試験を行ってもよい。

d)　再試験は最初の個数の2倍とする。

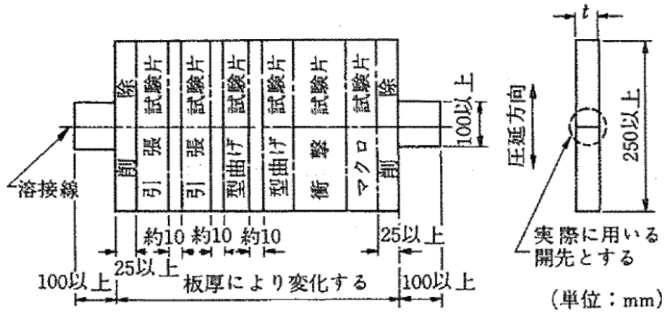
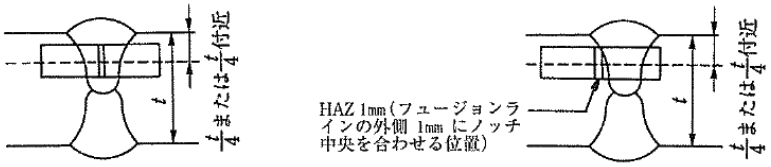


図-18.4.1　開先溶接試験溶接方法



(a) 溶接金属部　　(b) 熱影響部

図-18.4.2　衝撃試験片（開先溶接試験片の採取位置）

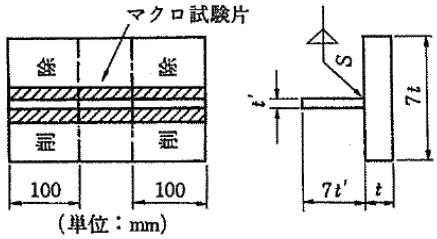


図-18.4.3　すみ肉溶接試験（マクロ試験）
溶接方法及び試験片の形状

3)　組立溶接

ⅰ）組立溶接は，本溶接の場合と同様に管理して施工しなければならない。

ⅱ）組立溶接のすみ肉（又は換算）脚長は 4mm 以上とし，長さは 80mm 以上とする。ただし，厚い方の板厚が 12mm 以下の場合，又は次の式により計算した鋼材の溶接割れ感受性組成 P_{CM} が 0.22％以下の場合には 50mm 以上とすることができる。

$$P_{CM}=\mathrm{C}+\frac{\mathrm{Mn}}{20}+\frac{\mathrm{Si}}{30}+\frac{\mathrm{Ni}}{60}+\frac{\mathrm{Cr}}{20}+\frac{\mathrm{Mo}}{15}+\frac{\mathrm{V}}{10}+\frac{\mathrm{Cu}}{20}+5\mathrm{B}\ (\%)$$

ⅲ）組立溶接は，組立終了時までにはスラグを除去するものとし，溶接部表面に割れがないことを確認しなければならない。割れが発見された場合には，その原因を究明し，適当な対策を講じなければならない。

4)　予熱

鋼種，板厚及び溶接方法に応じて，溶接線の両側 100mm 及びアークの前方 100mm 範囲の母材を表-18.4.5 により予熱することを標準とする。

表-18.4.5　予熱温度の標準

鋼　種	溶 接 方 法	予熱温度(℃) 板厚区分(mm)			
		25 以下	25 を超え 40 以下	40 を超え 50 以下	50 を超え 100 以下
SM400	低水素系以外の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	50	−	−
	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	予熱なし	50	50
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	予熱なし	予熱なし	予熱なし
SMA400W	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	予熱なし	50	50
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	予熱なし	予熱なし	予熱なし
SM490 SM490Y	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	50	80	80
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	予熱なし	50	50
SM520 SM570	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	80	80	100
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	50	50	80
SMA490W SMA570W	低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接	予熱なし	80	80	100
	サブマージアーク溶接 ガスシールドアーク溶接	予熱なし	50	50	80

注："予熱なし"については，気温（室内の場合は室温）が 5℃以下の場合は，20℃程度に加熱する。

5) 入熱制限

ⅰ）SM570，SMA570W，SM520 及び SMA490W の場合には，1 パスの入熱量を 7,000J/mm 以下に，SM490 及び SM490Y の場合には，入熱量を 10,000J/mm 以下に管理することを原則とする。

ⅱ）ⅰ）の入熱量を超える場合には，溶接施工試験を実施して溶接部に所定の品質が確保できることを確認する必要がある。

6) 溶接施工上の注意

ⅰ）溶接前の部材清掃と乾燥

a) 溶接を行う部分には，溶接に有害な黒皮，さび，塗料，油等があってはならない。

b) 溶接を行う場合には，溶接線近傍を十分に乾燥させなければならない。

ⅱ）エンドタブ

a) 開先溶接及び主桁のフランジと腹板のすみ肉溶接等の施工に際しては，原則として部材と同等な開先を有するエンドタブを取付け，溶接の始端及び終端が溶接する部材上に入らないようにしなければならない。

b) エンドタブは，部材の溶接端部において所定の溶接品質を確保できる寸法形状の材片を使用する。

c) エンドタブは，溶接終了後ガス切断法によって除去し，その跡をグラインダー仕上げする。

ⅲ）裏はつり

完全溶込み開先溶接においては，原則として裏はつりを行う。

ⅳ）部分溶込み開先溶接の施工

部分溶込み開先溶接の施工において，連続した溶接線を 2 種の溶接法で施工する場合には，前のビードの端部をはつり，欠陥のないことを確認してから次の溶接を行う。ただし，手溶接又は半自動溶接で，クレータの処理を行う場合にはこの限りでない。

ⅴ）開先形状が変化する継手の施工

完全溶込み開先溶接からすみ肉溶接に変化する場合など，溶接線内で開先形状が変化する場合には，開先形状の遷移区間を設けなければならない。

ⅵ）すみ肉溶接及び部分溶込み開先溶接の施工

a) 材片の隅角部で終わるすみ肉溶接は，原則として隅角部をまわして連続的に施工する。

b) サブマージアーク溶接法又はその他の自動溶接法を使用する場合には，継手の途中でアークを切らないのがよい。

vii) 吊金具，架設用治具等の取付け及び除去

a) 運搬，架設等に使用する吊金具，治具等を取付ける場合の溶接は，原則として工場内で行うものとし，その条件は工場溶接と同等以上のものでなければならない。やむを得ず，現場で取付ける場合には，十分な管理のもとで，慎重に施工しなければならない。

b) 吊金具，治具等の除去は母材に有害なきずを残さないよう入念に行わなければならないほか，部位等に応じて適切な施工が行われる必要がある。鋼床版の上面では，舗装に対する影響について配慮した除去跡の処理を行わなければならない。

(2) 1) 溶接作業者

溶接の品質は溶接作業者の技量によるところが大きいので，定められた認定試験に合格した有資格者をあてることが溶接構造では常識になっている。本編では，JIS Z 3801（手溶接技術検定における試験方法及び判定基準）を採用しているが，この規格は，溶接姿勢（下向 F，立向 V，横向 H，上向 O），溶接作業（薄板 1，中板 2，厚板 3），溶接方法（被覆アーク溶接裏当金付き A，被覆アーク溶接裏当金なし N，ガス溶接 G）の組合せで，非常に多くの試験種類を包含している。これは，多岐にわたる現在の溶接継手の全てに対応するように立案されたもので，各溶接作業者が全試験に合格する必要はない。

鋼橋の溶接では，アーク溶接が用いられ，裏当材を用いない片面の裏波溶接を要求される場合はほとんどないため，溶接方法としては被覆アーク溶接裏当金付きを対象とし，また，薄板や厚板の突合せ継手を溶接で施工することはまれであるため，溶接作業区分としては中板を対象とすればよく，結局，A-2F，A-2V，A-2O に合格していれば十分である。ただし，厚板の橋脚柱を現場突合せ溶接する場合等は，A-3H の有資格者をあてる必要がある。サブマージアーク溶接については，現在，技術検定の国家規格がないが，手溶接は溶接の基本であるから，オペレータは少なくとも A-2F の試験に合格していることが望ましい。

この条文に示す半自動溶接とは，ワイヤを自動的にトーチのノズルから供給し，溶接作業者の手の操作によって溶接する溶接法のことであって，一般に CO_2 ガス又は CO_2 と Ar の混合気体でアークをシールドするもので，いわゆるグラビティ溶接は含まない。

半自動溶接の資格については，手溶接の資格の考え方と同様に実際作業で採用する溶接姿勢により JIS Z 3841（半自動溶接技術検定における試験方法及び判定基準）の SA-2F，SA-2V，SA-3H，SA-2O の中から試験種目を選ぶものとしている。

現場突合せ溶接では，一般的に半自動溶接に加えて，CO_2 自動溶接やサブマージアーク溶接が用いられている。そのため，溶接作業者には，適用する箇所の溶接方法，溶接作業区分，溶接姿勢に応じた有資格者をあてるだけでなく，溶接施工方法についての施工実績がある者又は自動機の操作等を含めて十分な訓練を受けた者としている。

2) 溶接施工試験

i）溶接施工試験の目的は，使用鋼材の溶接性や溶接方法の適性を知ることにあるので，適用範囲としては，現状で使用実績が少ない又は施工上特別な注意を要する鋼材，溶接材料及び溶接方法を対象としている。

なお，既に同じ材質，同レベルの炭素当量（Ceq），溶接割れ感受性組成（P_{CM}），特殊成分，同じ施工方法，同じ溶接技術で，試験対象の以上の条件による溶接施工試験を実施している場合で，かつ施工経験をもつ場合には，資料の提出，検討によって溶接施工試験を省略できるものとしている。

a) 現在の鋼橋に使用している鋼材は，通常の場合，板厚が厚くなっても溶接割れ感受性組成（P_{CM}）が低く管理されているので材質・板厚による施工試験の実施は省略することとしている。しかし，調質鋼の溶接ビード近傍は，熱サイクルによって焼入れ焼もどし効果が失われ，軟化やぜい化を起こしやすい。

したがって，

$$\text{入熱量 } Q\,(\text{J/mm}) = \frac{\text{電流(amp)}\times\text{電圧(volt)}\times 60}{\text{溶接速度(mm/min)}}$$

が大きいと，変質の程度と範囲も大きくなって継手の性能が低下する。SM570，SMA570W，SM520及びSMA490Wの場合，ほぼ7,000J/mm以下の入熱量では，継手性能の低下は見られないことが多くの実験から確認されており，また通常の鋼橋の施工で使用されるサブマージアーク溶接方法もこの入熱量以下で十分溶接施工が可能なので，7,000J/mmを一般的な施工の上限値としている。厚板の開先溶接で特に大電流を使用するかタンデム工法を使用する等により，その時の入熱量が7,000J/mmを超える場合には，施工試験でその適性を調べることとしている。

b) SM490，SM490Y の場合，溶接入熱量が 10,000J/mm を超える場合には，継手性能が低下する可能性があるため施工試験で確認することとしている。

c) 被覆アーク溶接棒による手溶接，サブマージアーク溶接法及びガスシールドアーク溶接法（CO_2 ガス又は Ar と CO_2 の混合ガス）を一般扱いとし，その他の溶接法を施工試験の対象としている。鋼構造の溶接方法としては，現在，ミグ溶接，セルフシールドアーク溶接，エレクトロスラグ溶接及びエレクトロガスアーク溶接，グラビティ溶接等が用いられている。これらの溶接方法は，能率上，手溶接よりまさっているが，現状では，溶接作業者の訓練や適性条件の管理の面で，無制限に採用できるほど一般化されていなく，また適用する継手によっては，特有な問題点も発生することがあるので，施工試験によってそれらを確認することとしている。

d) 過去に鋼橋製作の実績がない場合には，（必要に応じて，実物大の試験体による）施工試験を行い，溶接部の品質及び出来形形状に問題がないことを確認する必要がある。

e) 過去に使用実績のないところから材料供給を受ける場合には，信頼性のある試験データの蓄積が得られるまでの間，溶接施工試験を行うこととしている。

f) 現場溶接は，気象条件，溶接姿勢，開先精度等種々の面で工場施工より不利な条件にあるのが普通であり，また，鋼床版の片面溶接や橋脚の横向き溶接又は既設橋の補強などの現場溶接は，継手そのものも施工方法も一般の工場溶接とは著しく異なっていることが多い。こういったことから従来は，現場溶接に対しては現場の条件を加味した施工試験を行うことを原則としていたが，施工

実績も多くなってきたため，品質が確保できる場合には必ずしも溶接施工試験を行わなくてもよいこととしている。しかし，過去に実績がない施工方法を用いる場合には施工試験による確認を行う必要がある。

ii）表-18.4.4 には，開先溶接試験，すみ肉溶接試験，スタッド溶接試験の 3 種類の試験があげられている。しかし，溶接施工試験といえば，つねにこの全部を実施するものと解釈する必要はない。例えば，板厚が標準的な値を超えるような場合には，鋼材の特性を問題とするのでほぼ全種類となる（スタッドが用いられないときはスタッド溶接を除く）が，a)又は b)のみに該当する場合には，開先溶接試験のみでよい。

また，ここに規定される試験内容には，技術検定的な色彩の強いもの（例えば，放射線透過試験，スタッド溶接試験）も含んでいるが，これらによって施工者の品質管理体制をチェックすることもできるので，施工試験の意味を広く解釈してこれらの試験も含めることとしている。

開先溶接試験の型曲げ試験において亀裂が生じた場合であっても，その発生原因がブローホール又はスラグ巻込みであることが確認され，かつ，亀裂の長さが 3㎜ 程度までの場合には許容できるものと考えられる。

なお，「JIS Z 3801（手溶接技術検定における試験方法及び判定基準）の 13. 合否判定基準」，「ASW D1. 1/D1. 1M（2010），4. 9. 3. 3 Acceptance Criteria for Bend Tests」，「ASME Boiler and Pressure Vessel Code（2010），Section Ⅸ，QW-163 Acceptance Criteria-Bend Tests」等でも，亀裂の長さ 3㎜ を許容限度としている。

c)の規定は施工試験と実施工との整合性を考慮したものである。異種の鋼材の溶接施工試験は，実際に用いる鋼材及び溶接材料を使用することとしている。なお，この場合の合否の判定は，低強度側の鋼材の規格値で行う。

開先溶接部の衝撃試験は平成 6 年の示方書までは溶接金属のみとなっていたが，より確実な試験検査を行うため溶接熱影響部（HAZ）の衝撃試験が平成 8 年の示方書から追加され，母材じん性値を満たすこととしている。また，平成 6 年の示方書までは，予熱の要否を判定するために最高硬さ試験が実施されてきたが，平成 8 年の示方書から，溶接割れ感受性組成（P_{CM}）にて予熱を規定したので溶接施工試験の項目から最高硬さ試験を削除している。

3) 組立溶接

組立溶接は，本溶接によって全部再溶融されてしまう場合もあるが，一般には一部又は大部分が本溶接内に残留するので，組立溶接の品質を本溶接同様良好なものにするためこの項を定めている。なお，平成 8 年の示方書までは，「仮付け溶接」という言葉を使用してきたが，溶接割れ防止に対する配慮は本溶接の場合と同様に重要であり，「仮」という表現は必ずしも適切でないため，前回の改定時に，「組立溶接」に変更している。

組立溶接は，組立段階で行われるため，とかく溶接管理がおろそかになりやすいので，それを防ぐためにはまず資格を有する溶接作業者を従事させることが重要である。AWS では組立溶接を行う溶接作業者についても技術検定を行うよう定めているが，我が国では現在，組立溶接だけの検定制度がないので，本溶接を行う溶接作業者と同等の技能をもつ者を従事させることが必要である。

組立溶接の長さ（80mm 以上）は，490N/mm² 鋼の T 継手にショートビードのすみ肉溶接を行った場合，ルートからボンドに沿って割れが発生しやすいが，ビード長さが 80mm 以上となると割れの発生が止まるとの研究成果に基づくものである。しかし，最近の研究[2]によれば，厚い方の板厚が 12mm 以下の場合や鋼材の炭素当量（Ceq）が 0.36%以下では組立溶接長が 50mm であっても割れが発生しないことが明らかにされている。また，鋼橋に使用される 570N/mm² 級以下の鋼材であれば，Ceq と溶接割れ感受性組成（P_{CM}）の間にはほぼ相関があり，Ceq 0.36%に相当する P_{CM} は 0.22%となる。そこで，P_{CM} が 0.22%以下の場合には組立溶接長を 50mm 以上とすることができることとしている。

前述のルート割れはビード表面に現われないことが多いが，その他の組立溶接割れは断面が小さいためしばしばビード表面に現われる。したがって，組立終了時に表面検査を行って割れを検出すれば，その段階で対策を立てることができるので，組立溶接のビードのスラグは組立終了時に除去し，ビード表面の検査を行うこととしている。

4) 予熱

予熱については，既往の知見[3]によって，指標として従来の炭素当量（Ceq）よりも，溶接割れ感受性組成（P_{CM}）を用いた方がよいことが明らかにされている。また，平成 8 年の改定での板厚拡大に加え前回の改定では耐候性鋼の適用板厚を 100mm まで拡大したため，溶接にあたっては水素による遅れ割れを防止するための予熱条件をより正確に選定することが必要となったため，P_{CM} を基本に予熱の規定を見直すこととしたものである。

現在の国内の鋼橋に用いられている鋼材の使用実績に基づき，P_{CM} について整理したのが表-解 18.4.2 である。一方，鋼橋の一般的な溶接継手における鋼材の P_{CM} 値と板厚及び溶接法に応じた割れ防止のための予熱温度は表-解 18.4.3 となる。板厚が厚くなると溶接による継手の拘束度が増大するが，板厚が 40～50mm を超えると頭打ちとなり，予熱温度をある温度以上高めなくても割れが防止できることが知られており，板厚 50mm 以上の鋼材の使用実績も増加してきたことから，板厚 50mm 以上では拘束度が一定になるとし，同じ P_{CM} の鋼材では板厚 40～100mm の予熱温度を同じとしている。また，予熱温度区分は，割れの防止に配慮の上，「予熱なし」「50℃」「80℃」「100℃」と，20～30℃間隔で簡略化して，予熱管理の合理化を図った。

表-解 18.4.2 予熱温度の標準を適用する場合の P_{CM} の条件 (%)

鋼材の板厚(mm) ＼ 鋼種	SM400	SMA400W	SM490 SM490Y	SM520 SM570	SMA490W SMA570W
25 以下	0.24 以下	0.24 以下	0.26 以下	0.26 以下	0.26 以下
25 を超え 50 以下	0.24 以下	0.24 以下	0.26 以下	0.27 以下	0.27 以下
50 を超え 100 以下	0.24 以下	0.24 以下	0.27 以下	0.29 以下	0.29 以下

条文の表-18.4.5 の予熱温度の標準は，表-解 18.4.2 の鋼材の P_{CM} の条件を前提に，表-解 18.4.3 の P_{CM} と板厚と予熱温度の関係から，溶接金属の拡散性水素量と溶接継手の拘束度が標準的な鋼橋の溶接継手条件に基づいて，従来の経験と他の基準類を参考に予熱温度を整理したものである。

なお，低水素系以外の溶接棒を用いた被覆アーク溶接の予熱温度については P_{CM} を用いて整理できないので，従来のとおりとしている。

予熱は割れの生じない健全な溶接を行うための手段であるから，常にこれらの表に示した温度に予熱しさえすればよいというわけではなく，鋼材の P_{CM} や継手の拘束条件等によっては割れの発生を防止するために更に高温の予熱を行う等，施工条件に配慮する必要がある。

また，鋼材の P_{CM} 値を低減すれば予熱温度を低減できる。この場合の予熱温度は表-解 18.4.3 に従う必要がある。極低水素溶接棒をよく管理した状態で使用する場合には，ガスシールドアーク溶接法と同じ予熱温度に低減できる。また，実構造物を模擬した溶接割れ試験等の実験資料によって割れ防止が保証される場合にも予熱温度を表-18.4.5 に示す温度より低減することができる。

表-解 18.4.3　P_{CM} 値と予熱温度の標準

P_{CM}(%)	溶接方法	予熱温度(℃)		
		板厚区分(mm)		
		$t \leqq 25$	$25 < t \leqq 40$	$40 < t \leqq 100$
0.21	SMAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
	GMAW，SAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
0.22	SMAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
	GMAW，SAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
0.23	SMAW	予熱なし	予熱なし	50
	GMAW，SAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
0.24	SMAW	予熱なし	予熱なし	50
	GMAW，SAW	予熱なし	予熱なし	予熱なし
0.25	SMAW	予熱なし	50	50
	GMAW，SAW	予熱なし	予熱なし	50
0.26	SMAW	予熱なし	50	80
	GMAW，SAW	予熱なし	予熱なし	50
0.27	SMAW	50	80	80
	GMAW，SAW	予熱なし	50	50
0.28	SMAW	50	80	100
	GMAW，SAW	50	50	80
0.29	SMAW	80	100	100
	GMAW，SAW	50	80	80

注）SMAW：低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接
GMAW：ガスシールドアーク溶接
SAW　：サブマージアーク溶接

注：1)　"予熱なし"については，気温（室内の場合は室温）が5℃以下の場合には結露除去のためのウォームアップ（20℃程度に加熱）を行う。

2)　予熱温度算定式

T_p（℃）$= 1,440 P_W - 392$

ここに，

$$P_W = P_{CM} + \frac{H_{GL}}{60} + \frac{K}{400,000}$$

3) 表中の予熱温度は下記の仮定に基づき，算定したものである。

a) 溶接金属の拡散性水素量(H_{GL})

低水素系の溶接棒による被覆アーク溶接の場合　　$H_{GL}=2ml/100g$

サブマージアーク溶接及びガスシールドアーク溶接の場合

$H_{GL}=1ml/100g$

b) 溶接継手の拘束度(K)

鋼橋の溶接継手の平均的な拘束度として板厚tの200倍を想定

$K=200t$　N/mm･mm

板厚tは，50mm以上の場合は50mmとする。

5) 入熱制限

溶接施工において，溶接入熱量を増大した場合，溶接熱でピーク温度に達した後の温度低下速度が遅くなるため，一般に溶接金属や溶接熱影響部（HAZ）のじん性や強度が低下する。したがって，その鋼材や溶接方法に応じて入熱を抑え，継手に要求される機械的性質を確保できるよう配慮する必要がある。

鋼橋の溶接施工では一般に過大な入熱量での溶接は少ない。ただし，溶接施工効率向上のためサブマージアーク溶接やエレクトロガスアーク溶接等で過大な入熱量での溶接が採用され，鋼材の溶接熱影響部（HAZ）のじん性劣化が問題となる場合がある。したがって，溶接熱影響部（HAZ）のじん性確保のため，サブマージアーク溶接では，SM570，SMA570W，SM520，SMA490Wの場合，入熱量7,000J/mm以下，SM490，SM490Yの場合，入熱量10,000J/mm以下に管理するのを原則としている。この入熱量を超える溶接を行う場合，又はエレクトロガスアーク溶接を行う場合は，溶接施工試験での性能確認が必要である。

なお，こうした大入熱溶接を行う場合，大入熱溶接でも溶接熱影響部（HAZ）じん性の良好な鋼材も開発されているので，入熱量に応じて適切な材料を使用することが望ましい。一方，溶接材料についても，溶接金属の性能を確保できる適切な材料を選定する必要があり，入熱制限を設定するのが望ましい。また，溶接部の機械的性質にはパス間温度も影響するため，材料の特性を踏まえてその上限値を設定するのが望ましい。

6) 溶接施工上の注意

ⅰ）溶接前の部材の清掃と乾燥

溶接線近傍の黒皮，さび，塗料，油等はブローホールや割れの発生原因となる。しかし，欠陥の発生状況は異物の量と溶接方法とによってかなり異なり，例えば，通常のプライマー塗膜は，下向き手溶接ではほとんど無害であるが，高速度で施工するすみ肉溶接に特に有害である。溶接線に水分の付着した状態は明らかに溶接に悪影響を与えるので，これを禁止している。

ⅱ）エンドタブ

開先溶接，主桁のフランジと腹板のすみ肉溶接等の溶接継手の始終端には，原則として部材と同等な開先形状を有するエンドタブを予め取付けておき，溶接の始終端が部材上に入らないようにするとともに，溶接完了後に切断除去する必要がある。また，エンドタブを除去した切断面は，溶接部でもあるため，切断面としての品質を確保するとともに，外部きず検査を行う必要がある。

アーク溶接の開始時はアークが不安定でブローホールや融合不良等の欠陥が発生しやすいので，エンドタブ上でアークの発生を行い，アークを安定させてから溶接を行う。また，溶接終了時のクレータ部には割れ等の欠陥が発生しやすいので，終端側のエンドタブ上まで連続して溶接を行い，クレーターが部材端部に残存しないようにする。このため，エンドタブは，溶接の始終端部において所定の溶接品質を確保できる厚さ，幅，長さの寸法形状の材片である必要がある。

エンドタブの材質は，溶接性や強度，じん性の点から，母材と同材質のものを用いることが望ましい。近年ではセラミックス製等のエンドタブも開発されてきているが，その施工性を確認したうえで，鋼製エンドタブと同等に溶接端部の欠陥の発生を防止しうると認められた場合には，使用してもよい。

iii）裏はつり

完全溶込み開先溶接においては，初層に割れ等の溶接欠陥が発生しやすいため，原則として，反対側からの溶接を行う前に健全な溶接層まで裏はつりを行う必要がある。また，裏はつりを行う場合には，良好な溶接品質で十分な溶込みを確保できるように，はつりの幅，深さ，長さ，形状に配慮する必要がある。ただし，現場溶接において上向き姿勢での裏はつりを伴う溶接等を行うと所定の溶接品質の確保が難しい場合がある。やむを得ず別の方法を用いて完全溶込み開先溶接を行う場合には，溶接施工試験により所定の溶接品質が確保されることを確認するとともに，確認された溶接条件を満たす溶接施工が行われていることを管理する等，十分な管理のもとで慎重に溶接施工を行う必要がある。なお，閉断面リブの裏当て金を用いた完全溶込み突合せ溶接継手の溶接施工については，18.9 の規定による。

iv）部分溶込み開先溶接の施工

一般に溶接ビード終端にはクレータが生じ，この部分にはいわゆるクレータ割れが生じやすく，部分溶込み開先溶接のように比較的開先角度の小さい場合はこの傾向が著しい。したがって，自動溶接法では，途中でビードを切らずに溶接線を連続して施工することが望ましい。部材の形状や開先の変化等により，やむを得ず途中でビードを切ったり溶接方法を変える場合は，先行ビードの終端部をはつり取ってその前後の開先を成形しその次の溶接を行う必要がある。

手溶接では終端部処理を注意して行えばクレータが生じることはなく，半自動溶接の場合は，クレータフィラ機能がある電源を使って，クレータフィラ電流で終端部処理を行えば，大きなクレータを生じることもないので，そのような場合はしいて端部をはつり取る必要はない。

v）開先形状が変化する継手の施工

溶接線内で開先形状が変化する場合は，溶接欠陥の発生防止のため及び継手内の応力伝達が円滑に行われるようにするために開先形状を徐々に変化させた開先の遷移区間を設ける必要がある。

vi）すみ肉溶接及び部分溶込み開先溶接の施工

この規定は，iv）で述べたのと同じ理由により定めたものである。半自動溶接法で長い継手を施工する場合には，装置の配置や移動性が悪いと連続溶接が行えなくなるので，あらかじめそれらに十分な配慮をしておくことが望ましい。

vii) 吊金具架設用治具等の取付け及び除去

ここでは，吊金具及び架設用治具等を取付ける場合の溶接を主要部材への溶接という点を考慮して原則として工場内で行うことを規定している。なお，吊金具のうち床版を打設する際に上フランジ上面に取付ける床版型枠吊金具のように施工上やむを得ず，現場溶接を行う場合には，工場溶接と同等の溶接条件を満たす必要がある。

吊金具や治具等の除去にあたっては，きず等が母材に及ぼす影響のみならず，仕上げの程度や除去跡の突起高さ等が塗装や橋面舗装等の施工や品質に及ぼす影響についても配慮する必要がある。舗装に対する仕上げの程度等は文献 4)が参考になる。

18.4.5 溶接部の仕上げ

6.3.2 に規定する継手の強度等級において，溶接部の余盛りの削除や止端仕上げを条件とする継手の場合には，その強度等級を確保できるように溶接部の仕上げを行わなければならない。

6.3.2 に規定する強度等級において溶接部の仕上げを条件とする継手の場合，仕上げの方法や形状によっては，所定の強度等級を確保することができないため，必要となる溶接部の仕上げについて規定したものである。強度等級のうち，溶接部の余盛りの削除，止端仕上げを条件とする継手については，グラインダーによる仕上げを前提としたものである。溶接部の仕上げでは，母材を削り込みアンダーカットを完全に除去することが重要である。ただし，母材の削り込みは 6.3.2 に規定する継手の強度等級のアンダーカットの許容値である 0.3mm 程度までを目安とする。また，すみ肉溶接部の仕上げでは，18.4.6(2) v)を満たすように施工する必要があり，特に指定のど厚を下回らないように注意する必要がある。仕上げの方法として他の方法を用いる場合には，所定の強度等級を確保していることを予め確認する必要がある。

18.4.6 外部きず検査

(1) 溶接完了後，肉眼又は適切な他の非破壊検査方法によりビード形状及び外観を検査し，継手に必要とされる溶接品質を満たしていることを確認しなければならない。

(2) 1)から 6)までの規定による場合においては，(1)を満たすものとみなす。

1) 溶接割れの検査

溶接ビード及びその近傍には，いかなる場合も割れがあってはならない。割れの検査は肉眼で行うのを原則とするが，疑わしい場合には，磁粉探傷試験又は浸透探傷試験を用いるのがよい。

2) 溶接ビードの外観及び形状の検査

i) 溶接ビード表面のピット

主要部材の突合せ継手及び断面を構成する T 継手，角継手には，ビード表面にピットがあってはならない。その他のすみ肉溶接及び部分溶込み開先溶接には，1 継手につき 3 個又は継手長さ 1m につき 3 個までを許容する。ただし，ピットの大きさが 1mm 以下の場合には，3 個を 1 個として計算する。

3)　開先溶接の余盛り及び仕上げ

設計において特に仕上げの指定のない開先溶接は，表-18.4.6 に示す範囲内の余盛りは仕上げなくてよい。余盛高さが表-18.4.6 に示す値を超える場合には，ビード形状，特に止端部を滑らかに仕上げなければならない。

表-18.4.6　開先溶接の余盛り　(mm)

ビード幅(B)	余盛高さ(h)
$B<15$	$h\leqq 3$
$15\leqq B<25$	$h\leqq 4$
$25\leqq B$	$h\leqq (4/25)\cdot B$

4)　非破壊試験を行う者の資格

非破壊試験のうち，磁粉探傷試験又は浸透探傷試験を行う者は，それぞれの試験の種類に対応した JIS Z 2305（非破壊試験－技術者の資格及び認証）に規定するレベル 2 以上の資格を有していなければならない。

5)　アークスタッドの検査

ⅰ）アークスタッドの外観検査

アークスタッドの外観検査は，全数について行うものとし，表-18.4.7 を満足しなければならない。

表-18.4.7　アークスタッドの外観検査基準

欠　陥	判　定　基　準
余盛形状の不整	余盛りは全周にわたり包囲していなければならない。 なお，余盛りは高さ 1mm，幅 0.5mm 以上のものをいう。
クラック及びスラグ巻込み	あってはならない。
アンダーカット	鋭い切欠き状のアンダーカット及び深さ 0.5mm を超えるアンダーカットがあってはならない。ただし，グラインダー仕上げ量が 0.5mm 以内に収まるものは仕上げて合格とする。
スタッドジベルの仕上り高さ	（設計値±2mm）を超えてはならない。

ⅱ）ハンマー打撃検査

外観検査の結果が不合格となったスタッドジベルは全数ハンマー打撃による曲げ検査を行う。余盛りが包囲していないスタッドジベルはその方向と反対の方向に 15°の角度まで曲げる。さらに，外観検査の結果が合格のスタッドジベルの中から 1%について抜取り曲げ検査を行う。

ⅲ）ハンマー打撃検査の結果，割れ等の欠陥が生じないものを合格とする。15°曲げても欠陥の生じないものは元に戻すことなく，曲げたままにしておかなければならない。

ⅳ）抜取り曲げ検査の結果が不合格の場合，更に 2 倍の本数について検査を行い，全数合格をもって合格とする。

6) 欠陥部の補修

欠陥部の補修は，補修によって母材に与える影響を十分に検討し，注意深く行わなければならない。

表-18.4.8に欠陥の補修方法を示す。なお，補修溶接のビードの長さは40mm以上とし，補修にあたっては予熱等の配慮を十分に行わなければならない。

表-18.4.8 欠陥の補修方法

	欠陥の種類	補修方法
1	アークストライク	母材表面に凹みを生じた部分は溶接肉盛りの後グラインダー仕上げする。僅かな痕跡のある程度のものはグラインダー仕上げのみでよい。
2	組立溶接の欠陥	欠陥部をアークエアガウジング等で除去し，必要があれば再度組立溶接を行う。
3	溶接割れ	割れ部分を完全に除去し，発生原因を究明して，それに応じた再溶接を行う。
4	溶接ビードの表面のピット	アークエアガウジングでその部分を除去し，再溶接する。
5	オーバーラップ	グラインダーで削り整形する。
6	溶接ビードの表面の凹凸	グラインダー仕上げする。
7	アンダーカット	程度に応じて，グラインダー仕上げのみ，又は溶接後，グラインダー仕上げする。

(2) 1) 溶接割れの検査

溶接構造物の割れの存在を許容できないことはいうまでもないが，その完全な検出は極めて困難である。したがって，発生した割れのうち少なくとも表面に検出できるものは許容しないという意味からこの規定を設けているが，表面検出が可能な割れを防止しさえすれば，ほかはかまわないという意味ではなく，割れの発生を防ぐために施工条件は確実に守る必要がある。すなわち，溶接割れについてはその発生を抑えることが第一の課題であり，本編の規定を守り最大限の防止努力を払う必要がある。

なお，内部きずの検出方法として，放射線透過試験又は超音波探傷試験があるが，T継手のすみ肉溶接部や角継手の部分溶込み溶接部ではルート部の不溶着部と溶接欠陥の識別が困難であるので，割れの検出方法として採用していない。

2) 溶接ビードの外観，形状の検査

溶接ビードの外観及び形状については欠陥か否かの判断には個人差があるので，この項にこれらの適正な許容量を与えて，客観的な判断が行えるような検査基準を設けている。開先溶接の余盛りについては，3)項で言及しているが，そのほかビードの外観形状の良否を決定する因子として，表面のピット，表面の凹凸，アンダーカット，オーバーラップ，すみ肉溶接の大きさ等があげられる。この条文は，文献5)を参考にし，これに鋼橋の諸事情を加味して規定されたものである。

i) ビード表面のピットは，異物や水分の存在によって発生したガスの抜け穴である。このうち小径で散発的なものは強度に影響しないが，大きなものや集中発生したものは応力集中の原因となり，また外観的にも好ましくない。そこで主要部材の突合せ継手及び断面を構成するT継手，角継手には，これの存在を認めず，その他のすみ肉溶接継手及び部分溶込み開先溶接継手では若干の存在を許容している。

ii）ビード表面の凹凸は，主としてビードの継目に現れるもので，クレータ処理や始端処理の不良な場合に極端に大きくなるので，それらの処理を丁寧に行わせる意味と外観上の良否とから 3mm を基準にしている。

iii）アンダーカットは応力集中の主因となり，腐食の促進にもつながるので，過去の実績等から，0.5mm 以下としたものである。なお，リブやスティフナー等のすみ肉溶接継手の場合には，応力集中の観点から本体構造物との止端部（すみ肉下足側）のアンダーカットが特に重要であり，下足側を確実に検査する必要がある。

また，所定の強度等級を満たすうえで許容されるアンダーカットの値については 6.3.2 に規定しているが，この条文の規定より厳しい場合があるので注意する。表-解 18.4.4 に各継手の強度等級を満たすうえでのアンダーカットの許容値をまとめて示す。なお，表-解 18.4.4 に示されていない継手のアンダーカットの許容値については，「鋼道路橋の疲労設計指針」（日本道路協会）[6]が参考にできる。

表-解 18.4.4　アンダーカットの許容値

継手の種類			6.3.2 に規定される強度等級	アンダーカットの許容値
横突合せ溶接継手	余盛を削除した継手		D	0.0mm（仕上げ）
	止端仕上げした継手		D	0.0mm（仕上げ）
	非仕上げ	両面溶接	D	0.3mm
		良好な裏波形状を有する片面溶接	D	0.3mm
縦方向溶接継手	完全溶込み溶接開先継手	余盛削除	D	0.0mm（仕上げ）
		非仕上げ	D	0.5mm
	部分溶込み溶接開先継手		D	0.5mm
	すみ肉溶接継手		D	0.5mm
	断続するすみ肉溶接継手		E	0.3mm
	スカラップを含む溶接継手のまわし溶接部	$\Delta\tau_{max}/\Delta\sigma_{max}<0.4$	G	0.3mm
	切抜きガゼットのフィレット部	$1/5\leqq r/d$	D	0.5mm
		$1/10\leqq r/d<1/5$	E	0.5mm
十字溶接継手 荷重非伝達型	滑らかな止端を有するすみ肉溶接継手		D	0.0mm（仕上げ）
	止端仕上げしたすみ肉溶接継手		D	0.0mm（仕上げ）
	非仕上げのすみ肉溶接継手		E	0.3mm
	溶接の始終端を含むすみ肉溶接継手		E	0.3mm
	中空断面部材をすみ肉溶接した継手	$d_0\leqq 100$mm	F	0.3mm
		$d_0>100$mm	G	0.3mm
十字溶接継手 荷重伝達型	完全溶込み溶接継手	滑らかな止端を有する継手	D	0.0mm（仕上げ）
		止端仕上げした継手	D	0.0mm（仕上げ）
		非仕上げの継手	E	0.3mm
ガゼット継手 面外	ガゼットをすみ肉溶接又は完全溶込み開先溶接した継手（$l\leqq 100$mm）	止端仕上げ	E	0.0mm（仕上げ）
		非仕上げ	F	0.3mm
	フィレットを有するガゼットを完全溶込み開先溶接した継手のフィレット部（フィレット部仕上げ）		E	0.0mm（仕上げ）
	ガゼットをすみ肉溶接した継手（$l>100$mm）		G	0.3mm
	ガゼットを完全溶込み開先溶接した継手（$l>100$mm）	止端仕上げ	F	0.0mm（仕上げ）
		非仕上げ	G	0.3mm
	主板にガゼットを貫通させた継手	完全溶込み開先溶接	G	0.3mm
ガゼット継手 面内	フィレットを有するガゼットを完全溶込み開先溶接した継手のフィレット部（フィレット部仕上げ）	$1/3\leqq r/d$	D	0.0mm（仕上げ）
		$1/5\leqq r/d<1/3$	E	
		$1/10\leqq r/d<1/5$	F	
	ガゼットを完全溶込み開先溶接した継手	止端仕上げ	G	0.0mm（仕上げ）
その他の溶接継手	カバープレートをすみ肉溶接で取付けた継手（$l\leqq 300$mm）	止端仕上げ	E	0.0mm（仕上げ）
		非仕上げ	F	0.3mm
	カバープレートをすみ肉溶接で取付けた継手（$l>300$mm）	溶接部仕上げ	D	0.0mm（仕上げ）
		非仕上げ	G	0.3mm
	スタッドを溶接した継手の主板断面		E	0.5mm

注：0.0mm（仕上げ）とは，母材を削り込みアンダーカットを完全に除去することである。ただし，母材の削り込みはアンダーカットの許容値である 0.3mm 程度までを目安とする

iv）最近の溶接材料では，よほど悪い条件でない限りオーバーラップが生じないことを考慮して，オーバーラップは全面的に認めないこととしている。

v）すみ肉溶接のサイズ及びのど厚にはマイナス公差を認め，溶接線の中間部では長さの10％まで－1.0mmを許容することとしている。これは，すみ肉溶接の溶着金属の強度が一般に母材よりかなり高いこと等を考慮したためであり，また施工のばらつきの下限を規定サイズとして目標値を設定すれば平均サイズは不必要に大きくなり，変形の点で不利になると判断されたためである。

3) 開先溶接の余盛りと仕上げ

余盛りによる応力集中はビード止端部の形状に関係するものであり，余盛り中央部の高さとは直接に関係しないと考えられるので，ビード幅を基準にとって表-18.4.6のように規定している。

この規定を超える余盛りについては，当然グラインダーで超過分を削り取らなければならないが，その際中央部だけ削って高さを減じても止端部の形状による影響を減じることにはならないので，止端部を特になめらかにするよう注意する必要がある。

余盛りの存在による応力集中は溶接構造物にとって重要であり，外観上からも仕上げを要求されることもあるので，余盛りの仕上げの必要な箇所は設計図に指示すべきである。施工時にはこの仕上げ記号の有無をよく確認して施工する必要がある。

4) 非破壊試験を行う者の資格

非破壊試験の品質を確保するため，また，非破壊試験の資格認証がJISに規定されたことから，今回の改定で，非破壊試験を行う者が有していなければならない資格が規定された。磁粉探傷試験又は浸透探傷試験について，それぞれの試験の種類に対応したJIS Z 2305（非破壊試験－技術者の資格及び認証）に規定されるレベル2以上の資格を有する者が行うこととしている。なお，磁粉探傷試験については道路橋では極間法磁粉探傷試験が一般的に適用されており，同試験を適用する場合には磁粉探傷試験の試験方法のうち極間法磁粉探傷試験のレベル2以上の資格を有していればよい。

6) 欠陥部の補修

補修の目的は，母材と溶接継手部の健全な機能を確保するために行うものであり，部材全体に与える影響をよく検討した上で補修方法を決定し，必要以上の溶接や加熱をしないよう，注意深く行う必要がある。

特に，補修溶接部の始終端には有害な欠陥が生じやすく，注意が必要である。

18.4.7　内部きず検査

(1) 完全溶込みの突合せ溶接継手の内部きずに対する検査は，溶接完了後，適切な非破壊検査方法により行い，要求される溶接品質を満足していることを確認しなければならない。

(2) 完全溶込みの突合せ溶接継手の内部きずに対する検査を次に示す方法で行う場合においては，(1)を満たすものとみなす。

1)　検査方法

非破壊試験は放射線透過試験，超音波探傷試験により行い，継手の板厚，形状等に応じて適切な方法を選定する。

2)　非破壊試験を行う者の資格

非破壊試験を行う者は，試験の種類に応じて，JIS Z 2305（非破壊試験－技術者の資格及び認証）に基づく次のa）～c）に示す資格を有していなければならない。

a)　放射線透過試験を行う場合は，放射線透過試験におけるレベル 2 以上の資格とする。

b)　超音波自動探傷試験を行う場合は，超音波探傷試験におけるレベル 3 の資格とする。

c)　手探傷による超音波探傷試験を行う場合は，超音波探傷試験におけるレベル 2 以上の資格とする。

3)　抜取り検査率，判定基準，合否判定

i）抜取り検査率

主要部材については，表-18.4.9 に示す 1 グループごとに 1 継手の抜取り検査を行う。ただし，現場溶接を行う完全溶込みの突合せ溶接継手のうち，鋼製橋脚のはり及び柱，主桁のフランジ及び腹板，鋼床版のデッキプレートの溶接部については表-18.4.10 に従い検査を行う。

また，その他の部材において許容応力度を工場溶接の同種の継手と同じ値とする場合には，継手全長にわたって非破壊試験により検査を行う。

表-18.4.9　主要部材の完全溶込みの突合せ溶接継手の非破壊試験検査率

部材			1 検査ロットをグループ分けする場合の 1 グループの最大継手数	放射線透過試験	超音波探傷試験
				撮影枚数	検査長さ
引張部材			1	1 枚(端部を含む)	継手全長を原則とする
圧縮部材			5	1 枚(端部を含む)	
曲げ部材	引張フランジ		1	1 枚(端部を含む)	
	圧縮フランジ		5	1 枚(端部を含む)	
	腹板	応力に直角方向の継手	1	1 枚（引張側）	
		応力に平行方向の継手	1	1 枚(端部を含む)	
鋼床版			1	1 枚(端部を含む)	

表-18.4.10　現場溶接を行う完全溶込みの突合せ溶接継手の非破壊試験検査率

部　材	放射線透過試験	超音波探傷試験
	撮影箇所	検査長さ
鋼製橋脚のはり及び柱 主桁のフランジ（鋼床版を除く）及び腹板	継手全長を原則とする	
鋼床版のデッキプレート	継手の始終端で連続して各 50cm (2枚)，中間部で 1m につき 1 箇所 (1枚)及びワイヤ継ぎ部で 1 箇所 (1枚)を原則とする	継手全長を原則とする

ii）判定基準

試験で検出されたきず寸法は，設計上許容される寸法以下でなければならない。

ただし，寸法によらず表面に開口した割れ等の面状きずはあってはならない。

なお，放射線透過試験による場合において，板厚が 25mm 以下の試験の結果については，次を満たす場合には合格としてよい。

a)　引張応力を受ける溶接部は，JIS Z 3104 附属書4（透過写真によるきずの像の分類方法）に示す2類以上とする。

b)　圧縮応力を受ける溶接部は，JIS Z 3104 附属書4（透過写真によるきずの像の分類方法）に示す3類以上とする。

iii）合否判定，不合格部の処置

① 表-18.4.9 に示す非破壊試験の結果が ii）の規定を満たさない場合には，次の処置をとる。

a)　検査ロットのグループが 1 つの継手からなる場合には，試験を行ったその継手を不合格とする。また，検査ロットのグループが 2 つ以上の継手からなる場合には，そのグループの残りの各継手に対して非破壊試験を行い合否を判定する。不合格となった継手は，その継手全体を非破壊試験によって検査して欠陥の範囲を確認し，不合格部分は 18.4.6(2) 6)の規定に従い補修しなければならない。補修部分は ii）の規定を満たさなければならない。

② 表-18.4.10 に示す現場溶接を行う完全溶込み突合せ溶接継手の非破壊試験の結果が ii）の規定を満たさない場合には，次の処置をとる。

a)　継手全長を検査した場合には，規定を満たさない試験箇所を不合格とし，18.4.6(2) 6)の規定に従い補修しなければならない。補修部分は ii）の規定を満たさなければならない。

b)　放射線透過試験により，抜取り検査をした場合には，規定を満たさない撮影箇所の両側各 1m の範囲について検査を行うものとし，それらの箇所においても ii）の規定を満たさない場合にはその 1 継手の残り部分の全てを検査する。不合格となった箇所はきずの範囲を確認し，18.4.6(2) 6)の規定に従い補修しなければならない。補修部分は ii）の規定を満たさなければならない。なお，この場合において継手とは継手の端部から交差部又は交差部から交差部までを指す。

(2) 1) 検査方法

放射線透過試験は，JIS Z 3104（鋼溶接継手の放射線透過試験方法）によって行い，超音波自動探傷試験は文献 7)，8)等を参考に，手探傷は JIS Z 3060（鋼溶接部の超音波探傷試験方法）によって行うのがよい。

非破壊検査の適用板厚は，超音波探傷試験で 8mm から 100mm までとし，放射線透過試験では 40mm 以下を目安とする。ただし，十分な資料を有する場合には 40mm を超える板厚においても放射線透過試験を用いることができる。

40mm を超える板厚においては，放射線透過試験の探傷能力が越える場合があることなども考慮して，超音波探傷試験によることを標準とするが，このとき，検査対象とする板厚，溶接条件等も考慮して，探傷条件に対して信頼性の確かめられた超音波自動探傷装置による必要がある。

なお，信頼性の確かめられた超音波自動探傷装置とは，あらかじめ破壊試験を含む実証試験などにより，当該検査に必要な性能を満たすことが確認された超音波探傷試験装置という意味であり，超音波探傷器，探触子，走査装置，画像表示装置，及び装置に組込まれた判定支援ソフト等の構成機器とプログラムについて，単体及びそれらを組合わせた状態において必要な性能を満たすことがあらかじめ確認されているとともに，検査の過程においてその性能が維持されることが確認されていることが必要である[8]。

手探傷は，超音波自動探傷が適用できない部位に限って用いるものとし，このとき，きずのエコー高さの領域ときずの指示長さ及び実きず長さの相関に関して，破壊試験等による証明がなされた十分な資料を有している必要がある。

2) 非破壊試験を行う者の資格

非破壊試験の品質を確保するため，また，非破壊試験の資格認証が JIS に規定されたことから，今回の改定で，非破壊試験を行う者が有していなければならない資格を規定している。

超音波探傷試験を行う場合，手探傷では，超音波探傷試験に対応したレベル 2 以上の資格を有する者とし，自動探傷では，探傷装置の設定や操作に加えて探傷結果からのきずの判定等に所要の知識が必要なことから，超音波探傷試験に対応したレベル 3 の資格を有する者としている。ただし，現場でのレベル 3 の資格を有する者の監督下で探傷装置の操作のみを行う場合にはレベル 2 の資格を有する者でもよい。また，超音波自動探傷試験に関しては，信頼できる検査結果を得るためには，非破壊試験を行う者は，この条文の資格を有しているだけではなく，十分な訓練を行った者である必要がある[8]。また，手探傷による場合でも同様に条文の資格を有しているだけではなく十分な訓練を行った者である必要がある。

3) 抜取り検査率，判定基準，合否判定

i）抜取り検査率

前回の改定では，表-18.4.9，表-18.4.10に超音波探傷試験の検査率が追加された。検査手法の特性の相違により，検査長さの単位は放射線透過試験の30cmに対して，超音波探傷試験では1継手の全線としている。これは，前回の改定時に新たに超音波探傷試験について規定したものの，まだ実績が十分でないこと及び現状ではきず種別の判定が困難であること等も配慮した結果である。さらに超音波探傷試験では検査技術者の技能に依存する部分が特に大きいことに注意が必要である。

表-18.4.9 の圧縮部材の検査率について，疲労設計を行った結果，所定の疲労強度を満たす条件として当該継手に内部きずに対する要求が示された継手に対しては，残留応力の影響から疲労亀裂の発生に関して圧縮部材と引張部材で相違がないと考えられるため引張部材と同じ検査率とするなど別途検討を行うことが必要である。

溶接品質に影響を与える条件には，継手形式，材質，板厚，溶接条件，開先及び組立の精度，開先の清浄度，予熱，後熱及びパス間温度の管理，溶接作業者の技量等がある。そこで，これらの溶接条件が同じ溶接継手は品質管理上同じものであるとみなし，そのような継手の集合を1つの検査ロットとする。例えば，同じ板厚構成の突合せ継手が10継手あり，これらを同じ溶接方法で溶接した場合，この 10 継手で一つの検査ロットを構成することになる。ただし，ここでいう 1 継手とは，板と板との継手であり，部材と部材との継手という意味でない。したがって，1度に連続して溶接した部材を後から切断して10個の部材にしたとしても，継手としては1個として考える。次に，この検査ロットを表-18.4.9に示された最大継手個数ごとのグループに分け，各グループから1継手を取って検査するものとした。

抜取り検査箇所はそのグループを代表しているので，これが不合格の場合，そのグループを不合格とする。不合格になった場合は，そのグループの各継手に対し，表-18.4.9 と同様の検査を行ってそれぞれの継手の合否を判定する。なお，抜取り検査においては，溶接部の品質を確保するために，適正な検査ロット，抜取り検査箇所を決定する必要がある。表-18.4.9 中の放射線透過試験の撮影枚数の欄において（端部を含む）とは溶接のはじめ又は終りの部分を含めて撮影するという意味である。また，表-18.4.9 に示している抜取り検査率は溶接継手内にワイヤ継ぎがないことを前提としたものである。設備の制約などからやむを得ず溶接継手内にワイヤ継ぎが生じる場合があるが，ワイヤ継ぎ位置は欠陥が発生しやすいため，検査率に関係なく全てのワイヤ継ぎ部を検査する必要がある。

現場溶接を行う完全溶込み突合せ溶接継手については，検査方法を明確に規定したものである。特に鋼製橋脚のはり及び柱，主桁のフランジ及び腹板，鋼床版のデッキプレートの溶接部については主要部材の溶接部であり，品質の確保が重要であることから，現場溶接の品質管理の実績を踏まえて検査方法を規定し検査結果についてはⅱ）の規定を満たさなければならないこととしている。主桁のフランジ及び腹板，鋼製橋脚については，原則として，継手全長を検査することとしている。

鋼床版のデッキプレートの完全溶込み突合せ溶接継手に対する放射線透過試験については，撮影箇所を 1 溶接線に均等に配分しているが，溶接線の始終端部，交差部，ワイヤ継ぎ部に欠陥が発生し易い傾向があるため，これらの部分を重点的に検査することとしている。なお，自動溶接以外の工法を用いる場合や，開先条件や溶接条件が管理値を超えるような箇所はこの規定にかかわらず検査するのが望ましい。

鋼床版デッキプレート現場溶接継手の撮影箇所の例を図-解 18.4.4 に示す。なお，不合格のきずがあった場合，それが局所的なきずであるのか，連続したきずであるのかを判断するためきず箇所両側各 1m の範囲について更に検査してきず

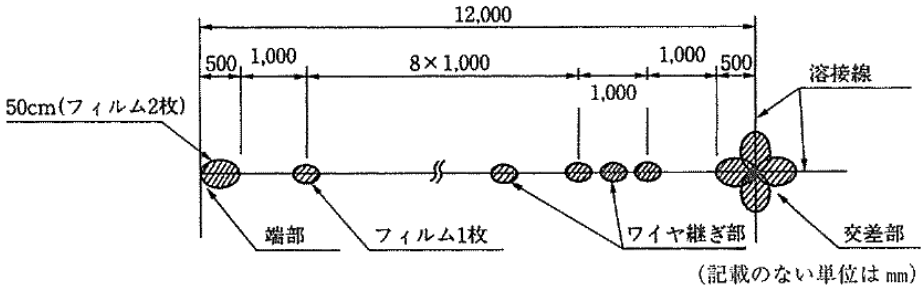


図-解 18.4.4　鋼床版デッキプレートのＸ線撮影箇所の例

の発生状況を判断する。追加検査部に不合格となるきずがない場合には局所的な欠陥と考える。一方，追加検査部にも不合格のきずがあった場合には，その 1 継手を全線検査する。また，超音波探傷試験の場合には，原則として継手全長を検査する。

なお，デッキプレート厚が厚いと，従来の 1 パスによるサブマージアーク溶接による施工が難しくなり，初層に炭酸ガスシールド溶接を使用し，そのうえにサブマージアーク溶接を用いる等の多層盛溶接の施工となる。このような場合には，溶接部の品質検査の抜取り率を多層盛溶接によるきずの発生頻度などの実績を考慮して決めることが望ましい。

ii）判定基準

完全溶込み突合せ溶接継手に許容される内部きずの寸法は，最近の疲労に関する研究成果等によると，板厚の 1/3 以下となっている。この寸法は，ビード仕上げの有無にかかわらない。また，複数のきずが近接して存在するいわゆる隣接きずや密集ブローホールに対しては，それらを単独のきずに換算した寸法に対して適用できる。なお，本編の規定に従って良好な施工が行われた溶接部に対する内部きず寸法の許容値も板厚の 1/3 と考えてよいが，疲労の影響が考えられる継手では，所定の強度等級を満たす上で許容できるきず寸法はこの値より小さい場合があるので注意する。表-解 18.4.5 に各継手の強度等級を満たす上での内部きず寸法の許容値をまとめて示す。なお，表-解 18.4.5 に示されていない継手の内部きず寸法の許容値は，「鋼道路橋の疲労設計指針」（日本道路協会）[6]が参考にできる。

表-解 18.4.5　内部きず寸法の許容値

継手の種類			6.3.2に規定される強度等級	内部きず寸法の許容値
横突合せ溶接継手	余盛りを削除した継手		D	3mm（$t \leqq 18$mm） $t/6$mm（$t > 18$mm）
	止端仕上げした継手		D	
	非仕上げ	両面溶接	D	
		良好な裏波形状を有する片面溶接	D	
縦方向溶接継手	完全溶込み開先溶接継手	余盛削除	D	$t/3$mm
		非仕上げ	D	
荷重伝達型十字溶接継手	完全溶込み開先溶接継手	滑らかな止端を有する継手	D	3mm（$t \leqq 18$mm） $t/6$mm（$t > 18$mm）
		止端仕上げした継手	D	
		非仕上げの継手	E	

なお，平成８年までの示方書では，大きさによらず割れの存在は認めていなかったが，既往の研究成果では，きずの種類に対して疲労強度に大きな差異が見られなかったことから，許容実きず寸法はきずの種別にかかわらず適用できると考えてよい。ただし，磁粉探傷試験によって検出できる程度のごく表面近傍のきずについては，表面に開口している場合と同様，大きさによらず存在を認めないので許容きず寸法未満であっても補修を行う必要がある。

超音波探傷試験では，溶接ビードの形状によっては高いレベルできず以外によるエコーが検出され，きずの判別が困難となる場合があるが，このような場合には慎重なエコーの判別を行う必要がある。特に外観上割れが存在する疑いがあるビード形状となっている場合等では注意が必要である。超音波探傷試験で詳細なきずの判別が困難な場合には，磁粉探傷試験による最終的な確認を行う。

放射線透過試験ではこれまでJIS Z 3104（鋼溶接継手の放射線透過試験方法）の附属書４に従い，きずの種別及び大きさによる点数で判定が行われてきたが，この判定基準は疲労に対する検討からのものでないこともあり，超音波探傷検査の判定基準とは必ずしも整合しないことが考えられる。しかし，従来の判定基準との整合等にも考慮し，板厚が 25mm 以下を対象とした放射線透過試験については従来の判定基準によってもよいこととしている。ただし，板厚が 25mm を超える場合には，放射線透過試験に対しても超音波探傷試験による場合と同様の判定基準を適用し，きず種別を区別せずに単独きずと隣接きずを含めた換算きず寸法で評価することが必要である。

超音波自動探傷試験では，これまで慣例として，JIS Z 3060（鋼溶接部の超音波探傷試験方法）附属書６を準用した，きずエコー高さ領域ときずの指示長さによる判定基準が用いられてきたが，前回の改定では，実際のきず寸法で評価することに改められた。実際のきず寸法の評価方法の妥当性は，個々の超音波自動探傷試験装置ごとにその特性に応じて定める必要がある。またそれらの評価方法の妥当性はあらかじめ信頼できる方法で確認する必要がある。さらに，現状の超音波自動探傷試験では，判定作業において，まだ検査技術者の技量に依存する部分も多いため，(2) 2)に規定される資格を有しているだけではなく，十分な訓練を行った者である必要がある。

なお，非破壊検査の実施時期については，溶接が完了してから適切な時間経過後に実施する必要がある。特に，材質や板厚などの関係で，遅れ破壊を考慮する必要がある場合には，実施時期に配慮が必要である。

6-5-2. 鉄道橋

以下に示方書内の溶接に関する事項の抜粋を示す。また，抜粋については，溶接施工に関する内容とする。

（3）電弧溶接鋼構造物設計および製作示方書案：昭和　6年

第四條　電極棒は總て軟鋼線とし次の規格に合格するものたるべし。

第一項　電極棒として用ひらるゝ軟鋼線の化學成分は

炭素の含量	0.1 %	以下
滿俺 〃	0.4 %	〃
燐 〃	0.04 %	〃
硫黄 〃	0.04 %	〃
珪素 〃	0.05 %	〃

たるものとす。

第二項　被覆劑は電極棒心線と正確に同心に塗布せられ運搬、藏庫等の取扱ひに依り容易に剝脫せず、且つ鎔接部分に惡しき影響を與へざるものたることを要す。

第三項　電極棒は鎔接の姿勢により下向き鎔接用電極棒と横、竪、上向き鎔接用電極棒との2種とし、夫々當該鎔接姿勢に於て容易に良質の鎔接を得らるゝものたることを要す。

（5）鋼鉄道橋電弧溶接工事示方書解説：昭和２７年

（電流及び電弧溶接棒）

第１２條　溶接に使用する電流の種類及び電弧溶接棒（以下「溶接棒」という。）の品質は別表の規定による試驗において使用したものと同様なものに限る。

解　説

イ　溶接棒の規格

電弧溶接に於ては溶接棒の選択が非常に重要であるが橋梁等重要構造物の溶接には特に優秀な棒を使用しなければならない。溶接棒の規格は溶接工検定規程にも定めてある如く日本工業規格 JIS G 3524 (1950)「軟鋼用被覆電弧溶接棒」によるものとし橋梁の溶接に使用するものは此等のうち種別 D4300，D4310，D4311 に属する証明を有するものとする。本規格によれば棒の寸法、心線、被覆、各種の試驗方法及びその成績、包装、標示等につき示されているが此等の内棒の性質は第３表，強度は第４表に示す通りである。

第 3 表　　溶接棒の性質

溶接棒の種別	被覆剤の系統	溶接可能姿勢	使用電流及び記事	相当A·B規格
D 4300	規定せず	下立、横、上向	交流、直流、両極性	
D 4310	高セルローズ系	〃	直流逆極性	E 6010
D 4311	〃	〃	交流、直流、逆極性	E 6011

第 4 表　　溶接棒（全溶着金属）の強度

溶接棒の種別	引張強さ（kg/mm²）	降伏点（kg/mm²）	伸び（%）	衝撃値（Oルゼン kg·m/cm²）
D 4300	44	37	22	9
D 4310	〃	〃	〃	〃
D 4310	〃	〃	〃	〃
神鋼B17(D4301)	44~50	38~44	26~30	12~17

註．引張試験片の標点距離 50mm　ϕ = 12.5mm

被種別の棒については特に指定する場合の他使用しないものとする。第4表中の使用電流及び記事欄について述べれば被覆剤が高セルローズ系のもの例えば D 4310（E 6010）は発生水素の影響で直流逆極性につなげば良いが直流正極では電弧電圧が高くなって使用できない。従って交流には不向であるが D 4311（E 6011）は被覆剤の成分を加減して交流にも使用し得る様にしたものである。交流用棒は被覆剤に電弧電圧を下げる薬品を含み、直流両極性にも使用できる様になっている。溶接棒心線の材質は優良且均一なものでなければならずその規格は日本工業規格 JIS G 3523（1950）に示されている。

2. 市販溶接棒

現在日本で製作される溶接棒の殆ど大部分は被覆剤がイルミナイト系である為 D 4300 に属する系統のものである。溶接棒規格 JIS は未だ制定前もない為棒メーカーの之を受験したもの少く、現状ではアメリカ船級協会（American Bureau of Shipping　略称 A.B）の検定或はイギリスのロイドの検定を受けたものが大部分で A·B の検定様式は JIS と大体同じである

から当分はA·B認定棒をJISの代用に認めてよい。強度作業性とも適当で現在多く使用されている市販溶接棒をあげれば第5表の通りである。

第5表　溶接棒一覧表（昭和26年）

会社所在地	会社名	銘柄	棒径 (mm)
神戸市葺合区	神戸製鋼	B－17	5, 4, 3.2
〃	〃	B－2	〃
〃	〃	B－10	〃
東京都品川区	東洋電極	J－100	〃
〃	〃	G－200	〃
福知山市	福知山溶接棒	A－100	〃
大阪市城東区	日本電極	ND－150	5, 4
東京都中央区	日本油脂	MS－136	5, 4, 3.2
東京都江戸川区	神東電極	ST－17	5, 4
〃北区	東京化工	P－4	〃
川越市	新興国	SE－12	〃
神戸市生田区	白山鉄業	H－18	5
大阪府中河内郡	大陽鋼業	E－14	〃
大阪府貝塚市	東光社	東光－11号	〃
東京都江戸川区	不二電極	三葉印	4

上述の棒は何れもA·B規格、E 6011に認定され溶接姿勢は全位置、電流は交·直流に使用しうる。価格は昭和26年現在トン当り15～16万円、5至24～25万円である。

包装は例えば神戸製鋼のものでは1束5kg（5mm棒で約60本、4mm棒で約90本）のもの6束計30kgが防湿紙に包まれて木箱におさめられている。

（仮締め及び仮付）

第ノク條　溶接の際は部材を正確に保つとともに過度の拘束を与えないよう適当に仮締め、又は仮付溶接をしなければならない。仮付溶接は、最小限度にとゞめ本溶接の一部となる場合は欠陥のない溶接でなければならない。但し設計図に指定する場合は仮付溶接を本溶接の一部としてはならない。

（温度）

第ノ9條　気温が0°C以下の場合は溶接を行ってはならない。但し、承認を受て予熱を加えて行うことができる。溶接部は急冷を避けるように考慮しなければならない。

解　説

溶接は気温が0°C以上の場合は特に温度に対する考慮を要しないが、0°C以下に下る場合は溶接を中止すべきである。しかし工程の都合上どうしても施工を急ぐ場合は予熱法によるべきでこれは特に構造的に重要な接手に対し必要である。即ち溶接開始点の附近約3cm平方程度を酸素アセチレンガス等により掌でさはれる程度（約60°C）に予熱すれば溶接開始にあたり溶着金属が急冷されて溶接が脆くなることが防止できる。この場合急速な予熱は避けなければならない。

以後の溶接はそれ以前の溶接熱の為温められているから予熱の必要はないが、別の溶接線にかゝる場合或は作業中断後の溶接は再び予熱を要する。

なほ低温の為どうしても急冷、不平均冷却をおこしやすいから溶接終了後も部材の冷却状況をみてガス焔で加熱するとか囲いを設ける等してなるべく冷却速度を緩慢且一様ならしめる。しかしこれが−15°C以下になる場合は予熱法も不充分であり又溶接工の作業も甚しく困難になるので溶接を行ってはならない。

い。

前述の如く低温時の溶接は急冷による溶接部の脆化、不平均冷却による内部応力の発生等の為亀裂発生の可能性が多いから溶接部の検査は特に綿密に行はなければならない。

（焼鈍）

第33條　焼鈍を行う場合は溶接部を部材の厚さ25ミリメートルごとに1時間の割で600℃～650℃の温度に保ち炉中において部材の温度が300℃に冷却した時は炉から取り出してよい。

（7）アーク溶接鋼鉄道橋設計示方書案：昭和３１年

（溶接棒）

第4条　溶接棒はJIS G 3524 軟鋼用被覆アーク溶接棒の規格に適合するものを標準とする。

（8）自動溶接鋼鉄道橋設計及び製作示方書案および解説：昭和３２年

（心線及びフラックス）

第4条　心線及びフラックスは、鋼材の材質、溶接の層数等に適合したものを使用しなければならない。

〔解説〕自動溶接に用いられる心線とフラックスには多くの種類があり、かつ一定した組合せのもとにおいてそれぞれの特徴を発揮するものであるから、もっとも適した両者の組合せを選定して使用しなければならない。

軟鋼をサブマージドアーク溶接する場合を例にとると、心線は高Mn系のものと低Mn系のものに大別することが出来る。

またフラックスはMnOを多量に含むものとそうでないものに大別される。高Mn心線と低MnOフラックスの組合せは作業が容易でビードの外観も美しく、もっとも広く用いられるが、溶着鋼中のSi含有量が多いので、多層溶接するとSi量が増加して割れ等の欠陥を生じ易くなるから、多層溶接を行うには適しない。

また母材の不純物の悪影響を比較的敏感に受け、溶接割れを生じ易い等の欠点がある。これらの場合には低Mn心線と高MnOフラックスを組合せたものが、欠陥防止上すぐれた性能を発揮する。またヌヨ系に述べたように、ラミネーションや著しいサルファーバンドはサルファー、クラックを発生させる危険が大きいが、一般にリムド鋼などはこのような偏析層が存在し勝ちであるから、鋼板の品質を確認した上で、必要に応じサルファー、クラックを生じ難い心線とフラックスの組合せ(すなわち低Mn心線と高MnOフラックス)を使用しなければならない。
なお鋼板の板厚、開先の形状、溶接速度と溶接電流、開先の清浄度等も心線とフラックスの組合せ如何に関連して溶接結果を微妙に左右するから、その選定を誤らないようにしなければならない。

(9) 溶接鋼鉄道橋設計示方書案および解説：昭和３５年

(溶　接　棒)

ヤヨ系　溶接棒はSM41及びSS41の溶接においては
JISZ3211軟鋼用被覆アーク溶接棒の規格に適合するものとし、SM50の溶接には、高張力鋼の溶接に適する溶着金属の引張強さ50kg/mm²級の低水素系被覆アーク溶接棒を用いるのを標準とする。

ユ．SM50とSM41又はSS41との溶接には、JISZ3211軟鋼用被覆アーク溶接棒のうち低水素系のもの用いるのを標準とする。

アーク溶接に於いては目的に適合した優れた性能の溶接棒を使用することが大切である。
溶接棒を選ぶに当っては、母材々質、溶接姿勢、継手形状、溶着金属の性質、作業性、使用溶接機、経済性などを考慮する必要がある。溶接棒の発達が十分でなかった頃は、1種類の棒を万能的に使用する傾向があったが、最近では各種被覆型式の溶接棒が製作され、その有する性質によって適

材適所に使用されている。溶接棒の具備すべき一時的条件としては　溶着金属が良好な性質を有し，溶込みが適当で割れが生じ難く溶接部分が要求された あらゆる性能を十分具えることであり，またアークが発生し易く，かつその持続性が良好で作業性のよいことなどである。

軟鋼用溶接棒に関する規格としては，ＪＩＳ　Ｇ３５２３（被覆アーク溶接棒心線），ＪＩＳＺ３２１１（軟鋼用被覆アーク溶接棒）等がある。

表，３－１はＪＩＳＧ３５２３における心線の化学成分を示し，表，３－２は，ＪＩＳＺ３２１１における溶接棒の分類と溶着金属の機械的性質を示したものである。我が国の軟鋼用溶接棒の規格は大体米国の規格に準じており，表２のＤ４３１０～Ｄ４３３０はそれぞれＡＳＴＭ－ＡＷＳのＥ６０１０～Ｅ６０３０に該当している。またＤ４３００，Ｄ４３０１Ｄ４３０２　Ｄ４３０３，Ｄ４６００はわが国で独自に規格化したものである．軟鋼用溶接棒のＪＩＳ規格においては溶接棒は溶着金属の引張強さ，被覆剤の系統，溶接姿勢および電流によって分類されている。

溶接記号は前置文字Ｄおよび４ケタの数字で表わされさらに深溶込み溶接棒の場合には後置文字Ｐをつける。Ｄはアーク溶接棒を，また十位および百位の数字の組せ，例えば，４３はこれらの溶接棒によって保証される引張強さ（kg/mm²）をあらわし，また十位および一位の数字は被覆剤の種類と使用性能をあらわしている。

表，３－１（ＪＩＳＧ３５２３（１９５７より）

種類		記号	化学成分 %					
			C	Si	Mn	P	S	Cu
１種	１号	SWY 11	<0.10	<0.03	0.35~0.65	<0.020	<0.020	<0.020
	２〃	〃 12	<0.10	<0.03	0.35~0.65	<0.030	<0.030	<0.030
２種	１号	SWY 21	0.10~0.15	<0.03	0.35~0.65	<0.020	<0.020	<0.020
	２〃	〃 22	0.10~0.15	<0.03	0.35~0.65	<0.030	<0.030	<0.030

表・3－2（JIS Z 3211（1957より）

溶接棒の種類	被覆材の系統	溶接姿勢	使用電流の種類	引張さ kg/mm²	降伏点 kg/mm²	伸び %	衝撃値（シャルピー）kg-m/cm²
D4300	規定しない	F.V.OH.H	A.C or D.C	43	35	22	9
D4301	イルミナイト系	F.V.OH.H	A.C or D.C				
D4302	規定しない	F.H.Fil	〃	43	35	22	9
D4303	ライムチタニヤ系	F.V.OH.H	〃				
D4310	高セルロース系	F.V.OH.H	DC(R)	43	35	22	9
D4311		F.V.OH.H	A.C or DC(R)				
D4312	高酸化チタン系	F.V.OH.H	D.C(S) or AC	47	37	17	−
D4313		F.V.OH.H	AC or DC(S)				
D4315	低水素系	F.V.OH.H	DC(R)	47	37	22	12
D4316		F.V.OH.H	AC or DC(R)				
D4320	高酸化鉄系	F.H-Fil	水平すみ肉溶接ではAC or DC(S)，下向溶接ではAC or DC	43	35	25	9
D4324	鉄粉酸化チタン系	F.H-Fil	AC or DC	47	37	17	−
D4327	鉄粉酸化鉄系	F.H-Fil	水平すみ肉溶接ではAC or DC(S)下向溶接ではAC or DC	43	35	25	9
D4330	高酸化鉄系	F	AC or DC				
D4600	規定しない	F.H-Fil	AC or DC	46	38	26	9

また溶接姿勢の各記号はそれぞれ次の姿勢を示している。

F：下向，V：立向，OH：上向，H：横向，H－Fil：水平すみ肉。

なお　表・3－2の姿勢は棒径5mm以下に適用されるが，D4315およびD4316に対しては棒径4mm以下に適用される。

また使用電流の種類の記号はAC：交流，DC：直流両極性，DC(S)：直流正極性，DC(R)：直流逆極性である。

表・3－2の溶接棒の中D4300，D4301，D4303 D4310，D4311，D4312，D4313，D4315，D4316は全姿勢で溶接可能の棒である。D4301（イルミナイト系）はわが国独自のもので，作業性，機械的性質の均衡がよく保たれており，各種被覆系統の中で最も広く使用されている。

D４３１０，D４３１１（高セルロース系）は溶込みが良く熱えいきよう、溶接歪みは少いが，ビードの外観は満足いでなく，またD４３１２，D４３１３と共に他の被覆型式のものに比し一般に割れ感受性が大きい。D４３１２，D４３１３（高酸化チタン系）は他の被覆型式のものに比し、延伸性は劣るが熱えいきようは少く，美しいビード外観を呈する。
またD４３１３は薄板の立向下進溶接に特に適している。
D４３１５，D４３１６（低水素系）は溶着金属の水素量が最も少く，機械的性質は非常に優小ており、一般の軟鋼に比し溶接性の劣る材料の溶接に用いられて、効果をあげている。またこの種の被覆型式の溶接棒で良好な裏波を示す所謂裏波溶接棒が最近製作されるに至った。
D４３０３（ライムチタニヤ系）はスラグ型としては使用性能が優小ており、またD４３１２，D４３１３より機械的性質も優小ている。
D４３００は，被覆型式は規定されていないが、他の被覆系統のものに比し、使用性能等に着しい特長のある溶接棒が、これに該当する。規格制定の当初においてはD４３０１が、ついでD４３０３が，D４３００にランクされていたが，規格の改正を重ねるに従つてそれぞれ独立した種類となつた。
D４３２０は下向および水平すみ肉の溶接に，またD４３３０は下向きのみに用いられる。いずれも溶着金属の性質は優小ており，前者は特に一層すみ肉溶接に適している。
D４３２４も下向およびすみ肉溶接に用いられる。
これは高酸化チタン系の被覆系統であるが被覆中にさらに多量の鉄粉を添加したもので他の被覆系に比べて溶接速度が大である。
この棒によるときは，厚被覆のため被覆筒の形成が深く接触（コンタクト）溶接が可能である。D４３２７は高酸化鉄系の被覆に鉄粉を添加したものでD４３２４と同じ目的で作成したものである。D４３２７はわが国でもかなり使用され水

平すみ肉溶接において1層で脚長10mmの溶接を行うことができる。

また溶着金属はX線的にも優秀である。

D4302も下向および水平すみ肉溶接用として特に作業性および作業能率の向上を目的として作られた溶接棒であるが被覆系統は規定されていない。深溶け込み溶接棒あるいは高酸化鉄系以外で下向き、および水平すみ肉用に作られた種々の被覆系統の棒はこれに属する。深溶け込み溶接棒は、特に大電流を用いて溶込みを深くして、突合せ、またはすみ肉溶接の能率向上を企図した棒である。

D4600は、ボイラー用圧延鋼材SB-46に使用されている溶接棒である。以上の溶接棒の中、わが国の橋梁溶接においてはD4301, D4303, D4316などの全姿勢溶接棒およびD4302, D4320, D4327などの下向および水平すみ肉溶接棒が使用されている。

次にSM50の溶接に使用する溶接棒については、まだJIS規格は制定されていないが、米系方書では溶着のままの引張強さが50kg/mm²及その低水素系を使用することとした。該当溶接棒は米国の規格に準じたE70型として市販されている（Eはアーク溶接棒、70は引張強さの最低値70000lb/in² ≒49kg/mm²を示す）この場合全姿勢用（軟鋼用溶接棒の場合のD4316, D4315に該当するもの）および下向および水平すみ肉溶接用（軟鋼用溶接棒の場合のD4302で低水素系のもの）の両者が用いられる。

SM50用の溶接棒を含む高張力鋼用溶接棒のJIS規格は昭和35年中に制定される予定である。なお、防衛庁では引張強さ52-60kg/mm²の高張力鋼溶接棒について昭和29年に防衛庁暫定規格を制定している。

低水素系溶接棒を高張力鋼の溶接に使用する理由は、この種の溶接棒による溶着金属の水素量が少ないため、熱影響部割れや溶着部割れが少く、また、脱酸が良好で切欠靭性も

大であることなどによる。なお低水素系の場合は、使用前に250～300℃で30分～1時間程度乾燥して後使用することが必要である。
また、この種の棒を使用するときは、ビード始端あるいは継目にブローホールを生ずる傾向があるので、ビード始端では約30mmの返し溶接を行うとか、スタート時に瞬間的に大電流を流す方法（ホットスタート法）などにより、ブローホールを消滅させる必要がある。
SM50とSM41またはSS41との溶接においては、強度はSM41あるいはSS41にあはせ、一方では高張力鋼の溶接性を考慮して、軟鋼用溶接棒のJIS規格の中の、低水素系のD4301/5、D4301/6およびD4302の中の低水素系のものを使用することとした。

（１０）溶接鋼鉄道橋製作示方書案：昭和３６年

（溶接棒）

第3条 使用する溶接棒は、次の各号によるものとし、第9条の規定による試験において使用したものと同様なものでなければならない。

(1) SM41及びSS41の溶接においては、JIS Z 3211 軟鋼用被覆アーク溶接棒の規格に適合するもの。

(2) SM50の溶接においては、JIS Z 3212 高張力鋼用被覆アーク溶接棒のうち、D5015、D5016、D5025又はD5026の規格に適合するもの。

(3) SM50とSM41又はSS41との溶接においては、JIS Z3211軟鋼用被覆アーク溶接棒のうち低水素系のもの。

2 自動溶接を採用する場合の心線及びフラックスは、第1条の規定による試験において使用したものと同様なものでなければならない。

（材片の組合せ及び部材の保持）

第12条 溶接に当っては、適当な組合せ治具又は仮付けなどにより、材片相互の位置を正確に保ち、部材は全体の変形をできるだけ小さくするように保持しなければならない。この場合、材片に過度の拘束を与えることは避けなければならない。

