

6-5. 溶接施工技術基準

6-5-1. 道路橋

(3) 電弧溶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 溶接スヘキ材片ノ縁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、黒皮、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 溶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溶接ハ監督員ノ許可ナキ限り之ヲ行フヘカラス
- 材 片 ノ 組 合 セ 第三十四條 溶接スヘキ材片ハ溶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溶接ヲ避ケ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 應力ヲ傳達スヘキ溶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 中斷セル溶接ヲ續行スル場合又ハ二溶接部ヲ接合スル場合ニモ同様ノ注意ヲ拂フヘシ
- 溶接セラルル部分ハ溶接ニ先チ濕氣ヲ存セサル様注意スヘシ
- 缺 點 第三十七條 溶接ニハ氣泡、熔滓ノ包有、切込、間隙其ノ他ノ缺點ヲ生セサル様注意スヘシ
- 歪 第三十八條 熱影響ニ因ル歪ヲ最小ナラシムル様考慮スヘシ
- 溶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溶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型衝合溶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溶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従事スヘキ
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 検 査

塗 工 第四十三條 製品ハ検査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 検 査 第四十四條 監督員ハ必要ニ應シ 熔接部ヲ削取り検査ス
ルコトヲ得

發 送 第四十五條 工場ニ於テ熔接セル部材ハ検査終了後ニア
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 熔接工手ハ内務省土木試験所ノ定ムル熔接
工檢定試験ニ合格シタル者タルヲ要ス

第 六 章 雑 則

第四十八條 特別ノ事由アル場合ニ限り前各條ノ規定ニ
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小さ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。

溶接部では、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重大事故を招いた例も少なくない。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、これらをなるべく小さ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。

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。
溶接交差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なくするためには、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なくするとともに、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、一時に一個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、交差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、溶接交差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、溶接作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が行い続けられ、気象条件などのために悪影響をうけることにもなりがやである。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、運搬方法などの関係で、どうしても現場溶接による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〕

補強盛りの役目は、急冷を受けた表面の細かい結晶組織を、さらに溶接を重ねる事によって一種の脱鈍効果を与えて、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。これは防ぐためには、削り過ぎないようにするだけで、一般にのど厚の 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必要がある。ただしこの際、平滑を強調する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ため、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、4mm ないし 6mm 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、7mm ないし 8mm 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、4mm ないし 6mm 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泡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。また比較的大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っていると、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、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①に、母材を②に接続する正極性と、その反対の逆極性の二つの使用方法があるので、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。このような欠点を防ぐためには、なるべく太いもので、絶縁の良好なキャブ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 $\pm 10 \text{ A}$ 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的見当はつくが、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、トンク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、板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。

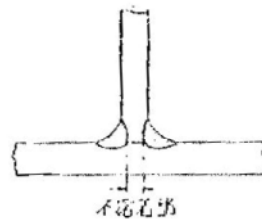
組み合わせた材片の偏心は、全くないようにするのが望ましいが、許し得る限度としては、接合する材片の薄い方の板厚の 10% 程度とし、これを越える場合には、適当な治具を用いて補正しなければならない。はなはだしい偏心がある場合には組直しを命ずるのがよい。

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。

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、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点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。

図-54・1



組合せ治具 55 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、溶接部分をできるだけ少くし、除去に際してはこれをはづり取り、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も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。あまり強固に取り付けると、溶接中のひずみに対しては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、その取りはずしに当たっても、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、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。

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、底まで十分はづり取った後、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、本溶接の一部と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ので、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、底まで完全にはづ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のが大切である。

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、開先面に苦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 $\pm 0.5\text{ mm}$ 以内とすべきである。

開先の切断、加工には通常エッジブレンダーまたはブレンダ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、切断線も正確で、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とする。

手動ガス切断は切断線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や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めれば、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、溶接棒を運搬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。クレターの形の不正は溶接に対する注意が足り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のである。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、直接外気の影響を受けてその質が

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、最初の回の溶接は不完全になりやすいから、健全な溶接部まで裏はつりを行い、裏溶接をしなければならない。

裏はつりの方法として酸素アセチレンガス切断装置

を利用したガスサウジング等の新しいものがあるが、一般にはチップングによる。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。この目的は第一側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密着せ溶接する場合に、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。

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。

図-60・1

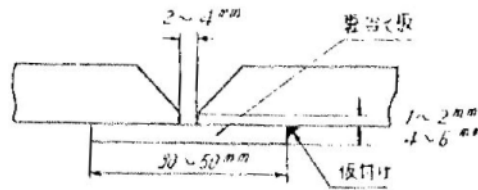
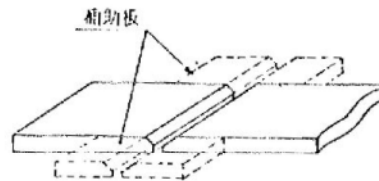


図-60・2



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、現場溶接に先立ち、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。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。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、溶接姿勢を換えた後、クレーターを完全にろ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、同じ趣行から、ぐう角部を回って少なくともサイズの2倍以上の長さに戻し溶接を行わなければならない。同じ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倍の長さに戻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助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、補助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、フランジおよびウェブの継手の溶接に際して拘束を少なくするために、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、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) 施工に当たっては、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、これがも密に集中するとひびわれの原因となる。したがって、施工に当た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。その他施工に当た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節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。また溶接角の移動速度は溶接電圧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応用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規定したものである。

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。このような欠陥を避けるために、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。溶接し始める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、溶接終了後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 以上に保つこととした。

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、予熱の温度も極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だから、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。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、衝撃の危険も生ずる。また、溶接工が何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 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〕

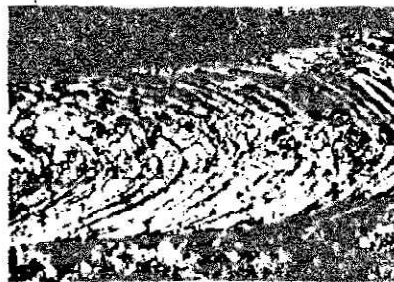
溶接部に生ずるおもな欠陥を示したものである。

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、主として第一回の溶接において溶接電流が大きすぎたり、溶接速度が遅すぎたり、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、溶着金属の量も少な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づかしいが、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。

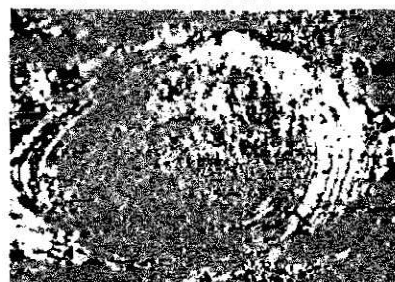
写真—67・1

溶着金属のひびわれ

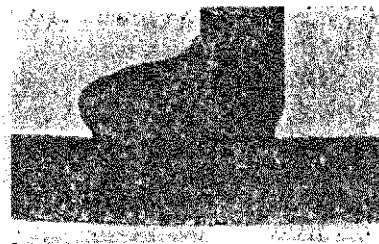
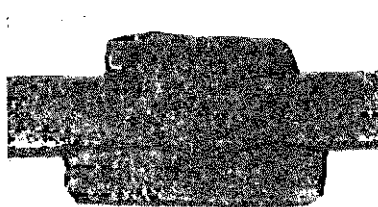


写真—67・2

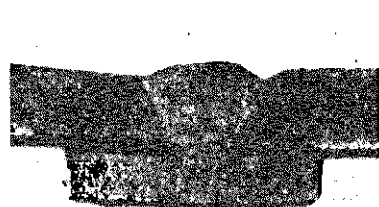
クレーターのひびわれ



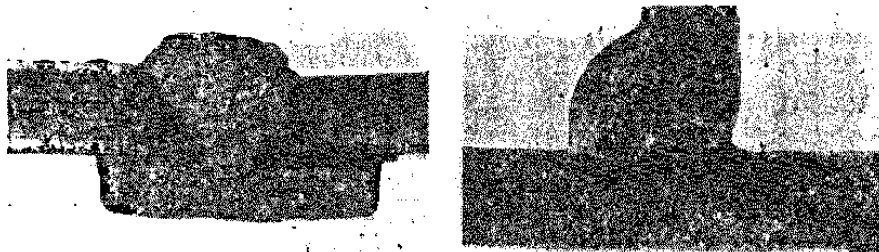
写真—67・3



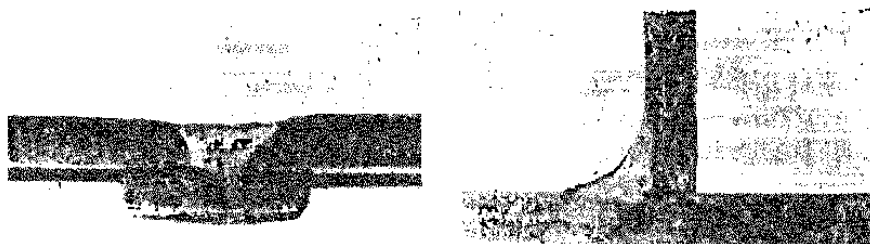
オーバーラップ



アンダーカット



の ど 厚 過 大



の ど 形 不 正

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中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回などに起りやすい。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-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た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。

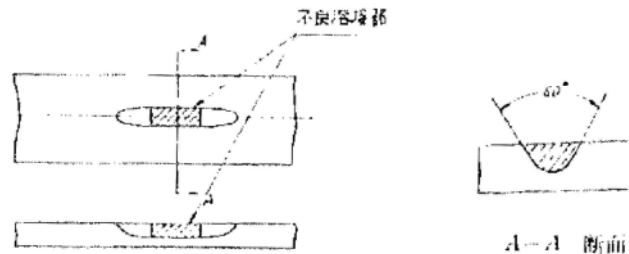
ひびわれ・気ほう・スラグのまき込み・不整な波面およびクレーターなどの欠陥を持つ不良溶接は、チップングハンマーまたはグラインダーなどを使用して、母材を傷つけないように入念にかつ完全に除去しなければならない。除去する深さは溶け込み部分までとする。削り取りの要領は図-68・1 に示すようにおわん型に削り取り、溝の開先角度を 60° に保つようにするのがよい。再溶接に当たっては、他の部分が密接されているため拘束が大きいので、直径 4 mm 以下の細目の溶接棒を用いていねいに行わなければならない。

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。

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・しん透被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

溶接による苦しいひずみは、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、構造的に無理を生じたりしないような方法を逆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

溶接は正確でいねいに行い、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重大事故を招いた例も少なくない。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、たとえば鋼材の種別に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なくするためには、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づいて最も適当と考える溶接順序と方法を決定し、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なくするとともに、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受けることになる。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が行いがちであり、気象条件などのために悪影響を受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、3 mm 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を。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 3 mm 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がある箇所では、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、工事全般のできれば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 9 mm 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経は、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。

溶接棒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 $60\sim 70\text{ kg/cm}^2$ 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、被覆剤の偏心がはげ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、回路電圧によっては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う、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方法があるので、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 $\pm 10\text{A}$ 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的見当はつくが、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せら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。

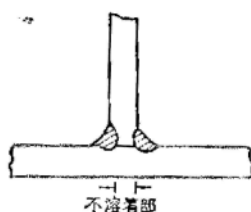
組合せた材片の偏心は、全くないようにするのが望ましいが、許しうる限度としては、接合する材片の薄い方の板厚の10%程度とし、これをこえる場合には適当な治具を用いて補正しなければならない。はなはだしい偏心がある場合には組直しを命ずるのがよい。

