

報告書（I）

箱桁内溶接のロボット化に関する研究

溶接分科会

箱桁内溶接のロボット化に関する研究

目次

第 1 章	まえがき	1
第 2 章	ロボット化の現状	2
2-1	ロボットのハード・ソフトの現状	
2-1-1	ロボット本体	
2-1-2	周辺装置	
2-1-3	教示システム	
2-1-4	ハード・ソフトの問題点および要求項目	
2-2	鋼橋製作における溶接の自動化の現状	
第 3 章	実施工への適用の検討	18
3-1	ロボットによる施工方法	
3-1-1	組立方法	
3-1-2	口組（閉断面）によるロボット施工方法	
3-2	ロボットによる箱桁内溶接のシミュレーション	
3-2-1	シミュレーションの方法および前提条件	
3-2-2	シミュレーション結果	
3-2-3	小型ロボットの適用について	
3-3	能率	
第 4 章	構造詳細の提案(適用率向上に向けて)	41
4-1	ロボット施工が容易な構造詳細	
4-2	溶接箇所を低減させる構造詳細	
4-3	各公団公社のスカロップ形状	
第 5 章	アンケート調査	56
第 6 章	まとめ	65
	ロボット資料	67

第1章 まえがき

近年、橋梁業界において溶接作業者の高齢化が進み、溶接工が不足してきた。また、きつい・汚い・危険に代表される3Kといわれる作業環境のなか、溶接作業の自動化・ロボット化が要求されるようになった。現在、I桁製作においてフランジとウェブの首溶接、あるいはスティフナの溶接では自動化・ロボット化が各社で検討され実用化されている。また、箱桁においても縦リブなどのパネル製作では多電極の自動溶接機や多関節ロボットを使用した製作ラインも適用されている。しかしながら、箱桁製作において箱桁内部の溶接作業は、劣悪な作業環境であり、最もロボット化が望まれているが未だに人の手によって行われているのが現状である。

これまで、ロボット化に関する各委員会でもこの箱桁内溶接のロボット化については困難である、あるいは今後の課題であるという程度で具体的に検討されていない。そこで、鋼橋技術研究会のロボット研究部会ではこの箱桁内溶接のロボット化について研究を行うことにした。

それでは、なぜロボット化が困難であるか。その理由として考えられる項目を以下に示す。

- ①ロボット搬送の自動化が困難。
- ②箱桁内の構造詳細が複雑。
- ③ロボットのハード、ソフト技術の問題。
- ④コストの問題。
- ⑤適用化率の問題。

以上のような問題から、これまで箱桁内溶接のロボット化が見送られてきたと考えられるが、特に、搬送の自動化が困難であることが最も阻害されている原因と思われる。というのも、これまでロボット化が行われてきたのは、パネル製作といった開断面のものであり、ロボットが溶接部に比較的容易に搬送できた。しかし、箱桁内のように閉断面にいかにしてロボットを自動で搬送するかが第1の課題であろう。また、近年、小型のロボットが開発され人手により搬送が可能となったが、箱桁内の構造詳細が複雑でありロボットを適用しても溶接残しが発生し、適用率が低く、かえってコストが上がる結果となる。

本報告は、箱桁内溶接のロボット化を行う上で、障害となっていることを明らかにし、ロボット化が可能となるように以下の事柄について、検討を行った。

- ①ロボットのハード・ソフトの技術的な問題。
- ②ロボット施工法の提案。
- ③シミュレーションによるロボット施工の適用範囲。
- ④適用率の比較。
- ⑤構造詳細の問題点と変更の提案。

以上の事柄を検討の上、箱桁内溶接のロボット化にへ向けての提言を行ったので、その検討結果を報告する。

第2章 ロボット化の現状

2-1 ロボットのハード・ソフトの現状

2-1-1 ロボット本体

現在、市販されている多関節ロボットを箱桁内面に適用するには搬送が容易な小型ロボットが考えられる。その小型ロボットの例を表2-1に示す。

これらは主に造船におけるトランス材の溶接部位に適用されており、橋梁分野では横リブの組立など小物の製作に使用されているケースもある。本体重量は、軽いもので19kgとハンディなものがあり、ソフト的にも大型機種とほとんど変わらない。

表2-1 小型アーク溶接ロボット（本体）例

メーカー	機種	可搬重量	重量
川崎重工業(株)	J s-2	2kg	約20kg
(株)神戸製鋼所	アークマン POCO-α3	3kg	27kg
(株)ダイヘン	アルメガ ROBOLAND	3kg	19kg
松下産業機器(株)	Pana Robo AW-003B(生産中止)	3kg	約44kg

次に、マニピュレータなどと組み合わせると大型ロボットも適用可能であり、3-1でも紹介するが、箱組みをロボットで行う場合、開断面（U字組）および閉断面（口組）での溶接施工に適用可能と思われる溶接ロボットを表2-2に示す。一般的な製作ラインではこれらの機種が使用されており、橋梁製作においては、ウェブと垂直補剛材および水平補剛材などのパネル製作で使用されるケースや、ダイヤフラムの組立溶接に使用されるケースなどがある。

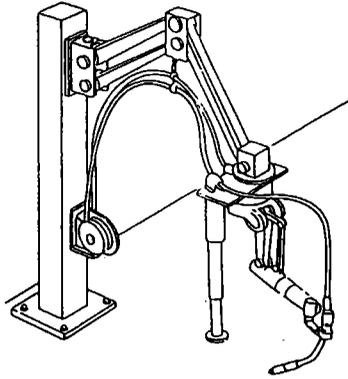
表2-2 アーク溶接ロボット（本体）例

メーカー	機種	可搬重量	重量
川崎重工業(株)	アーク・ジェイス	6kg	140kg
(株)神戸製鋼所	ARCMAN RON	10kg	315kg
コ マ ツ	RAL 06-II	6kg	170kg
新明和工業(株)	ローベル RJ660	6kg	180kg
(株)ダイヘン	アルメガ V10S	10kg	260kg
ファナック(株)	ARC Mate 120	12kg	230kg
松下産業機器(株)	Pana Robo AW-005AL	5kg	105kg
安川商事(株)	MOTOMAN-SK6	6kg	145kg