（仮付け）

第13条 仮付溶接の最小長は40mmとし、仮付溶接の箇所は最小限度にとどめ、設計図に示している溶接箇所以外への仮付けはなるべくさけるものとする。やむをえず溶接箇所以外に仮付けを行う場合には、監督員の承認をうけるものとする。

2 本溶接の一部となる仮付溶接は、欠陥のない溶接でなければならない。なお、低水素系の溶接棒を使用する場合には、溶接始終端に欠陥の生じないよう、里棒に特に注

意しなければならない。

3 仮付溶接に際し、表－2に示す条件の一つに該当する場合には、50°C～100°Cの予熱を行わなければならない。

表－2

鋼材	条件
SM41、SS41	室温5°C以下の場合
	板厚32mmをこえる場合
SM50	室温10°C以下の場合
	板厚20mmをこえる場合

（予熱）

第31条 本溶接に際し、表－3に示す条件の一つに該当する場合には溶接始端から100cmの範囲を50°C～100°Cに予熱しなければならない。ただし、自動溶接の場合には適用しない。

表－3

鋼材	条件
SM41、SS41	室温5°C以下の場合
	厚さ32mmをこえる場合
SM50	室温10°C以下の場合
	厚さ25mmをこえる場合

（作業時の温度）

第32条　室温が0°C以下の場合は溶接を行ってはならない。但し、承認をえて予熱して溶接することができる。この場合、溶接部は急冷を避けるように考慮しなければならない。

（１１）溶接鋼鉄道橋製作示方書案：昭和３８年

（溶接棒）

第３条　使用する溶接棒は、次の各号によるものとし、第９条の規定による試験において使用したものと同様なものでなければならない。

(1)　ＳＭ４１及びＳＳ４１の溶接においては、ＪＩＳＺ３２１１軟鋼用被覆アーク溶接棒の規格に適合するもの。

(2)　ＳＭ５０の溶接においては、ＪＩＳＺ３２１２高張力鋼用被覆アーク溶接棒のうち、Ｄ５０１５、Ｄ５０１６、Ｄ５０２５又はＤ５０２６の規格に適合するもの。

(3)　ＳＭ５０とＳＭ４１又はＳＳ４１との溶接においては、ＪＩＳＺ３２１１軟鋼用被覆アーク溶接棒のうち低水素系のもの。

２　自動溶接を採用する場合の心線及びフラックスは、第１１条の規定による試験において使用したものと同様なものでなければならない。

（材片の組合せ及び部材の保持）

第１２条　溶接に当っては、適当な組合せ治具又は仮付けなどにより、材片相互の位置を正確に保ち、部材は全体の変形をできるだけ小さくするように保持しなければならない。この場合、材片に過度の拘束を与えることは避けなければならない。

（仮付け）

第１３条　仮付溶接の最小長は４０㎜とし、仮付溶接の箇所は最小限度にとどめ、設計図に示している溶接箇所以外への仮付けはなるべくさけるものとする。やむをえず溶接箇所以外に仮付けを行う場合には、監督員の承認をうけるものとする。

2　本溶接の一部となる仮付溶接は、欠陥のない溶接でなければならない。なお、低水素系の溶接棒を使用する場合には、溶接始終端に欠陥の生じないよう、運棒に特に注意しなければならない。

3　仮付溶接に際し、表－２に示す条件の一つに該当する場合には、５０℃～１００℃の予熱を行わなければならない。

鋼　　材	条　　件
ＳＭ４１、ＳＳ４１	室温5℃以下の場合
	板厚３２㎜をこえる場合
ＳＭ５０	室温１０℃以下の場合
	板厚２０㎜をこえる場合

（予　熱）

第３１条　本溶接に際し、表－３に示す条件の一つに該当する場合には溶接始端から１０ｍの範囲を５０℃～１００℃に予熱しなければならない。ただし自動溶接の場合には適用しない。

表－３

鋼　　材	条　　件
ＳＭ４１、ＳＳ４１	室温5℃以下の場合
	厚さ３２㎜をこえる場合
ＳＭ５０	室温１０℃以下の場合
	厚さ２５㎜をこえる場合

（作業時の温度）

第３２条　室温が0°C以下の場合は溶接を行ってはならない。但し、承認をえて予熱して溶接することができる。この場合、溶接部は急冷を避けるように考慮しなければならない。

（１２）ＪＲＳ溶接鋼鉄道橋：昭和３９年

3.1.5　溶接作業場の温度が0℃以下の場合は，原則として溶接を行なつてはならない。

3.2　溶接器材

3.2.1　溶接棒

(1) 手溶接の場合，溶接棒は下記の(a)，(b)，および(c)に規定された種類から選び，かつ，8に規定する試験において使用したものと同じものでなければならない。ただし，棒径はこの限りでない。

(a) ＳＳ４１およびＳＭ４１の溶接に用いる溶接棒の規格は，ＪＩＳ　Ｚ　３２１１（軟鋼用被覆アーク溶接棒）とする。

(b) ＳＭ５０の溶接に用いる溶接棒の規格は，ＪＩＳ　Ｚ　３２１２（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）のうちの低水素系とする。

(c) ＳＭ５０とＳＭ４１またはＳＳ４１との溶接に用いる溶接棒の規格は，ＪＩＳ Ｚ 3211（軟鋼用被覆アーク溶接棒）のうちの低水素系または前項に規定したものとする。

(2) 溶接に際しては組合セ治具および仮付などにより材片相互の位置を正確に保ち，なるべく部材の溶接ヒズミが生じないように保持する。ただし，この場合材片に過度のこう束を与えてはならない。

3.3.6　仮付溶接の長サは４０ｍｍ以上とし，原則として本溶接個所で本溶接と同様の方法により行なう。

ただし，表２に示す仮付溶接の条件の一つに該当する場合は溶接部に対し５０℃～１００℃の予熱を行なわなければならない。

3.3.7　本溶接に際し表２に示す条件の一つに該当する場合は，溶接始点から１０ｃｍの範囲を５０℃～１００℃に予熱しなければならない。ただし，自動溶接の場合には適用しない。

鋼材	条件	
	仮付溶接	本溶接
SM41,SS41	(1) 作業場の温度5℃以下 (2) 32mmをこえる厚サ	(1) 作業場の温度5℃以下 (2) 32mmをこえる厚サ
SM50	(1) 作業場の温度10℃以下 (2) 19mmをこえる厚サ	(1) 作業場の温度10℃以下 (2) 25mmをこえる厚サ

（１３）ＪＲＳ溶接鋼鉄道橋：昭和４２年

3.1.4 溶接作業場の温度が0℃以下の場合は，原則として溶接を行なつてはならない。

(2) 溶接に際しては組合せ治具および仮付などにより材片相互の位置を正確に保ち，なるべく部材に溶接ヒズミが生じないように保持しなければならない。ただし，この場合材片に過度のこう束を与えてはならない。

3.2 溶接材料

3.2.1 溶接棒

手溶接の場合，溶接棒は下記の(a)，(b)および(c)に規定された種類から選び，かつ8に規定する試験において使用したものと同等以上のものでなければならない。

(a) ＳＳ４１およびＳＭ４１の溶接に用いる溶接棒の規格は，ＪＩＳ Ｚ 3211（軟鋼用被覆アーク溶接棒）とする。ただし，こう束の大きい部分の溶接に対しては仮付溶接，本溶接とも低水素系の溶接棒を用いるものとする。

(b) ＳＭ５０の溶接に用いる溶接棒の規格は，ＪＩＳ Ｚ 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）のうち低水素系とする。

(c) ＳＭ５０とＳＭ４１またはＳＳ４１との溶接に用いる溶接棒の規格は，ＪＩＳ Ｚ 3211（軟鋼用被覆アーク溶接棒）のうちの低水素系または(b)項に規定したものとする。

(d) 溶接棒の径は，原則として，ＳＭ４１に対し3.2ｍｍ～６ｍｍ，ＳＭ５０に対し４ｍｍ～６ｍｍとする。

3.2.2 ワイヤおよびフラックス

サブマージアーク溶接の場合，ワイヤの規格は，ＪＩＳ Ｚ 3311（サブマージアーク溶接用ワイヤ）とし，フラックスはこれに適合するものを用いるものとする。ただし，両者の組合わせは8に規定する試験において使用したものと同等以上のものとし，溶接金属の衝撃値が母材の規格衝撃値と同等以上のものでなければならない。

3.3.7 本溶接および仮付溶接に際し，表2に示す条件のいづれかに該当する場合には，溶接線周に沿つて両側5cmの範囲が同表による温度となるよう予熱しなければならない。なお，サブマージアーク溶接の場合には本項を適用しない。

鋼材	本溶接		仮付溶接	
	条件	予熱温度		予熱温度
SM41 または SS41	(1)作業場の温度5℃以下の場合 (2)こう束の大きい場合 (3)板厚32mm以上の場合	50℃ 以上	(1)作業場の温度5℃以下の場合 (2)こう束の大きい場合 (3)板厚32mm以上の場合	50℃ 以上
SM50	(1)作業場の温度10℃以下の場合 (2)こう束の大きい場合 (3)板厚25mm以上38mm未満の場合	50℃ 以上	(1)作業場の温度10℃以下の場合 (2)こう束の大きい場合 (3)板厚19mm以上32mm未満の場合	50℃ 以上
	板厚38mm以上の場合	100℃ 以上	板厚32mm以上の場合	100℃ 以上

（１４）鋼鉄道橋設計標準解説：昭和４５年

2. SS 41, SM 41 および SMA 41 の溶接に用いる溶接棒は，JIS Z 3211（軟鋼用被覆アーク溶接棒）の規格に適合するものを用いるものとし，SM 50 の溶接に用いる溶接棒は JIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）のうち 50 キロ級低水素系の規格に，SM 50 Y,SM 53 および SMA 50 の溶接に用いる溶接棒は，53 キロ級低水素系の規格に，それぞれ適合するものを用いるものとする。
3. 前項の溶着部の基本許容応力度は，放射線検査の結果の程度および現場溶接の場合における施工程度に応じて，低減して用いるものとする。

（１５）ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和４６年

溶接棒	JIS Z 3211（軟鋼用被覆アーク溶接棒） JIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）
ワイヤ	JIS Z 3311（サブマージアーク溶接用ワイヤ）または同等以上のもの
フラックス	ワイヤに適合するもの

備考 1）溶接棒の銘柄およびワイヤとフラックスの組み合わせならびに銘柄については，「適用に関する事項」20項を参照のこと。
2）サブマージアーク溶接のワイヤーおよびフラックスは，その溶着金属の衝撃値が，母材の規格値と同等以上のものでなければならない。
3）JIS G 3114（溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材）の溶接には，耐候性溶接棒および耐候性のワイヤとフラックスの組み合わせを使用しなくてもよい。

20. 溶接棒の銘柄およびワイヤとフラックスの組み合せ　溶接に使用する溶接棒の銘柄およびワイヤとフラックスの組み合わせについては　JRS 99000−1(品質管理要求共通事項)に規定する品質管理実施計画書に，使用区分，材質，グループ溶接，すみ肉溶接，主要部材，2次部材ごとに登録するものとする。

5.3　溶接棒の使用区分

各種鋼材に対する溶接棒の使用区分は表−9による。

表−9　鋼材に対する溶接棒の使用区分

鋼材の組み合わせ		溶接棒
①	接合される鋼材が，SS41，SM41，SMA41相互のとき。	JIS Z 3211(軟鋼用被覆アーク溶接棒)のもの，またはJIS Z 3212(高張力鋼用被覆アーク溶接棒)の50キロ級，ただし拘束の大きいときはこれらのうち低水素のもの。
②	接合される鋼材がSM50相互のとき。	JIS Z 3212(高張力鋼用被覆アーク溶接棒)の50キロ級のうち低水素のもの。
③	接合される鋼材がSM50Y、SM53、SMA50相互のとき	JIS Z 3212(高張力鋼用被覆アーク溶接棒)の50キロ級または53キロ級のうち低水素のもの。
④	接合される鋼材が①と②または①と③のとき。	JIS Z 3211(軟鋼用被覆アーク溶接棒)のうち低水素のものまたは②に規定したもの。
⑤	接合される鋼材が②と③のとき。	③に規定したもの。

5.1.3　溶接に際しては，組立て治具および組立用溶接などにより，材片相互の位置を正確に保ち，できるだけ部材に溶接ひずみが生じないように保持しなければならない。ただし，この場合われを生じさせないよう材片に過度の拘束を与えてはならない。

5.8　組立用溶接は，つぎにより行なうものとする。

(1)　組立用溶接は長さ40mm以上とし，本溶接と同様の方法を適用し，原則として本溶接箇所に施工する。なお主要部材では，組立用溶接のサイズは，4mm以上とし，その間隔は400mm以下とする。

(2)　予熱は，表−10によるものとする。

(3)　組立用溶接にわれが生じた場合には，健全な溶接部に達するまで，その部分をはつりとり，必要に応じて，再度組立溶接を行なうものとする。

表－10　予　　熱

鋼　材	本　溶　接		組立用溶接	
	条　　件	予熱温度	条　　件	予熱温度
SS41 または SM41, SMA41	(1) 0℃＜作業場の温度≦5℃ (2) 拘束の大きい場合 (3) 板厚32mm以上の場合	50℃以上	(1) 0℃＜作業場の温度≦5℃ (2) 拘束の大きい場合 (3) 板厚32mm以上の場合	50℃以上

表－10　予　熱（つづき）

鋼　材	本　溶　接		組立用溶接	
	条　　件	予熱温度	条　　件	予熱温度
SM50 または SM50Y, SM53, SMA50	(1) 0℃＜作業場の温度≦10℃ (2) 拘束の大きい場合 (3) 板厚25mm以上38mm未満の場合	50℃以上	(1) 0℃＜作業場の温度≦10℃ (2) 拘束の大きい場合 (3) 板厚19mm以上32mm未満の場合	50℃以上
	板厚38mm以上の場合	100℃以上	板厚32mm以上の場合	100℃以上

5.10　予　　熱

5.10.1　本溶接および組立用溶接に際し，表－10に示す条件のいづれかに該当する場合には，溶接線から50mmの範囲が同表に示す温度となるよう，予熱しなければならない。なお，サブマージアーク溶接の場合には　この規定を適用しない。

5.10.2　鋼材の規格証明書から求めた炭素当量が，大きいときには，溶接材料，溶接方法等を別途考慮しなければならない。なお，その場合の炭素当量の計算には，つぎの式を用いるものとする。

$$Ceq = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \quad (\%)$$

5.11　溶接作業場の温度が0℃以下の場合は，原則として溶接を行なってはならない。

5.15　3.1(2)表－3に規定する寒冷地用鋼材の溶接は，下記による。

(1) 主要部材の引張りフランジのグループ溶接継手は，原則として手溶接で施工するものとする。

(2) 主要部材の手溶接およびサブマージアーク溶接を用いたグループ溶接の溶着金属のVノッチシャルピー衝撃値は，母材の規格値以上でなければならない。なお使用する溶接棒およびワイヤとフラックスの組み合わせ，ならびに施工方法の選定にあたっては，Vノッチシャルピー衝撃値を確認するものとし，その成績表の取扱い方法は，「適用に関する事項」の22項による。

（１６）鋼鉄道橋設計標準解説：昭和４９鋼年

溶接材料，リベットおよびボルトの材料は次の各号による。

1. 手溶接用溶接棒は 表 3.2 に示すところによる。

表 3.2

接合される鋼材	溶接棒の規格	溶接棒種別
SS 41，SM 41，SMA 41	JIS Z 3211（軟鋼用被覆アーク溶接棒）	43 キロ級
SM 50	JIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）	50 キロ級のうち低水素系
SM 50 Y，SM 53，SMA 50		53 キロ級のうち低水素系
SM 58，SMA 58		58 キロ級のうち低水素系

2. サブマージアーク溶接のためのワイヤは，JIS Z 3311（サブマージアーク溶接用ワイヤ）によるものとし，溶接する鋼材の材質により，それに適合するワイヤおよびフラックスを選ぶものとする。

（１７）ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和５０年

5.1.3 溶接に際しては，組立て治具および組立用溶接などにより、材片相互の位置を正確に保ち，できるだけ部材に溶接ひずみが生じないように保持しなければならない。ただし、この場合われを生じさせないよう材片に過度の拘束を与えてはならない。

5.8 組立用溶接は，つぎにより行なうものとする。

(1) 組立用溶接は長さ４０㎜以上とし，本溶接と同様の方法を適用し，原則として本溶接箇所に施工する。なお主要部材では、組立用溶接のサイズは、４㎜以上とし，その間隔は４００㎜以下とする。

(2) 予熱は，表－１０によるものとする。

(3) 組立用溶接にわれが生じた場合には，健全な溶接部に達するまで，その部分をはつりとり，必要に応じて，再度組立溶接を行なうものとする。

表－10 予　熱

鋼　材	条　件	予熱温度
SS41，SM41 または，SMA41	(1) 0℃＜作業場の温度≦5℃ (2) 拘束の大きい場合 (3) 板厚３２㎜以上の場合	５０℃以上

鋼　材	条　件	予熱温度
SM50，SM50Y，SM53 または SMA50	(1) 0℃<作業場の温度≦10℃ (2) 拘束の大きい場合 (3) 板厚25㎜以上38㎜未満の場合	50℃以上
	板厚38㎜以上の場合	100℃以上
SM58または SMA58	板厚25㎜未満の場合	50℃以上
	板厚25㎜以上の場合	100℃以上

5.9　主要部材には，原則としてストロングバック（変形を防止するための拘束板）を使用してはならない。やむを得ず使用するときは，「適用に関する事項」の21項により取り扱うものとする。

5.10　予　　熱

5.10.1　本溶接および組立用溶接に際し，表－10に示す条件のいづれかに該当する場合には，溶接線から50㎜の範囲が同表に示す温度となるよう，予熱しなければならない。なお，サブマージアーク溶接の場合には，この規定を適用しない。

5.10.2　鋼材の規格証明書から求めた炭素当量が，大きいときには，溶接材料，溶接方法等を別途考慮しなければならない。なお，その場合の炭素当量の計算には，つぎの式を用いるものとする。

$$Ceq = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \quad (\%)$$

5.11　溶接作業場の温度が0℃以下の場合には，原則として溶接を行なってはならない。

5.16　3.1の表－3に規定する寒冷地用鋼材の溶接は，下記による。

(1) 主要部材の引張りフランジのグループ溶接継手は，原則として手溶接で施工するものとする。

(2) 主要部材の手溶接およびサブマージアーク溶接を用いたグループ溶接の溶着金属のVノッチシャルピー衝撃値は，母材の規格値以上でなければならない。

(3) (2)において使用する溶接棒およびワイヤとフラックスの組み合わせ，ならびに施工方法の選定にあたっては，Vノッチシャルピー衝撃値を確認するものとし，その成績表の取扱い方法は，「適用に関する事項」の22項により取り扱うものとする。

（１８）ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和５３年

溶接棒	JIS Z 3211（軟鋼用被覆アーク 溶接棒） JIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒） JIS Z 3213（低合金高張力鋼用被覆アーク溶接棒）
ワイヤ	JIS Z 3311（サブマージアーク溶接用ワイヤ）または同等以上のもの JIS Z 3312（炭酸ガス溶接用ワイヤ）または同等以上のもの
フラックス	ワイヤに適合するもの
炭酸ガス	JIS K 1106（液化炭酸）
アルゴン	JIS K 1105（溶接用アルゴンガス）

備考　1）溶接棒の銘柄及びワイヤとフラックスの組み合わせならびに銘柄については，実施計画書に記載されているものを使用する。

2）サブマージアーク溶接のワイヤ及びフラックスは，その溶着金属のシャルピー吸収エネルギーが，母材の規格値と同等以上のものでなければならない。

3）JIS G 3114（溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材）の溶接には，耐候性溶接棒及び耐候性のワイヤとフラックスの組み合わせを使用しなくてもよい。

表－9　鋼種に対する溶接棒の使用区分

鋼種の組み合わせ		溶接棒
①	接合される鋼材がSS41，SM41，SMA41相互のとき。	JIS Z 3211（軟鋼用被覆アーク溶接棒）のもの，またはJIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）の５０キロ級，ただし，拘束の大きいときはこれらのうち低水素のもの。
②	接合される鋼材がSM50相互のとき。	JIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）の５０キロ級のうち低水素のもの。
③	接合される鋼材がSM50Y，SM53，SMA50相互のとき。	JIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）の５０キロ級，または５３キロ級のうち低水素のもの。
④	接合される鋼材がSM58，SMA58相互のとき。	JIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）の５８キロ級，またはJIS Z 3213（低合金高張力鋼用被覆アーク溶接棒）の６２キロ級。
⑤	接合される鋼材が①と②，①と③または①と④のとき。	JIS Z 3211（軟鋼用被覆アーク溶接棒）のうち低水素のものまたは②に規定したもの。
⑥	接合される鋼材が②と③のとき。	③に規定したもの。
⑦	接合される鋼材が②と④のとき。	③または④に規定したもの。

⑧	接合される鋼材が③と④のとき	③または④に規定したもの。

5.1.3　溶接に際しては，組立て治具及び組立用溶接などにより，材片相互の位置を正確に保ち，できるだけ部材に溶接ひずみが生じないように保持しなければならない。ただし，この場合，われを生じさせないよう材片に過度の拘束を与えてはならない。

5.8　組立用溶接は，つぎにより行なうものとする。

(1) 組立用溶接は長さ４０㎜以上とし，本溶接と同様の方法を適用し，原則として本溶接箇所に施工する。なお，主要部材では，組立用溶接のサイズは，４㎜以上とし，その間隔は４００㎜以下とする。

(2) 予熱は，表－10によるものとする。

(3) 組立用溶接にわれが生じた場合には，健全な溶接部に達するまで，その部分をはつりとり，必要に応じて，再度組立溶接を行なうものとする。

表－10　予　　熱

鋼　材	条　　件	予熱温度
SS41，SM41 またはSMA41	(1) 0℃＜作業場の温度≦5℃ (2) 拘束の大きい場合 (3) 板厚３２㎜以上の場合	５０℃以上

表－10　予　　熱（つづき）

鋼　材	条　　件	予熱温度
SM50，SM50Y，SM53 または SMA50	(1) 0℃＜作業場の温度≦10℃ (2) 拘束の大きい場合 (3) 板厚２５㎜以上３８㎜未満の場合	５０℃以上
	板厚３８㎜以上の場合	１００℃以上
SM58 または SMA58	板厚２５㎜未満の場合	５０℃以上
	板厚２５㎜以上の場合	１００℃以上

5.9　主要部材には，原則としてストロングバック（変形を防止するための拘束板）を使用してはならない。やむを得ず使用するときは，「適用に関する事項」の２０により取り扱うものとする。

5.10 予　　熱

5.10.1 本溶接及び組立用溶接に際し，表－10 に示す条件のいづれかに該当する場合には，溶接線から50㎜の範囲が同表に示す温度となるよう，予熱しなければならない。なお，サブマージアーク溶接の場合には，この規定を適用しない。

5.10.2 鋼材の規格証明書から求めた炭素当量が大きいときには，溶接材料，溶接方法等を別途考慮しなければならない。なお，その場合の炭素当量の計算には，つぎの式を用いるものとする。

$$Ceq = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \quad (\%)$$

5.11 溶接作業場の温度が0°C以下の場合には，原則として溶接を行なってはならない。

5.16 3.1の表－3に規定する寒冷地用鋼材の溶接は，下記による。

(1) 主要部材の引張りフランジのグループ溶接継手は，原則として手溶接で施工するものとする。

(2) 主要部材の手溶接及びサブマージアーク溶接を用いたグループ溶接の溶着金属のシャルピー吸収エネルギーは，母材の規格値以上でなければならない。

(3) (2)において使用する溶接棒及びワイヤとフラックスの組み合わせ，ならびに施工方法の選定にあたっては，シャルピー吸収エネルギーを確認するものとし，15.2により取扱うものとする。

（１９）ＪＲＳ鋼鉄道橋：昭和５６年

溶接棒	JIS Z 3211（軟鋼用被覆アーク溶接棒） JIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒） JIS Z 3213（低合金高張力鋼用被覆アーク溶接棒）
ワイヤ	JIS Z 3311（鋼サブマージアーク溶接材料）または同等以上のもの JIS Z 3312（炭酸ガスアーク溶接用鋼ワイヤ）または同等以上のもの
フラックス	ワイヤに適合するもの
炭酸ガス	JIS K 1106（液化炭酸）
アルゴン	JIS K 1105（溶接用アルゴンガス）

備考 1) 溶接棒の銘柄及びワイヤとフラックスの組み合わせならびに銘柄については，実施計画書に記載されているものを使用する。

2) サブマージアーク溶接のワイヤ及びフラックスは，その溶着金属の強度及びシャルピー吸収エネルギーが，母材の規格値と同等以上のものでなければならない。

3) JIS G 3114（溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材）の溶接には，耐候性溶接棒及び耐候性のワイヤとフラックスの組み合わせを使用しなくてもよい。

表－9　鋼種に対する溶接棒の使用区分

鋼種の組み合わせ		溶接棒
①	接合される鋼材がSS41，SM41，SMA41相互のとき。	JIS Z 3211（軟鋼用被覆アーク溶接棒）のもの，またはJIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）の50キロ級，ただし，拘束の大きいときはこれらのうち低水素のもの。
②	接合される鋼材がSM50相互のとき。	JIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）の50キロ級のうち低水素のもの。
③	接合される鋼材がSM50Y，SM53，SMA50相互のとき。	JIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）の50キロ級，または53キロ級のうち低水素のもの。
④	接合される鋼材がSM58，SMA58相互のとき。	JIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）の58キロ級，またはJIS Z 3213（低合金高張力鋼用被覆アーク溶接棒）の62キロ級。
⑤	接合される鋼材が①と②，①と③または①と④のとき。	JIS Z 3211（軟鋼用被覆アーク溶接棒）のうち低水素のものまたは②に規定したもの。
⑥	接合される鋼材が②と③のとき。	③に規定したもの。
⑦	接合される鋼材が②と④のとき。	③または④に規定したもの。
⑧	接合される鋼材が③と④のとき。	③または④に規定したもの。

5.1.4　溶接に際しては，組立て治具及び組立用溶接などにより，材片相互の位置を正確に保ち，できるだけ部材に溶接ひずみが生じないように保持しなければならない。ただし，この場合，われを生じさせないよう材片に過度の拘束を与えてはならない。

5.8　組立用溶接は，つぎにより行なうものとする。

(1) 組立用溶接は，原則として長さ80㎜以上とし，本溶接と同様の方法を適用し，本溶接箇所に施工する。なお，組立用溶接のサイズは，4㎜以上とし，その間隔は400㎜以下とする。

(2) 組立用溶接は，低水素系溶接棒を用いる手溶接，または半自動アーク溶接を用いるのがよい。

(3) 予熱は，表－10によるものとする。なお，すみ肉溶接及び裏溶接のない開先溶接の場合で，ルートのすき間が大きいものは表－10の条件にかかわらず表に示す温度の予熱を行なうものとする。

(4) 組立用溶接にわれが生じた場合には，健全な溶接部に達するまで，その部分をはつりとり，必要に応じて，再度組立溶接を行なうものとする。

表－10　予　　熱

鋼　　材	条　　件	予熱温度	
		手溶接及び半自動アーク溶接	サブマージアーク溶接
SS41，SM41，またはSMA41	(1) 0℃＜作業場の温度≦5℃ (2) 拘束の大きい場合 (3) 板厚32㎜以上の場合	50℃以上	―――

表－10　予　　熱（つづき）

鋼　　材	条　　件	予熱温度	
		手溶接及び半自動アーク溶接	サブマージアーク溶接
SM50，SM50Y，SM53　または SMA50	(1) 0℃＜作業場の温度≦10℃ (2) 拘束の大きい場合 (3) 板厚25㎜以上38㎜未満の場合	50℃以上	―――
	板厚38㎜以上の場合	100℃以上	50℃以上
SM58　または SMA58	板厚25㎜未満の場合	50℃以上	50℃以上
	板厚25㎜以上の場合	100℃以上	50℃以上

5.9　主要部材には，原則としてストロングバック（変形を防止するための拘束板）を使用してはならない。やむを得ず使用するときは，「適用に関する事項」の18により取り扱うものとする。

5.10 予　熱

5.10.1　予熱方法は電気抵抗加熱法，固定バーナー，手動バーナーなどにより所定の予熱を行なうものとする。ガス炎により予熱する場合は，結露に注意しなければならない。

5.10.2　本溶接及び組立用溶接に際し，表－10に示す条件のいづれかに該当する場合には，溶接線から50㎜の範囲が同表に示す温度となるよう，予熱しなければならない。

5.10.3　鋼材の規格証明書から求めた炭素当量が0.44％をこえる場合は，溶接材料，溶接方法等を別途考慮しなければならない。なお，その場合の炭素当量（Ceq）の計算には，つぎの式を用いるものとする。

$$Ceq\,(\%) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14}$$

5.11　溶接作業場の温度が0℃以下の場合には，原則として溶接を行なってはならない。

5.16　3.1の表－3に規定する寒冷地用鋼材の溶接は，下記による。

(1)　主要部材の引張りフランジの突合せ溶接は，原則として手溶接で施工するものとする。

(2)　主要部材の突合せ溶接の溶着金属のシャルピー吸収エネルギーは，母材の規格値以上でなければならない。

(3)　(2)において使用する溶接棒及び鋼ワイヤとフラックスの組み合わせ，ならびに施工方法の選定にあたっては，シャルピー吸収エネルギーを確認するものとし，14.2により取扱うものとする。

（２１）鉄道構造物等設計標準・同解説：平成４年

1. 手溶接用溶接棒は**表 2.3.1** のものを用いる．

表 2.3.1

溶接棒の規格	溶接棒種別
JIS Z 3211（軟鋼用被覆アーク溶接棒）	引張強度 420 N/mm²
JIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）	引張強度 490 N/mm² 引張強度 520 N/mm² 引張強度 570 N/mm²
JIS Z 3214（耐候性鋼用被覆アーク溶接棒）	引張強度 490 N/mm² 引張強度 570 N/mm²

2. サブマージアーク溶接および炭酸ガスアーク溶接のためのワイヤ等は，それぞれ次の各号によるものとし，溶接する鋼材の材質によりそれに適合するものを選ぶものとする．また，その他の溶接方法については性能を確認して採用するものとする．

（1） サブマージアーク溶接用ワイヤおよびフラックスは，それぞれ JIS Z 3351（炭素鋼および低合金鋼用サブマージアーク溶接ワイヤ）および JIS Z 3352（炭素鋼および低合金鋼用サブマージアーク溶接フラックス）による．

（2） ガスシールドアーク溶接のためのワイヤは，JIS Z 3312（軟鋼および高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤ），JIS Z 3313（軟鋼および高張力鋼用アーク溶接フラックス入ワイヤ），JIS Z 3315（耐候性鋼用炭酸ガスアーク溶接ソリッドワイヤ）および JIS Z 3320（耐候性鋼用炭酸ガスアーク溶接フラックス入ワイヤ）による．

（1） 溶接棒の選択は良い溶接をするうえに重要であり，製作にあたっては，その作業性，でき上がりの性能などについて十分検討されたものでなければならない．

手溶接に用いる溶接棒は，各鋼種に対し JIS の規格に適合したものとするのが原則であるが 490MPa 級鋼以上では低水素系のものを用いる．

なお，490MPa 級鋼と 400MPa 級鋼とを接合する場合も低水素系の棒とし，また 400MPa 級鋼でも厚板のときや，拘束の大きい部分を溶接する場合にも低水素系の溶接棒を用いるのがよい．また，鋼種に対する溶接棒の使用区分は「鋼構造物の製作標準」を参考とするのがよい．

（2） サブマージアーク溶接においては，目的に応じてワイヤとフラックスの適正な組合せを選ぶことが重要である．

また，炭酸ガスアーク溶接の場合にも接合する鋼材に応じたものを用いる必要がある．

耐候性鋼材の溶接には耐候性のあるものを使用するのが好ましく，耐候性を考えたワイヤとフラックスの組合せもあるが，サブマージアーク溶接の場合には母材を溶かす量が多いため，母材から耐候性成分が溶け込み溶着部の耐候性も保たれるので，耐候性用の溶接材料は一般には用いられない．しかし，無塗装仕様の場合には適切な耐候性溶接材料を用いる必要があると考えられる．

2.2 の解説 (2) で述べたような寒冷地用鋼材の溶接部は，低温においても靱性が低下しないことが必要である．サブマージアーク溶接のそれは劣る場合もあるので，溶接用材料や施工方法については十分検討する必要がある．

なお，自動溶接にはサブマージアーク溶接および炭酸ガスアーク溶接のほか，エレクトロスラグ溶接など種々の新しい方法が開発され実用化されているが，これらについては目的に応じてその溶接方法を理解のうえ適用するのが望ましい．

表 5.7.1　鋼種に対する溶接棒の使用区分

鋼材の組合せ		溶接棒
①	接合される鋼材が SS 400, SM 400, SMA 400 相互のとき	・JIS Z 3211（軟鋼用被覆アーク溶接棒） ・JIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）の 490 N/mm² 級．ただし，拘束の大きいときは，これらのうち低水素のもの． ・JIS Z 3214（耐候性鋼用被覆アーク溶接棒）の 490 N/mm² 級．ただし，拘束の大きいときは，これらのうち低水素のもの．
②	接合される鋼材が SM 490 相互のとき	・JIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）の 490 N/mm² 級のうち低水素のもの． ・JIS Z 3214（耐候性鋼用被覆アーク溶接棒）の 490 N/mm² 級のうち低水素のもの．
③	接合される鋼材が SM 490 Y, SM 520, SMA 490 相互のとき	・JIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）の 490 N/mm² 級または 520 N/mm² 級のうち低水素のもの． ・JIS Z 3214（耐候性鋼用被覆アーク溶接棒）の 490 N/mm² 級または 570 N/mm² 級のうち低水素のもの．
④	接合される鋼材が SM 570, SMA 570 相互のとき	・JIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）の 570 N/mm² 級． ・JIS Z 3214（耐候性鋼用被覆アーク溶接棒）の 570 N/mm² 級．
⑤	接合される鋼材が①と②，①と③または①と④のとき	JIS Z 3211（軟鋼用被覆アーク溶接棒）のうち低水素のもの，または②に規定したもの．ただし，①と③のときは③および①と④のときは④に規定したものを使用してよい．
⑥	接合される鋼材が②と③のとき	③に規定したもの．
⑦	接合される鋼材が②と④または③と④のとき	③または④に規定したもの．

5.1　組　　立

1. 組立に際しては，原則として支材やストロングバックなどの異材を母材に仮付けしないこと．また，補助ジグを利用するなどして，無理のない姿勢で組立溶接ができるようにすること．

5.2　主要部材の組立用溶接

1. 組立用溶接は，原則として長さ 80 mm 以上とし，本溶接と同様の方法を適用し，本溶接箇所に施工すること．なお，組立用溶接のサイズは，4 mm 以上とし，その間隔は 400 mm 以下とすること．
2. 組立用溶接は，低水素溶接棒を用いる手溶接または半自動アーク溶接を用いるのを原則とする．
3. 予熱は，**表 5.2.1** によること．

表 5.2.1　予　　熱

鋼材	条件	予熱温度（℃）	
		手溶接および半自動アーク溶接	サブマージアーク溶接
SS 400, SM 400 SMA 400	(1) 0℃＜作業場の温度≦5℃ (2) 拘束の大きい場合 (3) 板厚 32 mm 以上の場合	50 以上	
SM 490, SM 490 Y SM 520 SMA 520	(1) 0℃＜作業場の温度≦10℃ (2) 拘束の大きい場合 (3) 板厚 25 mm 以上 38 mm 未満の場合	50 以上	
	板厚 38 mm 以上の場合	100 以上	50 以上
SM 570 SMA 570	板厚 25 mm 未満の場合	50 以上	50 以上
	板厚 25 mm 以上の場合	100 以上	50 以上

注）サブマージアーク溶接の予熱は，**5.3** の 3. 項の処理後すみやかに本溶接を行う場合には，SM 570 Q 材で板厚 25 mm 以上の場合を除き省略することができる．

4．　組立用溶接に割れが生じた場合には，健全な溶接部に達するまでその部分をはつり取り，必要に応じて再度組立溶接を行うこと．

組立用溶接の長さを 80mm 以上と規定したのは，T 継手にショートビードのすみ肉溶接を行った場合，ルートからボンドに沿って割れが発生しやすいが，ビード長さが 80mm 以上となると，割れの発生が止まるとの研究成果に基づくものである．しかし，最近の研究によれば厚い方の板厚が 12mm 以下の場合や鋼材の炭素当量が 0.36% 以下では組立用溶接長が 50mm であっても割れが発生しないことが明らかになっている[1]．したがって，短い組立用溶接しかできないディテール等では上記の研究成果を参考として組立用溶接長さを 50mm 程度としてもよい．

4．　溶接に際しては，組立ジグおよび組立用溶接などにより，材片相互の位置を正確に保ち，できるだけ部材に溶接ひずみが生じないように保持すること．ただし，この場合，割れを生じさせないよう材片に過度の拘束を与えないこと．

（2）　本溶接および組立用溶接に際し，**表 5.2.1** に示す条件のいずれかに該当する場合には，溶接線から 50mm の範囲が同表に示す温度となるよう予熱すること．

12．　鋼材の規格証明書から求めた炭素当量が 0.44% を超える場合は，溶接材料，溶接方法等を別途考慮しなければならない．なお，その場合の炭素当量 C_{eq} の計算には，次の式を用いること．

$$C_{eq}(\%)=C+Mn/6+Si/24+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14+(Cu/13)$$

ただし，（　）の項は，Cu≧0.5% の場合加えるものとする．

9．　溶接作業場の温度が 0°C 以下の場合には，原則として溶接作業を行わない．

（２２）鉄道構造物等設計標準・同解説：平成２１年

（1）　溶接材料，高力ボルトや普通ボルト等の接合用鋼材は，その材料が構造物の部位や部材において必要とされる種々の特性を有しているものとする．

（2）　JIS 等の規格に適合している接合用鋼材は，（1）に示す必要な材料特性を有するものとみなしてよい．一般に摩擦接合用高力ボルトとして，JIS B 1186「摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット」に適合する F 8 T，F 10 T 等を用いる場合には，特別な検討を行わなくてよい．

（3）　JIS 等の規格に定められていない接合用鋼材は，その材料が構造物の部位や部材において必要とされる種々の特性を有していることを試験等により確認するものとする．

【解説】

（1），（2）について

鋼・合成構造物に用いられる接合用鋼材には，溶接材料や高力ボルト，普通ボルト，ピンおよびアンカーボルト等がある．また，JIS に適合している接合用鋼材であれは，通常の使用での品質が一定水準以上であるものと考えられるため，（1）に示した品質を有しているものとした．

1)　溶接材料

溶接材料は，溶接部が所要の材料特性を満足し，溶接部にブローホールや割れ等の欠陥を生じないこと，溶込みが深いこと，そして作業性の良いものであることが望ましい．

被覆アーク溶接材料およびガスシールドアーク溶接，そしてサブマージアーク溶接に使用するワイヤ等は**解説表 5.3.6** に示す中から溶接する鋼材の性質に適合するものを選ぶものとする．しかし，鋼材の性質に適合した溶接材料でも，その作業性には差異があり，材料特性にもばらつきがあることから，必要に応じて使用前に施工試験や割れ試験等を行い，作業性が溶接部の材料特性に与える影響について確認するのがよい．

一般に，手溶接に用いる溶接材料は，各鋼種に対し JIS の規格に適合したものとするが，490 N/mm^2 級を超える鋼材では低温割れ防止の観点から低水素系のものを用いるのが望ましい．さらに，490 N/mm^2 級と 400 N/mm^2 級の鋼材を溶接する場合も低水素系の溶接材料とし，また，400 N/mm^2 級の鋼材でも厚板や拘束の大きい部分を溶接する場合にも低水素系の溶接材料を用いるのがよい．本編に示す鋼種に対する溶接材料の使用区分は「**施工編 4.7**　溶接材料の管理」に基づくものとする．

サブマージアーク溶接においては，目的に応じてワイヤとフラックスの適正な組合せを選ぶことが重要である．また，炭酸ガスアーク溶接の場合にも接合する鋼材に応じたものを用いる必要がある．

耐候性鋼材の溶接には，耐候性鋼用の溶接材料を使用するのが好ましい．サブマージアーク溶接の場合には，母材を溶かす量が多く溶接金属に耐候性成分が溶け込むため，耐候性の溶接材料は一般には用いられていない．しかし，炭酸ガスアーク溶接の場合には適切な耐候性鋼用の溶接材料を用いるのがよい．

気温が著しく低下する地域に使用する鋼材の溶接部は，低温においてもじん性が低下しないことが必要であるが，サブマージアーク溶接の場合，じん性が低下することがあるので，溶接材料や施工方法については事前に十分検討する必要がある．

被覆アーク溶接材料やガスシールドアーク溶接およびサブマージアーク溶接以外の溶接法については，溶接材料やその他の溶接法に関する JIS がほとんどなく，また使用実績も少ないので，その採用にあたっては十分な検討を行い，その安全性を確かめてから使用するものとする．

解説表 5.3.6　溶接材料の種類

溶接材料の適用規格	溶接材料種別
JIS Z 3211（軟鋼用被覆アーク溶接棒）	引張強度 420 N/mm^2
JIS Z 3212（高張力鋼用被覆アーク溶接棒）	引張強度 490 N/mm^2 引張強度 520 N/mm^2 引張強度 570 N/mm^2
JIS Z 3214（耐候性鋼用被覆アーク溶接棒）	引張強度 490 N/mm^2 引張強度 570 N/mm^2
JIS Z 3312（軟鋼および高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤ）	引張強度 420 N/mm^2 引張強度 490 N/mm^2 引張強度 540 N/mm^2 引張強度 570 N/mm^2
JIS Z 3313（軟鋼および高張力鋼用アーク溶接フラックス入ワイヤ）	引張強度 420 N/mm^2 引張強度 490 N/mm^2 引張強度 540 N/mm^2 引張強度 590 N/mm^2
JIS Z 3315（耐候性鋼用炭酸ガスアーク溶接ソリッドワイヤ）	引張強度 490 N/mm^2 引張強度 570 N/mm^2
JIS Z 3320（耐候性鋼用炭酸ガスアーク溶接フラックス入ワイヤ）	引張強度 490 N/mm^2 引張強度 570 N/mm^2
JIS Z 3351（炭素鋼および低合金鋼用サブマージアーク溶接ワイヤ）	−
JIS Z 3352（炭素鋼および低合金鋼用サブマージアーク溶接フラックス）	−

表 4.7.1　鋼種に対する溶接材料の使用区分

	鋼材の組合せ	使用区分
①	強度の同じ普通鋼材同士を溶接するとき	普通鋼材の母材と同等以上の機械的性質を有する溶接材料
②	強度の同じ耐候性鋼材同士を溶接するとき	耐候性鋼材の母材と同等以上の機械的性質および耐候性を有する溶接材料
③	強度の異なる普通鋼材同士を溶接するとき	低強度側の普通鋼材母材と同等以上の機械的性質を有する溶接材料
④	強度の異なる耐候性鋼材同士を溶接するとき	低強度側の耐候性鋼材母材と同等以上の機械的性質および耐候性を有する溶接材料
⑤	強度の同じ普通鋼材と耐候性鋼材を溶接するとき	普通鋼材の母材と同等以上の機械的性質を有する溶接材料
⑥	強度の異なる普通鋼材と耐候性鋼材を溶接するとき	普通鋼材の母材と同等以上の機械的性質を有する溶接材料

4.1 組　　立

（1） 組立に際しては，補助治具を利用する等して，無理のない姿勢で組立溶接ができるようにしなければならない．また，支材やストロングバック等の異材を母材に仮付けしてはならない．

4.2 主要部材の組立用溶接

（1） 組立用溶接は，本溶接と同様の方法を適用し，長さは 80 mm 以上として，本溶接箇所に施工することを原則とする．なお，組立用溶接のサイズは，4 mm 以上とし，その間隔は 400 mm 以下とする．

（2） 組立用溶接は，低水素系溶接棒を用いる被覆アーク溶接またはガスシールドアーク溶接によることを原則とする．

（3） 予熱は，**表 4.2.1** による．

表 4.2.1　予　　熱

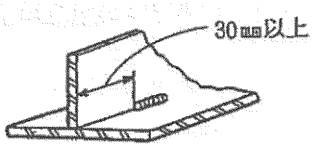
鋼　材	条　件	予熱温度 (℃)	
		被覆アーク溶接	ガスシールドアーク溶接 サブマージアーク溶接
SM 400 SMA 400	(1) 0℃＜作業場の温度≦5℃ の場合 (2) 板厚 40 mm を超える場合	50 以上	不要
SM 490 SM 490 Y	(1) 0℃＜作業場の温度≦10℃ の場合 (2) 板厚 40 mm 以下の場合	50 以上	不要
	板厚 40 mm を超える場合	100 以上	50 以上
SM 520 SMA 490	(1) 0℃＜作業場の温度≦10℃ の場合 (2) 板厚 25 mm 以下の場合	50 以上	不要
SM 570	板厚 25 mm を超え 50 mm 以下の場合	100 以上	50 以上
SMA 570	板厚 50 mm を超える場合	100 以上	100 以上
SBHS 500		不要	不要

注：予熱が不要な場合においても，作業場の温度が 5℃ 以下の場合は 50℃ 程度に予熱する．

（4） 組立用溶接後は溶接部に割れがないことを目視で確認し，割れが生じた場合には，健全な溶接部に達するまでその部分をはつり取り，必要に応じて再度組立溶接を行うものとする．

組立用溶接の長さを 80 mm 以上と規定したのは，T 継手にショートビードのすみ肉溶接を行った場合，ルートからボンドに沿って割れが発生しやすいが，ビード長さが 80 mm 以上となると，割れが発生しないとの研究成果に基づくものである．しかし，文献 1）によれば厚い方の板厚が 12 mm 以下の場合や鋼材の P_{CM} が 0.22% 以下では組立用溶接長が 50 mm であっても割れが発生しないことが明らかになっている．したがって，短い組立用溶接しかできないディテール等では上記の研究成果を参考として，組立用溶接長さを 50 mm 程度としてもよい．

組立溶接は跡が残らないように部材端部を避けて，**解説図 4.2.1** のように部材端部より 30 mm 以上離して行うものとする．



解説図 4.2.1 組立溶接の端部処理

予熱については，最近の研究により従来の炭素当量を指標とするよりも溶接割れ感受性組成（P_{CM}）を用いた方がよいことが明らかになってきた[2]．今回の設計標準の改訂では適用板厚を 75 mm まで拡大したことや高性能鋼材の使用が可能になることから，溶接にあたっては水素による遅れ割れを防止するための予熱条件をより正確に選定することが必要になったため，P_{CM} を基本に予熱条件を見直すこととした．

予熱温度設定のための P_{CM} の条件について，国内の橋梁用鋼材の使用実績に基づき，材質，板厚ごとに P_{CM} について整理すると**解説表 4.2.1** のようになる．

解説表 4.2.1 予熱温度設定のための P_{CM} 条件 （単位：%）

	板厚(mm)		
	$t \leqq 25$	$25 < t \leqq 40$	$40 < t \leqq 75$
SM 400	0.24 以下	0.24 以下	0.24 以下
SMA 400 W	0.24 以下	0.24 以下	0.24 以下
SM 490，SM 490 Y	0.26 以下	0.26 以下	0.27 以下
SM 520，SM 570	0.26 以下	0.27 以下	0.29 以下
SMA 490 W，SMA 570 W	0.26 以下	0.27 以下	0.29 以下

なお，溶接割れ感受性組成（P_{CM}）は次式で計算される．

$$P_{CM}=C+Mn/20+Si/30+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+Cu/20+5B\ (\%)$$

予熱温度は以下により算定する．

$$T_p=1440P_W-392$$

$$P_W=P_{CM}+H_{GL}/60+K/400000$$

ここに，

T_p：予熱温度（℃）

P_{CM}：溶接割れ感受性組成（%）

H_{GL}：グリセリン置換法による溶接金属の拡散性水素量（ml/100 g）

低水素系被覆アーク溶接の場合 $H_{GL}=2$ ml/100 g

サブマージアーク溶接およびガスシールドアーク溶接の場合 $H_{GL}=1$ ml/100 g

K：溶接継手の拘束度

$K=200\cdot t$ (N/mm·mm)

t：板厚，50 mm 以上の場合は 50 mm とする．

（3） 溶接に際しては，組立治具および組立用溶接等により材片相互の位置を正確に保ち，できるだけ部材に溶接ひずみが生じないように保持しなければならない．ただし，この場合，割れを生じさせないよう材片に過度の拘束を与えてはならない．

②本溶接および組立用溶接に際し，**表 4.2.1** に示す条件のいずれかに該当する場合には，溶接線から 100 mm の範囲が同表に示す温度となるよう予熱を行わなければならない．

（1） 溶接作業場の温度が 0℃ 以下の場合には，原則として溶接作業を行ってはならない．

（9） SM 570，SMA 570，SM 520 および SMA 490 の場合，1パスの入熱量を 7,000 J/mm 以下，SM 490，SM 490 Y の場合，入熱量を 10,000 J/mm 以下にする．この入熱量を超える場合は溶接施工試験を実施し，溶接部に所定の品質が確保されることを確認しなければならない．

(10) 溶接中および冷却時には，材片および部材には有害な衝撃および振動を与えてはならない．

（9）について

溶接入熱量が増大すると，溶接金属や熱影響部のじん性や強度が低下し，所定の機械的性質を確保できなくなる可能性がある．このため条文のように入熱制限を規定することとし，この条件を超える場合は「**4.6** 溶接施工試験」により溶接部の品質に問題がないことを確認する必要がある．

謝辞

§３においては，橋梁製作施工会社 10 社に溶接部の割れに関するアンケート調査を実施し，貴重なデータを頂き，現在でも僅かではあるが溶接割れ（低温割れ）が発生していることを確認することができました。

また，§４における試験体の供試鋼材は，横浜市 道路局橋梁課様(試験ケースの英字記号 E のもの)，国土交通省関東地方整備局 東京国道事務所様(試験ケースの英字記号 S のもの)，ならびに公益財団法人鉄道総合技術研究所様(試験ケースの英字記号 T のもの)より貴重な古材を提供していただき，古材を使用した実験・検証を行うことができました。

アンケート及び古材の提供により，貴重な事例及びデータの蓄積ができ，本WGの報告書の内容を深めることができました。ここに記して深く感謝の意を表します。

鋼橋技術研究会　施工部会　報告書

２．溶接継手の目違いに関する調査研究

施工部会　溶接継手の目違いに関する調査研究

役　職	氏　名	所　属
部　会　長	舘石　和雄	名古屋大学
幹事・WG長	穴見　健吾	芝浦工業大学
部　会　員	糟谷　正	大阪大学
〃	内田　大介	三井造船 株式会社
〃	澁谷　敦	宮地エンジニアリング 株式会社
〃	瀬能　浩実	株式会社 オリエンタルコンサルタンツ
〃	細見　直史	株式会社 東京鐵骨橋梁

※所属については H25.3 時点

旧 部 会 員	西塚　誠	高田機工 株式会社
〃	平間　友	日鉄トピーブリッジ 株式会社
〃	村島　裕幸	日鉄トピーブリッジ 株式会社

溶接継手の目違いに関する調査研究　目次

1. はじめに ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－1
1-1. 研究の背景と目的 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－1
1-2. 鋼橋の部材の製作過程にみる目違いの発生要因 ・・・・・・・・・・・・・・ 2－2
2. 目違いに関する基準類の整理 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－7
3. 目違いの疲労に対する影響に関する既往の研究の整理 ・・・・・・・・・・・・ 2－10
3-1. 溶接継手部の疲労強度に対する目違いの影響の検討 ・・・・・・・・・・ 2－11
3-2. 大型構造物を対象とした目違いの疲労に関する影響の検討 ・・・・・・ 2－16
3-3. 目違いの検査手法に関する基準 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－20
4. 実橋梁部材の目違い計測 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－23
4-1. 計測方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－23
4-2. 計測結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－24
4-3. 計測精度 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－26
4-4. まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－27
4-5. 計測データ集 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－27
5. 目違いによる溶接継手部の応力上昇に関する解析的検討 ・・・・・・・・・・ 2－37
5-1. 継手モデルを用いた検討 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－37
5-2. 実橋梁における主桁ウェブ-横桁フランジ溶接部の目違いの影響 ・・・ 2－49
5-2-1. 鈑桁橋 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－49
5-2-2. 箱桁橋 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－56
5-3. 実橋梁モデルと継手モデルの目違いの影響 ・・・・・・・・・・・・・・ 2－78
6. 鋼橋溶接継手部の疲労に対する目違いの影響評価 ・・・・・・・・・・・・・ 2－81
6-1. 対象橋梁と疲労設計結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－81
6-2. 疲労設計結果の分析 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－99
6-3. 疲労設計結果に対する目違いの影響評価 ・・・・・・・・・・・・・・・ 2－101
7. まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2－106

§1　はじめに

1-1. 研究の背景と目的

近年，鋼橋に発生する疲労損傷が多く報告されており社会問題となっている。これらの疲労損傷の多くは溶接継手部から発生しているが，その原因として，溶接継手部は形状の不連続部となり応力集中が発生すること，溶接による大きな引張残留応力が継手部に存在することなどが挙げられる。溶接継手部，特に疲労亀裂の発生起点となる溶接止端部の応力集中は，継手形式・形状・寸法といった構造的な因子と，溶接止端部の曲率半径や止端角度（フランク角）といった局部的な鋭さに影響を受け，この応力集中により溶接止端部に発生する応力振幅が大きくなる。これらの影響は，前者は疲労強度等級分類や寸法効果を評価する補正係数などを用いて，後者は疲労強度のばらつきとして評価され，膨大な数の疲労試験や解析的な検討から溶接継手形式ごとに疲労強度等級が設定されている。一方，鋼板の集成箇所となる鋼橋の溶接継手部は，鋼板の組み合わせ精度や組み合わせによる剛性の急変などにより，付加的（二次的）な力が溶接継手部に作用する。この付加的な力によって，溶接止端部に作用する応力が大きくなり，溶接継手部の疲労損傷を促進させる場合も考えられる。鋼橋技術研究会施工部会の目違い WG（以下，本 WG）では，この溶接継手部の材片の組み合わせ精度，すなわち「目違い」に着目し，この目違いが疲労に及ぼす影響について検討を行った。

溶接による「目違い」や「角変形」が溶接継手部に生じると，板軸と載荷軸との偏心により付加的な板曲げが生じる。これらの影響については，特に継手レベルのモデルを用いた疲労試験や数値解析を用いて従来から数多く検討がなされ，施工基準やその目違いの疲労に対する影響度の評価基準などが定められているものもある。先ず本 WG では，これらの基準類や既往の研究について調査し整理を行った。鋼橋に用いられる溶接継手形式は多岐にわたるが，道路橋示方書「鋼橋編」[1)]では目違いに関する事項として，突き合わせ溶接継手に対する板の組み合わせ精度のみ規定がなされている。一方，鋼橋の溶接継手で多く用いられ，かつ突き合わせ溶接継手よりも疲労強度等級の低い，十字継手や面外ガセット継手といった付加板溶接継手で疲労損傷が多く報告されている。これらの継手に関しては，例えば十字継手の基本モデルに対する目違いの影響に関する検討はあるものの，実構造物中におけるこれらの継手に対する目違いの影響を検討された例は殆どない。また，目違い量に関する管理基準については，国際溶接協会（IIW）[2)]や造船分野[3)]，建築分野[4)]などで管理基準は定められているものの，道路橋示方書では定められていない。

目違いが溶接継手の疲労に及ぼす影響度は，継手の境界条件や継手部の変形（回転）の拘束状態に大きく依存することが知られている[2)5)]。しかし，多くの材片が組み合わさる実構造物においては，材片相互で目違いによる付加的な変形を拘束することが考えられ，このような拘束状態についても鋼橋の溶接継手では不明な点が多い。特に鋼橋といった大型鋼構造物における十字継手の目違いの計測自体が困難であり，部材の製作段階に生じる実際の目違い量を把握しているような既往のデータも殆ど無いと考えられる。

そこで本 WG では，十字溶接継手や面外ガセットといった付加物溶接継手を対象とし，鋼橋製作時に生じる目違いの実態の把握，そして，それらの目違いが鋼橋溶接継手部の疲労に及ぼす影響を検討することを目的として活動を行った。具体的には，

(1) 鈑桁橋および箱桁橋の主桁ウェブと横桁フランジの接合部で構成される十字溶接継手を対象とし，鋼橋技術研究会施工部会メンバー各社の協力により橋梁工場において目違いの計測を行い，

(2) 目違いが溶接継手部の疲労強度に及ぼす影響を，止端部応力の増大（応力集中の増大）の観点から検討を行った。先ず，十字溶接継手の基本モデルを用いて，継手形状や拘束条件を主なパラメータとして，目違いの止端部応力への影響の検討を二次元 FEM 解析で行った。次に，主桁ウェブと横桁フランジの接合部で構成される十字溶接継手を対象として，目違いによる継手の回転をＩ断面の横桁構造が拘束する効果について，種々の目違い形式および継手形状をパラメータとして三次元 FEM 解析で検討を行った。さらに，鋼鈑桁橋および鋼箱桁橋の全体モデルを作成し，主桁ウェブと横桁フランジの溶接継手について，横桁からの力に対して荷重伝達型十字継手と考えた場合の横フランジ側止端部や，主桁作用に対して面外ガセット継手と考えた時の主桁ウェブ側止端部の応力に対して，目違いの影響を解析的に検討し，基本モデルとの比較，すなわち鋼橋の当該継手部の目違いの影響度の特徴について検討を行った。

(3) 前述の検討結果を踏まえて，実橋梁の設計的な疲労照査を行い，鋼橋溶接継手部の疲労強度対する目違いの影響を評価した。

本報告書では，これらの検討の成果を

第 1 章：　はじめに

第 2 章：　目違いに関する基準類の整理

第 3 章：　目違いに関する既往の研究の整理

第 4 章：　実橋梁部材の目違い計測

第 5 章：　目違いによる応力集中の増加

第 6 章：　鋼橋溶接継手部の疲労に対する目違いの影響評価

第 7 章：　終わりに

として取りまとめている。

1-2. 鋼橋の部材の製作過程にみる目違いの発生要因

図 1-2-1 に鋼橋の箱桁部材の製作過程と，主桁と横桁との交差部における十字溶接継手で生じる目違いの発生要因を示す。ここでは，横桁フランジと主桁ウェブを介して桁内に配置される控え材で構成される十字溶接継手を対象とした。

鋼板への罫書きと鋼板の切断後，パネル製作工程および小型部材の先行製作工程を経て，組立工程で箱型形状に製作される。パネル製作工程では，フランジおよびウェブの大型材片に補剛材の先行取付けが行われる。小型部材の先行製作工程では，桁内に配置されるダイアフラムへ開口部の補剛材および横桁仕口の控え材の取付け，横桁仕口のフランジとウェブの組立および溶接が行われる。この工程においては，ダイアフラムの切断精度，横桁仕口の控え材の取付精度，横桁仕口のウェブの切断精度，および横桁仕口の直角度が目違いの発生要因となる。最後の組立工程においては，ダイアフラム建て込み時のダイアフラムの倒れ，横桁仕口の取付け時のズレと倒れが目違いの発生要因となる。製作過程における複数の目違いの発生要因が重畳して溶接継手の目違いとなる。

【参考文献】

1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，丸善，2002

2) International Institute of Welding : Fatigue Design of Welded Joints and Components , XIII-1539-96/XV-845-96，1996

3) 日本船舶海洋工学会：日本鋼船工作法制度標準(JSQS)，2004

4) (社)鉄骨建設業協会・(社)全国鐵構工業協会　鉄骨製作管理技術登録機構 : 突合せ継手の食い違い仕口のずれの検査・補強マニュアル，平成 15 年

5) S J Maddox：Fatigue Strength of Welded Structures，Abington Publishing，1991

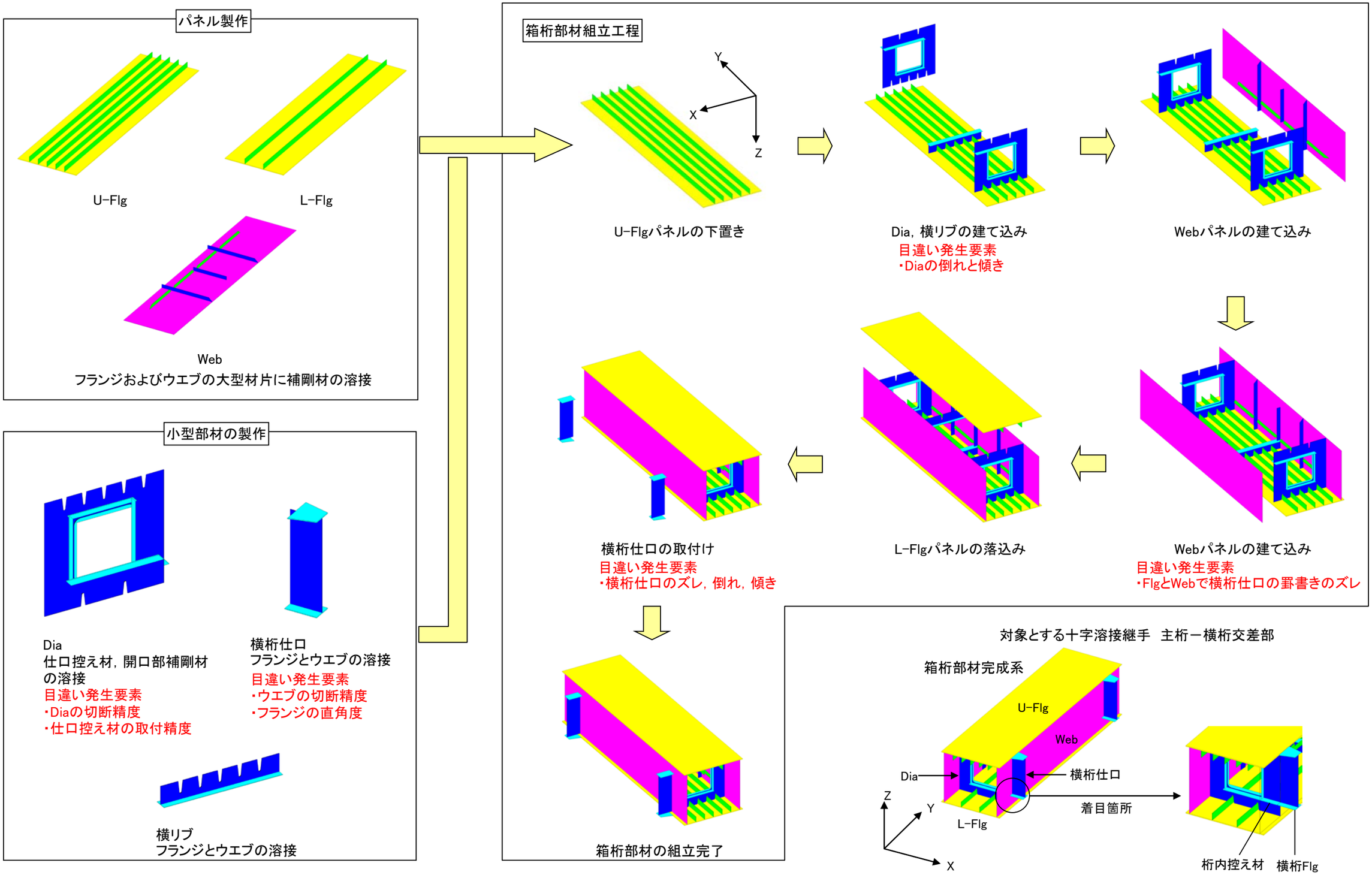


図 1-2-1　箱桁部材の製作過程にみる主桁と横桁の交差部における十字溶接継手の目違いの発生要因

§2　目違いに関する基準類の整理

溶接は，様々な分野で多種多様なものを製作する上で用いられており，組立て精度についても各製作物に応じた基準が設定されている。

それらの基準における目違いに関する基準，またはそれに準ずる基準を整理し，本研究の基礎資料とする。

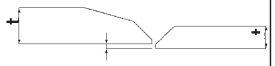
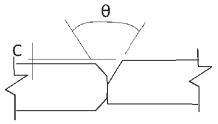
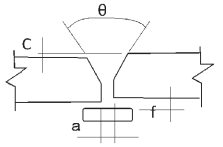
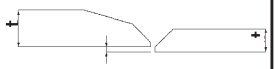
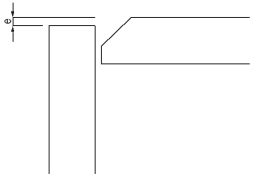
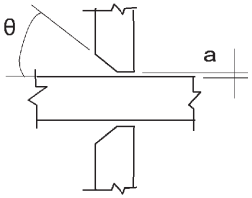
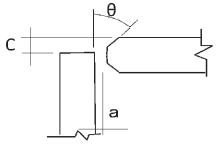
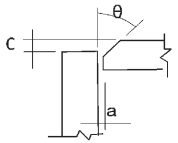
本調査で収集した基準類を表 2-1 に示す。橋梁に関しては道路橋・鉄道橋の基準を合わせて４件，その他，造船，鉄骨，圧力容器，溶接構造物に関する基準を収集し，計９件の基準について調査した。

表 2-1　調査した基準

対象物		基準名	発行者
橋梁	道路橋	・道路橋示方書･同解説 Ⅱ　鋼橋編　H24.3	日本道路協会
		・鋼橋等製作基準　1993.5	本州四国連絡橋公団
		・鋼構造物製作基準　H15.10	名古屋高速道路公社
	鉄道橋	・鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼･合成構造物　H4.10	鉄道総合技術研究所
造船		・日本鋼船工作法精度標準　2004	日本造船学会
鉄骨		・建築工事標準仕様書　JASS 6 鉄骨工事　1996	日本建築学会
圧力容器		・JIS B 8265，JIS B 8266　2003	
溶接構造物		・疲労設計指針　1996	IIW（国際溶接学会）
		・ＡＷＳ Ｄ１．１／Ｄ１．１Ｍ：2004	米国溶接協会

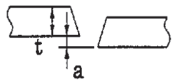
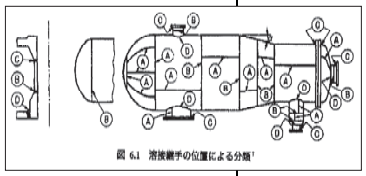
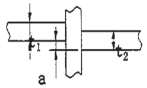
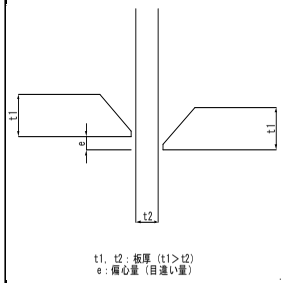
表 2-2，表 2-3 に各基準の継手の目違いに関する許容値を示す。各基準において，目違いの許容値は板厚の関数もしくは板厚で分類した形で定められている。突合せ溶接継手の目違いの場合，調査した基準では板厚の 10%から 25%と基準によってばらつきはあるが,許容目違い量の最大値は概ね 3～5㎜程度となっている。

表 2-2　各基準の継手の目違いに関する許容値

		調査規格・基準				
構造物		橋　　梁				
		道路橋	道路橋	道路橋		鉄道橋
発行者		日本道路協会	本州四国連絡橋公団	名古屋高速道路公社		鉄道総合技術研究所
基準名		道路橋示方書Ⅱ（平成24年3月）	鋼橋等製作基準（1993年5月）	鋼構造物製作基準（平成:5年10月）		鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物（平成4年10月）
許容値	突合せ継手	板厚方向の材片の偏心ｅ： ｔ≦50mm　薄い方の板厚の10%以 50mm＜ｔ　5mm以下 ｔ：薄い方の板厚  t1，t2：板厚（t1＞t2） e：偏心量（目違い量）	板厚方向の材片のくいちがいｅ： 薄い方の板厚の1/10以下で， 最大は3mm以下  t1，t2：板厚（t1＞t2） e：偏心量（目違い量）	材片の偏心Ｃ： 規定値-10°≦θ≦規定値+10° Ｃ≦0.5mm（合せ点） 	材片の偏心Ｃ： 規定値-10°≦θ≦規定値+10° Ｃ≦0.5mm（単材の組合せの場合） Ｃ：薄い方の板厚の10%以下かつ 最大2mm（集成断面の場合） 規定値-1.0mm≦ａ≦規定値+1.0mm ｆ≦0.5mm  （裏当金付き）	板厚方向の材片の偏心： 薄い方の板厚の10%以下 （※旧基準）  t1，t2：板厚（t1＞t2） e：偏心量（目違い量）
	十字継手等	十字継手の明確な記述なし	十字継手の明確な記述なし 〔角継手〕 板厚方向の材片のくいちがいｅ： 薄い方の板厚の1/10以下で， 最大は3mm以下 	〔十字継手〕  規定値-5°≦θ≦規定値+5° 規定値-1.0mm≦ａ≦規定値+1.0mm 〔かど継手〕 ・完全溶込み溶接(裏当金なし)  規定値-5°≦θ≦規定値+5° Ｃ：板厚の±10%以下かつ±2mm 以下（注） ただし所要のど厚を確保すること ａ≦1.0mm	〔かど継手〕 ・部分溶込み溶接  規定値≦θ≦規定値+5° -3.0mm≦Ｃ≦1.0mm　（注） ただし所要のど厚を確保すること ａ≦1.0mm	十字継手の明確な記述なし

・（注）（－）側とは横板が立板の天端より下がった状態を示す。

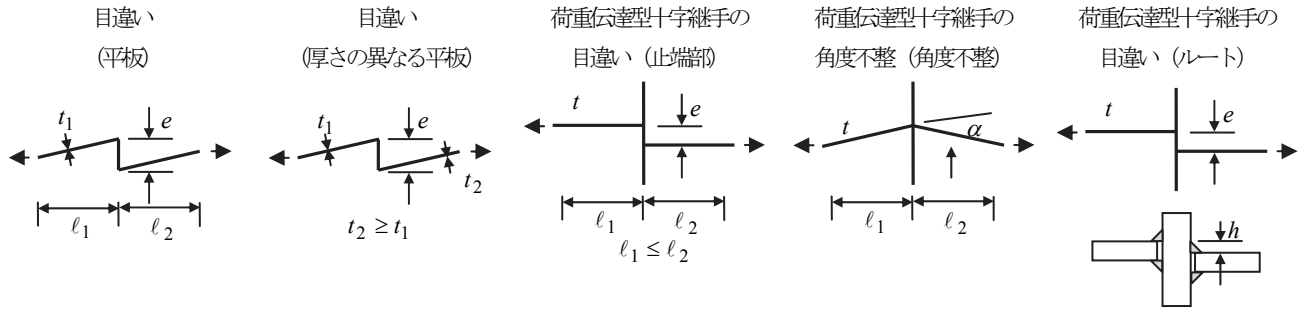
表 2-3　各基準の継手の目違いに関する許容値

		調査規格・基準					
構造物		造　船	鉄　骨	圧力容器		溶接構造物	
				設計圧力30MPa未満の圧力容器の構造及び取付物	設計圧力100MPa未満で、設計温度がクリープ領域未満の大気圧を超える圧力を保持する容器又は外圧を受ける圧力容器		
発行者		日本造船学会	日本建築学会			ＩＩＷ（国際溶接学会）	米国溶接協会
基準名		日本鋼船工作法精度標準	建築工事標準仕様書 JASS 6 鉄骨工事（1996年）	JIS B 8265	JIS B 8266	疲労設計指針　1996	AWS D1.1/D1.1M:2004
許容値	突合せ継手	重要部材の許容限界；a≦0.15ｔ　(mm)　(MAX3) その他のの許容限界；a≦0.2ｔ　(mm)　(MAX3)  a＝目違い量 t＝板厚(薄い方)	突合せ継手の食違い： ｔ≦15mm　1mm以下 ｔ＞15mm　t/15かつ2mm以下	突合せ継手の食違い： ｔ≦50mm　分類Ａ：t/4（最大3.5mm） 分類Ｂ：t/4（最大5.0mm） 50mm＜ｔ　分類Ａ：t/16（最大9.0mm） 分類Ｂ：t/8（最大19mm） ｔ：薄い方の母材の呼び厚さ 括弧内の値を超えないこと  図 6.1 溶接継手の位置による分類1	突合せ継手の食違い： ｔ≦13mm　分類Ａ：t/4 分類Ｂ,C,D：t/4 13＜ｔ≦19mm　分類Ａ：3.0mm 分類Ｂ,C,D：t/4 19＜ｔ≦38mm　分類Ａ：3.0mm 分類Ｂ,C,D：5.0mm 38＜ｔ≦50mm　分類Ａ：3.0mm 分類Ｂ,C,D：t/8 50mm＜ｔ　分類Ａ：t/16（最大10mm） 分類Ｂ,C,D：t/8（最大19mm）	目違いを許容しない継手 ⇒横突合せ溶接継手 （余盛りをグラインダーにより削除） 目違いを5%以下とする継手 ⇒横突合せ溶接継手(止端角≦30D) 目違いを10%以下とする継手 ⇒横突合せ溶接継手(止端角≦50°) 裏当て金付き,片面溶接,板幅あるいは板厚の遷移を有する継手,遷移部なしの異なる板厚,など	突合せ継手の目違い： 薄い方の板厚の10%か，または3mmのいずれか小さい方
	十字継手等	隅肉継手（十字継手）  a＝目違い量 t＝板厚 $t_1 \geqq t_2$ 重要部材の許容限界；a≦1/3ｔ2　(mm) その他の標準範囲；a≦1/3ｔ2　(mm) その他の許容限界；a≦1/2ｔ2　(mm)	仕口のずれ： ｔ1≧ｔ2　2×ｔ1/15かつ3mm以下 ｔ1＜ｔ2　t1/6かつ4mm以下  t1, t2：板厚 (t1>t2) e：偏心量（目違い量）	十字継手の明確な記述なし	十字継手の明確な記述なし	荷重伝達型十字溶接継手： 目違いを板厚の15%以下とする	十字継手の明確な記述なし

§3　目違いの疲労に対する影響に関する既往の研究の整理

溶接継手部に目違いが生じると，軸方向力のみが作用する場合でも，溶接止端部のなどの応力集中部に膜応力に加えて板曲げ応力が生じるために，疲労強度が大きく低下することがある。第 2 章の目違いに関する各基準の調査でも示したように，目違いの許容値や許容値を超えた場合の対処の仕方などが定められているものもあり，日本鋼構造協会(JSSC)の疲労設計指針[1)]では，橋梁の基準である鋼道路橋示方書[2)]，船舶の工作精度標準である日本造船学会日本鋼船工作法制度標準(JSQS)[3)]，国際溶接協会の疲労設計指針[4)]の目違いに関する基準が紹介されている。例えば，文献[3)]に関しては，すみ肉溶接継手が目違いの許容値を超える場合，板厚の半分以下の場合には 10%程度の増し脚長による補修が要求されており，また板厚が半分以上の場合には再溶接することになるとしている。突合せ溶接継手の場合には目違いの許容値を超える場合には再溶接をしなければならないことが紹介されている。文献[4)]に関しては，目違いの許容値を超える場合には，目違い量に応じた応力の割り増し率k_mで軸方向応力を補正することが紹介されている。このk_mに関して，突合せ溶接継手および荷重伝達型十字継手に関する算定式の例を図 3-1 に紹介する。同様に，DNV[5)]では，疲労照査に用いるホットスポット応力範囲$\Delta\sigma_{hotspot}$の評価式である$\Delta\sigma_{hotspot} = K\Delta\sigma_{nominal}$の中の応力集中係数$K\left(= k_g \cdot K_{le} \cdot K_{l\alpha} \cdot K_n\right)$に含まれる目違いの影響および角変形の影響を表す$K_{le}$および$K_{l\alpha}$に関する記述が種々の継手や目違いの種類に応じて示されている。ここでは図 3-2 にその例の紹介を行う。ここでは，目違いの影響度に関しては，(疲労強度等級を決定するための) 疲労試験データに用いられる試験体に一般的に含まれていると考えられる目違い量を図中e_0として，測定される目違いeから差し引いた値$\left(e - e_0\right)$の大きさを用いて目違いの影響度を考慮している。

一方で，JSSC[1)]では，目違いやルートギャップなどの初期不整が継手に生じた場合には，継手に作用する応力が増加し疲労強度が低下するために，これらの初期不整は生じさせないことが望ましいとしている。本章では，これまで多く行われてきた目違いに関する検討の中で，継手モデルでの目違いの影響度やその評価法について，大型構造物中の実ディテールを対象とした目違いの影響度の検討，および目違いの計測手法に着目して既往の研究の整理を行った。



$k_m = 1 + \lambda \frac{e \cdot \ell_1}{t(\ell_1 + \ell_2)}$	$k_m = 1 + \frac{6e}{t_1} \cdot \frac{t_1^n}{t_1^n + t_2^n}$	$k_m = 1 + \lambda \frac{e \cdot \ell_1}{t(\ell_1 + \ell_2)}$	$k_m = 1 + \lambda\alpha \frac{\ell_1 \cdot \ell_2}{t(\ell_1 + \ell_2)}$	$k_m = 1 + \frac{e}{t+h}$
λは拘束度に依存 拘束のない継手λ=6 荷重点が十分離れている場合は$\ell_1 = \ell_2$	拘束がなく荷重点が十分離れている場合はn=1.5 が適切との実験結果有	λはλ=3(完全拘束：固定)からλ=6(非拘束：自由)までの値をとる	λは拘束度に依存 垂直方向の板の変形が拘束：λ=0.02~0.04 拘束なし：λ=3~6	k_mは溶接部ののど断面応力範囲に関係している

文献[1]では平板の角度不整に関する割増係数も紹介されている

図 3-1 IIW 指針の目違いによる応力割増係数k_m[4)]

両面からの突き合わせ溶接



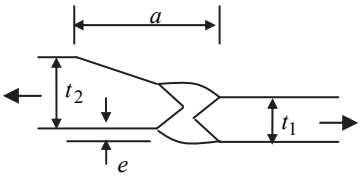
Default: $e = 0.15t$

$$k_{le} = 1 + 3\frac{e - e_0}{t}$$

この式は、両面から溶接される突き合わせ溶接（無補強板）に適用される。

$e_0 = 0.1t$ is misalignment inherent in the S-N data for butt welds

板厚が異なる板同士の両面からの突き合わせ溶接



Default: $e = 0.15t_1$

$$k_{le} = 1 + \frac{6(e + e_t - e_0)}{t_1\left[1 + \frac{t_2^{1.5}}{t_1^{1.5}}\right]}$$