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、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-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。

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。

図-64・1



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、溶接部分になるべく少くし、除去に際してはこれをはつき取り、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。

組合せ治具の取付けのためには、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は、たたいたり、きりとり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焰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、わりあい確実さがちであるが、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き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のが大切である。

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 $\pm 0.5 \text{ mm}$ 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、切断線も正確で、切断面も平滑に仕上がり、表面の化学的および組織的变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とする。

手動ガス切断は切断線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や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。ウィーピ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ば状の凹部をクレーターと称し、溶接部の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り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に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ない場合には、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、チップング、ガスガウジングなどもあるが、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ずと同時に、溶け込みを十分にするためのものである。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。

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。

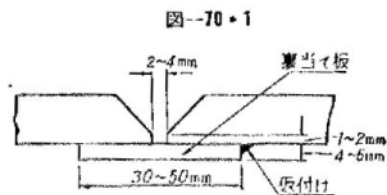
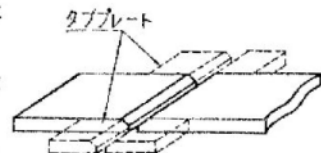


図-70・2



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。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、フランジおよびウェ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つて入念に検査し、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、溶接に先だつ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 以上のすきがあつてはならない。
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つ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、底にすきがあつたり、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)、電力式、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なくとも 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、Mn, Si 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高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ー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、設備が不十分のため、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部の選定・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

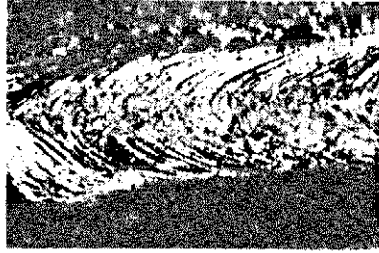


図-77・2

クレーターのひびわれ

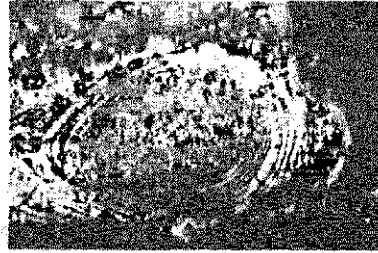
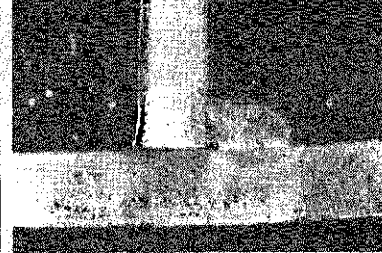
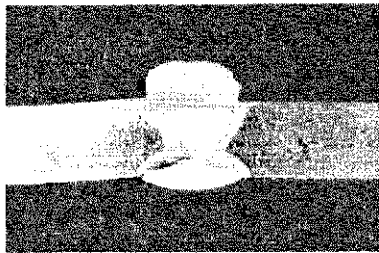
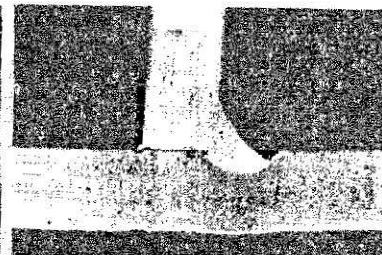
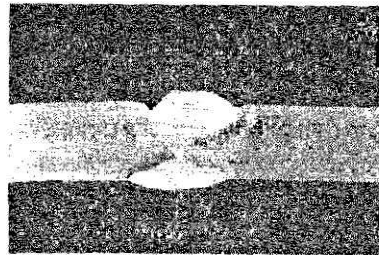


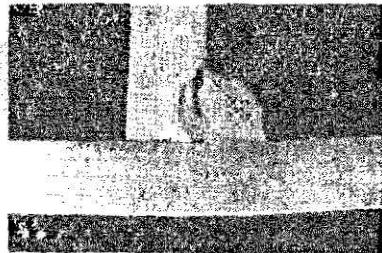
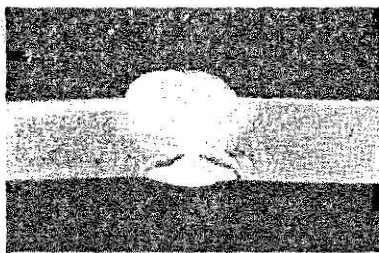
図-77・3



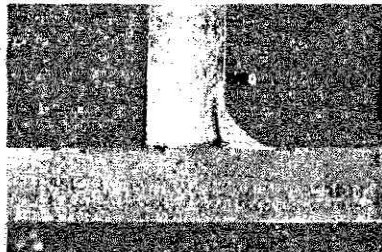
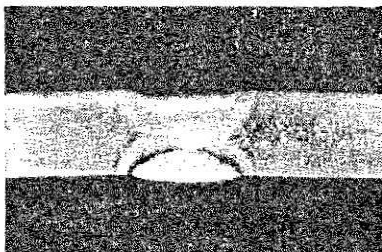
オーバーラップ



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。

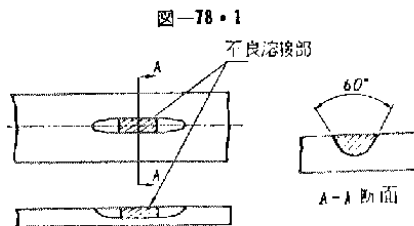
〔解説〕 77条に示すような欠陥を持つ不良溶接は、それぞれに適した手直しを行わなければならない。また不良溶接を生じた場合は、その原因をしるべ再び欠陥の生じないように注意することが肝要である。

ひびわれ・有害なプロホール・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、チップ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 以下の細口の溶接棒を用い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。

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だとしておいてよいが、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いけないことにした。

塗装は鋼道路橋製作方書の 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 20 cm の部分には工場塗装を行ってはいらない。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が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

溶接は正確でいねいに行い、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重大事故を招いた例も少なくない。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き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、たとえば鋼材の種別に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。

溶接交差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なくするためには、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なくするとともに、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、交差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、溶接交差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冶具を用いて、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、収縮ひずみも少なく、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が行いがちであり、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、3 mm 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 3 mm 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がある箇所では、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、CO₂ 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 58 条

溶接棒は溶接する鋼材の性質に適應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當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 までの鋼材に適應する溶接棒は 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、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う、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方法があるので、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、継手の性能に十分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、電流の変化に十分に注意し、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 $\pm 10\text{A}$ 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的見当はつくが、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せら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。

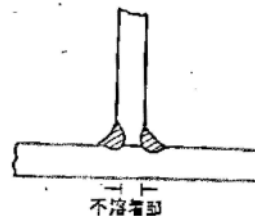
組合せた材片の偏心は、全くないようにするのが望ましいが、許しうる限度としては、接合する材片の薄い方の板厚の10%程度とし、これをこえる場合には適当な治具を用いて補正しなければならない。はなはだしい偏心がある場合には組直しを命ずるのがよい。

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わってくる。これに対して仮付けのみで抵抗させようとする、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-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らかなので、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。

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。

図-64・1



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。

組合せ治具の取付けのためには、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は、たたいたり、きりとり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焰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のが大切である。

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 $\pm 0.5\text{ mm}$ 以内とすべきである。

開先の切断、加工には通常エッジブリーナーまたはブリ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、切断線も正確で、切断面も平滑に仕上がり、表面の化学的および組織的变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とする。

手動ガス切断は切断線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。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ば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り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、表面に浮き上らず、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に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。

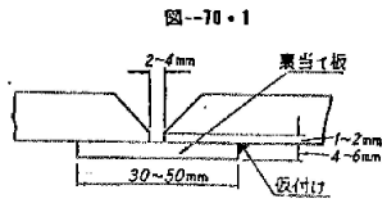
【解説】 突合せ溶接においては、溶け込みを完全にし、不溶着部を残さないことが最も重要な事項である。このため、手溶接の場合は健全な溶接層まで裏はつりを行い、裏溶接しなければならない。

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。

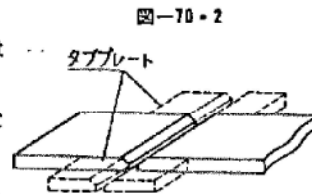
突合せ溶接継手の第一層は、開先底部の形状の関係で欠陥を生じやすく、また急冷のため溶接金属の性質もあまりよくないから、手溶接のように溶け込みの少ない場合には、これをはつり取り、自動溶接の場合は裏から再溶融することがよい継手をうるための条件となる。

裏はつりの方法としては、チップング、ガスガウジンクなどもあるが、アークエアガウジンク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ずと同時に、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。



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。



溶接部の欠陥は、その開始点と終了点に生じやすいこととは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倍の長さに戻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、フランジおよびウェブの継手の溶接に際して拘束を少なくするために、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のがよい。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ち入念に検査し、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な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、Mn, Si 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ー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、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、設備が不十分のため、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

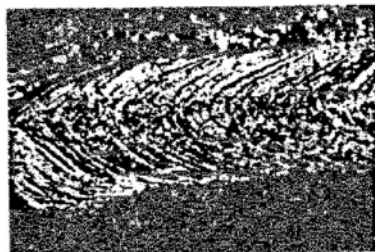


図-77・2

クレーターのひびわれ

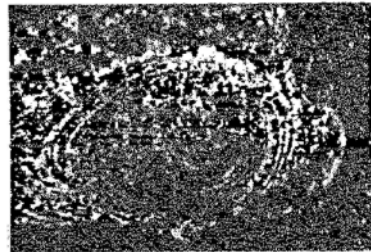
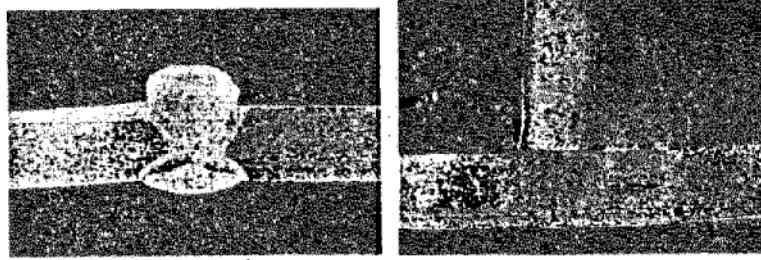
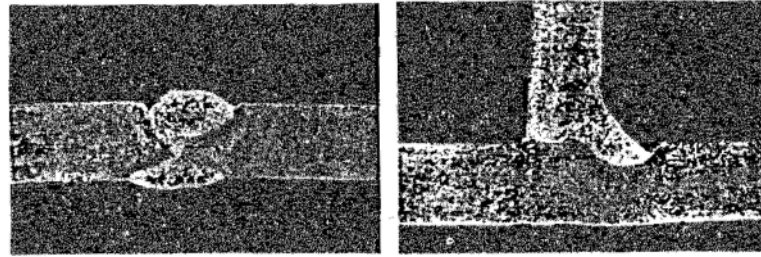