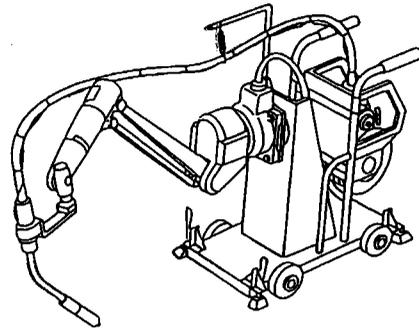
2-1-2 周辺装置

小型溶接ロボットにおける周辺装置を以下に示す。
外部制御軸（専用台車、レール、スライダ等）または、マニュアル軸を付加することにより、作業性の向上を図っている。

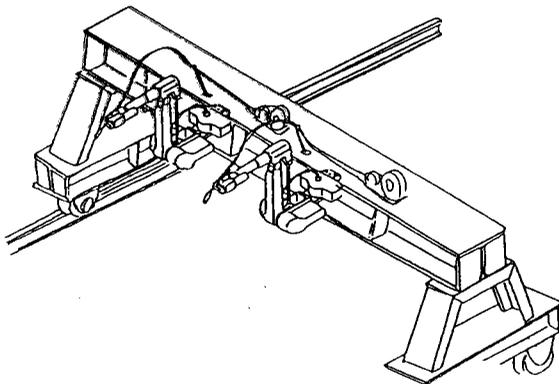
（各社カタログなどより抜粋）



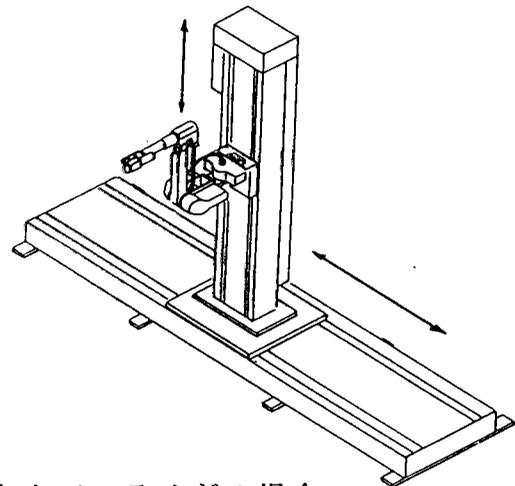
小物ワークへの適用



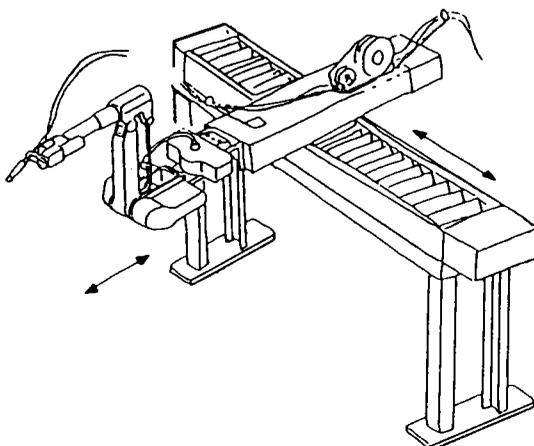
移動式システムの場合



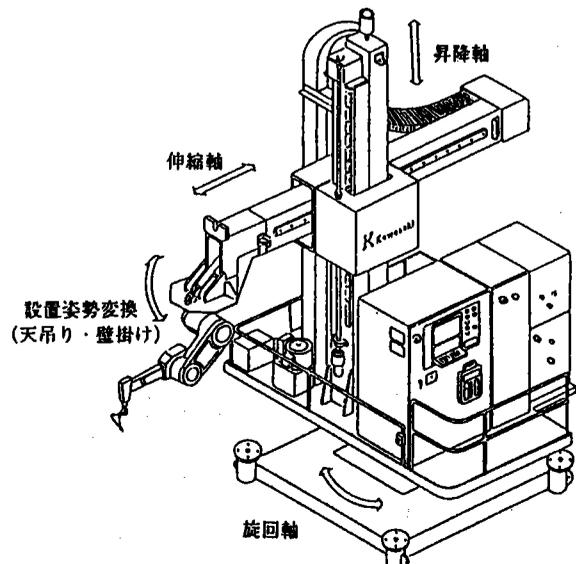
門型台車との組合せ例



左右上下スライダの場合

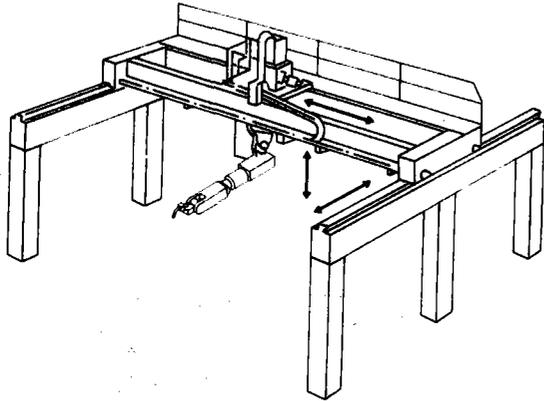


前後・左右スライダ片持ち

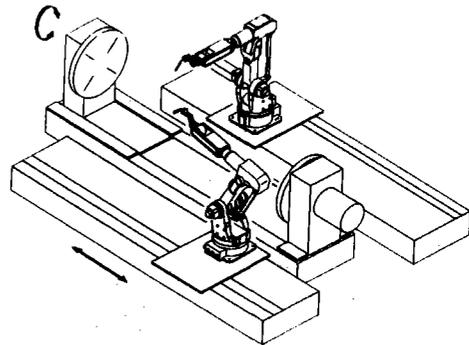


前後・上下スライダ片持ち

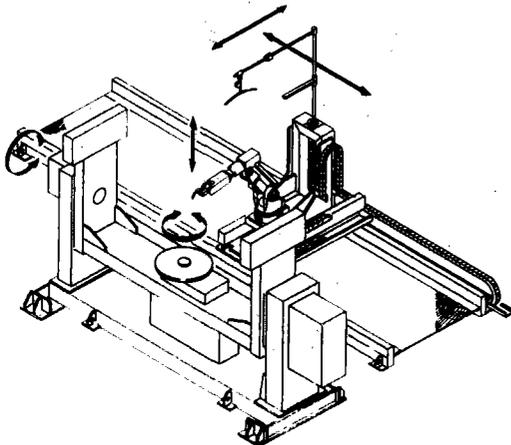
次に、一般アーク溶接ロボットにおける周辺装置として以下に適用例を示す。
 外部制御軸を付加し、システムアップすることにより作業性の向上を図っている。
 (各社カタログなどより抜粋)



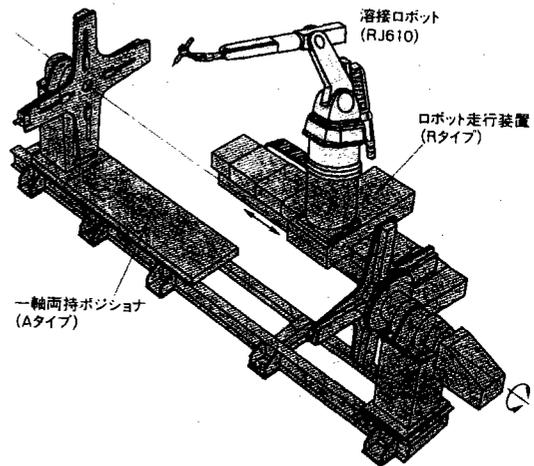
天吊り：3軸スライダとの組合せ



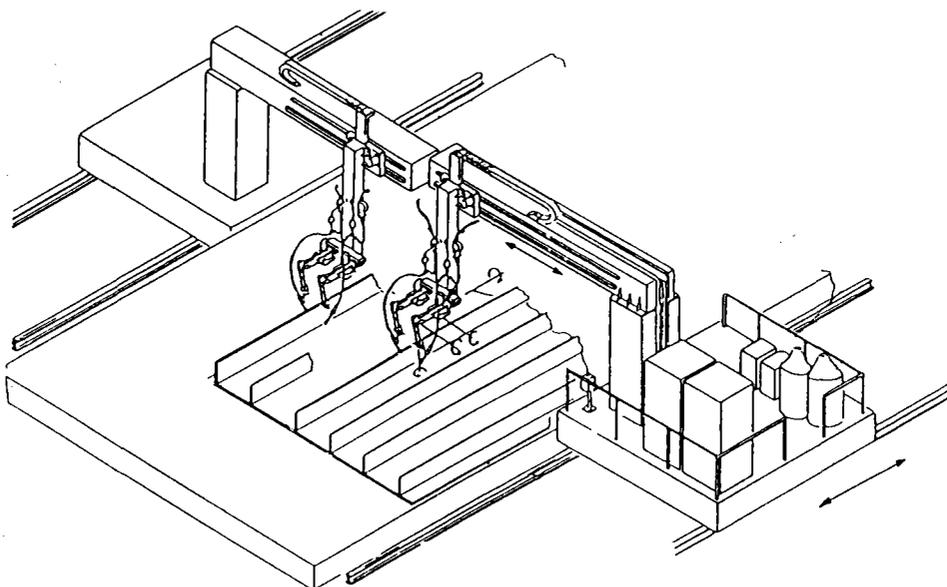
両持ちポジションとロボット2台の組合せ



両持ち2軸ポジションと
3軸スライダとの組合せ



ホジショナとの組合せ



大型システムへの適用

2-1-3 教示システム

前項 2-1-2 以外の周辺装置として、ロボット教示システムがある。
従来より、ティーチングプレイバック方式が溶接ロボットの場合、最も普及しているが、その他の教示方式としてダイレクト教示、セルフティーチ、オフライン教示がある。

各教示システム概要については、巻末ロボット資料に記す。

オフライン教示システムの例を表 2-3 に示す。

表 2-3 オフライン教示システム例

メーカー	システム名称	備考
川崎重工業(株)	KASTL (カストル) システム	動作指示と 動作シミュレーション
(株)神戸製鋼所	KOTS	動作シミュレーション 干渉チェック機能
松下産機 システムエンジニアリング(株)	DTPS	動作シミュレーション

オフライン教示システムには、ユーザーCAD (上流側) データを取り込んだ後、動作シミュレーション (干渉チェック) 機能を有しているものもある。

2-1-4 ハード・ソフトの問題点および要求項目

現状のロボットで、閉断面構造の箱桁内面溶接を自動化、ロボット化するには、ダイヤフラム部、縦リブ、水平補剛材、垂直補剛材など空間的制約が多いため、導入が遅れている。

これは、

- ①ダイヤフラムを通過できる形状・寸法のロボットで、簡単に搬入・セットができる。
- ②ティーチングが容易である。
- ③障害物を回避し、狭隘な部分の溶接もでき、出来る限り溶接残しを無くする。
- ④無監視である。
- ⑤全姿勢溶接可能である。

などが、要求されているため、現状のロボットで全てを満足することは困難であると考えられる。

また、箱桁自体を反転させるとしても、下向および立向に限定され、箱桁内面溶接を完全にロボット化するのは難しい。特に、廻し溶接や部材との干渉で施工不能箇所が発生するとその短い溶接線のために、再度人間が入って溶接することが必要になる。これにより、ロボットの搬出や再溶接の準備時間等を考えると、現状ではロボット導入によるメリットが少ないと考えられる。その他にも安全上の問題、溶接姿勢の問題、ロボットの箱桁内への搬入方法など数多くの解決すべき問題点がある。

(1) ロボット本体における問題点

1) アーク溶接ロボットの場合、ケーブル本数が多い。

- ・制御用、ガス、冷却水、パワー、ワイヤ送給用などがあり、これらがロボットおよびワークと干渉するケースがある。(ロボットアーム内に通す機種も一部でできている。)
- ・周辺軸数が多い場合、時としてケーブルの取り回しの関係上、ロボットの持つエアカット最高速度で運用できないことがある。

2) ロボットのサイズ、重量と動作範囲

- ・ロボットをシステム化する上で、出来るだけ大きな動作範囲を持つ軽量、コンパクトなロボットを必要とする。これは、周辺軸の設計および設備コストに大きく影響してくる。

3) ワークとの干渉

- ・複雑な形状のワークにおいて、ロボットおよびトーチとワークの干渉により溶接できない箇所が多い。
- ・トーチ交換装置、ポジショナー等が必要となる。
- ・トーチにはショックセンサ等が取り付けられており、トーチが干渉したときにロボットを停止させるようになっているが、ロボットのアーム自体が干渉した

場合にはアームを駆動するモータが過負荷異常を検出するまでロボットは停止せず、ロボット自体がダメージを受けたりジグ、ワークが破損したりすることがある。ケーブル類の干渉は無チェックである。

(2)機能上における問題点

1) 溶接線追従センサ性能

- ・現在、溶接線追従はアークセンサが主流である。また、高速回転アーク溶接など、溶接の高速化、高追従性にすぐれているものもあるが、逆に溶接姿勢、トーチ空間は限定される。
- ・溶接ビード継部の自動検知処理は、一部、高速回転アーク溶接法で採用されている。
- ・現状のアークセンサでは開先ギャップを検出して溶接条件を制御するアダプティブ溶接機能をもっておらず、最終的には溶接品質を十分保証しているとは言いきれない。