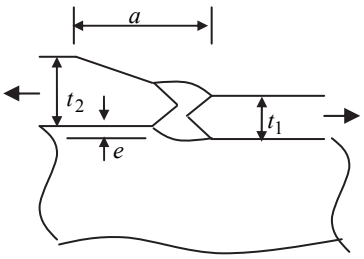
$e_t = 1/2 \cdot (t_2 - t_1)$

$e_0 = 0.1t$ is misalignment inherent in the S-N data for butt welds

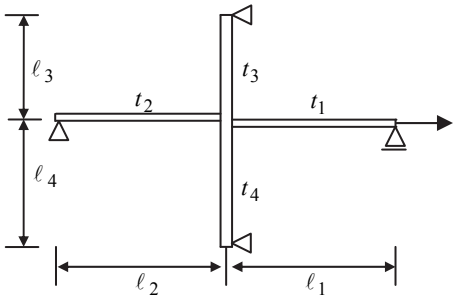
ただし、上記は面外方向に拘束されていない場合であり、下図のように拘束されている場合

$k_{le} = 1$

とする。



十字継手



$$k_{le} = 1 + \frac{6t^2(e - e_0)}{\ell_1\left(\frac{t_1^3}{\ell_1} + \frac{t_2^3}{\ell_2} + \frac{t_3^3}{\ell_3} + \frac{t_4^3}{\ell_4}\right)}$$

$e_0 = 0.3t$ is misalignment inherent in the S-N data for butt welds

図 3-2 DNV 指針の目違いによる応力割増係数 k_{le} [5)]

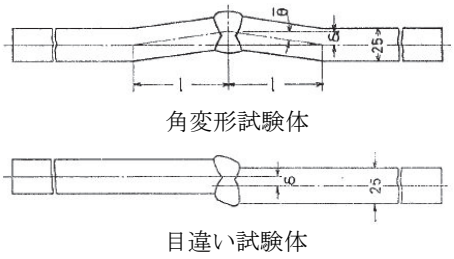
また，矢田ら [6)]は，荷重の載荷に伴う変形の増大に伴い角変形の影響が漸減することに注目し，平板や曲面板の溶接部に生じる角変形や目違いの影響の理論的な解法を示し，実験結果と良く一致することを示している。

3-1. 溶接継手部の疲労強度に対する目違いの影響の検討

Maddox[7)]は突き合わせ溶接および十字溶接に対して，種々の目違いのタイプに応じた疲労強度への影響について疲労試験結果の整理および簡易な評価式と併せて整理を行っている。その中で目違いの影響は主板に作用する付加的な板曲げによるものであるが，例えばその十字溶接に対しての目違いの影響度に対する評価式は図 3-1 に示す評価式と同じであり，中板を挟む主板の板厚が異なる場合には図 3-1 中に示す板厚の異なる平板の目違いと同じであり n=1.5 の値が示されている。この目違いの影響は主板に軸力が作用する場合には大きく，曲げが作用するような場合は小さいこと，また軸力と曲げが同時に作用するような場合には目違いの影響は軸力のみに対して評価することが記載されている。これらの影響については，溶接部の回転が拘束されていない状態での考察であり，境界条件や部材の形状，他の部材の存在によっては，継手部の回転を拘束することもあり，一般的にはケースごとに解

析的な検討が必要であるとしている。

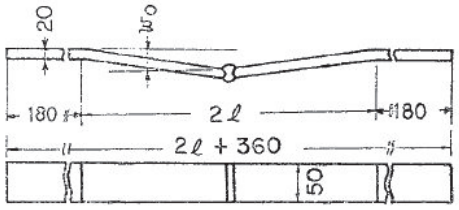
八木ら[8]は SM41B，Al 合金 5083-0，9%Ni 鋼など種々の材料を用いて目違い（0.2t～0.6t の範囲で検討：t は主板厚）や角変形（80/1000 まで）を導入した横突合せ溶接試験体を用いて検討を行っている（図 3-1-1：主板厚 25mm，主板幅 15mm）。そこでは，試験体表面のひずみ計測により，目違いや角変形によって生じる付加的な曲げ応力は梁理論による弾性計算で近似的に求めうることを示している。ただし，付加的な曲げを考慮した（重畳した）公称応力で疲労試験結果を整理すると，その疲労強度は同一き裂発生寿命における軸応力の場合のそれと比べて高くなり，その傾向は軸応力に対する曲げ応力の割合が大きくなるほど顕著になることを示している。この点は軸応力と曲げ応力の断面内での分布によるものであると考えられる。



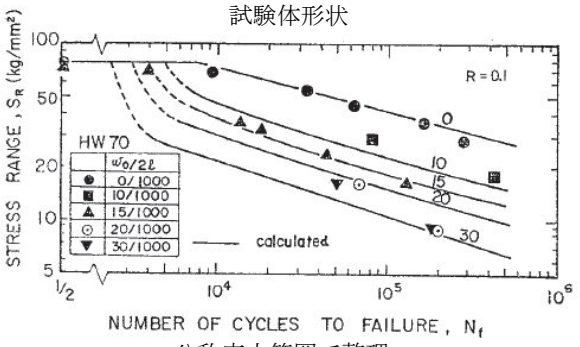
角変形試験体

目違い試験体

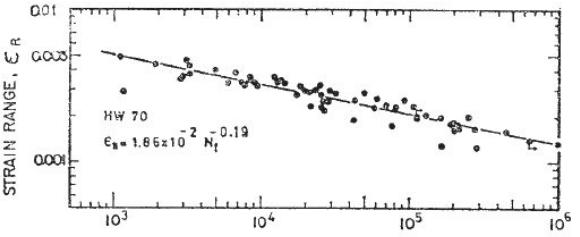
図 3-1-1 突合せ目違い溶接試験体[8]



試験体形状



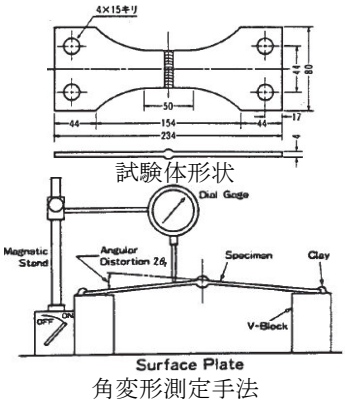
公称応力範囲で整理



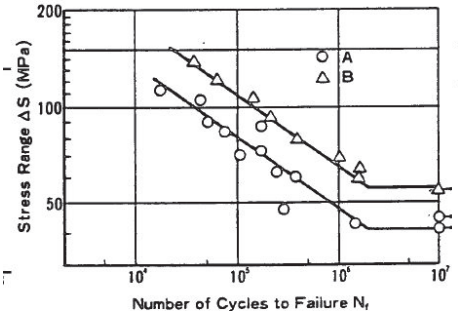
止端部から 5mm 位置のひずみ範囲で整理

図 3-1-2 角変形を設けた突合せ溶接試験体[9]

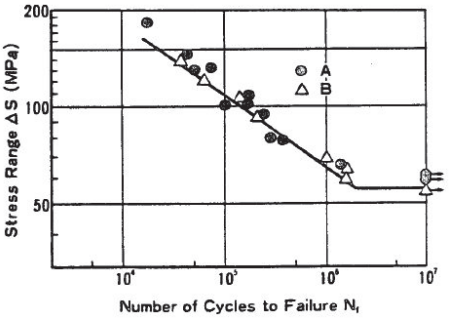
飯田ら[9]は，角変形を対象としているが，HW50 および HW70 材の横突合せ溶接部に及ぼす角変形量の影響を実験的に調べている。図 3-1-2 には HW70 材の結果を試験体形状と併せて示すが，公称応力範囲で整理した S-N 線図では角変形の伴い疲労強度の低下が見られるが，止端部から 5mm 位置におけるひずみ範囲を用いて S-N 線図を整理すると疲労強度と破断寿命の関係を一元化できるとしている。ただし，この 5mm という位置は，ゲージ長さやそのベースのサイズに依存するものであり，止端部の近くの測定結果という意味合いであり，5mm という値そのものには重要な意味はないとの意見をこの文献[7]の討議に記している。同様に大野ら[10]は，4mm 厚の AL 合金 5083 材に平均 2.1 度の角変形を導入した突合せ溶接継手試験体の疲労試験を行い，疲労強度の低下量(25%)は角変形により付加される板曲げの効果を考慮することで評価できることを示している（図 3-1-3：なお，同図には角変形の測定方法も紹介されていたので併せて紹介している）。



角変形測定手法



公称応力で整理した S-N 線図

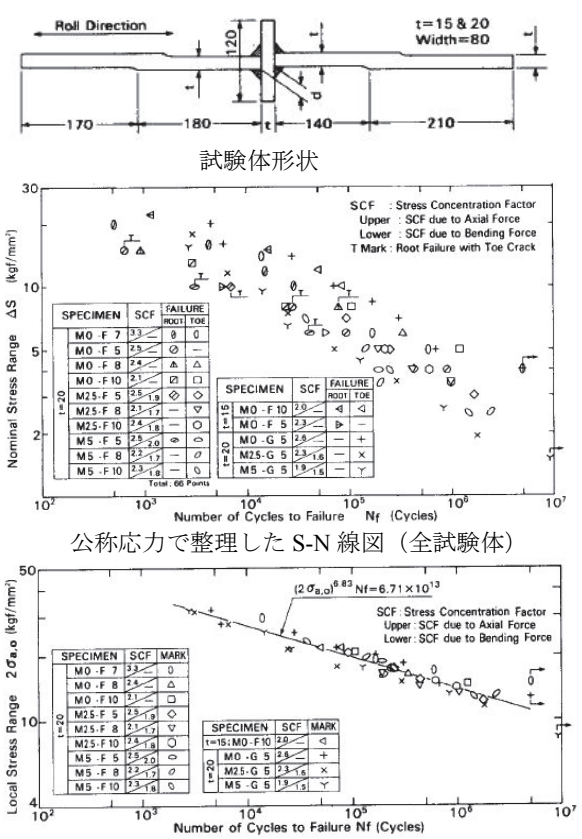


角変形による付加的な曲げを考慮した S-N 線図

図 3-1-3 角変形を設けた突合せ溶接継手試験体と疲労試験結果

一方で，Chiarelli ら[11]は，主板厚 8mm の横突合せ溶接継手に 1.2mm の目違い（BS の目違いの許容値である主板厚の 15%の目違いに相当）を導入した試験体を用いて疲労試験を行っている。主板表裏から溶接を行った目違いなしの試験体と比較して，主板片面から溶接した目違いを有する試験体では，200 万回疲労強度が半分程度の値となっており，付加曲げ応力の重畳率（45%）よりも大きい結果が得られている。これは，溶接裏面の目違い部の形状（ノッチ）に起因するものであるとしている。

上村ら[12]は，アルミ合金 5083-0 を用いて，主板厚の 25%および 50%の目違いを与えた完全溶込み溶接およびすみ肉溶接により荷重伝達型十字溶接継手試験体（図 3-1-4）を製作し，数多くの疲労試験を行っている。同図に示すように，止端部破断したデータについては，軸力に曲げが重畳して作用する十字継手の止端破断の疲労強度が，溶接残留応力と降伏応力（止端部での降伏現象）を考慮するために修正グッドマン法で応力比 R=0 の局部応力振幅に換算した応力範囲で整理することにより，目違いの有無によらず S-N 線図上で狭い範囲内にプロットされたとしている。



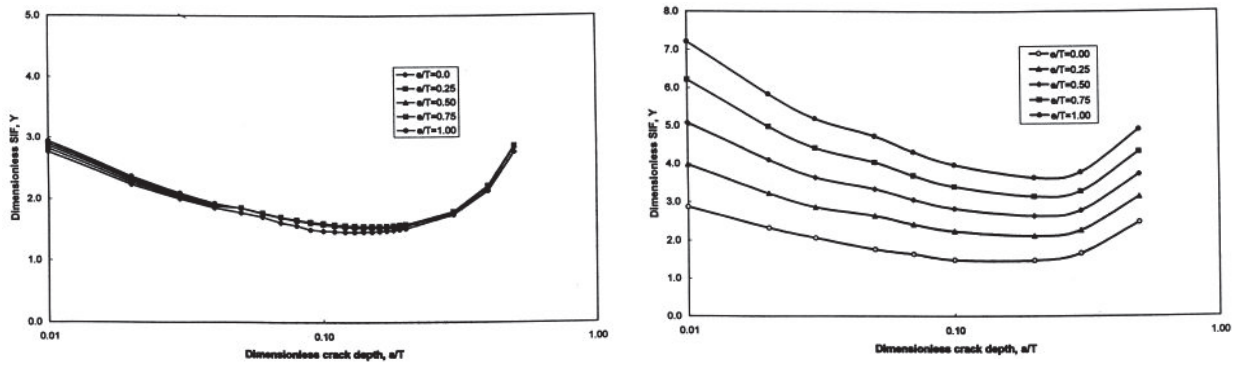
試験体形状

公称応力で整理した S-N 線図（全試験体）

修正した止端部の局部応力範囲で整理した S-N 線図（止端部破壊のみ）

図 3-1-4 目違いを設けた荷重伝達十字継手試験体とその疲労試験結果[12]

また，荷重伝達型の十字継手の目違いの影響に関しては解析的な検討も行われている。例えば Lie ら[13]は荷重伝達型十字継手の目違いの影響について目違い量，溶込み量（不溶着長さ）および端部の拘束条件（片端固定，片端軸方向引張で載荷点の載荷軸直角方向変位の拘束の有無）をパラメータとして検討を行い，止端部における応力上昇および止端部からのき裂進展に伴う応力拡大係数の変化，更には進展寿命に対する目違いの影響を検討している。図 3-1-5 にき裂深さと応力拡大係数の関係を示すが，き裂深さが止端部から板厚の半分の長さになるまでの検討の範囲では，載荷点に変位拘束を設けない場合には目違いの影響は見られないが，載荷点の変位拘束を設けた場合には，目違い量が大きくなるとそれに比例して応力拡大係数が大きくなることを示している。また，その応力拡大係数を用いたき裂進展解析により既往の疲労試験における目違いによる疲労強度の低下を説明できることを示している。



載荷点の鉛直変位を拘束しない場合　　載荷点の鉛直変位を拘束した場合

図 3-1-5 荷重伝達十字継手止端部より発生するき裂深さと応力拡大係数との関係[13]

なお，この文献[13]の中には，目違いによる応力上昇の式

$$K_t = 1 + \lambda \frac{e}{t} \cdot \frac{\ell_1}{L}$$

における，境界条件などによる拘束度の差異の影響を表すλに対して，BS(British Standard) PD6493[14]に示される値を紹介しており（図 3-1-6），境界条件により応力の上昇程度が異なることが示されている。

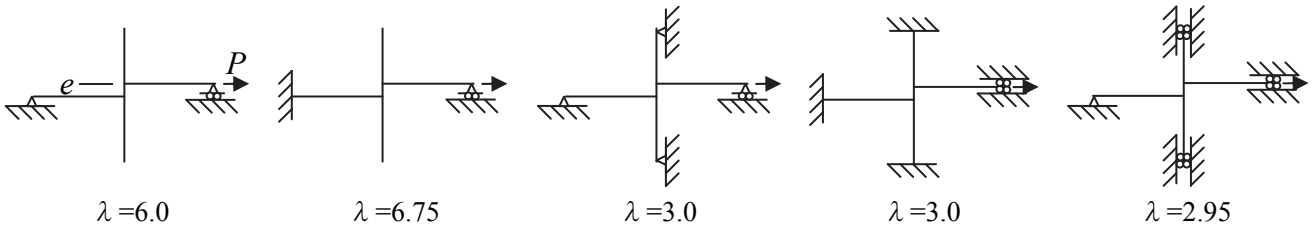


図 3-1-6 種々の境界条件におけるλの値[14]

一方，佐々木ら[15]は，板厚 9, 20, 40mm の突合せ試験体（SM58Q, HT80）およびリブ十字試験体（SM50B）を用いて疲労試験を行い，図 3-1-7 に示すダイヤルゲージを用いた手法で目違い量e_1および角変形ϕを計測し，付加的に作用する曲げモーメント$M = e \cdot P$（ここで，$e = e_1 + \phi\ell/2$，ここでℓは溶接部から角変形測定点までの距離，Pは作用軸力）による板曲げ応力の膜応力に対する割合と目違いのない場合の疲労強度に対する目違いのある場合の疲労強度の割合の関係を調査している。検討結果では図 3-1-8 に示すように，目違い量は 1mm 以下のもの（最大 2mm），付加的な曲げ応力は±20%程度以下（最大 40%弱）のものが多く，この検討の範囲内では疲労強度と付加的な曲げ応力との間に明確な関係は見られず，その原因として止端部形状やビード形状のばらつきの影響に埋もれたためとしている。

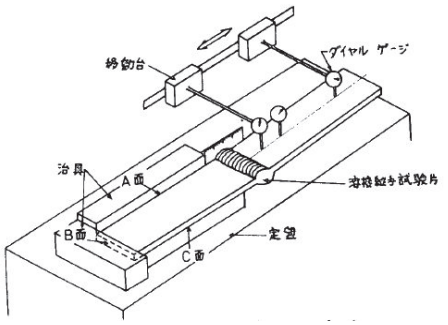
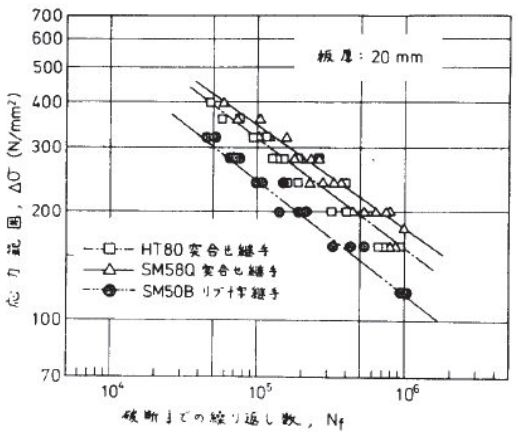
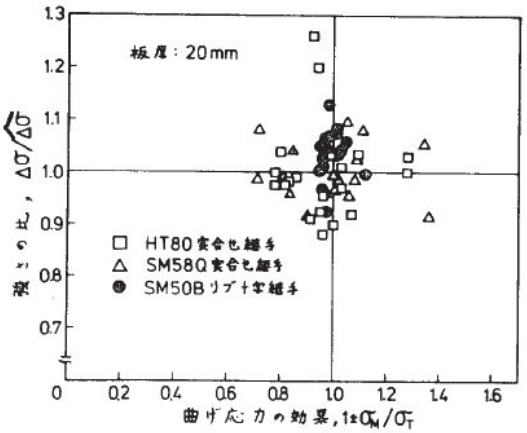


図 3-1-7 目違い･角変形の計測手法[15]



公称応力で整理した S-N 線図



目違い・角変形による付加曲げ応力σ_Mと軸応力σ_Tの比と疲労強度の変化率の関係

図 3-1-8 疲労試験結果と目違い・角変形の影響度[15]

ここまでは，溶接止端部から疲労き裂が発生する場合の疲労強度への目違いの影響についての既往の研究をまとめているが，これらのルート部に不溶着部が存在するような場合にはルート部からき裂が発生する場合も考えられる。一般的に，荷重伝達型十字継手や突合せ継手に生じる目違いの溶接ルート部の疲労強度への影響は，溶接止端部の疲労強度に対する影響よりも小さい（Maddox[7]，穴見ら[16]）。これは，溶接ルート部が溶接ビードを含めた断面内の内部に存在し，付加的な曲げの影響が小さくなることが原因であると考えられる。恒成ら[17]は主板厚（12mm）の 20%～120%の目違いを与えた荷重伝達型十字すみ肉溶接継手を用いて疲労試験を行っている（図 3-1-9）。疲労き裂は全て溶接ルート部から発生し，目違いを与えた試験体では試験体中心側の溶接ルート部からき裂が発生している。付加的な曲げにより公称応力で整理すると疲労強度が低下しているが，ルート部先端の曲げ応力と引張によるルート部先端の公称応力の比を用いることにより目違いによるルート部の疲労強度の変化の程度を良く評価できることを示している。なお，ルート部の曲げ応力の算定には，板厚＋脚長を断面とし，引張側となる不溶着部は応力伝達しないと考えて断面二次モーメント算出している。

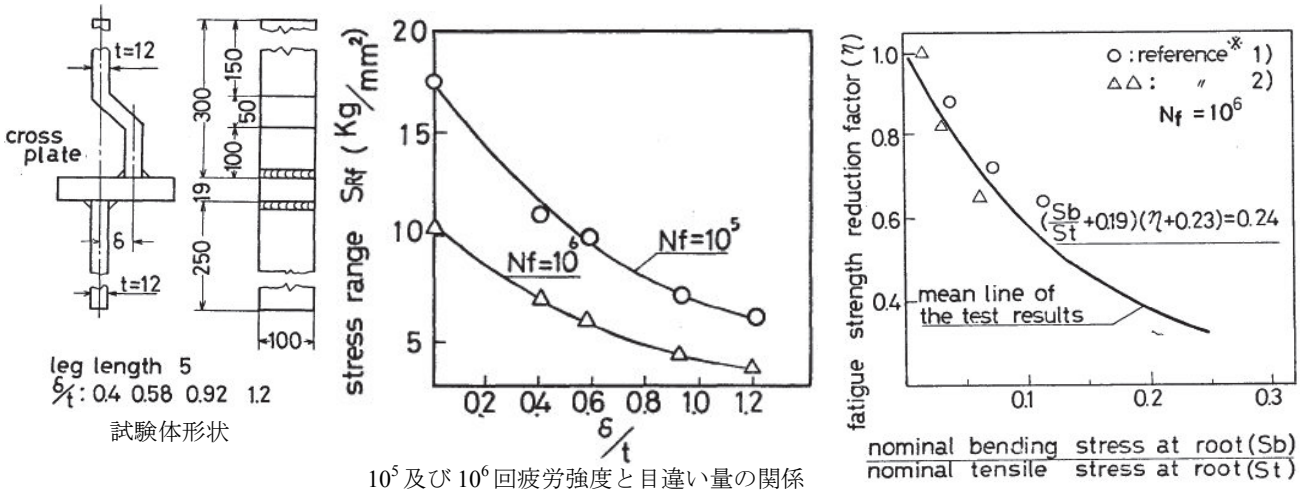


図 3-1-9 ルート部からき裂が発生する場合の疲労強度への目違いの影響[17]

なお，ここまではいわゆる高サイクル疲労を中心に既往の研究を整理してきたが，例えば文献[18]では，図 3-1-10 に示す，突合せ溶接に目違いを与えた試験体に対して（板厚 6mm および 16mm で，目違い量は板厚の 20，40，60%），10^2 回以下～10^5 回程度の低サイクル領域も含めた広い範囲で一定変位振幅片振引張疲労試験を行った結果が報告されている。文献では 10^4 回の疲労強度で比較しているが，目違いによる疲労強度の低下量は目違いが板厚の 20，40，60%で 14，27，39%とされているが，同図に示す疲労試験結果の一例（HT50，板厚 16mm，降伏点 35.9 kgf/cm^2）を見ると，目違いが大きくなると S-N 線の傾きが大きくなり，高サイクル疲労領域の方が，低サイクル疲労領域の方よりも目違いの影響度が大きくなっている傾向が見られるが，これは HT50，板厚 6mm の試験体でも，SS41 を用いた試験体（板厚不明）でも同様であった。

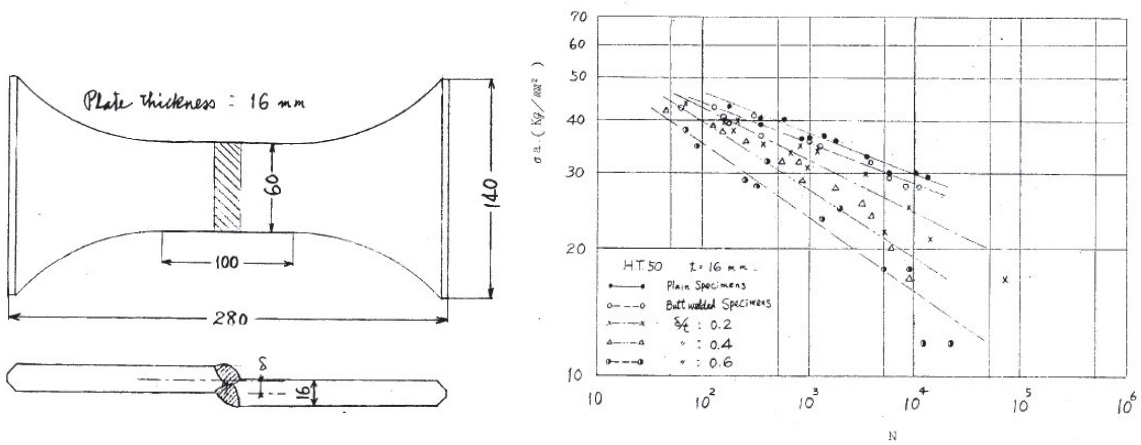


図 3-1-10 突合せ溶接継手を用いた低サイクル領域までの一定変位振幅片振り疲労試験 [18)]

3-2. 大型構造物を対象とした目違いの疲労に関する影響の検討

一方，前述のように，目違いの疲労強度への影響は従来，小型の継手試験体を用いた実験や解析により行われてきた。しかし，鋼橋などのように大型の実構造物を対象とした場合，境界条件や部材の形状，他の部材の存在によっては，継手部の回転を拘束する [6)]こともあり，目違いの疲労強度への影響度も従来小型継手試験体を用いた検討より得られた結果とは異なる可能性も考えられる。

山岡ら [19)]は，鋼 I 桁の下フランジの突合せ溶接継手について道路橋示方書の基準を超える主板厚の10%以上の目違いが存在する場合の疲労強度，およびその向上（対策）法について検討を，大型桁試験体を用いて疲労試験を行っている。そこでは目違いを 0mm，2mm，4mm および 4mm 導入後下フランジおよび溶接部を研削しテーパーを設けた試験体を用いている(図 3-2-1)。疲労試験結果は図 3-2-2 に示すが，目違い 0mm，2mm の試験体は JSSC の疲労設計指針の疲労強度等級である D 等級を満足していたが，目違い 4mm の試験体では，基準を下回る E 等級にプロットされる結果も得られ，目違いによる疲労強度低下が実寸大試験体でも見られている。また，テーパー率 1:5 で研削した試験体では D 等級を満足する結果が得られ，更に止端部仕上げにより 1 等級の疲労強度向上効果が得られることが報告されている。

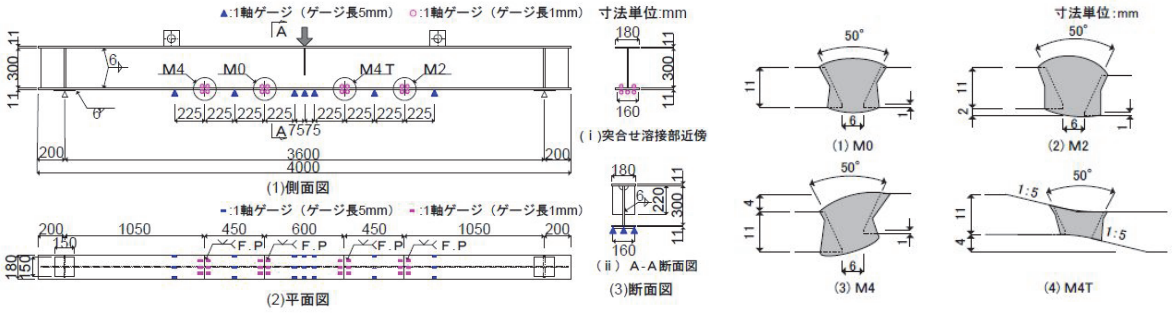


図 3-2-1 大型 I 桁疲労試験体のフランジ突合せ溶接部の目違い [19)]

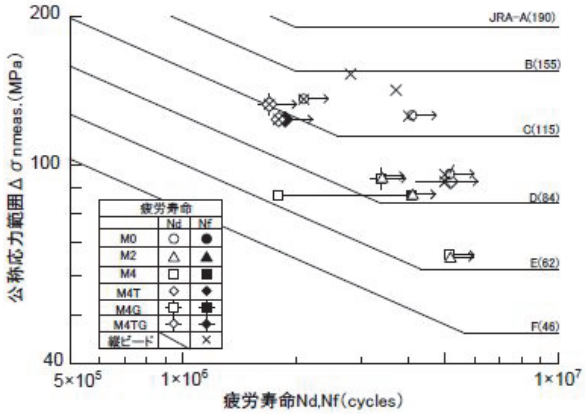


図 3-2-2　疲労試験結果 [19)]

近藤ら [20)]は，鋼床版トラフリブの現場溶接継手の安全性の検討をすることを目的として，現場溶接を模擬し，種々の製作精度（目違いに相当する肌隙やルートギャップおよび溶接姿勢）をパラメータとして製作した裏当て金付のトラフリブ突合せ溶接継手の引張継手試験体と実寸大の大型曲げ疲労試験体を製作して疲労試験による検討を行っている。大型試験体のみ，その形状を図 3-2-3 に紹介する。全てルートギャップ 5mm を設けた小型継手試験体では，目違いのある（目違い量 1mm）の試験体は上向き溶接されたものだけであるが，目違いのない試験体（実物の溶接部から切り出したもの，小型試験体で上向き溶接の終始端を模擬したもの，下向き溶接したもの）と比較して最も疲労強度が低いものとなっている。その原因として，偏心による付加的な曲げと，肌隙によりルート部に生じる鋭い切欠きが考えられるとしている。大型疲労試験では，この目違い量を 2~3mm と若干大きくし，更にルートギャップについても 0，3，5，10mm とパラメータを広げて実験的な検討を行っている。疲労試験結果では，ルートギャップが小さくなるとルート部に不溶着部が発生し疲労強度が大きく低下することが示されており，またルートギャップが 0mm で同じで肌隙の有無で比較を行うと肌隙の大きいほうが，

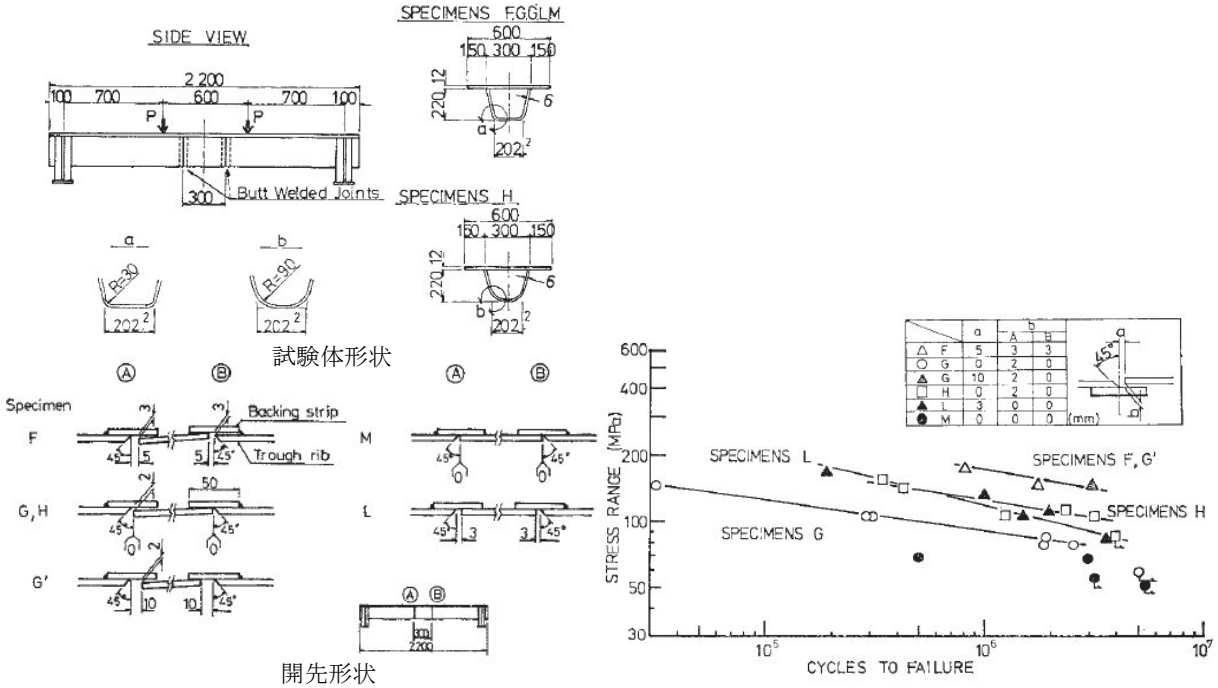
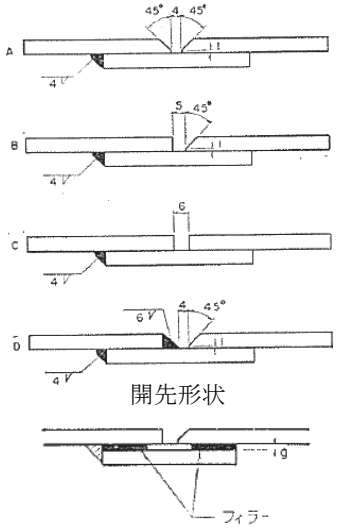


図 3-2-3　大型曲げ疲労試験体の疲労試験結果 [20)]

疲労強度が低下する傾向が見て取れる。この文献では十分な施工管理と溶接工の訓練によりルート部の不溶着部を発生させないことが重要であることが指摘されている。

また，この継手に生じる目違いの影響に関しては，例えば，LEE ら[21)22)]により，同様のトラフリブの裏当て金付の現場突合せ溶接継手をモデル化した継手に対して FEM 解析により目違いの応力集中への影響を検討し，更にき裂進展解析によりき裂進展への目違いの影響を検討されている。また，この継手に関して，佐伯ら[23)]は，種々の開先条件のもと溶接工の技能（溶接経験年数）と溶接条件（隣接縦桁との間隔）などの溶接欠陥の発生や疲労強度への影響検討を行っている。図 3-2-4 に検討ディテールを示すが，隣接縦リブとの間隔は 300mm 以上が望ましく B 開先でも良いこと，C 開先は避けるべきであること，作業者は所定の資格を有するものであれば良い（ただしルート部の溶け込みに注意して施工するよう指導）こと等が示されている。また，ここで検討した目違い量（0~3.2mm）については，溶接量が増える以外は溶接欠陥の発生には大きな問題がないことされており，文献に示される疲労試験結果を見ると，目違いにより疲労試験結果のばらつきは大きいものの，目違いの大小により疲労強度に明瞭な傾向は見られていない。



目違い量 g の定義(g=0~3.2mm)

図 3-2-4 検討開先ディテール[23)]

一方，十字継手を対象とした検討として，山田ら[24)]は，鋼床版のトラフリブと横リブとの交差部の端横桁やトラフリブからバルブプレートに移行する部位に見られる，トラフリブが横リブに溶接（通常はトラフリブが横リブを貫通し，横リブがトラフリブに溶接されている）しているディテールに関して，横リブ表裏のトラフリブの目違い量（0，2，4mm）および横リブ厚をパラメータとして図 3-2-5 に示す実物大試験体により検討を行っている。同図に疲労試験結果も示すが，横リブ厚（十字継手の中板厚）が 9mm の場合には目違い量の増加に伴い，疲労強度が低下すること，一方横リブ厚が 19mm の場合には目違いによる明瞭な差異が認められなかったことが報告されている。これは，横リブ厚（中板厚）が増加することにより，継手の回転変形が小さくなり，局所的な板曲げが緩和するためであるとしている。また，この検討では，応力解析および疲労き裂進展解析を用いた寿命解析を行い，許容できる目違い量について検討を行った結果も報告している。

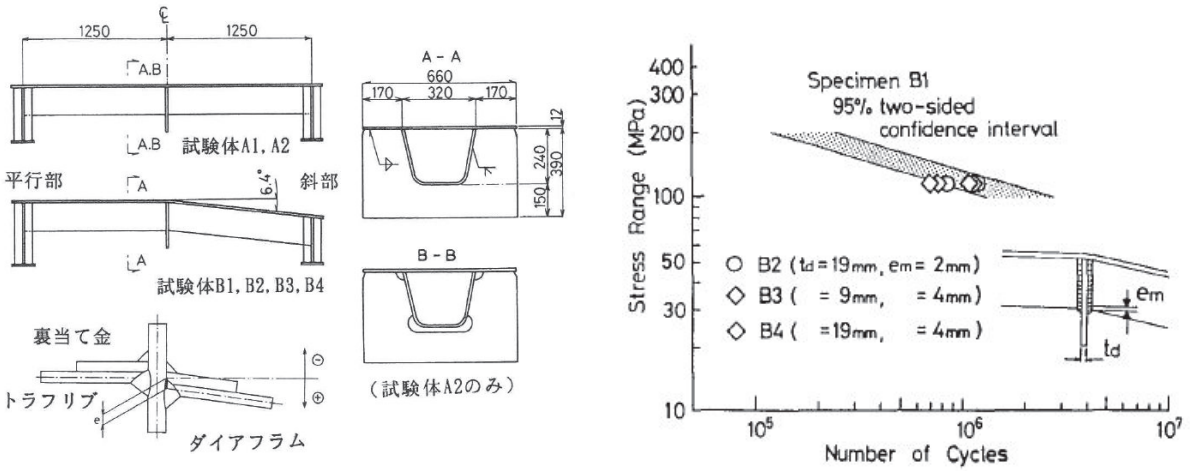


図 3-2-5　トラフリブとダイアフラム溶接部の疲労試験体および疲労試験結果[24)]

藤田ら[25]は，船体構造の棚板構造等に見られる板を介して骨部材が突合せで取り付けられる構造に注目し，中板表裏にＩ型断面部材を取り付けた試験体を製作して（図 3-2-6），目違いによる静的強度や疲労強度の低下率について実験的に検討を行っている。そこではフランジ厚を 10㎜と固定し，中板片側のＩ型部材のウェブ高さを変化させることにより目違い量を調整し(0~15㎜:疲労試験は 9㎜までの目違い)，また併せて中板厚(6,15㎜)をパラメータとして検討を行っている。さらにウェブを取り付けない構造との比較を行っており，ウェブの存在による目違いの影響の変化も検討している。破断寿命が 10^3～10^6回程度の疲労データのみを掲載されている S-N 線図から読み取ると，疲労強度はウェブなしの場合には目違いが 9㎜存在することにより 60%程度にまで低下していたが，ウェブが付いている場合には目違いの影響は非常に大きく減じ,明瞭な疲労強度低下は読み取れない結果となっている。ただし，これらのデータの殆どは，ルート破壊をしたデータであり，止端部破壊のデータはウェブなしの場合の低応力範囲の疲労試験データの場合に少数体得られたことが報告されている。

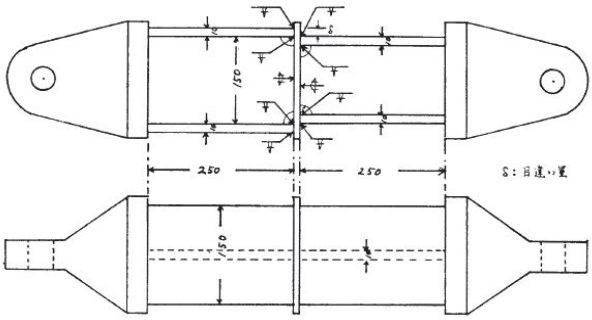
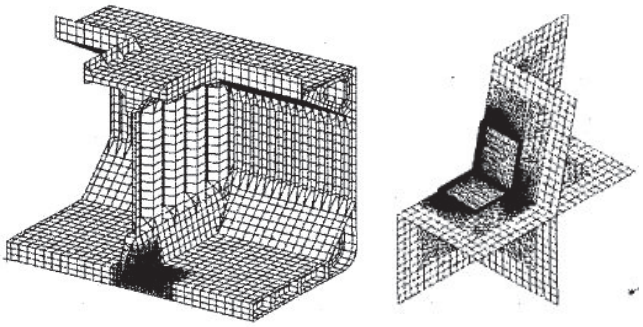


図 3-2-6 ウェブ付き疲労試験体[25]

大沢ら[26]は，実構造物における目違いの影響度を解析的に検討する手法として，船舶を対象に全体解析モデルを解析後，その結果を用いて継手部を詳細にモデル化するズーミング手法に着目して検討を行っている。検討されている解析モデルの要素分割図を図 3-2-7 に示す。全体構造解析モデルではシェル要素を，詳細モデルではソリッド要素を用いているが，目違いの影響を検討する場合，詳細モデルではその目違いを導入したモデルを作成するが，その前段階の全体構造解析モデルに目違いなしモデルおよび目違いありモデルを用いた場合の比較検討を行っており，その結果両者の差異は殆どないことが示されている。



全体シェルモデル　　局部のシェル-ソリッドモデル

図 3-2-7　解析モデル[26]

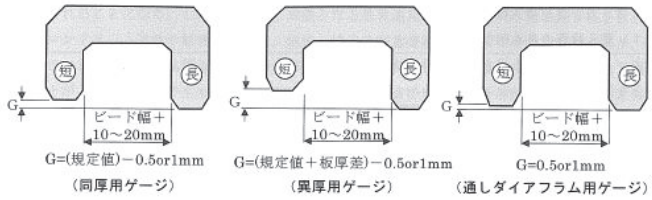
このように目違い・角変形の影響については，多く問題視されているが，例えば文献[27]では，LNG 船アルミタンク用の突合せ溶接に生じる目違い・角変形に対して，その母板の溶接時の動きを拘束するために，バキュームパッドを適切に配置し，またその拘束による溶接割れなどの欠陥を防止し得る適切な溶接条件を検討することにより，大型構造物における目違い・角変形を防止する取り組みが紹介されている。

3-3. 目違いの検査手法に関する基準

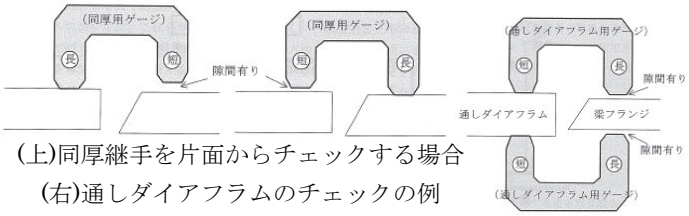
本部会で対象としている目違いは，特には鋼橋主桁と横桁の仕口部の継手，特に主桁ウェブと横桁（または仕口）の下フランジの溶接部を対象としている。このディテールは主桁の曲げに対しては面外ガセット継手，横桁からの力の伝達に対しては荷重伝達型十字継手に相当する部材である。鋼橋は非常に大きな構造物であり，主桁ウェブの表裏の横桁下フランジの目違い・角変形を測定をすることは困難である。道路橋示方書[2)]では，このディテールに関する目違いの規定はない。

目違い・角変形の計測手法について文献の調査を試みたが，目違いの測定値は掲載されていても，測定手法について掲載されている文献は殆どない。数少ないが，図 3-1-3，図 3-1-7 に示されているように移動台を用いている場合や,ダイヤルゲージ等の測定装置を用いた測定手法が掲載されている。

建築鉄骨における突合せ仕口の目違いに関して，文献「突合せ継手の食い違い仕口のずれの検査・補強マニュアル」[28)]では種々の突合せ溶接継手の目違いの計測手法について定められている。そこでは，図 3-3-1 に示すようなチェック（限界）ゲージを用いての計測することとしており，その使用方法などがディテールごとに定められている（使用例を同図に示す)。また，この手法の十字溶接継手への適用の例として，柱貫通型の H 型，十字型，T 字型断面柱の水平リブと梁フランジの溶接部の目違いについては，図 3-3-2 のように，直接チェックゲージを用いることは困難であるので適当な治具を用いて隙間ゲージなどを用いて測定すること，梁中央部（溶接線中央部）の測定は困難であるので，端部近傍を測定するなどが定められている。この図で，柱フランジに相当する部位が，本部会で対象とするディテールでは主桁ウェブということになり，非常に大きな主桁ウェブかつ主桁フランジが取り付けられているので，必ずしもこの手法を流用できるものではないが，本部会で目違い計測を行ったような部位（本部会では橋梁工場において，橋梁出荷前のブロックの端部に位置する主桁・横桁取り合い部を測定している）では参考になる手法であると考えられる。



チェック（限界）ゲージの例



(上)同厚継手を片面からチェックする場合
(右)通しダイアフラムのチェックの例

チェック（限界）ゲージの使用例

図 3-3-1 チェックゲージを用いた目違い計測 [28)]

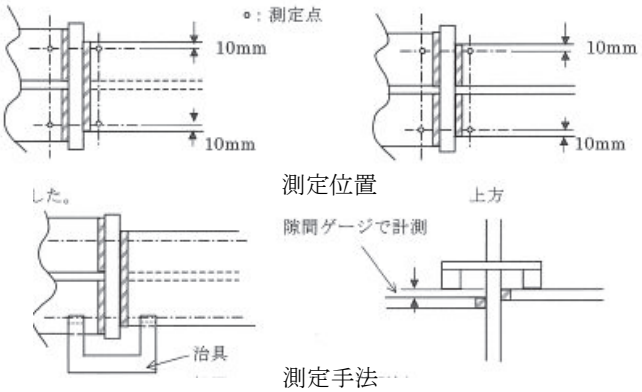
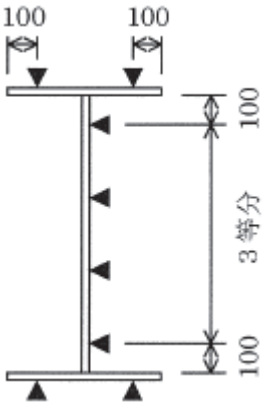


図 3-3-2 十字継手での測定手法 [28)]

鋼橋の現場突合せ溶接継手においては，開先精度の管理として開先角度，ルートギャップ，および目違いの計測を部材の架設後に実施する。日本橋梁建設協会の「現場溶接施工管理の手引き調査文献」[29)]に計測項目，計測位置，および計測方法の例が示されている（図 3-3-3)。突合せ溶接継手の目違い量の計測にあたっては，一方の鋼材表面に直定規を置いて，他方の鋼材表面と直定規の間隔をテーパーゲージで計測する。実橋梁での計測状況を図 3-3-4 に示す。



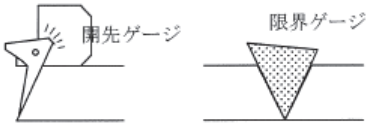
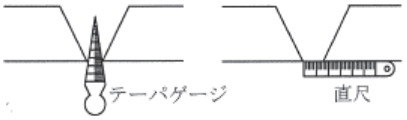
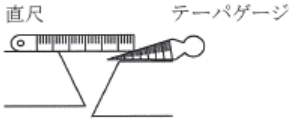
計測項目	計測器	計測方法
開先角度	開先ゲージ 限界ゲージ	
ルートギャップ	テーパゲージ 直尺	
目違い	直尺とテーパゲージ	

図 3-3-3 開先精度の計測の例 [29)]

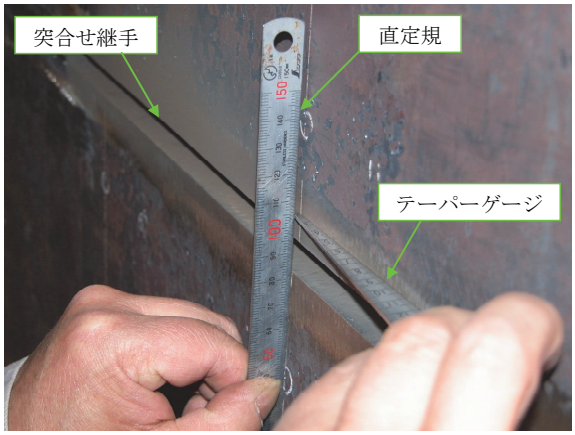


図 3-3-4 実橋梁での計測状況

また，十字溶接継手の目違いの基準のある造船関係については，目違いの管理手法に関する基準はなく，「部材溶接前に差し越し線（目安線）を設け，この線からの距離で管理する」といった手法が取られている例もある。

【参考文献】

1) 日本鋼構造協会：鋼構造物の疲労設計指針・同解説，技法堂出版，2012
2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，丸善，2002
3) 日本船舶海洋工学会：日本鋼船工作法制度標準(JSQS)，2004
4) International Institute of Welding : Fatigue Design of Welded Joints and Components , XIII-1539-96/XV-845-96，1996
5) DET NORSKE VERITAS(DNV)：FATIGUE ASSESSMENT OF SHIP STRUCTURES, 2008
6) 矢田敏夫：溶接構造物に発生する脆性破壊の研究（第 3 報）－平板および局面板の溶接による変形部に生ずる歪集中について－，造船協会論文集 119 号，p.134-141，1966
7) S J Maddox：Fatigue Strength of Welded Structures，Abington Publishing，1991

8) 八木順吉，恒成利康，尾野英夫：角変形，目違いのある溶接継手の疲労強度（第 1 報），関西造船協会誌，168 号，p.89-99, 1978
9) 飯田國廣，飯野暢：角変形をもつ溶接継手の疲労強度，日本造船学会論文集，Vol.140，p.259-265，1976
10) 大野啓充，鯉渕興二：角変形を有するアルミニウム合金溶接継手の疲労強度，溶接学会全国大会概要集，第 34 集，p.133-134，1984
11) M. Chiarelli，A. Lanciotti，M. Sacchi：Fatigue resistance of MAG welded steel elements，International Journal of Fatigue，Vol.21，p.1099-1110，1999
12) 上村武，酒井啓一，永岡栄之：アルミ合金（A5083-O）目違い付十字溶接継手の疲労強度，溶接学会全国大会講演概要，第 35 集，p.294-295，1984
13) S.T.Lie，S.Lan：A boundary element analysis of misaligned load-carrying cruciform welded joints，International Journal of Fatigue，Vol.20，No.6，p.433-439，1998
14) British Standard Institution：BS PD6493，1991
15) 佐々木悦男，太田昭彦，二瓶正俊，鎌倉将英，久保田英範：溶接継手の疲れ強さに及ぼす角変形・目違い量の影響，溶接学会全国大会講演概要，p.314-315，1979
16) 穴見健吾，横田博之：引張と曲げを受ける荷重伝達型十字溶接継手の疲労挙動，構造工学論文集
17) 恒成利康，尾野英夫，田中進：目違いを有する十字すみ肉溶接継手の疲労強度，p.372-373，1972
18) 日本造船研究協会：第 95 研究部会「高張力鋼の低サイクル疲労強度に関する研究」報告書，1968
19) 山岡大輔，船山晃司，坂野昌弘：目違いがある下フランジ横突合せ溶接部の疲労強度，第 66 回土木学会年次学術講演会概要，p.301-302，2011
20) 近藤明雅，山田健太郎，青木尚夫，菊池洋一：鋼床版閉断面縦リブ現場溶接継手の疲労強度，土木学会論文報告集第 340 号，1983
21) Dong Uk LEE and Kohsuke HORIKAWA：Fatigue Strength of Oneside-welded Joint with Backing Strip，Proc. of JSCE Vol.2, No.2，p.327-332　1985
22) 李東郁，堀川浩甫，荒田吉明：裏当金を有する溶接継手の疲労強度に及ぼすルート形状の影響の定量化，溶接学会論文集，Vol.6，p.158-164，1988
23) 佐伯彰一，西川和廣，滝沢晃，新田篤志：鋼床版縦リブ現場溶接継手の施工条件と疲労強度，土木技術資料 23-8，p.9-14，1981
24) 山田健太郎, 高橋章, 酒井吉永, 横山正則, 井ケ瀬良則：鋼床版と RC 床版接合部の疲労強度，構造工学論文集, Vol.40，p. 1265-1274，1994
25) 藤田譲，萩原孝一，藤野宏，橋本博之：目違いのあるすみ肉溶接構造物の強度，日本造船学会論文集，Vol.130，p.297-309，1971
26) 大沢直樹, 澤村淳司, 藤原力：目違いが実船体構造中の溶接継手の疲労強度に与える影響に関する一考察，日本船舶海洋工学会講演会論文集，No.7K，109-112，2008
27) 馬場脩，真鍋英男，奥本泰久，池添眞光：SPB 方式 LNG 船用アルミタンクの突合せ溶接の改善，船舶海洋工学論文集，No.5，p.91-97，2007
28) (社)鉄骨建設業協会・(社)全国鐵構工業協会　鉄骨製作管理技術登録機構：突合せ継手の食い違い仕口のずれの検査・補強マニュアル，平成 15 年
29) 日本橋梁建設協会：現場溶接施工管理の手引き　平成 17 年 3 月

§4　実橋梁部材の目違い計測

本 WG では，鋼橋において十字溶接継手を構成する主桁と横桁の交差部に着目し，目違いにより生じる応力増加を疲労設計で考慮すべきか否かを検討する目的で，国内の鋼橋における目違いの程度を把握するために実橋梁部材の目違いの計測を実施した。

4-1. 計測方法

実構造物における計測は，橋梁製作工場にある新設の鈑桁橋，鋼床版鈑桁橋，および細幅箱桁を含む箱桁橋の部材で行った。計測対象は図 4-1-1 に示す主桁と横桁の交差部である。鈑桁橋においては多主桁橋で，主桁腹板の両側に接合されている横桁フランジ相互の板厚方向のズレを十字溶接継手の鉛直方向の目違いとし，フランジ幅方向のズレを水平方向の目違いとした。また，箱桁橋においては，横桁フランジと主桁腹板を介して桁内に配置されている控え材との板厚方向のズレを鉛直方向の目違いとし，フランジ幅方向のズレを水平方向の目違いとした。本 WG で検討を行った目違いの考え方を図 4-1-2 に示す。

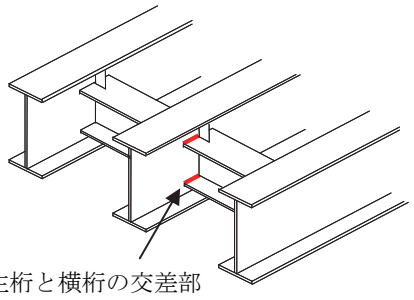


図 4-1-1　目違いの計測対象箇所

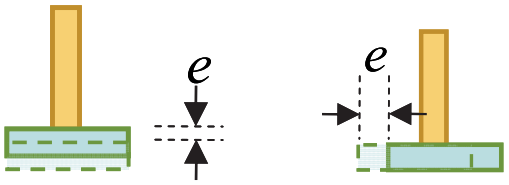


図 4-1-2　WG における目違い量の考え方

計測を行った部材の工場製作工程の段階は，本溶接およびその後の矯正が終了し，完成部材としての寸法形状にある。一部の部材では，部材の本溶接前の組立完了段階でも計測を行い，本溶接による溶接変形の残留が計測結果に及ぼす影響について検討を行った。

鈑桁橋および箱桁橋とも，桁の左右，或いは桁の内外の計測対象箇所が，一度に見通すことのできる部材端部付近の横桁で計測を行った。目違いの計測にあたって，部材の横桁フランジおよび主桁腹板に数点の計測用ターゲットを配置した。図 4-1-3 は計測用ターゲットの配置例で，図中の・印は計測用ターゲットを示している。横桁フランジおよび桁内の控え材では，板の縁端部（板コバ）に沿って計測用ターゲットを配置した。一方，主桁腹板では，桁端部における主桁腹板の縁端部，または横桁フランジの板コバの延長線上に配置した。

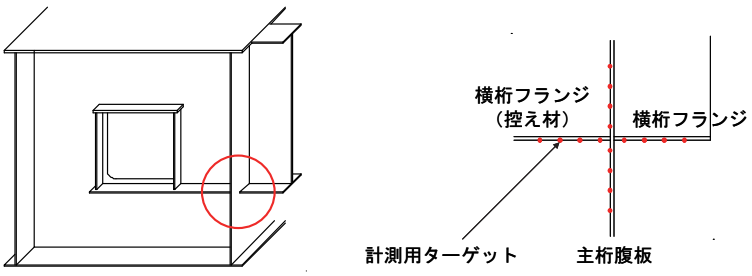


図 4-1-3　計測用ターゲットの配置例

部材に配置した計測用ターゲットの位置を，鋼橋のシミュレーション仮組立で用いられるデジタルカメラによる三次元計測システム，または三次元光波計測器を使用して計測して各計測点の三次元座標を得た。鈑桁橋においてはデジタルカメラを用いた計測システムにより，箱桁橋においては光波計測器を使用して計測を行った。デジタルカメラによる計測では，着目箇所である主桁と横桁の交差部の計測用ターゲットの他に，部材の形状を数値処理で求めるための基準バー等を設置している(図 4-1-4)。



図 4-1-4　デジタルカメラによる計測状況

4-2. 計測結果

(1) 計測データの処理方法

鈑桁橋の部材で 1 例，鋼床版鈑桁橋の部材で 1 例，および箱桁橋の部材で 5 例，計 7 例の計測結果を得た。各計測点の座標値を CAD 上にプロットし，横桁フランジ上の 2 点の計測点を外挿して，横桁フランジと主桁腹板の交点を求めた。

先ず，図 4-2-1 に示す横桁フランジを跨ぐ主桁腹板上の計測点①と②を直線で結び，主桁腹板の片側の面に相当する線を引く。そして，この線に対して主桁腹板の板厚に等しい平行線を引き，主桁腹板の位置を仮定する。ここでは，主桁腹板の板厚に設計図面の数値を用いている。次に，横桁フランジ上の計測点③と④を直線で結び横桁フランジの板の角部とし，主桁腹板の位置に向けて直線を外挿する。同様に，他方の横桁フランジ上の計測点⑤と⑥を直線で結び主桁腹板の位置へ外挿する。主桁腹板の両側における横桁フランジとの交点のズレを CAD 上で計測し，このズレ量を十字溶接継手の目違い量とした。

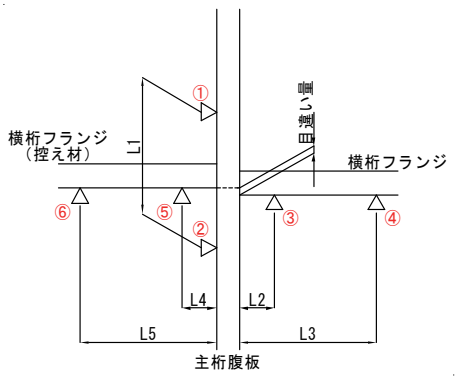


図 4-2-1　計測データの処理概要図

１つの計測データを除いて，横桁フランジおよび主桁腹板とも，双方の交点に対して片側に 4 点の計測点を配置して計測している。今回計測を行った部材の板の平面度は，規定値を十分に満足しているものの，溶接ひずみによる板の変形は多少残る。目違い量は 2 点の計測点を外挿して求めるため，鋼板に残留する溶接変形の影響を受けると予想した。

横桁フランジおよび主桁腹板の位置の仮定にあたって，用いる計測点を変えた 2 通りの計算方法により目違い量を求めた。計算方法 1 は，着目箇所に配置した計測点の内，横桁フランジと主桁腹板の交差部に近い計測点を用いて目違い量を計算している。計算方法 2 は，図 4-2-1 に示す計測点③と⑤は計算方法 1 と同じで，計測点④と⑥に主桁腹板より離れた計測点を用いている。また，計測点①と②は横桁フランジに近い計測点を用いている。

(2) 計測データの処理結果

表 4-2-1 に，前述の計測データの処理方法によって求めた実橋梁部材の目違い量を示す。完成系の寸法形状にある部材で，鉛直方向の目違い量については 7 データ，水平方向の目違い量については 5 データが得られた。表中の記号 L1～L5 は，図 4-2-1 に示す箇所の距離である。ターゲットの設置方法は，図 4-3-2 に示すように直接鋼材の角に貼り付けたものを設置方法 A，磁石を用いて鋼材面上にターゲットを設置したものを設置方法 B と区分した。計測時期については，部材の本溶接および矯正が完了している段階を本溶接後，本溶接前で部材の組立が完了した段階を本溶接前とした。

今回の計測結果を計算方法 1 で整理すると，主桁と横桁の交差部における十字溶接継手の鉛直方向の目違い量は 0.2mm～3.3mm，水平方向の目違い量は 0.3mm～2.6mm となった。計算方法 2 で整理すると，鉛直方向の目違い量は 0.6mm～3.6mm，水平方向の目違い量は 0.7mm～2.6mm となった。2 通りの計算方法の結果を比較すると，その差は鉛直方向の目違い量で最大 0.4mm，水平方向の目違い量で最大 0.1mm であった。水平方向より鉛直方向の目違い量の差が大きいことから，溶接ひずみによる板の平面度が若干影響しているものと考えられるが，計算方法 1 と計算方法 2 の 2 通りの処理方法で大きな差はないと考察する。また，計測データ 6 および計測データ 7 で本溶接前後の結果を比較すると，その差は 0.1mm と 0.5mm で小さい。道示における板の平面度の規定値を満たす部材の計測にあたっては，溶接変形の残留が計測結果に及ぼす影響は小さいと考察する。

今回の計測の範囲では，鉛直方向の目違い量の最大は 3.3mm，水平方向の目違い量の最大は 2.6mm であった。いずれも計算方法 1 で整理した値である。今回の計測の結果から，橋梁形式による差，および主桁と横桁の交差形状による差は顕著にみられない。

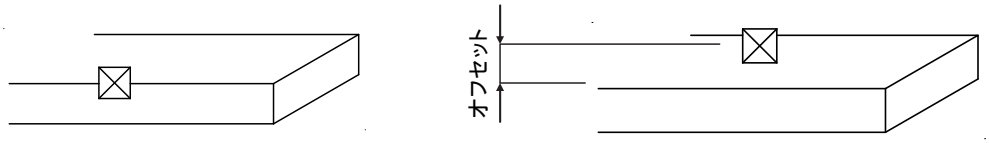
表 4-2-1　計測データの処理結果

データNo.		1	2	3	4	5	6		7	
データ名		計測データ1	計測データ2	計測データ3	計測データ4	計測データ5	計測データ6-1	計測データ6-2	計測データ7-1	計測データ7-2
橋梁製作工場		A工場	A工場	B工場	B工場	C工場	D工場	D工場	D工場	D工場
橋梁形式		鈑桁橋	鋼床版鈑桁橋	箱桁橋	箱桁橋	箱桁橋	箱桁橋	箱桁橋	箱桁橋	箱桁橋
計測方法		デジタルカメラ計測	デジタルカメラ計測	光波計測	光波計測	光波計測	光波計測	光波計測	光波計測	光波計測
ﾀｰｹﾞｯﾄの設置方法		A	A	A	A	B	A	A	A	A
計測時期		本溶接後	本溶接後	本溶接後	本溶接後	本溶接後	本溶接前	本溶接後	本溶接前	本溶接後
主桁腹板厚(mm)		14	13	15	14	10	12	12	12	12
横桁ﾌﾗﾝｼﾞ厚(mm)		28	14	10	28	19	12	12	12	12
計算方法1	L1(mm)	180.0	877.4	109.1	130.3	221.3	108.3	107.5	108.7	107.9
	L2(mm)	53.1	54.0	49.1	52.6	93.4	50.7	50.0	51.3	50.8
	L3(mm)	102.7	124.8	148.2	153.0	289.0	152.8	152.2	150.0	149.8
	L4(mm)	45.0	54.4	48.8	47.7	109.2	49.9	50.0	50.1	48.8
	L5(mm)	96.3	117.9	148.5	298.2	304.1	148.9	148.5	150.3	141.0
	目違い量									
	鉛直方向(mm)	1.7	0.2	2.4	1.7	2.2	0.7	0.6	2.9	3.3
	水平方向(mm)	2.0	0.3	1.4	2.6	－	－	0.8	－	1.5
計算方法2	L1(mm)	631.8	－	708.9	730.0	－	411.6	411.6	408.3	408.2
	L2(mm)	53.1	－	49.1	52.6	－	50.8	50.8	51.7	51.0
	L3(mm)	251.8	－	345.4	352.7	－	352.4	352.6	349.9	348.9
	L4(mm)	45.0	－	48.8	47.7	－	49.9	49.2	49.8	48.7
	L5(mm)	250.2	－	349.1	298.2	－	249.5	247.5	249.9	243.6
	目違い量									
	鉛直方向(mm)	1.3	－	2.1	1.5	－	0.6	0.6	3.1	3.6
	水平方向(mm)	－	－	1.3	2.6	－	－	0.7	－	1.4

【注記】計測時期

本溶接後：本溶接およびその後の矯正が終了し完成部材としての寸法形状にある

本溶接前：本溶接前で部材の組立が完了した段階にある



実橋梁の計測では，ターゲットを直接，
鋼材の角に貼り付け．

設置方法：A

実橋梁の計測では，鋼材面上に磁石で
ターゲットを設置．

設置方法：B

図 4-2-2　ターゲットの設置方法

4-3. 計測精度

目違い量の計測精度を確認するため，計測精度確認用の試験体を製作して目違い量の計測を行った。計測精度の確認は，実橋梁部材の計測を行った全ての工場で，実橋梁部材の計測と同じ計測方法で行った。図 4-3-1 に計測精度確認用の試験体を示す。試験体の製作段階で，立板を介して突き合せる横板を横板の板厚方向に約 5mm ずらしている。試験体の鉛直方向の目違い量は 5.2mm である。

表 4-3-1 に計測精度の確認試験の結果を示す。デジタルカメラによる計測では試験体の 5.2mm に対して+0.8mm，光波計測では-0.6mm～+0.5mm であった。デジタルカメラによる計測では，室内で実橋梁での計測より近い距離で計測しているため，光波計測より計測誤差は若干大きくなっている。デジタルカメラおよび光波計測とも 1mm を超える値はなく，計測精度は確保されているものと考察する。

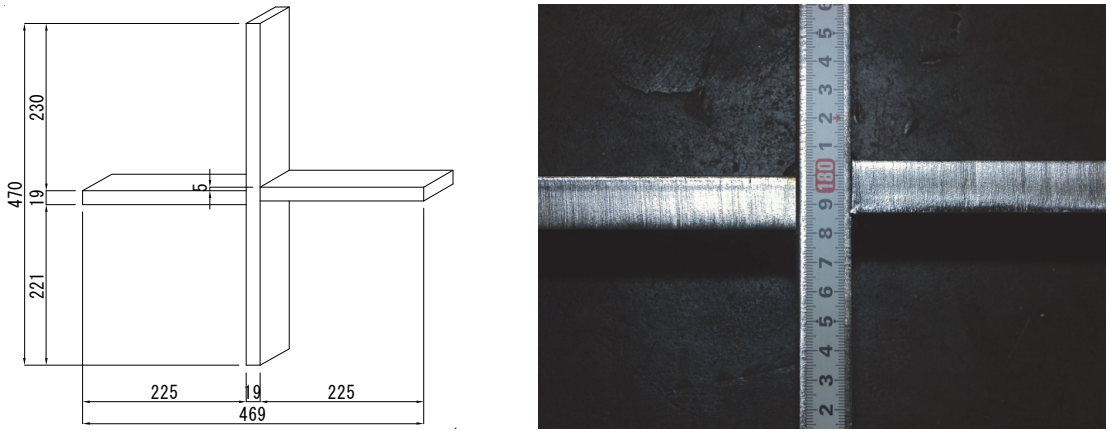


図 4-3-1　計測精度確認用試験体

表 4-3-1　精度確認試験結果

	計測方法	ﾀｰｹﾞｯﾄ設置	目違い量(mm)	
A工場	ﾃﾞｼﾞﾀﾙｶﾒﾗ	A	6.0	－
B工場	光波測量	A	5.6	－
C工場	光波測量	B	5.4	5.7
D工場	光波測量	A	4.6	－
試験体	－	－		5.2

4-4. まとめ

本 WG では，鋼橋において十字溶接継手を構成する主桁と横桁の交差部に着目し，橋梁製作工場で実橋梁部材の目違い量の計測を行った。目違い量の計測は，デジタルカメラによる三次元計測システム，および三次元光波計測器を使用して行い，鈑桁橋の部材で 1 例，鋼床版鈑桁橋の部材で 1 例，および箱桁橋の部材で 5 例，計 7 例の計測結果を得た。

計測点の座標値を CAD 上にプロットし，横桁フランジ上の 2 点の計測点を外挿して鉛直および水平方向の目違い量を求めた。計測データの処理は，外挿に用いる計測点を変えた 2 通りの方法で行った。計算方法 1 で整理すると今回の計測の範囲では，鉛直方向の目違い量の最大は 3.3mm，水平方向の目違い量の最大は 2.6mm であった。

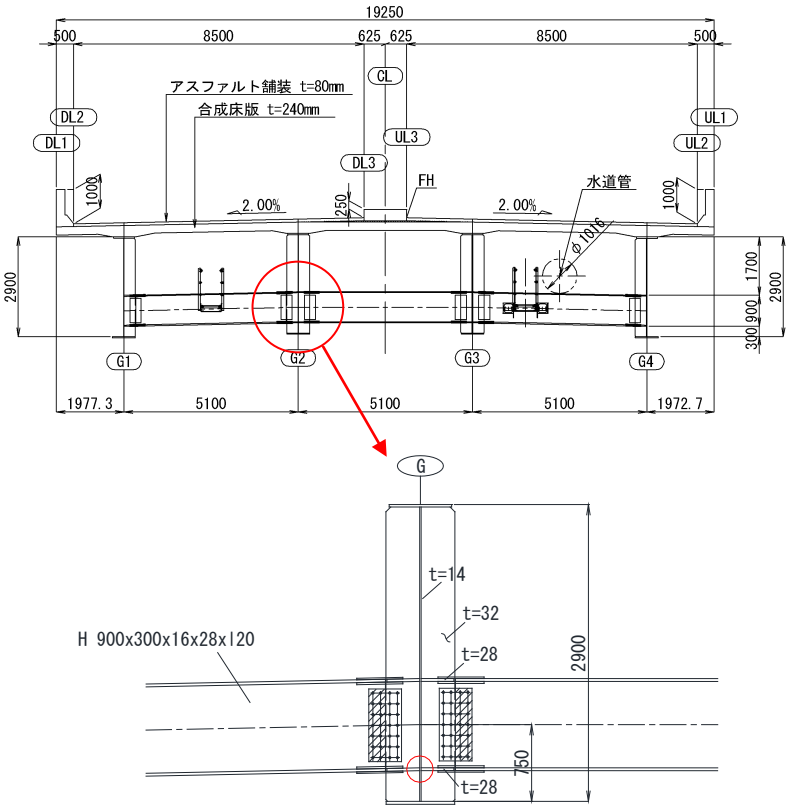
道示における板の平面度の規定値を満たす部材の十字継手の目違い量の計測にあたっては，本 WG で実施した計測は有効な手法と考えられる。

4-5. 計測データ集

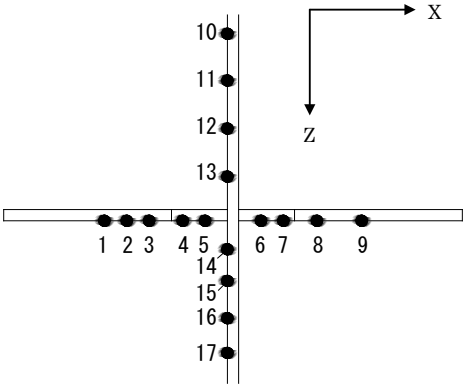
本 WG で実施した実橋梁部材の目違い量の計測結果を次ページ以降に掲載する。

データ No.	1
橋梁形式	鈑桁橋（多主桁），箱桁橋，鋼床版鈑桁橋，鋼床版箱桁橋，その他（　　）
対象継手	端横桁仕口，中間横桁仕口，ブラケット仕口，横リブ仕口，その他（　　）
計測時期	本溶接前で組立溶接の状態，部材の製作が完了した状態（塗装前）
計測方法	デジタル画像計測，光波測量，その他（　　）

断　面　図



○印：計測位置



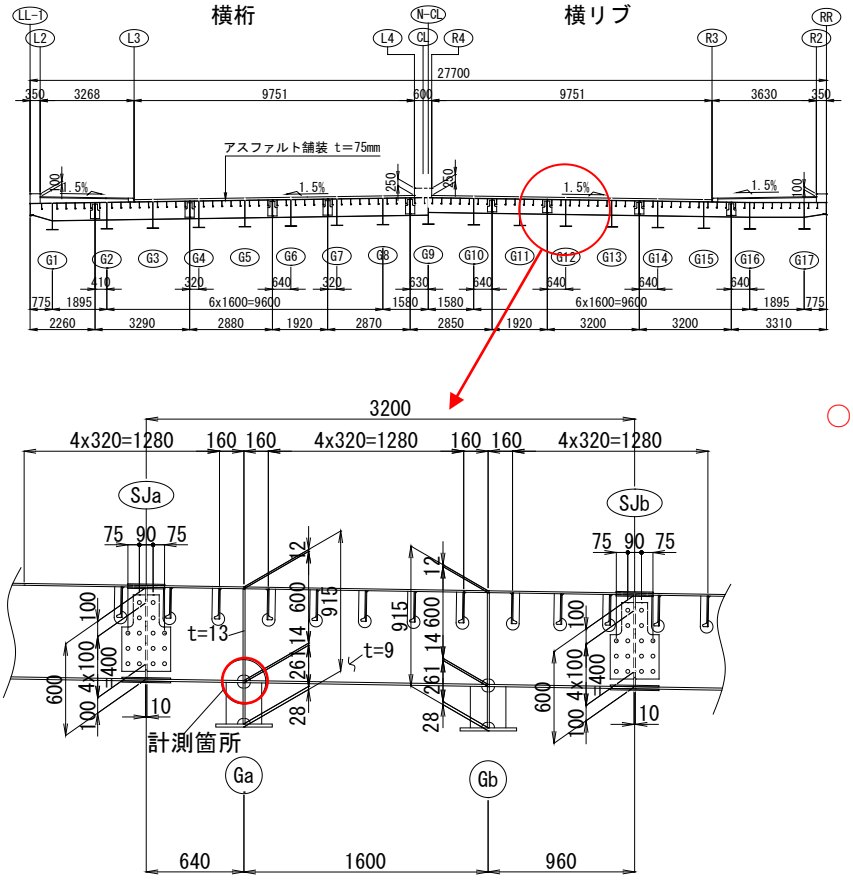
計測位置図

【計測結果】　鉛直方向 1.7mm，水平方向 2.0mm

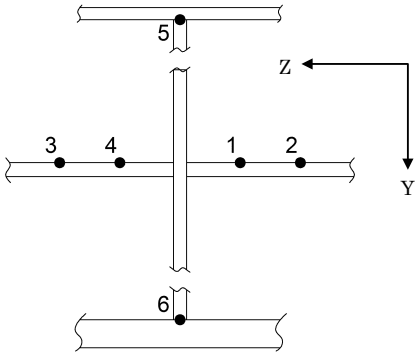
計測点	計測データ X(mm)	計測データ Y(mm)	計測データ Z(mm)	変換データ X(mm)	変換データ Y(mm)	変換データ Z(mm)
1	-231.93	357.92	484.17	0.00	0.00	0.00
2	-181.63	355.13	481.50	50.43	-0.28	-1.00
3	-131.10	351.96	479.13	101.11	-0.92	-1.69
4	-73.38	450.70	475.35	153.94	100.58	-2.76
5	-22.29	446.88	472.82	205.21	99.32	-3.59
6	89.61	442.21	468.40	317.29	100.23	-4.28
7	139.02	439.00	465.81	366.86	99.49	-5.23
8	182.89	337.80	463.34	415.77	0.61	-7.01
9	282.77	332.28	458.10	515.92	0.08	-8.93
10	4.97	342.46	94.93	250.18	-0.06	-381.15
11	7.28	343.73	195.68	249.07	0.37	-280.38
12	12.09	343.88	296.47	250.52	-0.19	-179.48
13	16.07	344.75	395.95	251.14	-0.06	-79.92
14	21.27	338.97	575.90	250.63	-7.27	100.05
15	22.62	339.44	625.59	250.31	-7.20	149.76
16	24.51	338.52	677.15	250.52	-8.52	201.35
17	25.82	338.84	726.45	250.18	-8.60	250.66

データ No.	2
橋梁形式	鈑桁橋（多主桁），箱桁橋，**鋼床版鈑桁橋**，鋼床版箱桁橋，その他（　　）
対象継手	端横桁仕口，中間横桁仕口，ブラケット仕口，**横リブ仕口**，その他（　　）
計測時期	本溶接前で組立溶接の状態，**部材の製作が完了した状態（塗装前）**
計測方法	**デジタル画像計測**，光波測量，その他（　　）