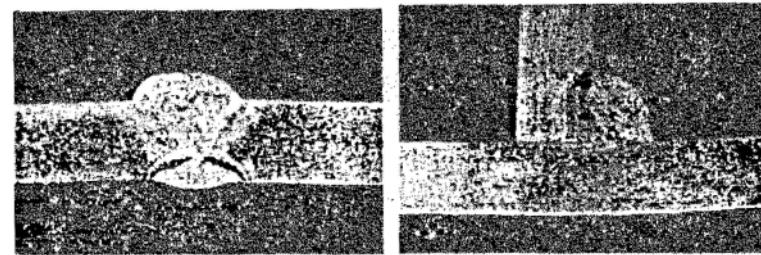
図-77・3



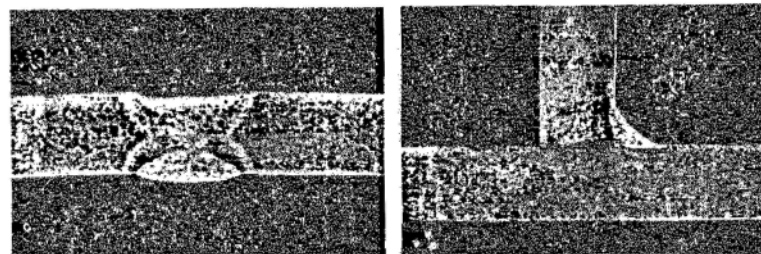
オーバーラップ



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。

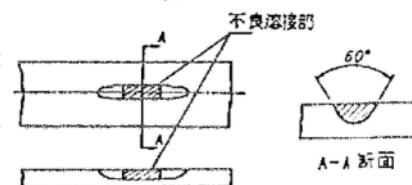
【解説】 77条に示すような欠陥を持つ不良溶接は、それぞれに適した手直しを行わなければならない。また不良溶接を生じた場合は、その原因をしらべ再び欠陥の生じないように注意することが肝要である。

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、チップ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いけないことにした。

塗装は鋼道路橋製作方書の 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 20 cm の部分には工場塗装を行ってはいない。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が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。

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ヵ月以上溶接工事に従事し、工事前2ヵ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 Z 2201 1, 4, 5号	2	JIS Z 2241	JIS G 3101, JIS G 3106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未満側曲げ) (19mm以上側曲げ)		JIS Z 3122 3号	2	JIS Z 3122 3号	き裂が生じて 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	欠陥があつては 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	欠陥があつては ならない
	すみ肉施工試験	付録-I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	$H_V \leq 370$
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

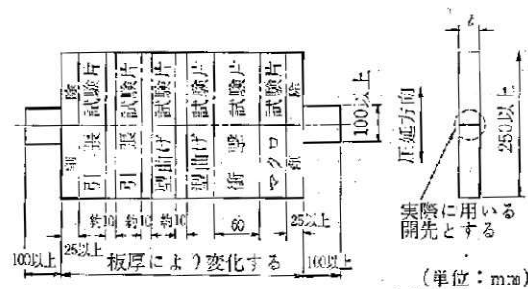


図-15.3.1 グループ溶接試験溶接方法

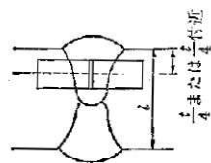


図-15.3.2 衝撃試験片(グルーブ溶接試験片の採取位置)

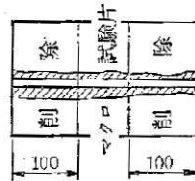
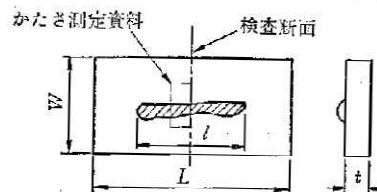
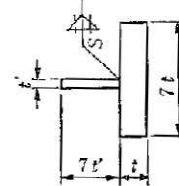


図-15.3.3 すみ肉溶接試験 (マクロ試験) 溶接方法および試験片の形状

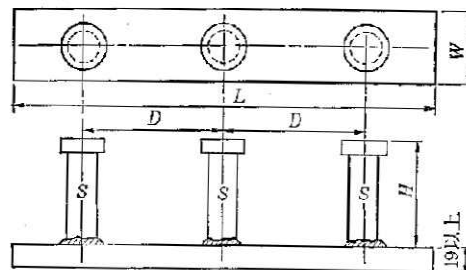


(単位: mm)

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じスタッド
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) グループ溶接

- 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 $\pm 10^\circ$

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、本溶接を行なり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 ($25 \leq t < 38$: 予熱を行なう場合)
低水素系被覆アーク溶接棒	SS 41, SM 41 ($25 \leq t < 38$: 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
熔融フラックス	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、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 $Cu \geq 0.5$ 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	$t < 25$	$25 \leq t < 38$	$38 \leq t \leq 50$
SM 41 , 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

グループ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プ溶接の施工

部分溶け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はこのかぎりでない。

3) すみ肉溶接および部分溶け込みグループ溶接の施工

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)
$B < 15$	$h \leq 3$
$15 \leq B < 25$	$h \leq 4$
$B \leq 25$	$h \leq \frac{4}{25} \cdot B$

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ソング、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融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 1 m につき 3 個までを許容する。ただしピットの大きさが 1 mm 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 25 mm の範囲における高低差で表わし、3 mm 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よのど厚は、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50mmを除く部分では、長さの10%までの節間で-1.0mm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・治具等を取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ーサカフイング法で除去する。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	溶接ビード表面のビット，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40mm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℃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り、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の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、これを守るとは当然であるが、施工者の選任にまかさ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な施工要領を立案し、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。

この示方言は、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ようになっているので、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の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38mm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、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25mm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われ、軟化やぜい化を起こしやすい。

$$\text{入熱量}(Q \text{ (joule/cm)}) = \frac{\text{電流(amp)} \times \text{電圧(volt)} \times 60}{\text{溶接速度 (cm/min)}}$$

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用いら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70,000 joule/cmをこす場合には、施工試験でその適性を調べることにした。

- 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、CO₂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な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、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)のみに該当するものは、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、とくに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必ず資格を有する溶接工に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ポ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慮し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、立向き下道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れ欠陥が生じるので、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 15.3.2および図-解 15.3.3 に示すとおりである。

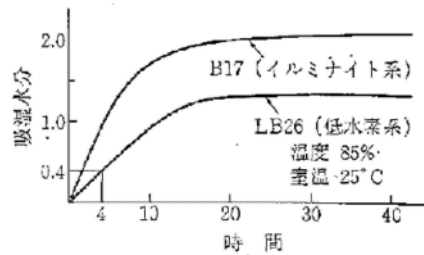


図-解 15.3.2

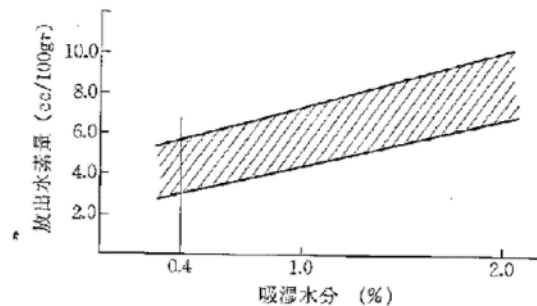


図-解 15.3.3

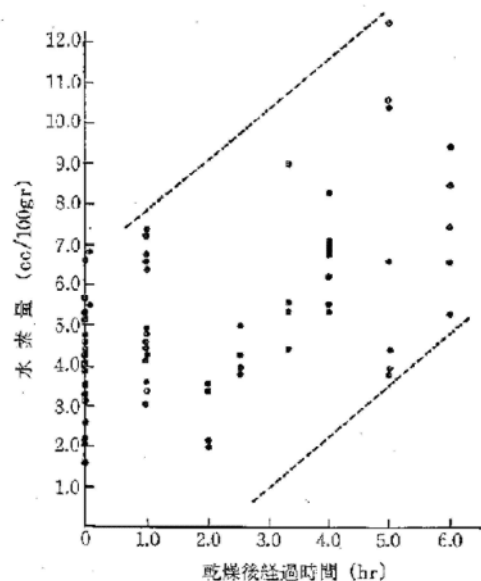


図-解 15.3.4 工場内溶接棒による溶着金属の拡散性

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時間を妥当と考えた。

表-解 15.3.1 水素量の JIS

D 5 016 D 5 026	<10 cc/100gr
D 5 316 D 5 326	<8
D 5 816 D 5 826	<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。乾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32mm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、 $C_{eq} > 0.44\%$ の場合に予熱を行なうこととした。 $C_{eq} = 0.44\%$ はSM 58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、 $H_{r} \leq 370$ 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5°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プ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、せん断応力の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) 部分溶け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いが、部分溶け込みグループ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、そのような場合はは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プ溶接の施工

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8mm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) グループ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もので、余盛の高さを板厚の15%以下で3mmをこえてはならないと規定していた。しかし最近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ため、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。

(12) 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、前示方書では検査採取率が「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採取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 (細長いスラグ巻き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级以上でよいと考えられたが、採取検査である点、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。

前示方書の検査採取率は、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、今回採取標準は表-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は、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、ほぼ一樣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4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、表面のビット、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。

ビード表面のビットは、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3mm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も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/mm ²)	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/mm ²)	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0.3mm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。

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-1.0mm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。

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。

ⅴ i) 鋼材の種類と特性・

ⅴ ii) 溶接方法、開先形状および溶接材料の種類と特性

ⅴ 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

ⅴ iv) 溶接材料の乾燥状態

ⅴ v) 溶接条件と溶接順序ⅴ

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ヵ月以上溶接工事に従事し、かつ、工事前2ヵ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 SMA-41、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）、CO₂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 種類	試験項目	溶接方法	試験片の 形状・代 表	試験片 の枚数	試験方法	判定基準
グループ溶接試験	引張試験		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未満型曲げ) (19mm以上側面曲げ)		JIS Z 3122 3号	2	JIS Z 3122 3号	原則として、き裂が生じてはならない
	衝撃試験	図-15.3.1による	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	$H_v \leq 370$
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/mm^2 以上、引張強さは $41 \sim 56\text{kg/mm}^2$ 、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	溶接部にき裂を生じてはならない

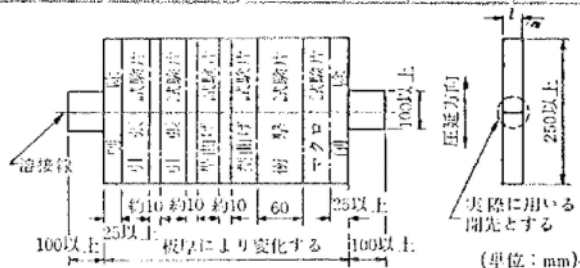


図-15.3.1 グループ溶接試験溶接方法

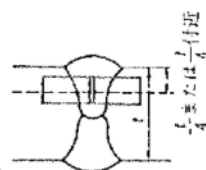


図-15.3.2 衝撃試験片（グループ溶接試験片の採取位置）

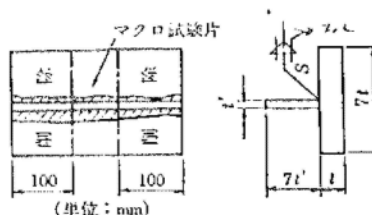
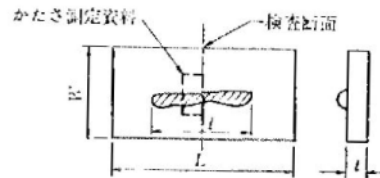