2) 溶接部位のワーク形状認識、知能化性能

- ・溶接部位のワーク形状を認識し、干渉チェック、自動退避できること、溶接姿勢を判断し最適溶接条件を選択できる機能（3次元視覚センサ、画像処理、適応化制御など）を持った人工知能型ロボットでないと無人化が困難である。

3) 始末端検知センサ

- ・一部、光学系センサ等を採用しているメーカーもあるが、依然としてタッチセンサ（3方向センシングなど）が確実である。しかし、これはアークタイム率の低下の原因にもなっている。また、ショッププライマー鋼板においては、センシングミスとなる可能性もある。
- ・一部、回転アーク溶接法では、終端部自動検知機能を有しているが、感度設定上、終端部角巻き溶接ビードが大きくなることがある。

(3)ソフトにおける問題点

1) ロボットプログラミング言語

- ・各社独自言語であり互換性がないことから、システム化のソフト開発がメーカ依存となり、市場規模の小さいシステムはコストアップとなってしまう。

2) オフライン教示システム

- ・上流側システムよりCADデータ等を使って、溶接用NCデータに変換、あるいは、干渉チェックまで行うシステムが実現されている。しかし、これらは、完全な干渉チェック回避機能までは至っていない。

(4)その他の問題点

1) 溶接材料

- ・全姿勢での溶接性のよい溶材（高能率、高品質）の開発が望まれる。
- ・現状の溶材では、上向、立向での溶接性能は下向きに比べ差が大きい。
- ・低スパッタ、高速溶接、十分な溶け込み、平滑なビード形状などが望まれ、

これらは溶接電源、ガスと両面から解決する必要がある。

2) ショッププライマー鋼板および塗料

- ・ロボット化を進める上で、塗料（ショッププライマー）が溶接性に及ぼす影響は大きく、最近では低亜鉛ジンク材が採用されつつあるが、ウォッシュプライマー材では依然、溶接能率の低い溶材もしくは、プライマー除去が必要である。

3) アークスタートミス

- ・ワイヤ先端にまれに玉が残ることがある。溶接電源側の改良、アークリトライ機能等によりほとんどアークスタートミスはないと思われるが無人運転においては、ワイヤカッターも必要かと思われる。

4) ノズル清掃、交換装置、トーチ交換装置

- ・ヘビーデューティな無人運転使用にあたりノズル部でのトラブル対策が必要である。
- ・ノズル内の清掃はほぼ満足のいくものであるが、通電チップの磨耗においては交換せざるを得ない。現状では長寿命タイプのチップもしくはトーチ交換装置を採用する必要がある。

5) 価格

- ・ロボット本体価格は安くなってきているが周辺軸（装置）およびソフト費は依然高価である。
- ・ユーザーでも周辺軸をレゴブロックのように組み合わせて使えるといったフレキシビリティを持たせられないものか。
- ・一品一様のワークに対応したフレキシビリティのある安価なシステムが待たれる。

以上、これらの問題点に対し、箱桁内面溶接ロボットの要求事項としてまとめたものを表 2-4 に示す。

表 2-4 箱桁内面溶接ロボットの要求事項

分 類		共 通	可 般 式	マニピュレータ式
ハード ロボット 本体	サイズ	①大きな動作範囲でコンパクトである。 ②ワーク内ダイヤフラム開口部の寸法制限(1m角)を通過できる。 ③溶接部位へ容易に搬入・セットが可能。 ④障害物を回避して狭隙部の溶接が可能となる関節数、関節長、ストロークがある。	①1人で箱内持ち込み、移動、セッティング可能な重量、大きさであること。(max 約20kg) ②1回のセッティングでより大きな動作範囲であること。(min 3m)	①ワーク断面方向で3×3mの有効ストロークがあること。 ②ロボット本体、サポート部、ブーム他が干渉無く箱内にセッティング可能なこと。
	ケーブル等	①制御、ガス、冷却、電源、ワイヤ送給用などのケーブルの取回しがワーク、ロボットと干渉しない。 ②ケーブル類は極力少ないこと。		①ワイヤ送給距離が長くなるため、ワイヤ送給性がよいこと。また、ワイヤ交換作業においても容易であること。
	トーチ部等	①大電流小型トーチである。 ②長寿命型チップで伝導性にすぐれている。		①無人(無監視)運転が可能なこと(12時間以上)。 ②ノズル清掃装置、トーチ交換(チップの交換)装置、ワイヤカッター装置等により、無人(無監視)運転が可能なこと(12時間以上)。 ③ワイヤ交換(全姿勢用ワイヤ or H,V,OH)装置が可能なこと。

分類		共通	可 般 式	マニピュレータ式
ハード 周辺装置	外部軸等	<p>①省スペース、大きな動作範囲である。</p> <p>②ワーク反転装置（下向、立向）を有する。</p>	<p>①セットに際しケーブル接続、精度維持等、組立・解体が容易であること。</p>	<p>①周辺装置が大きなデッドスペースとならないこと</p> <p>②X軸(ワーク長手)方向のトーチ姿勢Hでの有効ストローク・片端よりセットできワーク長さ(12m 全てを動作範囲とできること。またはワーク両端よりの持ち込み方式で6m以上の有効ストロークであること。</p> <p>③Y軸(ワーク幅)方向のトーチ姿勢Hでの有効ストローク・ワーク幅(3m)以上の動作範囲であること</p> <p>④Z軸(ワーク高)方向のトーチ姿勢Hでの有効ストローク・ワーク高(3m)以上の動作範囲であること</p> <p>⑤ワーク位置決め装置座標軸合わせ(旋回)方向の有効ストローク・ワーク軸中心とロボットブーム軸中心を合わせる為の動作範囲(上下、左右±5°程度)であること。</p>
	安全対策 環境対策	<p>①ノイズ等の外乱により誤動作のないこと。</p> <p>②安全装置(人を守る)により、警報、自動停止機能をもつこと。</p> <p>③集塵装置により溶接ヒュームを吸収、作業環境がよい。</p> <p>④遮光対策。</p>		<p>①人の異常接近を検知し一時停止。</p>

分類		共通	可般式	マニピュレータ式
ハード 周辺装置	自己防護 対策	<ul style="list-style-type: none"> ①安全装置（装置を保護する）。 ②衝突等の干渉時、機械を緊急停止し機械を防護する。 ③干渉等、機械が接触衝突しても機械の重要部位で壊れない。 		①重大故障時ワーク外へ取り出せること。
	制御センサー等	<ul style="list-style-type: none"> ①部材端、ビード継ぎ部の確実に短時間なセンシングと溶接。 ②溶接線ルート部の確実に短時間なセンシングと溶接。 ③溶接部位の状況、状態のセンシングと溶接条件自動追従機能。 ④無人運転対応。 	① 1回のセッティングおよび教示後の溶接部位において、無人（無監視）で作業を完了できる。	
ソフト	NCデータ	<ul style="list-style-type: none"> ①3次元NCデータ作成機能。 ②3次元シミュレーションによる干渉チェック、自動回避機能。 ③干渉溶接線、箇所を表示トーチ角度等で回避できる場合は自動回避。 		<ul style="list-style-type: none"> ①人工知能を有し、状況判断し回避動作等をもつ。 ②シミュレーションの結果干渉溶接線の経路等のデータ修正が容易（パッチャリリアリティ的に出来ないか？）。

分類		共通	可 般 式	マニピュレータ式
ソフト	操作性	<ul style="list-style-type: none"> ①自動運転のための操作が容易。 ②NCデータリンク機能を有すること、溶接を中断または終了後において、ロボットが移動等を行った場合においても、完了溶接線を認識できること。 ③軽異常停止時の運転再開が容易。 ④無監視で自動運転可能・軽停止自動対処機能・センシングミス時のリトライ機能・ノズル干渉時のトーチ角修正、リトライ機能・アーク切れ時のリトライ機能。 ⑤ワーク座標系教示のための座標系変換機能。 ⑥溶接姿勢、状態自動識別による溶接条件自動設定機能。 		<ul style="list-style-type: none"> ①溶接部位教示のための座標系設定が容易。 ②溶接中の状況が外部でモニター可能(VR)。 ③実ワークでのティーチング無し(上位側システムでのシミュレーション)教示。 ④生産管理情報のフィードバック。
溶接品質 および メンテナ ンス		<ul style="list-style-type: none"> ①溶接品質が安定している。 ②保守管理(点検、調整)が容易。 ③故障が少ない。 ④異常時の自己診断機能を有する。 		

分 類		共 通	可 般 式	マニピュレータ式
価 格		<ul style="list-style-type: none"> ①導入コスト（償却可能設備）である。 ②ランニングコストが安い 	<ul style="list-style-type: none"> ①一人で複数台の操作ができ、上位側データを個々のロボットにリンクさせことが出来る。 （溶接線の自動消し込み、ビード継ぎ） 	
その他	溶接材料 溶接電源 ガス 他	<ul style="list-style-type: none"> ①高能率、高品質、安価、作業環境向上可能な溶材 ②耐ピット性（ショッププライマーワイヤ）。 ③ノンガスワイヤ（ガスホースの減）。 ④ソリッドワイヤ。 ⑤全姿勢用ワイヤ。 ⑥巻きくせの少ないワイヤ。 		