断　面　図



○印：計測位置



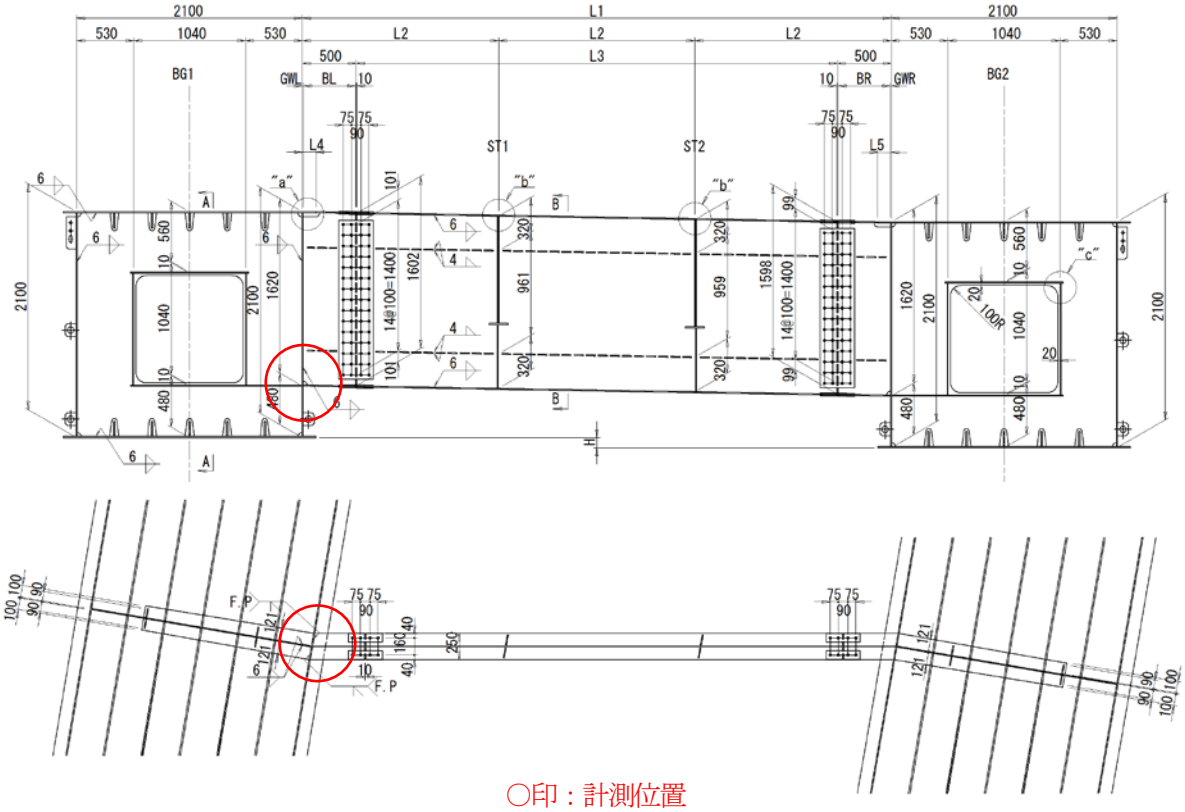
計測位置図

【計測結果】　鉛直方向 0.2mm，水平方向 0.3mm

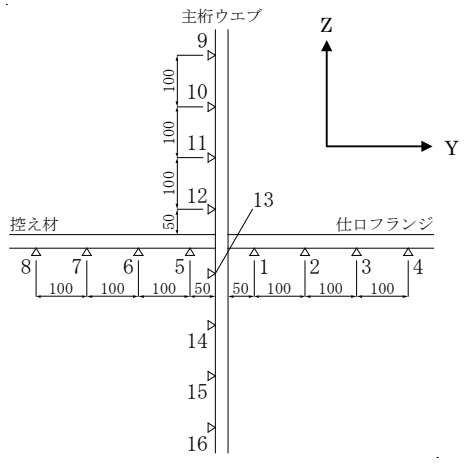
計測点	計測データ			変換データ		
	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)
1	148.89	86.43	118.03	0.00	1.09	70.82
2	136.87	91.77	48.43	0.00	0.00	0.00
3	179.96	72.42	299.76	-0.30	3.83	255.70
4	169.48	77.05	237.28	0.01	2.71	192.18
5	-492.90	-524.16	226.96	-623.43	-635.30	124.78
6	-441.19	348.79	298.71	-623.43	242.11	124.78

データ No.	3
橋梁形式	鈑桁橋（多主桁），箱桁橋，鋼床版鈑桁橋，鋼床版箱桁橋，その他（　　）
対象継手	端横桁仕口，中間横桁仕口，ブラケット仕口，横リブ仕口，その他（　　）
計測時期	本溶接前で組立溶接の状態，部材の製作が完了した状態（塗装前）
計測方法	デジタル画像計測，光波測量，その他（　　）

断　面　図



○印：計測位置



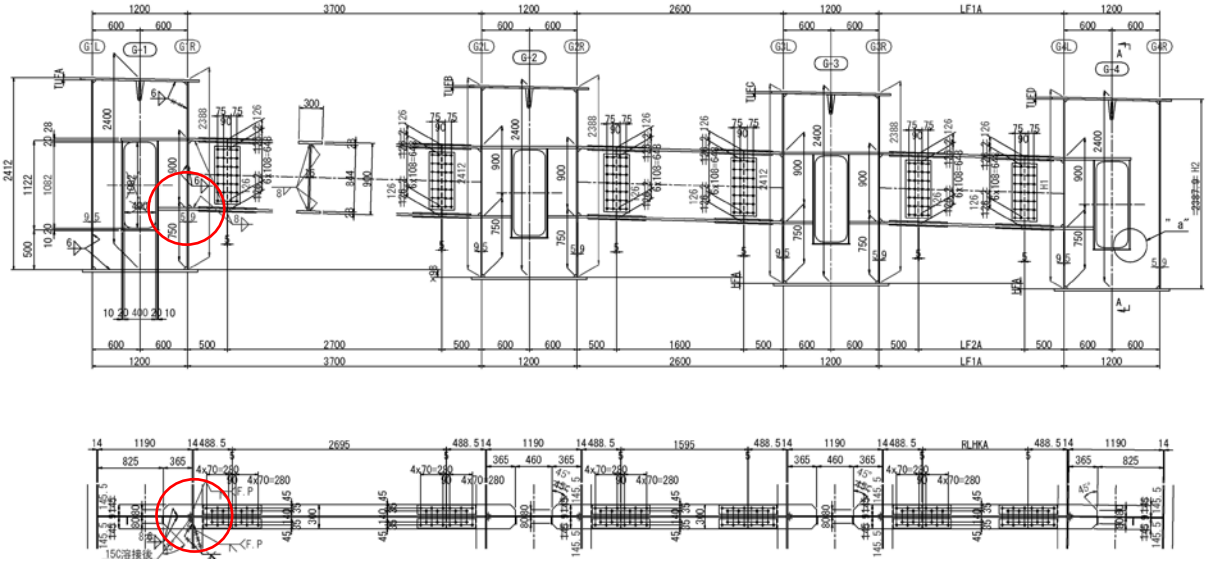
計測位置図

【計測結果】　鉛直方向 2.4mm，水平方向 1.4mm

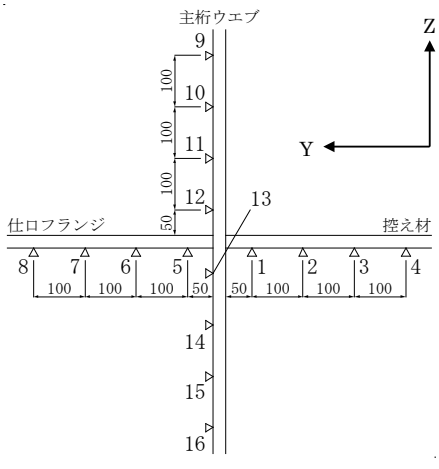
計測点	計測データ X(mm)	計測データ Y(mm)	計測データ Z(mm)	変換データ X(mm)	変換データ Y(mm)	変換データ Z(mm)
1	-438.94	383.24	471.52	6.59	112.84	1.81
2	-368.59	454.82	469.31	22.49	211.95	0.36
3	-299.24	525.77	466.15	37.94	309.98	-2.04
4	-228.74	597.25	462.71	54.01	409.10	-4.72
5	-509.65	295.04	470.64	0.00	0.00	0.00
6	-567.23	213.66	471.97	0.18	-99.70	0.48
7	-625.73	131.30	472.73	0.17	-200.72	0.37
8	-683.54	50.17	473.60	0.02	-300.35	0.39
9	-483.81	340.27	831.05	-3.17	48.75	360.86
10	-483.66	339.47	730.01	-3.13	49.05	259.82
11	-484.48	338.75	629.28	-3.93	48.85	159.09
12	-483.99	337.55	531.30	-3.36	49.00	61.10
13	-483.90	335.56	422.22	-2.73	48.36	-47.99
14	-487.93	337.88	321.13	-7.91	48.78	-149.06
15	-484.57	334.14	221.50	-3.54	48.53	-248.72
16	-484.19	333.10	122.18	-3.17	48.75	-348.04

データ No.	4
橋梁形式	鈑桁橋（多主桁），箱桁橋，鋼床版鈑桁橋，鋼床版箱桁橋，その他（　　）
対象継手	端横桁仕口，中間横桁仕口，ブラケット仕口，横リブ仕口，その他（　　）
計測時期	本溶接前で組立溶接の状態，部材の製作が完了した状態（塗装前）
計測方法	デジタル画像計測，光波測量，その他（　　）

断　面　図



○印：計測位置



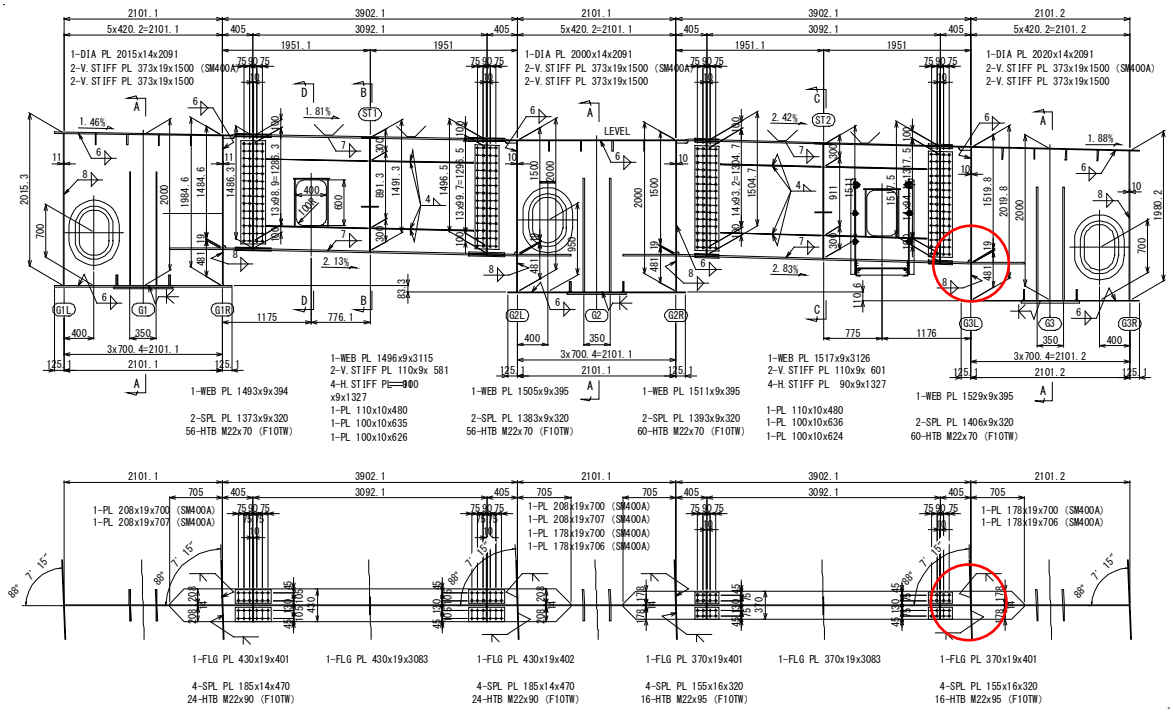
計測位置図

【計測結果】　鉛直方向 1.7mm，水平方向 2.6mm

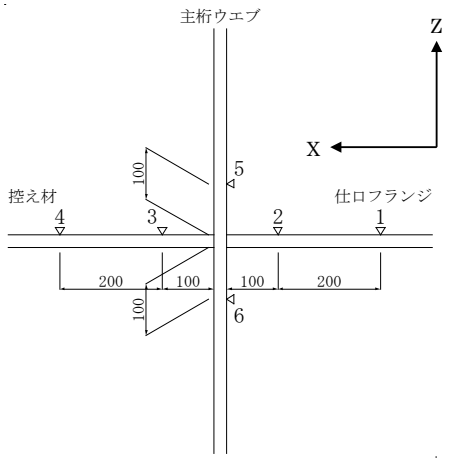
計測点	計測データ			変換データ		
	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)
1	1.90	-114.23	-0.95	1.89	-114.23	0.03
2	0.35	-214.60	1.07	0.52	-214.58	3.11
3	-1.54	-314.30	2.28	-1.25	-314.26	5.39
4	-2.72	-414.30	3.61	-2.29	-414.25	7.75
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	99.87	0.89	0.01	99.87	-0.07
7	-0.09	199.28	1.62	-0.09	199.29	-0.29
8	0.12	250.52	1.60	0.10	250.52	-0.82
9	-21.70	-51.31	378.29	1.74	-47.67	379.38
10	-12.47	-52.20	279.13	4.82	-49.51	279.86
11	-8.13	-49.67	179.03	2.97	-47.95	179.66
12	-3.12	-47.64	79.15	1.80	-46.88	79.65
13	5.33	-46.54	-50.82	2.20	-47.03	-50.60
14	10.59	-45.84	-150.63	1.29	-47.29	-150.55
15	16.42	-44.84	-249.69	0.99	-47.24	-249.79
16	23.40	-44.30	-350.32	1.74	-47.67	-350.65

データ No.	5
橋梁形式	鈑桁橋（多主桁），箱桁橋，鋼床版鈑桁橋，鋼床版箱桁橋，その他（　　）
対象継手	端横桁仕口，中間横桁仕口，ブラケット仕口，横リブ仕口，その他（　　）
計測時期	本溶接前で組立溶接の状態，部材の製作が完了した状態（塗装前）
計測方法	デジタル画像計測，光波測量，その他（　　）

断　面　図



○印：計測位置



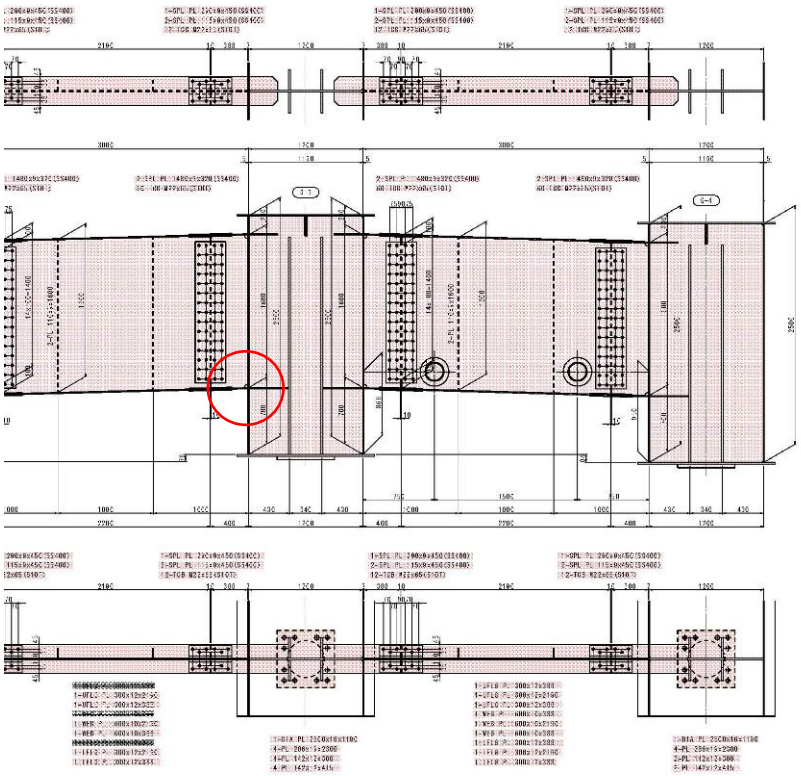
計測位置図

【計測結果】　鉛直方向 2.2mm

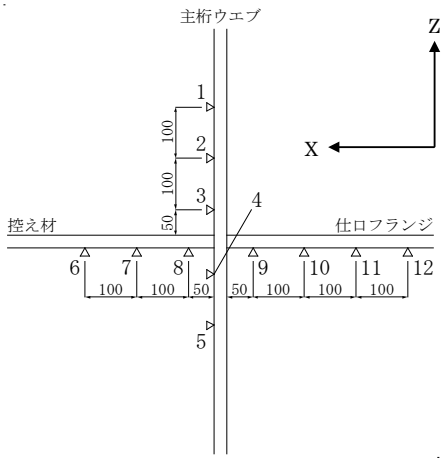
測点No.	X(m)	Z(m)
①	0.0000	0.0000
②	0.1955	-0.0065
③	0.4081	-0.0100
④	0.6029	-0.0110
⑤	0.2889	0.0906
⑥	0.2888	-0.1307

データ No.	6　（計測データ６－１）
橋梁形式	鈑桁橋（多主桁），箱桁橋，鋼床版鈑桁橋，鋼床版箱桁橋，その他（　　）
対象継手	端横桁仕口，中間横桁仕口，ブラケット仕口，横リブ仕口，その他（　　）
計測時期	本溶接前で組立溶接の状態，部材の製作が完了した状態（塗装前）
計測方法	デジタル画像計測，光波測量，その他（　　）

断　面　図



○印：計測位置



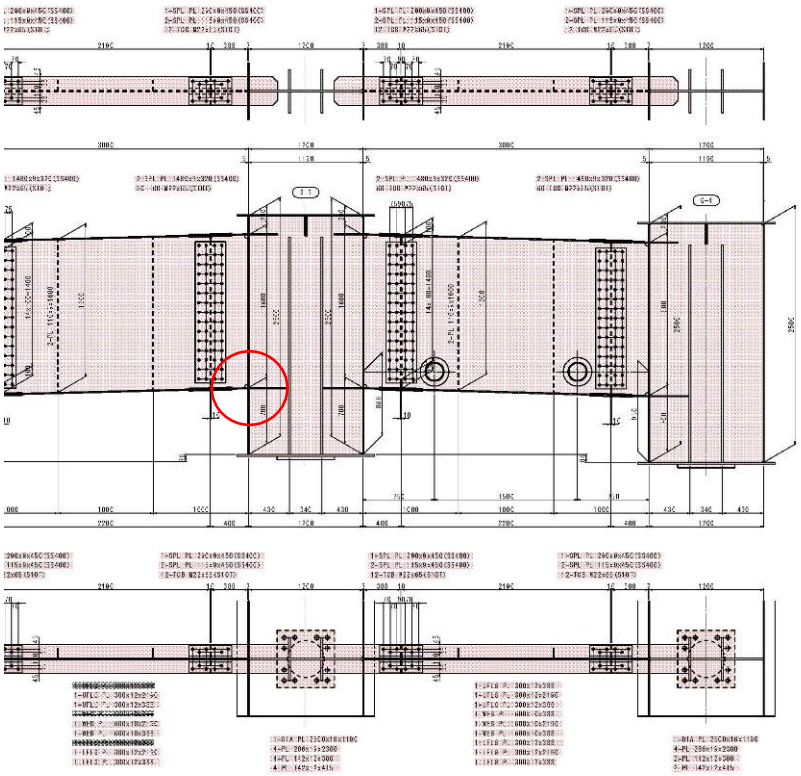
計測位置図

【計測結果】　鉛直方向 0.7mm

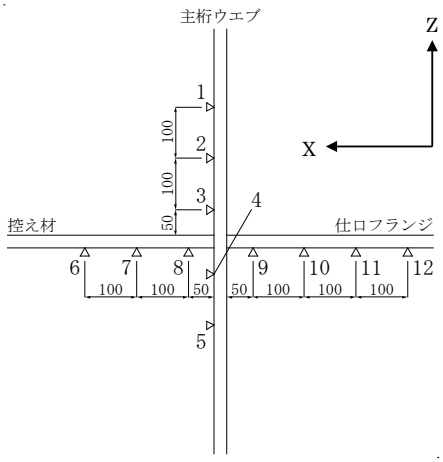
計測点	計測データ			変換データ		
	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	5.10	-0.20	-100.30	-0.19	-0.23	-100.43
3	10.30	-0.10	-199.60	-0.08	-0.29	-199.87
4	16.00	-0.10	-307.70	-0.08	-0.33	-308.12
5	21.80	0.00	-411.00	0.00	0.00	-411.58
6	149.20	258.40	-254.20	249.47	151.34	-261.75
7	155.50	157.90	-253.30	148.77	151.41	-261.18
8	161.60	59.50	-252.70	50.18	151.40	-260.90
9	167.50	-53.30	-253.90	-62.77	150.20	-262.42
10	174.30	-155.20	-255.50	-164.89	150.56	-264.37
11	180.50	-254.60	-257.70	-264.47	150.44	-266.90
12	186.60	-354.30	-259.80	-364.35	150.20	-269.32

データ No.	6　（計測データ６－２）
橋梁形式	鈑桁橋（多主桁），箱桁橋，鋼床版鈑桁橋，鋼床版箱桁橋，その他（　　）
対象継手	端横桁仕口，中間横桁仕口，ブラケット仕口，横リブ仕口，その他（　　）
計測時期	本溶接前で組立溶接の状態，部材の製作が完了した状態（塗装前）
計測方法	デジタル画像計測，光波測量，その他（　　）

断　面　図



○印：計測位置



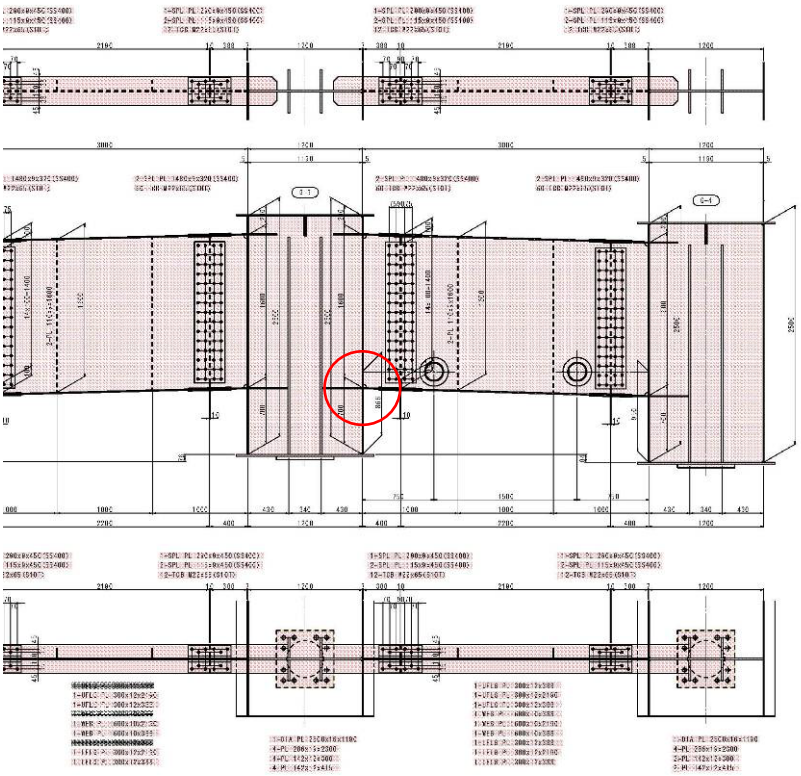
計測位置図

【計測結果】　鉛直方向 0.6mm，水平方向 0.8mm

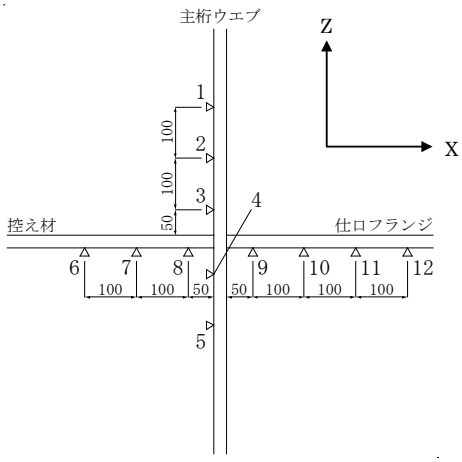
計測点	計測データ			変換データ		
	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	5.00	-0.90	-101.20	-0.89	0.17	-101.32
3	9.90	-1.10	-201.40	-1.09	0.26	-201.64
4	14.80	-0.50	-308.80	-0.50	-0.05	-309.15
5	19.80	0.00	-411.10	0.00	0.00	-411.58
6	178.40	250.80	-255.70	259.44	152.03	-263.99
7	172.50	151.30	-255.10	159.76	151.58	-263.10
8	166.60	52.90	-254.10	61.19	151.08	-261.82
9	159.60	-58.80	-255.40	-50.73	150.10	-262.78
10	154.20	-160.90	-257.50	-152.97	150.16	-264.62
11	148.40	-259.80	-259.20	-252.05	149.66	-266.04
12	143.50	-360.20	-261.70	-352.57	150.10	-268.30

データ No.	7　（計測データ７－１）
橋梁形式	鈑桁橋（多主桁），箱桁橋，鋼床版鈑桁橋，鋼床版箱桁橋，その他（　　）
対象継手	端横桁仕口，中間横桁仕口，ブラケット仕口，横リブ仕口，その他（　　）
計測時期	本溶接前で組立溶接の状態，部材の製作が完了した状態（塗装前）
計測方法	デジタル画像計測，光波測量，その他（　　）

断　面　図



○印：計測位置



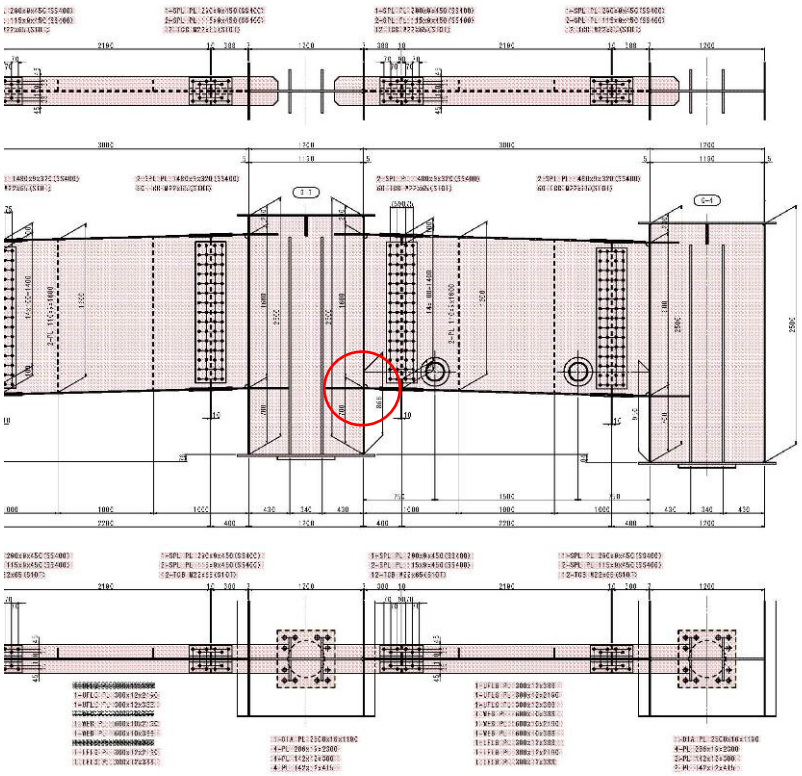
計測位置図

【計測結果】　鉛直方向 2.9mm

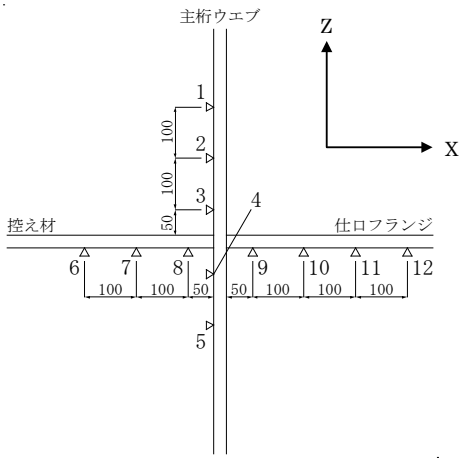
計測点	計測データ			変換データ		
	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	5.50	0.40	-99.40	0.39	0.28	-99.55
3	10.50	0.30	-200.00	0.30	-0.03	-200.28
4	16.30	0.40	-308.50	0.40	0.05	-308.93
5	21.50	0.00	-407.70	0.00	0.00	-408.27
6	173.20	-242.90	-251.20	-249.87	148.59	-259.97
7	169.10	-143.10	-251.80	-149.99	148.98	-260.36
8	164.70	-43.00	-251.60	-49.79	149.12	-259.92
9	161.00	70.40	-250.10	63.66	150.64	-258.23
10	156.40	168.90	-253.20	162.27	150.34	-261.08
11	152.10	268.80	-256.20	262.27	150.40	-263.85
12	148.00	368.20	-259.40	361.76	150.64	-266.83

データ No.	7　（計測データ７－２）
橋梁形式	鈑桁橋（多主桁），箱桁橋，鋼床版鈑桁橋，鋼床版箱桁橋，その他（　　）
対象継手	端横桁仕口，中間横桁仕口，ブラケット仕口，横リブ仕口，その他（　　）
計測時期	本溶接前で組立溶接の状態，部材の製作が完了した状態（塗装前）
計測方法	デジタル画像計測，光波測量，その他（　　）

断　面　図



○印：計測位置



計測位置図

【計測結果】　鉛直方向 3.3mm，水平方向 1.5mm

計測点	計測データ			変換データ		
	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	4.60	0.10	-98.40	0.10	-0.05	-98.51
3	9.20	0.30	-200.20	0.31	-0.27	-200.41
4	14.40	0.00	-308.00	0.01	-0.18	-308.34
5	19.30	0.00	-407.70	0.00	0.00	-408.16
6	170.20	-237.80	-252.40	-243.63	148.93	-260.17
7	165.90	-135.10	-252.50	-140.84	148.53	-260.06
8	162.00	-43.00	-252.60	-48.66	148.13	-259.98
9	158.80	68.60	-250.20	62.97	149.29	-257.43
10	154.80	167.50	-251.90	161.96	148.98	-258.94
11	151.60	267.00	-254.60	261.51	149.43	-261.48
12	147.80	366.20	-257.10	360.79	149.29	-263.80

§5　目違いによる溶接継手部の応力上昇に関する解析的検討

本章では，目違いの溶接継手部の疲労強度への影響を，止端部応力の増大（応力集中の増大）の観点から検討を行った。まず，十字溶接継手モデルを用いて，継手形状や拘束条件を主なパラメータとして目違いの止端部応力への影響の検討を行った。その検討を踏まえ，鋼鈑桁橋および鋼箱桁橋の全体モデルを作成し，主桁（ウェブ）と横桁（フランジ）の取合い部（仕口）の十字溶接継手止端部応力への目違いの影響を解析的に分析し，継手モデルとの比較，すなわち鋼橋の当該継手部の目違いの影響度の特徴について検討を行った。

5-1　継手モデルを用いた検討

(a)　二次元解析結果

ここでは，継手形状や境界条件を主なパラメータとし，先ず図 5-1-1 に示すような二次元解析モデルを用いて目違いによる溶接止端部（及びその近傍）の応力の増大，すなわち，目違いがある場合の応力値を目違いのない場合の応力値で除した値を目違いの影響度と定義し検討を行った。継手形状のパラメータは表 5-1-1 に示すとおりであり，主板厚 T_1，中板厚 T_2，脚長 L を主な解析パラメータとしている。境界条件のパラメータは主板端部（支持側・載荷側）の拘束条件，載荷条件を図 5-1-2 に示すように変化させた 4 つのケースの解析を行った。全てのモデルで止端部近傍の要素分割は同じとした。

本部会で対象とした主桁・横桁連結部の溶接部では，部材端部の拘束条件や荷重の伝達過程が複雑であり，これら境界条件の影響を検討するために，まず二次元解析で境界条件の影響について検討を行った。図 5-1-3 には，目違いが 1mm とし主板厚 T_1 が 40mm，10mm の場合の目違いの影響度（長手方向応力の増大率）を止端部からの距離で整理した結果である。なお，図中には，式 5-1-1 に示される，十字溶接継手の目違いによる応力上昇度として国際溶接協会（以下 IIW）[2]の評価式

$$k_m = 1 + \lambda \frac{e\ell_1}{t(\ell_1 + \ell_2)} \quad \cdots\text{式}5-1-1$$

の値も示している。目違いの影響度は，対象とした 4 つの境界条件で大きく異なる。この式中に現れるλについて，自由（非拘束）の場合はλ=6，拘束の場合はλ=3 とされている。

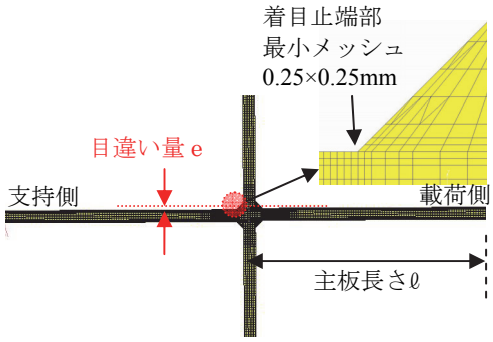
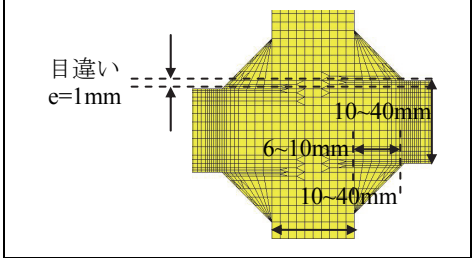


図 5-1-1 二次元解析モデルの一例

表 5-1-1 解析パラメータ（継手形状）

主板厚 T_1	10, 20, 30, 40 mm
中板厚 T_2	10, 20, 30, 40 mm
脚長 L （等脚）	6, 10 mm
主板長さ ℓ	200, 1000 mm
目違い量 e	0, 1 mm



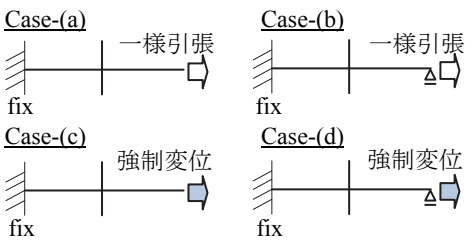


図 5-1-2　解析パラメータ（境界条件）

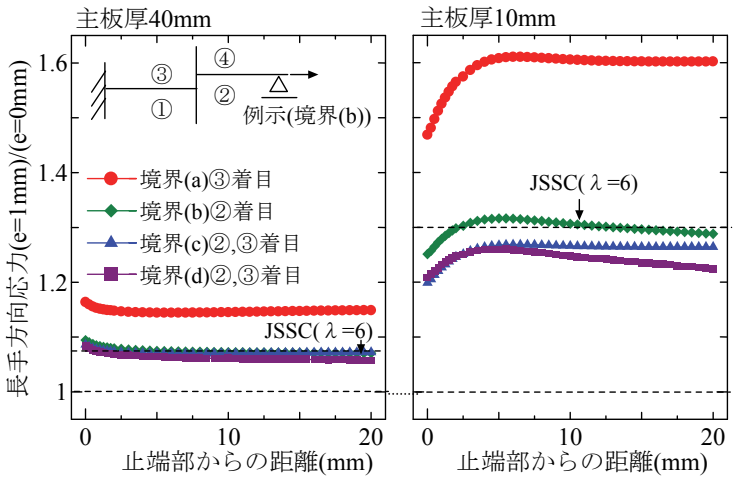


図 5-1-3 止端部からの距離と目違い影響度の関係

また，British Standard[3]では主板，中板の端部の拘束条件により異なるλの値が紹介されている。目違いによる影響度は拘束条件により異なることが分かるが，境界(b)，(c)，(d)は概ねλ=6 に近い値となっている。なお，境界(a)の場合には，固定側にのみ式 5-1-1（λ=6）の 2 倍程度の応力上昇が現れ，載荷側の応力の変化は殆ど見られない。

なお，詳細は割愛するが，ここで対象とした 4 つの拘束条件においても，溶接止端部から離れた位置での目違いの影響度の分布の各境界条件での差異は簡易な梁理論で導ける。しかし，止端部近傍（図 5-1-3 に示した解析ケースでは止端部から 5mm 程度）で目違いの影響度が変化しており，その傾向は主板厚により異なることが分かる。主板厚 T_1 が 10mm の場合には目違いの影響度が止端部近傍で大きく低下しているが，主板厚 T_1 が 40mm の場合には止端部近傍で若干大きくなることが分かる。本報告では主に，この溶接止端部での目違いによる応力の上昇度に注目して検討を行う。

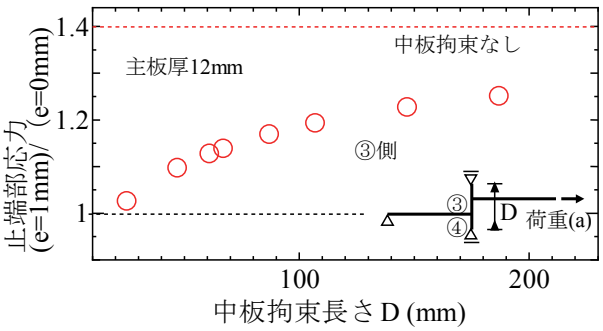


図 5-1-4 中板拘束の影響

図 5-1-4 には，境界条件は Case-(a)とし，中板上下端の鉛直変位を拘束した場合の溶接止端部の目違い影響度と中板拘束長さの影響を示している。中板を拘束することにより，目違いによる溶接部の回転を拘束することとなり，目違いによる主板側の応力上昇を大きく低下させ，本解析で最も中板拘束長さ D が小さい D=24mm（主板厚 T_1 +2×脚長 L）とした場合には，殆ど目違いによる応力上昇が見られていないことが分かる。

なお，本部会で対象とした荷重伝達型十字溶接継手部には完全溶け込み溶接の他にすみ肉溶接も考えられる。図 5-1-5 には，完全溶け込み溶接とすみ肉溶接の場合の止端部の長手方向応力（以下，止端部応力）と目違い（e=1mm）による止端部応力の増大率を示したものである。止端部応力そのものは明らかにすみ肉溶接の場合がに大きいが，目違いによる応

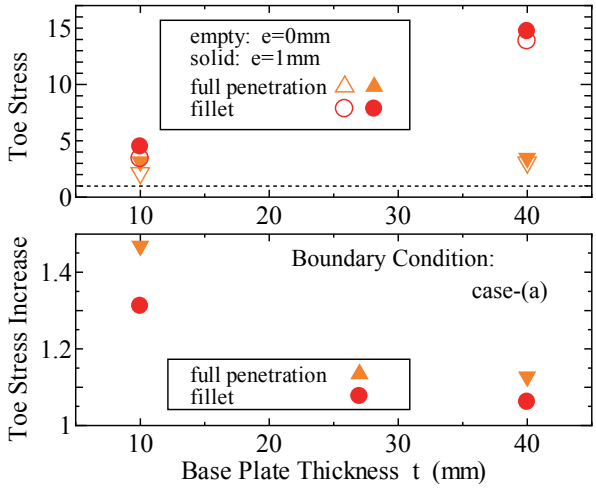


図 5-1-5 完全溶込み溶接とすみ肉溶接の目違い影響度の差異

力の上昇率は完全溶け込み溶接の方が大きい。そこで，以降では，完全溶け込み溶接の場合の解析結果を報告する。

図 5-1-6 には主板厚 T_1・中板厚 T_2・脚長 L をパラメータとし，目違いを 1mm 与えた場合の止端部の応力の上昇度を載荷側の境界条件毎に整理したものである。図中には式 5-1-1 に示した目違いによる応力の上昇率（λ=6）を併せて示している。主板厚により目違いの影響度は大きく変化するが，境界条件により目違いの影響は非常に大きくばらつくことが分かる。特に主板厚 T_1 が小さい場合，止端部近傍で応力の比率が急激に低下する例も見られ（図 5-1-3），境界(b)(c)(d)では，式 5-1-1 に示す目違いの影響度（λ=6）よりも小さな値となっている。一方，主板厚 T_1 が大きい場合には止端部近傍で若干目違い影響度が上昇する傾向が見られ，λ=6 とした時の式 5-1-1 で求まる目違いの影響度付近に境界(b)(c)(d)の影響度がばらついていることが分かる。

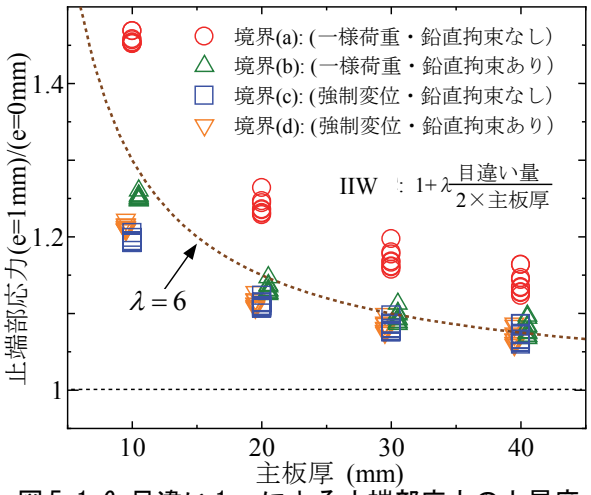


図 5-1-6 目違い 1mm による止端部応力の上昇度

なお，中板を挟んだ両側の主板長さが等しい場合にはどの境界条件でも主板長さによらず目違いによる止端部の応力上昇度には変化はなく，また主板厚 T_1 を 10mm～40mm とした場合，目違いが 1~5mm の範囲内で，目違いによる止端部の応力上昇度は目違い量に比例することを確認している。

図 5-1-7 は，目違いのある場合（e=1mm）とない場合について，各解析モデルより得られた止端部応力とホットスポット応力の関係を示したものである。ホットスポット応力は止端部から 0.4T_1 および 1.0T_1 の位置（以下 0.4T-1.0T 法）およびより止端部近傍での応力変化を捉えるために止端部から 4mm，6mm 位置（以下 4mm-6mm 法）の二点外挿で求めている。同図には，目違いの有無で分類し，止端部応力とホットスポット応力の関係を左図に，止端部応力およびホットスポット応力で評価した時の目違いの影響度の関係を右図に示している。4mm-6mm 法を用いた場合には，継手形状，目違いの有無にかかわらず，止端部応力とホットスポット応力の間に有る程度の相関関係が見られ，また目違いによる止端部応力の上昇も良く評価できることが分かる。一方，0.4T-1.0T 法を用いた場合には，止端部応力とホットスポット応力の間に明瞭な相関性は見られない。左図の目違いの影響度について見てみると，ホットスポット応力と止端部応力で見た目違いの影響度は，両方の外挿手法でほぼ良い相関関係

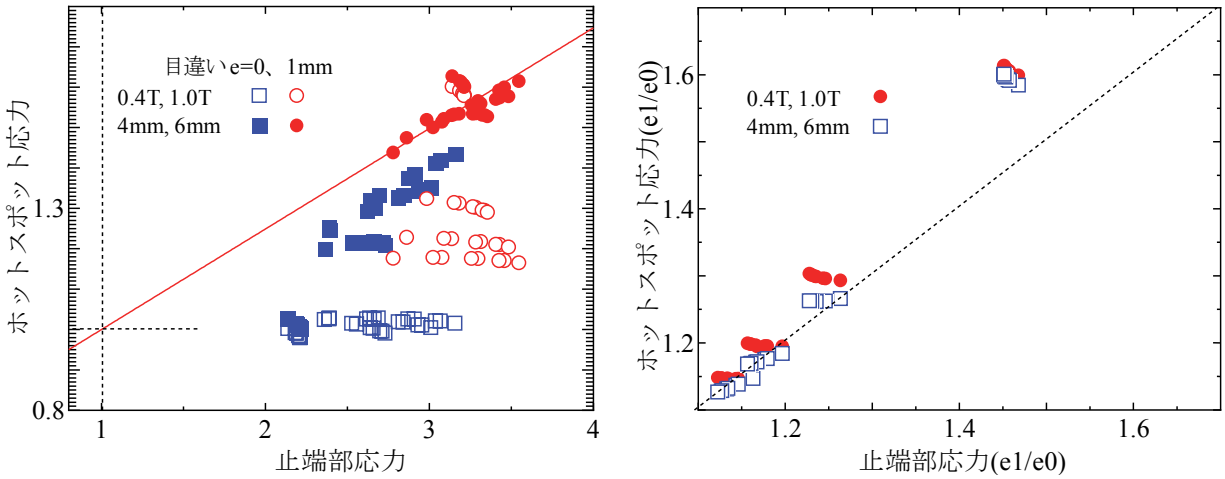


図 5-1-7 止端部応力とホットスポット応力の関係

が見られるが，4mm-6mm 法の方が若干良い相関関係を与え，0.4T-1.0T 法では止端部応力で見た目違い影響度より若干大きな影響度を与えることになることが分かる。

(b)　三次元解析結果

ここでは，鋼橋の主桁・横桁交差部を対象とし，まわし溶接部の有無や十字継手に対して板(横桁ウェブ)が取付けられることによる影響，すなわち目違いによる主板（横桁フランジ）の付加的な曲げ変形を拘束する効果について，横桁フランジ側止端部に着目した図 5-1-8 に示すモデルを用いて三次元解析を行った。最小メッシュサイズは二次元解析の場合と同様に 0.25×0.25mm で全てのモデルで統一した。なお，解析で得られた止端部の応力および目違いによる応力の上昇度は図 5-1-9 の溶接止端部に示す線 a-b-c-d に沿う分布で整理している。なお，図 5-1-10 に示す二つの十字溶接継手の解析モデルを比較用に併せて解析に用いた。

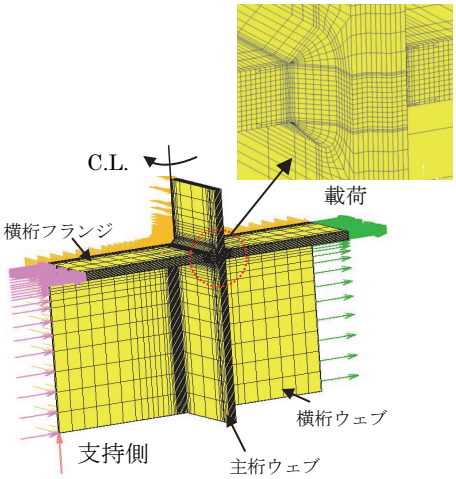


図 5-1-8 三次元解析モデル

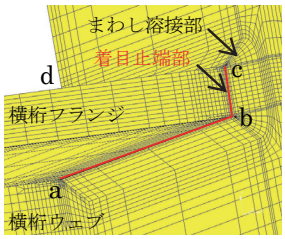


図 5-1-9　着目止端部

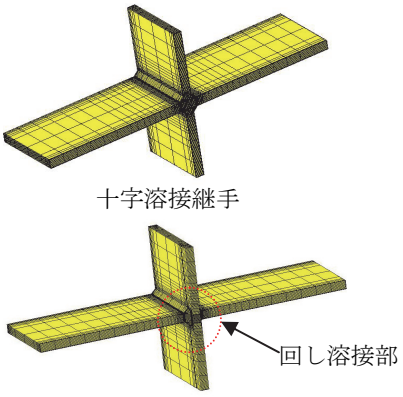


図 5-1-10 比較対象とした十字溶接継手モデル

先ず，主板厚（横桁フランジ）T_1=12mm・中板厚（主桁ウェブ厚）T_2=11mm・脚長 L=6mm，横桁ウェブ厚 8mm，横桁フランジ幅 100mm のモデルを用いて境界条件の差異の影響について検討した。ここでは図 5-1-2 に示す境界(a)および境界(b)についての比較を行った。図 5-1-11 には，鉛直方向に目違い e=1mm を与え，境界条件をケース(a)とした場合の目違いの影響度の止端部に沿う分布を，図 5-1-9 に示す止端部 a-b-c-d を展開させた横軸を用いて整理した結果である。ここでは，比較対象の二つの十字溶接継手モデルの解析結果（図中「十字」が図 5-1-10 に示す十字溶接継手モデル，「まわし」がまわし溶接部の十字溶接継手モデルである），および式 5-1-1（λ=6）で計算される目違いの影響度を併せて示している。

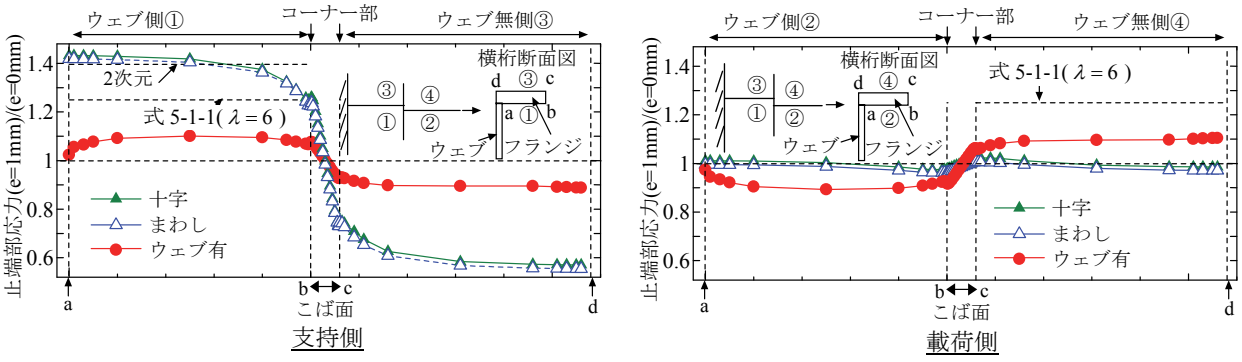


図 5-1-11 目違いの影響度（境界(a)）

二次元解析では境界条件(a)で目違いの影響が大きく表れた支持側では，継手モデルについては，まわし溶接の有無による目違い影響度の差異は見られていないが，横桁ウェブが取付けられたモデルでは，目違いの影響度が十字継手と比べて明らかに小さくなっており，式 5-1-1（λ=6）に比較しても50%程度の値となっている。横桁ウェブが存在する止端部 a の位置では目違いの影響度は全く現れていないが，止端部 a から若干距離が離れると（止端部 b に向かうと），目違いの影響が現れていることが分かる。回し溶接部近傍でも，一般部と比較して目違いの影響度は若干小さい。また横桁ウェブ直上の止端部 d でも目違いの影響が現れている。

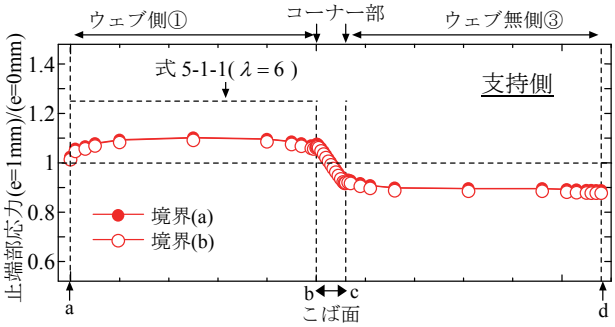


図 5-1-12 目違いの影響度の比較（境界(a)(b)）

一方，二次元解析では目違いの影響度が全く見られなかった載荷側でも，横桁ウェブが取りついたモデルでは支持側とほぼ同等な影響が見られていることが分かる。図 5-1-12 には，支持側のみであるが，境界条件(a)(b)の二つの解析結果を比較しているが，図 5-1-3 に示す二次元解析結果で見られたような主板端部の境界条件による目違いの影響度の差異は見られていない。

図 5-1-13 に境界条件(a)の場合の，十字溶接継手モデルと横桁ウェブ有りモデルの変形図を示すが，主板（横桁フランジ）の変形状態が大きく異なっている。十字溶接継手モデルでは載荷側には付加的な曲げ変形が生じていないのに対し，横桁ウェブ有りモデルでは横桁ウェブが付加的な変形による主板（横桁フランジ）の鉛直変位を大きく低減する効果により，二次元解析で見られた境界(b)の場合のように，支持側，載荷側とでほぼ同等の目違いの影響度が得られ，境界(a)および(b)といった端部の境界条件による差異も見られなくなったものと考えられる。

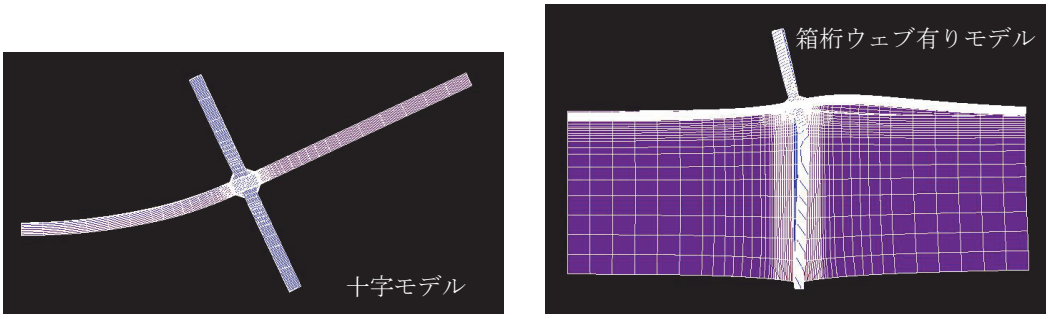


図 5-1-13 変形図の比較（境界(a)）

この横桁ウェブの存在による目違いの影響度の低減効果は継手を構成する板の寸法・形状にも大きく影響を受けると考えられる。そこで，ここでは主板（横桁フランジ）の板厚 T_1 および板幅を変化させた場合についても同様の解析を行った。図 5-1-14 には主板厚 T_1 を変化させた場合の止端部の目違いの影響度の変化を示したものである（鉛直目違い量 1mm）。主板厚 T_1 の増大に伴い，付加的な曲げに対する剛性が増大するため，目違いの影響度は低下する。しかし，横桁ウェブが存在することにより，式 5-1-1 により計算される目違い影響度（λ=6）より目違い影響度が低下する効果は小さくなっている。これは横桁ウェブ厚，横桁フランジ幅および主桁ウェブ厚を変更せずに横桁フランジ厚のみを変更しているために，全体の曲げ剛性に対する横桁ウェブの存在の寄与率が，横桁フランジ厚を増加させた場合に低下するためと考えられる。例えば，主板厚 T_1=12mm では式 5-1-1（λ=6）から求めた目

違い影響度の 45%程度まで横桁ウェブの存在により低下していたが，主板厚 T_1=25㎜ では式 5-1-1（λ=6）から求めた目違い影響度の 75%程度であった。

図 5-1-15 には中板厚（主桁ウェブ厚） T_2 を変化させた場合の止端部の目違いの影響度の変化を示したものである。主板厚 T_1 は 25㎜ である。二次元解析の場合同様に，中板厚の増大に伴い，目違いの影響度が低下していることが分かる。この傾向は十字継手モデル（二次元解析）でも見られていたが，横桁ウェブの存在により継手部の変形を拘束される今回の解析ではより顕著に表れているといえる。

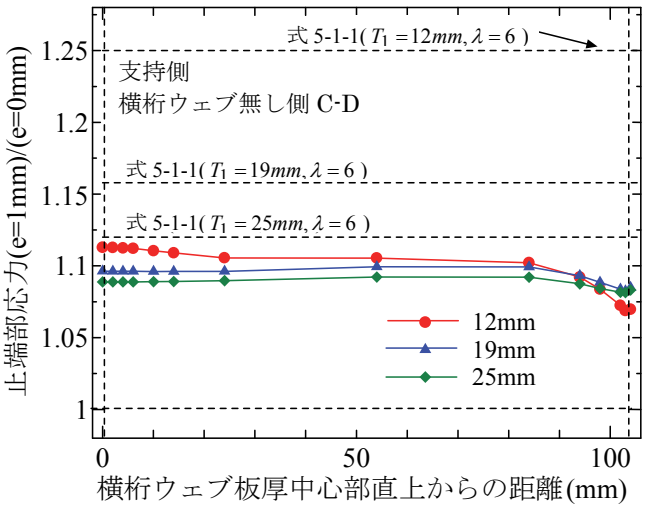


図 5-1-14 主板（横桁フランジ）圧の影響

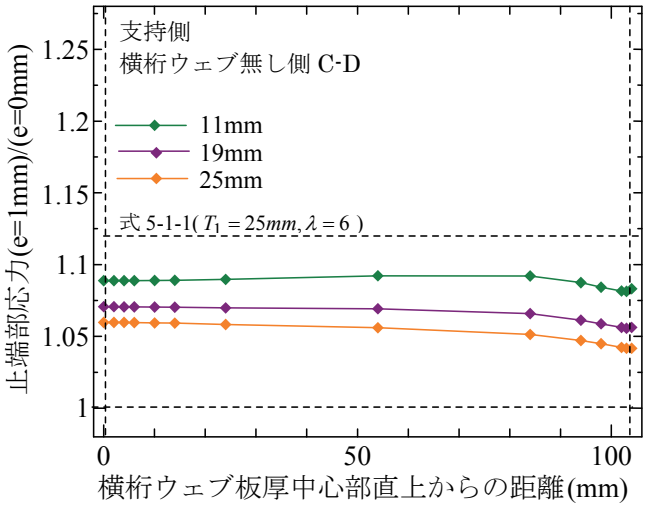


図 5-1-15 中板（主桁ウェブ）厚の影響

図 5-1-16 には主板（横桁フランジ）幅増大に伴う目違い影響度の変化を示している。若干であるが，主板幅が大きくなると目違いの影響度が大きくなることが分かる。これは横桁フランジ幅の増大に伴い，継手の回転変形を抑える横桁ウェブの働きが相対的に小さくなっているためと考えられる。

なお，図 5-1-8 に示すモデルでは，横桁フランジに対して横桁ウェブの反対側に鋼板（例えば補剛材）が配置されていないが，実橋梁においては配置されている場合もある。そこで，図 5-1-17 に示すように図 5-1-8 のモデルを用いて横桁フランジ上部に板を横桁フランジと主桁に取り付けたモデルを用いて解析を行った結果を図 5-1-18 に示す。モデルは主板厚（横桁フランジ） T_1=12㎜・中板厚（主桁ウェブ厚） T_2=11㎜・脚長 L=6㎜，横桁ウェブ厚 8㎜，横桁フランジ幅 100㎜ のモデルである。横桁フランジ上部に補剛材が設置されている場合でも，補剛材の設置部に相当する止端部 d の位置近傍以外，目違いの影響度は設置していない場合と殆ど変化が無いことが分かる。

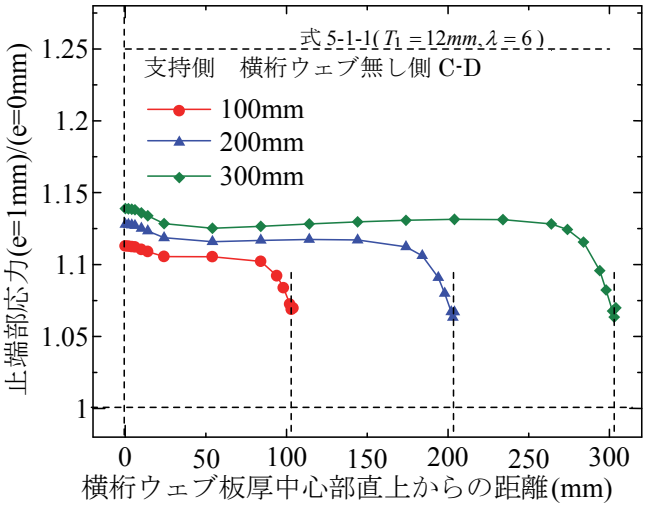


図 5-1-16 主板（横桁フランジ）幅の影響

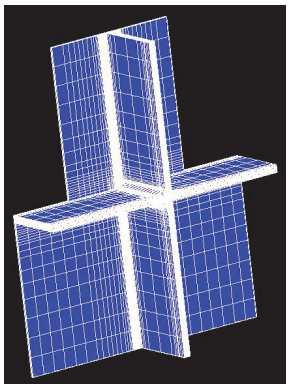


図 5-1-17 補剛材付きモデル

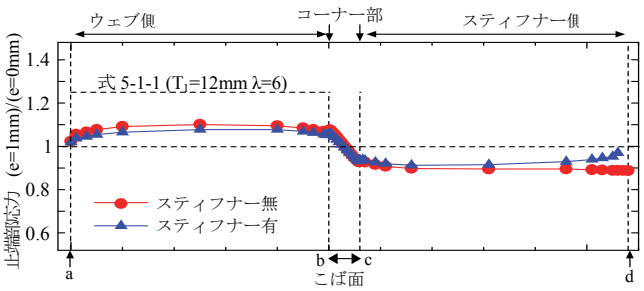


図 5-1-18 補剛材の影響

また，次節で解析モデルとして用いる箱桁モデルでは，仕口フランジ下には補剛材は取り付けられていないが，箱桁内部ではダイアフラムが存在する，すなわち図 5-1-17 に示す補剛材が中板（主桁ウェブ）に対して片側にしか存在しない状態となっている。このような場合についても解析を行った。図 5-1-19 に解析モデル，図 5-1-20 に応力値および目違いの影響度について補剛材が無いモデルと比較して示す。目違いは，載荷側を拘束側に対して 1mm 下げる方向で与えている。板厚等その他の形状は図 5-1-7 に示すモデルと同じである。応力値は，中板を挟んで背面にのみ補剛材がある場合には，横桁ウェブ直上位置で応力が非常に大きくなるが，目違いの影響度は補剛材無しの場合と比較して横桁ウェブ直上で非常に小さくなっており，図 5-1-18 に示した中板を挟んで両側に補剛材が付いた場合と同様な傾向となっている。

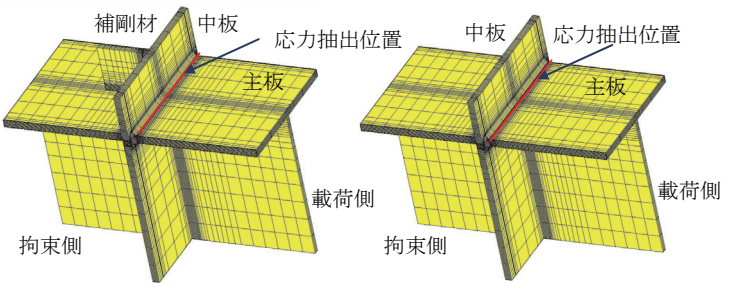


図 5-1-19 解析モデル（片面のみ補剛材有り）

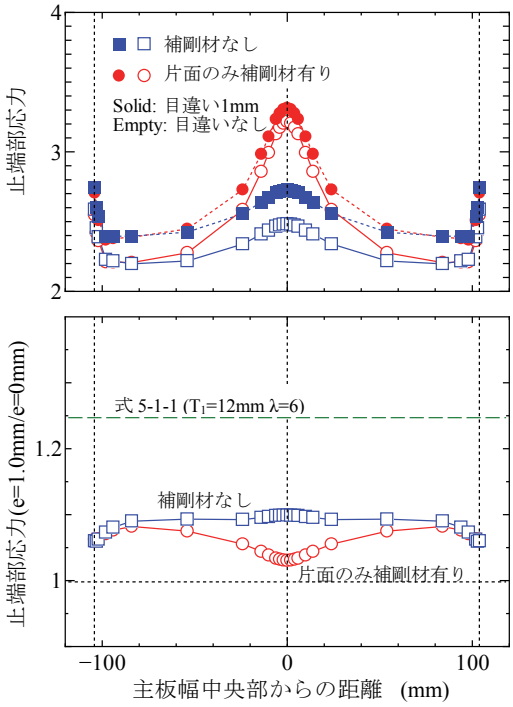


図 5-1-20 片面の補剛材の影響

ここまでは鉛直目違いについて検討してきたが，第 4 章の目違い計測でも示したように，実構造物では同様に水平目違いも生じる可能性がある。そこで，横桁フランジ，および横桁フランジと横桁ウェブに水平目違い 1mm を与えたモデルを作成し水平目違いの影響を検討した。検討結果を図 5-1-21 に示す。T_1=12mm・中板厚（主桁ウェブ厚）T_2=11mm・脚長 L=6mm，横桁ウェブ厚 8mm，横桁フランジ幅 100mm のモデルである。十字溶接継手モデルに水平目違いを与えた場合，および横桁フランジのみに水平目違いを与えた場合には，目違いの影響度は小さく，その影響度も横桁フランジこば面付近に限定的であるのに対し，横桁ウェブにも水平目違いを与えた場合には他の二つのモデルよりも目違い

の影響度は大きく，横桁フランジ全体に目違いの影響が見られている。図 5-1-22 には，水平目違いを与えた場合の変形図を示している。横桁フランジだけでなく，横桁ウェブにも水平目違いを与えた場合には，横桁ウェブの目違いにより，主桁ウェブが回転し，その主桁ウェブの回転が横桁フランジに更なる付加的な曲げを生じさせていることが分かる。一般的に目違いの影響は鉛直目違いの影響について検討されることが多いが，水平目違いについても，同様に検討する必要があると言える。

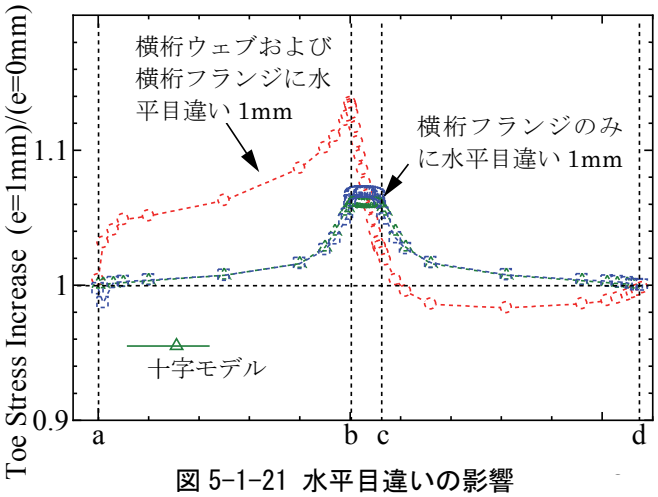


図 5-1-21 水平目違いの影響

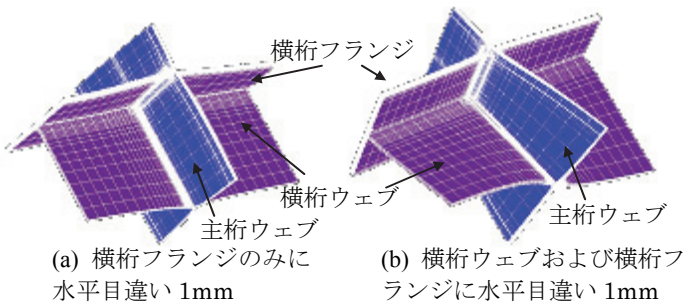


図 5-1-22 水平目違いを与えた場合の変形図

ここまでは，主板同士が主板に対して直角（鉛直目違い）もしくは水平（水平目違い）にずれているケースについて検討した。しかし，現実には，図 5-1-23 に示すように，主板同士がねじれるような形にずれている目違いが生じることも考えられる。そこで，ここでは，図 5-1-24 に示すような解析モデルを作成し，同量の鉛直目違いを与えた場合と比較検討を行った。なお，解析に用いた境界条件は Case-(a)であり，同図(a)は「ねじれた目違い」，(b)は「鉛直目違い」を 1.8㎜ 与えた場合について，長手方向応力と変形図を併せて示している。鉛直目違いを与えた場合には，主板が面外に曲げられる変形が見受けられるが，「ねじれた目違い」を与えた場合には主板がねじれるような変形をすることが分かる。溶接止端部について，目違いによる応力上昇を比較した結果を図 5-1-25 に示す。同量の目違

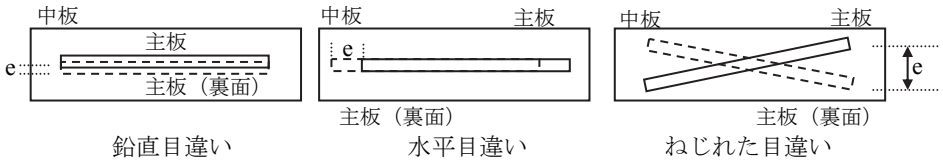


図 5-1-23 考えられる目違いの種類

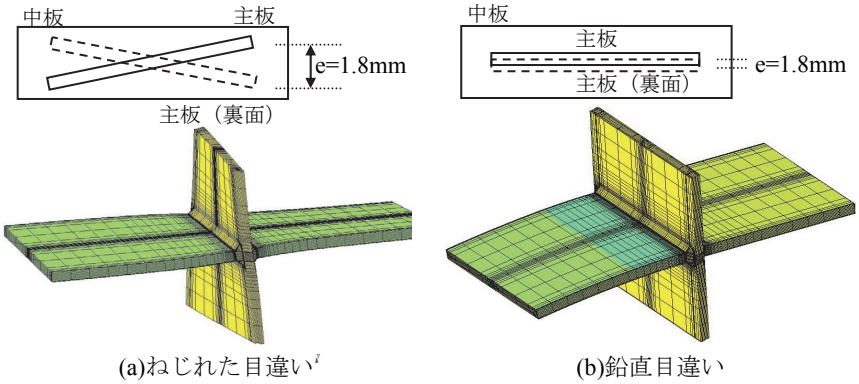


図 5-1-24 解析モデルと変形図

いを与えた結果であるが「ねじれた目違い」を与えた場合には，鉛直目違いを与えた場合と比較して，応力上昇度は非常に小さいことが分かる。なお，式 5-1-1（λ=6）より求めると本モデルが主板厚 12㎜であるために目違いの影響度は 1.45 となるが，図中には 1.9 の位置に破線で示している。これは，本解析では拘束条件として Case-(a)を選択しており，この場合，目違いの影響が中板に対して拘束を与えている主板側にのみ生じるためである。

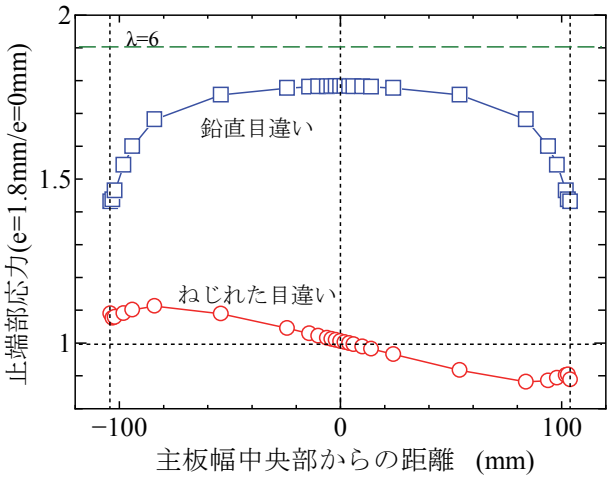
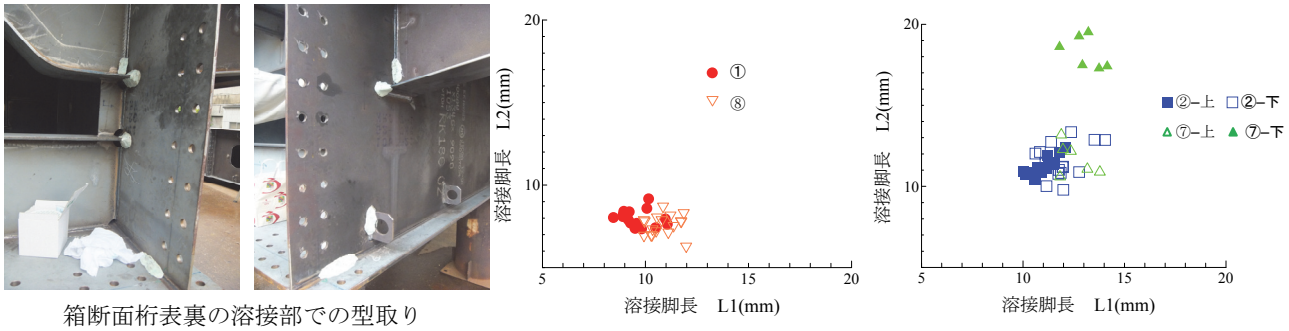


図 5-1-25　ねじれた目違いの影響度

(c) 溶接ビード形状の不均一の影響

ここまで議論してきたように，目違いによる疲労への影響は，荷重軸と部材軸がずれ，偏心による付加的な曲げが重畳されることによるものである。しかし，実橋梁で発生する目違い量は第 4 章で計測したように 3㎜ 程度である。この目違い量の大きさと溶接脚長の板表裏の不均一の大きさはそれほど異なるものではなく，ここでは，その溶接ビード形状の不均一の止端部応力の影響について簡単に考察を加える。なお，参考までに，ある橋梁工場にて箱断面桁橋，I 断面桁橋の主桁ウェブにある溶接ビード形状を測定した結果をそれぞれ図 5-1-26，図 5-1-27 に示す（印象材を 5㎜ にスライスして測定）。特に図 5-1-26 に示す箱断面桁に取り付けられるブラケットと主桁ウェブの溶接部では開先形状の関係からブラケットのフランジの表裏で大きく溶接脚長が異なっていることが分かる。ここでは，ここに見られるような主板側の表裏の脚長の不均一による止端部応力集中への影響について検討を行う。

まず十字溶接継手の主板表面の脚長の差異の影響を検討することを目的として，図 5-1-28 に示す主板厚および中板厚が 9㎜ の十字継手モデル（二次元解析）を用いて検討を行った。溶接脚長は 6㎜ の等脚溶接を基本としている。拘束条件は Case-(a)（左端部拘束，右端部一様引張荷重）である。この溶接部の右上側の溶接脚長のみを変化させた場合の止端部応力集中の変化を図に示す。図中○内の数字は脚長を，止端部にある数字は止端部の長手方向応力を公称応力で除した応力集中の値である。脚長が大きくなると，溶接止端部の応力が低下し，主板の裏側の応力は増大している。一方，中板の反対側の主板側止端部の応力集中には殆ど影響がないことが分かる。脚長差が大きくなるに従い，その応力集中の変化量は大きくなることが分かる。



箱断面桁表裏の溶接部での型取り

図 5-1-26 橋梁部材での測定状況とビード形状測定結果（箱断面桁）

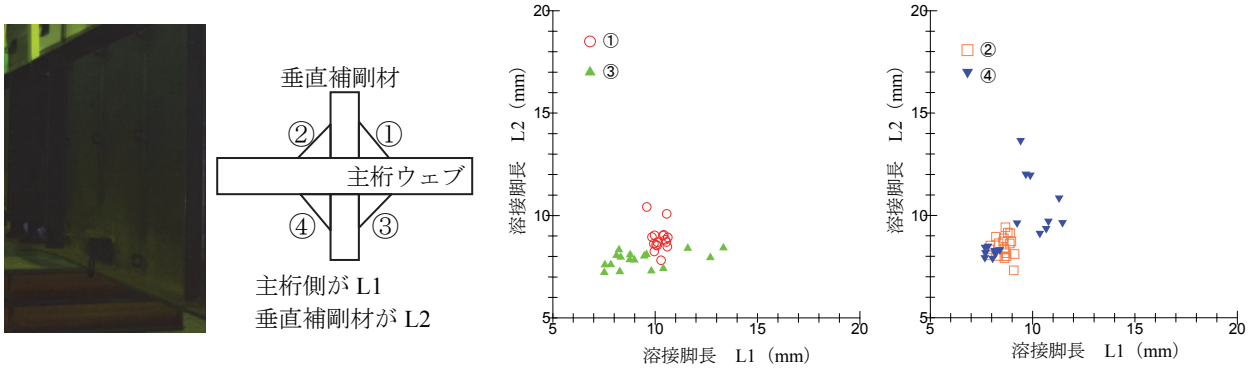


図 5-1-27 橋梁部材での測定状況とビード形状測定結果（I 断面桁）

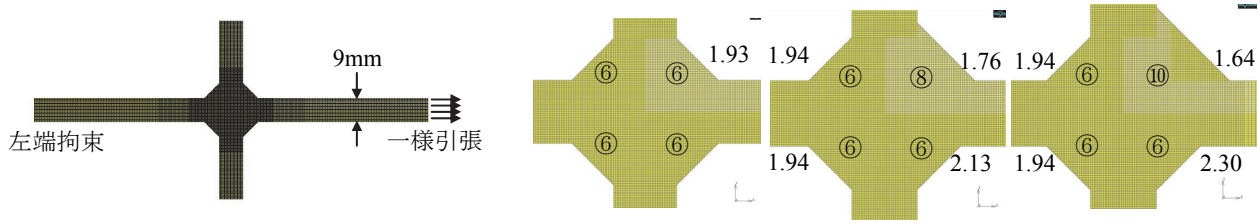


図 5-1-28 溶接止端部の形状不均一による止端部応力の上昇

図 5-1-29 に変形図と長手方向応力分布を示す。主板を挟んで脚長にアンバランスがある場合には，脚長の大きい側に曲がる付加的な曲げが生じていることが分かる。しかし主板表面の長手方向応力分布を見ると，応力が上昇する領域が非常に局部的なことが分かる。

なお，拘束条件を Case-(b)（左端拘束，右端一様引張載荷及び下点鉛直拘束）にて解析した結果を図 5-1-30 に示すが，目違いがある場合と異なり，主板を挟んで脚長のアンバランスがある方のみが応

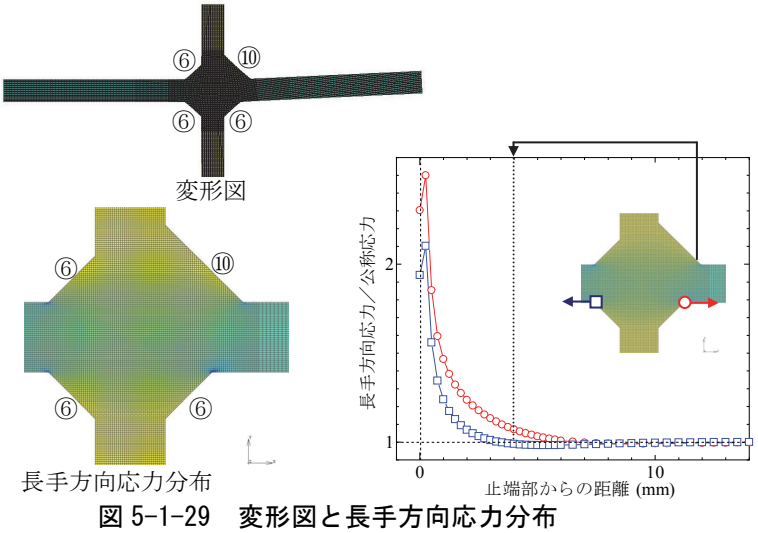


図 5-1-29 変形図と長手方向応力分布

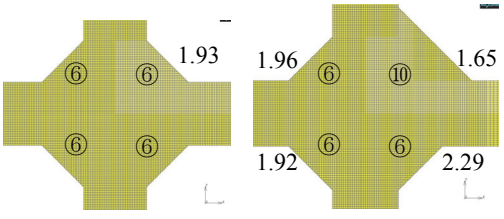


図 5-1-30 境界条件を Case-(B)とした場合

力の増減が見られ，若干 Case-(a)の場合とほぼ同等の増減であることが分かる。

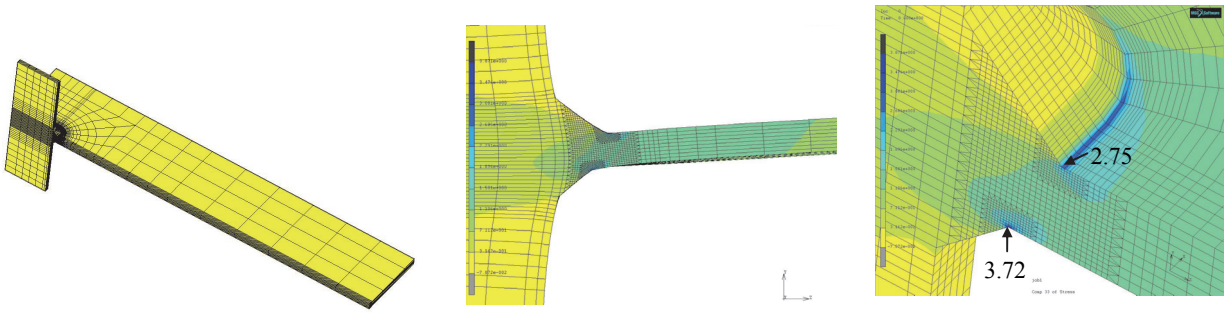
主板厚，中板厚を 12㎜ とした場合の結果を含めて拘束条件 Case-(a)の場合の応力集中増減率を表 5-1-2 にまとめる。主板厚を 9㎜ から 12㎜ に増大することにより，応力集中の増減率は小さくなり，その比率も目違いの場合と同様にほぼ板厚比に反比例（9/12=0.75）していることが分かる。なお，止端部半径を導入したモデルを用いた場合でも，同様の応力集中の増減が見られている。