図-15.3.3 すみ肉溶接試験（マクロ試験）溶接方法および試験片の形状



(単位: mm)

溶接方法	L	W	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、かたさ測定装置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

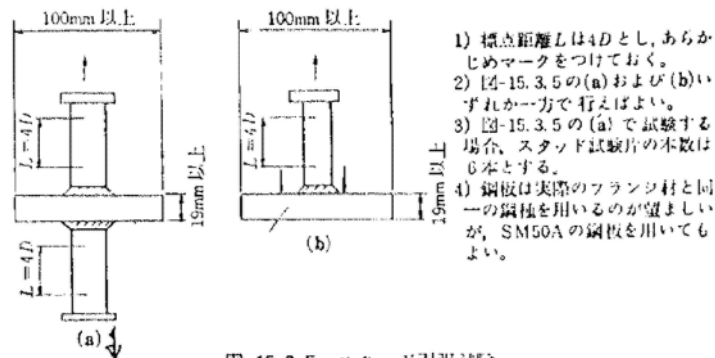


図-15.3.5 スタッド引張試験

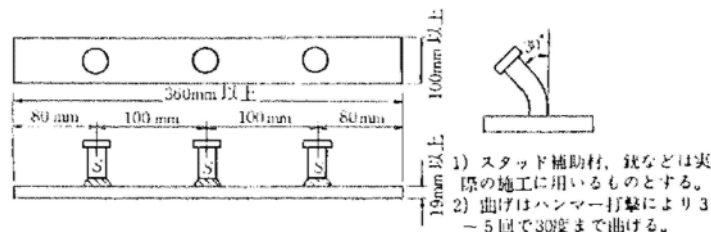


図-15.3.6 スタッド曲げ試験

(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ずによい。
 - i) グループ溶接
 - a) ルート間隔の誤差：規定値 ± 1.0 mm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 $\pm 10^\circ$

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80mm以上とし、すみ肉（または換算）肉長は4mm以上とする。
- 5) 仮付け溶接は、組立終了時まで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

設置アーク溶接棒の種類	適用鋼種および板厚 (mm)
軟鋼用設置アーク溶接棒	S S 41, S M 41 ($t < 25$)
	S S 41, S M 41 ($25 \leq t < 38$: 予熱を行う場合)
低水素系被覆アーク溶接棒	S S 41, S M 41 ($25 \leq t < 38$: 予熱を行わない場合)
	S M A 41, S M 50, S M A 50, S M 50 Y, S M 53, S M 58, S M A 58

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
軟鋼用設置アーク溶接棒	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-15.3.5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℃	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-15.3.6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お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。

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} + \frac{(Cu)}{13} (\%) \quad \dots\dots\dots (15.3.1)$$

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 ~~410N/mm²~~ **430N/mm²** をこえる場合。
 3) 気温（室内の場合は室温）が5℃以下の場合。

表-15.3.6 予熱温度の標準

板厚(t)(mm)	t < 25	25 ≤ t < 38	38 ≤ t ≤ 50
SS 41 SM 41	予熱なし ¹⁾	予熱なし ¹⁾ 40℃～60℃ ²⁾	40℃～60℃ ²⁾
SMA 41 SM 50	予熱なし ³⁾	40℃～60℃ ³⁾	80℃～100℃ ³⁾
SMA 50 SM 50Y SM 53 SM 58 SMA 58	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、部材と同等な剛性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、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プ溶接の施工

- 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、融手の途中でアークを切らないのがよい。

11 グループ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プ溶接は、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)
$B < 15$	$h \leq 3$
$15 \leq B < 25$	$h \leq 4$
$25 \leq B$	$h \leq \frac{1}{25} B$

02 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)
	腹 板 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格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、4.4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) フークスタッド

フ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 フ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ップ巻込み	あってはならない。
アンダーカット	す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 $\pm 2\text{mm}$)をこえてはならない。

03) 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。

04) 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	たがねやアーケ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ものでグラインダー仕上げする。わずかな痕跡のある程度のも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ブラ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	溶接ビード表面のビット、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	ビード溶接したもの、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厚での補修溶接は許けるのがよい。

(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-15.3.12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℃ 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

(16) 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るが、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、これを守るとは当然であるが、施工者の選択にまかさ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の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職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-2 F、A-2 V、A-2 O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-3 H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-2 Fの試験に合格していることが望ましい。

近年、溶接作業の効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CO₂ガスあるいはCO₂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-2 F、SA-2 V、SA-3 H、SA-2 O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ど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持ち、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キロパスの厚板は、製鋼技術的に炭素当量が高くなりがたで、溶接お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ることにした。40キロパスの厚板にあっても、耐熱性のSMA41については、強度は低い、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。SMA58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キロパス鋼より炭素当量が小さく耐お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SMA58に対し、耐候性を与えるための炭分を添加しているのので、お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值とした。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にした。

iv) では、設置棒による手溶接、サブマージアーク溶接法および CO₂ 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、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。

グループ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き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き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) 材片の組合せ精度

部材を組立する場合、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所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、鋼板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富み量は、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、施工上この富み量が守れない場合は、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接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、とくに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ヤリ級高張力鋼の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慮して、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、耐熱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れ欠陥が生じるので、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。

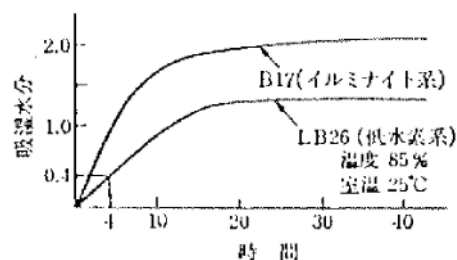


図-解 15.3.3

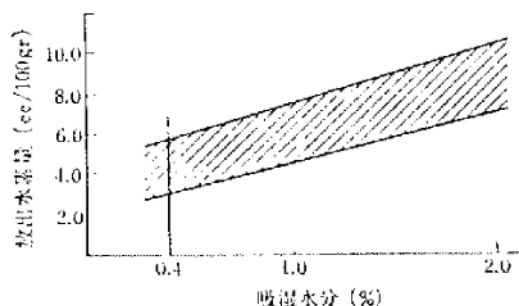


図-解 15.3.4

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 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。

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漏融タイプのものは、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。

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

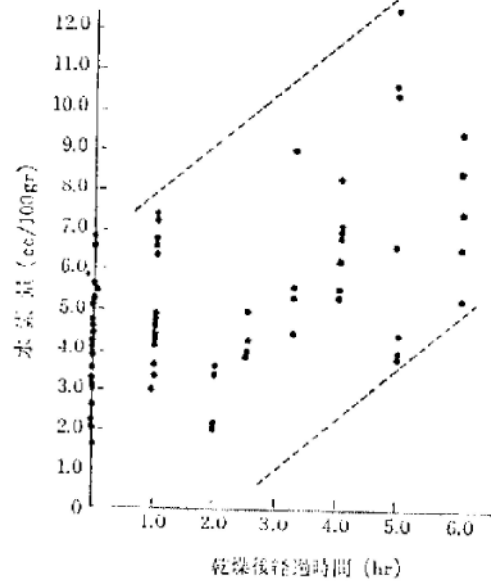


図-解 15.3.5 工場内溶接棒による溶着金属の拡散性水素量の測定結果

CO₂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CO₂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、CO₂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

19) 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、 $C_{eq} > 0.44\%$ の場合には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)の事項は最高かたき試験の結果を予熱の要、不要の判断資料としたもので、 $H_{\text{max}} \leq 370$ 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、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。

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溶接指示方書の手熱規定

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°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

(Ⅱ) 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小開先角度の小さい場合はこの傾向がいわゆるし。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、そのような場合はは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、あらかじめそれに十分な配置をしておくことが望ましい。

(Ⅲ) 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-15.3.7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。

四 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ため、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ため、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わずかしいので、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。

グループ溶接の余盛りについては、すでに4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、主としてビードの経目に見られるもので、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 15.3.3、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/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 15.3.4 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 (応力範囲) (kg/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

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0.5 mm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。

15) 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mm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)、CO₂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未満側曲げ) (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	$H_V \leq 370$
スタップ溶接試験	引張試験	JISB1198	JISB1198	3	JIS Z 2241	降伏点は 24kgf/mm^2 以上、引張強さは $41\sim 56\text{kgf/mm}^2$ 、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。

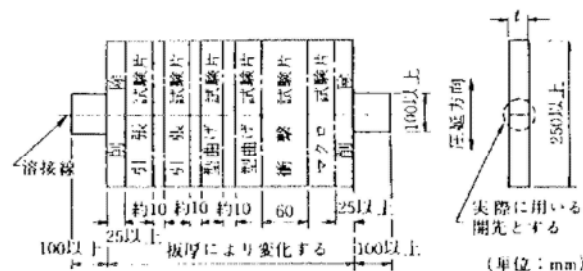


図-15.3.1 グループ溶接試験溶接方法

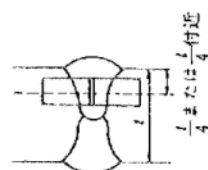


図-15.3.2 衝撃試験片（グループ溶接試験片の採取位置）

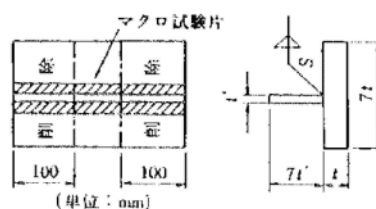


図-15.3.3 すみ肉溶接試験（マクロ試験）
溶接方法および試験片の形状

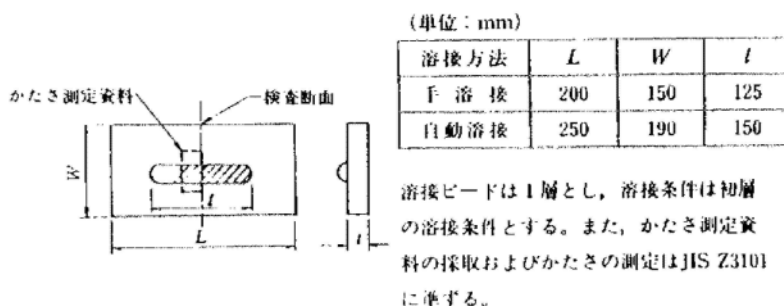


図-15.3.4 最高かなさ試験溶接方法および試験片の形状

(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。

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} + \left(\frac{Cu}{13}\right) (\%) \dots\dots\dots (15.3.1)$$

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。

(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)	$t < 25$	$25 \leq t < 38$	$38 \leq t \leq 50$
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プ溶接の施工

- 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。

(II) グループ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プ溶接は、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 グループ溶接の余盛り (mm)

ビード幅(B)	余盛り高さ(h)
$B < 15$	$h \leq 3$
$15 \leq B < 25$	$h \leq 4$
$25 \leq B$	$h \leq \frac{4}{25} B$

(II) 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プ溶接継手のうち、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

のはりおよび柱、主け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可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、(iv)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、(iv)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、
(iv)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つてはな
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、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 $\pm 2\text{mm}$)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、注意深く行われなければならない。

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	鋼材の表面さすで、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	鋼材の表面さすで、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さ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、溶接工の手操作によって溶接する溶接法のことであって、一般にCO₂ガスあるいはCO₂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とした。