2-2 鋼橋製作における溶接の自動化の現状

製作方法・製作ラインは、各社様々であるが、図2-1に鋼橋の工場製作における作業フローと溶接自動機器の適用例を示す。

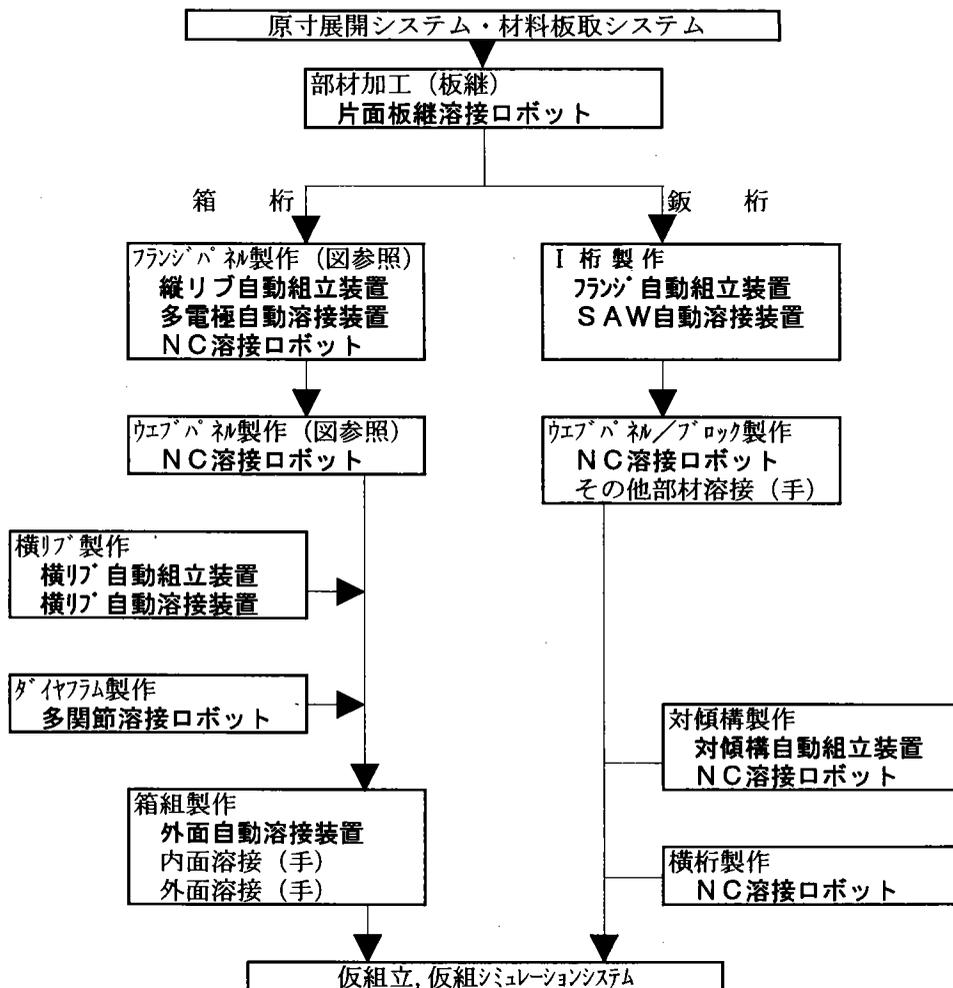


図2-1 鋼橋工場製作概略フロー (例)

図2-1においてゴシック体での設備が自動溶接装置、NC制御溶接ロボットシステムを示す。

まず、I桁においては、自動化・ロボット化が比較的行われており、同業各社により機器あるいはラインが異なるが溶接作業の70~80%は自動機もしくはNC溶接ロボットで行われている。また、箱桁においても縦リブの溶接などでは、多電極自動溶接装置で一度に溶接を行うなど、パネル製作においては、自動化・ロボット化が行われている。

次に、箱桁の組立作業では、外面のウェブとフランジの溶接を簡易型自動すみ肉溶接機で行うケースもあるが、箱桁内面では手溶接(CO2)で行われているのが現状である。

図 2 - 2 に箱桁フランジパネル製作ライン（創機工業株式会社）の例を示す。このラインの溶接装置の特徴は、

- ① 8 電極の溶接トーチ、リブ端面検知、倣い機能により本溶接を行う。
平面ライズに対応。
- ② 溶接条件、溶接脚長変更位置の設定により、所定位置にて溶接条件が自動変更制御される。
- ③ 集塵装置搭載 など。

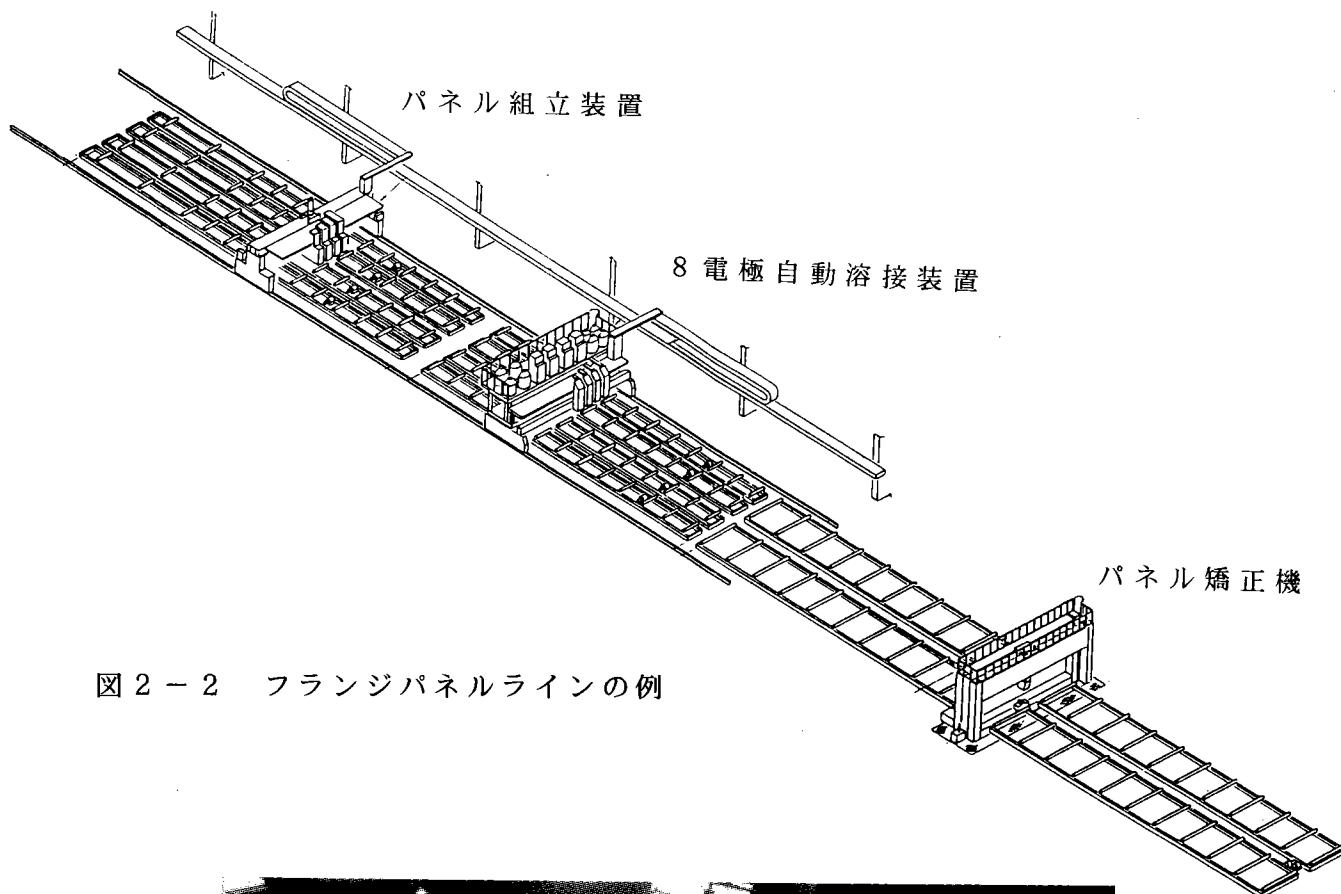


図 2 - 2 フランジパネルラインの例

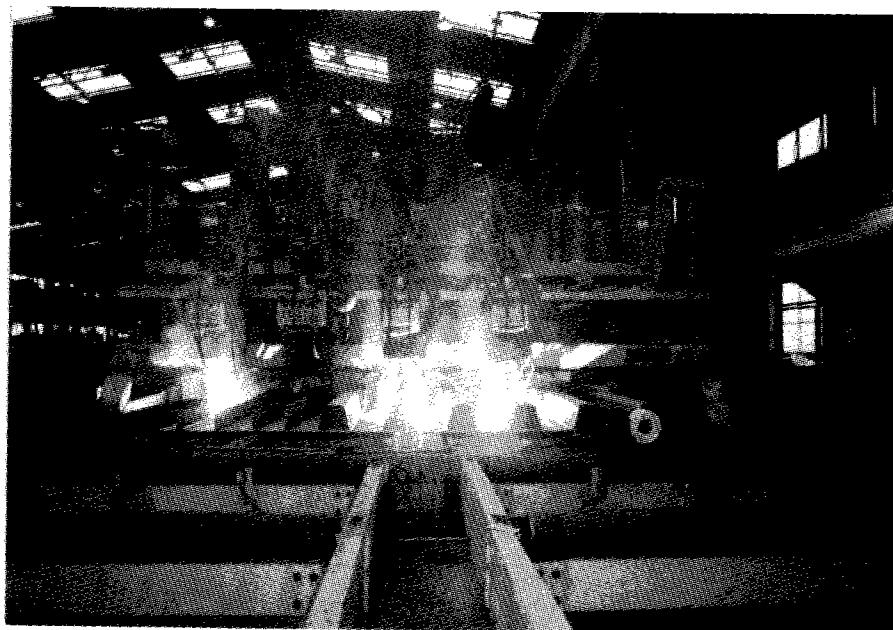


写真 2 - 1 8 電極自動溶接装置

次に、図 2 - 3 に N C 溶接装置（川崎重工業株）の例を示す。

この溶接装置の特徴は、

- ① オフラインティーチング方式と CCD カメラを用いたダイレクトティーチング方式で操作簡単。
- ② レーザーセンサーおよび始末端検知用光センサーを用いた高速センシングが可能。
- ③ ロボットと各種センサーを組合せ、高品質の溶接である。