板厚 9㎜ の場合，脚長差が 2㎜ の場合 9~10%程度の応力増減が見られている。式 5-1-1（λ=6）に板厚 9㎜，目違い量 2㎜ を代入した場合には目違いの影響度は 1.66 となり，一般的な目違いの影響よりは 1/6 程度に小さな値となっている。

表 5-1-2 応力集中の増減率

止端部応力	板厚 9mm			板厚 12mm		
脚長が	6-6-6-6	6-6-6-8	6-6-6-10	6-6-6-6	6-6-6-8	6-6-6-10
大きい方	1.93	1.76	1.63	2.08	1.95	1.85
		0.91	0.85	0.71	0.94	0.89
						0.76
小さい方	1.93	2.13	2.30	2.08	2.24	2.39
		1.10	1.19	0.72	1.08	1.15
						0.76

本部会で対象とする主桁（ウェブ）と横桁（フランジ）の取合い部（仕口）の溶接部に関して，ここまで横桁から伝達される応力を想定して荷重伝達型十字溶接継手として検討を行ってきたが，主桁の曲げに関しては面外ガセット継手とみなすことができる。そこで，同様な溶接脚長の脚長の不均一の影響について，面外ガセット継手を対象にソリッド要素を用いて検討した結果（1 例のみ）を示す。主板厚は 9㎜，主板幅 100㎜，ガセット長さ 120㎜，ガセット高さ 90㎜，ガセット厚 12㎜ とし，脚長を主板の表裏で 10㎜ および 6㎜ で構成したものである（溶接線全線に渡って脚長は一定である）。解析モデルおよび解析結果を図 5-1-31 に示す。



1/4 モデル　　変形図と長手方向応力　　長手方向応力（止端部近傍）

図 5-1-31 面外ガセット継手の脚長アンバランスが応力集中に与える影響

二次元解析の場合と同様に溶接脚長が小さい方の溶接止端部の方が応力集中（図中数字は止端部の長手方向応力を公称応力で除した値）が大きくなっていることが分かる。主板両側のビードの脚長が 6㎜ の場合には応力集中は 3.21 であり，-13.5%/17.0%の応力上昇となっている。図 5-1-32 には，長手方向応力の主板表面の長手方向分布（止端部からの距離で整理）を示している。全て脚長が 6㎜ の場合と比較した場合，二次元解析の場合よりも応力分布が変化している領域が 20㎜ 程度と広くなっているが，基本的に非常に狭い領域に限られている。また，溶接止端部近傍で脚長が短い方が引張となるような曲げが生じていることを，溶接部から離れている領域が拘束することによりその領域の外側

では反対側の曲げが生じていることが想定される。また，応力増減率を二次元解析（十字継手の場合）と比較すると，若干小さいが，ほぼ同程度の増減率となっていることが分かる。

なお，主板幅を 200mm にした場合には，-11.6%/16.1%程度の増減率となり，主板幅の増大により若干低下するようである。

式 5-1-1（λ=6）に示される提案式によると，主板厚 9mm で目違い 4mm の場合の応力増分率は，

$$1+3\times\frac{e}{t}=1+3\times\frac{4}{9}=2.33$$

となる。明らかに脚長のアンバランスの影響は小さく目違いの影響の 1/7 程度であり，十字継手を模擬した二次元解析と同様の傾向であった。

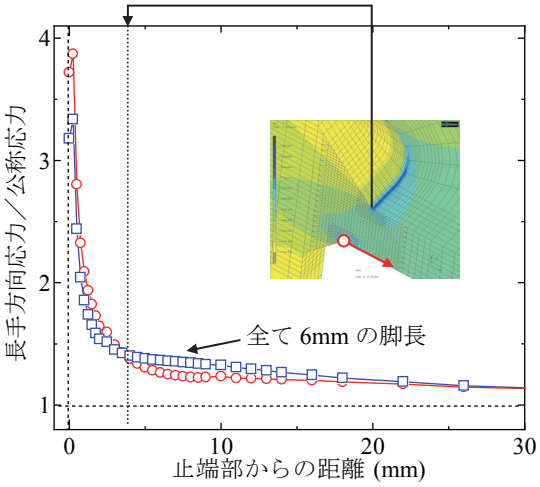


図 5-1-32　長手方向応力分布

5-2 実橋梁における主桁ウェブ-横桁フランジ溶接部の目違いの影響

第 3 章では目違いの影響についての既往の研究について，また前節では特に継手モデルを用いて荷重伝達型十字溶接継手を対象とした目違いの影響を様々なケースについて解析的に検討を行った。本節では，鋼橋主桁ウェブと横桁フランジの溶接部を対象として検討を行った。鋼橋は非常に大きな構造物であり多くの鋼板が複雑に組み合わさって構成されていること，交通荷重などが移動する移動荷重であること，また荷重が床版上に存在し，主桁作用だけでなく，主桁のたわみ差などに起因した応力などが発生することなど，前節までに検討してきた継手の形状や荷重状態などが大きく異なると考えられ，鋼橋特有の目違いの影響の評価について，継手モデルとの差異の有無を含めたその特徴を検討しておく必要があると考えられる。そこで本部会では，実存する鈑桁橋および箱桁橋の全体解析モデルを作成し，実鋼橋における目違いの影響について主桁ウェブと横桁フランジの溶接部を対象に解析的な検討を行った。

5-2-1 鈑桁橋

(a) 解析モデル

図 5-2-1 に対象とした 20 年程度前の都市高速道路の標準図集を参考に製作した 7 主桁単純合成 I 桁橋（橋長 30m，橋幅員 16m）を示す。荷重分配横桁下フランジ仕口を対象として検討を行っている。図 5-2-2 に製作した FEM モデルを示す。検討対象とした G2 桁の仕口近傍のみソリッド要素を用いて，図 5-1-8 に示した継手レベルの検討に用いたモデルと同様の要素分割を行った。その他の部位の鋼部材にはシェル要素を，床版にはソリッド要素を用いている。荷重は同図に示すように G2 桁に与える影響が大きくなるように T 荷重を第 1 車線，及び第 2 車線に載荷した（載荷点は Move 側支点（S1）から Fix 側支点（S2）へ 2500mm ピッチとして L1～L13 の 13 カ所で載荷を行っており，L7 が支間中央（分配横桁直上）となる）。

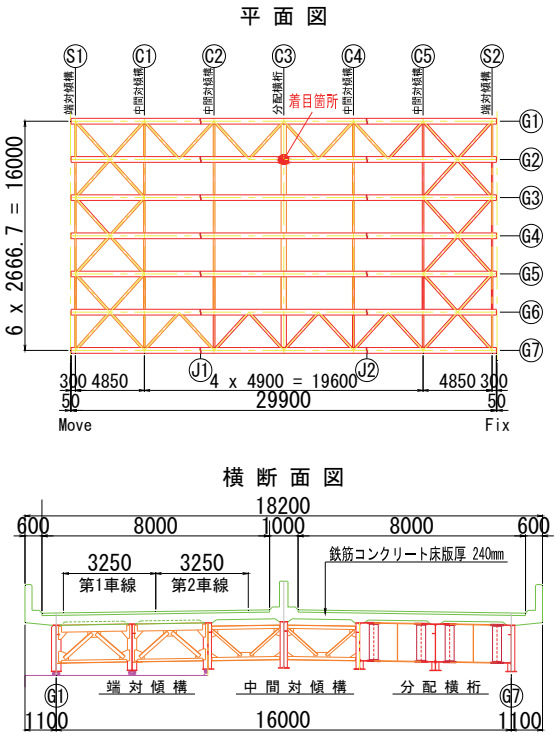


図 5-2-1 解析対象の鈑桁橋

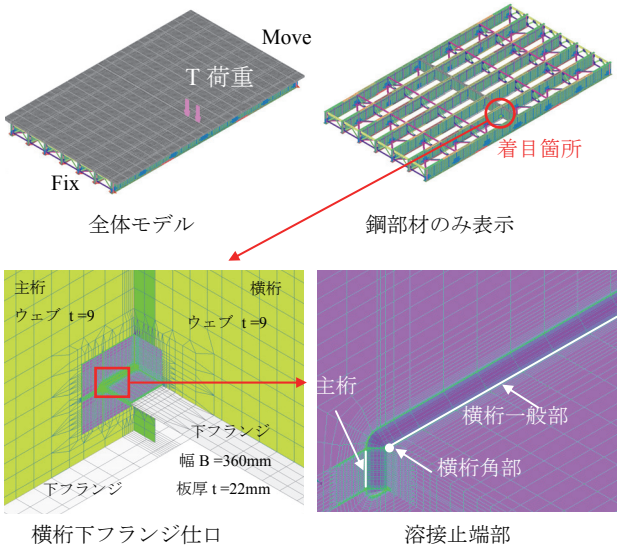


図 5-2-2 鈑桁橋の全体解析モデル

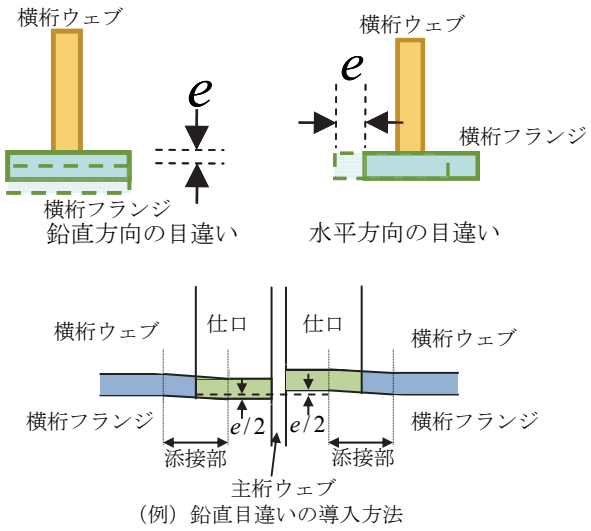


図 5-2-3 目違いの導入手法

解析モデルに与えた目違いは，図 5-2-3 に示すように仕口全体ではなく，下フランジ部にのみに与え，鉛直目違い（1, 3, 5mm）及び水平目違い（1, 3, 5mm）を与えている。目違いは目違い量の 1/2 の正負の値を，鉛直目違いの場合は主桁ウェブに対して対称に，水平目違いの場合は横桁ウェブをに対してに与えた。また，仕口板の長さは 500mm であり，下フランジ板との目違い量は高力ボルト添接箇所内で線形に摺り付けている。なお，簡単のため，添接板のモデル化は行っていない。図 5-2-2 に示すように，この仕口では横桁（仕口）下フランジの下側にリブ板があるため，前節で考察したように横桁仕口ウェブ直上・直下付近の目違いの影響は非常に小さいものと考えられる。そこでここでは，主に同図に示す横桁一般部と横桁角部（回し溶接部）に着目して検討を行った。なお，横桁仕口の下フランジの板厚は 22mm であり，式 5-1-1（λ=6）を用いると 1mm の目違いを与えると 13.6%程度の応力上昇という結果となる。

また，この継手は横桁からの力に対しては荷重伝達型十字溶接継手とみなして考えられるが，主桁の曲げ応力に対しては面外ガセット継手とみなせる。そこで，図 5-2-3 に示した目違いが回し溶接部の主桁ウェブ側止端部の応力に与える影響についても併せて検討を行った。

(b) 目違いが無い場合の対象部位の発生応力分布

ここでは，目違いの無い場合の対象部位の応力性状について簡単にまとめる。図 5-2-4 には第 1 車線の分配横桁直上に T 荷重を載荷した場合（L7）の横桁の橋軸直角方向応力を示している。同図左図は G2 桁表裏の横桁仕口下フランジ（G1 側・G3 側）表裏の溶接止端部の応力分布（要素応力分布）で

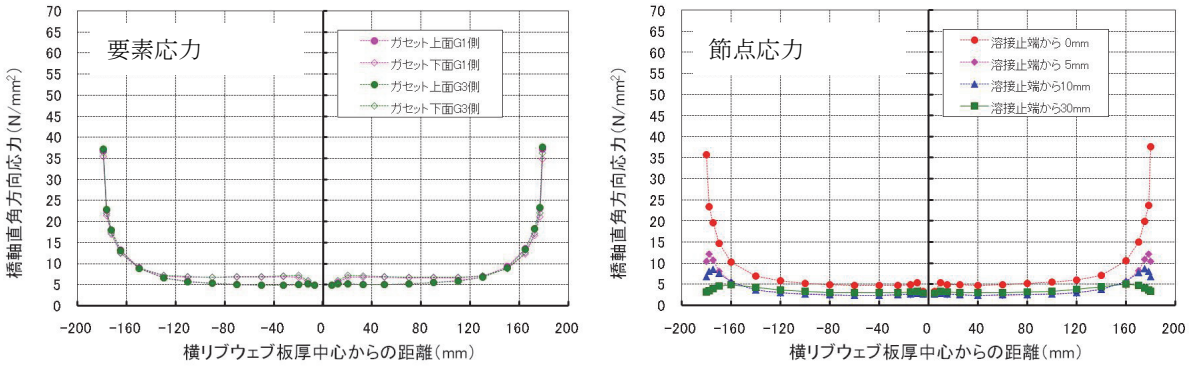


図 5-2-4 第 1 車線分配横桁直上載荷時の横桁フランジ側止端部の橋軸直角方向応力分布

ある。G1 側と G3 側の間に，またフランジの表裏で大きな差異は見られておらず，角部（フランジ端部）で大きな応力が発生していることが分かる。同図右は同様に溶接止端部，溶接止端部から 5mm，10mm，30mm の位置の応力分布（節点応力）を横桁ウェブ板厚中心からの距離で整理した結果であるが，フランジ端部付近で大きな応力が発生している傾向は止端部から 10mm 程度離れるまで観察できる。両図で止端部応力を比較すると要素応力と節点応力の間に分布の差異は殆ど見られないことが分かる。また，ここには示していないが同じ分配横桁直上載荷（L7）の場合には，第 2 車線載荷時は若干小さい応力値となっているが，横桁下フランジ上の応力分布形状は第 1 車線載荷時と同様であった。図 5-2-5 には図 5-2-4 右図に示す応力分布と同じ位置（G1 側下フランジ上面）の橋軸直角方向応力分布について L5 載荷（分配横桁位置より-5000mm）および L6 載荷（同-2500mm）時について示している。対象部位直上から載荷位置が離れるに伴い，応力自体は小さくなるが，応力分布がウェブ位置を対称とならず，載荷側とは反対側の端部により高い応力が発生していることが分かる。

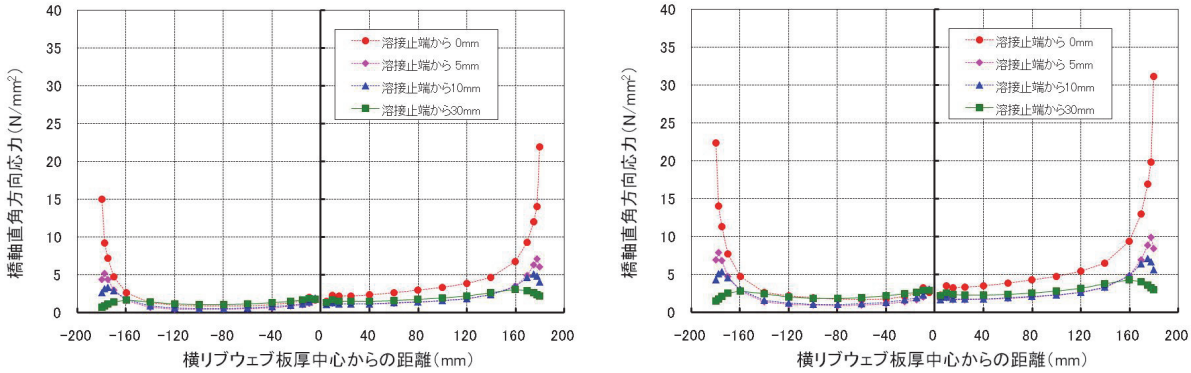


図 5-2-5 第 1 車線 L5 および L6 載荷時の横桁フランジ側止端部の橋軸直角方向応力分布

図 5-2-6 には第 1 車線載荷時の回し溶接部の主桁側止端部の応力を示している。同図左は各載荷ケースごとに，回し溶接止端部に沿う最大主応力の分布をガセット（横桁下フランジ）中央から溶接線に沿った距離で整理したものである。分配横桁直上載荷時（L7）では，最も応力が大きくなり，またガセット厚中心に対称な応力分布となる。一方，分配横桁より直上よりずれた載荷位置では，最大主応力の値が止端部に沿って分布しており，その形状は分配横桁直上（L7）を境に反転していることが分かる。これは載荷点の移動に伴い主桁のせん断力の正負が反転し，主応力の方向が反転するためであると考えられる。同図右はガセット中心厚のホットスポット応力（外挿点は止端部から 0.4T および 1.0T 位置）を載荷点の S1 側支点からの距離で整理したものであるが，4 つの回し溶接止端部で同等の値となっていることが分かる。

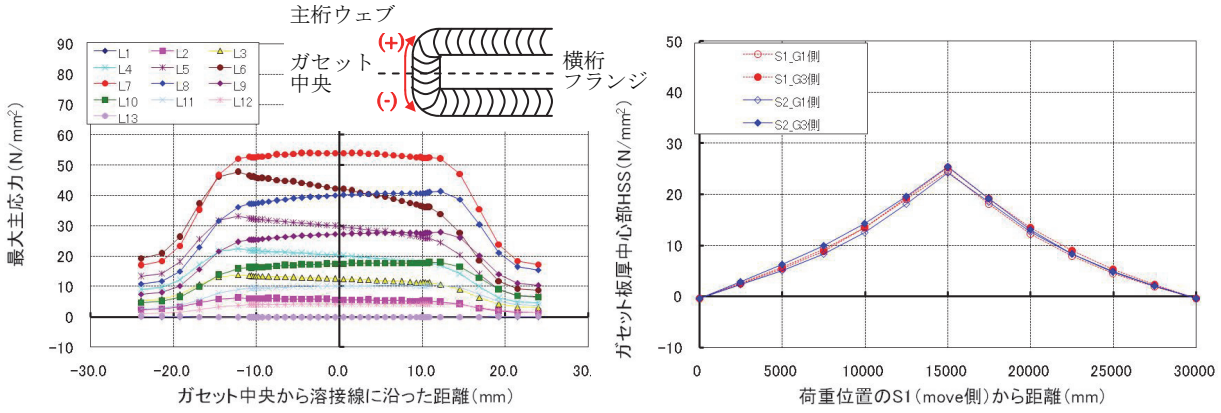


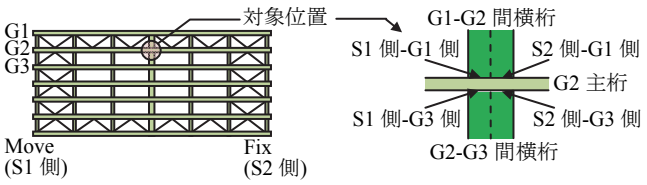
図 5-2-6 第 1 車線載荷時の回し溶接止端部の最大主応力の変化

(c) 目違いの影響（横桁下フランジ側止端部）

表 5-2-1 に第 1 車線載荷時の横桁下フランジ側止端部の橋軸直角方向応力およびホットスポット応力(HSS：0.4T-1.0T 法)について，目違いがある場合と無い場合の応力値（単位 MPa）および目違い影響度（目違い有りの応力／目違い無しの応力）をまとめて示している。鉛直目違いの場合には，横桁一般部，横桁端部および横桁ウェブ位置について，水平目違いについては横桁一般部および端部についてのみ示している。止端部応力で整理した目違いの影響度と比較すると，ホットスポット応力で整理した目違いの影響度は若干大きくなっており，前節で検討した継手モデルの場合と同様の傾向にあ

表 5-2-1 横桁下フランジ側止端部に対する目違いの影響(第 1 車線載荷)

鉛直目違いを与えた場合



	横桁一般部（S1:move 側、S2:fix 側）							
鉛直目違い	S1 側-G1 側		S1 側-G3 側		S2 側-G1 側		S2 側-G3 側	
1mm	上側	下側	上側	下側	上側	下側	上側	下側
止端部応力	4.71/5.26	7.00/6.46	5.81/5.26	5.89/6.53	4.89/5.45	6.91/6.36	5.98/5.41	5.84/6.48
目違い影響度	0.897	1.084	1.106	0.902	0.898	1.087	1.104	0.901
HSS	2.06/2.33	3.11/2.86	2.60/2.31	2.59/2.89	2.15/2.43	3.07/2.81	2.67/2.39	2.56/2.85
目違い影響度	0.884	1.090	1.123	0.898	0.886	1.094	1.120	0.896
	横桁端部（S1:move 側、S2:fix 側）							
鉛直目違い	S1 側-G1 側		S1 側-G3 側		S2 側-G1 側		S2 側-G3 側	
1mm	上側	下側	上側	下側	上側	下側	上側	下側
止端部応力	33.4/35.8	36.4/34.2	38.5/36.2	32.9/35.2	35.2/37.7	37.3/34.9	40.6/38.2	34.3/36.6
目違い影響度	0.934	1.065	1.065	0.937	0.934	1.067	1.065	0.938
HSS	8.83/9.69	10.2/9.36	10.5/9.69	8.64/9.51	8.87/9.73	10.2/9.33	10.5/9.71	8.70/9.57
目違い影響度	0.911	1.089	1.087	0.909	0.911	1.090	1.087	0.909
	横桁ウェブ位置（S1:move 側、S2:fix 側）							
鉛直目違い	S1 側-G1 側		S1 側-G3 側		S2 側-G1 側		S2 側-G3 側	
1mm	上側	下側	上側	下側	上側	下側	上側	下側
止端部応力	3.17/3.24	3.57/3.52	3.31/3.25	3.58/3.65	3.14/3.21	3.63/3.57	3.29/3.23	3.63/3.71
目違い影響度	0.976	1.016	1.019	0.980	0.976	1.016	1.019	0.981
HSS	3.06/3.09	2.85/2.84	3.13/3.13	2.87/2.87	2.95/2.99	2.98/2.98	3.02/3.02	3.00/3.00
目違い影響度	0.991	1.000	0.998	1.000	0.990	1.000	0.998	1.000

水平目違いを与えた場合

	横桁一般部（S1:move 側、S2:fix 側）							
水平目違い	S1 側-G1 側		S1 側-G3 側		S2 側-G1 側		S2 側-G3 側	
1mm	上側	下側	上側	下側	上側	下側	上側	下側
止端部応力	5.25/5.26	6.45/6.46	5.27/5.26	6.54/6.53	5.47/5.45	6.37/6.36	5.40/5.41	6.47/6.48
目違い影響度	0.998	0.999	1.002	1.002	1.002	1.002	0.998	0.999
HSS	2.33/2.33	2.86/2.86	2.32/2.31	2.89/2.89	2.43/2.43	2.81/2.81	2.39/2.39	2.85/2.85
目違い影響度	0.999	1.000	1.002	1.001	1.003	1.002	0.999	1.000
	横桁端部（S1:move 側、S2:fix 側）							
水平目違い	S1 側-G1 側		S1 側-G3 側		S2 側-G1 側		S2 側-G3 側	
1mm	上側	下側	上側	下側	上側	下側	上側	下側
止端部応力	37.6/35.8	35.9/34.2	34.2/36.2	33.3/35.2	35.5/37.7	32.9/34.9	40.0/38.2	38.3/36.6
目違い影響度	1.051	1.051	0.945	0.945	0.943	0.942	1.049	1.048
HSS	10.1/9.69	9.74/9.36	9.25/9.69	9.09/9.51	9.29/9.73	8.91/9.33	10.1/9.71	9.94/9.57
目違い影響度	1.040	1.040	0.955	0.956	0.954	0.954	1.040	1.039

る。前述したように，鉛直目違いを与えた場合には，前述したように横桁ウェブ位置では横桁ウェブによる回転拘束の影響で，目違いの影響はほとんど見られない。また，応力値の高い横桁端部（回し溶接部）では目違いの影響度は止端部応力で 6%程度，ホットスポット応力で 9%程度であり，式 5-1-1（λ=6）で計算した主板厚 22mm の場合の目違い量 13.6%よりも小さな値であった。横桁一般部では，止端部応力で 11%弱，ホットスポット応力で 12%程度とウェブによる拘束による効果が小さいことが分かる。この傾向は，継手モデルを用いてウェブによる目違い量の減少効果を主板（フランジ）の形状をパラメータにして検討した結果（図 5-1-14 及び図 5-1-16）からも妥当であると言える。

水平目違い量 1mm に関しては，今回 G1-G2 桁の間のフランジを S1（Fix 側）に 0.5mm，G2-G3 桁の間のフランジを S2（move 側）に 0.5mm 動かして解析を行っている。この水平目違いの影響はフランジ端部にしか見られないが，このような水平目違いによっても 5%程度の影響が見られている。この目違い影響度の大きさは，継手モデルで検討した結果（図 5-1-19）とほぼ等しい結果であった。

なお，第 2 車線通過時の分配横桁直上載荷時も，鉛直目違い，水平目違いの両ケースにおいて目違いの影響度は第 1 車線の載荷時とほぼ同等であった。

次に，図 5-2-4，図 5-2-5 に示したように，発生応力そのものは対象部位の直上載荷（L7）の場合が最も大きいが，載荷点の移動に伴う目違いの影響度の変化について検討を行った。図 5-2-7 に横桁端部の，図 5-2-8 に横桁一般部の載荷点の移動に伴う目違いの影響度を示す。ここでは溶接止端部の橋軸直角方向応力を用いて図を作成している。図中のマークは(□■S1-G1 下，○●S1-G3 下，△▲S2-G1 下，▽▼S2-G3 下であり Empty が第 1 車線載荷，solid が第 2 車線載荷となっている)。発生応力は横桁端部の方が横桁一般部よりもいずれの載荷点でも大きいが，載荷点の移動に伴う目違いの影響度は異なる傾向を示す。発生応力の大きい横桁端部の目違い影響度は，4 カ所の全ての止端部で横桁直上載荷では 6%程度であるが，載荷点全体でみると 6~8%程度の間で変化している。しかし，横桁一般部では，例えば G1 桁側の S1 側止端部の目違い影響度は，分配横桁直上（支間中央部）よりも S1 側に載荷

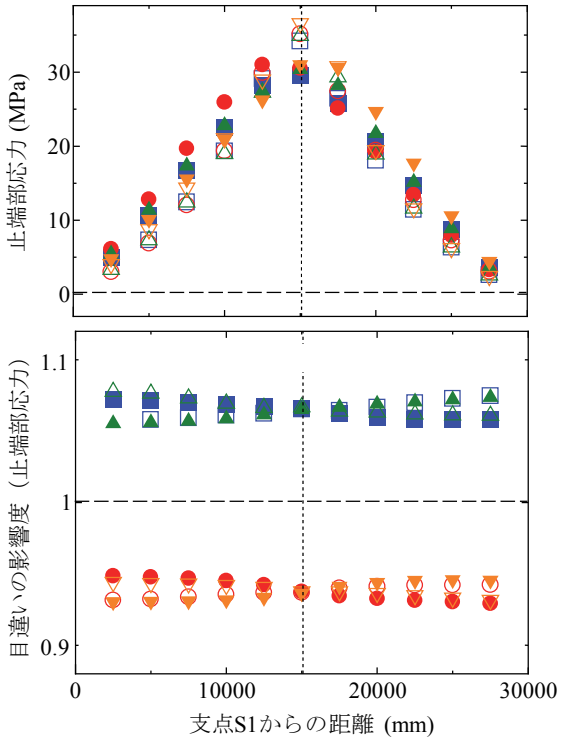


図 5-2-7 横桁端部の目違い影響度

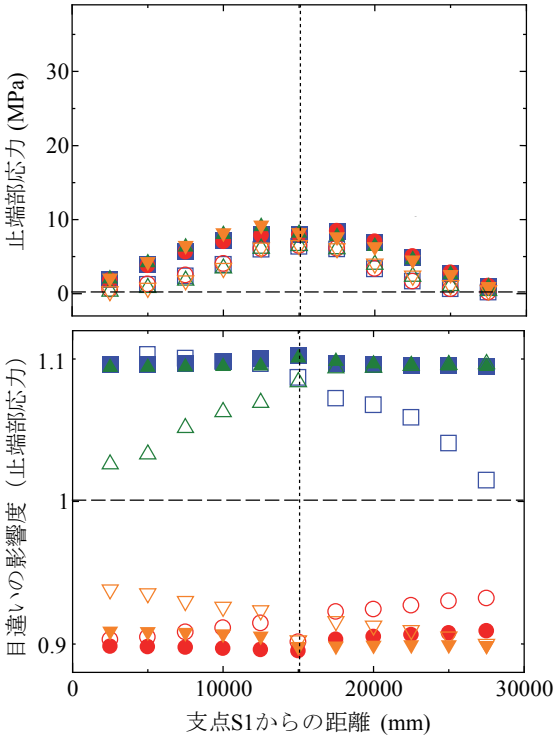
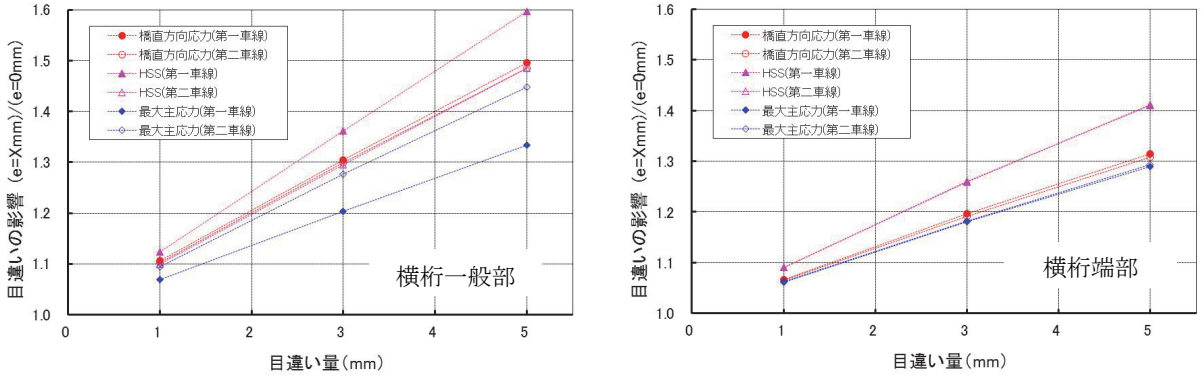


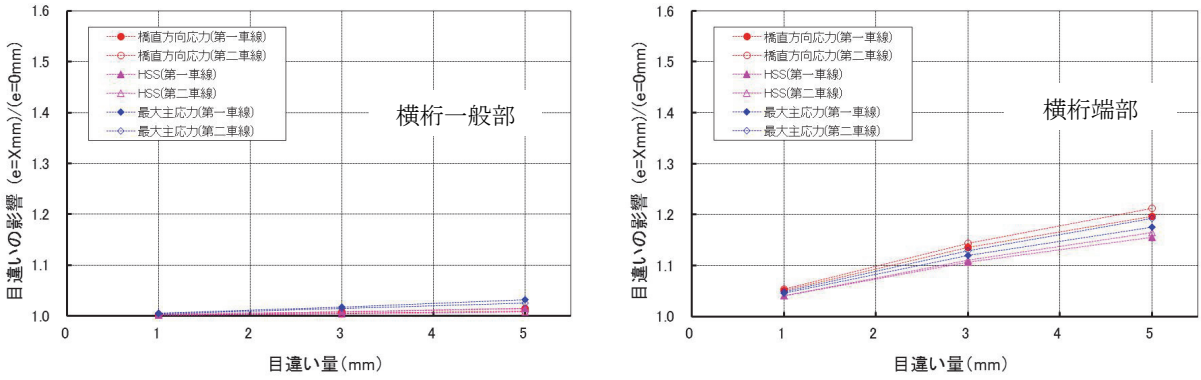
図 5-2-8 横桁一般部の目違い影響度

点がある場合にはほぼ一定であるが，載荷点が分配横桁直上を通過し S2 側へ移動する場合，第 1 車線載荷時には目違い影響度が急激に低下するが，第 2 車線載荷時には殆ど変化がないことが分かる。このような現象については，現在原因は不明であり今後の検討課題であると言える。

なお，本検討では目違い量を 1，3，5mm と与えて検討を行っており，分配横桁直上（L7）載荷の場合について，横桁端部，横桁中央部について図 5-2-9 にまとめる。検討の範囲では，部位，目違いの方向によらず，目違いの影響度と目違い量との関係に線形関係が見られている。第 4 章で計測した鉛直目違いは最大で 3.3mm であり，4mm 程度の目違いが発生すると仮定すると横桁一般部で 40%，応力の高い横桁端部で 25%程度（止端部応力ベース）の応力上昇となり，部位によっては注意が必要となる可能性はあるが，この点については次章で論ずる。



鉛直目違いを導入した場合



水平目違いを導入した場合

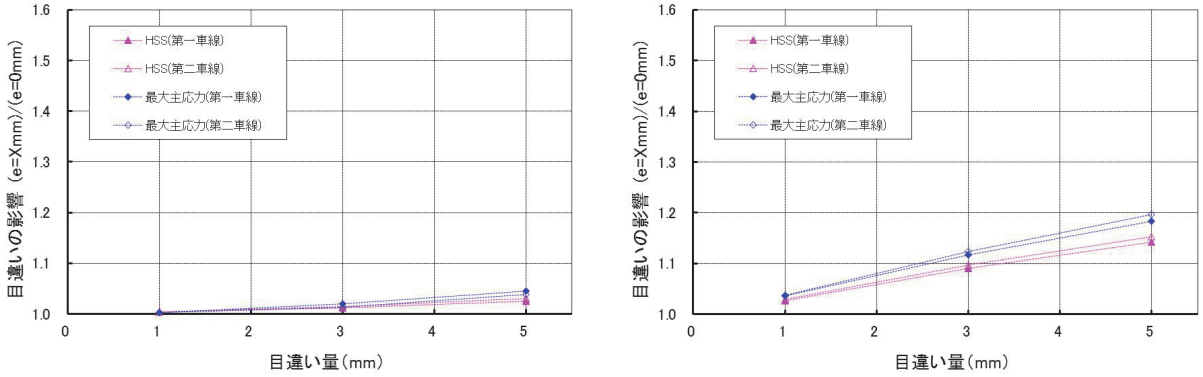
図 5-2-9　目違い量と目違いの影響度の関係

(d) 目違いの影響（回し溶接部主桁側止端部）

本部会で対象とする継手は，主桁の曲げ応力に対しては面外ガセット継手と考えられる。図 5-2-6 や表 5-2-1 に示すように横桁下フランジに働く応力よりも，主桁作用による主桁側回し溶接部に作用する応力の方が今回取り扱った橋梁では大きく，また疲労強度も低い継手であり，その目違いの影響について検討しておくことは重要であると考えられる。

図 5-2-10 には，分配横桁直上（L7）載荷時の，主桁回し溶接止端部の目違いの影響度と目違い量の関係を，ガセット止端部の最大主応力分布の最大値（目違いにより若干場所が異なる），およびホットスポット応力（HSS：0.4T-1.0T 法）で用いて示している。検討の範囲では，目違いの方向によらず，目違い量と目違いの影響度には良い線形関係が見られている。主桁側の止端部に関しては，鉛直目違いの影響は非常に小さく 5mm の目違いがあっても，最大主応力で 5%弱，HSS で 3%程度である。逆に水

平目違いがある場合には 1mm の目違いを与えた場合には，最大主応力で 4%程度，HSS で 3%程度の影響があり，鉛直目違いの影響度より大きい。この影響度の大きさは，前節(c)で検討した主板表裏の脚長の差異の影響とほぼ同程度であると言える。本部会で計測した実橋における当該部位の水平目違いの最大値は 2.6mm であり，仮に 3mm の目違いが発生すると仮定すると，最大主応力で 12%，HSS で 9%程度の応力上昇度が生じることになる。



鉛直目違いを与えた場合　　水平目違いを与えた場合

図 5-2-10　目違い量と目違いの影響度の関係（主桁側止端部）

図 5-2-11 には支点 S1 (move)・G1 桁側の回し溶接部の橋軸方向応力と水平目違い 1mm を与えた時の，横桁下フランジ（ガセット）厚中心位置での溶接止端部の橋軸方向応力と，その応力で計算した目違いの影響度を，荷重載荷位置で整理した結果を示す。対象部位が支間中央であり，走行車線に依らず，また目違いの有無に依らず，支間中央(L7)載荷時が最も大きな応力が発生しているが，目違いの影響度は走行車線や走行位置により異なり，分配横桁直上載荷時に 4%程度の目違いが見られるが，載荷点の移動に伴い，3.5%～5.5%の間で変化していることが分かる。

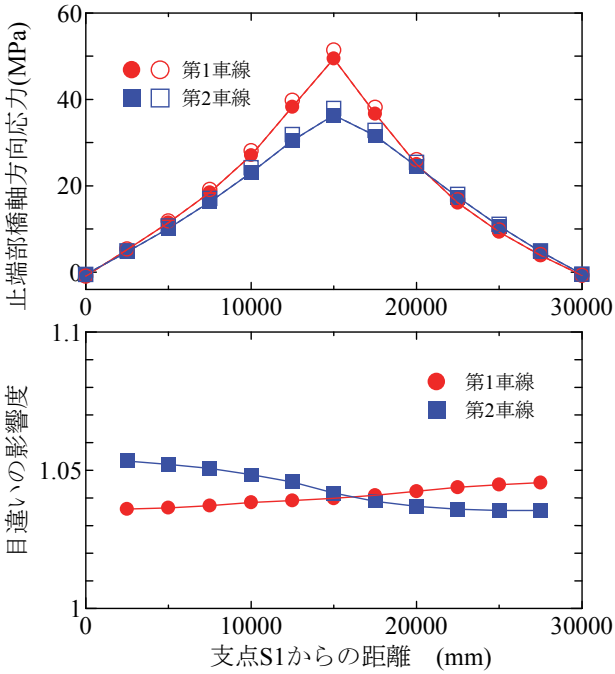


図 5-2-11 主桁ウェブの目違い影響度

5-2-2 箱桁橋

(a) 解析モデル

箱桁モデルの FEM 解析では，3 径間連続鋼床版 2 箱桁（77m+77m+77m）を対象とした。対象橋梁の側面図を図 5-2-12 に，中間横桁の断面図を図 5-2-13 に示す。この橋梁では，1 径間に 11m 間隔で横桁が配置されており，横桁間には 2.75m 間隔で横リブが配置されている。幅員は 14.25m であり，走行車線と追越 2 車線の合計 3 車線と歩道を有している。

FEM 解析は，汎用有限要素解析ソフト MSC Nastran2011 を用いた。対象橋梁の解析モデルを図 5-2-14 に示す。解析ではまず，橋梁全体モデルをシェル要素によりモデル化し，T 荷重を第 1，第 2 あるいは第 3 車線に対し，橋軸方向に S1 から S2 まで，5.5m 間隔で載荷した。そして，全ての横桁の下フランジと横桁の上フランジ（横リブ下フランジ），横桁位置の第 1 車線側のブラケット下フランジの仕口について，フランジ部の橋軸直角方向と主桁ウェブの橋軸方向の応力範囲を整理した。その結果，フランジの応力範囲については，下フランジの最大の応力範囲に対し，横桁上フランジ部とブラケット部の最大の応力範囲はそれぞれ 15%程度，20%程度と小さいことが確認された。また，主桁ウェブの応力範囲についても，下フランジの最大の応力範囲に対し横桁上フランジ部とブラケット部の最大の応力範囲はともに 40%弱であったため，横桁下フランジ仕口を対象とすることとした。対象とする横桁の選定は，発生応力範囲が卓越する箇所とした。すなわち、フランジ部の橋軸直角方向応力範囲は支点

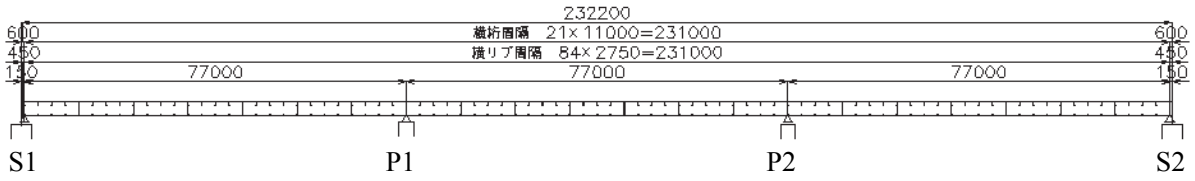


図 5-2-12　対象橋梁の側面図

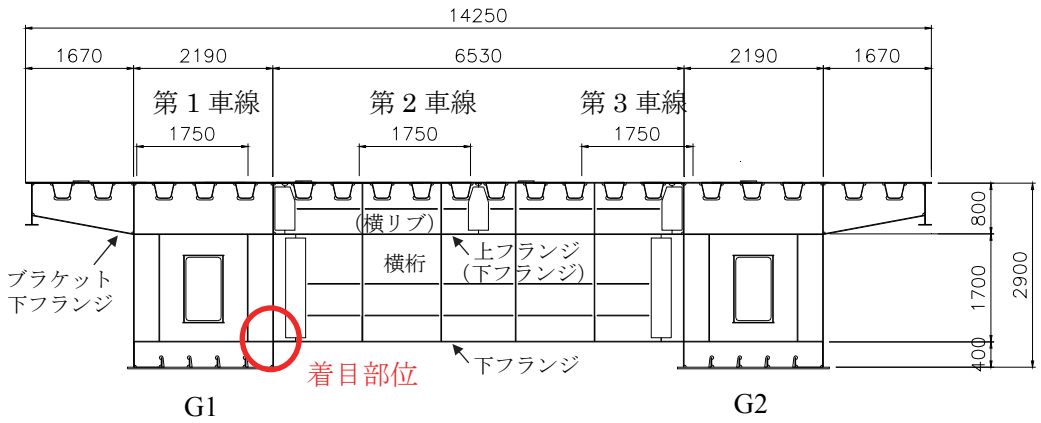


図 5-2-13　横桁の断面図

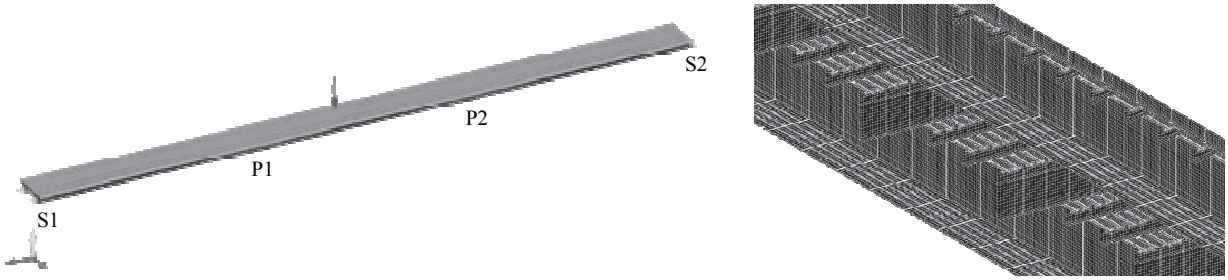
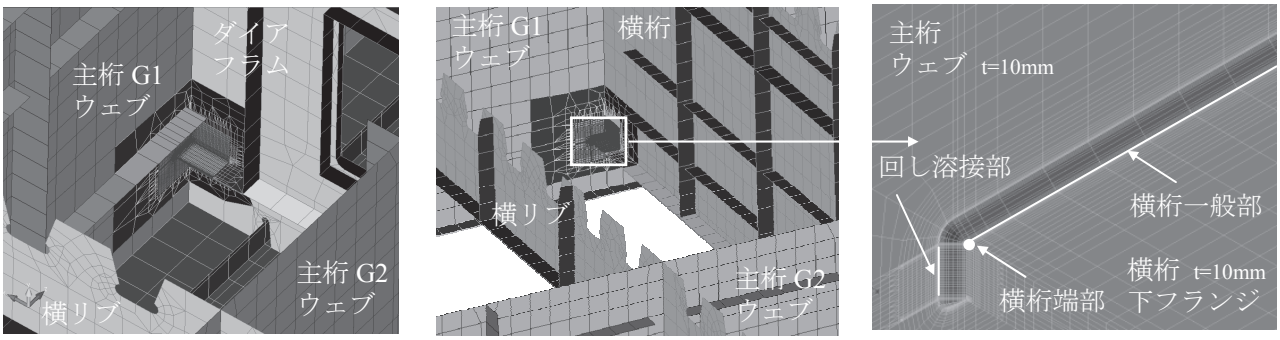


図 5-2-14　箱桁橋全体解析モデル

部と中央径間中央部近傍で大きくなる傾向にあり，支点部のほうが大きくなるケースもあったが，中央径間の中央近傍では主桁ウェブの橋軸方向の応力範囲についても大きくなることを考慮し，中央径間中央に近接する横桁の G1 桁側仕口を対象とすることとした。

次に，目違いを考慮するために，前節の鈑桁橋の解析と同様，着目部近傍のみをソリッド要素で詳細にモデル化した（図 5-2-15)。導入する目違いついても，鈑桁橋と同様に，仕口全体（I 断面）ではなく，下フランジ部のみに考慮することとし，鉛直目違い（1, 3, 5㎜）及び水平目違い（1, 3, 5㎜）を導入した。なお，目違いは正規の位置から上下，あるいは左右対称に導入することとし，鉛直目違いの方向は箱の外部が下側となる方向，水平目違いについては箱の外部が中央間中央に近づく方向とした。目違いの導入範囲は箱内では控え材の全長（2190㎜)，箱外は仕口板（長さ 350㎜）部である。ソリッド要素を用いた解析においても載荷荷重は T 荷重とし，橋軸方向の荷重の載荷点は図 5-2-16 に示すように S1 支点から S2 支点へ横桁間隔の 1/2 ピッチとし，着目部近傍では横リブ間隔の 1/2 ピッチとして，L1~L42 の合計 42 カ所とした。着目横桁直上の荷重は L30 となる。

着目部の寸法を，図 5-2-17 に示す。鈑桁橋とは異なり，箱外側の下フランジ下側にはリブ板がない。仕口の下フランジの板厚は 10㎜ であり，*l* の長さが十分に大きく，無視できると仮定した場合に式 5-1-1（λ=6）から求まる 1㎜ の目違いに対する応力上昇は 30.0%である。



（a）箱桁ウェブ内面　　（b） 箱桁ウェブ外面　　（c）横桁下フランジ仕口

図 5-2-15 箱桁橋の解析モデル

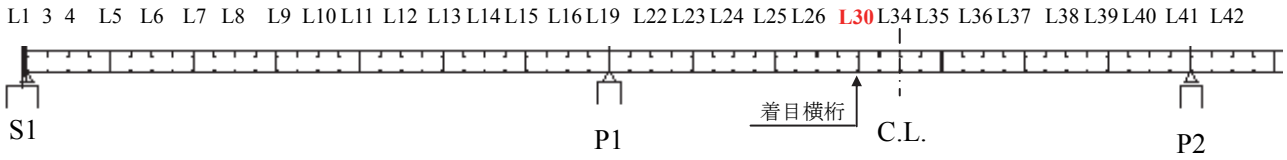


図 5-2-16 Ｔ荷重の載荷位置

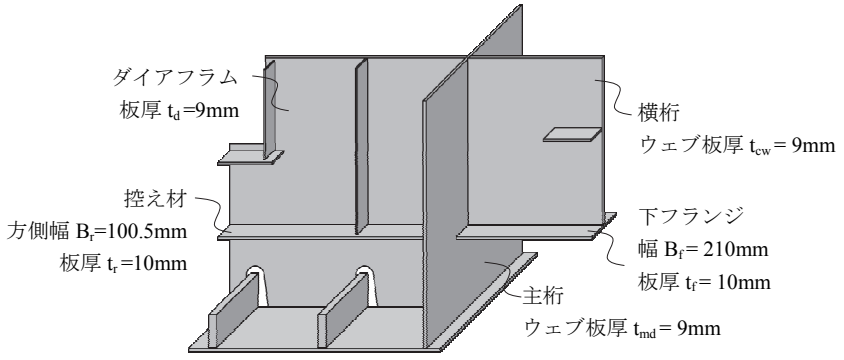


図 5-2-17 着目部の寸法

(b) 目違いが無い場合の対象部位の発生応力分布

ここでは，目違いの無い場合の対象部位の応力性状について整理する。

ⅰ）着目横桁の横桁下フランジの横桁側止端部の応力性状

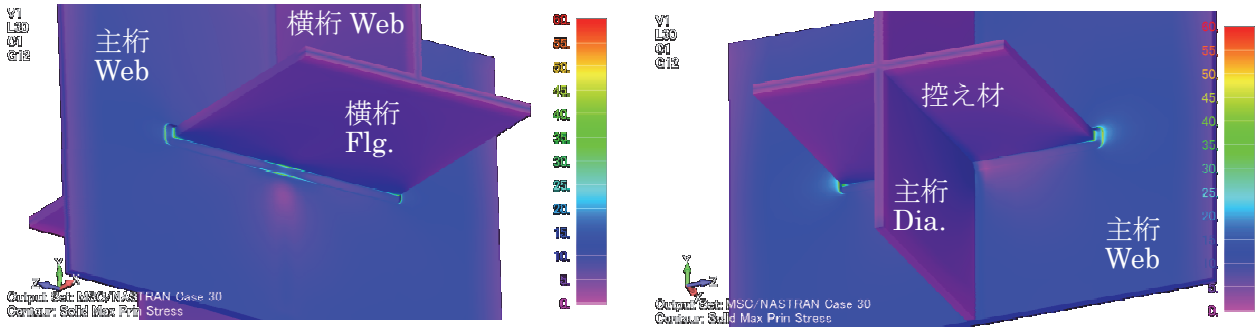
T 荷重を第 1 車線の着目横桁（L30 載荷位置）直上に載荷させた場合の仕口下フランジにおける最大主応力のコンター図を図 5-2-18 に示す。最大主応力は，箱桁ウェブ内外面の P1，P2 両側の回し溶接部近傍のフランジ端部と，箱桁ウェブ外面側のフランジ下面の中央（横桁ウェブ直下）で高い応力が生じている。

荷重載荷位置 L29，L30，L31 における横桁下フランジ側止端の要素の最大主応力分布を箱桁ウェブの内外面とフランジの上下面に分けて走行車線毎に整理した結果を図 5-2-19(a)-(d)～図 5-2-21(a)-(d)に示す。各図の(a) および(b)は，箱桁ウェブ外面の横桁下フランジ上下面の応力分布を，(c) および(d)は，箱桁ウェブ内面の横桁下フランジ上下面の応力分布である。図の横軸のマイナス側は P1 側，プラス側は P2 側を表す。

第 1 車線載荷時について図 5-2-19 では，箱桁ウェブ外面の最大主応力は，横桁フランジ上下面のフランジ端部に最大で 50MPa 程度の応力が生じている。また，横桁フランジ中央近傍では上面では発生応力が小さいが，下面では約 40MPa の応力が生じている。一方，箱桁ウェブ内面では，フランジ中央近傍に大きな応力は発生していない。ここで着目した仕口では，横桁下フランジの下端に補剛材（ウェブギャップ PL）がないため，前節 5-1(b)で横桁ウェブ下面の補剛材の影響を考察した図 5-1-20 と同様の傾向にある。また，箱桁ウェブ外面では L30 載荷時の応力が最も大きくなること，箱桁ウェブ内面では，L29 載荷時に P2 側，L31 載荷時には P1 側と載荷位置と逆側の応力が大きくなることが確認できる。

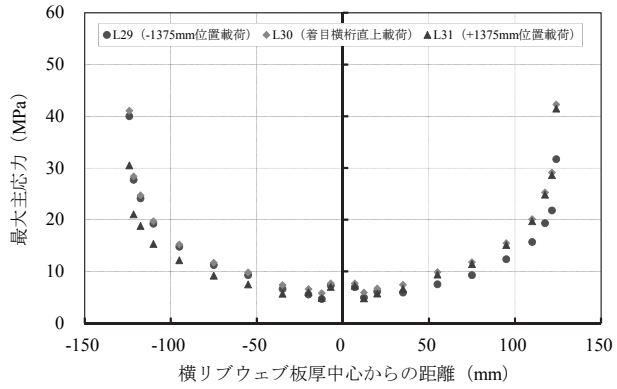
第 2 車線載荷時について図 5-2-20 をみると，発生応力は第一車線載荷時よりも全体的に小さい。そして，箱桁ウェブ内外面の最大主応力は，ともに，横桁フランジ上下面のフランジ端部に大きな応力が生じ，第 1 車線載荷時に確認された箱桁ウェブ外面側のフランジ下面の中央の応力集中はない。また，箱桁ウェブ内外面ともに L29 載荷時に P2 側，L31 載荷時には P1 側と載荷位置と逆側の応力が大きくなり，L29 載荷時の応力が大きくなることが確認できる。この理由として，第 2 車線位置が G1，G2 の主桁中心から G1 側に偏心しているため，横桁に若干のねじれが生じることが考えられる。

第 3 車線載荷時について図 5-2-21 では，最大主応力がマイナスの値となっており，圧縮が卓越していることがわかる．そして，箱桁ウェブ外面側のフランジ下面の中央の圧縮応力が大きい。第 1 車線～第 3 車線に載荷した場合の当該箇所の応力，すなわち図 5-2-19～図 5-2-21 の図(b)に着目すると，応力の変動が大きいことがわかる。

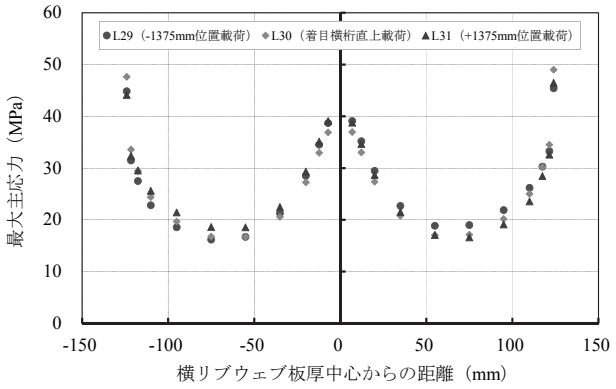


(a) 箱桁ウェブ外面下フランジ下面　　(b) 箱桁ウェブ内面下フランジ下面

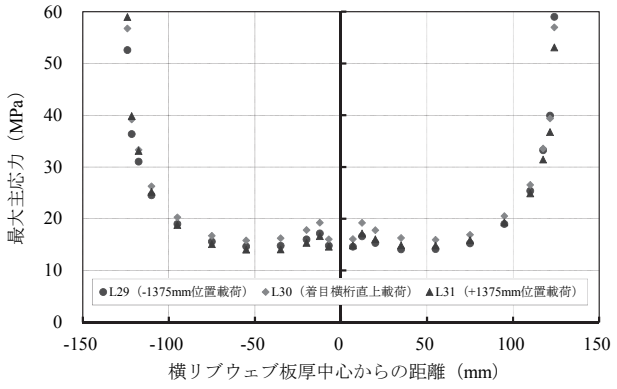
図 5-2-18 第 1 車線載荷時（L30）の最大主応力コンター図



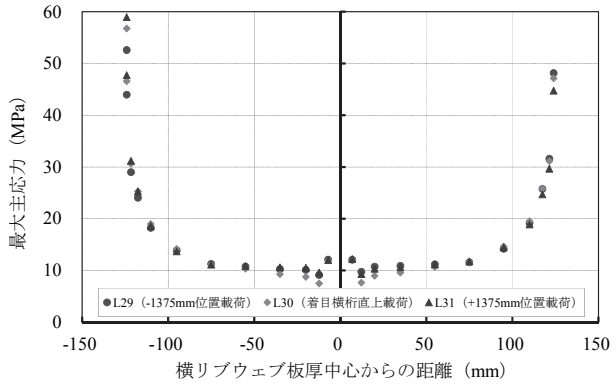
（a）箱桁ウェブ外面の横桁フランジ上面



（b）箱桁ウェブ外面の横桁フランジ下面

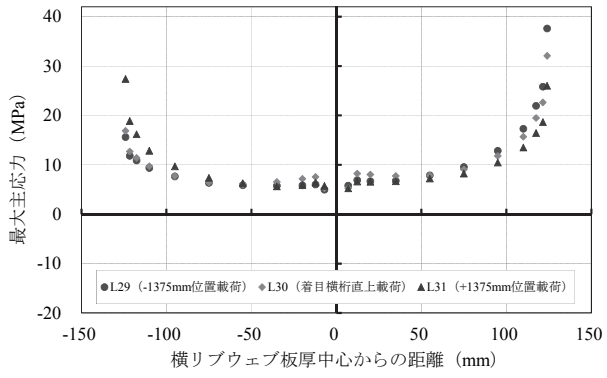


（c）箱桁ウェブ内面の横桁フランジ上面

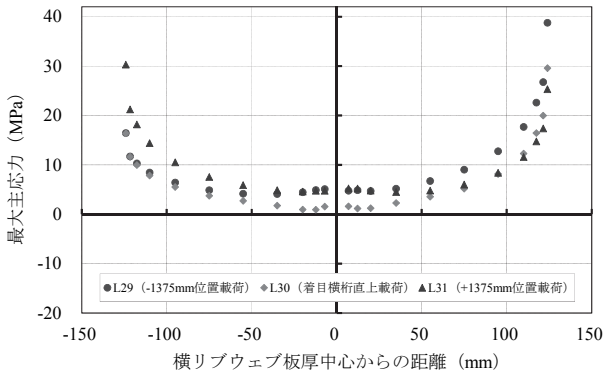


（d）箱桁ウェブ内面の横桁フランジ下面

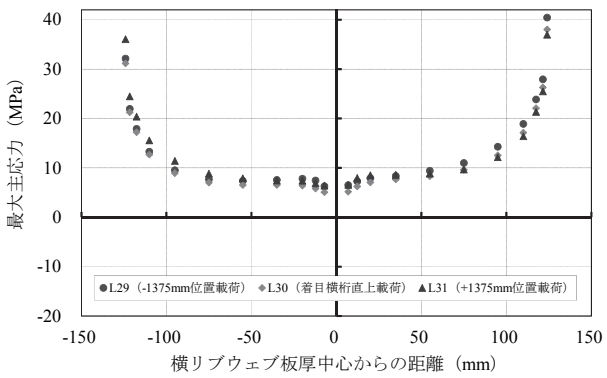
図 5-2-19 第 1 車線載荷時における横桁下フランジ側止端部の応力分布



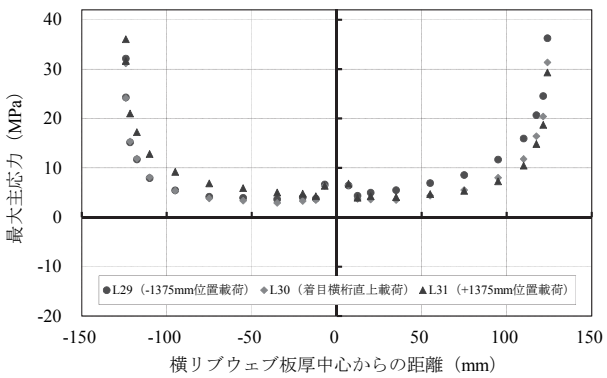
（a）箱桁ウェブ外面の横桁フランジ上面



（b）箱桁ウェブ外面の横桁フランジ下面

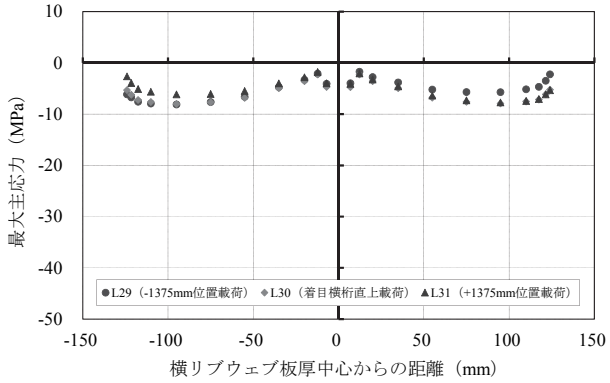


（c）箱桁ウェブ内面の横桁フランジ上面

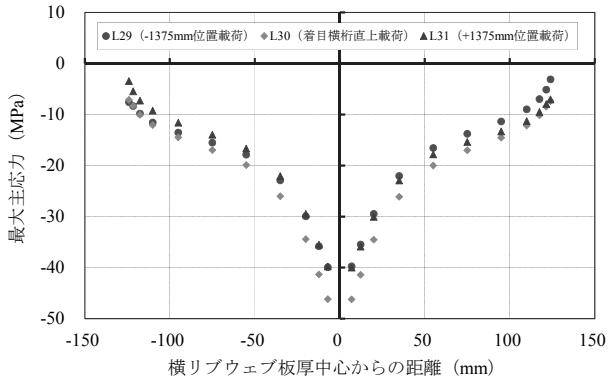


（d）箱桁ウェブ内面の横桁フランジ下面

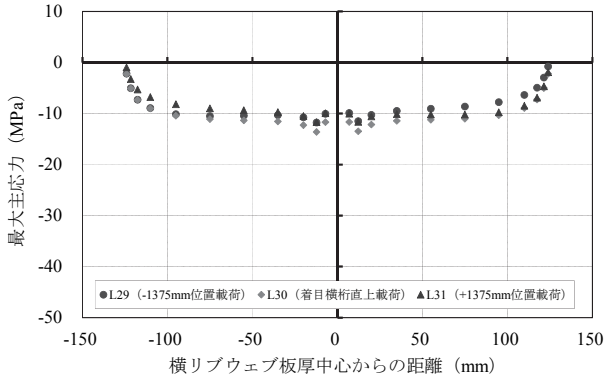
図 5-2-20 第 2 車線載荷時における横桁下フランジ側止端部の応力分布



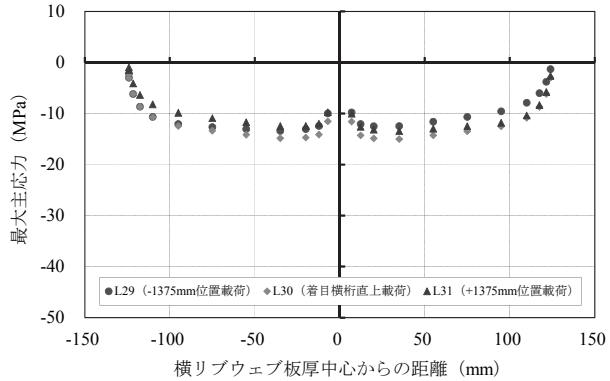
（a）箱桁ウェブ外面の横桁フランジ上面



（b）箱桁ウェブ外面の横桁フランジ下面



（c）箱桁ウェブ内面の横桁フランジ上面

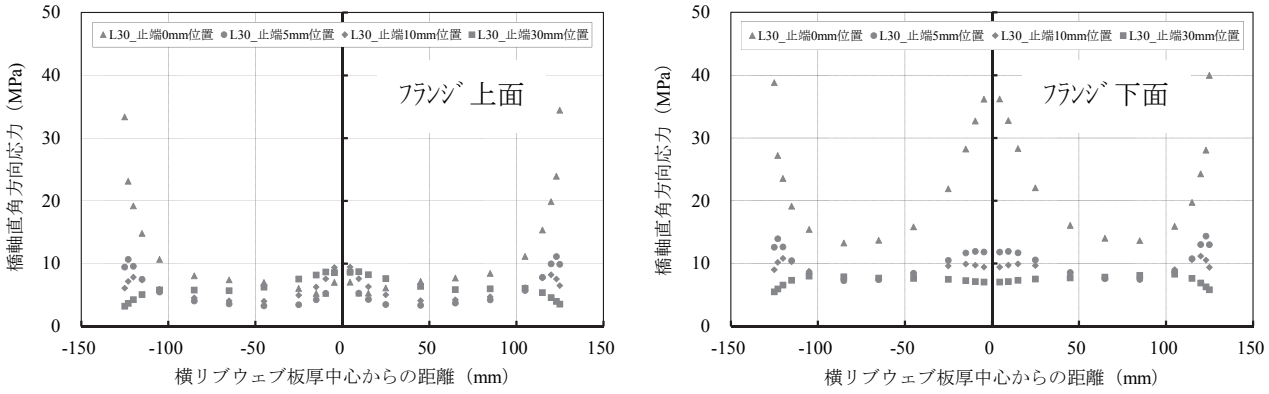


（d）箱桁ウェブ内面の横桁フランジ下面

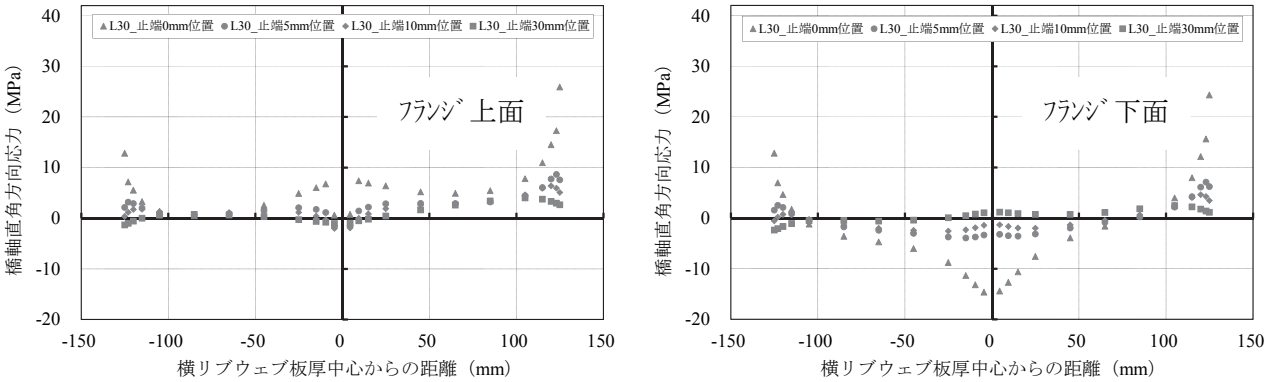
図 5-2-21 第 3 車線載荷時における横桁下フランジ側止端部の応力分布

以上，着目する仕口の溶接止端部に沿った最大主応力分布性状について確認を行ったが，これらの主応力の方向は第 2 車線載荷時では若干の相違が見られたものの，その他の車線では橋軸直角方向が卓越していることを別途確認済みである。以降は橋軸直角方向の節点応力に着目し橋軸直角方向に沿った応力分布を確認するとともに，これらの応力を用いて算出されるホットスポット応力（HSS）の性状について確認する。なお，鈑桁橋では横桁の一般部，横桁フランジ端部の HSS 応力に着目したが，ここでは大きな応力が発生するケースが確認された，横桁フランジ中央付近（横桁ウェブ位置）についても結果を整理する。

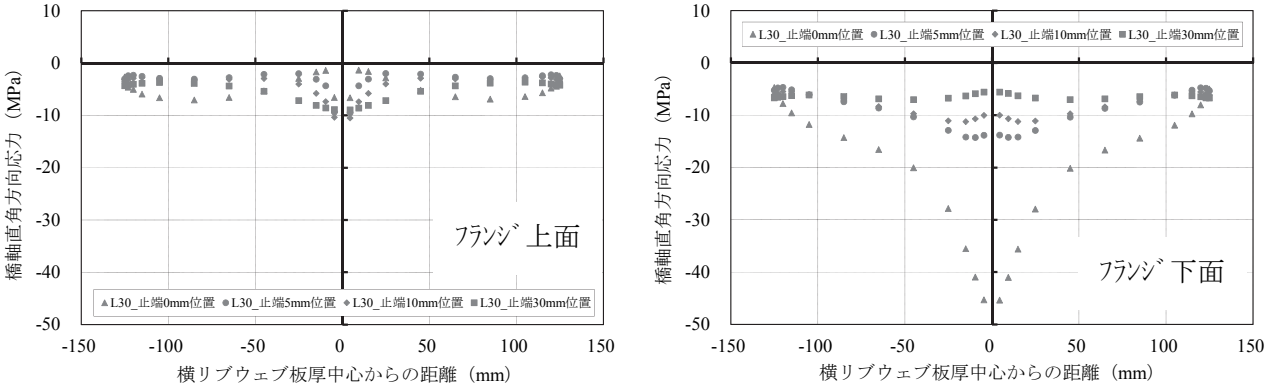
橋軸直角方向応力の応力分布の一例として，横桁直上載荷時（L30）の箱桁ウェブ外面の横桁下フランジ側止端部における結果を車線毎に整理したものを図 5-2-22(a)-(c)に示す。図中には溶接止端から 0,5,10,30㎜位置における応力分布を示しているが，溶接止端から 5㎜以上離れた位置の橋軸直角方向応力は，10㎜位置の応力値と大差がなく，同程度の傾向を示しており，溶接止端部近傍において局所的に応力集中が生じていることがわかる。この傾向は， L29,L31 載荷時や箱桁ウェブ内面においても同じであった。



（a）第 1 車線載荷時



（b）第 2 車線載荷時



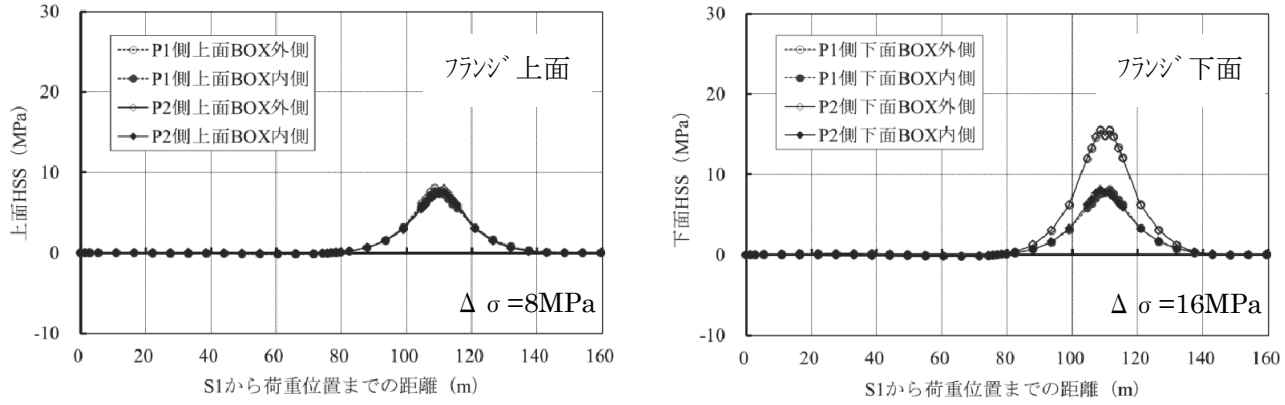
（c）第 3 車線載荷時

図 5-2-22 箱桁ウェブ外面における横桁下フランジ側止端部の橋軸直角方向応力分布

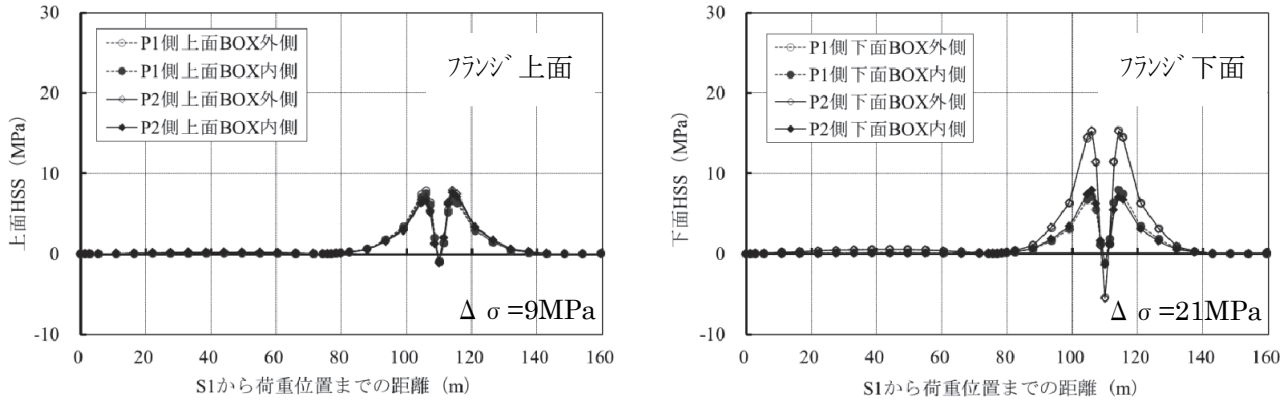
箱桁ウェブ内外面の横桁下フランジにおける横桁ウェブ位置（横桁ウェブ板厚中心から±4.5㎜ の位置）溶接止端部の HSS の変化を図 5-2-23 に示す。左図はフランジ上面，右図はフランジ下面を示している。HSS は 0.4T（T：板厚 10㎜）-1.0T 法を用いて算出した。

フランジ上面では，横桁ウェブの拘束があるためか，箱桁内外面で同様の傾向を示している。一方，フランジ下面では，リブ板の有無もあり，箱桁内外面で大きく異なっている。HSS はリブ板のない箱桁外面の方が約 2 倍高くなっている。また，第 1 車線走行時は引張応力が生じ，第 3 車線走行時は圧縮応力，第 2 車線走行時は横桁ウェブ直上近傍に近づくとそれまで引張側であった応力が，圧縮側に

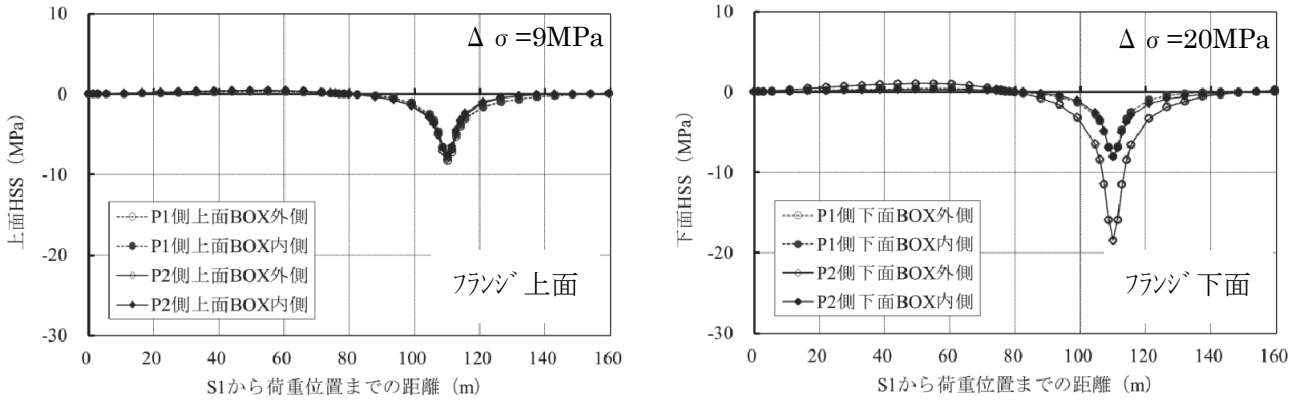
急変することが確認できる。これは，第 1 車線と第 2 車線は主桁のたわみ差に起因した発生応力であるのに対し，第 2 車線は T 荷重の両輪がともに横桁直上に近傍に載荷された場合，横桁がデッキと一体となっているため，横桁に主桁を固定端とした両端固定梁のような変形が生じ，仕口部の下フランジ側に圧縮応力が発生したと推測される。