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、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、

$$\text{入熱量 } Q \text{ (joule/cm)} = \frac{\text{電流 (amp)} \times \text{電圧 (volt)} \times 60}{\text{溶接速度 (cm/min)}}$$

が入ると、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す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にした。

- iv) 被覆棒による手溶接、サブマージアーク溶接法およびCO₂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、グループ溶接試験、すみ肉溶接試験、最高かたき試験、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。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、技術検定の色彩の強いもの(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、この場合の可否の判定は、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、

$1 < \delta \leq 3$ 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、とくに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に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、通常のブライマ一塗膜は、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れ欠陥が生じるので、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。

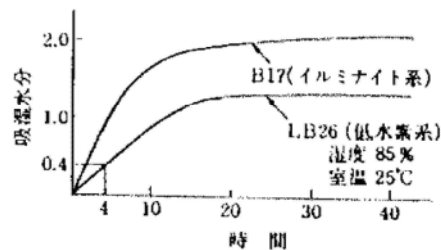


図-解 15.3.3

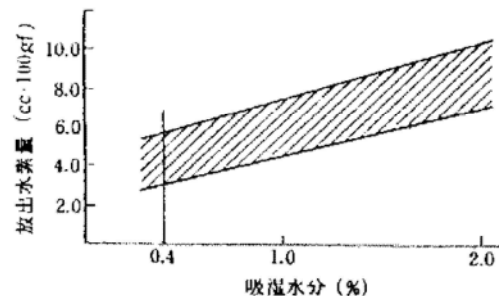


図-解 15.3.4

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

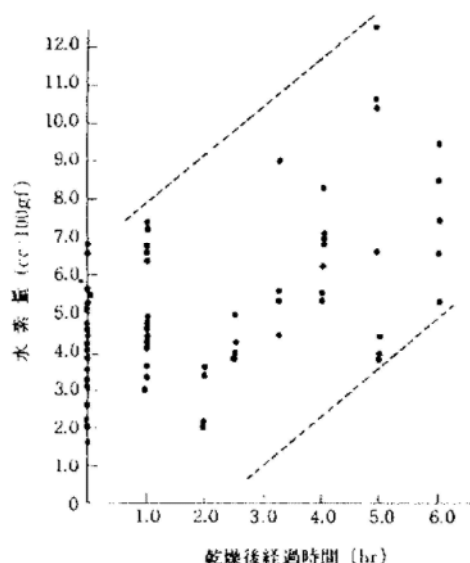


図-解 15.3.5 工場内溶接棒による溶着金属の拡散性水素量の測定結果

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。

CO₂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CO₂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、CO₂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、これは従来の実験、他の溶接母材を参考とし、施工性も考慮して定めた一応の標準である。予熱はお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、お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お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、それを確認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お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ない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おれが生じやすく、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もっともひどい。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ず、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、不要はとくにあいまいにされており、施工時にトラブルを起こすことが多かった。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継手を採取して検査するものとした。

採取検査箇所はそのグループを代表しているのので、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、採取検査においては、溶接部の品質を確保するために、適正な検査ロット、採取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

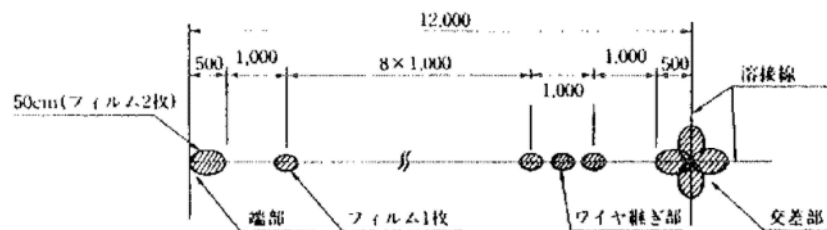


図-解 15.3.6 鋼床版デッキプレートのX線撮影箇所例

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、溶接線の始末端部、交差点、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、それが局所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Ⅰ検出レベルとする。(Ⅰ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カド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09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、溶接線の間中部では長さの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)、CO₂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	欠陥があつてはならない
	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	欠陥があつてはならない
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	$H_V \leq 370$
スタッド溶接試験	引張試験	JISB1198	JISB1198	3	JIS Z 2241	降伏点は 24kgf/mm^2 以上、引張強さは $41\sim 56\text{kgf/mm}^2$ 、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。

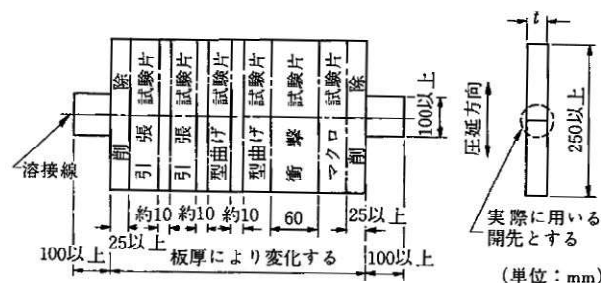


図-15.3.1 グループ溶接試験溶接方法

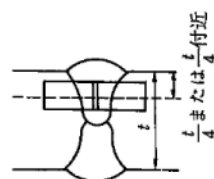


図-15.3.2 衝撃試験片（グループ溶接試験片の採取位置）

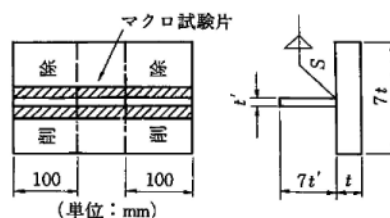


図-15.3.3 すみ肉溶接試験（マクロ試験）
溶接方法および試験片の形状
(単位：mm)

溶接方法	L	W	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。

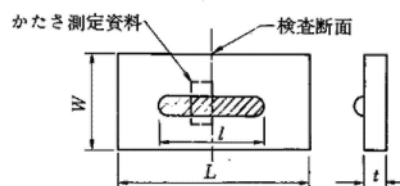


図-15.3.4 最高かたさ試験溶接方法および試験片の形状

(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なくてよい。

i) グループ溶接

- a) ルート間隔の誤差：規定値 $\pm 1.0\text{mm}$ 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 $\pm 10^\circ$

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。

$$C_{eq}=C+\frac{Mn}{6}+\frac{Si}{24}+\frac{Ni}{40}+\frac{Cr}{5}+\frac{Mo}{4}+\frac{V}{14}+\left(\frac{Cu}{13}\right)(\%) \cdots \cdots (15.3.1)$$

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)	$t < 25$	$25 \leq t < 38$	$38 \leq t \leq 50$
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プ溶接の施工

- 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。

(ii) グループ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プ溶接は、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 グループ溶接の余盛り (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プ溶接継手のうち、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

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可否を判定するものとし
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つてはな
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	溶接ビード表面のビット	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さ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ため、定められた認定試験に合格した有資格者を当てるの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CO₂ガスあるいはCO₂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、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、

$$\text{入熱量 } Q \text{ (joule/cm)} = \frac{\text{電流 (amp)} \times \text{電圧 (volt)} \times 60}{\text{溶接速度 (cm/min)}}$$

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。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にした。

- iv) 被覆棒による手溶接、サブマージアーク溶接法およびCO₂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、グラビデ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、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、技術検定の色彩の強いもの(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、この場合の可否の判定は、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< δ ≤3のとき 脚長を δ だけ増す

3< δ 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、とくに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に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れ欠陥が生じるので、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。

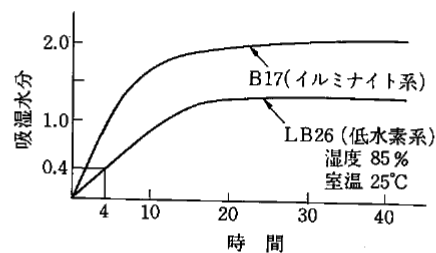


図-解 15.3.3

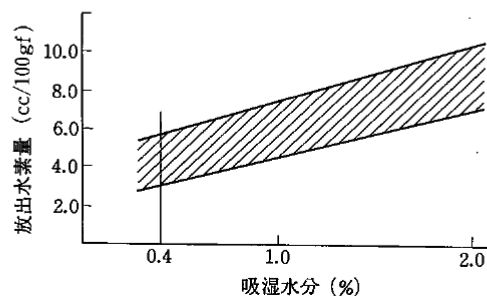


図-解 15.3.4

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/100 gf
D 5316 D 5326	< 8
D 5816 D 5826	< 6

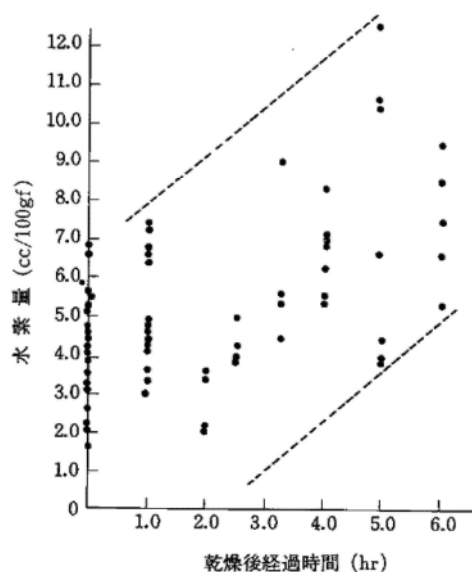


図-解 15.3.5 工場内溶接棒による溶着金属の拡散性水素量の測定結果

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。

CO₂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CO₂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、CO₂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、 $H_V \leq 370$ 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、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、それを確認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す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、そのような場合はは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-15.3.9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

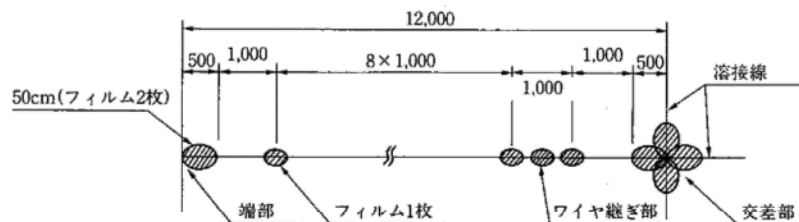


図-解 15.3.6 鋼床版デッキプレートのX線撮影箇所の例

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、溶接線の始末端部、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、溶接線の間中部では長さ

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（CO₂ガスあるいはArとCO₂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	欠陥があつてはならない
	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	欠陥があつてはならない
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/mm ² 以上、引張強さは41～56kgf/mm ² 、伸びは20%以上とする。ただし溶接部で切れてはいけな
	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。