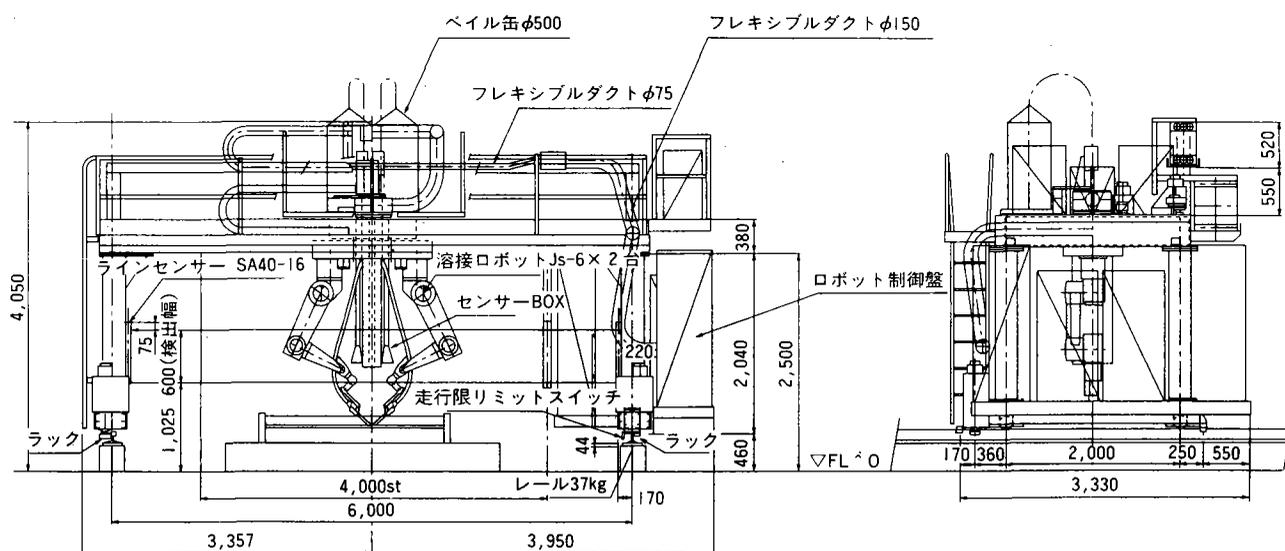


図 2 - 3 パネル溶接ロボットの例 1

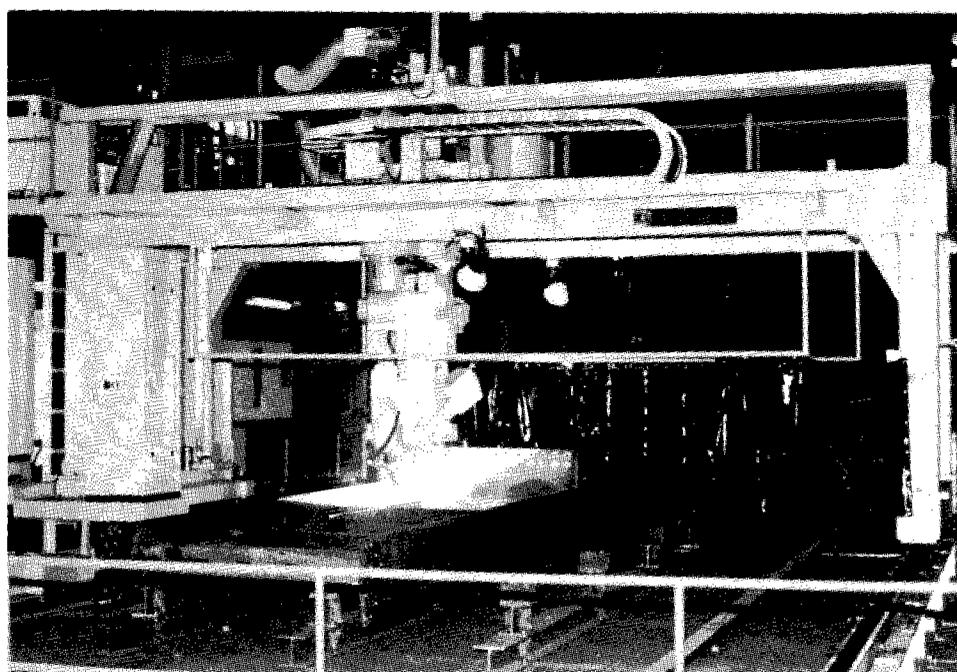


写真 2 - 2 パネル溶接ロボットの例 1

また、図 2 - 4 にパネル溶接用門型多関節ロボット（㈱神戸製鋼所）の例を示す。

このロボットの溶接装置の特徴は、

- ①上位データによるオフラインティーチングシステム、干渉チェック機能。
- ②多関節型ロボットを 2 台搭載し、シングルモード、ツインモードでの自動運転。
- ③無人運転対応 など。

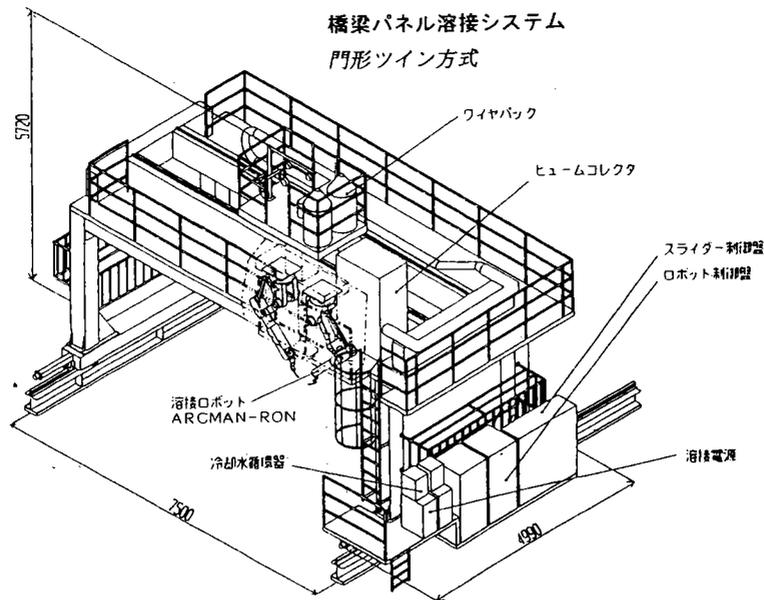


図 2 - 4 パネル溶接ロボットの例 2

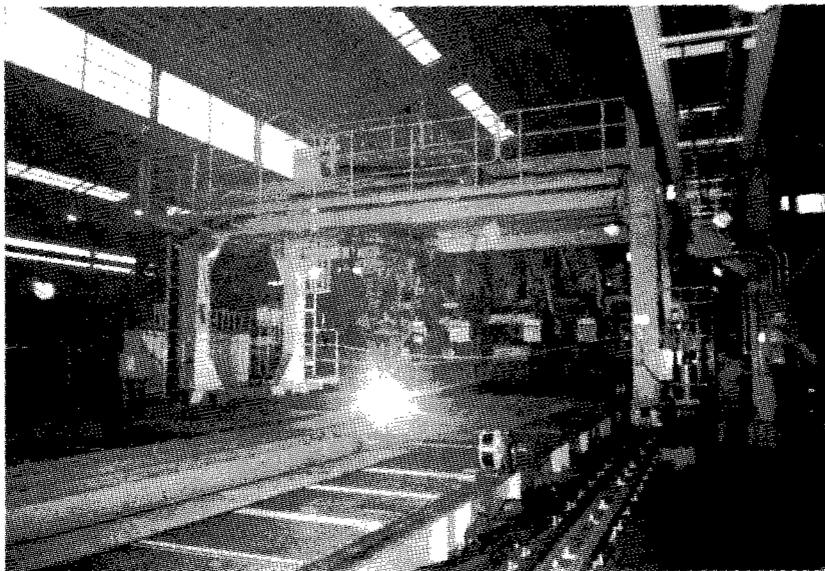


写真 2 - 3 パネル溶接ロボットの例 2

第3章 実施工への適用の検討

3-1 ロボットによる施工方法

3-1-1 組立方法

ロボットを使用して施工する場合、前提となる施工法として、まず、内面溶接される部材（箱桁）の形状をどのような状態にして行うかを明らかにし、基本的に現在の製作法に準じたもので検討を行った。

(1) パネル溶接

大組立（箱組）に先立ちパネル溶接として、ウェブは垂直補剛材，水平補剛材をNCロボットで溶接し、フランジは縦リブ（Uリブ）を多電極の自動溶接装置で行う。

(2) 小組溶接

横リブ（フランジとウェブのT組）、ダイアフラム（スティフナの取付）等の小組溶接を行う。

(3) 大組（箱組）溶接

パネル溶接、小組溶接完了後大組立を行い、ウェブとフランジの首溶接、ダイヤフラムとウェブ・フランジ他の溶接等の内面溶接を行うことになるが、この時の形状として以下のケースが考えられる。