（a）第 1 車線載荷時



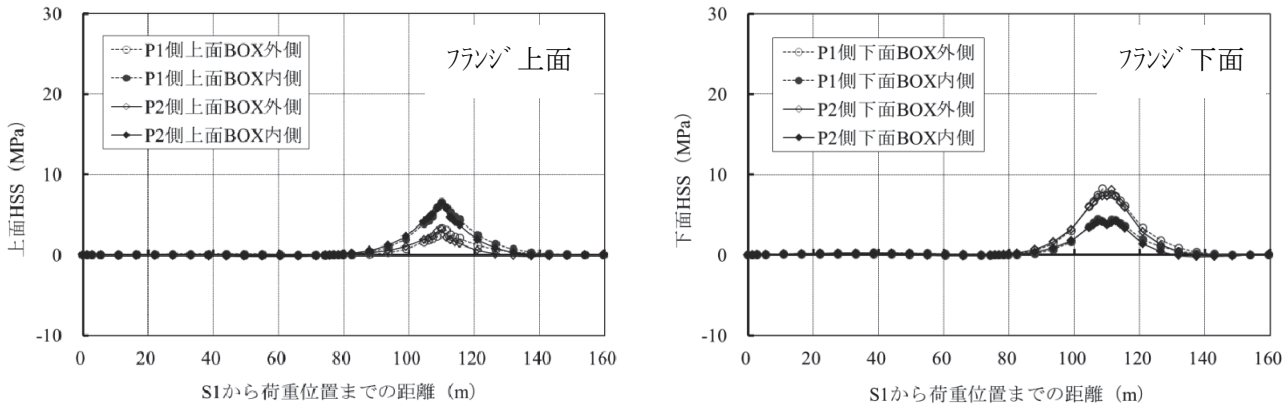
（b）第 2 車線載荷時



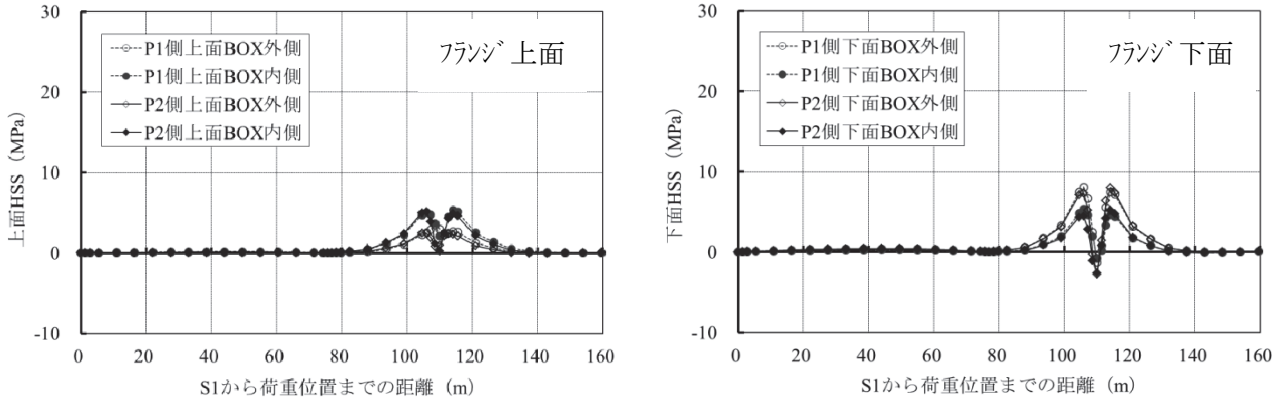
（c）第 3 車線載荷時

図 5-2-23 箱桁ウェブ内外面の横桁下フランジにおけるホットスポット応力の変化（横桁ウェブ位置）

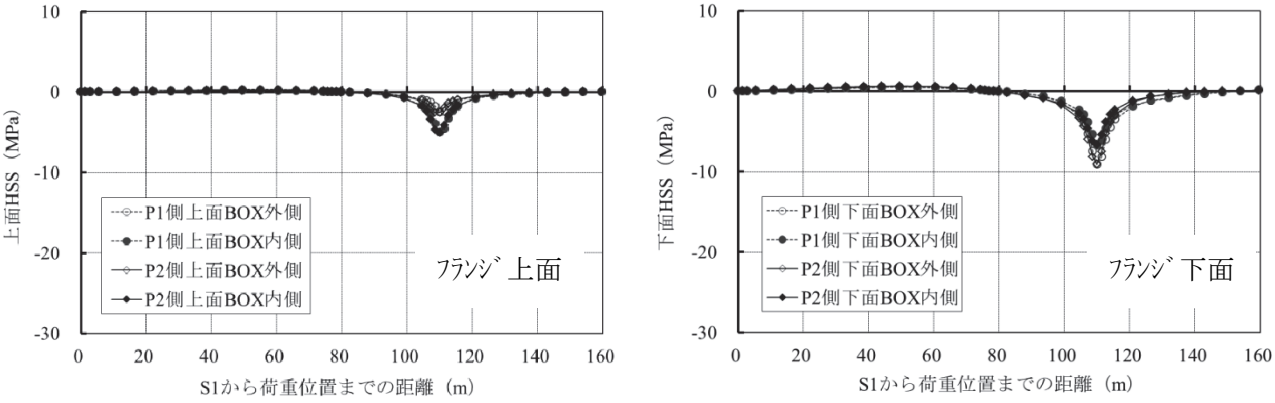
図 5-2-24 は箱桁ウェブ内外面の横桁下フランジにおける横桁一般部（横桁ウェブ板厚中心から±65㎜の位置）溶接止端部のホットスポット応力の変化を示している。一般部の傾向はウェブ位置とほぼ同じであるが，全体的に値は小さくなっている。



（a）第 1 車線載荷時



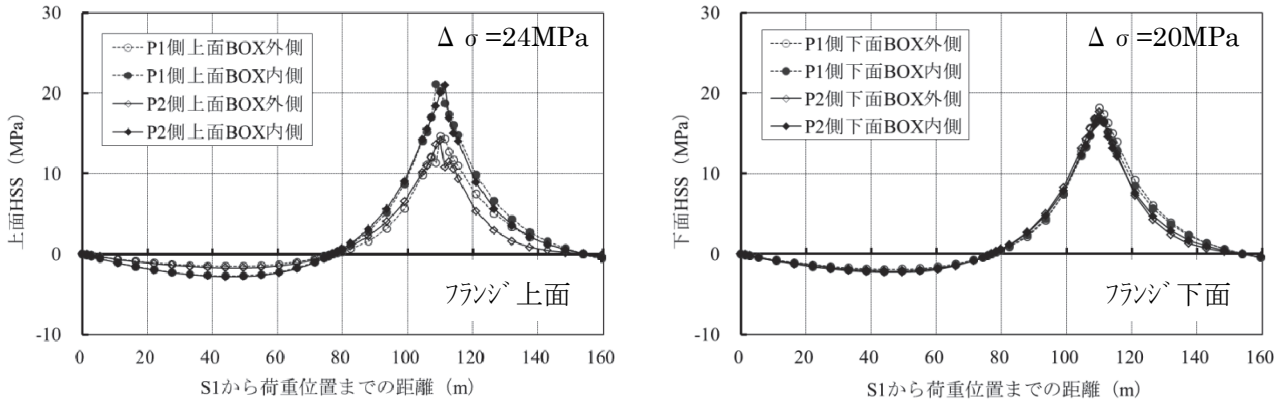
（b）第 2 車線載荷時



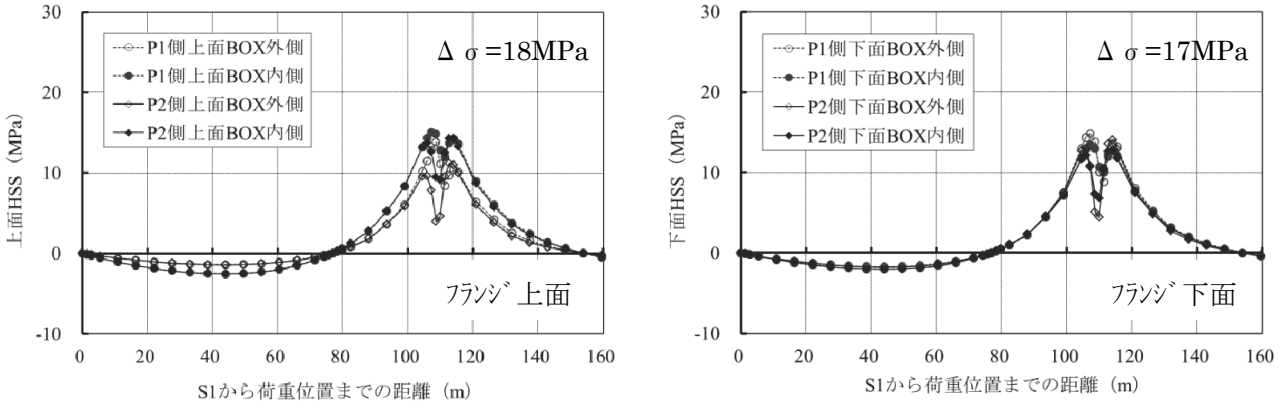
（c）第 3 車線載荷時

図 5-2-24 箱桁ウェブ内外面の横桁下フランジにおけるホットスポット応力の変化（一般部）

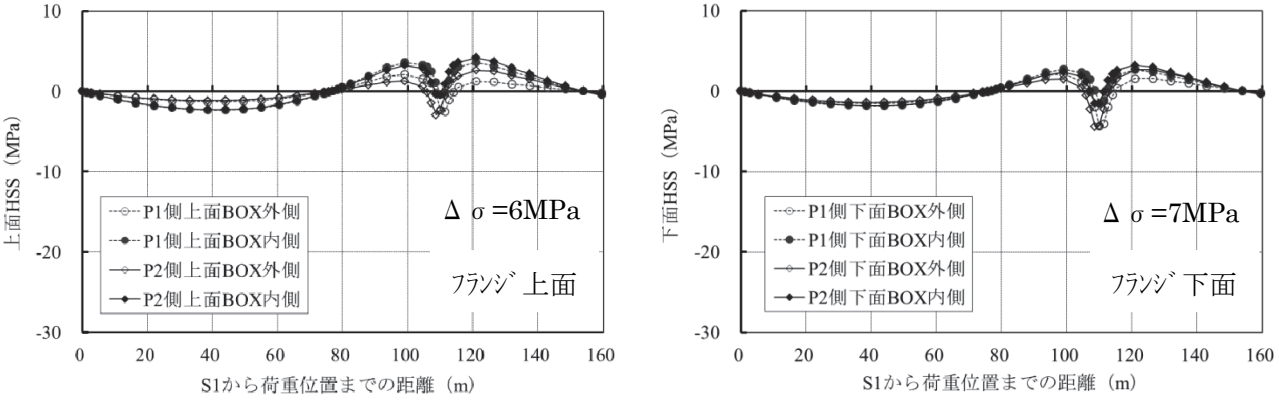
箱桁ウェブ内外面の横桁下フランジにおける横桁フランジ端部の溶接止端部におけるホットスポット応力の変化を図 5-2-25 に示す。フランジ下面では，載荷車線によらず箱桁内外面で同様の傾向を示しているものの，フランジ上面では箱桁外面に比べ内面の方が高くなっている。フランジ端部の HSS は，第 1 車線載荷時に最大で 20MPa 程度となり，第 3 車線載荷時には，着目横桁近傍で 4MPa 程度の圧縮応力が生じている。そのため，HSS による応力範囲は，一般部よりも若干高く，箱内外面で最大で 24MPa 程度となった。なお，横桁下フランジ側止端部の止端部応力，ホットスポット応力および最大主応力（第 3 車線は最小主応力）による応力範囲は，表-5-2-2 に示す通りであり，表中の網掛けは，箱桁内外面のフランジ上下面におけるそれぞれの最大を示しており，太字はそれら全ての最大値である。なお，表中の荷重位置は，最大応力が生じた位置を示している。



（a）第 1 車線載荷時



（b）第 2 車線載荷時



（c）第 3 車線載荷時

図 5-2-25 箱桁ウェブ内外面の横桁下フランジにおけるホットスポット応力の変化（フランジ端部）

表 5-2-2 横桁下フランジ側止端部に対する目違いの影響(目違いが無い場合) 単位：MPa

横桁一般部（P1: fix 側、P2: move 側、Out: 箱桁外側、In: 箱桁内側）												
目違いなし			P1-Out		P1-In		P2-Out		P2-In		最大応力範囲	
			上側	下側	上側	下側	上側	下側	上側	下側	上側	下側
止端部応力	応力範囲	第 1	7.69	15.4	12.2	8.75	7.64	15.1	12.1	8.81	**12.2**	15.4
		第 2	6.74	16.5	10.0	11.2	6.23	19.4	9.75	14.4	10.0	**19.4**
		第 3	6.91	17.5	10.5	13.5	7.03	17.6	10.6	13.6	10.6	17.6
	荷重位置	第 1	L30	L29	L30	L31	L30	L31	L30	L29	**L30**	L29
		第 2	L28	L27	L33	L27	L27	L33	L27	L33	L33	**L33**
		第 3	L12	L12	L13	L12	L13	L12	L13	L12	L13	L12
HSS	応力範囲	第 1	3.89	8.33	6.61	4.42	3.30	8.20	6.56	4.45	**6.61**	8.33
		第 2	3.47	9.35	5.28	6.13	2.51	10.8	5.08	7.78	5.28	**10.8**
		第 3	2.69	9.61	5.26	7.20	2.79	9.63	5.32	7.24	5.32	9.63
	荷重位置	第 1	L30	L29	L30	L28	L30	L31	L30	L32	**L30**	L29
		第 2	L29	L27	L33	L27	L26	L33	L27	L33	L33	**L33**
		第 3	L12	L12	L13	L12	L13	L12	L14	L12	L14	L12
主応力 *1	応力範囲	第 1	9.88	18.9	15.9	11.5	9.82	18.6	15.8	11.2	**15.9**	18.9
		第 2	7.84	18.0	12.6	12.6	7.25	17.9	12.2	12.4	12.6	18.0
		第 3	6.80	20.0	11.3	14.3	6.86	19.9	11.4	14.2	11.4	**20.0**
	荷重位置	第 1	L30	L29	L30	L28	L30	L31	L30	L32	**L30**	L29
		第 2	L30	L27	L33	L27	L27	L33	L27	L33	L33	L27
		第 3	L19	L19	L19	L19	L19	L19	L19	L19	L19	**L19**
横桁端部（P1: fix 側、P2: move 側、Out: 箱桁外側、In: 箱桁内側）												
止端部応力	応力範囲	第 1	38.4	44.9	55.8	45.8	37.9	44.0	56.0	45.5	**56.0**	**45.8**
		第 2	34.6	37.8	39.8	36.1	28.9	35.5	38.4	34.7	39.8	36.1
		第 3	9.03	11.6	17.5	13.7	10.4	13.5	17.4	14.8	17.5	14.8
	荷重位置	第 1	L30	L30	L29	L29	L30	L30	L31	L31	**L31**	**L29**
		第 2	L29	L28	L29	L28	L32	L33	L27	L32	L29	L28
		第 3	L25	L25	L35	L25	L35	L35	L35	L35	L35	L35
HSS	応力範囲	第 1	16.2	20.1	23.9	19.1	15.8	19.7	23.8	18.9	**23.9**	**20.1**
		第 2	15.3	16.6	17.6	15.5	12.6	15.8	16.9	14.8	17.6	16.6
		第 3	4.63	6.48	5.96	4.57	5.57	7.08	6.47	4.99	6.47	7.08
	荷重位置	第 1	L30	L30	L29	L30	L30	L30	L31	L30	**L29**	**L30**
		第 2	L29	L28	L28	L28	L32	L33	L33	L33	L28	L28
		第 3	L25	L25	L35	L25	L35	L35	L35	L35	L35	L35
主応力 *1	応力範囲	第 1	42.8	49.6	59.9	48.9	41.6	48.3	59.9	48.5	**59.9**	**49.6**
		第 2	38.0	41.2	41.2	37.9	30.8	38.7	39.4	36.5	41.2	41.2
		第 3	5.88	8.00	8.83	7.42	6.90	8.43	9.21	7.17	9.21	8.43
	荷重位置	第 1	L30	L30	L29	L29	L30	L30	L31	L31	**L29**	**L30**
		第 2	L29	L28	L29	L28	L32	L33	L27	L32	L29	L28
		第 3	L24	L24	L25	L25	L35	L36	L35	L35	L35	L36
横桁ウェブ位置（P1: fix 側、P2: move 側、Out: 箱桁外側、In: 箱桁内側）												
止端部応力	応力範囲	第 1	7.18	38.7	10.2	8.10	7.13	38.7	10.1	8.11	**10.2**	38.7
		第 2	6.66	51.9	8.89	10.0	6.69	52.2	9.08	10.1	9.08	**52.2**
		第 3	6.93	47.9	9.37	9.36	6.93	47.9	9.37	9.37	9.37	47.9
	荷重位置	第 1	L30	L29	L30	L31	L30	L31	L30	L29	**L30**	L31
		第 2	L27	L27	L27	L33	L33	L33	L33	L27	L33	**L33**
		第 3	L13	L12	L13	L13	L13	L12	L13	L13	L13	L12
HSS	応力範囲	第 1	8.21	15.7	7.85	8.27	8.13	15.7	7.75	8.35	8.21	15.7
		第 2	8.90	20.8	8.40	9.12	9.05	20.8	8.57	9.25	**9.05**	**20.8**
		第 3	8.65	19.5	8.14	8.40	8.64	19.5	8.12	8.42	8.65	19.5
	荷重位置	第 1	L29	L31	L29	L31	L31	L29	L31	L29	L29	L31
		第 2	L27	L33	L27	L33	L33	L27	L33	L27	**L33**	**L33**
		第 3	L13	L12	L13	L13	L13	L12	L13	L13	L13	L12
主応力 *1	応力範囲	第 1	7.79	39.2	16.2	12.3	7.80	39.1	16.1	12.2	**16.2**	39.2
		第 2	6.28	38.3	12.8	11.8	6.16	38.4	12.6	11.8	12.8	38.4
		第 3	4.77	46.3	11.7	11.6	4.77	46.2	11.7	11.5	11.7	**46.3**
	荷重位置	第 1	L30	L29	L30	L31	L30	L31	L30	L29	**L30**	L29
		第 2	L33	L27	L33	L27	L27	L33	L27	L33	L33	L33
		第 3	L21	L18	L21	L20	L40	L18	L40	L20	L21	**L18**

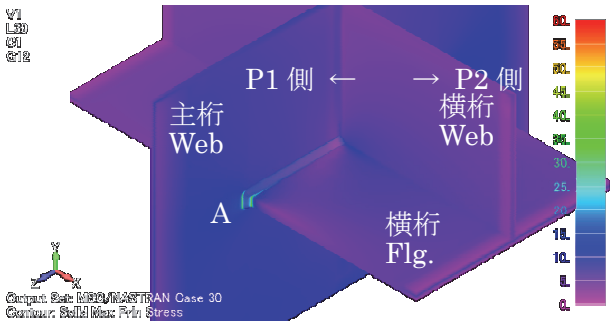
*1）第 1，第 2 車線の主応力は最大主応力，第 3 車線の主応力は最小主応力を示す。

ⅱ）着目横桁の主桁側回し溶接止端部の応力性状の応力性状

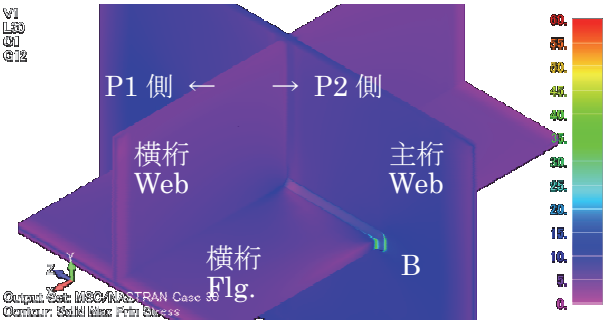
T 荷重を第 1 車線の着目横桁（L30）直上に載荷させた場合の仕口下フランジにおける最大主応力のコンター図を図 5-2-26 に示す。主桁ウェブと横桁下フランジの P1 側および P2 側の回し溶接部に高い引張応力が生じている。

図 5-2-27 (a)-(c)は第 1～第 3 車線の中央径間（L19-41）に T 荷重走行させた場合について，P1 支点側回し溶接止端部に沿った最大主応力の分布を箱桁ウェブ内外面に分けて示している．第 1 車線に載荷した際の回し溶接部の応力分布は，荷重載荷位置が着目部位に近づくにつれて大きくなり，最大応力は L29-31 にかけて生じている。最大応力は箱桁ウェブ外面側の約 40MPa に比べて，箱桁ウェブ内面側で 60MPa 程度の高い応力が生じている。また，溶接線に沿った最大応力発生箇所は，箱桁ウェブの内外面で異なり，ウェブ内面では控え材上面側が高いものの，外面では仕口下フランジ下面が高い傾向にある。第 2，第 3 車線載荷時は荷重位置が主桁から離れることもあって最大応力値が減少し，箱桁ウェブ外面については最大主応力発生箇所が仕口下フランジ板厚中心へシフトする傾向にある。なお，P2 側も同様の傾向であった。

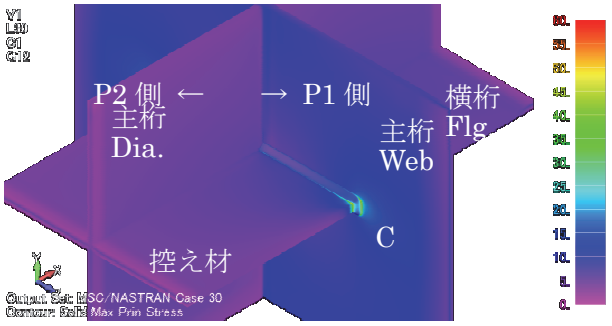
箱桁内外面の回し溶接止端部の控え材あるいは仕口下フランジ板厚中心部における HSS の変化（影響線）を図 5-2-28 に示す。右図は左図について，着目横桁から両隣の横桁までを拡大したものである。P1 側と P2 側の HSS は，すべての車線において最大応力の生じる荷重載荷位置が着目横桁直上（L30）ではなく，その直近の横リブ間（L29 or 31）に載荷した場合となっている。着目横桁の箱桁内側の回し溶接止端部の HSS は，荷重位置が側径間にある場合では，5MPa 程度の圧縮力が作用し，中央径間の際には最大で約 25MPa となっている。そのため，第 1 車線載荷時の HSS 応力範囲は，約 30MPa となる。同様に，第 2 車線および第 3 車線載荷時の HSS 応力範囲は，25 および 15MPa となった。また，箱桁外側の HSS 応力範囲は箱桁内側よりも小さく，第 1，第 2，第 3 車線載荷時に，それぞれ 20MPa，15MPa，10MPa 程度であった。



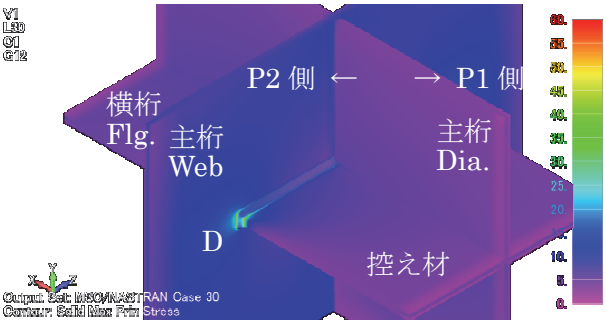
（a）P1 側桁箱桁ウェブ外面



（b） P2 側桁箱桁ウェブ外面

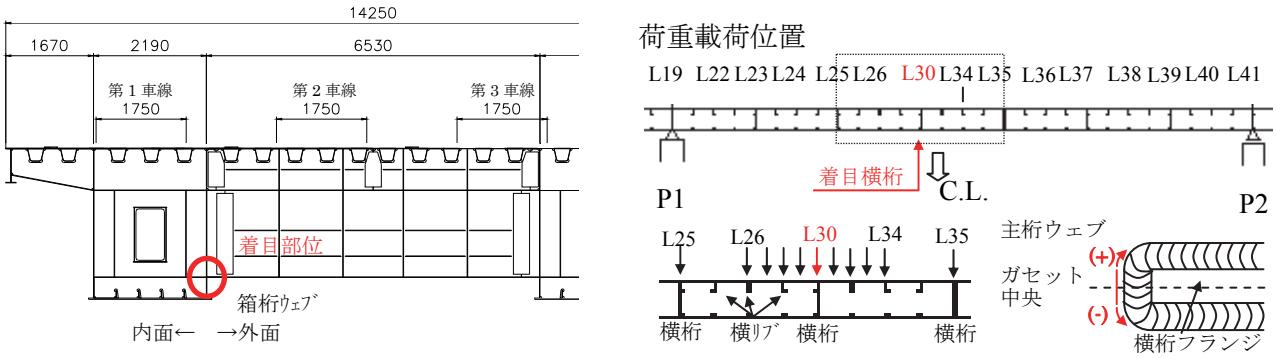


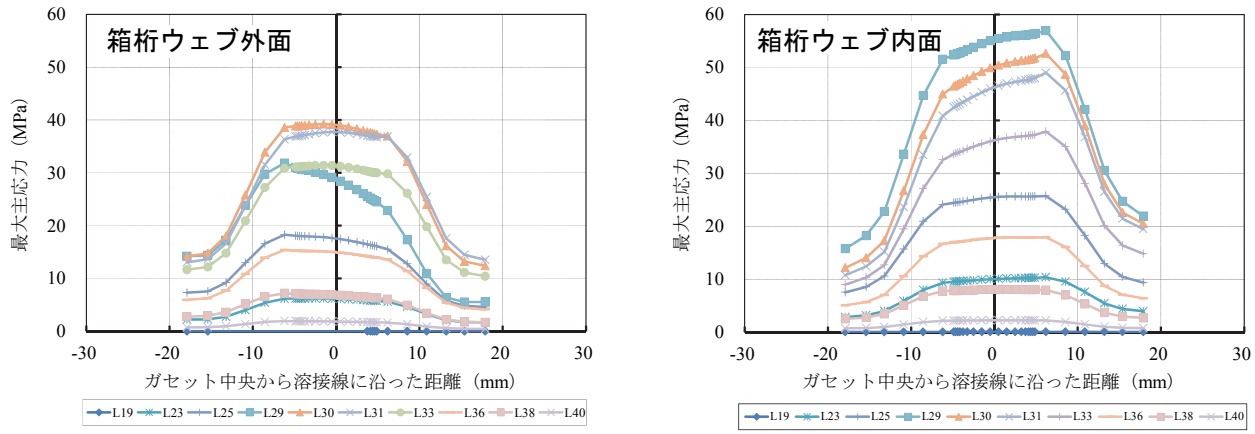
（c）P1 側桁箱桁ウェブ内面



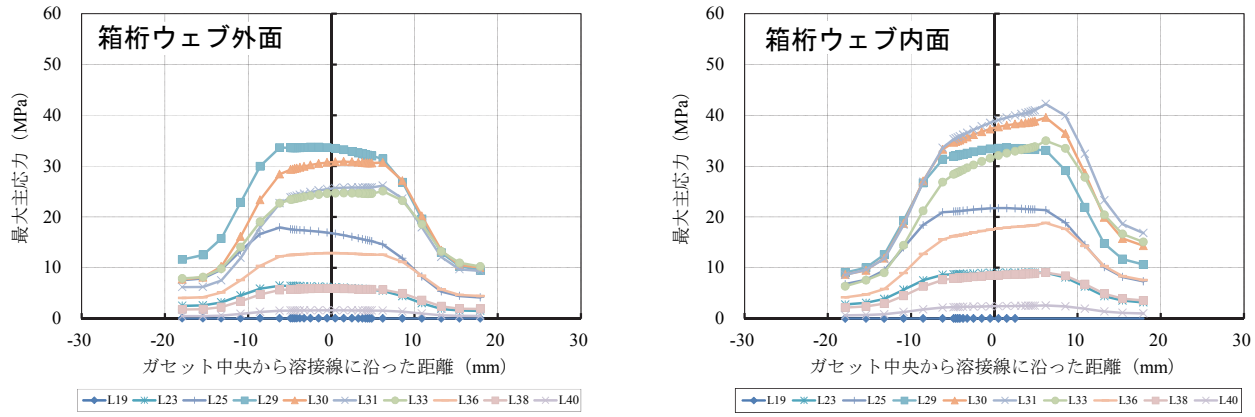
（d） P2 側桁箱桁ウェブ内面

図 5-2-26 第 1 車線載荷時の最大主応力コンター図

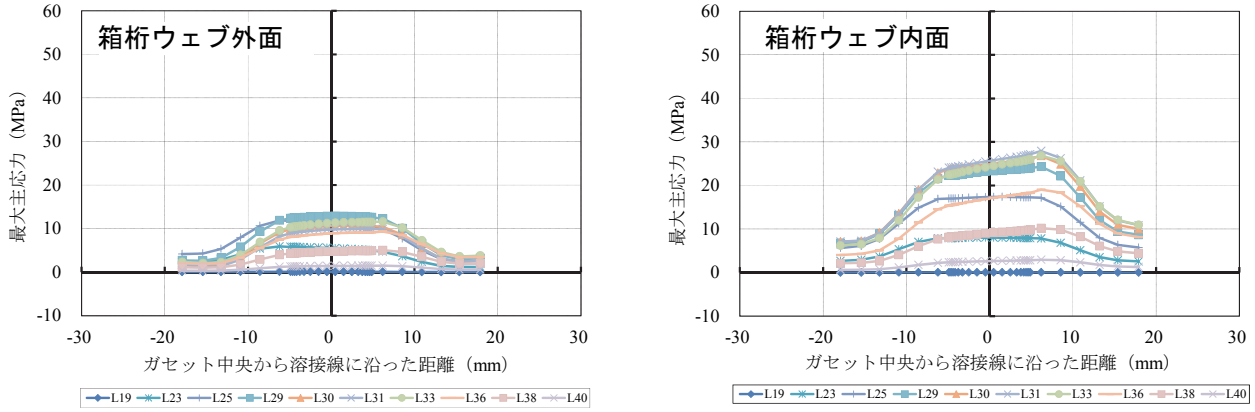




（a）第 1 車線載荷時

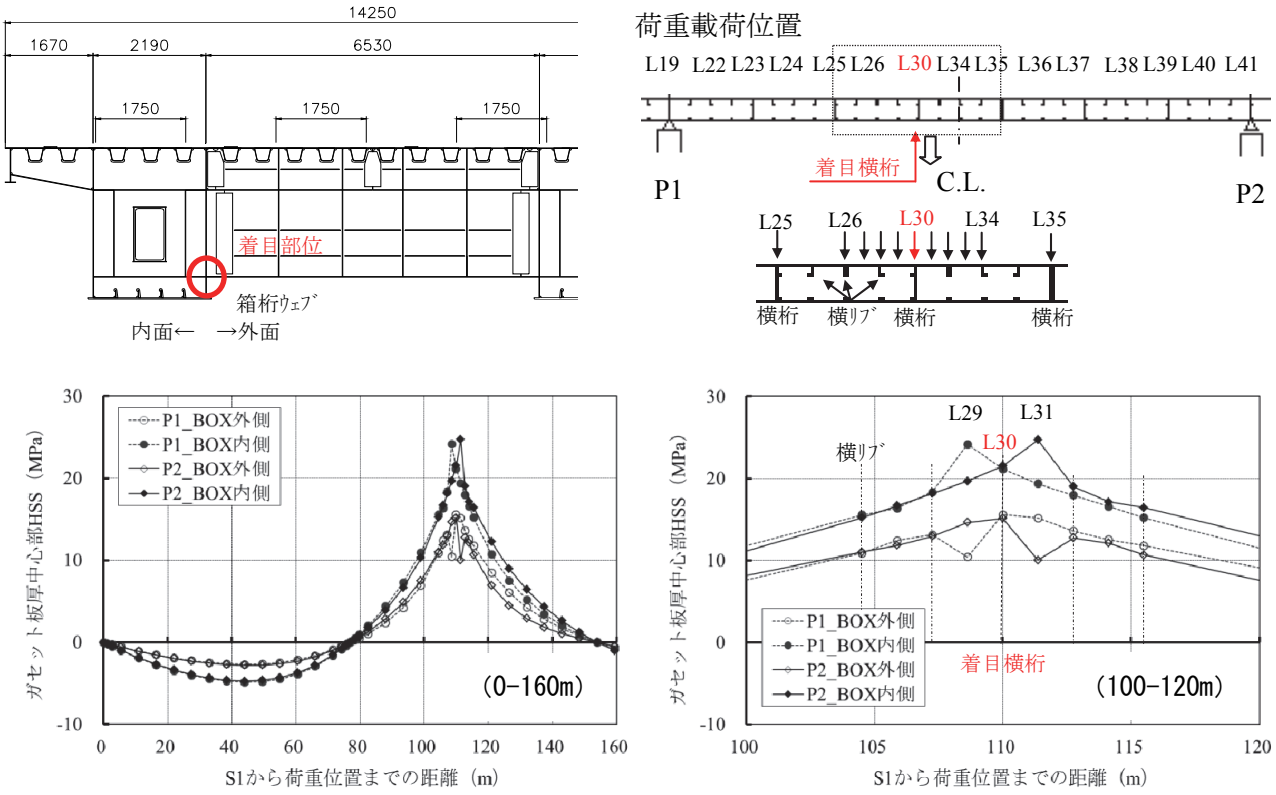


（b）第 2 車線載荷時

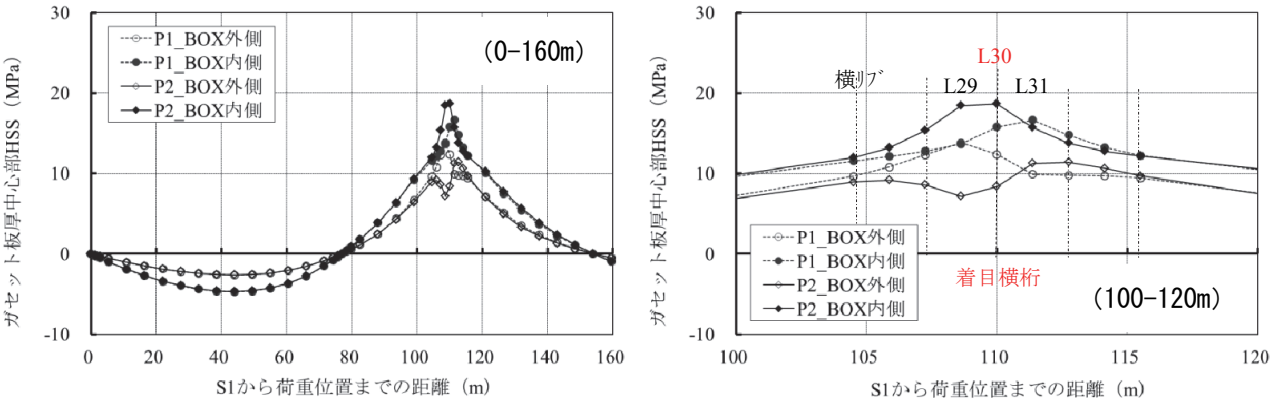


（c）第 3 車線載荷時

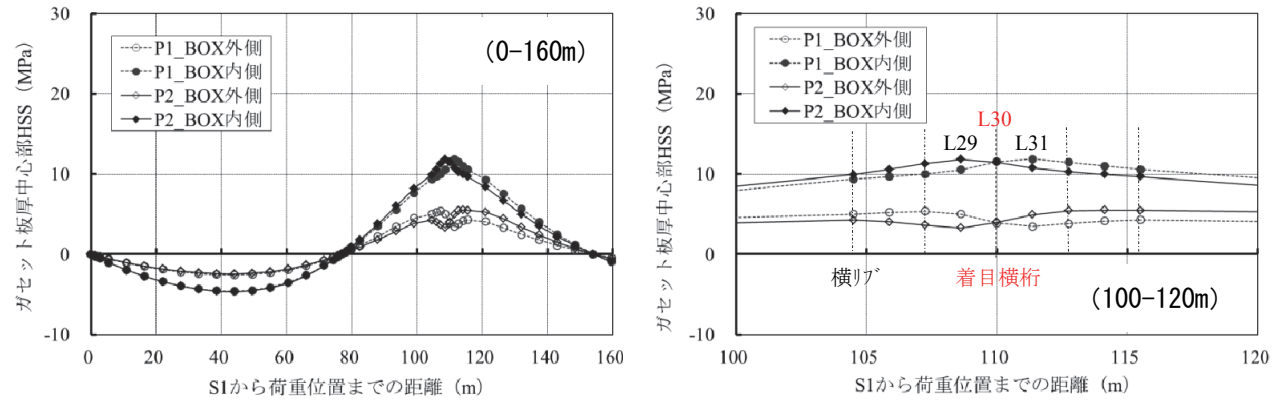
図 5-2-27 P1 支点側回し溶接止端部の最大主応力の変化



（a）第 1 車線載荷時



（b）第 2 車線載荷時



（c）第 3 車線載荷時

図 5-2-28 ガセット板厚中心部におけるホットスポット応力の変化

(c) 目違いの影響（横桁下フランジ側止端部）

表 5-2-3 および表 5-2-4 に横桁下フランジ側止端部に鉛直あるいは水平目違いを 1mm 与えた場合の応力範囲（単位 MPa）および目違いの影響度（目違い有りの応力／目違い無しの応力）の一覧を示す。抽出した応力は止端部応力，ホットスポット応力（HSS：0.4T-1.0T 法）および最大主応力（第 3 車線は最小主応力）であり，最大の応力が生じた載荷ケースの結果について，横桁一般部，横桁フランジ端部および横桁ウェブ位置に分けて整理している。なお，主応力の応力範囲については，主応力角度の変化が小さいと判断し，座標変換は行っていない。

鉛直目違いを与えた場合については，着目位置で比較すると，鈑桁同様，一般部での影響度が大きく，最大の影響度は止端部応力では 14%，HSS では 23%であった。これらの値は，式 5-1-1（λ=6）から算出される主板厚 10mm の場合の影響 30%に比べて小さい。また，鈑桁ではウェブ位置へ及ぼす影響がほとんどなかったが，箱桁ではウェブ外面の下フランジ下面にリブ板がない影響からか，端部と同等に最大で 5%程度の影響が確認された。着目する応力については，一般部において HSS の影響度合いが若干高くなる部位もあるが，基本的には着目応力の違いが目違いの影響度合いに及ぼす影響は小さい。

水平目違いを与えた場合については，一般部ではほとんど影響がなく，ウェブ位置と端部で最大 5%程度の影響が確認された。なお，目違いの影響度は，評価応力により着目する箇所（P1，P2 側下フランジ上下面）によって様々に変化しており，発生応力が比較的大きい傾向にある P1-Out の下フランジ下面以外でも影響度が大きい場合も見受けられる。

次に，目違いがない場合に発生応力が大きかった，P1 側箱桁ウェブ外面横桁下フランジ下面の止端部応力について，載荷点の移動に伴う目違いの影響度の変化について検討を行う。

図 5-2-29(a),(b)に鉛直目違い，あるいは水平目違いを 1mm 導入した場合の，横桁ウェブ位置における止端部応力の増加量，および目違いの影響度を示す。目違いの影響度は，第 1 車線載荷時に側径間において-10～5%程度生じているが，図 5-2-23 からもわかるように，これらの時点での止端部の発生応力自体が非常に小さい。そのため，これらの値を除外すれば，ウェブ位置止端部の目違いの影響度は，鉛直，水平目違いともに 1%程度と考えられる。

図 5-2-30 (a),(b)に一般部における止端部応力の増加量，1mm の鉛直および水平目違いの影響度を示す。一般部の目違いの影響度についても，発生応力が小さい側径間（図 5-2-24 参照）でばらつきが見られる。これらを除外すると，一般部の目違いの影響度は，鉛直目違いで約 6%，水平目違いでは 1%程度となる。

図 5-2-31 (a),(b)に端部における止端部応力の増加量，1mm の鉛直および水平目違いの影響度を示す。目違いの影響度は，止端部応力の小さい第 3 車線（図 5-2-25 参照）を除外すると，鉛直目違いにより，約 2%，水平目違いでは 4%程度で生じている。

横桁下フランジ側止端部における鉛直目違いの影響は，発生応力が最も小さい一般部が約 6%と最も大きく，水平目違いでは，端部が 4%程度高くなる。しかし，その他の部位の水平，鉛直目違いの影響は 1～2%程度と非常に小さい。

以上から，着目する応力の違いが目違いに及ぼす影響については，一般部においてホットスポット応力の影響度合いが若干高くなる部位もあるものの，止端部応力，ホットスポット応力，最大主応力のいずれで評価しても同程度の評価になるものと考えられる。

表 5-2-3 横桁下フランジ側止端部に対する目違いの影響(鉛直目違い 1㎜ を与えた場合)

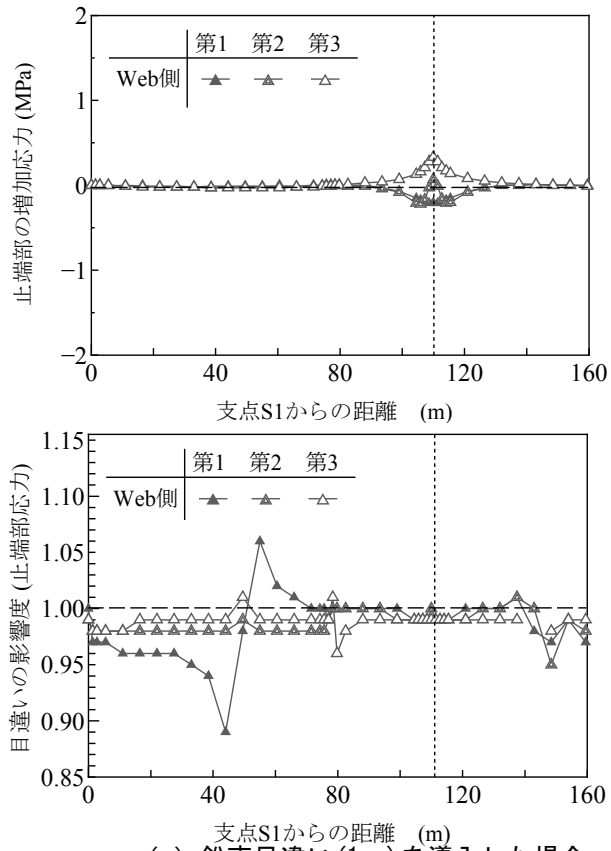
横桁一般部（P1: fix 側、P2: move 側、Out: 箱桁外側、In: 箱桁内側）												
鉛直目違い 1mm			P1-Out		P1-In		P2-Out		P2-In		最大応力範囲	
			上側	下側	上側	下側	上側	下側	上側	下側	上側	下側
止端部応力	応力範囲	第 1	8.56	14.5	11.2	9.66	8.49	14.3	11.1	9.70	**11.2**	14.5
		第 2	7.48	15.7	9.15	12.0	7.02	18.4	8.80	15.5	9.15	**18.4**
		第 3	7.90	16.5	9.45	14.5	8.02	16.5	9.55	14.6	9.55	16.5
	目違い影響度	第 1	1.11	0.94	0.92	1.10	1.11	0.94	0.92	1.10	1.11	0.92
		第 2	1.11	0.95	0.91	1.07	1.13	0.95	0.90	1.07	1.13	0.90
		第 3	1.14	0.94	0.90	1.08	1.14	0.94	0.90	1.08	**1.14**	**0.90**
HSS	応力範囲	第 1	3.82	7.76	5.99	4.95	3.82	7.64	5.96	4.99	**5.99**	7.76
		第 2	3.74	8.85	4.71	6.57	2.99	10.2	4.54	8.41	4.71	**10.2**
		第 3	3.31	8.94	4.57	7.82	3.38	8.96	4.63	7.86	4.63	8.96
	目違い影響度	第 1	1.16	0.93	0.91	1.12	1.16	0.93	0.91	1.12	1.16	**1.12**
		第 2	1.08	0.95	0.89	1.07	1.19	0.94	0.89	1.08	1.19	1.08
		第 3	1.23	0.93	0.87	1.09	1.21	0.93	0.87	1.09	**1.23**	1.09
主応力 *1	応力範囲	第 1	10.9	17.8	14.8	12.5	10.8	17.5	14.7	12.1	**14.8**	17.8
		第 2	8.65	16.7	11.6	13.7	8.19	16.9	11.2	13.5	11.6	16.9
		第 3	7.72	18.9	10.2	15.4	7.80	18.9	10.3	15.3	10.3	**18.9**
	目違い影響度	第 1	1.10	0.94	0.93	1.08	1.10	0.94	0.93	1.08	1.10	1.08
		第 2	1.10	0.94	0.92	1.09	1.13	0.94	0.92	1.08	1.13	**1.09**
		第 3	1.14	0.95	0.91	1.08	1.14	0.95	0.91	1.08	**1.14**	1.08
横桁端部（P1: fix 側、P2: move 側、Out: 箱桁外側、In: 箱桁内側）												
止端部応力	応力範囲	第 1	39.7	44.0	55.2	47.0	39.1	43.0	55.4	46.6	**55.2**	**47.0**
		第 2	35.5	37.1	39.0	37.0	29.8	34.8	37.8	35.7	39.0	37.0
		第 3	9.56	11.7	17.2	14.1	10.6	13.6	17.0	15.3	17.2	15.3
	目違い影響度	第 1	1.03	0.98	0.99	1.03	1.03	0.98	0.99	1.03	1.03	1.03
		第 2	1.02	0.98	0.98	1.03	1.03	0.98	0.98	1.03	1.02	1.03
		第 3	1.06	1.01	0.98	1.03	1.02	1.00	0.98	1.03	**1.06**	**1.03**
HSS	応力範囲	第 1	17.0	19.3	23.2	19.9	16.6	19.0	23.1	19.7	**23.2**	**19.9**
		第 2	15.8	16.0	17.0	16.2	13.2	15.2	16.3	15.4	17.0	16.2
		第 3	4.75	6.32	5.84	4.75	5.72	6.92	6.31	5.19	6.31	6.92
	目違い影響度	第 1	1.05	0.96	0.97	1.04	1.05	0.96	0.97	1.04	**1.05**	**1.04**
		第 2	1.03	0.97	0.97	1.04	1.04	0.96	0.97	1.04	1.04	1.04
		第 3	1.03	0.98	0.98	1.04	1.03	0.98	0.98	1.04	1.03	1.04
主応力 *1	応力範囲	第 1	44.1	48.5	59.1	50.1	42.9	47.1	59.1	49.7	**59.1**	**50.1**
		第 2	38.9	40.4	40.3	38.9	31.7	38.0	38.7	37.5	40.3	40.4
		第 3	5.61	8.23	8.66	7.66	6.61	8.69	9.04	7.42	14.5	13.1
	目違い影響度	第 1	1.03	0.98	0.99	1.03	1.03	0.98	0.99	1.03	1.03	1.03
		第 2	1.02	0.98	0.98	1.03	1.03	0.98	0.98	1.03	1.03	1.03
		第 3	0.95	1.03	0.98	1.03	0.96	1.03	0.98	1.03	**0.95**	**1.03**
横桁ウェブ位置（P1: fix 側、P2: move 側、Out: 箱桁外側、In: 箱桁内側）												
止端部応力	応力範囲	第 1	7.26	38.5	9.88	8.42	7.22	38.5	9.83	8.43	**9.88**	38.5
		第 2	6.75	51.6	8.54	10.4	6.77	51.9	8.72	10.5	8.72	**51.9**
		第 3	7.07	47.5	9.00	9.81	7.07	47.5	9.00	9.82	9.00	47.5
	目違い影響度	第 1	1.01	0.99	0.97	1.04	1.01	0.99	0.97	1.04	0.97	1.04
		第 2	1.01	0.99	0.96	1.04	1.01	0.99	0.96	1.04	0.96	1.04
		第 3	1.02	0.99	0.96	1.05	1.02	0.99	0.96	1.05	**0.96**	**1.05**
HSS	応力範囲	第 1	8.23	15.6	7.70	8.38	8.14	15.6	7.60	8.46	8.23	15.6
		第 2	8.94	20.6	8.22	9.26	9.08	20.6	8.41	9.37	**9.08**	**20.6**
		第 3	8.70	19.3	7.97	8.58	8.69	19.3	7.95	8.60	8.70	19.3
	目違い影響度	第 1	1.00	0.99	0.98	1.01	1.00	0.99	0.98	1.01	0.98	1.01
		第 2	1.00	0.99	0.98	1.02	1.00	0.99	0.98	1.01	0.98	1.02
		第 3	1.01	0.99	0.98	1.02	1.01	0.99	0.98	1.02	**0.98**	**1.02**
主応力 *1	応力範囲	第 1	8.06	38.8	15.5	12.7	8.06	38.8	15.4	12.7	**15.5**	**38.8**
		第 2	6.54	38.0	12.1	12.4	6.42	38.1	12.0	12.4	12.1	38.1
		第 3	4.99	45.8	11.0	12.5	4.99	45.8	11.0	12.4	11.0	45.8
	目違い影響度	第 1	1.03	0.99	0.96	1.04	1.03	0.99	0.96	1.04	0.96	1.04
		第 2	1.04	0.99	0.95	1.05	1.04	0.99	0.95	1.05	0.95	1.05
		第 3	1.05	0.99	0.94	1.08	1.05	0.99	0.94	1.08	**0.94**	**1.08**

*1）第 1，第 2 車線の主応力は最大主応力，第 3 車線の主応力は最小主応力を示す。

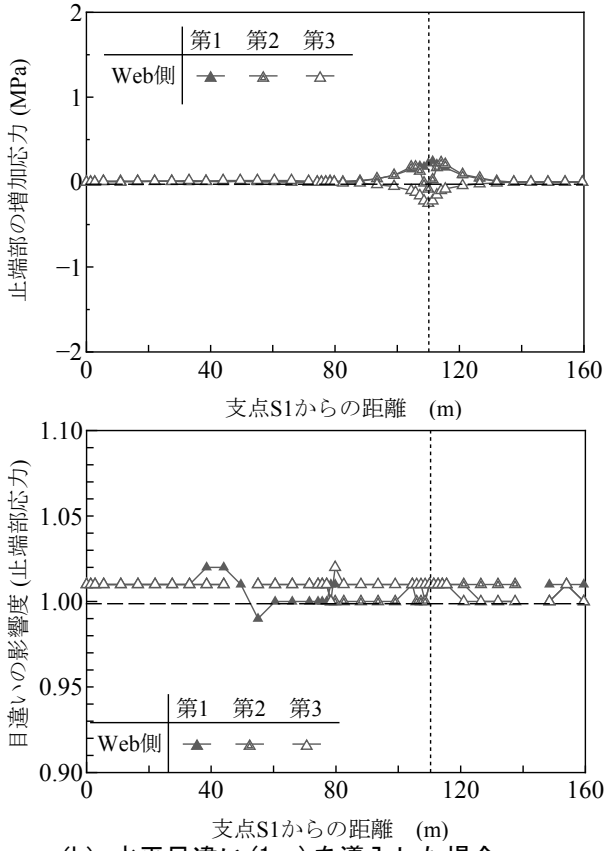
表 5-2-4 横桁下フランジ側止端部に対する目違いの影響(水平目違い 1㎜ を与えた場合)

横桁一般部（P1: fix 側、P2: move 側、Out: 箱桁外側、In: 箱桁内側）												
水平目違い 1mm			P1-Out		P1-In		P2-Out		P2-In		最大応力範囲	
			上側	下側	上側	下側	上側	下側	上側	下側	上側	下側
止端部応力	応力範囲	第 1	7.84	15.3	11.8	8.99	7.51	15.2	12.4	8.58	**12.4**	15.3
		第 2	6.88	16.7	9.77	11.3	6.11	19.3	9.96	14.3	9.96	**19.3**
		第 3	7.01	17.6	10.3	13.6	6.95	17.5	10.9	13.4	10.9	17.6
	目違い影響度	第 1	1.02	1.00	0.97	1.03	0.98	1.00	1.03	0.97	**1.03**	**1.03**
		第 2	1.02	1.01	0.98	1.01	0.98	0.99	1.02	0.99	1.02	1.01
		第 3	1.01	1.00	0.98	1.01	0.99	1.00	1.02	0.99	1.02	1.01
HSS	応力範囲	第 1	3.36	8.28	6.39	4.56	3.24	8.24	6.79	4.33	**6.79**	8.28
		第 2	3.57	9.46	5.14	6.19	2.46	10.7	5.23	7.69	5.23	**10.7**
		第 3	2.72	9.63	5.13	7.29	2.78	9.61	5.45	7.15	5.45	9.63
	目違い影響度	第 1	1.02	0.99	0.97	1.03	0.98	1.01	1.03	0.97	**1.03**	**1.03**
		第 2	1.03	1.01	0.97	1.01	0.98	0.99	1.03	0.99	1.03	1.01
		第 3	1.01	1.00	0.98	1.01	0.99	1.00	1.03	0.99	1.03	1.01
主応力 *1	応力範囲	第 1	9.99	18.7	15.7	11.8	9.74	18.7	16.1	10.9	**16.1**	18.7
		第 2	7.95	17.9	12.4	12.8	7.14	18.0	12.4	12.2	12.4	18.0
		第 3	6.96	20.1	11.0	14.4	6.73	19.9	11.6	14.1	11.6	**20.1**
	目違い影響度	第 1	1.01	0.99	0.98	1.02	0.99	1.01	1.02	0.98	**1.02**	**1.02**
		第 2	1.01	1.00	0.98	1.02	0.98	1.01	1.02	0.98	1.02	1.02
		第 3	1.02	1.00	0.98	1.01	0.98	1.00	1.02	0.99	1.02	1.01
横桁端部（P1: fix 側、P2: move 側、Out: 箱桁外側、In: 箱桁内側）												
止端部応力	応力範囲	第 1	40.4	46.9	54.1	44.5	35.8	42.0	57.6	46.6	**57.6**	**46.9**
		第 2	36.3	39.3	38.2	34.7	27.4	33.9	39.8	35.9	39.8	39.3
		第 3	9.60	12.1	17.2	13.3	10.2	13.0	17.7	15.2	17.7	15.2
	目違い影響度	第 1	1.05	1.04	0.97	0.97	0.95	0.95	1.03	1.03	1.05	1.04
		第 2	1.05	1.04	0.96	0.96	0.95	0.96	1.04	1.03	1.05	1.04
		第 3	1.06	1.04	0.98	0.97	0.98	0.96	1.02	1.03	**1.06**	**1.04**
HSS	応力範囲	第 1	16.9	20.9	23.1	18.5	15.0	18.9	24.5	19.3	**24.5**	**20.9**
		第 2	16.0	17.2	16.9	15.0	12.0	15.1	17.5	15.2	17.5	17.2
		第 3	4.71	6.76	5.84	4.43	5.46	6.80	6.60	5.13	6.60	6.76
	目違い影響度	第 1	1.05	1.04	0.97	0.97	0.95	0.96	1.03	1.02	**1.05**	**1.04**
		第 2	1.05	1.04	0.96	0.97	0.95	0.96	1.04	1.03	1.05	1.04
		第 3	1.02	1.04	0.98	0.97	0.98	0.96	1.02	1.03	1.02	1.04
主応力 *1	応力範囲	第 1	44.7	51.5	58.1	47.6	39.6	46.2	61.5	49.6	**61.5**	**51.5**
		第 2	39.7	42.6	39.5	36.5	29.3	37.2	40.8	37.6	40.8	42.6
		第 3	5.82	8.35	8.64	7.22	6.98	8.14	9.38	7.33	9.38	8.35
	目違い影響度	第 1	1.04	1.04	0.97	0.97	0.95	0.96	1.03	1.02	**0.95**	**1.04**
		第 2	1.04	1.04	0.96	0.96	0.95	0.96	1.04	1.03	0.95	1.04
		第 3	0.99	1.04	0.98	0.97	1.01	0.97	1.02	1.02	1.02	1.04
横桁ウェブ位置（P1: fix 側、P2: move 側、Out: 箱桁外側、In: 箱桁内側）												
止端部応力	応力範囲	第 1	7.31	38.9	9.94	8.03	7.03	38.5	10.4	8.20	**10.4**	38.9
		第 2	6.80	52.2	8.63	9.82	6.56	51.8	9.32	10.4	9.32	**52.2**
		第 3	7.08	48.1	9.12	9.21	6.79	47.5	9.62	9.53	9.62	48.1
	目違い影響度	第 1	1.02	1.00	0.98	0.99	0.98	0.99	1.03	1.01	1.03	1.01
		第 2	1.02	1.01	0.97	0.98	0.98	0.99	1.03	1.02	1.03	1.02
		第 3	1.02	1.01	0.97	0.98	0.99	0.99	1.03	1.02	**1.03**	**1.02**
HSS	応力範囲	第 1	8.29	15.8	7.84	8.20	8.06	15.6	7.76	8.44	8.29	15.8
		第 2	8.99	20.9	8.34	9.00	8.95	20.7	8.59	9.35	**8.99**	**20.9**
		第 3	8.71	19.6	8.13	8.32	8.57	19.4	8.10	8.50	8.71	19.6
	目違い影響度	第 1	1.01	1.01	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00	1.01	1.01	1.01
		第 2	1.01	1.01	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.01	1.01	1.01
		第 3	1.01	1.01	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00	1.01	**1.01**	**1.01**
主応力 *1	応力範囲	第 1	8.00	39.5	15.8	12.3	7.65	38.8	16.5	12.2	**16.5**	39.5
		第 2	6.54	38.7	12.5	11.7	5.94	38.1	13.0	11.8	13.0	38.7
		第 3	4.97	46.7	11.3	11.5	4.61	45.8	12.1	11.6	12.1	**46.7**
	目違い影響度	第 1	1.03	1.01	0.98	1.00	0.98	0.99	1.02	1.00	1.03	1.01
		第 2	1.04	1.01	0.98	1.00	0.96	0.99	1.03	1.00	1.04	1.01
		第 3	1.04	1.01	0.97	0.99	0.97	0.99	1.04	1.01	**1.04**	**1.01**

*1) 第 1，第 2 車線の主応力は最大主応力，第 3 車線の主応力は最小主応力を示す。

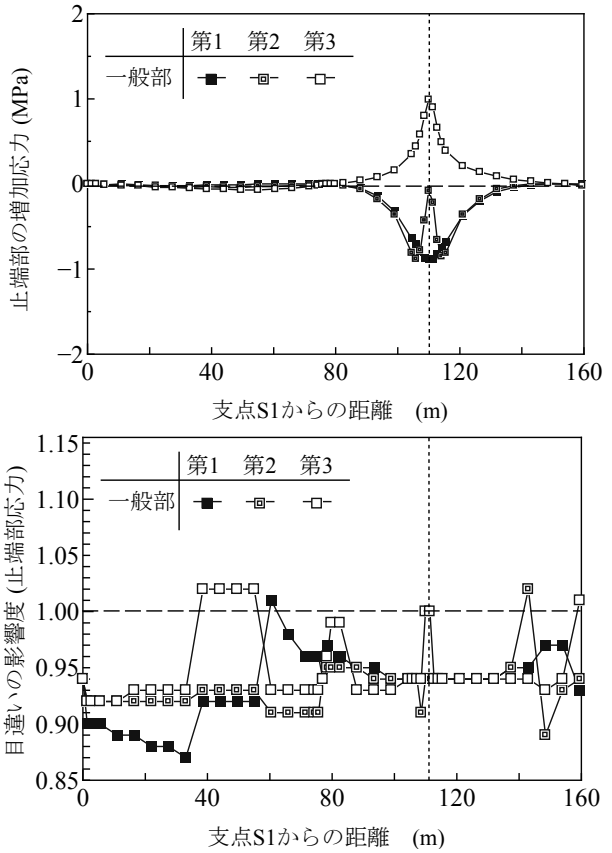


(a) 鉛直目違い(1㎜)を導入した場合

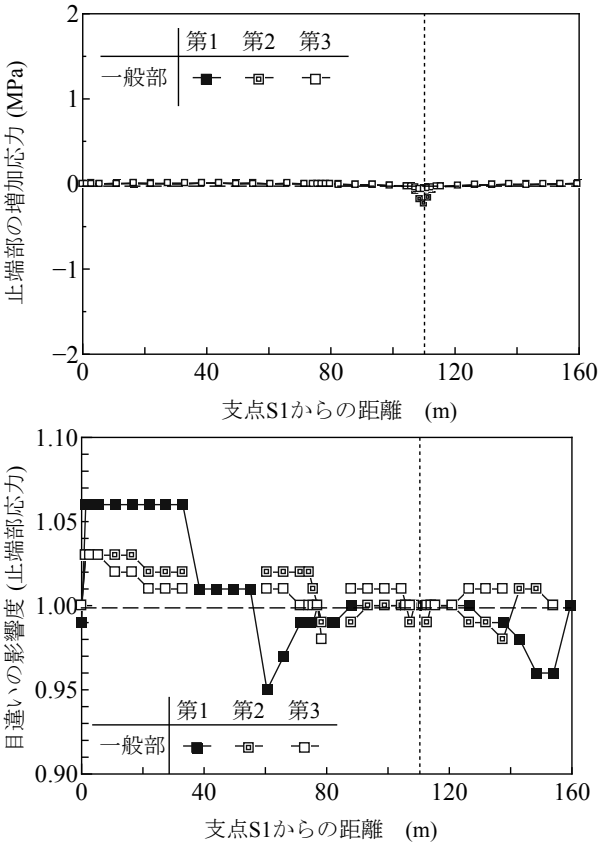


(b) 水平目違い(1㎜)を導入した場合

図 5-2-29 横桁ウェブ位置における目違いの影響度（P1 側箱桁ウェブ外面横桁下フランジ下面）

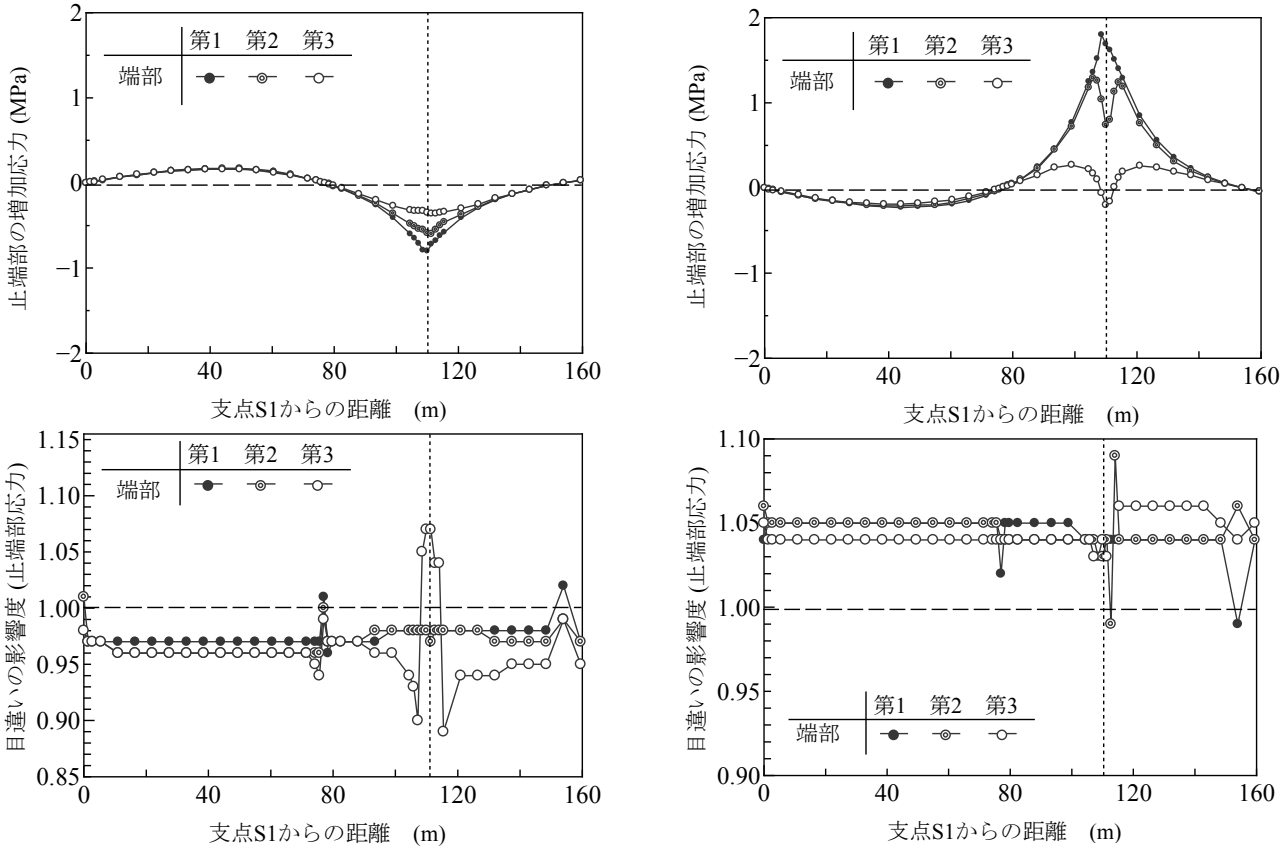


(a) 鉛直目違い(1㎜)を導入した場合



(b) 水平目違い(1㎜)を導入した場合

図 5-2-30 横桁一般部における鉛直目違いの影響度（P1 側箱桁ウェブ外面横桁下フランジ下面）



(a) 鉛直目違い(1㎜)を導入した場合　　(b) 水平目違い(1㎜)を導入した場合

図 5-2-31 横桁端部における鉛直目違いの影響度（P1 側箱桁ウェブ外面横桁下フランジ下面）

最後に，目違い量と目違いの影響度の関係について整理する。図 5-2-32(a),(b)は鉛直，あるいは水平目違いに対する，下フランジ仕口におけるウェブ位置，一般部および端部の横桁側止端部の橋軸直角方向応力範囲で整理した目違い量と目違いの影響度の関係である。なお，下フランジ仕口の目違いの影響度は，P1 および P2 側の箱桁ウェブ内外面の横桁下フランジ上下面，合計 8 箇所の中の最大値を示している。

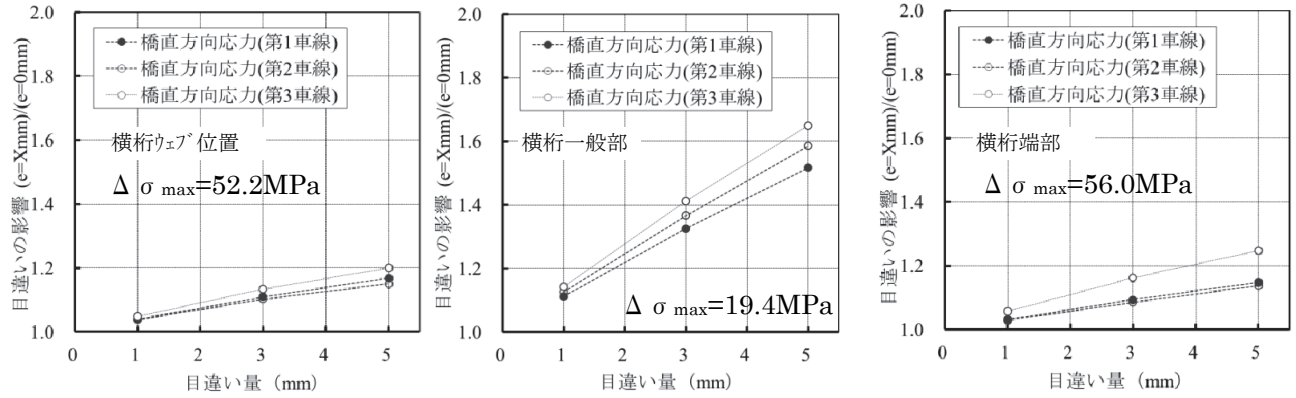
目違いの影響度は，目違い量が増加するにしたがって，ほぼ線形増加の傾向にある。実橋で想定される鉛直目違い量，3㎜ が生じた場合の止端部応力は，目違いがない場合に比べ，発生応力の小さい一般部で応力が 1.4 倍に上昇するものの，応力の高い端部では約 1.2 倍，ウェブ位置では 1.1 倍程度の上昇となっている。また，水平目違いが 3㎜ 生じた場合には，端部で 1.2 倍程度上昇しているものの，一般部およびウェブ位置では 1.1 倍程度しか上昇していない。

図 5-2-33(a),(b)はホットスポット応力範囲で整理した目違い量と目違いの影響度の関係を示している。目違いの影響度は，目違い量が増加するにしたがって，ほぼ線形増加の傾向にある。鉛直目違いが 3㎜ 生じた場合のホットスポット応力は，目違いがない場合に比べ，発生応力の小さい一般部で応力が 1.6 倍に上昇するものの，応力の高い端部では約 1.1 倍，ウェブ位置ではほとんど上昇していない。一方，水平目違いが 3㎜ 生じた場合には，一般部および端部で共に 1.1 倍程度上昇しているものの，ウェブ位置ではほとんど応力が上昇していない。

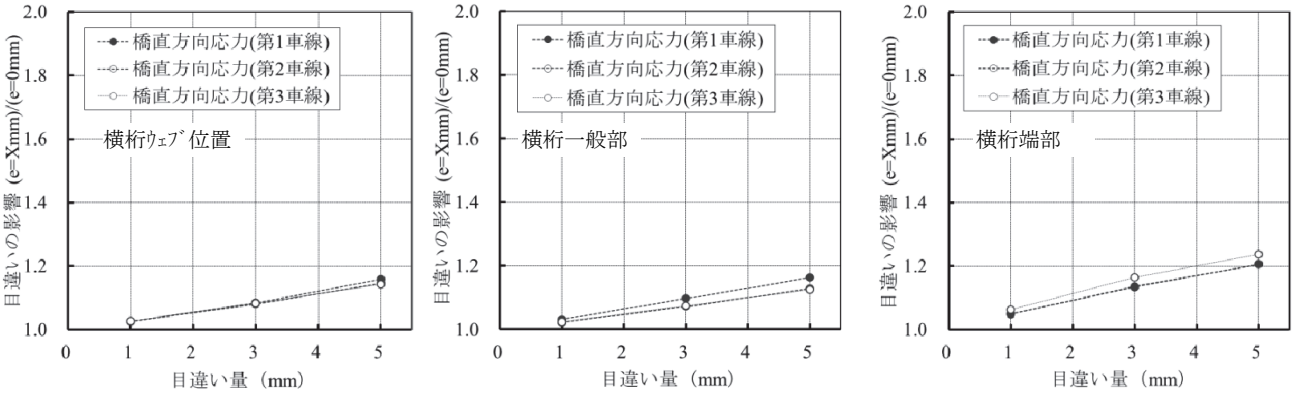
図 5-2-33(a),(b)は最大主応力範囲で整理した目違い量と目違いの影響度の関係を示している。最大主応力による目違いの影響度は，ホットスポット応力で整理した図 5-2-33 に比べ，ウェブ部では高

く，一般部では低くなり，端部では同程度となっている。鉛直あるいは水平目違いが 3㎜ 生じた場合の目違いの影響度は，共に約 1.15 倍に上昇する結果となった。

以上から，横桁側止端部の目違いの影響度は，鉛直目違いの場合には，端部，ウェブ位置，一般部の順に大きくなり，目違いが 3㎜ の場合には，それぞれ約 1.1 倍，約 1.15 倍，1.6 倍程度となる。一方，水平目違いが 3㎜ 生じた場合の影響度は，一般部，端部，ウェブ位置の順に若干高くなるが，その影響は最大でも 1.15 倍程度であった。

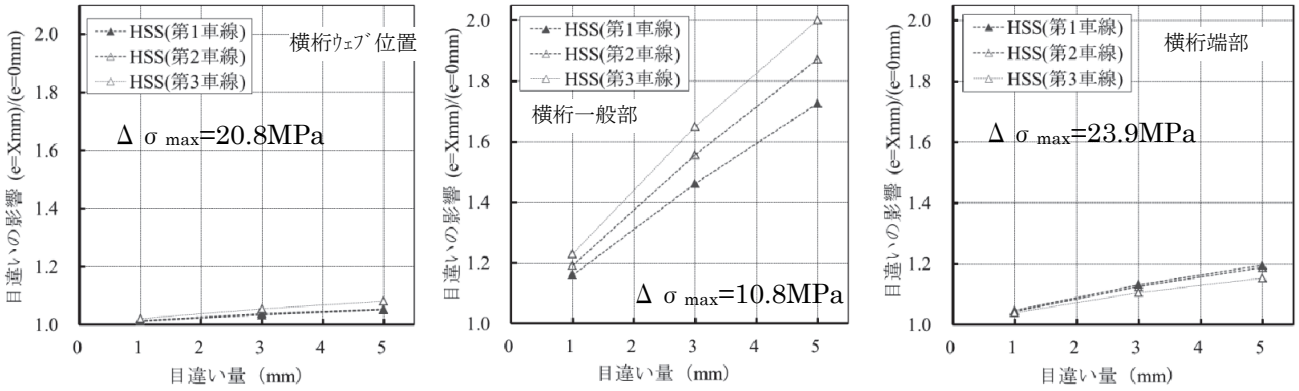


（a）鉛直目違いを導入した場合

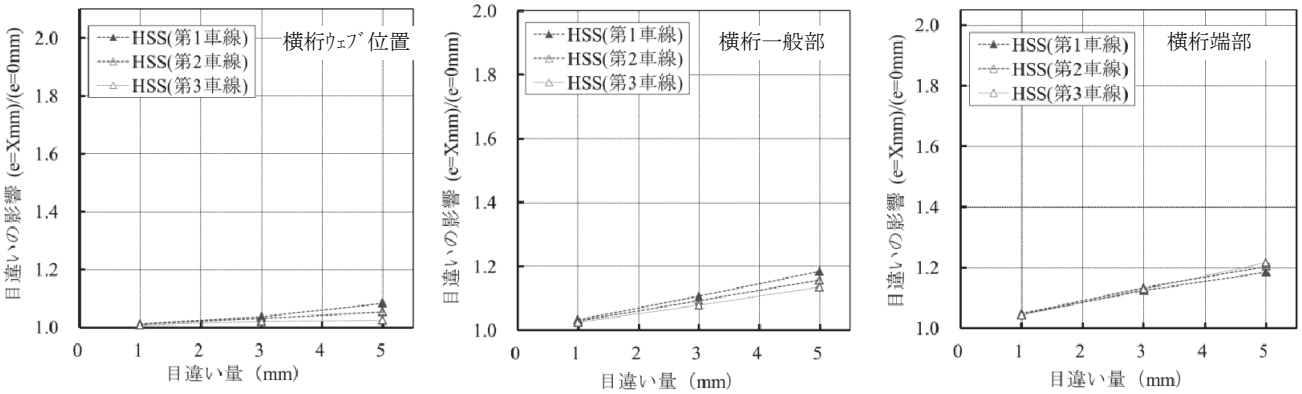


（b）水平目違いを導入した場合

図 5-2-32 止端部応力で整理した目違い量と目違いの影響度の関係（横桁側止端部）

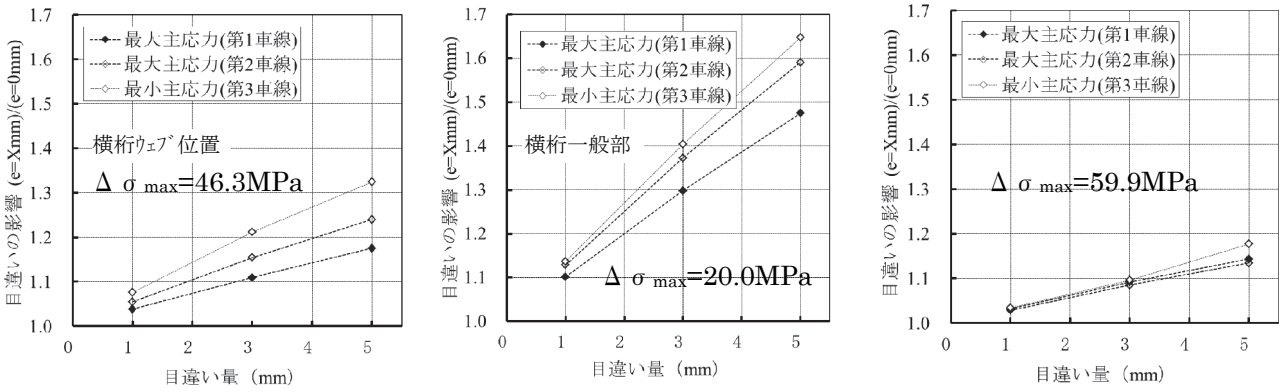


(a) 鉛直目違いを導入した場合

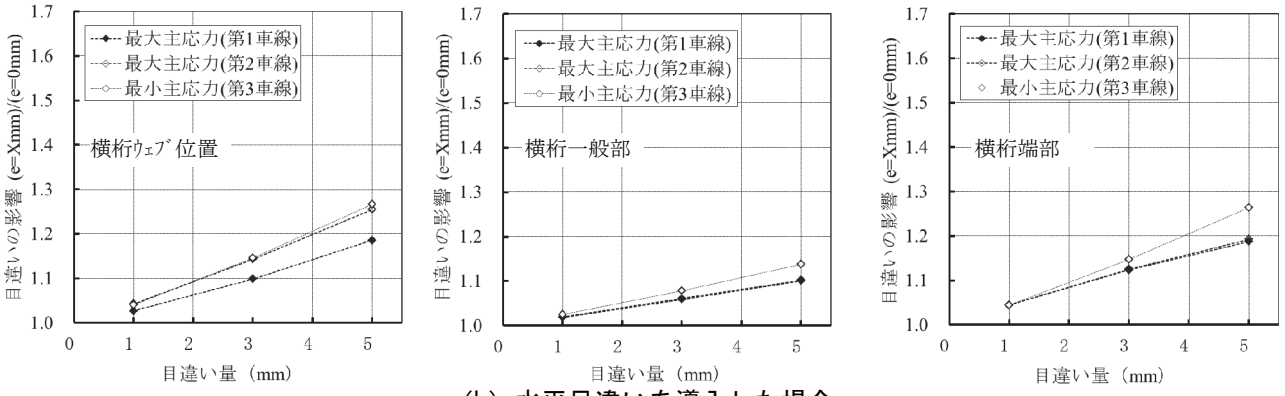


(b) 水平目違いを導入した場合

図 5-2-33 ホットスポット応力範囲で整理した目違い量と目違いの影響度の関係（横桁側止端部）



(a) 鉛直目違いを導入した場合



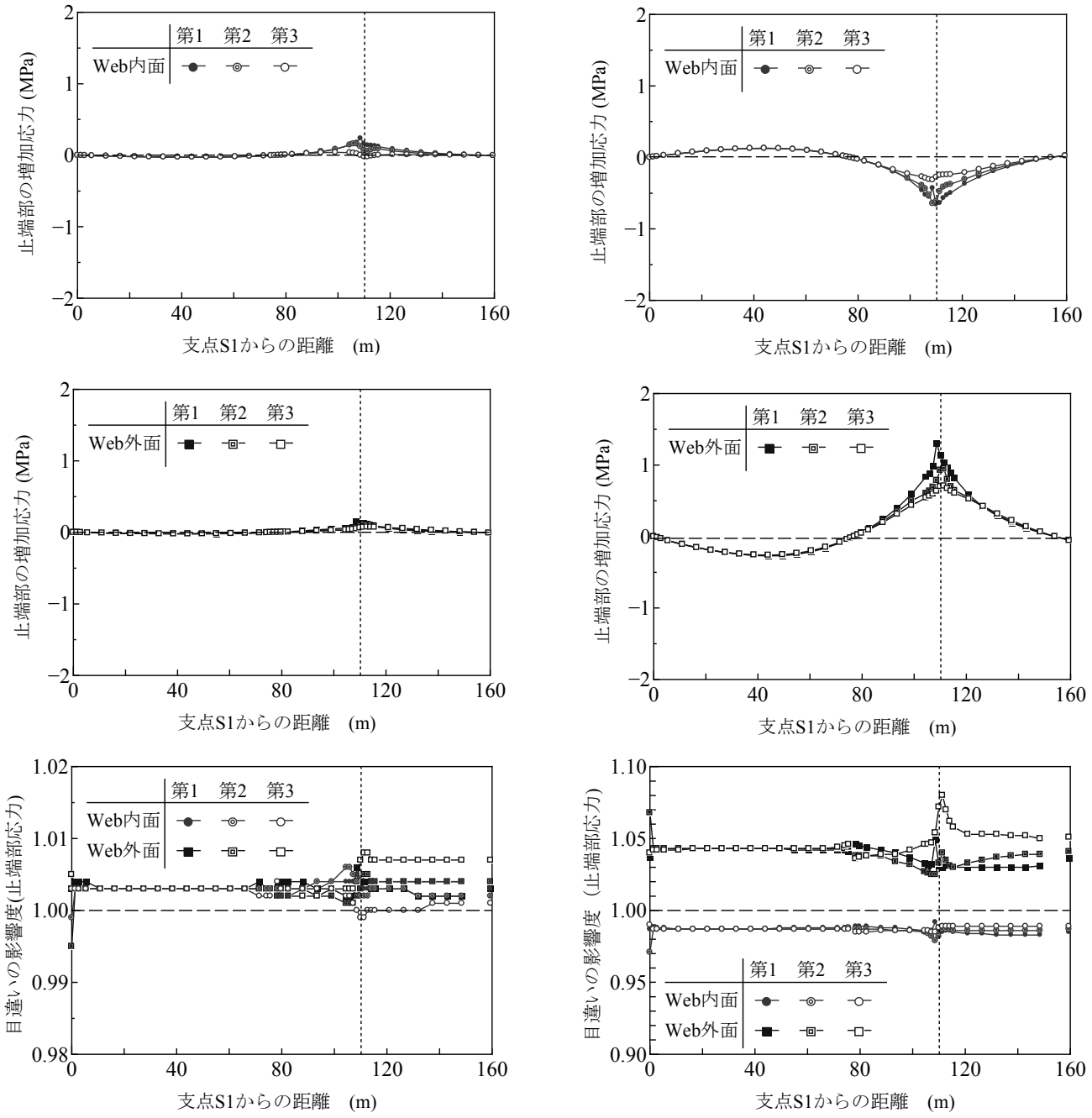
(b) 水平目違いを導入した場合

図 5-2-34 最大主応力範囲で整理した目違い量と目違いの影響度の関係（横桁側止端部）

(d) 目違いの影響（回し溶接部主桁側止端部）

図 5-2-35(a), (b)は鉛直目違い，あるいは水平目違いを 1㎜ 導入した場合の P1 側横桁下フランジ主桁側回し溶接部の主桁側止端部における応力の増加量と目違いの影響度を示している。鉛直目違いの影響度は，第 1，第 2，第 3 車線によらず，箱桁ウェブ内外面とも 1%以下となっている。また，水平目違いを導入した場合は,箱桁ウェブ内面では 1%程度であるものの, ウェブ外面では約 5%生じている。