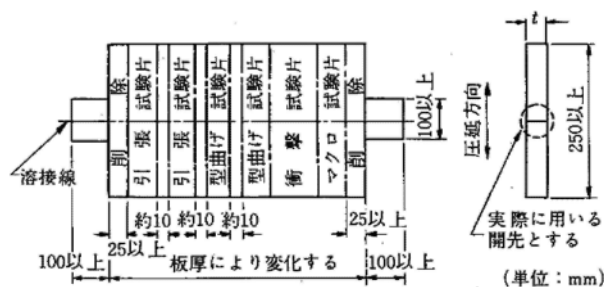


図-15.3.1 グループ溶接試験溶接方法

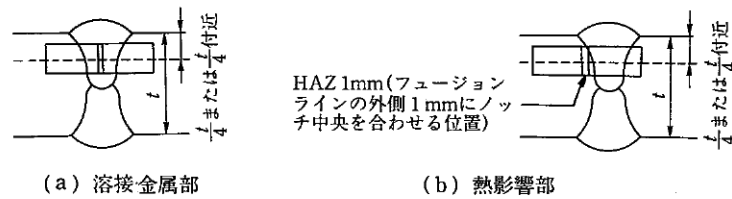


図-15.3.2 衝撃試験片（グループ溶接試験片の採取位置）

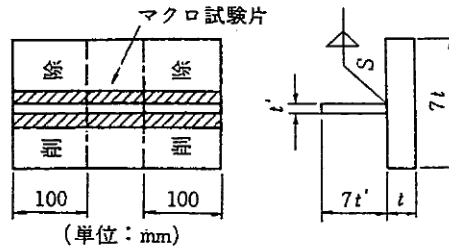


図-15.3.3 すみ肉溶接試験（マクロ試験）
溶接方法および試験片の形状

(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ずによい。

i) グループ溶接

- a) ルート間隔の誤差：規定値 $\pm 1.0\text{mm}$ 以下
- b) 板厚方向の材片の偏心： $t \leq 50$ 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 $\pm 10^\circ$

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。

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} + \left(\frac{Cu}{13} \right) (\%) \dots\dots\dots (15.3.1)$$

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 ガスシールドアーク溶接	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 ガスシールドアーク溶接	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 ガスシールドアーク溶接	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 ガスシールドアーク溶接	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 ガスシールドアーク溶接	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℃以下の場合には20℃以上に予熱する。

2) P_{CM} の算定式

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

(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プ溶接の施工

- 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) グループ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プ溶接は、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 グループ溶接の余盛り (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-15.3.12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プ溶接継手のうち、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など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	継手の始末端で連続して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可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一側
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、グラウンダー仕上げ量が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	溶接ビード表面のビット	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さ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の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CO₂ガスあるいはCO₂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、

$$\text{入熱量 } Q \text{ (joule/cm)} = \frac{\text{電流 (amp)} \times \text{電圧 (volt)} \times 60}{\text{溶接速度 (cm/min)}}$$

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。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值とした。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にした。

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(CO₂ガスあるいはArとCO₂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はほぼ全種類となる(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3 mm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3 mm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< ϕ ≤3のとき 脚長を ϕ だけ増す

3< ϕ のとき 開先をとり溶接

ここに、 ϕ :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に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⁹⁾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、通常のブライマ一塗膜は、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れ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。

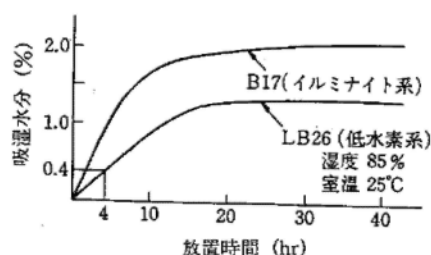


図-解 15.3.4 被覆アーク溶接棒の放置時間と吸湿水分の関係

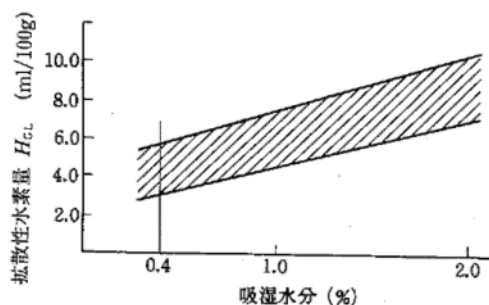


図-解 15.3.5 低水素系溶接棒の吸湿水分と拡散性水素量の関係

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。

CO₂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CO₂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

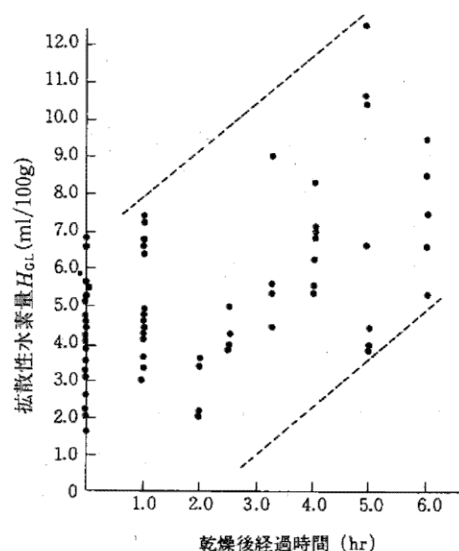


図-解 15.3.6 工場内溶接棒による溶着金属の拡散性水素量の測定結果

なければならない。なお、CO₂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 (°C)				
		板 厚 区 分 (mm)				
		$t \leq 25$	$25 < t \leq 40$	$40 < t \leq 50$	$50 < t \leq 75$	$75 < t \leq 100$
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 $T_p(°C) = 1,440P_w - 392$

$$\text{ここに、} P_w = P_{CM} + \frac{H_{GL}}{60} + \frac{K}{40,000}$$

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 $H_{GL} = 2 \text{ ml/100g}$

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

$$H_{GL} = 1 \text{ ml/100g}$$

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

$$K = 20t \text{ kgf/mm} \cdot \text{mm}$$

(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ない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と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、溶接線の始末端部、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。

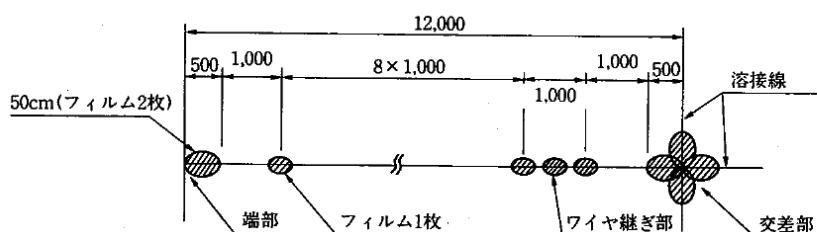


図-解 15.3.7 鋼床版デッキプレートのX線撮影箇所の例

なお、不合格の欠陥があった場合、それが局所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は、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(II)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、重ね継手等があり、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、少なくとも条文中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
熔融フラックス	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れ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。

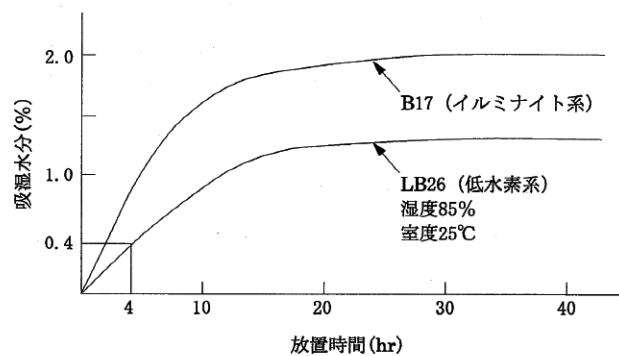


図-解 17.4.1 被覆アーク溶接棒の放置時間と吸湿水分の関係

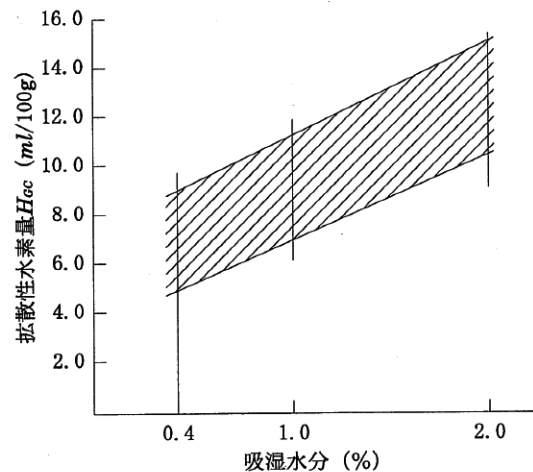


図-解 17.4.2 低水素系溶接棒の吸湿水分と拡散性水素量の関係

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

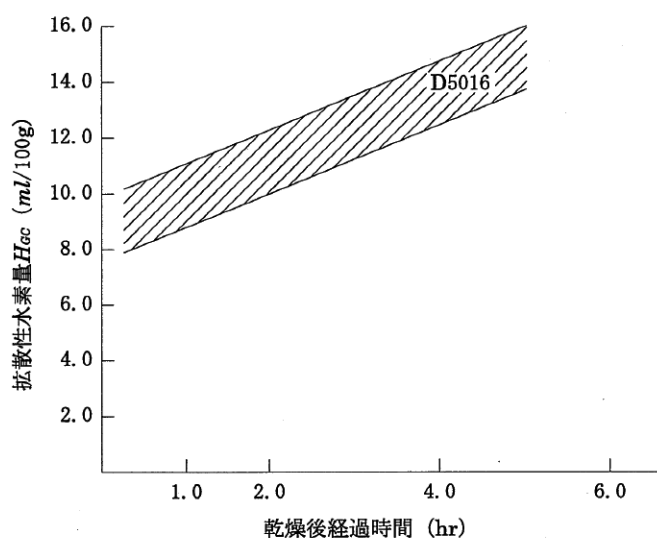


図-解 17.4.3 低水素系溶接棒の乾燥後経過時間と拡散性水素量の関係

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： $t \leq 50$ 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、

$1 < \delta \leq 3$ 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。

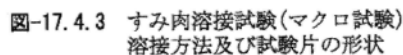
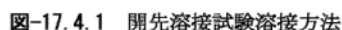
- ii) 溶接施工試験は、表-17.4.4にあげた試験項目から該当する項目を選んで行うのを標準とし、供試鋼材の選定、溶接条件の選定その他は、下記によるのを原則とする。

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 (試験片採取位置は図-17.4.2による)	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)
	マクロ試験		—	1	JIS G 0553に準ずる	欠陥があつてはならない
	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	欠陥があつてはならない
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/mm ² 以上、引張強さは400~550N/mm ² 、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

- 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。
- 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。
- 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。
- 再試験は最初の個数の2倍とする。



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 (°C)			
		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く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にした。

- 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、グラビデ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は全種類となる（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、この場合の可否の判定は、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、とくに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增大するが、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)		
		$t \leq 25$	$25 < t \leq 40$	$40 < t \leq 100$
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

$$T_p(^{\circ}\text{C}) = 1,440P_w - 392$$

ここに,

$$P_w = P_{CM} + \frac{H_{OL}}{60} + \frac{K}{400,000}$$

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 $H_{OL} = 2\text{ml}/100\text{g}$

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

$$H_{OL} = 1\text{ml}/100\text{g}$$

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

$$K = 200t \text{ N/mm} \cdot \text{mm}$$

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じ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、仕上げる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る程度等は「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をこえる凹凸があつてはならない。

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つてはならない。

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つてはならない。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)
$B < 15$	$h \leq 3$
$15 \leq B < 25$	$h \leq 4$
$25 \leq B$	$h \leq (\frac{4}{25}) \cdot B$

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	あつてはならない。
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つてはならない。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とは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、溶接線の間部部では長さの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、補修溶接部の始末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と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	1	1 枚(引張側)	1
	板	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	継手の始末端で連続して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。

- 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。
- 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、ここでの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) 抜き取り検査率、判定基準、合否判定

i) 抜き取り検査率

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。

抜き取り検査箇所はそのグループを代表しているもので、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、抜き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、抜き取り検査箇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と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、撮影箇所を1溶接線に均等に配分することとしたが、溶接線の始末端部、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とした。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。