1) ケース1：U組形状（開断面）による溶接

- ・長所：上フランジを取付けない状態で行うため、上面が解放となり門型等の走行装置を用いたロボットによる溶接の適用が比較的容易である。
- ・短所：U組溶接によるウェブの歪、部材全体の捻れおよび先行溶接部材の収縮による後付部材（フランジ）との寸法誤差の発生等、品質上の問題がある。

また、ロボット溶接の適用率が低く、工程数も増える（U組溶接→歪取→□組立→内面溶接→歪取）ためコスト的メリットが少ない。

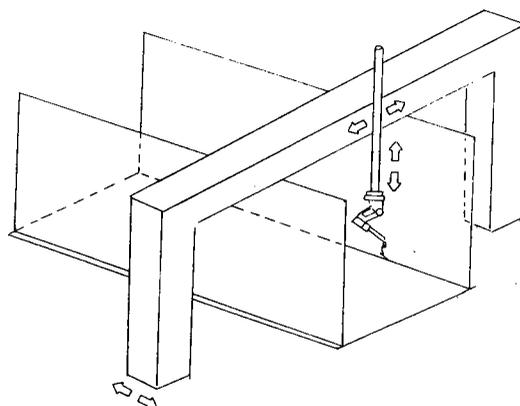


図3-1 U組形状による溶接

2) ケース 2 : □組形状 (閉断面) による溶接

- ・長 所 : □組状態での溶接であるため、部材の歪、捻れが少なく寸法誤差等も発生せず品質上の問題が生じない。
- ・短 所 : 閉塞形状となるため、ロボットを箱桁内に搬入することが必要となる。また、開口部の寸法による搬入形状等の制約が生じることとなり、搬入方法によっては重量等の制約も生じる。このため、適用するロボットの機種は必然的に限定され、かつハンドリング方法あるいは適用率 (範囲) によっては、効率等の問題が残る。

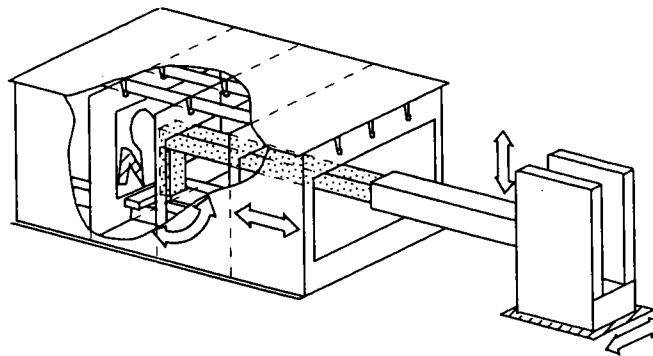


図 3 - 2 □組形状による溶接

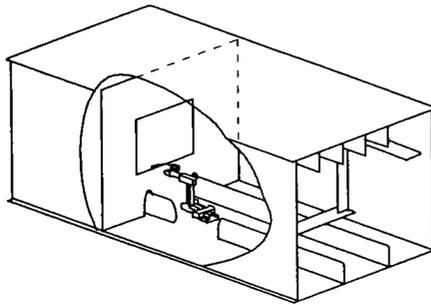
以上の 2 ケースについて、問題点等の検討を行ったが、現実的な観点から、品質上の問題、作業工程 (ステージ) の制約等および溶接方法にかかわらず現在 □組溶接が数多く採用されていることより、箱桁内面溶接へのロボット溶接の適用に際しての、部材 (箱桁) 形状は □組として検討する。

3-1-2 □組形状 (閉断面) によるロボット溶接方法

(1) 施工方法

施工方法としては、ロボットをどのような状態にして溶接を行うかが重要である。大きく分けて 2 つの考え方があり、小型ロボットを人力搬送する方法 (可搬式) と大型ロボットを自動搬送機に取り付けて行う方式 (マニピュレータ式) がある。前者については、表 2-1 で示したもので重量的にも 20 kg 位のものであり、現在市販されているロボットをセットすれば溶接可能であるが、搬送を人力で行わなければならない、セットなどに時間がかかり、かえってコストアップになるものと考えられる。後者は、すべて全自動で行えるというメリットがあるものの、ロボットをいかにして箱桁内に搬送するかという問題点が生じる。そこで、次に示す①～⑤の施工法の提案を行い、それぞれの長所・短所および今後の課題などについて検討した。①～③については可搬式によるものであり、④～⑤はマニピュレータ式によるものとする。また、適用機種は可搬式で表 2-1 のものであり、マニピュレータ式は、表 2-1 および表 2-2 を前提とする。

①可搬式（定置式）

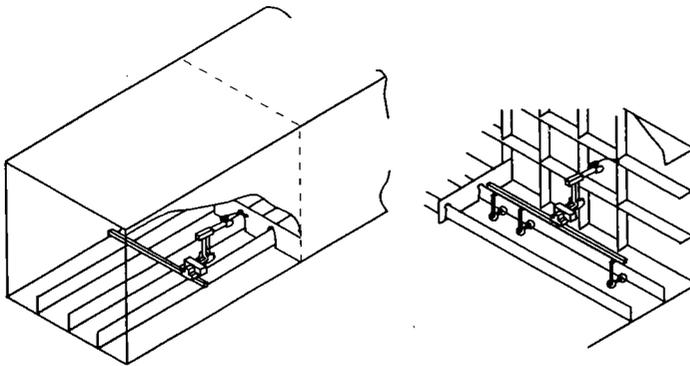


可搬式
（定置式）

（手順）

- ・ ロボット本体を人力により部材上にセットし、溶接を行う。
- ・ 作動範囲の溶接が終了次第随時移動する。
- ・ 1面の溶接が終了すると、部材を反転し上記の作業を繰り返し行う。

②可搬式（1断面ラック式）

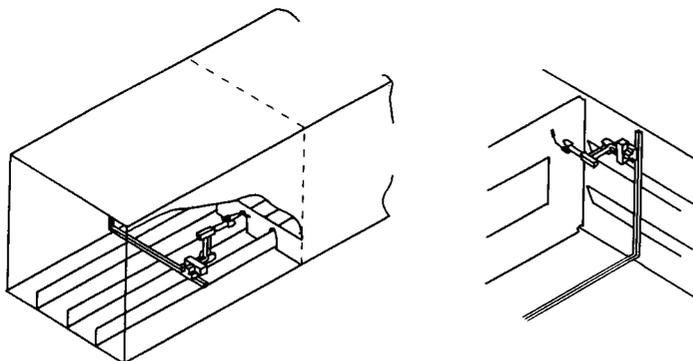


可搬式
（1断面ラック式）

（手順）

- ・ ラックを部材にセットし、ロボット本体がラック上を移動し溶接を行う。
- ・ 1面の溶接が終了次第随時移動する。
- ・ 1面の溶接が終了すると、部材を反転し上記の作業を繰り返し行う。

③可搬式（全断面ラック式）

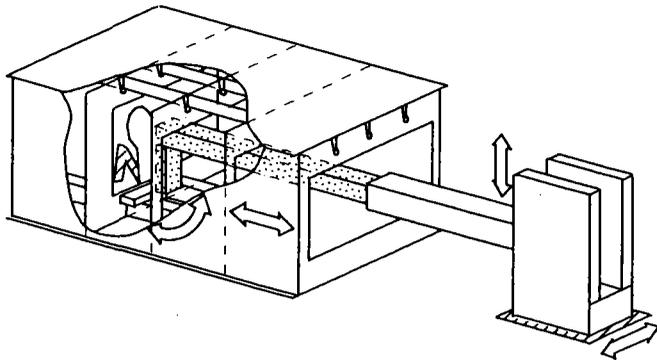


可搬式
（全断面ラック式）

（手順）

- ・ 全断面（上下フランジ、ウェブ）にラックをセットし溶接を行う。
（全断面溶接であるためロボット溶接による部材反転はない。）

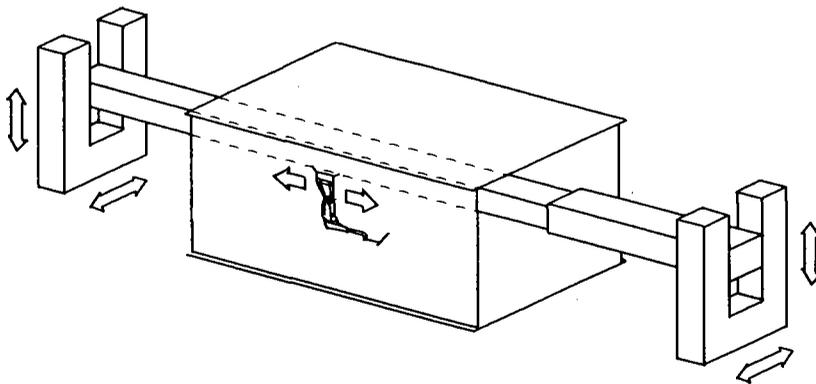
④ マニピュレータ方式（部材横置き式）



マニピュレータ方式
（部材横置き片持式）

（手順）

- ・ あらかじめ、溶接箇所をNCデータなどにより入力しティーチングを行う。
- ・ 片側端面からマニピュレータの移動により箱桁内にロボットを挿入する。
- ・ ビーム先端に取り付けたロボット本体が、マニピュレータの移動により溶接箇所にセットされる。（溶接時は、マニピュレータは固定。）
- ・ 溶接箇所をセンシングし、溶接を行う。
- ・ 1面の溶接が終了次第随時マニピュレータにより次の溶接箇所へ移動する。