以上から，回し溶接部主桁側止端部における鉛直目違いの影響は，ウェブ内外面ともに 1%程度であり，水平目違いでは，ウェブ外面においてフランジ端部が 5%程度高くなる。しかし，ウェブ内面については 1%程度と目違いの影響は小さいものと考えられる。



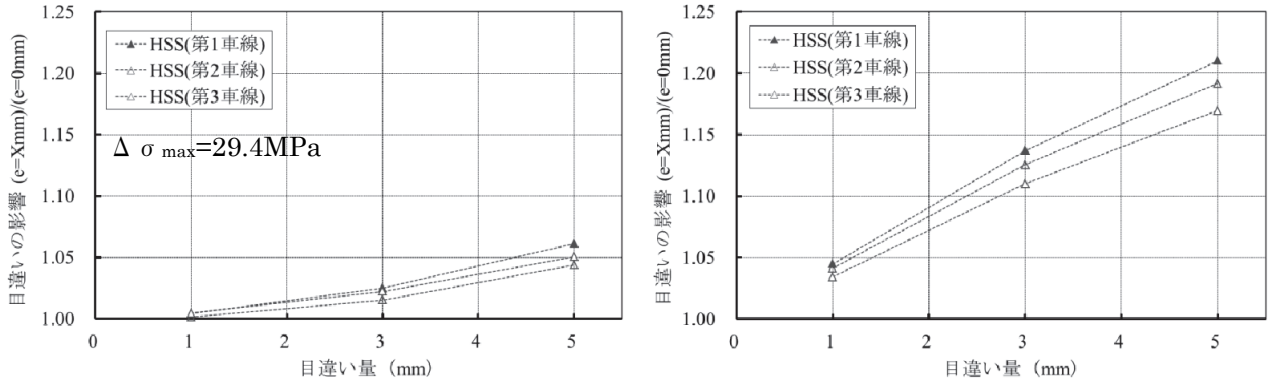
(a) 鉛直目違い(1㎜)を導入した場合　　(b) 水平目違い(1㎜)を導入した場合

図 5-2-35 主桁側止端部における目違いの影響度（P1 側横桁下フランジ主桁側回し溶接部）

箱桁内外面の回し溶接止端部の控え材あるいは仕口下フランジ板厚中心部のホットスポット応力範囲で整理した目違い量と目違いの影響度の関係を図 5-2-36(a),(b)に示す。鉛直目違いが 3㎜ 生じた場合のホットスポット応力は，目違いがない場合に比べ，3%程度の応力上昇になっているものの，水平目違いが 3㎜ 生じた場合には，その影響度は 15%程度となっている。

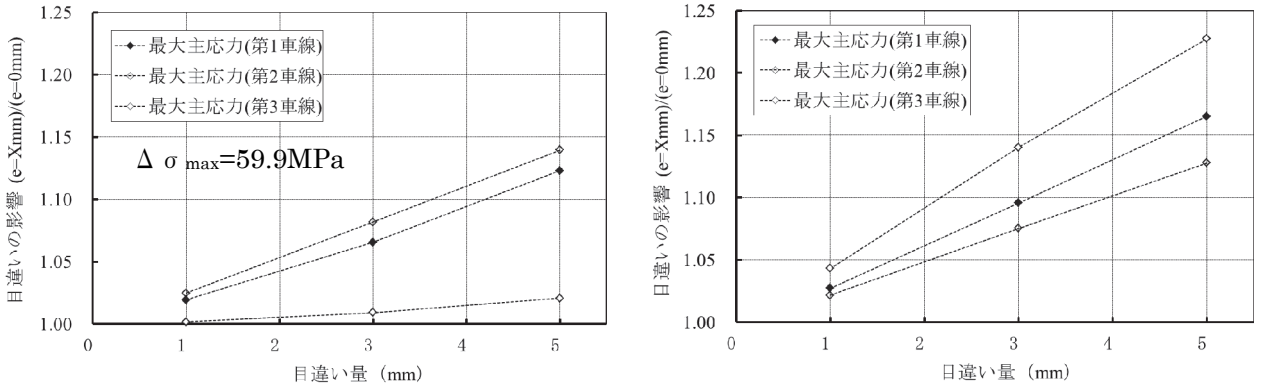
次に，溶接止端部に沿った最大の最大主応力範囲で整理した目違いの影響度と目違い量との関係を図 5-2-37 に示す。鉛直目違いが 3㎜ 生じた場合の影響は約 8%とホットスポット応力で整理した場合に比べて高くなっている。なお，水平目違いの場合には，その影響度はホットスポットで整理した場合と同程度になっている。

以上から，主桁側止端部の目違いによる影響度は，鉛直目違いについてはホットスポット応力で整理すると低いものの，最大主応力では目違い量 3㎜ に対して約 8%生じ，水平目違いでは，ホットスポット応力，最大主応力ともに 15%程度となることが確認された。



（a）鉛直目違いを導入した場合　　（b）水平目違いを導入した場合

図 5-2-36 ホットスポット応力範囲で整理した目違い量と目違いの影響度の関係（主桁側止端部）



（a）鉛直目違いを導入した場合　　（b）水平目違いを導入した場合

図 5-2-37 最大主応力範囲で整理した目違い量と目違いの影響度の関係（主桁側止端部）

5-3 実橋梁モデルと継手モデルの目違いの影響

第 5 章では種々の目違いによる応力上昇について，継手モデルを用いた検討および実橋モデルを用いた解析的な検討を行ってきた。本節では，それらの結果をまとめる。

まず，単純桁橋の支間中央部に存在する分配横桁と主桁との取り合い部の仕口下フランジを対称に検討した鈑桁橋モデルについて継手モデルとの比較を行う。鈑桁橋モデルでは仕口フランジ厚が，22mm と厚く，式 5-1-1（λ-6）を用いると鉛直目違い 1mm により 13.6%の応力上昇があるとされるディテールである。フランジ幅は 360mm であり，中板（主桁ウェブ）の両側に補剛材があるディテールとなっている。この鈑桁橋モデルの分配横桁直上載荷を行った場合に得られた，鉛直目違い 1mm を与えた場合の目違いの影響度を表 5-3-1 に示す。同図には，上記の鈑桁橋モデルと同じ寸法・形状の継手形状を持つ継手モデル（但し，主板長さ 200mm，ウェブ高さ 200mm，受け材高さ 100mm および長さ 100mm とした）を 5-1 節と同じ手法（図 5-1-17）でモデル化して求めた目違いの影響度を示す。なお，図中に示す目違いによって応力が上昇する二つの止端部(a)と(b)の応力上昇について記載している。

鈑桁橋モデルと継手モデルとの間には，若干の差異が見られるものの概ね良く一致していると言える。特に目違いの影響度の大きい横桁ウェブ一般部で，止端部応力およびホットスポット応力の両方の指標で非常に良い一致を示している。

つまり，

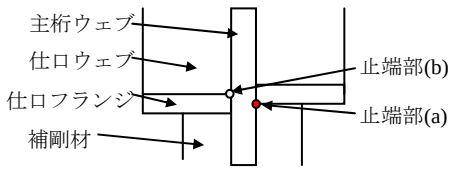
継手モデルを用いて鈑桁橋の主桁・横桁取り合い部の目違いの影響度を評価できる

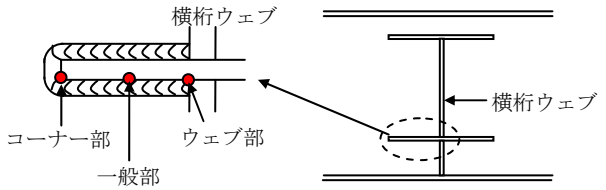
と言える。

表 5-3-1　鈑桁モデルと継手モデルの目違いの影響度比較

	鈑桁橋モデル		継手モデル	
	止端部(a)	止端部(b)	止端部(a)	止端部(b)
端部	1.065 / 1.089	1.065 / 1.087	1.078 / 1.079	1.109 / 1.117
一般部	1.087 / 1.094	1.106 / 1.123	1.090 / 1.093	1.116 / 1.125
ウェブ部	1.016	1.019	1.034	1.025

表中の ??? / !!!　の数値の表記は、
???：　止端部応力で求めた目違い影響度
!!!：　ホットスポット応力で求めた目違い影響度
であり、いウェブ部は止端部応力のみ記載





鈑桁橋の横桁の部材端部（対象取り合い部とは反対側の主桁との取り合い部）の境界条件や，主桁上端の床版等による回転拘束などの境界条件やその影響は不明であるが，今回用いた鈑桁モデルでは，

・今回の検討が仕口の下フランジ側を対象としていること

・継手モデルを用いた解析により示したように，十字継手では部材端部の拘束条件の影響は大きいが，横桁ウェブが存在するような継手では，拘束条件の影響は殆どなくなること

・IIW の指針に示されるように，主板長さの不釣り合いの影響は，主板長さが非常に大きな場合には無視しうる

ことにより，概ね継手モデルを用いて目違いの影響度を評価できたものと考えられる。

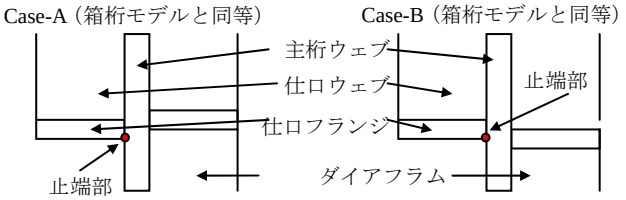
本モデルは単純鈑桁橋であり，その支間中央に対象とした分配横桁が存在している。表 5-3-1 に示す結果は，分配横桁直上に載荷した場合であり，そのような場合，例えば横桁からの力は主に横桁の曲げの影響によるものと考えられる。そのため，主板の軸方向にのみ力を作用させる継手モデルを用いて概ね横桁下フランジの挙動を表現できたものと考えられる。しかし，図 5-2-7，図 5-2-8 に示すように，分配横桁の直上載荷ではない場合には目違いの影響度が変化する場合も認められている。この現象には，例えば横桁のねじれのような挙動などが原因として考えられるが，今後の検討課題であろう。

同様に箱桁モデルに対して鉛直目違い 1mm を与えた場合の目違いの影響度について，継手モデルとの比較結果を表 5-3-2 に示す。継手モデルは 5-1 節の図 5-1-19 に示したモデルと同様な方法で，箱桁の仕口下フランジ厚・フランジ幅，および主桁ウェブ厚のみを再現してモデル化を行った。箱桁モデルの解析結果は，対象継手部の直上載荷を行った時の目違いの影響度である。また，表中に示す Case-A は仕口が鉛直方向下側に，Case-B は鉛直方向上側に箱桁内部の控え材と相対的にずれているケースを表しているが，5-2 節で取り扱った箱桁モデルは Case-B である。ここでは仕口下フランジの下側の溶接止端部について検討を行っている。横桁端部，一般部，ウェブ部全てにおいて，目違いの影響度は継手モデルの方が大きい。この原因として今回対象とした箱桁モデルは鋼床版構造であり，横桁上端が鋼床版に固定されていること，また横桁より鉛直方向に低い位置にある主桁ウェブも主桁フランジにより変形をある程度拘束されていることなどが一因として考えられる。（継手モデルの箱桁断面内のダイアフラムに相当する位置の鉛直方向変位を図 5-3-1 に示すように拘束した結果，ウェブ直上の目違いの影響度は 3%弱に低下したが，一般部および端部の目違いには変化は見られなかった）。また，箱桁内部のディテールが図 5-3-2 に示すように，図 5-3-1 のようなディテールとは異なることも大きな原因と考えられるが，この点については今後の課題とする。

表 5-3-2　箱桁モデルと継手モデルの目違いの影響度比較

	箱桁モデル		継手モデル	
	走行車線	Case-B	Case-B	Case-A
端部	第 1 車線	0.98 / 0.96	0.940	1.057
	第 2 車線	0.98 / 0.96		
	第 3 車線	1.00 / 0.98		
一般部	第 1 車線	0.94 / 0.93	0.911	1.086
	第 2 車線	0.95 / 0.94		
	第 3 車線	0.94 / 0.93		
ウェブ部	第 1 車線	0.99 / 0.99	0.962	1.042
	第 2 車線	0.99 / 0.99		
	第 3 車線	0.99 / 0.99		

表中の ??? / !!!　の数値の表記は、
???：　止端部応力で求めた目違い影響度
!!!：　ホットスポット応力で求めた目違い影響度
であり、継手モデルは止端部応力のみ記載



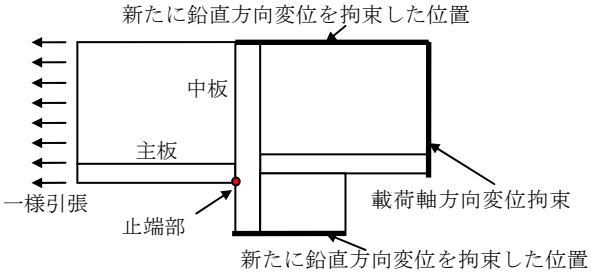


図 5-3-1 鉛直方向変位の拘束モデル

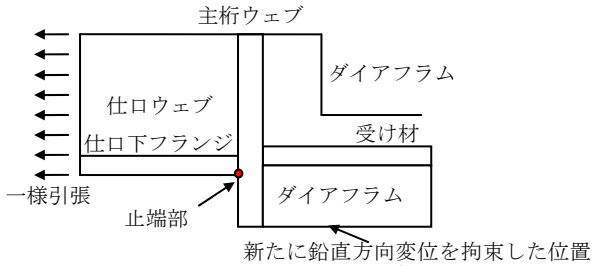


図 5-3-2 実際の箱桁取り合い部ディテール

従って，鈑桁橋のように主桁と横桁取り合い部の仕口下フランジに生じる鉛直目違いの影響は，その形状をモデル化した図 5-1-17 や図 5-1-19 を用いてある程度評価することが可能であると言える。一方，鈑桁橋，箱桁橋ともに載荷位置により，目違いの影響度が異なる傾向が見られた。横桁に作用する力や横桁の変形挙動などにも影響されるものと考えられ，今後，どのような条件で目違いの影響が大きくなるのかを分析するとともに，継手モデルを用いて種々の応力状態を再現する方法などについても検討する必要あると言える。

また，水平目違いの影響については，橋梁モデルで主桁ウェブ側の止端部に目違いの影響が確認された。そこで，図 5-3-3 に示すような鈑桁モデルの主桁ウェブと横桁フランジのみをモデル化した面外ガセット溶接継手の解析モデルについて，主板（主桁ウェブ）の表裏に荷重方向（橋軸方向）に 1mm ずらしてガセット（横桁フランジ）を取り付けたモデルについて解析を行った。（横桁側止端部の要素分割と比して回し溶接側の要素分割は粗いが鈑桁モデルと同じモデルを用いている。また，ガセット高さは 200mm，主板幅は 400mm としてモデル化を行っており，その他の寸法は鈑桁モデルと同等である）。結果は，目違いを与えることにより，止端部応力は約 3.55%上昇しており，鈑桁モデルとほぼ同等の結果となっている。但し，この目違いの影響度の大きさは，5-1 節に示したように，溶接脚長が主板表裏でずれている場合とほぼ同様・同等の効果であり，応力集中の変化の領域は非常に狭い。

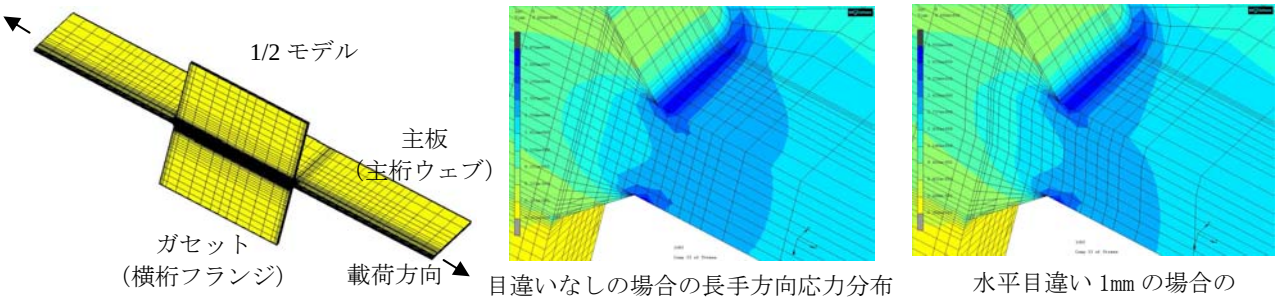


図 5-3-3 面外ガセット解析モデル

§6　鋼橋溶接継手部の疲労に対する目違いの影響評価

前章では，鋼鈑桁橋及び箱桁橋の実橋モデルを対象とした詳細な FEM 解析を行い，主桁ウェブと横桁下フランジ取り合い部（以下，仕口）における，疲労設計荷重走行時の応力性状の確認と，対象部位に生じた目違いが応力上昇に与える影響について確認した。一方で，実際の疲労設計は FEM 解析ではなく，格子計算より得られる断面力を用いて応力範囲を算出する方法が一般的である。そして，目違いの影響を反映する場合は，格子計算による疲労設計に対して考慮することになると思われる。本章では，前章の鈑桁橋を対象とした疲労設計を実施するとともに（付録-1），鋼道路橋の疲労設計指針を用いて設計された，最近の道路橋の疲労設計事例を収集した。次に，仕口に発生する応力範囲，すなわち，十字溶接継手に対する横桁の応力範囲と面外ガセット溶接継手に対する主桁の応力範囲を抽出し，発生応力の傾向に関する分析を行った。さらに，前章までの実橋梁の目違い計測結果と目違いの影響度合いを考慮した応力範囲の算出を試みた。

6-1　対象橋梁と疲労設計結果

表 6-1-1 に本章で対象とした全 11 橋梁の概要一覧を示す。仕口については，鈑桁橋では目違いが生じる可能性のある中主桁の仕口に着目し，単純桁橋は分配横桁，連続桁橋は応力性状の違いも考慮して支点上横桁と一般部の横桁の双方について，簡便な疲労照査における主桁応力と横桁応力を確認した。なお，応力範囲の抽出は最大応力範囲箇所と 2 番目，3 番目に応力範囲が大きい箇所である。

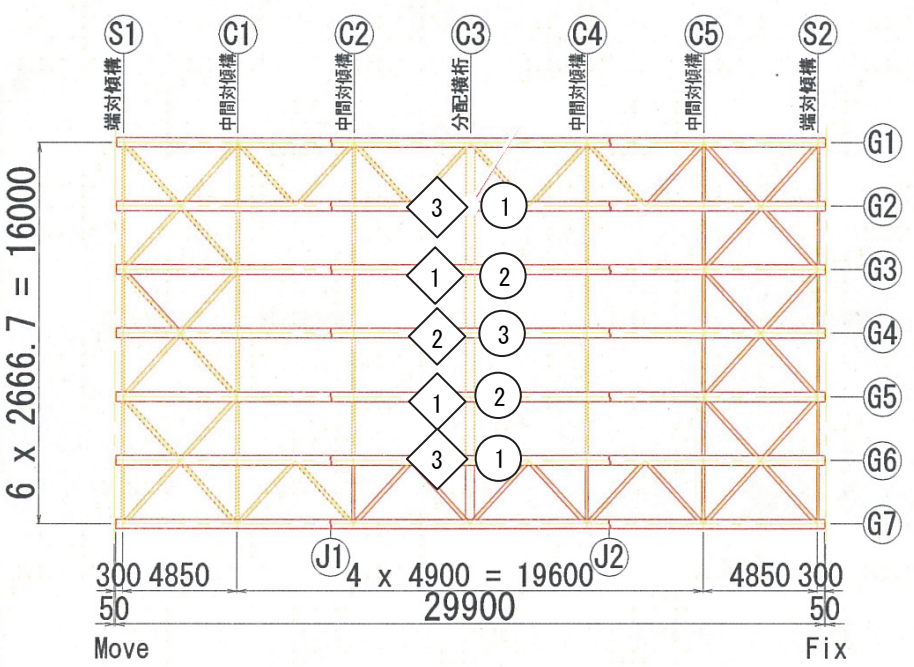
その他，計算結果に対応する荷重の走行位置が明記されていない設計計算書が大半であった。また，設計の簡略化から主桁下フランジ部を G 等級として照査を実施しているものについては，別途断面計算を行い，仕口位置の応力を算出している。

表 6-1-1 対象とする橋梁概要一覧

事例	橋梁形式	斜角・曲線	支間長(m)	設計道示	備考
1	単純合成7主鈑桁橋	直橋	29.3	H 2.2.	5-2節の橋梁
2	単純非合成4主鈑桁橋	斜角59°	29.8	H14.3.	
3	単純非合成5主鈑桁橋	斜角70°	34.0	H14.3.	
4	単純非合成6主鈑桁橋	斜角60°	30.3	H14.3.	
5	3径間連続非合成2箱桁橋	クロソイドA160m～単曲線R450m	43.4+55.0+43.4	H14.3.	
6	単純非合成5主鈑桁橋	直橋	26.0	H14.3.	
7	3径間連続非合成5主鈑桁橋	単曲線R600m、斜角86°	39.75+47.5+34.75	H14.3.	
8	4径間連続非合成4主鈑桁橋	直橋	34.3+35.0+35.0+34.3	H14.3.	
9	6径間連続非合成少数(4主)鈑桁橋	直橋	39.1+57.0+45.0+2@39.0+38.1	H14.3.	
10	5径間連続非合成2箱桁橋	直橋、斜角74°	86.1+90.0+90.0+85.0+68.7	H14.3.	
11	4径間連続非合成2箱桁橋	斜角89° 59'～92° 46'	56.8+70.5+54.0+53.3	H14.3.	

以下，図 6-1-1～図 6-1-11 と表 6-1-2～表 6-1-12 に各事例の構造図と応力範囲の抽出結果を示す。疲労設計時の構造解析係数について，主桁は少数主桁橋である事例 9 を除き 0.8 で，横桁については設計計算書によっては 0.5 のものと 0.8 のものがあったが，前章の実橋解析結果も踏まえ，0.5 で統一した。また，当然ではあるが，簡便な疲労照査を満足しない橋梁であっても，詳細な疲労照査により疲労耐久性の確保が確認されている。

【事例－１】



◇：横桁最大応力範囲箇所

○：主桁最大応力範囲箇所

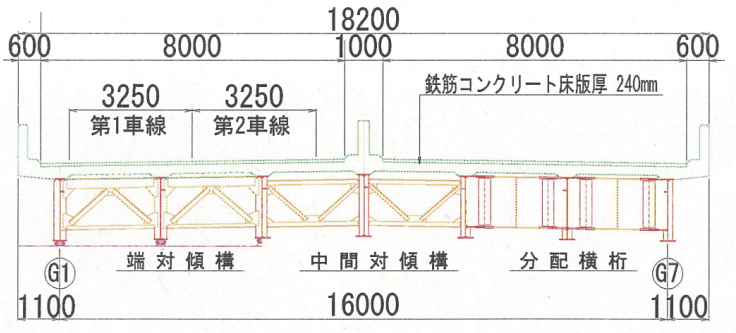
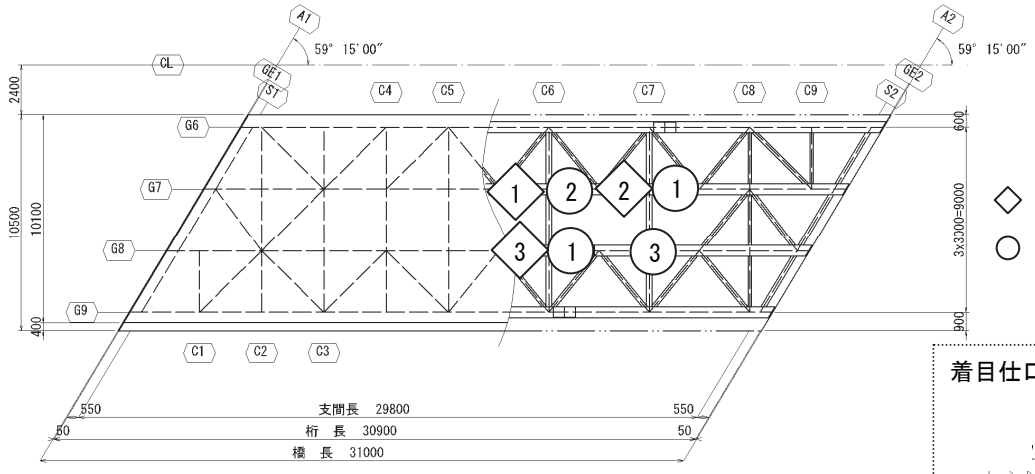


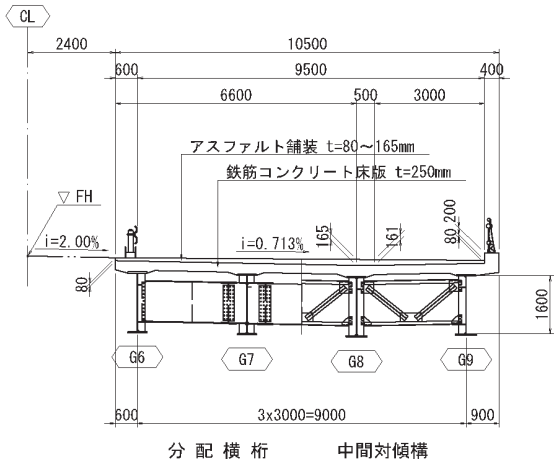
図 6-1-1 事例－１の最大応力範囲箇所

表 6-1-2 事例－１の設計結果

【事例－１】 単純合成Ｉ桁橋 支間長:29.3m 桁本数:7 本 車線数:4 車	分配横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手）〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G1 側	G7 側	
	C3-G3(G5)	9	360	22	9	19	19	37.2
	C3-G4	9	360	22	9	19	19	24.1
	C3-G2(G6)	9	360	22	9	19	19	17.4
	主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手）〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G1 側	G7 側	
	C3-G2(G6)	9	360	22	9	19	19	39.7
	C3-G3(G5)	9	360	22	9	19	19	29
	C3-G4	9	360	22	9	19	19	24.1

【事例－２】

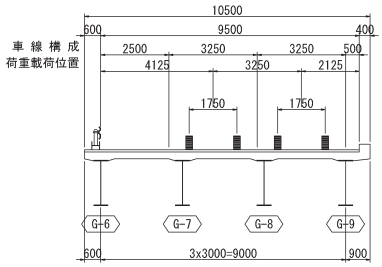




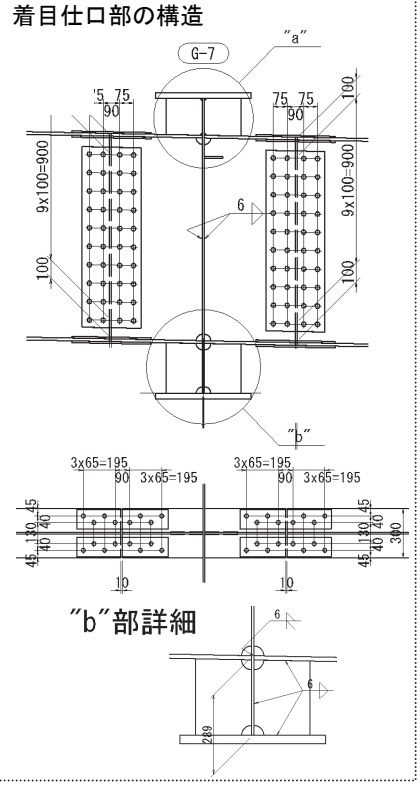
分 配 横 桁　　中間対傾構

※分配横桁は２箇所ある（上図Ｃ６・Ｃ７）

疲労設計荷重載荷図



着目仕口部の構造



″b″部詳細

図 6-1-2 事例－2 の最大応力範囲箇所

表 6-1-3 事例－2 の設計結果

	分配横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手）〕						
	照査位置	板厚構成(mm)					最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚 G6 側	仕口下部リブ厚 G9 側	
	C6-G7	9	300	19	9	16	16	34
	C7-G7	9	300	19	9	16	16	25
	C6-G8	9	300	19	9	16	16	24
	主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手）〕						
	照査位置	板厚構成(mm)					最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚 G6 側	仕口下部リブ厚 G9 側	
【事例－２】 単純非合成 鈑桁橋 支間長:29.8m 桁本数:4 本 車線数:2 車	C7-G7 C6-G8	9	300	19	9	16	16	25
	C6-G7	9	300	19	9	16	16	24
	C7-G8	9	300	19	9	16	16	21

【事例－３】

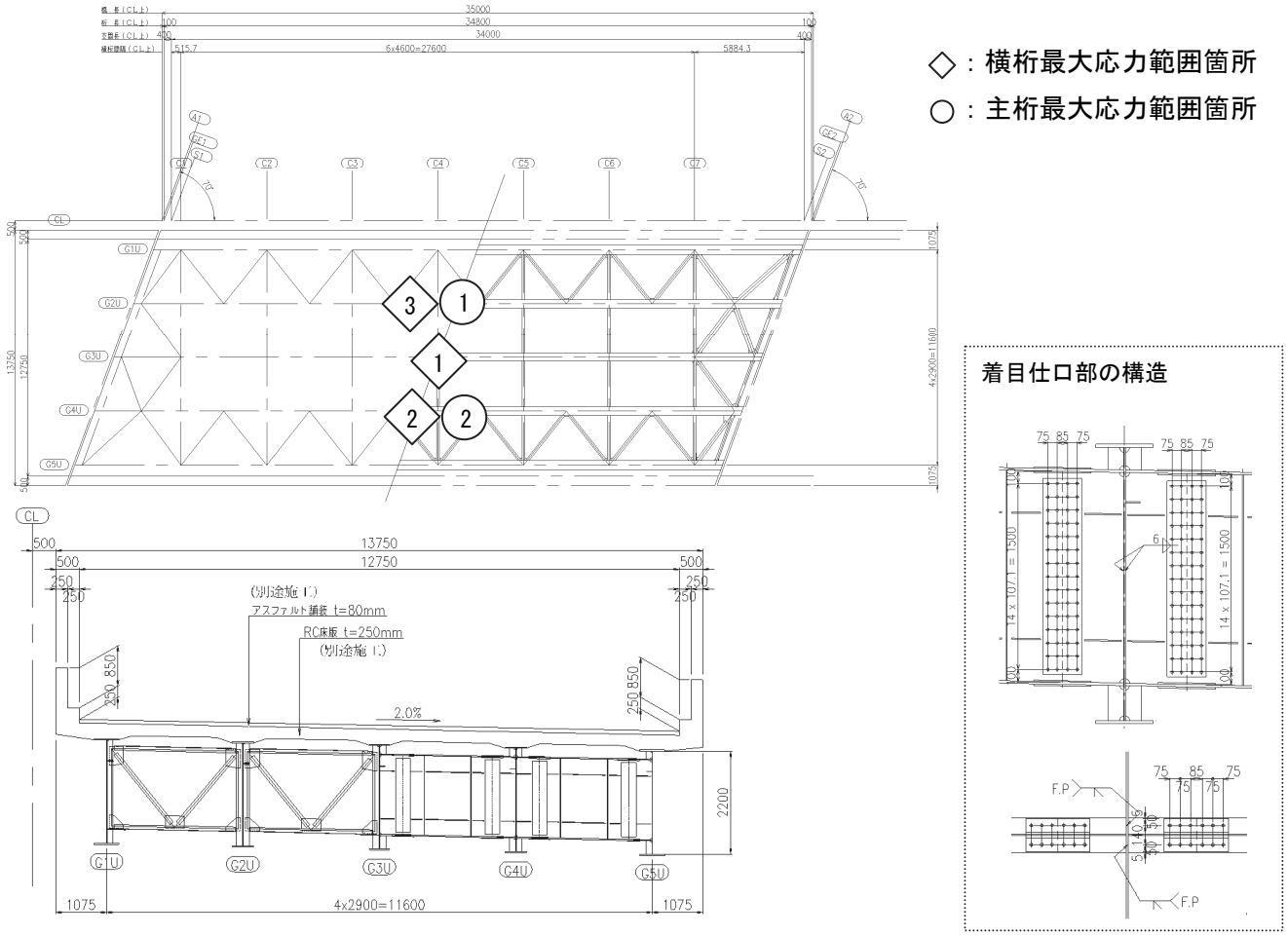
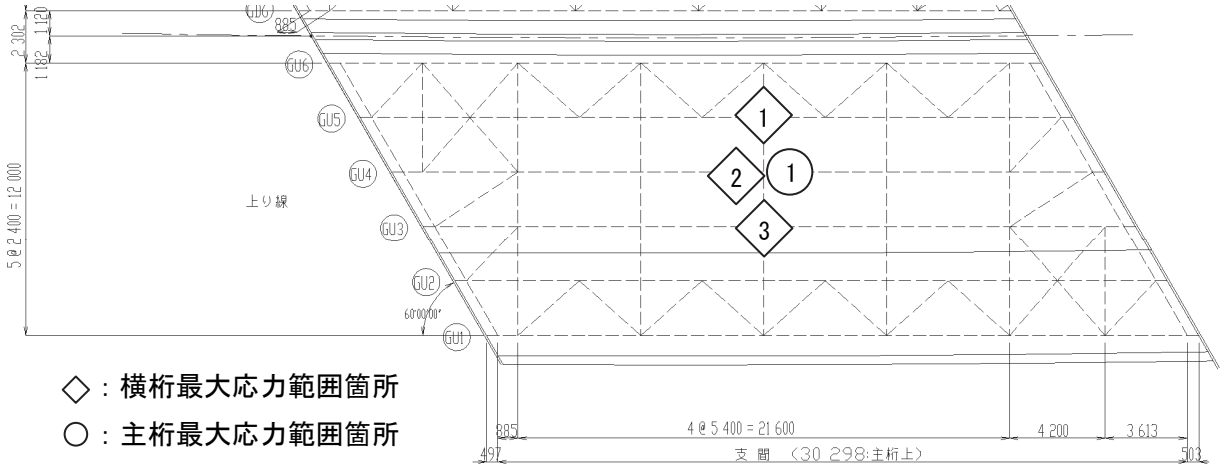


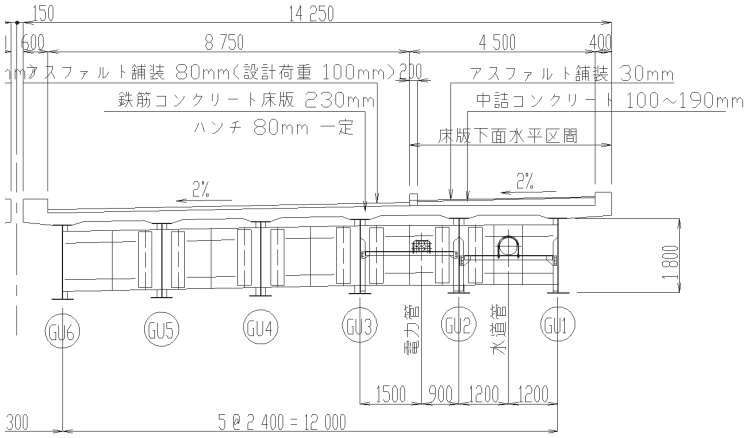
図 6-1-3 事例－3 の最大応力範囲箇所

表 6-1-4 事例－3 の設計結果

	分配横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G1U 側	G5U 側	
【事例－３】 単純非合成 鈑桁橋 支間長:34.0m 桁本数:5 本 車線数:3 車	C4-G3U	11	250	19	9	10	10	40.2
	C4-G4U	11	250	19	9	10	10	27.8
	C4-G2U	11	250	19	9	10	10	20
	主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G1U 側	G5U 側	
	C4-G2U	11	250	19	9	10	10	25.5
	C4-G4U	11	250	19	9	10	10	25.3

【事例－４】





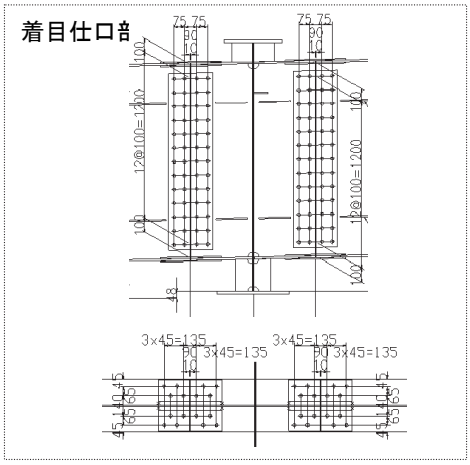


図 6-1-4 事例－4 の最大応力範囲箇所

表 6-1-5 事例－4 の設計結果

	分配横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						GU6 側	GU1 側	
	C4-GU4	9	360	14	9	10	10	41.7
【事例－４】 単純非合成 鈑桁橋 支間長:30.3m 桁本数:6 本 車線数:2 車	主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						GU6 側	GU1 側	
	C4-GU5	9	360	14	9	10	10	30.8
	C4-GU4	9	360	14	9	10	10	23.2
	C4-GU3	9	360	14	9	10	10	21.1

【事例－５】

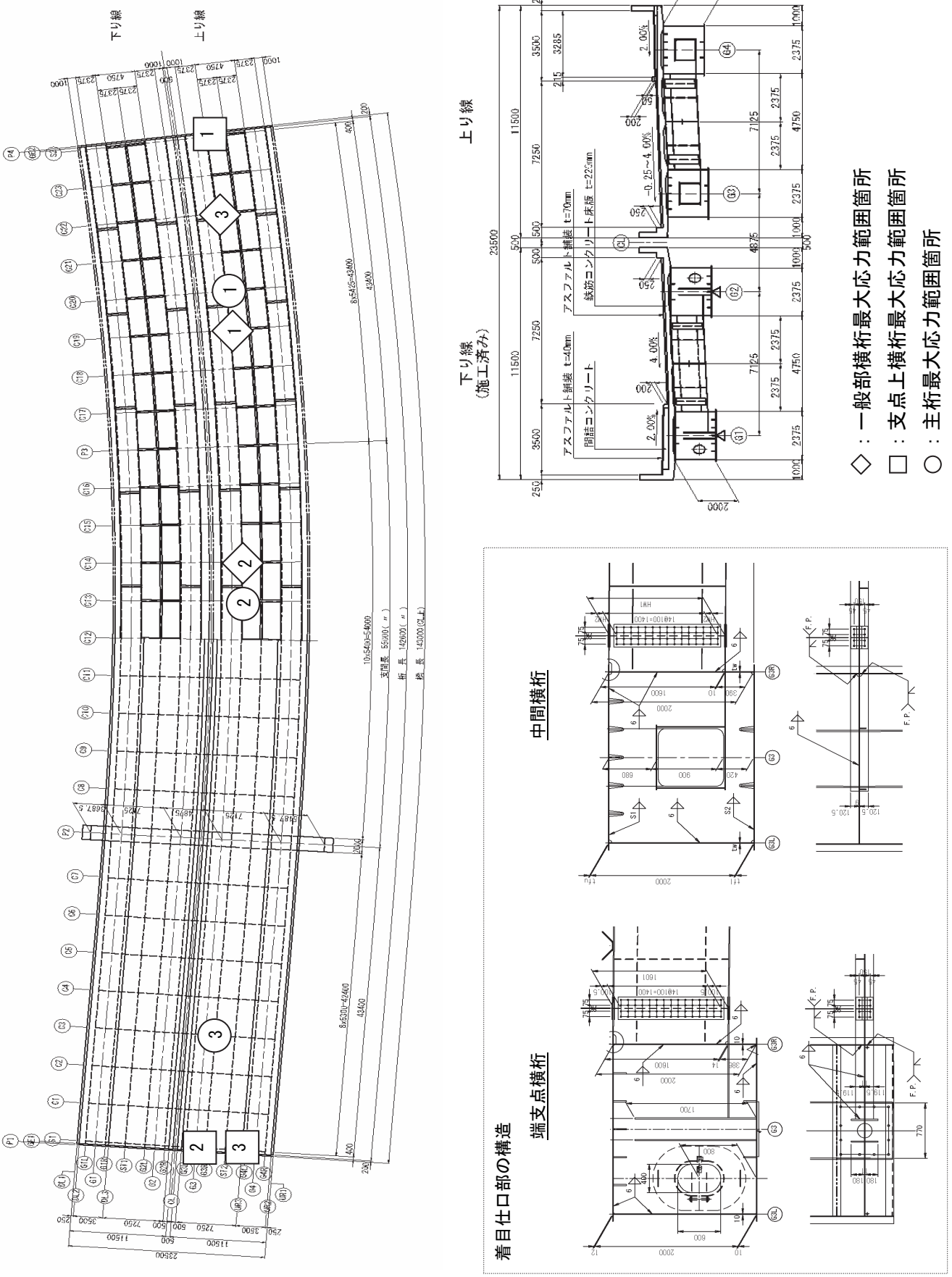
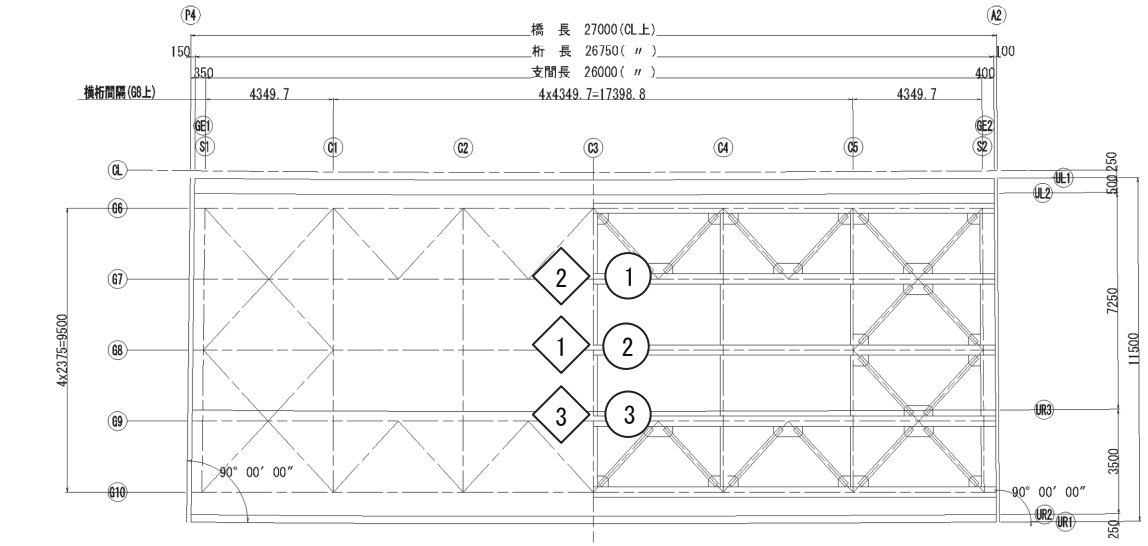


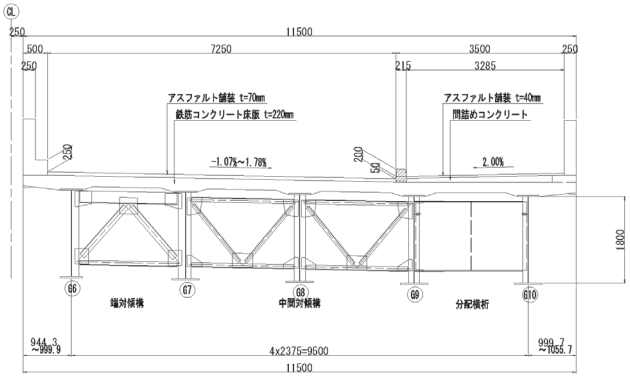
図 6-1-5 事例－5 の最大応力範囲箇所

表 6-1-6 事例－5 の設計結果

【事例－５】 3 径間連続非 合成箱桁橋 支間長:43.4 +55.0+ 43.4m 桁本数:2 本 車線数:2 車	一般部横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						BOX 内	BOX 外	
	C19-G3R	12	250	10	9	12	12	26.01
	C14-G3R	12	250	10	9	12	12	25.94
	C22-G3R	10	250	10	9	12	12	25.66
	支点上横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						BOX 内	BOX 外	
	P4-G3R	10	250	14	9	11	なし	30.35
	P1-G3R	10	250	14	9	11	なし	30.13
	P1-G4L	10	250	14	9	11	なし	29.59
	主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						BOX 内	BOX 外	
	C20-G3R	10	250	10	9	12	12	28.28
	C13-G3R	10	250	10	9	12	12	26.90
	C3-G3R	10	250	10	12	12	12	25.12

【事例－６】





◇：横桁最大応力範囲箇所

○：主桁最大応力範囲箇所

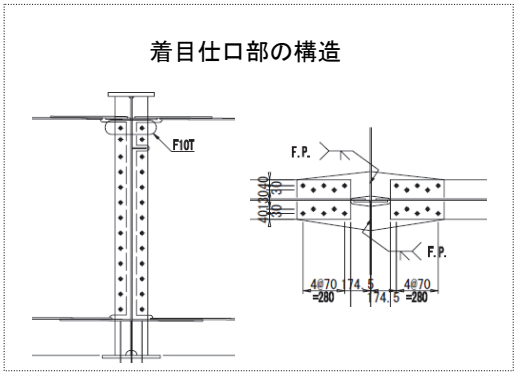


図 6-1-6 事例－6 の最大応力範囲箇所

表 6-1-7 事例－6 の設計結果

	分配横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手）〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G6 側	G10 側	
	C3-G8	9	400	10	12	12	12	47.06
【事例－６】	C3-G7	9	400	10	12	12	12	22.66
単純非合成	C3-G9	9	400	10	12	12	12	20.51
鈑桁橋	主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手）〕							
支間長:26.0m	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
桁本数:5 本		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
車線数:2 車						G6 側	G10 側	
	C3-G7	9	400	10	12	12	12	41.49
	C3-G8	9	400	10	12	12	12	34.85
	C3-G9	9	400	10	12	12	12	27.30

【事例－７】

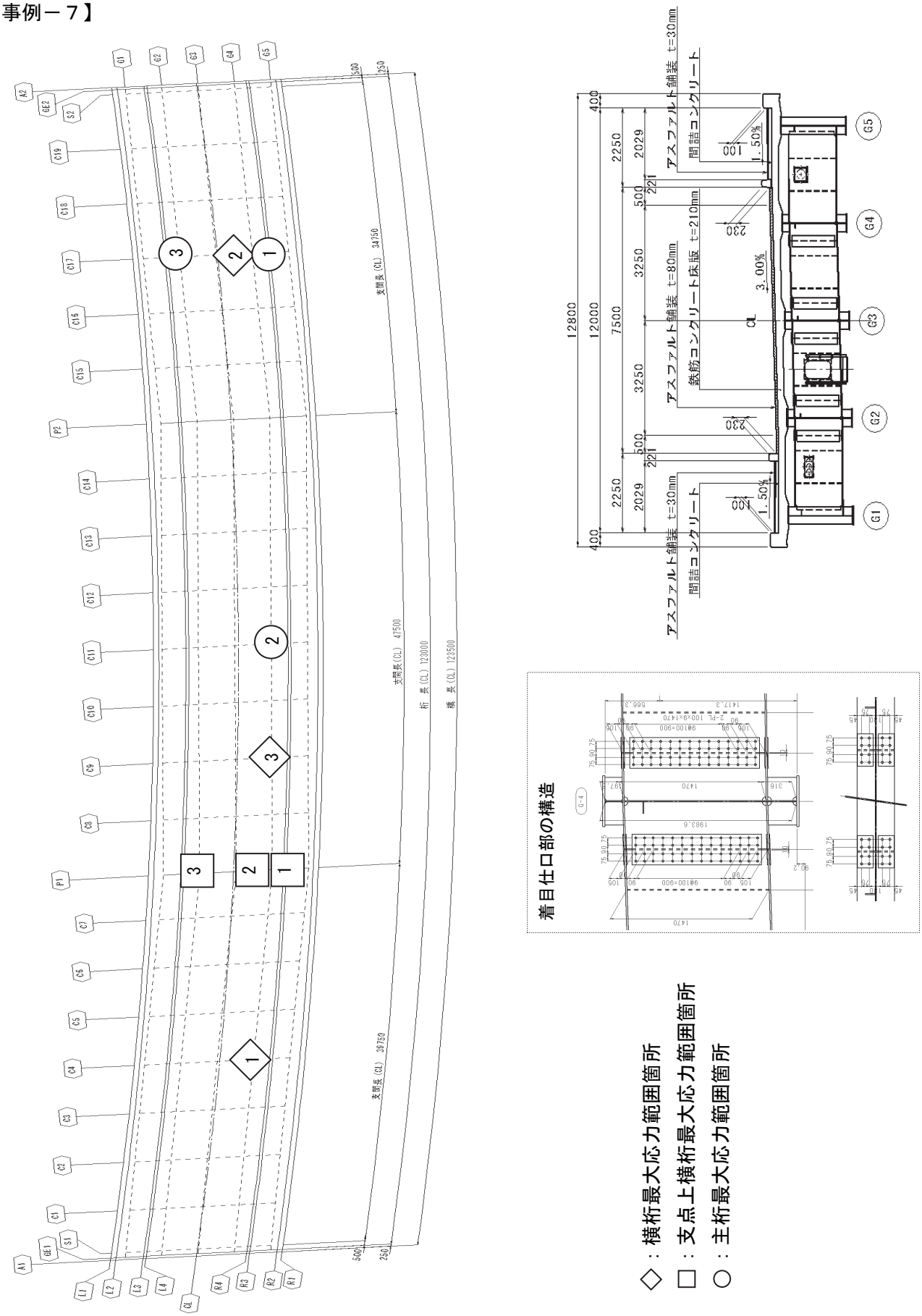


図 6-1-7 事例－７の最大応力範囲箇所

表 6-1-8 事例－7 の設計結果

【事例－７】 3 径間連続非合成鈑桁橋 支間長:39.75+47.5+34.75m 桁本数:5 本 車線数:2 車	分配横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm^2)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G1 側	G5 側	
	C4-G4	11	370	16	9	19	19	26.3
	C17-G4	11	370	16	9	19	19	25.7
	C9-G4	11	370	16	9	19	19	25.4
	支点上横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm^2)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G1 側	G5 側	
	P1-G4(G5 側)	11	250	12	27	27	27	3.2
	P1-G4(G3 側)	11	250	12	27	27	27	2.9
	P1-G2(両側) P1-G3(G2 側)	11	250	12	27	27	27	2.7
	主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm^2)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G1 側	G5 側	
	C17-G4	11	370	16	9	19	19	36.9
	C11-G4	11	370	16	9	19	19	36.3
	C17-G2	11	370	16	9	19	19	36.0

【事例－８】

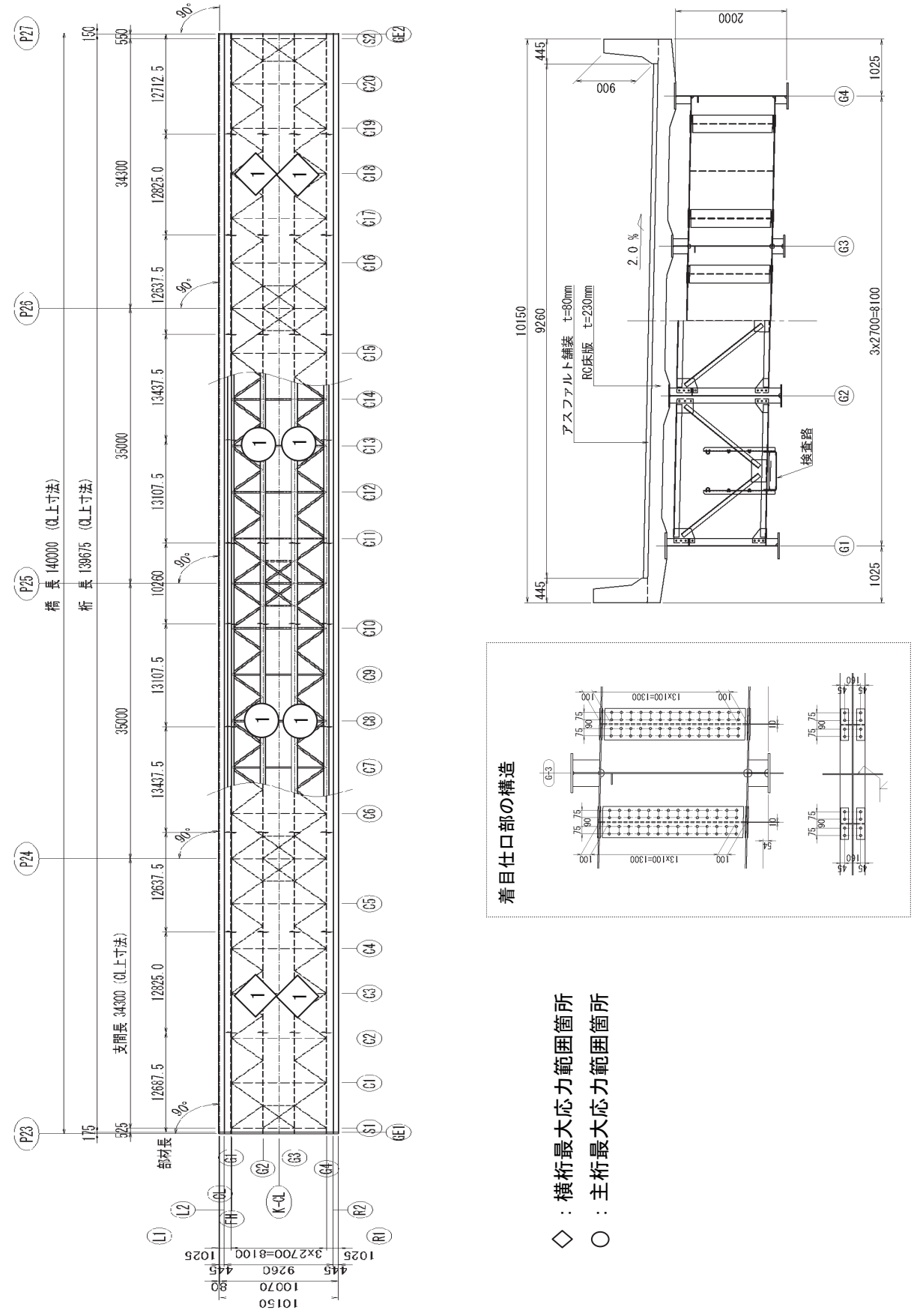


図 6-1-8 事例－８の最大応力範囲箇所

表 6-1-9 事例－8 の設計結果

	分配横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G1 側	G4 側	
【事例－８】 4 径間連続非合成鈑桁橋 支間長:34.3+35.0+35.0+34.3m 桁本数:4 本 車線数:2 車	C3-G2 C3-G3 C18-G2 C18-G3	10	250	12	10	10	10	32
	主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G1 側	G4 側	
	C8-G2 C8-G3 C13-G2 C13-G3	10	250	12	10	10	10	45

【事例－９】

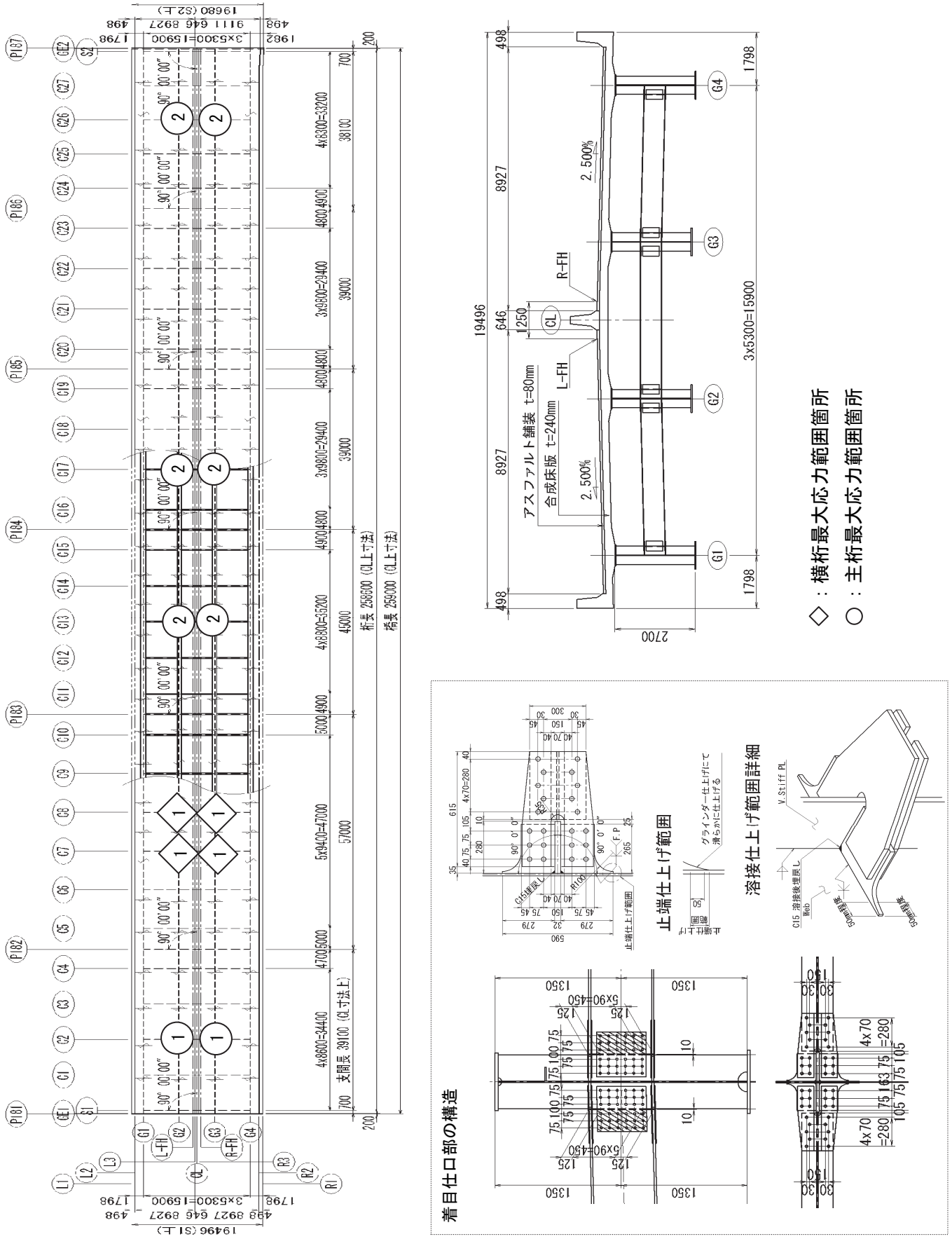


図 6-1-9 事例－９の最大応力範囲箇所

表 6-1-10 事例－9 の設計結果

<table>
<tr><td rowspan="6">【事例－９】
6 径間連続非合成少数鈑桁橋
支間長:39.1+57.0+45.0+2@39.0+38.1m
桁本数:4 本
車線数:4 車</td><td colspan="7">中間横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕</td></tr>
<tr><td rowspan="2">照査位置</td><td colspan="5">板厚構成(mm)</td><td rowspan="2">最大応力範囲
(N／mm²)</td></tr>
<tr><td>主桁ウェブ厚</td><td>フランジ仕口幅</td><td>フランジ仕口厚</td><td>ウェブ仕口厚</td><td>仕口下部リブ厚
G1 側</td><td>仕口下部リブ厚
G4 側</td></tr>
<tr><td>C7-G2
C7-G3
C8-G2
C8-G3</td><td>13</td><td>590</td><td>24</td><td>28</td><td>28</td><td>28</td><td>34</td></tr>
<tr><td colspan="7">主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手)〕</td></tr>
<tr><td rowspan="2">照査位置</td><td colspan="5">板厚構成(mm)</td><td rowspan="2">最大応力範囲
(N／mm²)</td></tr>
<tr><td>主桁ウェブ厚</td><td>フランジ仕口幅</td><td>フランジ仕口厚</td><td>ウェブ仕口厚</td><td>仕口下部リブ厚
G1 側</td><td>仕口下部リブ厚
G4 側</td></tr>
<tr><td>C2-G2
C2-G3</td><td>13</td><td>590</td><td>24</td><td>28</td><td>28</td><td>28</td><td>17</td></tr>
<tr><td>C13-G2
C13-G3
C17-G2
C17-G3
C26-G2
C26-G3</td><td>13</td><td>590</td><td>24</td><td>28</td><td>28</td><td>28</td><td>15</td></tr>
</table>

【事例－１０】

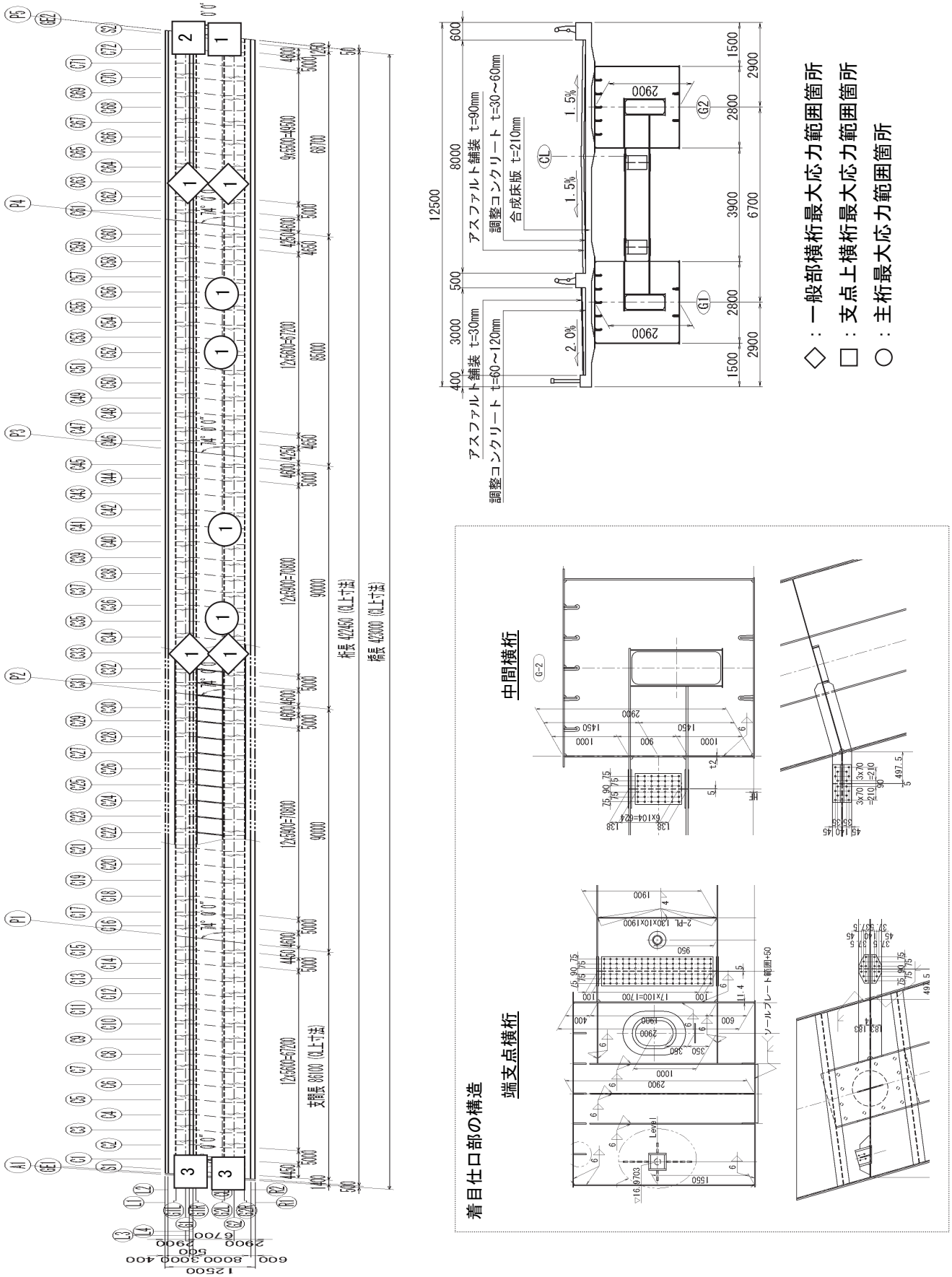


図 6-1-10 事例－１０の最大応力範囲箇所

表 6-1-11 事例－10 の設計結果

【事例－10】
5 径間連続非合成箱桁橋
支間長:86.1+90.0+90.0+85.0+68.7m
桁本数:2 本
車線数:2 車

一般部横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕

照査位置	板厚構成(mm) 主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚 BOX 内	仕口下部リブ厚 BOX 外	最大応力範囲 (N／mm²)
C33-G1R C33-G2L C63-G1R	18	300	28	16	9	なし	16
C63-G2L	16						

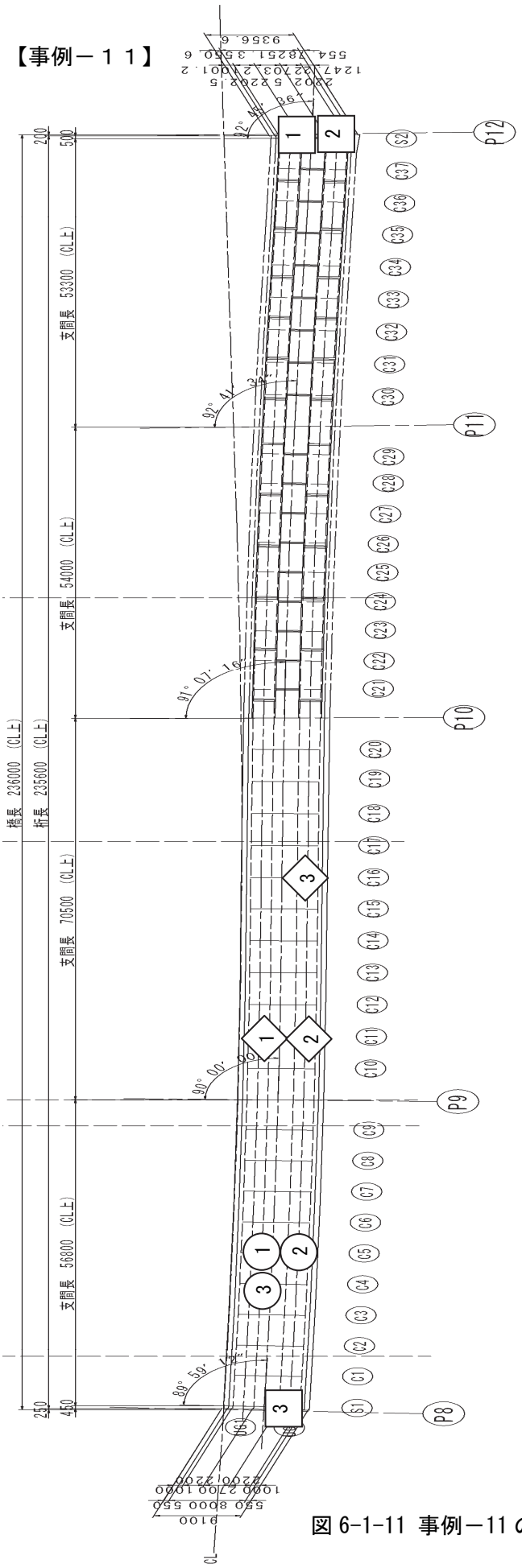
支点上横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕

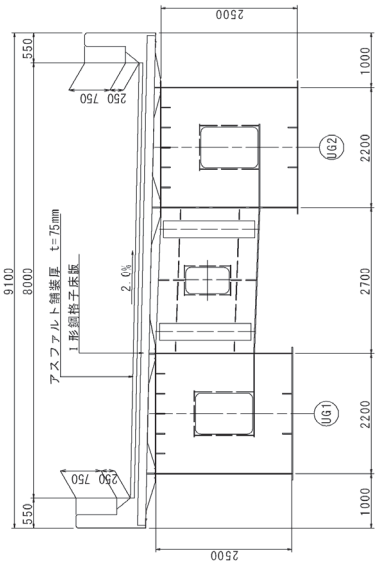
照査位置	板厚構成(mm) 主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚 BOX 内	仕口下部リブ厚 BOX 外	最大応力範囲 (N／mm²)
S2-G2R	16	380	15	13	14	なし	23
S2-G1L	16	380	15	13	14	なし	21
S1-G1R S1-G2L	18	380	16	13	14	なし	14

主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手)〕

照査位置	板厚構成(mm) 主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚 BOX 内	仕口下部リブ厚 BOX 外	最大応力範囲 (N／mm²)
C35-G2R C41-G2R C52-G2R	16	300	28	16	9	なし	10.4
C56-G2R	18						

【事例－１１】





◇：一般部横桁最大応力範囲箇所
□：支点上横桁最大応力範囲箇所
○：主桁最大応力範囲箇所

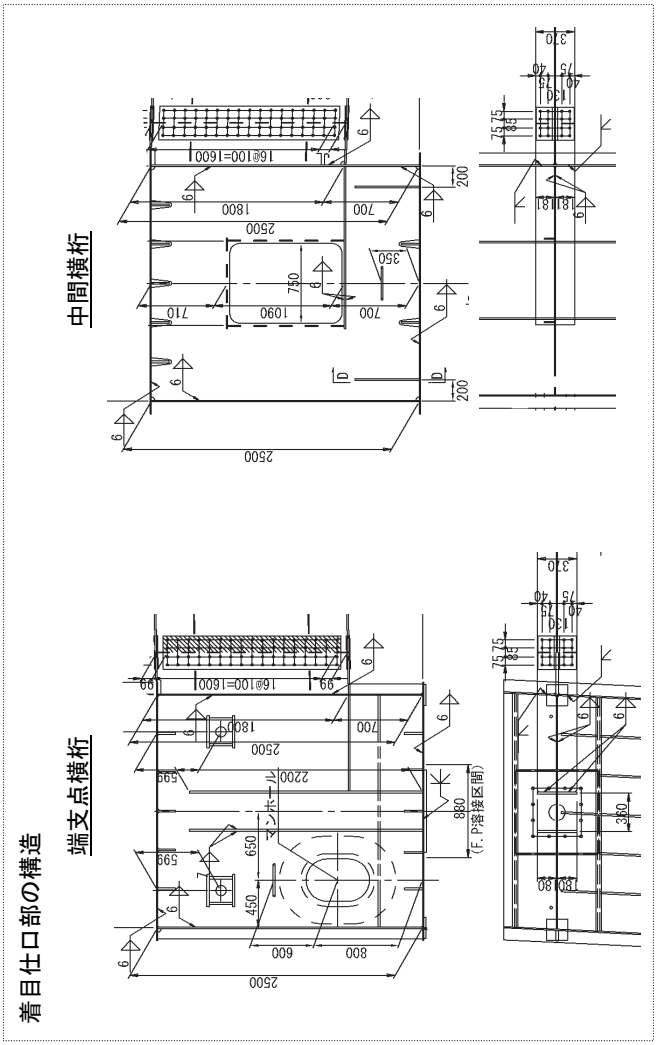


図 6-1-11 事例－11 の最大応力範囲箇所

表 6-1-12 事例－11 の設計結果

【事例－11】 4 径間連続非合成箱桁橋 支間長:56.8+70.5+54.0+53.3m 桁本数:2 本 車線数:2 車	一般部横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						BOX 内	BOX 外	
	C11-G1R	14	370	15	9	9	なし	10.38
	C11-G2L	14	370	15	9	9	なし	10.33
	C16-G2L	19	370	15	9	9	なし	10.24
	支点上横桁〔横桁下フランジ応力範囲（十字溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						BOX 内	BOX 外	
	S2-G1R	12	370	15	25	10	25	15.51
	S2-G2L	12	370	15	25	10	25	15.55
	S1-G2L	12	370	15	25	10	25	14.04
	主桁〔主桁ウェブ応力範囲（面外ガセット溶接継手)〕							
	照査位置	板厚構成(mm)						最大応力範囲 (N／mm²)
		主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚		
						G6 側	G10 側	
	C5-G1R	17	370	15	9	12	なし	24.24
	C5-G2L	17	370	15	9	12	なし	23.71
	C4-G1R	19	370	15	9	12	なし	23.63

6-2　疲労設計結果の分析

前節に示した疲労設計結果は対象とした橋梁数，橋梁形式が必ずしも十分であるとはいえないが，ここでは一般的な疲労設計結果として，発生応力が大きかった箇所の板厚構成と発生応力範囲に関する分析を行う。

6-2-1 板厚構成について

主桁ウェブ厚は多主鈑桁橋では 9㎜～11㎜，1 橋のみではあるが，少数主桁橋では 13㎜，箱桁橋では 10～19㎜ であり，少数主桁橋や箱桁橋で厚い傾向が確認できる。

横桁フランジの仕口の幅×板厚は少数主桁橋で 590×24㎜ とやや大きめで，多主鈑桁橋と箱桁橋については，橋梁形式による特徴は認められず，板幅が 250～400㎜，板厚は 10～28㎜ であった。

横桁ウェブの仕口の板厚は少数主桁橋では設計手法の違いから 28㎜ と大きく，一般部の横桁では垂直補剛材と同等の 9～16㎜，支点上横桁では 9～27㎜ と 2 支承タイプの箱桁橋では支点上補剛材を兼ね，板厚が大きいものがあった。また，横桁ウェブ仕口部下部のリブについては，鈑桁橋では横桁ウェブ仕口の板厚と同等以上の板が設置されているが，箱桁橋については，箱桁外部には一般部横桁，支点上横桁に関係なく，リブが設置される場合とされない場合があり，箱桁内部の板（横リブと垂直補剛材またはダイアフラム）の板厚は必ずしも箱桁外部の板と一致していないことが確認できる。

6-2-2 発生応力範囲について

前節に示した設計計算結果より，各橋梁における一般部横桁（含 鈑桁橋の分配横桁），支点上横桁（箱桁橋のみ），主桁の最大応力範囲を抽出し，発生応力順に並べた結果を表 6-2-1(a)～(c)に示す。

一般部の横桁と主桁の発生応力範囲は橋梁毎にその大小関係が異なるが，全体的な発生応力レベルは同等である。

一般部横桁の結果をみると，全てが荷重伝達型十字すみ肉溶接継手（完全溶込み溶接　非仕上げ）の疲労強度等級である，E 等級の一定振幅応力の応力範囲の打ち切り限界 62N/㎟ を下回る結果となっている。また，発生応力範囲の大きさに関しては，単純鈑桁橋＞連続鈑桁橋＞箱桁橋となっており，斜角の有無や曲線橋による違いは認められない。

支点上横桁の結果は，同一橋梁の一般部横桁よりも大きな応力範囲となっているが，その大きさは E 等級の一定振幅応力の応力範囲の打ち切り限界の半分以下である。なお，支点上横桁では圧縮応力が卓越する傾向にあることも別途確認している。

主桁の結果では，一部の橋梁で面外ガセット溶接継手の疲労強度等級である，G 等級の一定振幅応力の応力範囲の打ち切り限界 32N/㎟ を上回るものもある。また，発生応力範囲の大きさに関しては，単純桁橋と連続桁橋，斜角の有無や曲線橋による違いは認められず，箱桁橋と鈑桁橋の発生応力範囲は，どちらかといえば箱桁橋のほうが小さい。なお，事例 1 の橋梁は唯一，合成桁として断面計算を行っているにもかかわらず，発生応力が大きくなっているが，これは当時の設計活荷重が小さく，且つ断面変化点を多数設けて鋼重を減らしているためだと考えられる。

この他，支間部において，横桁下フランジ側の発生応力と主桁ウェブ側の発生応力の双方が大きくなる仕口部もあったが，全ての橋梁で双方の最大応力発生箇所が一致することはなかった。

表 6-2-1 橋梁ごとの最大応力範囲

(a)一般部横桁の発生応力範囲

事例	橋梁形式	斜角・曲線	支間長(m)	板厚構成(mm)						一般部横桁
				主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚 外側	仕口下部リブ厚 中央側	最大応力範囲 (N/mm^2)
6	単純非合成5主鈑桁橋	直橋	26	9	400	10	12	12	12	**47.06**
4	単純非合成6主鈑桁橋	斜角60°	30.3	9	360	14	9	10	10	**41.7**
3	単純非合成5主鈑桁橋	斜角70°	34.0	11	250	19	9	10	10	**40.2**
1	単純合成7主鈑桁橋	直橋	29.3	9	360	22	9	19	19	**37.2**
2	単純非合成4主鈑桁橋	斜角59°	29.8	9	300	19	9	16	16	**34**
9	6径間連続非合成少数(4主)鈑桁橋	直橋	39.1+57.0+45.0+2@39.0+38.1	13	590	24	28	28	28	**34**
8	4径間連続非合成4主鈑桁橋	直橋	34.3+35.0+35.0+34.3	10	250	12	10	10	10	**32**
7	3径間連続非合成5主鈑桁橋	単曲線R600m、斜角86°	39.75+47.5+34.75	11	370	16	9	19	19	**26.3**
5	3径間連続非合成2箱桁橋	クロソイドA160m～単曲線R450m	43.4+55.0+43.4	12	250	10	9	12	12	**26.01**
10	5径間連続非合成2箱桁橋	直橋、斜角74°	86.1+90.0+90.0+85.0+68.7	16	300	28	16	9	なし	**16**
11	4径間連続非合成2箱桁橋	斜角89° 59'～92° 46'	56.8+70.5+54.0+53.3	14	370	15	9	9	なし	**10.38**