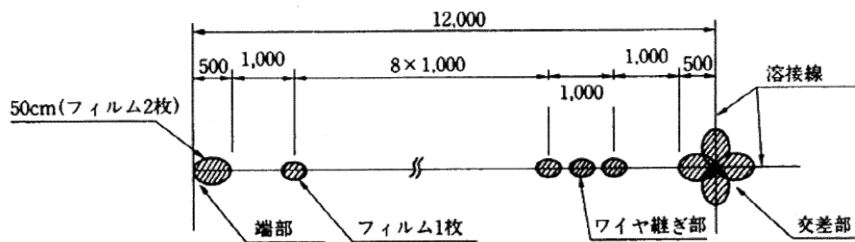


図-解 17.4.4 鋼床版デッキプレートのX線撮影箇所の例

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、重ね継手等があり、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) CO₂ ガスシールドアーク溶接に用いる CO₂ 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れ欠陥が生じるので、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。

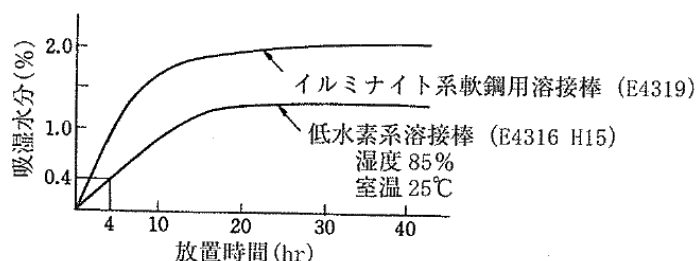


図-解 18.4.1 被覆アーク溶接棒の放置時間と吸湿水分の関係

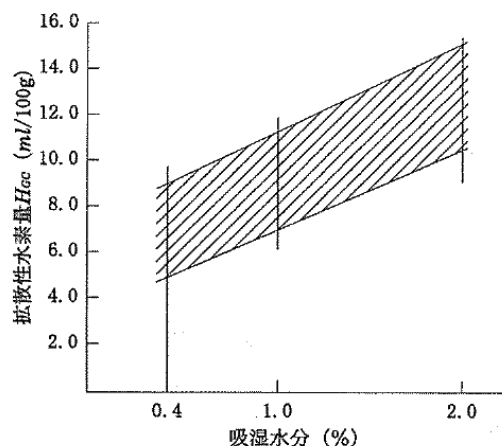


図-解 18.4.2 低水素系溶接棒の吸湿水分と拡散性水素量の関係

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。

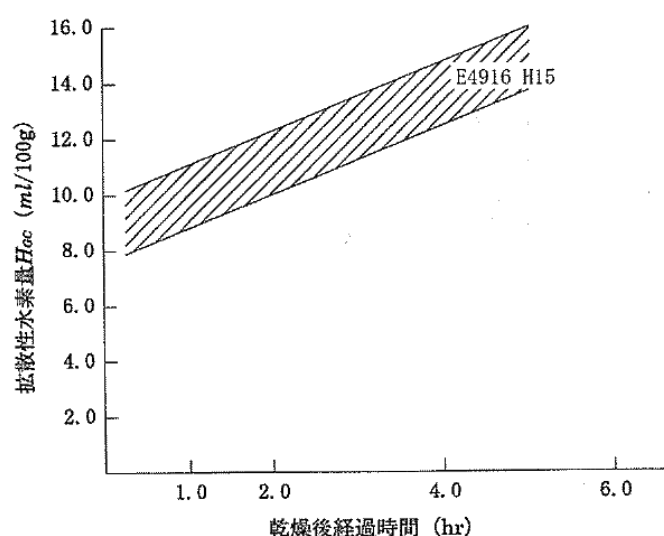


図-解 18.4.3 低水素系溶接棒の乾燥後経過時間と拡散性水素量の関係

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 $\pm 1.0\text{mm}$ 以下
- b) 板厚方向の材片の偏心： $t \leq 50$ 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 $\pm 10^\circ$

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. $0\text{mm} < \delta \leq 3.0\text{mm}$ のとき : 脚長を δ だけ増す
- 3. $0\text{mm} < \delta$ 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（CO₂ガス又は Ar と CO₂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 (試験片採取位置は 図-18.4.2による)	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	欠陥があつてはならない
	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	欠陥があつてはならない
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/mm ² 以上、引張強さは 400~550N/mm ² 、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。

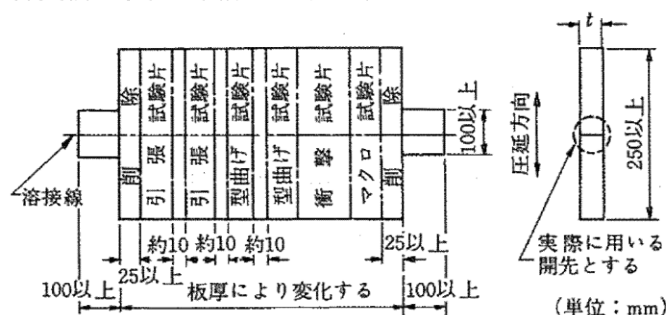


図-18.4.1 開先溶接試験溶接方法

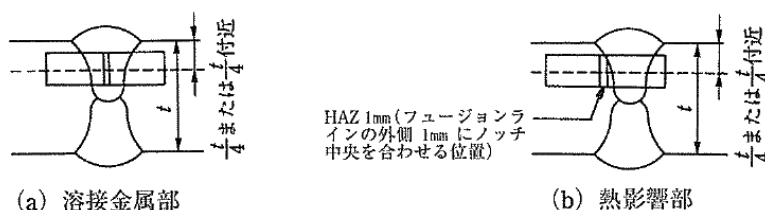


図-18.4.2 衝撃試験片（開先溶接試験片の採取位置）

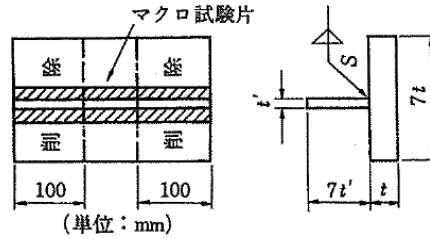


図-18.4.3 すみ肉溶接試験（マクロ試験）
溶接方法及び試験片の形状

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。

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

- 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、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, 油等があつてはならない。
- 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 CO₂ ガス又は CO₂ 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、CO₂ 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 (C_{eq})、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、

$$\text{入熱量 } Q(\text{J/mm}) = \frac{\text{電流}(\text{amp}) \times \text{電圧}(\text{volt}) \times 60}{\text{溶接速度}(\text{mm/min})}$$

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にしている。

- 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、グラビディ溶接等が用いられている。これらの溶接方法は、効率上、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にしている。
- 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はほぼ全種類となる（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3mm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、とくに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(C_{eq})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、 C_{eq} と溶接割れ感受性組成(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(C_{eq})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)		
		$t \leq 25$	$25 < t \leq 40$	$40 < t \leq 100$
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

$$T_p (\text{℃}) = 1,440P_W - 392$$

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_{GL})

低水素系の溶接棒による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)

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

$$K = 200t \quad \text{N/mm} \cdot \text{mm}$$

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)の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バ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、溶接の始末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よう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る。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)
$B < 15$	$h \leq 3$
$15 \leq B < 25$	$h \leq 4$
$25 \leq B$	$h \leq (4/25) \cdot B$

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 $\pm$ 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、リップ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⁾が参考になる。

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		
横溶接突合せ手	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	0.0mm(仕上げ)		
			非仕上げ	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		
		$1/5 \leq r/d$	D	0.5mm		
	切抜きガゼットのフィレット部	$1/10 \leq r/d < 1/5$	E	0.5mm		
十字溶接継手 荷重非伝達型手	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	$d_0 \leq 100\text{mm}$	F	0.3mm		
$d_0 > 100\text{mm}$		G	0.3mm			
十字溶接継手 荷重伝達型手	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	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 ($l \leq 100\text{mm}$)	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 ($l > 100\text{mm}$)		G	0.3mm	
		ガゼットを完全溶込み開先溶接した継手 ($l > 100\text{mm}$)		止端仕上げ	F	0.0mm(仕上げ)
				非仕上げ	G	0.3mm
	内	主板上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
		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)	$1/3 \leq r/d$	D	0.0mm(仕上げ)	
			$1/5 \leq r/d < 1/3$	E		
			$1/10 \leq r/d < 1/5$	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)		
溶接他継手	カバープレートをすみ肉溶接で取付けた継手 ($l \leq 300\text{mm}$)		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 ($l > 300\text{mm}$)		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認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、補修溶接部の始末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) 抜き取り検査率、判定基準、合否判定

i) 抜き取り検査率

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 継手の抜き取り検査を行う。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 枚(端部を含む)	
	圧縮フランジ	1 枚(端部を含む)	
腹板	応力に直角方向の継手	1 枚(引張側)	
	応力に平行方向の継手	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	継手の始末端で連続して各 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。

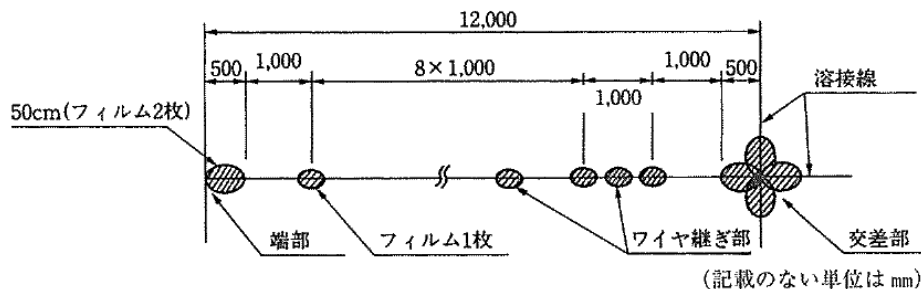
溶接品質に影響を与える条件には、継手形式、材質、板厚、溶接条件、開先及び組立の精度、開先の清浄度、予熱、後熱及びパス間温度の管理、溶接作業者の技量等がある。そこで、これらの溶接条件が同じ溶接継手は品質管理上同じものであるとみなし、そのような継手の集合を1つの検査ロットとする。例えば、同じ板厚構成の突合せ継手が10継手あり、これらを同じ溶接方法で溶接した場合、この10継手で一つの検査ロットを構成することになる。ただし、ここでいう1継手とは、板と板との継手であり、部材と部材との継手という意味でない。したがって、1度に連続して溶接した部材を後から切断して10個の部材にしたとしても、継手としては1個として考える。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もので、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、溶接線の始末端部、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ず。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⁾が参考にてきる。

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
横溶 突接 合継 手	余盛りを削除した継手	D	3mm ($t \leq 18\text{mm}$) $t/6\text{mm}$ ($t > 18\text{mm}$)
	止端仕上げした継手	D	
	非仕上げ	両面溶接	
		良好な裏波形状を有する片面溶接	
縦溶 方接 向継 手	完全溶込み開	余盛削除	$t/3\text{mm}$
	先溶接継手	非仕上げ	
荷十 重字 伝溶 達接 型継 手	完全溶込み開 先溶接継手	滑らかな止端を有する継手	3mm ($t \leq 18\text{mm}$) $t/6\text{mm}$ ($t > 18\text{mm}$)
		止端仕上げした継手	
		非仕上げの継手	