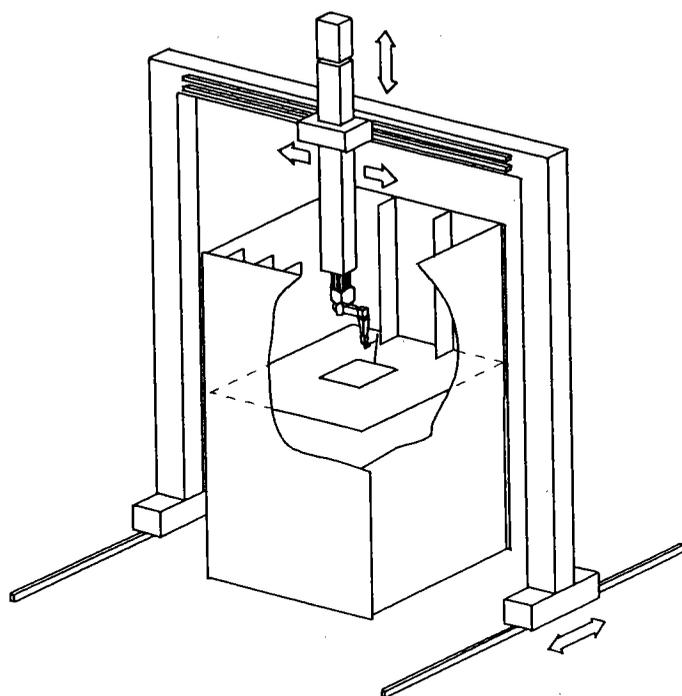


マニピュレータ方式
（部材横置き両端支持式）

（手順）

- ・ あらかじめ、溶接箇所をNCデータなどにより入力しティーチングを行う。
- ・ 片側端面からマニピュレータのビームが移動し、他方の端面側に固定され門型状態でロボットがビームを自動で制御させる。
- ・ マニピュレータおよびロボットの移動で溶接箇所にセットされる。
（溶接時もマニピュレータは移動。）
- ・ 溶接箇所をセンシングし、溶接を行う。
- ・ 1面の溶接が終了次第随時マニピュレータにより次の溶接箇所へ移動する。

⑤ マニピュレータ式（部材縦置き式）



マニピュレータ式
（部材縦置き式）

（手順）

- ・ あらかじめ、溶接箇所をNCデータなどにより入力しティーチングを行う。
- ・ 上断面からマニピュレータが3軸方向に自動で移動し、溶接箇所にセットされる。（溶接時もマニピュレータは移動。）
- ・ 溶接箇所をセンシングし、溶接を行う。
- ・ 1面の溶接が終了次第随時マニピュレータにより次の溶接箇所へ移動する。
- ・ 部材を1度だけ反転する。

（2）問題点および解決すべき課題

上述の施工提案例に対する問題点および解決すべき課題を、次のページの表3-1に示す。

表 3 - 1 各施工法における問題点および課題

施工方法		長 所	短 所 (問題点)	解決すべき課題
可 搬 式	① 定置式	<ul style="list-style-type: none"> ・設備費が安い (周辺装置不要) ・作業エリアの制約が少ない ・オペレーティングが簡単 	<ul style="list-style-type: none"> ・ハンドリング回数が多い ・アークタイム率が低い ・作業の負担大 (ハンドリング, 環境) ・部材反転を要する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ハンドリング装置の開発 (本体, ケーブル) ・多台持によるアークタイム率の向上 ・狭隘部の溶接方法
	② ラック式 (1断面)	<ul style="list-style-type: none"> ・設備費が安い (周辺装置はラックのみ) ・作業エリアの制約が少ない ・オペレーティングが簡単 	<ul style="list-style-type: none"> ・ハンドリング回数が多い ・アークタイム率が低い ・作業の負担大 (ハンドリング, 環境) ・部材反転を要する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ハンドリング装置の開発 (本体, ケーブル) ・多台持によるアークタイム率の向上 ・狭隘部の溶接方法
	③ ラック式 (全断面)	<ul style="list-style-type: none"> ・作業エリアの制約が少ない ・①②に比べアークタイム率向上 (全断面連続溶接) ・①②に比べハンドリング回数減少 (全断面連続溶接) ・部材反転不要 	<ul style="list-style-type: none"> ・ハンドリング回数が多い ・作業の負担大 (ハンドリング, 環境) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ハンドリング装置の開発 (本体, ケーブル) ・全姿勢としての溶接品質の確保 ・狭隘部の溶接方法
マ ニ ピ ユ レ タ 式	④ 部材横置式	<ul style="list-style-type: none"> ・全自動である (ハンドリング, セッティング, 溶接に人が介在しない) ・作業者の負担小 (ハンドリング, 環境) ・部材反転不要 	<ul style="list-style-type: none"> ・設備費が高い (周辺装置が増大) ・サイクルタイム短縮のためには装置或はステージの増大が必要 ・作業エリアが増大 	<ul style="list-style-type: none"> ・装置の開発 (本体および周辺装置を含めたソフト・ハード) ・全姿勢としての溶接品質の確保 ・部材開口部寸法 ・狭隘部の溶接方法
	⑤ 部材縦置式	<ul style="list-style-type: none"> ・全自動である (ハンドリング, セッティング, 溶接に人が介在しない) ・ダイヤフラム, 横リブ等は下向溶接が可能である ・作業者の負担小 (ハンドリング, 環境) 	<ul style="list-style-type: none"> ・縦置に伴う設備, 建屋の制約および安全対策 (部材反転, 転倒防止, 昇降設備等) ・設備費が高い (周辺装置が増大) ・サイクルタイム短縮のためには装置或はステージの増大が必要 ・作業エリアが増大 	<ul style="list-style-type: none"> ・装置の開発 (本体および周辺装置を含めたソフト・ハード) ・縦向溶接に対する溶接品質の確保 ・部材開口部寸法 ・狭隘部の溶接方法

3-2 ロボットによる箱桁内溶接のシミュレーション

本項目では、橋梁の主桁（箱桁）内の溶接を多関節型（6軸）のロボットに溶接トーチを搭載したいわゆる溶接ロボットで施工を試みた場合、その問題点および適用評価をIBM製の3次元CAD（キャティア）を用いて検討することとした。これにより、机上では把握できないようなことも判り、構造的な問題点の抽出ができるなどの利点がある。また、出力についても施工時の瞬間的な図（溶接スタート、エンド部など）が任意に取り出せるなどのメリットがあることから、この手法を用いることとした。

3-2-1 シミュレーションの方法および前提条件

シミュレーションの方法としては、施工法でも述べたがマニピュレータ方式で片側端面からロボットを挿入し、センシングを行い溶接を開始する。溶接中はマニピュレータは固定しており、溶接が終われば次のワークへと移動する。

以上の流れで、シミュレーションを行うこととし、前提条件を箇条書きで示す。

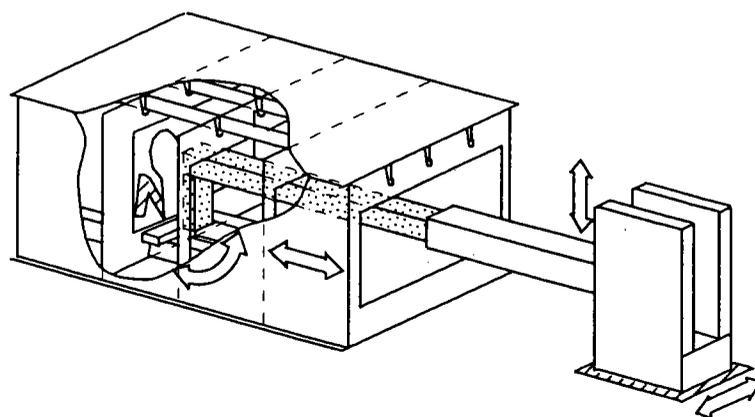


図3-3 施工方法

(1) シミュレーションの前提条件

- ・使用ソフト：キャティア ソリューションV4（IBM製）
- ・溶接ロボット：Pana-Robo（006A）
- ・製作方法：パネル工法
- ・施工方法：マニピュレータ方式（片持ち式）
ただし、溶接時はマニピュレータは固定
- ・トーチ：スーパースモールスピントーチ（標準タイプ）
- ・トーチ角度：45度
- ・部材の反転回数：3回