(b)支点上横桁の発生応力範囲

事例	橋梁形式	斜角・曲線	支間長(m)	板厚構成(mm)						支点上横桁
				主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚 外側	仕口下部リブ厚 中央側	最大応力範囲 (N/mm^2)
5	3径間連続非合成2箱桁橋	クロソイドA160m～単曲線R450m	43.4+55.0+43.4	10	250	14	9	11	なし	**30.35**
10	5径間連続非合成2箱桁橋	直橋、斜角74°	86.1+90.0+90.0+85.0+68.7	16	380	15	13	14	なし	**23**
11	4径間連続非合成2箱桁橋	斜角89° 59'～92° 46'	56.8+70.5+54.0+53.3	12	370	15	25	10	25	**15.51**

(c)主桁の発生応力範囲

事例	橋梁形式	斜角・曲線	支間長(m)	板厚構成(mm)						主桁
				主桁ウェブ厚	フランジ仕口幅	フランジ仕口厚	ウェブ仕口厚	仕口下部リブ厚 外側	仕口下部リブ厚 中央側	最大応力範囲 (N/mm^2)
8	4径間連続非合成4主鈑桁橋	直橋	34.3+35.0+35.0+34.3	10	250	12	10	10	10	**45**
6	単純非合成5主鈑桁橋	直橋	26	9	400	10	12	12	12	**41.49**
1	単純合成7主鈑桁橋	直橋	29.3	9	360	22	9	19	19	**39.7**
7	3径間連続非合成5主鈑桁橋	単曲線R600m、斜角86°	39.75+47.5+34.75	11	370	16	9	19	19	**36.9**
4	単純非合成6主鈑桁橋	斜角60°	30.3	9	360	14	9	10	10	**30.8**
5	3径間連続非合成2箱桁橋	クロソイドA160m～単曲線R450m	43.4+55.0+43.4	10	250	10	9	12	12	**28.28**
3	単純非合成5主鈑桁橋	斜角70°	34	11	250	19	9	10	10	**25.5**
2	単純非合成4主鈑桁橋	斜角59°	29.8	9	300	19	9	16	16	**25**
11	4径間連続非合成2箱桁橋	斜角89° 59'～92° 46'	56.8+70.5+54.0+53.3	17	370	15	9	12	なし	**24.24**
9	6径間連続非合成少数(4主)鈑桁橋	直橋	39.1+57.0+45.0+2@39.0+38.1	13	590	24	28	28	28	**17**
10	5径間連続非合成2箱桁橋	直橋、斜角74°	86.1+90.0+90.0+85.0+68.7	16	300	28	16	9	なし	**10.4**

6-3　疲労設計結果に対する目違いの影響評価

本節では，ここまでの検討結果を用いて，本部会で対象とした主桁と横桁の取り合い部の主桁ウェブと仕口下フランジの溶接部の疲労設計・照査に際して，現状考慮されていない目違いの影響についてどのように評価するべきか検討を行った。具体的には，

(1) 疲労設計応力・・本章で検討した 11 の橋梁についての疲労設計より得られた応力範囲を用いて検討を行う。

(2) 実橋中の目違い量・・4 章で示したように，測定個数は 7 部材（9 データ）であるが，橋梁工場にて実橋梁部材の目違いの測定を行い，最大値として鉛直目違い 3.6㎜，水平目違い 2.6㎜ というデータを得た。ここでは，その数値を参考に鉛直目違い 4㎜，水平目違い 3㎜ が発生した場合を想定して検討を行う。

(3) 目違いの影響度・・5 章の検討により，載荷点が対象横桁の直上にない場合など未だ検討する必要がある事項も多いが，実橋における目違いの影響度は概ね継手モデルを用いて検討できることが分かった。また，目違い量が 3,4㎜ 程度であれば，目違いの影響度は概ね目違い量に比例することも明らかにしている。そこで，ここでは 5-1 節で用いた継手モデルの解析結果より目違いの影響度を求めることとする。

(1)～(3)の設定で，11 の橋梁の対象部位の目違いを考慮した場合の疲労設計応力がどの程度の大きさになるかを検討し，その結果に考察を加えることとする。

まず，横桁下フランジ側止端部について検討を行う。表 6-3-1 に各橋梁の主桁と横桁取り合い部の横桁側下フランジの疲労照査に用いる計算応力範囲が最大になる点に位置について，その計算応力範囲と目違いによる応力上昇を考慮した応力範囲を示す。応力範囲の算出に際して，対象橋梁の取り合い部と同じ形状の継手モデルの解析がないこと，また，横桁下フランジ側止端部に沿い目違いの影響度が分布していることを考慮して以下の仮定にて算出を行った。

(1) 5-1 節で用いた主板幅 200㎜，中板厚 11㎜ とし，主板厚 12㎜ のモデル（補剛材なし）を基本とし，主板幅，中板厚の影響は無視した（但し，主板幅は大きくなると若干目違いの影響度は上昇し，中板厚保は大きくなると目違いの影響度は低下する傾向にある)。

(2) 主板厚を 12㎜，19㎜，25㎜ と変更したモデルの解析結果から，板厚と目違いの影響度の関係を最小二乗法により一次近似し，表中のその他の仕口フランジ厚(Tmw)の場合の目違いの影響度を求めた。

(3) 目違いの影響度は，止端部に沿い分布するが，最も大きい値を抽出した。

以上の仮定をもとに，各橋梁のディテールごとに，目違いの影響度を算定した。

(4) 上記基本モデルでは，中板の両面に補剛材を設けた継手，片面に補剛材を設けたケースについても解析を行っており，補剛材がないケースとあるケースで目違いの影響度の差異を求めることができる。その両者の比率を利用して，各橋梁ケースの補剛材のある場合の目違いの影響度を求めた。

(5) 11 橋梁のうち箱桁モデルが 3 橋梁存在し，5-3 節で示したように，この基本モデルでは実橋の箱桁モデルよりも大きな鉛直目違いの影響度を算定する。しかし，ここでは参考のため，この基本モデルを用いて評価を行った。実際の目違いの影響度については今後の課題としたい。

以上の作業により，各モデルの目違いを考慮した応力範囲を算定している。なお，表中に示す目違いの影響度は鉛直目違いを 1㎜ 導入した場合の応力の上昇度を示しており，応力範囲は鉛直目違いを 4㎜ 与えた場合の応力範囲を示している。表中には参考のため，IIW の式(5-1-1)（λ=6）により求めた目違いの影響度（目違い 1㎜）および応力範囲（目違い 4㎜）も併せて示している。

表 6-3-1 鉛直目違いを 4㎜ と仮定したときの横桁の応力範囲

事例	橋梁形式	Tmw mm	Wtf mm	Ttf mm	補剛材	最大応力範囲 N/mm²	IIW		解析			
									補剛材無		補剛材有	
							目違い影響度	修正応力範囲 N/mm²	目違い影響度	修正応力範囲 N/mm²	目違い影響度	修正応力範囲 N/mm²
6	単純非合成5主鈑桁橋	9	400	10	両面	47.06	1.300	103.53	1.106	66.96	1.081	62.39
4	単純非合成6主鈑桁橋	9	360	14	両面	41.7	1.214	77.44	1.103	58.80	1.078	54.63
3	単純非合成5主鈑桁橋	11	250	19	両面	40.2	1.158	65.59	1.099	56.12	1.074	52.11
1	単純合成7主鈑桁橋	9	360	19	両面	37.2	1.158	60.69	1.099	51.93	1.074	48.23
2	単純非合成4主鈑桁橋	9	300	19	両面	34	1.158	55.47	1.099	47.46	1.074	44.08
9	6径間連続非合成少数(4主) 鈑桁橋	13	590	24	両面	34	1.125	51.00	1.095	46.85	1.070	43.48
8	4径間連続非合成4主鈑桁橋	10	250	12	両面	32	1.250	64.00	1.103	45.18	1.078	41.98
7	3径間連続非合成5主鈑桁橋	11	370	16	両面	26.3	1.188	46.03	1.101	36.92	1.076	34.29
5	3径間連続非合成2箱桁橋	12	250	10	両面	26.01	1.300	57.22	1.106	37.01	1.081	34.40
10	5径間連続非合成2箱桁橋	16	300	28	内側	16	1.107	22.86	1.091	21.84	1.071	20.51
11	4径間連続非合成2主箱桁橋	14	370	15	内側	10.38	1.200	18.68	1.102	14.60	1.081	17.73

Tmw：主桁ウェブ厚，Wtf：仕口フランジ幅，Ttf：仕口フランジ厚
表中の目違いの影響度は目違いが 1mm の時の目違いの影響度
補剛材：「両面」は主桁ウェブ両面に、「内側」は箱桁ウェブ片面に補剛材が設置されているケース
ハッチ部は、5-1 節で取り扱った Ttf を有するモデル（但し、他の形状は異なる）

横桁下フランジの主桁ウェブとの溶接部は横桁の力に対して荷重伝達型十字溶接継手と考えられる。これらの継手は，現在では完全溶込み溶接継手で製作されており，日本鋼構造協会の疲労強度等級で E 等級と考えられ，その疲労限度は 62N/㎟ とされている。IIW の式 5-1-1（λ=6）を用いると，実橋梁部材で目違い測定を行った結果を参考に，本検討で設定した鉛直目違い量 4㎜ を導入した場合には 4 つのモデルで疲労限度を超えた大きな応力範囲が発生しており，ほかにも疲労限度に近い応力範囲が発生しているという結果となった。一方，いくつかの仮定を設けて算定はしているが，本検討で検討した継手モデルを用いて算定した目違いの影響度を用いた場合，補剛材を設けた場合，橋梁 No.6 のみ疲労限度と同等の応力範囲と算定されているが，その他のモデルでは疲労限度を下回る結果となった。

一方，図 6-3-1 に補剛材の有無による，止端部の横桁長手方向応力の止端部に沿う分布の差異を示す。解析には 5-1 節で用いた主板（横桁下フランジ）幅 200㎜，中板（主桁ウェブ）厚 11㎜ とし，主板（横桁下フランジ）厚 12㎜ のモデルを用いている（拘束条件-a)。なお，図中の応力分布は目違いが無い場合の解析モデルより得られた応力分布である。補剛材が両面に取りつく場合には，補剛材に

力が伝達されるために，主板の止端部応力が，特に補剛材に近い領域で大きく低下していることが分かる。すなわち，表 6-3-1 に示す補剛材が「両面」に取りつくモデルでは，「修正応力範囲」は表中に示す値より小さい可能性もあり，つまり，各ディテールごとに目違いのないモデルとあるモデルから求めた目違いの影響度分だけ設計計算応力を割り増しすると正しい評価ができない可能性がある。(このようなディテールの場合には，補剛材先端の回し溶接の方が疲労上問題になることが多いと考えられる)。一方，補剛材が片面に取りつくディテールでは，図中に示す着目止端部とは中板の反対側に取りつけられた補剛材に力が伝達されるために，横桁ウェブ位置およびその近傍で応力が「補剛材なし」モデルよりも大きくなっている。但し，表 6-3-1 に示すように検討した橋梁のうち，補剛材が片面（箱桁内側）にのみ取り付けられるケースでは疲労設計で得られる最大応力範囲が非常に小さいものであり，また，今回用いている目違いの影響度は横桁一般部の値であり，応力の大きな横桁ウェブ位置での目違いの影響度は一般部と比較して非常に小さい(例えば図 5-1-20 に示すように基本モデルでは横桁一般部に見られる目違い 1㎜ による応力上昇の最大値が 8%程度であるのに対し，横桁ウェブで 3%程度となっている)。従って，ここで想定した鉛直目違い 4㎜ を導入した場合でも，疲労上大きな問題になるものではないと考えられる。

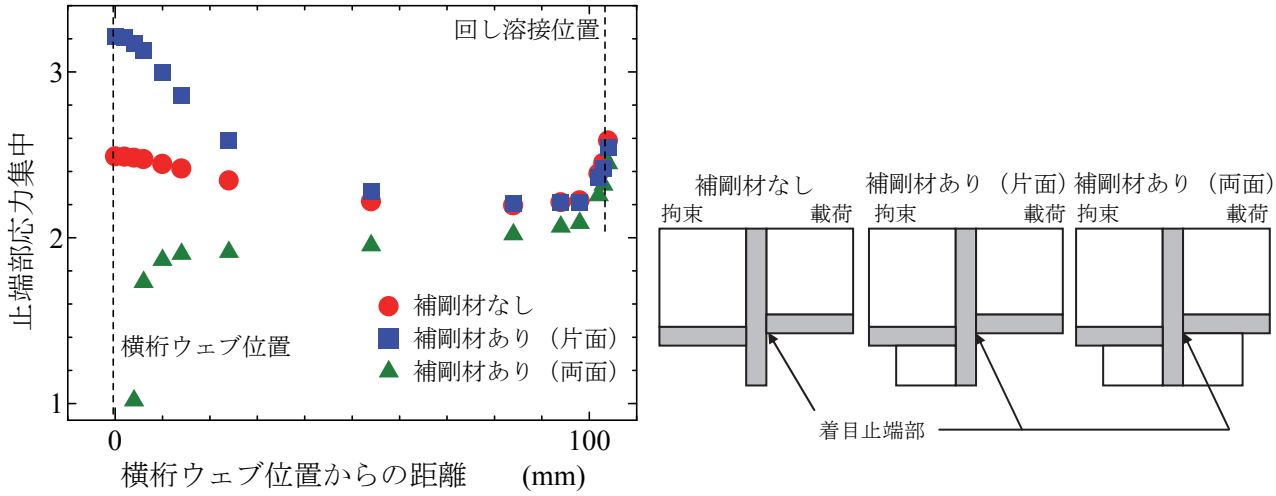


図 6-3-1 補剛材の有無による止端部応力の差異

以上の考察より，今回収集した橋梁では，目違い計測から鉛直目違い 4㎜ を導入した場合に，疲労設計上「不合格」となるような橋梁は見られなかったと言える。但し，疲労限度に近い応力範囲も計算上得られており，より発生応力が大きいディテールに，より大きな目違いが発生する場合には，目違いに対して対応を検討する必要があると言える。

但し，継手モデルでは前述したように目違いによる応力上昇度（目違いの影響度）のみを捉えることになり，その目違いの影響度を設計計算応力に乗じると実際の応力範囲を正しく評価できない可能性もある。また，今回は目違いの影響度の最も大きい横桁一般部の目違いの影響度を用いて考察を行っているが，止端部に沿い，止端部応力も目違いの影響度も分布することも併せて，本検討で詳細に求めた目違いの影響度を格子計算などで行われる疲労設計の中でどのように評価するべきか検討する必要があり，今後の課題であると言える。

次に，水平目違いの影響について，主桁ウェブ側の回し溶接止端部への影響を検討する。ここでは実測より，水平目違いを 3㎜ と想定して検討を行う。水平目違いの主桁ウェブ側回し溶接止端部の応力への影響は継手モデルにより直接は検討していないが，主桁ウェブ表裏の脚長の差異の影響から検討を行った結果を 5-1(c)節に示した。そこでは主板厚 9㎜ の面外ガセット溶接継手に脚長 6㎜（5-2 節の鈑桁モデルと同様）を基本として，一つの溶接脚長を 8㎜，10㎜ と増加させると，脚長を増大させた溶接ビードとは反対側の溶接ビードの止端部の応力がそれぞれ約 10，19%増大する結果が得られている。5-2 節で示した鈑桁モデルでは，同様に主桁ウェブ厚 9㎜ であるが，図 5-2-10 に示したように止端部の最大主応力ベースであるが，水平目違い 3㎜ で 12%程度の応力上昇が得られており，5-1 節で脚長の差異で目違いを与えたケースよりも若干小さい値となっている。必ずしも，主板厚（主桁ウェブ厚）と脚長以外は継手形状が同一ではなく，目違いの導入の仕方も異なるが，ここでは目違いの影響度の大きく得られた 5-1 節の値を用いて検討を行う。なお，表 5-1-2 に示すように，溶接脚長の差異の影響度は，概ね主板厚に反比例し，脚長差に比例することから，上記のモデルを基本とし，各橋梁の主桁ウェブ厚および想定した水平目違い量 3㎜ を用いて，設計計算応力範囲を修正した。その結果を表 6-3-2 に示す。なお，表中の目違いの影響度は水平目違いが 3㎜ の時の目違い影響度である。主桁ウェブ側の回し溶接止端部は，主桁ウェブの橋軸方向応力に対して面外ガセット継手（JSSC の G 等級）に分類され，その疲労限度は 32N/㎟ となる。今回収集した設計計算応力範囲が目違いを考慮しなくても疲労限度を超えている橋梁が 4 橋あり，目違いを考慮することにより疲労限度を新たに超える橋梁は 1 橋であった。一方，疲労寿命に着目すると，S-N 線上の傾きを表す係数 m=3 と仮定すると，目違いを考慮することにより，疲労寿命は 66%～79%程度に減少することになる。これは，簡便な疲労照査を満たさない場合に詳細な疲労照査で許容される大型車交通量が 66%～79%となるということであり，水平目違いの影響は小さくないと考えられる結果となった。

表 6-3-2 水平目違いを 3㎜ と仮定したときの横桁の応力範囲

事例	橋梁形式	Tmw mm	Wtf mm	Ttf mm	補剛材	最大応力範囲 N/mm²	目違い影響度	修正応力範囲 N/mm²
8	4径間連続非合成4主鈑桁橋	10	250	12	両面	45	1.131	50.87
6	単純非合成5主鈑桁橋	9	400	10	両面	41.49	1.145	47.51
1	単純合成7主鈑桁橋	9	360	19	両面	39.7	1.145	45.46
7	3径間連続非合成5主鈑桁橋	11	370	16	両面	36.9	1.119	41.28
4	単純非合成6主鈑桁橋	9	360	14	両面	30.8	1.145	35.27
5	3径間連続非合成2箱桁橋	12	250	10	両面	28.28	1.109	31.36
3	単純非合成5主鈑桁橋	11	250	19	両面	25.5	1.119	28.53
2	単純非合成4主鈑桁橋	9	300	19	両面	25	1.145	28.63
11	4径間連続非合成2主箱桁橋	14	370	15	内側	24.24	1.093	26.50
9	6径間連続非合成少数(4主)鈑桁橋	13	590	24	両面	17	1.100	18.71
10	5径間連続非合成2箱桁橋	16	300	28	内側	10.4	1.082	11.25

Tmw：主桁ウェブ厚，Wtf：仕口フランジ幅，Ttf：仕口フランジ厚
目違いの影響度は水平目違いが 3mm の時の目違いの影響度
補剛材：「両面」は主桁ウェブ両面に、「内側」は箱桁ウェブ片面に補剛材が設置されているケース

今回，JSSC の疲労強度等級に定められる疲労強度等級をベースにして鉛直目違い，水平目違いの実橋梁の疲労設計に対する影響について検討を行った．その結果，特に疲労強度が低く，主桁に取りつく主桁ウェブ側回し溶接止端部に対する水平目違いの影響が大きいという結果となった。しかし，例えば水平目違いの影響は例えば主板表裏の脚長の差異がある場合とほぼ同等レベルの影響度となっており，目違いや溶接脚長の差異などは，疲労強度等級を決定するための疲労試験に用いられた膨大な数の疲労試験体にも含まれていると考えられる。例えば 3 章に紹介した DNV の規定のように，疲労強度等級を決定するために用いられた疲労試験体に含まれると考えられる目違い量を設定し，その値を発生する目違い量から差し引いた量から算定される目違いの影響度を用いて目違いの影響を考慮するなど，より現実的な対応およびそのための今後の検討が望まれ，本検討がその一助になることを期待したい。

§7 まとめ

本部会では，実橋に生じる目違い量の測定と目違いの影響度の解析的な検討から，橋梁の主桁ウェブと横桁下フランジの取り合い部の溶接継手に着目して，実橋における目違いの疲労への影響について検討を行った。以下に本部会の検討で得られた結果を簡単にまとめる。

【目違いの実測（第 4 章)】

実橋部材での目違いの計測では，橋梁工場にて実橋部材の目違いの影響を測定している。第 2,3 章の目違いに関する基準や，既往の研究の整理に示したように，本部会で対象としたディテールでは目違いの計測手法に関する基準がなく，また計測データも無いものと考えられる。本部会では橋梁という大型構造物における板表裏に溶接される十字継手を対象に,目違いの実情を把握することを目的に,三次元光波計測器およびデジタルカメラを用いて計測を試み，計 7 部材（9 計測）で鉛直目違い 0.6～3.6mm，水平目違いが 0.7～2.6mm という結果が得られた。また，目違い量を直接計測できる小型の十字溶接継手を製作して同様の環境設定で目違い計測を行い計測精度の確認を行った結果，計測精度は 1mm 未満と良好な結果であった。

【目違いの影響度（目違いによる応力上昇：第 5 章)】

第 3 章で紹介したように，目違いによる溶接部に作用する応力の上昇に関しては，継手レベルで従来から多くの研究がなされている。本部会では，特に溶接止端部応力やホットスポット応力ベースでの応力上昇に着目して，対象とした主桁ウェブと横桁下フランジの取り合い部を表現した三次元 FEM 解析モデルを用い，実橋で生じる可能性がある種々の目違い（鉛直目違い・水平目違い・主板のねじれ）の影響度について，継手寸法，拘束条件などに注目して検討を行った。その主な結果として

・十字継手モデルでは，端部の境界条件により目違いの影響度は大きく影響を受けるが，その付加曲げの大きさは IIW の目違い影響度の算定式で表現できる。但し，止端部での目違いの影響度（応力の上昇率）は，IIW の算定式とは若干異なり，今回用いたモデルでは算定式よりも小さな影響度となるモデルが多かった。

・十字継手モデル主板に縦板（主板を横桁フランジと考えた時の横桁ウェブ）を設けると，目違いの影響度は大きく低下する。その低下傾向は，目違いの影響度の大きい薄板で構成される十字継手ほど大きい結果となっている。

・特に上記縦板がある場合および回し溶接がある場合など目違いの影響度は，溶接止端部に沿い分布する。

また，実橋全体をモデル化した鈑桁橋モデルおよび箱桁橋モデルを用いて，鉛直目違い，水平目違いを導入した場合の応力上昇度についての検討を行った。その結果，特に単純鈑桁橋の対処部位（支間中央）直上載荷の場合には，目違いの影響度は該当ディテールを抜き出した継手モデル用いて概ね評価できることを示した。一方，箱桁橋の主桁ウェブを挟んで横桁とダイアフラムが連結されるディテールでは，5-1 で検討した継手モデルでは必ずしも目違いの影響度を考慮できていない結果となった。また，両橋梁ともに，橋梁上の載荷位置によっては，横桁の挙動が異なり目違いの影響度が変化する可能性がることも示しており，これらの点については今後の課題であると言える。

【実橋の疲労設計に対する目違いの影響評価（第 6 章)】

本部会で収集した種々の形式の 11 橋梁の設計計算書から対象ディテールの疲労設計応力範囲を算出し，第 4 章で計測した目違い量および第 5 章で解析した目違いの影響度を用いて，実橋における目

違いが疲労設計上どの程度影響を及ぼすかの検討を行った。そこでは，目違い測定結果を参考に鉛直目違いを 4mm，水平目違いを 3mm として算定を行っている。鉛直目違いを導入した場合には，目違いの影響度が最も大きくなる横桁一般部の目違い影響度を用いて算定したが 30%程度の応力上昇が生じるという結果となった。一方，主桁ウェブ側止端部に対して水平目違いの影響度を算定した結果，8～15%程度の応力上昇が生じる結果となった。横桁側止端部においては，疲労設計応力範囲が疲労限度と比較して小さいこともあり，目違いによる上記応力上昇を考慮しても，1 橋（疲労限度とほぼ同等の応力範囲）を除いて疲労限度を上回る橋梁はなかった。但し，止端部応力および目違いの影響度は横桁側止端部に沿い分布し，また補剛材の有無で応力分布も異なるため，FEM などを用いた詳細な疲労設計をする場合除き，格子計算などの設計計算により得られる応力範囲と本部会で詳細に解析した目違いの影響度をどのように対応させて疲労評価するか，今後の課題であると言える。

一方，水平目違いに対しては，主桁ウェブ側止端部の応力範囲が目違いを考慮しない場合でも疲労限度を超えているケースが見られ，上記応力上昇を考慮すると，疲労寿命が 66～79%程度に減少するという結果となった。

目違いが生じると，偏心による付加的な曲げにより溶接部に作用する応力が上昇する。そのため，目違いの発生は防止する，または最小限にとどめるよう留意する必要がある。但し，本部会で対象とした目違いに関しては，疲労設計に用いる疲労強度疲労強度等級を決定するための疲労試験に用いられた膨大な数の疲労試験体にも含まれていると考えられる。例えば 3 章に紹介した DNV の規定のように,疲労強度等級を決定するために用いられた疲労試験体に含まれると考えられる目違い量を設定し，その値を発生する目違い量から差し引いた量から算定される目違いの影響度を用いて目違いの影響を考慮するなど，より現実的な対応およびそのための今後の検討が望まれ，本検討がその一助になれば幸いである。

対象モデルのＧ１桁からＧ４桁の計算結果と荷重分配横桁の結果を示す。

(1) 照査条件

構造解析係数　　γa =　.800 (主桁) ,　γa =　.500 (分配横桁)
頻度補正係数　　γn =　0.030
一方向日大型車交通量　ADTT=　3000(台)
一方向車線数　　nL =　2(レーン)
設計で考慮する期間　Y =　100(年)
車線交通量偏り補正係数
レーン 1　γL =　1.000
レーン 2　γL =　1.000
レーン 3　γL =　1.000
レーン 4　γL =　1.000
疲労設計荷重載荷回数　nti= (ADTT/nL)・γL・γn・365・Y
レーン 1　=　1642500(回)
レーン 2　=　1642500(回)
レーン 3　=　1642500(回)
レーン 4　=　1642500(回)

(2) 照査式

最大応力範囲の照査　　Δσmax≦Δσce・CR・Ct

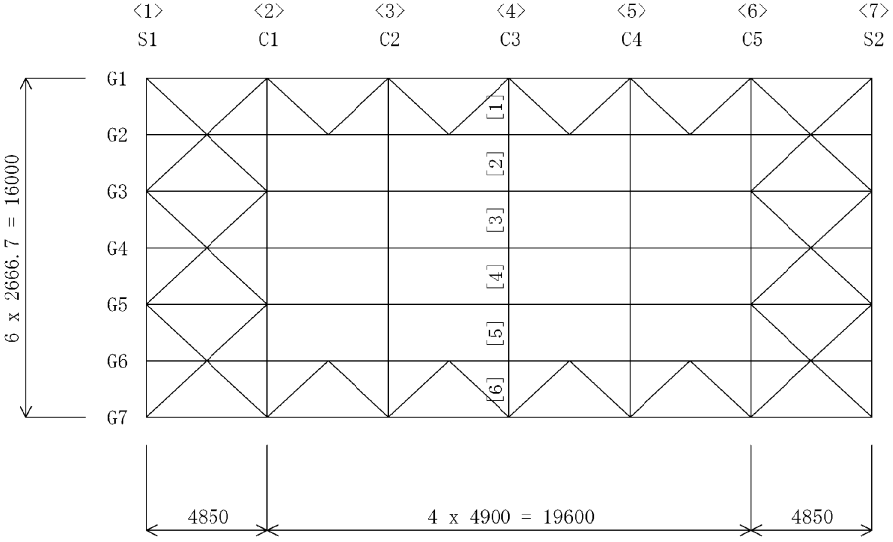
累積損傷度の照査　　累積損傷度D=Σi[Σj{nti/(C0・(CR・Ct)**m/Δσij**m)}] ≦1

ここに

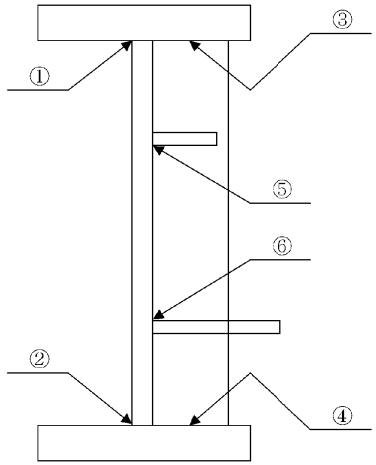
σtmax ：疲労T荷重による最大応力範囲照査用応力度［代数的最大値］(構造解析係数γa考慮後)
σtmin ：疲労T荷重による最大応力範囲照査用応力度［代数的最小値］(構造解析係数γa考慮後)
σd ：死荷重による応力度　(構造解析係数γa考慮後)
Δσmax：σtmax－σtmin
C0 ：2.0E+6・Δσf**m
Δσf ：直応力に対する 2.0E+6回基本許容応力範囲
m ：疲労設計曲線の傾きを表わすための係数
Δσce ：一定振幅応力の打ち切り限界としての直応力範囲
Δσve ：変動振幅応力の打ち切り限界としての直応力範囲
CR ：平均応力に関する補正係数
Ct ：板厚に関する補正係数

(3) 強度等級および照査位置

照査位置		強度等級 (MPa)	継手の種類
①	上フランジ首溶接部 (上フランジ最大応力度)	D(100)	縦方向継手-すみ肉溶接継手
②	下フランジ首溶接部 (下フランジ最大応力度)	D(100)	縦方向継手-すみ肉溶接継手
③	垂直補剛材上端部 (ウェブ上縁)	E(80)	十字溶接継手-荷重非伝達型 -非仕上げのすみ肉溶接継手
④	垂直補剛材下端部 (ウェブ下縁)	E(80)	十字溶接継手-荷重非伝達型 -非仕上げのすみ肉溶接継手
⑤	水平補剛材 (ウェブ水平補剛材)	G(50)	ガセット溶接継手-面外ガセット -すみ肉溶接継手(L>100 mm)
⑥	横桁仕口・ガセット部 (ウェブ下部任意点)	G(50)	ガセット溶接継手-面外ガセット -すみ肉溶接継手(L>100 mm)



※ < > 番号は、照査結果（主桁の電算帳票）における「格点番号」を示す。
※ [ ] 番号は、照査結果（横桁の電算帳票）における「パネル番号」を示す。

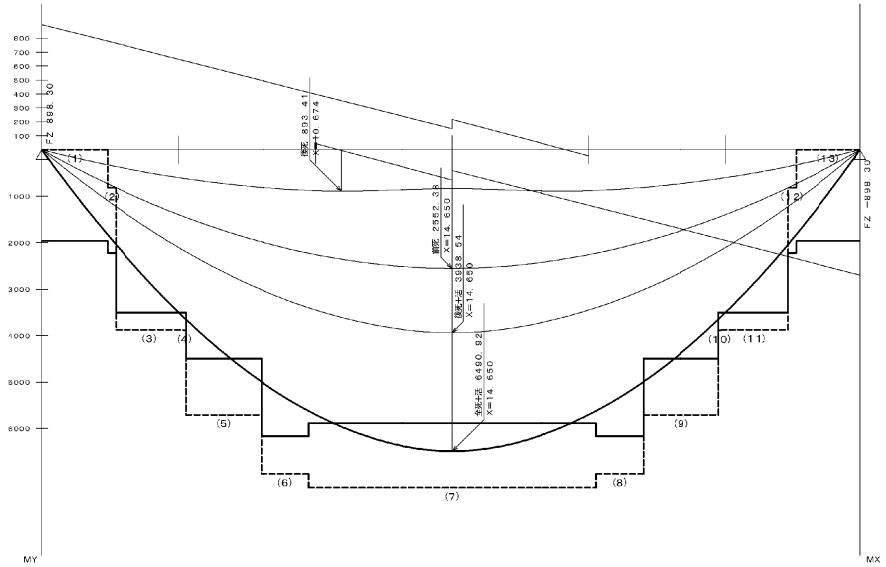


①	上フランジ首溶接部 (上フランジ最大応力度)
②	下フランジ首溶接部 (下フランジ最大応力度)
③	垂直補剛材上端部 (ウェブ上縁)
④	垂直補剛材下端部 (ウェブ下縁)
⑤	水平補剛材 (ウェブ水平補剛材)
⑥	横桁仕口・ガセット部 (ウェブ下部任意点)

※ ( ) 内は、照査結果（電算帳票）における表記を示す。

・Ｇ１桁

断面番号は、下図の（　）内数値である。



H05ME G1
格点　WEB-U-1　（ウェブ上縁）WEB－1

断面番号	格点番号	照査位置	ウエブ 高さ(mm)	ウエブ 厚さ(mm)	照査位置までの距離	σtmax (N/mm2)	σtmin (N/mm2)	σd (N/mm2)	強度等級（Δσf）	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度D
1	1	格点右	1600	10	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	< 80.6	
3	2	格点左	1600	12	0	-2.6	-4.0	-141.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	1.4	< 80.6	
3	2	格点右	1600	12	0	-2.6	-4.0	-141.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	1.4	< 80.6	
7	3	格点左	1600	16	0	-6.0	-9.9	-172.2	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	3.9	< 80.6	
7	3	格点右	1600	16	0	-6.0	-9.9	-172.2	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	3.9	< 80.6	
7	4	格点左	1600	16	0	-6.3	-11.3	-194.5	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	5.0	< 80.6	
7	4	格点右	1600	16	0	-6.3	-11.3	-194.5	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	5.0	< 80.6	
7	5	格点左	1600	16	0	-6.0	-9.9	-172.2	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	3.9	< 80.6	
7	5	格点右	1600	16	0	-6.0	-9.9	-172.2	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	3.9	< 80.6	
11	6	格点左	1600	12	0	-2.6	-4.0	-141.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	1.4	< 80.6	
11	6	格点右	1600	12	0	-2.6	-4.0	-141.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	1.4	< 80.6	
13	7	格点左	1600	10	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	< 80.6	

H05ME G1
格点　WEB-L-1　（ウェブ下縁）WEB－1

断面番号	格点番号	照査位置	ウエブ 高さ(mm)	ウエブ 厚さ(mm)	照査位置までの距離	σtmax (N/mm2)	σtmin (N/mm2)	σd (N/mm2)	強度等級（Δσf）	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度D
1	1	格点右	1600	16	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	< 80.6	
3	2	格点左	1600	16	0	107.3	69.4	128.5	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	37.9	< 62.0	
3	2	格点右	1600	16	0	107.3	69.4	128.5	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	37.9	< 62.0	
7	3	格点左	1600	25	0	133.6	81.2	143.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	52.4	< 62.0	
7	3	格点右	1600	25	0	133.6	81.2	143.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	52.4	< 62.0	
7	4	格点左	1600	25	0	152.5	85.5	156.3	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	67.0	> 62.0	0.33<1
7	4	格点右	1600	25	0	152.5	85.5	156.3	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	67.0	> 62.0	0.33<1
7	5	格点左	1600	25	0	133.6	81.2	143.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	52.4	< 62.0	
7	5	格点右	1600	25	0	133.6	81.2	143.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	52.4	< 62.0	
11	6	格点左	1600	16	0	107.3	69.4	128.5	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	37.9	< 62.0	
11	6	格点右	1600	16	0	107.3	69.4	128.5	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	37.9	< 62.0	
13	7	格点左	1600	16	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	< 80.6	

H05ME G1
格点　U.FLG-MAX（上フランジ最大応力度）

断面番号	格点番号	照査位置	フランジ板厚(mm)	垂直応力度 σtmax (N/mm2)	垂直応力度 σtmin (N/mm2)	垂直応力度 σd (N/mm2)	強度等級（Δσf）	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度D
1	1	格点右	10	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	
3	2	格点左	12	-3.1	-4.8	-143.1	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.7	<109.2	
3	2	格点右	12	-3.1	-4.8	-143.1	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.7	<109.2	
7	3	格点左	16	-6.9	-11.3	-175.4	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	4.4	<109.2	
7	3	格点右	16	-6.9	-11.3	-175.4	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	4.4	<109.2	
7	4	格点左	16	-7.2	-12.9	-198.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	5.7	<109.2	
7	4	格点右	16	-7.2	-12.9	-198.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	5.7	<109.2	
7	5	格点左	16	-6.9	-11.3	-175.4	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	4.4	<109.2	
7	5	格点右	16	-6.9	-11.3	-175.4	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	4.4	<109.2	
11	6	格点左	12	-3.1	-4.8	-143.1	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.7	<109.2	
11	6	格点右	12	-3.1	-4.8	-143.1	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.7	<109.2	
13	7	格点左	10	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	

H05ME G1
格点　HSTIFF-1　（ウェブ水平補剛材）WEB－1

断面番号	格点番号	照査位置	ウエブ 高さ(mm)	ウエブ 厚さ(mm)	照査位置までの距離	σtmax (N/mm2)	σtmin (N/mm2)	σd (N/mm2)	強度等級（Δσf）	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度D
1	1	格点右	1600	9	320	0.0	0.0	0.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	0.0	< 41.6	
3	2	格点左	1600	9	320	18.3	11.8	-87.1	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	6.5	< 41.6	
3	2	格点右	1600	9	320	18.3	11.8	-87.1	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	6.5	< 41.6	
7	3	格点左	1600	9	320	18.8	11.4	-109.2	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	7.4	< 41.6	
7	3	格点右	1600	9	320	18.8	11.4	-109.2	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	7.4	< 41.6	
7	4	格点左	1600	9	320	21.5	12.0	-124.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	9.4	< 41.6	
7	4	格点右	1600	9	320	21.5	12.0	-124.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	9.4	< 41.6	
7	5	格点左	1600	9	320	18.8	11.4	-109.2	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	7.4	< 41.6	
7	5	格点右	1600	9	320	18.8	11.4	-109.2	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	7.4	< 41.6	
11	6	格点左	1600	9	320	18.3	11.8	-87.1	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	6.5	< 41.6	
11	6	格点右	1600	9	320	18.3	11.8	-87.1	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	6.5	< 41.6	
13	7	格点左	1600	9	320	0.0	0.0	0.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	0.0	< 41.6	

H05ME G1
格点　L.FLG-MAX（下フランジ最大応力度）

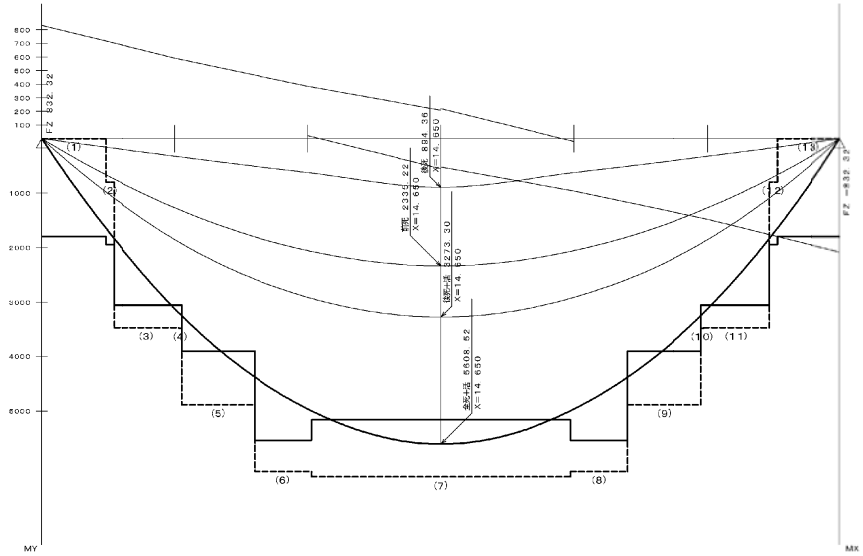
断面番号	格点番号	照査位置	フランジ板厚(mm)	垂直応力度 σtmax (N/mm2)	垂直応力度 σtmin (N/mm2)	垂直応力度 σd (N/mm2)	強度等級（Δσf）	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度D
1	1	格点右	16	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	
3	2	格点左	16	108.4	70.1	131.2	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	38.3	< 84.0	
3	2	格点右	16	108.4	70.1	131.2	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	38.3	< 84.0	
7	3	格点左	25	135.8	82.6	148.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	53.2	< 84.0	
7	3	格点右	25	135.8	82.6	148.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	53.2	< 84.0	
7	4	格点左	25	155.1	86.9	161.8	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	68.1	< 84.0	
7	4	格点右	25	155.1	86.9	161.8	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	68.1	< 84.0	
7	5	格点左	25	135.8	82.6	148.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	53.2	< 84.0	
7	5	格点右	25	135.8	82.6	148.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	53.2	< 84.0	
11	6	格点左	16	108.4	70.1	131.2	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	38.3	< 84.0	
11	6	格点右	16	108.4	70.1	131.2	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	38.3	< 84.0	
13	7	格点左	16	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	

H05ME G1
格点　POINT-L-1　（ウェブ 下部任意点）WEB－1

断面番号	格点番号	照査位置	ウエブ 高さ(mm)	ウエブ 厚さ(mm)	照査位置までの距離	σtmax (N/mm2)	σtmin (N/mm2)	σd (N/mm2)	強度等級（Δσf）	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度D
1	1	格点右	1600	9	278	0.0	0.0	0.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	0.0	< 41.6	
3	2	格点左	1600	9	278	88.0	56.9	81.6	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	31.1	< 32.0	
3	2	格点右	1600	9	278	88.0	56.9	81.6	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	31.1	< 32.0	
7	3	格点左	1600	9	278	108.7	66.1	88.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	42.6	> 32.0	0.37<1
7	3	格点右	1600	9	278	108.7	66.1	88.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	42.6	> 32.0	0.37<1
7	4	格点左	1600	9	278	124.0	69.5	95.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	54.5	> 32.0	0.79<1
7	4	格点右	1600	9	278	124.0	69.5	95.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	54.5	> 32.0	0.79<1
7	5	格点左	1600	9	278	108.7	66.1	88.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	42.6	> 32.0	0.37<1
7	5	格点右	1600	9	278	108.7	66.1	88.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	42.6	> 32.0	0.37<1
11	6	格点左	1600	9	278	88.0	56.9	81.6	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	31.1	< 32.0	
11	6	格点右	1600	9	278	88.0	56.9	81.6	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	31.1	< 32.0	
13	7	格点左	1600	9	278	0.0	0.0	0.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	0.0	< 41.6	

・Ｇ２桁

断面番号は、下図の（　）内数値である。



H05ME G2
格点　U.FLG-MAX（上フランジ最大応力度）

断面番号	格点番号	照査位置	フランジ板厚(mm)	垂直応力度 σtmax (N/mm2)	垂直応力度 σtmin (N/mm2)	垂直応力度 σd (N/mm2)	強度等級（Δσf）	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度D
1	1	格点右	10	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	
3	2	格点左	12	-1.3	-2.5	-135.6	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.3	<109.2	
3	2	格点右	12	-1.3	-2.5	-135.6	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.3	<109.2	
6	3	格点左	15	-4.8	-8.4	-167.8	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	3.6	<109.2	
6	3	格点右	15	-4.8	-8.4	-167.8	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	3.6	<109.2	
7	4	格点左	15	-5.2	-7.8	-194.3	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	2.6	<109.2	
7	4	格点右	15	-5.2	-7.8	-194.3	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	2.6	<109.2	
8	5	格点左	15	-4.8	-8.4	-167.8	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	3.6	<109.2	
8	5	格点右	15	-4.8	-8.4	-167.8	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	3.6	<109.2	
11	6	格点左	12	-1.3	-2.5	-135.6	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.3	<109.2	
11	6	格点右	12	-1.3	-2.5	-135.6	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.3	<109.2	
13	7	格点左	10	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	

H05ME G2
格点　L.FLG-MAX（下フランジ最大応力度）

断面番号	格点番号	照査位置	フランジ板厚(mm)	垂直応力度 σtmax (N/mm2)	垂直応力度 σtmin (N/mm2)	垂直応力度 σd (N/mm2)	強度等級（Δσf）	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度D
1	1	格点右	14	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	
3	2	格点左	14	129.2	64.9	124.9	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	64.3	<84.0	
3	2	格点右	14	129.2	64.9	124.9	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	64.3	<84.0	
6	3	格点左	26	132.5	76.0	134.9	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	0.990	56.5	<83.2	
6	3	格点右	26	132.5	76.0	134.9	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	0.990	56.5	<83.2	
7	4	格点左	23	148.0	98.7	173.9	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	49.2	<84.0	
7	4	格点右	23	148.0	98.7	173.9	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	49.2	<84.0	
8	5	格点左	26	132.5	76.0	134.9	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	0.990	56.5	<83.2	
8	5	格点右	26	132.5	76.0	134.9	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	0.990	56.5	<83.2	
11	6	格点左	14	129.2	64.9	124.9	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	64.3	<84.0	
11	6	格点右	14	129.2	64.9	124.9	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	64.3	<84.0	
13	7	格点左	14	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	

H05ME G2
格点　WEB-U-1　（ウェブ上縁）WEB－1

断面番号	格点番号	照査位置	ウエブ 高さ(mm)	ウエブ 厚さ(mm)	照査位置までの距離	σtmax (N/mm2)	σtmin (N/mm2)	σd (N/mm2)	強度等級（Δσf）	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度D
1	1	格点右	1600	10	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	<80.6	
3	2	格点左	1600	12	0	-0.8	-1.6	-133.7	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.8	<80.6	
3	2	格点右	1600	12	0	-0.8	-1.6	-133.7	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.8	<80.6	
6	3	格点左	1600	15	0	-4.1	-7.1	-165.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	3.0	<80.6	
6	3	格点右	1600	15	0	-4.1	-7.1	-165.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	3.0	<80.6	
7	4	格点左	1600	15	0	-4.3	-6.4	-191.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	2.1	<80.6	
7	4	格点右	1600	15	0	-4.3	-6.4	-191.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	2.1	<80.6	
8	5	格点左	1600	15	0	-4.1	-7.1	-165.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	3.0	<80.6	
8	5	格点右	1600	15	0	-4.1	-7.1	-165.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	3.0	<80.6	
11	6	格点左	1600	12	0	-0.8	-1.6	-133.7	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.8	<80.6	
11	6	格点右	1600	12	0	-0.8	-1.6	-133.7	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.8	<80.6	
13	7	格点左	1600	10	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	<80.6	

H05ME G2
格点　WEB-L-1　（ウェブ下縁）WEB－1

断面番号	格点番号	照査位置	ウエブ 高さ(mm)	ウエブ 厚さ(mm)	照査位置までの距離	σtmax (N/mm2)	σtmin (N/mm2)	σd (N/mm2)	強度等級（Δσf）	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度D
1	1	格点右	1600	14	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	<80.6	
3	2	格点左	1600	14	0	128.1	64.3	122.7	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	63.7	>62.0	0.39<1
3	2	格点右	1600	14	0	128.1	64.3	122.7	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	63.7	>62.0	0.39<1
6	3	格点左	1600	26	0	130.3	74.7	130.1	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	0.990	55.5	<61.4	
6	3	格点右	1600	26	0	130.3	74.7	130.1	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	0.990	55.5	<61.4	
7	4	格点左	1600	23	0	145.8	97.3	168.8	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	48.5	<62.0	
7	4	格点右	1600	23	0	145.8	97.3	168.8	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	48.5	<62.0	
8	5	格点左	1600	26	0	130.3	74.7	130.1	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	0.990	55.5	<61.4	
8	5	格点右	1600	26	0	130.3	74.7	130.1	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	0.990	55.5	<61.4	
11	6	格点左	1600	14	0	128.1	64.3	122.7	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	63.7	>62.0	0.39<1
11	6	格点右	1600	14	0	128.1	64.3	122.7	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	63.7	>62.0	0.39<1
13	7	格点左	1600	14	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	<80.6	

H05ME G2
格点　HSTIFF-1　（ウェブ水平補剛材）WEB－1

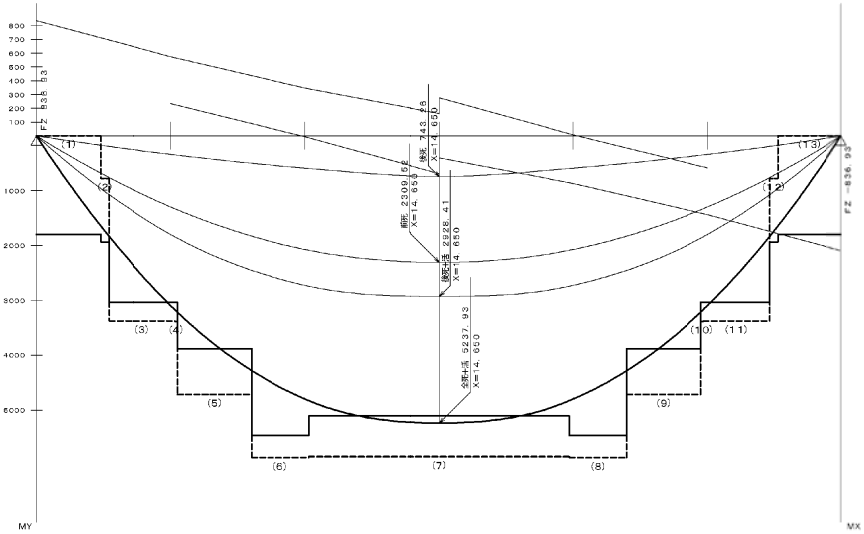
断面番号	格点番号	照査位置	ウエブ 高さ(mm)	ウエブ 厚さ(mm)	照査位置までの距離	σtmax (N/mm2)	σtmin (N/mm2)	σd (N/mm2)	強度等級（Δσf）	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度D
1	1	格点右	1600	9	320	0.0	0.0	0.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	0.0	<41.6	
3	2	格点左	1600	9	320	24.4	12.2	-82.4	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	12.1	<41.6	
3	2	格点右	1600	9	320	24.4	12.2	-82.4	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	12.1	<41.6	
6	3	格点左	1600	9	320	20.4	11.7	-106.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	8.7	<41.6	
6	3	格点右	1600	9	320	20.4	11.7	-106.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	8.7	<41.6	
7	4	格点左	1600	9	320	24.1	16.0	-119.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	8.0	<41.6	
7	4	格点右	1600	9	320	24.1	16.0	-119.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	8.0	<41.6	
8	5	格点左	1600	9	320	20.4	11.7	-106.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	8.7	<41.6	
8	5	格点右	1600	9	320	20.4	11.7	-106.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	8.7	<41.6	
11	6	格点左	1600	9	320	24.4	12.2	-82.4	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	12.1	<41.6	
11	6	格点右	1600	9	320	24.4	12.2	-82.4	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	12.1	<41.6	
13	7	格点左	1600	9	320	0.0	0.0	0.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	0.0	<41.6	

H05ME G2
格点　POINT-L-1　（ウェブ下部任意点）WEB－1

断面番号	格点番号	照査位置	ウエブ 高さ(mm)	ウエブ 厚さ(mm)	照査位置までの距離	σtmax (N/mm2)	σtmin (N/mm2)	σd (N/mm2)	強度等級（Δσf）	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度D
1	1	格点右	1600	9	278	0.0	0.0	0.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	0.0	<41.6	
3	2	格点左	1600	9	278	105.5	53.0	78.2	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	52.5	>32.0	0.95<1
3	2	格点右	1600	9	278	105.5	53.0	78.2	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	52.5	>32.0	0.95<1
6	3	格点左	1600	9	278	106.4	61.0	78.8	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	45.4	>32.0	0.63<1
6	3	格点右	1600	9	278	106.4	61.0	78.8	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	45.4	>32.0	0.63<1
7	4	格点左	1600	9	278	119.4	79.6	106.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	39.7	>32.0	0.49<1
7	4	格点右	1600	9	278	119.4	79.6	106.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	39.7	>32.0	0.49<1
8	5	格点左	1600	9	278	106.4	61.0	78.8	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	45.4	>32.0	0.63<1
8	5	格点右	1600	9	278	106.4	61.0	78.8	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	45.4	>32.0	0.63<1
11	6	格点左	1600	9	278	105.5	53.0	78.2	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	52.5	>32.0	0.95<1
11	6	格点右	1600	9	278	105.5	53.0	78.2	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	52.5	>32.0	0.95<1
13	7	格点左	1600	9	278	0.0	0.0	0.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	0.0	<41.6	

・Ｇ３桁

断面番号は、下図の（　）内数値である。



H05ME G3
格点　U.FLG-MAX（上フランジ最大応力度）

断面番号	格点番号	照査位置	フランジ板厚(mm)	垂直応力度 σtmax (N/mm2)	垂直応力度 σtmin (N/mm2)	垂直応力度 σd (N/mm2)	強度等級（Δσf）	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度D
1	1	格点右	10	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	
3	2	格点左	12	−1.3	−2.5	−138.7	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.2	<109.2	
3	2	格点右	12	−1.3	−2.5	−138.7	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.2	<109.2	
6	3	格点左	15	−4.9	−8.0	−169.4	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	3.1	<109.2	
6	3	格点右	15	−4.9	−8.0	−169.4	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	3.1	<109.2	
7	4	格点左	15	−5.0	−6.9	−191.9	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.9	<109.2	
7	4	格点右	15	−5.0	−6.9	−191.9	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.9	<109.2	
8	5	格点左	15	−4.9	−8.0	−169.4	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	3.1	<109.2	
8	5	格点右	15	−4.9	−8.0	−169.4	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	3.1	<109.2	
11	6	格点左	12	−1.3	−2.5	−138.7	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.2	<109.2	
11	6	格点右	12	−1.3	−2.5	−138.7	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.2	<109.2	
13	7	格点左	10	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	

H05ME G3
格点　L.FLG-MAX（下フランジ最大応力度）

断面番号	格点番号	照査位置	フランジ板厚(mm)	垂直応力度 σtmax (N/mm2)	垂直応力度 σtmin (N/mm2)	垂直応力度 σd (N/mm2)	強度等級（Δσf）	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度D
1	1	格点右	14	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	
3	2	格点左	14	128.7	67.8	128.2	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	60.9	< 84.0	
3	2	格点右	14	128.7	67.8	128.2	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	60.9	< 84.0	
6	3	格点左	26	126.4	77.1	134.7	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	0.990	49.3	< 83.2	
6	3	格点右	26	126.4	77.1	134.7	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	0.990	49.3	< 83.2	
7	4	格点左	23	131.6	95.6	166.5	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	35.9	< 84.0	
7	4	格点右	23	131.6	95.6	166.5	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	35.9	< 84.0	
8	5	格点左	26	126.4	77.1	134.7	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	0.990	49.3	< 83.2	
8	5	格点右	26	126.4	77.1	134.7	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	0.990	49.3	< 83.2	
11	6	格点左	14	128.7	67.8	128.2	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	60.9	< 84.0	
11	6	格点右	14	128.7	67.8	128.2	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	60.9	< 84.0	
13	7	格点左	14	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	

H05ME G3
格点　WEB-U-1　（ウェブ上縁）WEB－1

断面番号	格点番号	照査位置	ウエブ 高さ(mm)	ウエブ 厚さ(mm)	照査位置までの距離	σtmax	σtmin (N/mm2)	σd	強度等級（Δσf）	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度D
1	1	格点右	1600	10	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	< 80.6	
3	2	格点左	1600	12	0	−0.8	−1.6	−136.7	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.7	< 80.6	
3	2	格点右	1600	12	0	−0.8	−1.6	−136.7	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.7	< 80.6	
6	3	格点左	1600	15	0	−4.1	−6.8	−166.6	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	2.6	< 80.6	
6	3	格点右	1600	15	0	−4.1	−6.8	−166.6	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	2.6	< 80.6	
7	4	格点左	1600	15	0	−4.1	−5.7	−188.6	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	1.6	< 80.6	
7	4	格点右	1600	15	0	−4.1	−5.7	−188.6	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	1.6	< 80.6	
8	5	格点左	1600	15	0	−4.1	−6.8	−166.6	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	2.6	< 80.6	
8	5	格点右	1600	15	0	−4.1	−6.8	−166.6	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	2.6	< 80.6	
11	6	格点左	1600	12	0	−0.8	−1.6	−136.7	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.7	< 80.6	
11	6	格点右	1600	12	0	−0.8	−1.6	−136.7	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.7	< 80.6	
13	7	格点左	1600	10	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	< 80.6	

H05ME G3
格点　WEB-L-1　（ウェブ下縁）WEB－1

断面番号	格点番号	照査位置	ウエブ 高さ(mm)	ウエブ 厚さ(mm)	照査位置までの距離	σtmax	σtmin (N/mm2)	σd	強度等級（Δσf）	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度D
1	1	格点右	1600	14	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	< 80.6	
3	2	格点左	1600	14	0	127.6	67.2	125.9	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	60.4	< 62.0	
3	2	格点右	1600	14	0	127.6	67.2	125.9	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	60.4	< 62.0	
6	3	格点左	1600	26	0	124.2	75.8	129.9	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	0.990	48.4	< 61.4	
6	3	格点右	1600	26	0	124.2	75.8	129.9	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	0.990	48.4	< 61.4	
7	4	格点左	1600	23	0	129.6	94.2	161.5	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	35.4	< 62.0	
7	4	格点右	1600	23	0	129.6	94.2	161.5	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	35.4	< 62.0	
8	5	格点左	1600	26	0	124.2	75.8	129.9	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	0.990	48.4	< 61.4	
8	5	格点右	1600	26	0	124.2	75.8	129.9	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	0.990	48.4	< 61.4	
11	6	格点左	1600	14	0	127.6	67.2	125.9	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	60.4	< 62.0	
11	6	格点右	1600	14	0	127.6	67.2	125.9	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	60.4	< 62.0	
13	7	格点左	1600	14	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	< 80.6	

H05ME G3
格点　HSTIFF-1　（ウェブ水平補剛材）WEB－1

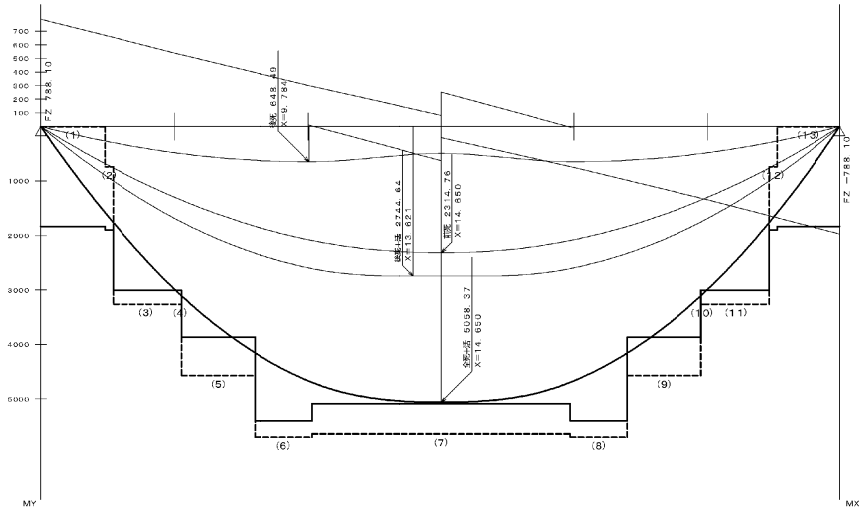
断面番号	格点番号	照査位置	ウエブ 高さ(mm)	ウエブ 厚さ(mm)	照査位置までの距離	σtmax	σtmin (N/mm2)	σd	強度等級（Δσf）	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度D
1	1	格点右	1600	9	320	0.0	0.0	0.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	0.0	< 41.6	
3	2	格点左	1600	9	320	24.3	12.8	−84.2	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	11.5	< 41.6	
3	2	格点右	1600	9	320	24.3	12.8	−84.2	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	11.5	< 41.6	
6	3	格点左	1600	9	320	19.4	11.9	−107.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	7.6	< 41.6	
6	3	格点右	1600	9	320	19.4	11.9	−107.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	7.6	< 41.6	
7	4	格点左	1600	9	320	21.4	15.5	−118.6	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	5.8	< 41.6	
7	4	格点右	1600	9	320	21.4	15.5	−118.6	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	5.8	< 41.6	
8	5	格点左	1600	9	320	19.4	11.9	−107.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	7.6	< 41.6	
8	5	格点右	1600	9	320	19.4	11.9	−107.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	7.6	< 41.6	
11	6	格点左	1600	9	320	24.3	12.8	−84.2	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	11.5	< 41.6	
11	6	格点右	1600	9	320	24.3	12.8	−84.2	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	11.5	< 41.6	
13	7	格点左	1600	9	320	0.0	0.0	0.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	0.0	< 41.6	

H05ME G3
格点　POINT-L-1　（ウェブ下部任意点）WEB－1

断面番号	格点番号	照査位置	ウエブ 高さ(mm)	ウエブ 厚さ(mm)	照査位置までの距離	σtmax	σtmin (N/mm2)	σd	強度等級（Δσf）	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度D
1	1	格点右	1600	9	278	0.0	0.0	0.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	0.0	< 41.6	
3	2	格点左	1600	9	278	105.1	55.4	80.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	49.8	> 32.0	0.81<1
3	2	格点右	1600	9	278	105.1	55.4	80.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	49.8	> 32.0	0.81<1
6	3	格点左	1600	9	278	101.5	61.9	78.4	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	39.6	> 32.0	0.41<1
6	3	格点右	1600	9	278	101.5	61.9	78.4	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	39.6	> 32.0	0.41<1
7	4	格点左	1600	9	278	106.1	77.1	100.6	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	29.0	< 32.0	
7	4	格点右	1600	9	278	106.1	77.1	100.6	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	29.0	< 32.0	
8	5	格点左	1600	9	278	101.5	61.9	78.4	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	39.6	> 32.0	0.41<1
8	5	格点右	1600	9	278	101.5	61.9	78.4	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	39.6	> 32.0	0.41<1
11	6	格点左	1600	9	278	105.1	55.4	80.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	49.8	> 32.0	0.81<1
11	6	格点右	1600	9	278	105.1	55.4	80.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	49.8	> 32.0	0.81<1
13	7	格点左	1600	9	278	0.0	0.0	0.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	0.0	< 41.6	

・Ｇ４桁

断面番号は、下図の（　）内数値である。



H05ME G4
格点　U.FLG-MAX（上フランジ最大応力度）

断面番号	格点番号	照査位置	フランジ板厚 (mm)	垂直応力度 σtmax (N/mm2)	垂直応力度 σtmin (N/mm2)	垂直応力度 σd (N/mm2)	強度等級 (Δσf)	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度 D
1	1	格点右	10	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	
3	2	格点左	12	-1.5	-1.8	-139.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.3	<109.2	
3	2	格点右	12	-1.5	-1.8	-139.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.3	<109.2	
6	3	格点左	15	-5.0	-6.4	-169.8	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.4	<109.2	
6	3	格点右	15	-5.0	-6.4	-169.8	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.4	<109.2	
7	4	格点左	15	-4.6	-6.2	-191.8	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.6	<109.2	
7	4	格点右	15	-4.6	-6.2	-191.8	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.6	<109.2	
8	5	格点左	15	-5.0	-6.4	-169.8	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.4	<109.2	
8	5	格点右	15	-5.0	-6.4	-169.8	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	1.4	<109.2	
11	6	格点左	12	-1.5	-1.8	-139.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.3	<109.2	
11	6	格点右	12	-1.5	-1.8	-139.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.3	<109.2	
13	7	格点左	10	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	

H05ME G4
格点　L.FLG-MAX（下フランジ最大応力度）

断面番号	格点番号	照査位置	フランジ板厚 (mm)	垂直応力度 σtmax (N/mm2)	垂直応力度 σtmin (N/mm2)	垂直応力度 σd (N/mm2)	強度等級 (Δσf)	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度 D
1	1	格点右	14	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	
3	2	格点左	14	90.1	73.8	135.7	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	16.3	< 84.0	
3	2	格点右	14	90.1	73.8	135.7	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	16.3	< 84.0	
6	3	格点左	26	100.4	78.9	137.1	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	0.990	21.4	< 83.2	
6	3	格点右	26	100.4	78.9	137.1	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	0.990	21.4	< 83.2	
7	4	格点左	23	117.9	88.0	157.1	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	29.9	< 84.0	
7	4	格点右	23	117.9	88.0	157.1	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	29.9	< 84.0	
8	5	格点左	26	100.4	78.9	137.1	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	0.990	21.4	< 83.2	
8	5	格点右	26	100.4	78.9	137.1	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	0.990	21.4	< 83.2	
11	6	格点左	14	90.1	73.8	135.7	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	16.3	< 84.0	
11	6	格点右	14	90.1	73.8	135.7	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	16.3	< 84.0	
13	7	格点左	14	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	

H05ME G4
格点　WEB-U-1　（ウェブ上縁）WEB－1

断面番号	格点番号	照査位置	ウエブ高さ (mm)	ウエブ厚さ (mm)	照査位置までの距離	σtmax (N/mm2)	σtmin (N/mm2)	σd	強度等級 (Δσf)	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度 D
1	1	格点右	1600	10	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	< 80.6	
3	2	格点左	1600	12	0	-0.9	-1.1	-137.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.2	< 80.6	
3	2	格点右	1600	12	0	-0.9	-1.1	-137.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.2	< 80.6	
6	3	格点左	1600	15	0	-4.2	-5.4	-167.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	1.1	< 80.6	
6	3	格点右	1600	15	0	-4.2	-5.4	-167.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	1.1	< 80.6	
7	4	格点左	1600	15	0	-3.8	-5.1	-188.6	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	1.3	< 80.6	
7	4	格点右	1600	15	0	-3.8	-5.1	-188.6	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	1.3	< 80.6	
8	5	格点左	1600	15	0	-4.2	-5.4	-167.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	1.1	< 80.6	
8	5	格点右	1600	15	0	-4.2	-5.4	-167.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	1.1	< 80.6	
11	6	格点左	1600	12	0	-0.9	-1.1	-137.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.2	< 80.6	
11	6	格点右	1600	12	0	-0.9	-1.1	-137.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.2	< 80.6	
13	7	格点左	1600	10	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	< 80.6	

H05ME G4
格点　WEB-L-1　（ウェブ下縁）WEB－1

断面番号	格点番号	照査位置	ウエブ高さ (mm)	ウエブ厚さ (mm)	照査位置までの距離	σtmax (N/mm2)	σtmin (N/mm2)	σd	強度等級 (Δσf)	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度 D
1	1	格点右	1600	14	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	< 80.6	
3	2	格点左	1600	14	0	89.3	73.1	133.4	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	16.2	< 62.0	
3	2	格点右	1600	14	0	89.3	73.1	133.4	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	16.2	< 62.0	
6	3	格点左	1600	26	0	98.7	77.6	132.3	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	0.990	21.1	< 61.4	
6	3	格点右	1600	26	0	98.7	77.6	132.3	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	0.990	21.1	< 61.4	
7	4	格点左	1600	23	0	116.2	86.7	152.2	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	29.5	< 62.0	
7	4	格点右	1600	23	0	116.2	86.7	152.2	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	29.5	< 62.0	
8	5	格点左	1600	26	0	98.7	77.6	132.3	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	0.990	21.1	< 61.4	
8	5	格点右	1600	26	0	98.7	77.6	132.3	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	0.990	21.1	< 61.4	
11	6	格点左	1600	14	0	89.3	73.1	133.4	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	16.2	< 62.0	
11	6	格点右	1600	14	0	89.3	73.1	133.4	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	16.2	< 62.0	
13	7	格点左	1600	14	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	< 80.6	

H05ME G4
格点　HSTIFF-1　（ウェブ水平補剛材）WEB－1

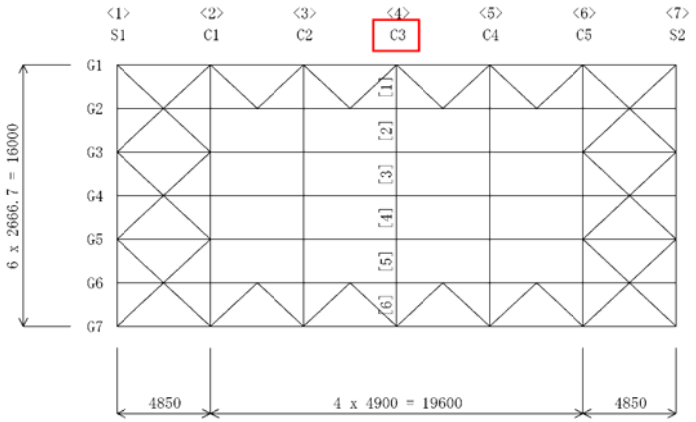
断面番号	格点番号	照査位置	ウエブ高さ (mm)	ウエブ厚さ (mm)	照査位置までの距離	σtmax (N/mm2)	σtmin (N/mm2)	σd	強度等級 (Δσf)	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度 D
1	1	格点右	1600	9	320	0.0	0.0	0.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	0.0	< 41.6	
3	2	格点左	1600	9	320	17.0	13.9	-82.9	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	3.1	< 41.6	
3	2	格点右	1600	9	320	17.0	13.9	-82.9	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	3.1	< 41.6	
6	3	格点左	1600	9	320	15.4	12.1	-107.1	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	3.3	< 41.6	
6	3	格点右	1600	9	320	15.4	12.1	-107.1	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	3.3	< 41.6	
7	4	格点左	1600	9	320	19.2	14.3	-120.5	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	4.9	< 41.6	
7	4	格点右	1600	9	320	19.2	14.3	-120.5	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	4.9	< 41.6	
8	5	格点左	1600	9	320	15.4	12.1	-107.1	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	3.3	< 41.6	
8	5	格点右	1600	9	320	15.4	12.1	-107.1	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	3.3	< 41.6	
11	6	格点左	1600	9	320	17.0	13.9	-82.9	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	3.1	< 41.6	
11	6	格点右	1600	9	320	17.0	13.9	-82.9	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	3.1	< 41.6	
13	7	格点左	1600	9	320	0.0	0.0	0.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	0.0	< 41.6	

H05ME G4
格点　POINT-L-1　（ウェブ下部任意点）WEB－1

断面番号	格点番号	照査位置	ウエブ高さ (mm)	ウエブ厚さ (mm)	照査位置までの距離	σtmax (N/mm2)	σtmin (N/mm2)	σd	強度等級 (Δσf)	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度 D
1	1	格点右	1600	9	278	0.0	0.0	0.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	0.0	< 41.6	
3	2	格点左	1600	9	278	73.6	60.3	86.4	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	13.3	< 32.0	
3	2	格点右	1600	9	278	73.6	60.3	86.4	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	13.3	< 32.0	
6	3	格点左	1600	9	278	80.6	63.4	80.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	17.2	< 32.0	
6	3	格点右	1600	9	278	80.6	63.4	80.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	17.2	< 32.0	
7	4	格点左	1600	9	278	95.1	71.0	93.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	24.1	< 32.0	
7	4	格点右	1600	9	278	95.1	71.0	93.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	24.1	< 32.0	
8	5	格点左	1600	9	278	80.6	63.4	80.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	17.2	< 32.0	
8	5	格点右	1600	9	278	80.6	63.4	80.3	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	17.2	< 32.0	
11	6	格点左	1600	9	278	73.6	60.3	86.4	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	13.3	< 32.0	
11	6	格点右	1600	9	278	73.6	60.3	86.4	G (50)	32.0	3	15.0	1.000	1.000	13.3	< 32.0	
13	7	格点左	1600	9	278	0.0	0.0	0.0	G (50)	32.0	3	15.0	1.300	1.000	0.0	< 41.6	

・荷重分配横桁

対象箇所は、下図赤枠にて囲んだ位置の荷重分配横桁である。



H05ME 分配横桁
格点 U.FLG-MAX（上フランジ最大応力度）

断面番号	格点番号	照査位置	フランジ板厚 (mm)	垂直応力度 σtmax (N/mm2)	垂直応力度 σtmin (N/mm2)	垂直応力度 σd (N/mm2)	強度等級 (Δσf)	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度 D
C3	1	横桁左	22	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	
C3	1	横桁右	22	4.1	-13.3	16.4	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	17.4	< 84.0	
C3	2	横桁左	22	4.1	-13.3	16.4	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	17.4	< 84.0	
C3	2	横桁右	22	9.3	-27.9	8.1	D (100)	84.0	3	39.0	1.015	1.000	37.2	< 85.2	
C3	3	横桁左	22	9.3	-27.9	8.1	D (100)	84.0	3	39.0	1.015	1.000	37.2	< 85.2	
C3	3	横桁右	22	12.3	-11.9	-6.7	D (100)	84.0	3	39.0	1.141	1.000	24.1	< 95.8	
C3	4	横桁左	22	12.3	-11.9	-6.7	D (100)	84.0	3	39.0	1.141	1.000	24.1	< 95.8	
C3	4	横桁右	22	9.3	-27.9	8.1	D (100)	84.0	3	39.0	1.015	1.000	37.2	< 85.2	
C3	5	横桁左	22	9.3	-27.9	8.1	D (100)	84.0	3	39.0	1.015	1.000	37.2	< 85.2	
C3	5	横桁右	22	4.1	-13.3	16.4	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	17.4	< 84.0	
C3	6	横桁左	22	4.1	-13.3	16.4	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	17.4	< 84.0	
C3	6	横桁右	22	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	

H05ME 分配横桁
格点 L.FLG-MAX（下フランジ最大応力度）

断面番号	格点番号	照査位置	フランジ板厚 (mm)	垂直応力度 σtmax (N/mm2)	垂直応力度 σtmin (N/mm2)	垂直応力度 σd (N/mm2)	強度等級 (Δσf)	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度 D
C3	1	横桁左	22	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	
C3	1	横桁右	22	13.3	-4.1	-16.4	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	17.4	<109.2	
C3	2	横桁左	22	13.3	-4.1	-16.4	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	17.4	<109.2	
C3	2	横桁右	22	27.9	-9.3	-8.1	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	37.2	< 84.0	
C3	3	横桁左	22	27.9	-9.3	-8.1	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	37.2	< 84.0	
C3	3	横桁右	22	11.9	-12.3	6.7	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	24.1	< 84.0	
C3	4	横桁左	22	11.9	-12.3	6.7	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	24.1	< 84.0	
C3	4	横桁右	22	27.9	-9.3	-8.1	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	37.2	< 84.0	
C3	5	横桁左	22	27.9	-9.3	-8.1	D (100)	84.0	3	39.0	1.000	1.000	37.2	< 84.0	
C3	5	横桁右	22	13.3	-4.1	-16.4	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	17.4	<109.2	
C3	6	横桁左	22	13.3	-4.1	-16.4	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	17.4	<109.2	
C3	6	横桁右	22	0.0	0.0	0.0	D (100)	84.0	3	39.0	1.300	1.000	0.0	<109.2	

H05ME 分配横桁
格点 WEB-U-1 （ウェブ上縁） WEB－1

断面番号	格点番号	照査位置	ウエブ 高さ (mm)	ウエブ 厚さ (mm)	照査位置までの距離	σtmax (N/mm2)	σtmin (N/mm2)	σd	強度等級 (Δσf)	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度 D
C3	1	横桁左	1300	22	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	< 80.6	
C3	1	横桁右	1300	22	0	4.0	-12.9	15.9	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	16.9	< 62.0	
C3	2	横桁左	1300	22	0	4.0	-12.9	15.9	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	16.9	< 62.0	
C3	2	横桁右	1300	22	0	9.0	-27.0	7.8	E (80)	62.0	3	29.0	1.015	1.000	36.0	< 62.9	
C3	3	横桁左	1300	22	0	9.0	-27.0	7.8	E (80)	62.0	3	29.0	1.015	1.000	36.0	< 62.9	
C3	3	横桁右	1300	22	0	11.9	-11.5	-6.4	E (80)	62.0	3	29.0	1.141	1.000	23.3	< 70.7	
C3	4	横桁左	1300	22	0	11.9	-11.5	-6.4	E (80)	62.0	3	29.0	1.141	1.000	23.3	< 70.7	
C3	4	横桁右	1300	22	0	9.0	-27.0	7.8	E (80)	62.0	3	29.0	1.015	1.000	36.0	< 62.9	
C3	5	横桁左	1300	22	0	9.0	-27.0	7.8	E (80)	62.0	3	29.0	1.015	1.000	36.0	< 62.9	
C3	5	横桁右	1300	22	0	4.0	-12.9	15.9	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	16.9	< 62.0	
C3	6	横桁左	1300	22	0	4.0	-12.9	15.9	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	16.9	< 62.0	
C3	6	横桁右	1300	22	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	< 80.6	

H05ME 分配横桁
格点 WEB-L-1 （ウェブ下縁） WEB－1

断面番号	格点番号	照査位置	ウエブ 高さ (mm)	ウエブ 厚さ (mm)	照査位置までの距離	σtmax (N/mm2)	σtmin (N/mm2)	σd	強度等級 (Δσf)	Δσce	m	Δσve	CR	Ct	Δσmax (N/mm2)	Δσce・CR・Ct (N/mm2)	累積損傷度 D
C3	1	横桁左	1300	22	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	< 80.6	
C3	1	横桁右	1300	22	0	12.9	-4.0	-15.9	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	16.9	< 80.6	
C3	2	横桁左	1300	22	0	12.9	-4.0	-15.9	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	16.9	< 80.6	
C3	2	横桁右	1300	22	0	27.0	-9.0	-7.8	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	36.0	< 62.0	
C3	3	横桁左	1300	22	0	27.0	-9.0	-7.8	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	36.0	< 62.0	
C3	3	横桁右	1300	22	0	11.5	-11.9	6.4	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	23.3	< 62.0	
C3	4	横桁左	1300	22	0	11.5	-11.9	6.4	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	23.3	< 62.0	
C3	4	横桁右	1300	22	0	27.0	-9.0	-7.8	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	36.0	< 62.0	
C3	5	横桁左	1300	22	0	27.0	-9.0	-7.8	E (80)	62.0	3	29.0	1.000	1.000	36.0	< 62.0	
C3	5	横桁右	1300	22	0	12.9	-4.0	-15.9	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	16.9	< 80.6	
C3	6	横桁左	1300	22	0	12.9	-4.0	-15.9	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	16.9	< 80.6	
C3	6	横桁右	1300	22	0	0.0	0.0	0.0	E (80)	62.0	3	29.0	1.300	1.000	0.0	< 80.6	

謝辞

§４においては，橋梁製作施工会社４ 社で実橋梁部材の目違い計測を実施し，貴重なデータを頂き，実橋梁での目違い量を確認することができました。実際に生じる可能性がある目違い量を把握することができ，本WGの報告書の内容を深めることができました。ここに記して深く感謝の意を表します。

施工部会 報告書（No.077）

編　　集　　鋼橋技術研究会　施工部会
発　　行　　平成26年3月
発 行 所　　鋼橋技術研究会
〒166-8532　東京都杉並区和田3-30-22 大学生協学会支援センター内
TEL.03-5307-1175

※当該資料の内容を複写したり他の出版物へ転載するような場合は、
必ず鋼橋技術研究会の許可を得てください。

印刷・製本　株式会社 アズ・クリエイト