なお、平成8年までの示方書では、大きさによらず割れの有無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
錳 " "	0.4 % "
燐 " "	0.04 % "
硫黄 " "	0.04 % "
珪素 " "	0.05 % "

たるものとす。

第二項 被覆剤は電極棒心髄と正確に同心に塗布せられ運搬、蔵庫等の取扱ひに依り容易に剝脱せず、且つ銲接部分に悪しき影響を與へざるものたることを要す。

第三項 電極棒は銲接の姿勢により下向き銲接用電極棒と横、豎、上向き銲接用電極棒との2種とし、夫々當該銲接姿勢に於て容易に良質の銲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。)の品質は抄系の規定による試験において使用したものと同様なものに限る。

解 説

1. 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ぬ。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) の「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連別 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、各種の試験方法及びその成績、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/mm^2)	降伏点(kg/mm^2)	伸び(%)	衝撃値(シャルピー $\text{kg}\cdot\text{m/cm}^2$)
D 4300	44	37	22	9
D 4310	"	"	"	"
D 4311	"	"	"	"

引張強さ(B17(D4300) 44~50 38~44 26~30 12~17

註、引張試験片の標準距離 50mm $\phi = 12.5\text{mm}$

此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 D4310 (E6010) 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熱電圧が高くなって使用できない。従って交流には不向きであるが D4311 (E6011) は被覆剤の成分を加減して交流にも適用し得る様にしたものである。交流用棒は被覆剤に電熱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 は未だ制定向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に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)
神戸府葺合区	神戸製鋼	B - 17	5, 4, 32
"	"	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	"
大阪府城東区	日本電極	ND - 150	5, 4
東京都中央区	日本油脂	MS - 136	5, 4, 32
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 報 国	SE - 12	"
神戸府住田区	白山鉄業	H - 18	5
大阪府中河内郡	大陽鋼業	E - 11	"
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

上述の棒はどれも 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。価格に昭和 26 年現行トソ当り 15~16 万円、乃至 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) のものが束計 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17条 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。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18条 気温が 0°C 以下の場合には溶接を行ってはならない。但し、承認をえ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 5°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 8cm 平方程度を酸素アセチレンガス等により掌でさはいれる程度(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熱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。

なほ低温の爲どうしても急冷、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焰で加熱するとか囲ひ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十分であり、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、不平等冷却による内部応力の発生等の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条 焼鈍を行う場合は溶接部を部材の厚さ25mm以下に1時間の割合で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 3124 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發揮するものであるから、それぞれ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。

軟鋼をサジ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、もっともよく用いられるが、溶着鋼中のSと含有量が多いので、多層溶接するとSと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Mnの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。またオース系に述べたように、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、フラックスを発生させる危険が大きいが、一般にリムド鋼で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Mnのフラックス）を使用しなければならない。

なお鋼板の板厚、両先の形状、溶接速度と溶接電流、両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)

オース系 溶接棒はSM4/又はSS4/の溶接においては、JIS 5302/1 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。

又、SM50とSM4/又はSS4/との溶接には、JIS 5302/1 軟鋼用被覆アーク溶接棒のうち低水素系のものを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止じ難く、溶接部分が要求されるあらゆる性能を十分負えることであり、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 G 3523 (被覆アーク溶接棒心線)、JIS Z 3211 (軟鋼用被覆アーク溶接棒)等がある。

表、3-1 は JIS G 3523 における心線の化学成分を示し、表、3-2 は、JIS Z 3211 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 3-1 の D 4310 ~ D 4330 はそれぞれ ASTM-AWS の E 6010 ~ E 6030 に該当している。また D 4300, D 4301, D 4302, D 4303, D 4600 は我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、23 はこれらの溶接棒によって保証される引張強さ (kg/cm^2) 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 (JIS G 3523 (1957 年))

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	引張強さ kg/mm ²	降伏点 kg/mm ²	伸び %	衝撃値 (20℃) kg-m/m ²
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	ライタダマ系	F.V.OH.H	"				
D4310	高セルロース系	F.V.OH.H	D.C (R)	43	35	22	9
D4311		F.V.OH.H	A.C or D.C (R)				
D4312	高酸化チタン系	F.V.OH.H	D.C (S) or A.C	47	37	17	-
D4313		F.V.OH.H	A.C or D.C (S)				
D4315	低水素系	F.V.OH.H	D.C (R)	47	37	22	12
D4316		F.V.OH.H	A.C or D.C (R)				
D4320	高酸化鉄系	F.H-Fil	水平ス：肉溶接ではA.C or D.C (S). 下向溶接では A.C or D.C	43	35	25	9
D4324	鉄粉酸化チタン系	F.H-Fil	A.C or D.C	47	37	17	-
D4327	鉄粉酸化鉄系	F.H-Fil	水平ス：肉溶接ではA.C or D.C (S). 下向溶接ではA.C or D.C	43	35	25	9
D4330	高酸化鉄系	F	A.C or D.C				
D4600	規定しない	F.H-Fil	A.C or D.C	46	38	26	9

また溶接姿勢の各記号は下記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、D4310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はA.C：交流，D.C：直流両極性，D.C (S)：直流正極性，D.C (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、ビードの外観は綺麗でなく、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れており、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れており、またD4312, D4313より機械的性質も優れている。

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、使用性能等に著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ってそれぞれ独立した種類となった。

D4320は下向および水平すみ肉の溶接に、またD4330は下向きのみを用いられる。いずれも溶着金属の性質は優れており、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、厚被覆のため被覆層の形成が深く接触(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、ノ層で脚長 10 mm 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、D4306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、本示方書では溶接のまゝの引張強さが 50 kg/mm^2 及其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 $70000\text{ lb/in}^2 \approx 49\text{ kg/mm}^2$ を示す）この場合全姿勢用（軟鋼用溶接棒の場合のD4305、D4306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 $52-60\text{ kg/mm}^2$ 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、熱えいきよ部割れや溶着部割れが少く、また、脱酸が良好で切欠鈍性も

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、スタート時に瞬時的に大
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D4305、D4306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、オ
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 Z 3211 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、ボ
ノノ系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 mm 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
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に、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、 $50^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 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 10cm の範囲を $50^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 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、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 Z 3211 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 1 3 条 仮付溶接の最小長は 4 0 mm 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、溶接始末端に欠陥の生じないように、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、5 0 °C ~ 1 0 0 °C の予熱を行わなければならない。

鋼 材	条 件
S M 4 1 , S S 4 1	室温 5 °C 以下の場合
	板厚 3 2 mm をこえる場合
S M 5 0	室温 1 0 °C 以下の場合
	板厚 2 0 mm をこえる場合

(予 熱)

第 3 1 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 1 0 m の範囲を 5 0 °C ~ 1 0 0 °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
S M 4 1 , S S 4 1	室温 5 °C 以下の場合
	厚さ 3 2 mm をこえる場合
S M 5 0	室温 1 0 °C 以下の場合
	厚さ 2 5 mm をこえる場合

(作業時の温度)

第32条 室温が0℃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ってはならない。

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 仮付溶接の長さは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, SS 41	(1) 作業場の温度 5℃以下 (2) 3.2 mm をこえる厚サ	(1) 作業場の温度 5℃以下 (2) 3.2 mm をこえる厚サ
SM50	(1) 作業場の温度 10℃以下 (2) 1.9 mm をこえる厚サ	(1) 作業場の温度 10℃以下 (2) 2.5 mm 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ってはならない。

(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) SS 41およびSM 41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) SM 50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) SM 50とSM 41またはSS 41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、SM 41に対し3.2 mm～6 mm、SM 50に対し4 mm～6 mm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に示す条件のいつれかに該当する場合には、溶接線屑に沿って両側5 cm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3.2mm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3.2mm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2.5mm以上3.8mm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1.9mm以上3.2mm未満の場合	50℃ 以 上
	板厚3.8mm以上の場合	100℃ 以 上	板厚3.2mm以上の場合	100℃ 以 上

(14) 鋼鉄道橋設計標準解説：昭和45年

2. SS41, SM41 および SMA41 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、SM50 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、SM50Y, SM53 および SMA50 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わせ 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38 mm未満の場合 板厚38mm以上の場合	50℃ 以上 100℃ 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32 mm未満の場合 板厚32mm以上の場合	50℃ 以上 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。

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

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撰定にあたっては、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に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	条 件	予 熱 温 度
SS 41, SM 41 または, SMA 41	(1) $0^{\circ}\text{C} < \text{作業場の温度} \leq 5^{\circ}\text{C}$ (2) 拘束の大きい場合 (3) 板厚32mm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℃	50℃以上
	(2) 拘束の大きい場合	
	(3) 板厚25mm以上38mm未満の場合	
SM58 または SMA58	板厚38mm以上の場合	100℃以上
	板厚25mm未満の場合	50℃以上
	板厚25mm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2.1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、予熱しなければならない。なお、サブマージ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。

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

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2.2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に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	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32mm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25mm以上38mm未満の場合 板厚38mm以上の場合	50℃以上 100℃以上
SM58 または SMA58	板厚25mm未満の場合 板厚25mm以上の場合	50℃以上 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、下記の式を用いるものとする。

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

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、5.2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80mm以上とし、本溶接と同様の方法を適用し、本溶接箇所施工する。なお、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) 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、ルートのス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 32mm 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 25mm 以上 38mm 未満の場合	50℃ 以上	——
	板厚 38mm 以上の場合	100℃ 以上	50℃ 以上
	板厚 25mm 未満の場合	50℃ 以上	50℃ 以上
SM58 または SMA58	板厚 25mm 未満の場合	50℃ 以上	50℃ 以上
	板厚 25mm 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。

$$Ceq(\%) = C + \frac{Mn}{5} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14}$$

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。

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/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

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 80mm 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, 4mm 以上とし, その間隔は 400mm 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 (°C)	
		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°C<作業場の温度≤5°C (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°C<作業場の温度≤10°C (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	板厚 25 mm 未満の場合	50 以上	50 以上
SMA 570	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 Y 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、 $Cu \geq 0.5\%$ 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。

(2 2) 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ば、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/mm² 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/mm² 級と 400 N/mm² 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/mm² 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。

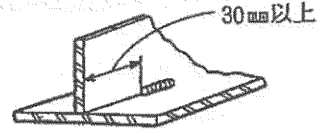
表 4.2.1 予 熱

鋼 材	条 件	予 熱 温 度 (°C)	
		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°C<作業場の温度≤5°C 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°C<作業場の温度≤10°C 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 SM 570 SMA 570	(1) 0°C<作業場の温度≤10°C の場合 (2) 板厚 25 mm 以下の場合	50 以上	不要
	板厚 25 mm を超え 50 mm 以下の場合	100 以上	50 以上
	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°C 以下の場合は 50°C 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。



解説図 4.2.1 組立溶接の端部処理

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。

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)		
	$t \leq 25$	$25 < t \leq 40$	$40 < t \leq 75$
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。

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

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 (°C)

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 $H_{GL} = 2 \text{ ml/100 g}$

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 $H_{GL} = 1 \text{ ml/100 g}$

K : 溶接継手の拘束度

$$K = 200 \cdot t \quad (\text{N/mm} \cdot \text{mm})$$

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°C 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.