(2) シミュレーションモデル

- ・ JH標準設計より抜粋した支間中央部付近の主桁。

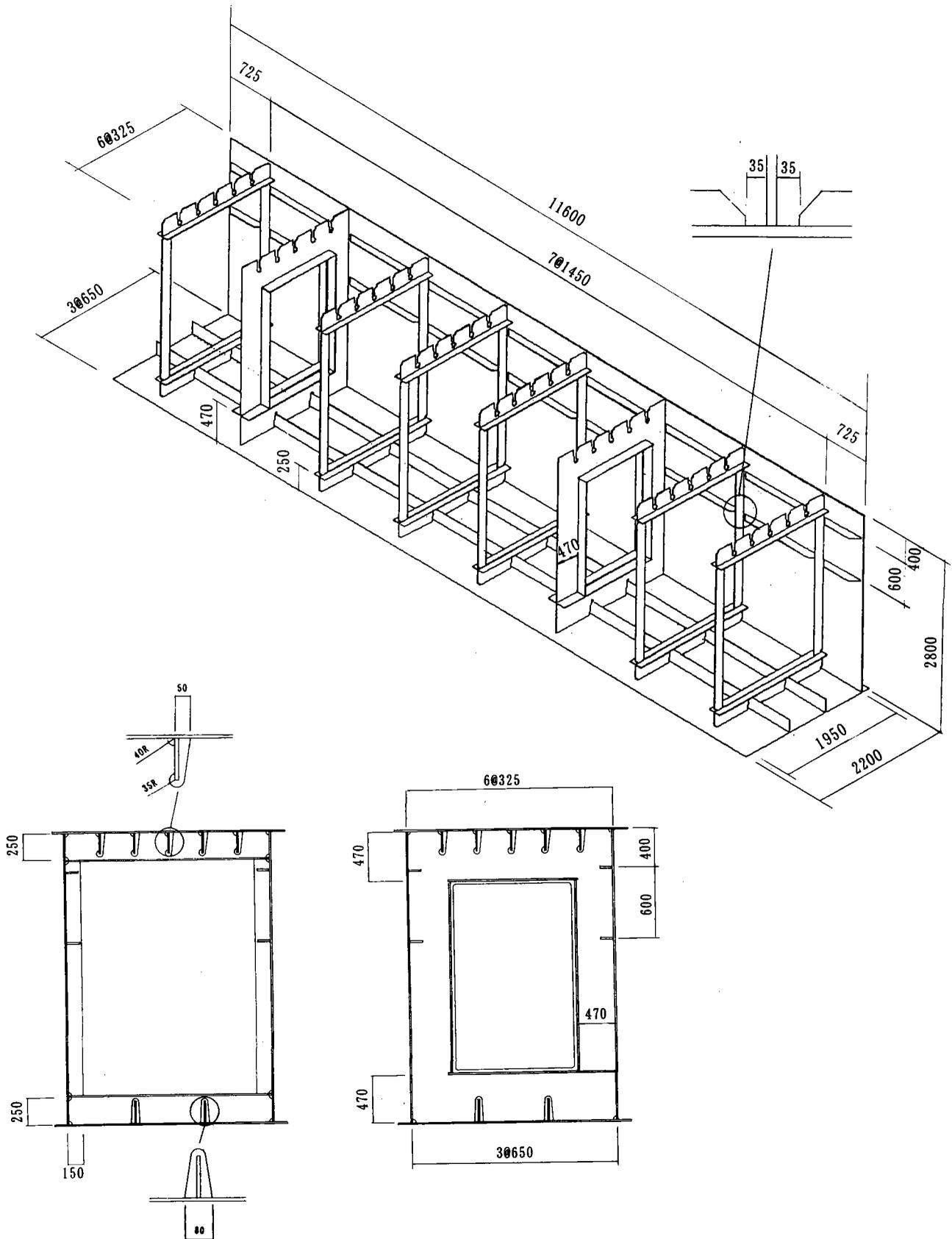


図 3-4 シミュレーションモデル

(3) 溶接箇所

・パネル溶接後の箱組状態での溶接箇所。

表 3 - 2 溶接箇所の説明

溶接箇所		溶接長 (m)	溶接姿勢
①	主桁フランジと主桁ウェブ	46.40	水平すみ肉
②	主桁上下フランジと横リブ ダイヤフラム足下	47.66	水平すみ肉
③	横リブ・ダイヤフラムの ウェブとフランジ付き縦リブ	9.20	立向き姿勢
④	横リブ・ダイヤフラムの ウェブと主桁ウェブ	27.24	水平すみ肉
⑤	主桁ウェブとダイヤフラムの 補剛材・横リブフランジ	10.80	水平すみ肉
⑥	主桁ウェブの垂直補剛材と 主桁フランジ付き横リブフランジ	5.28	水平すみ肉

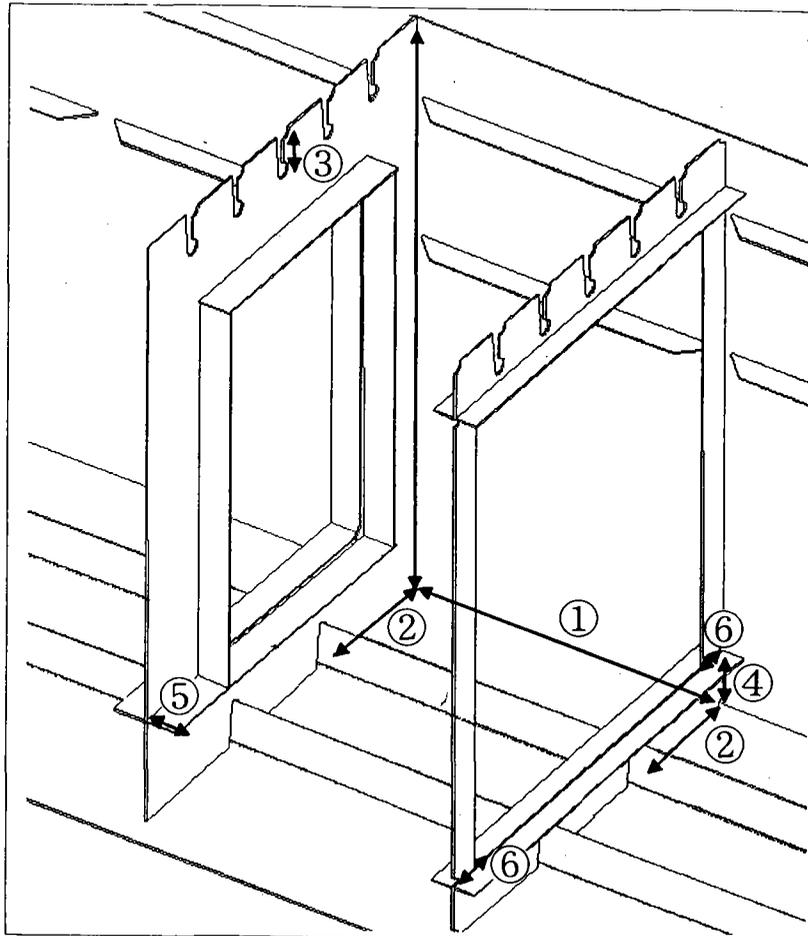


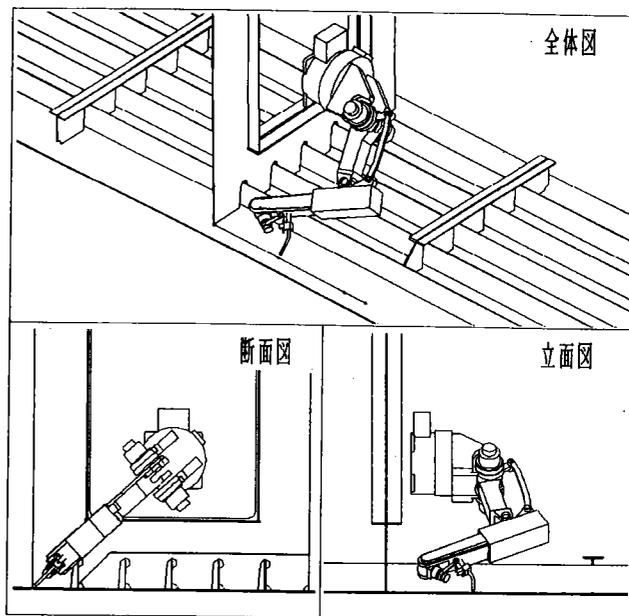
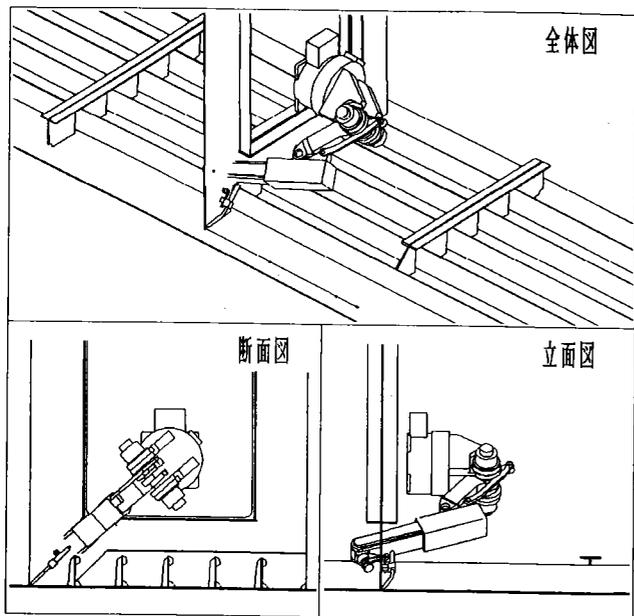
図 3 - 4 溶接箇所

3-2-2 シミュレーション結果

①フランジとウェブの溶接（横リブダイヤフラム間の上フランジ側）

始端部

中間部

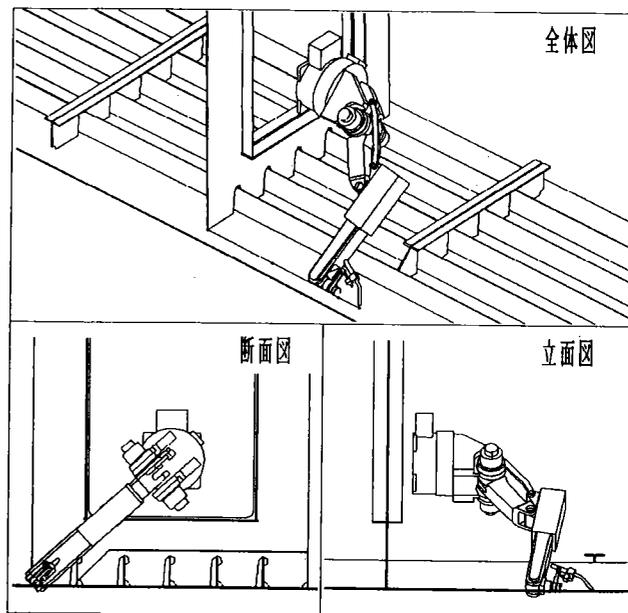
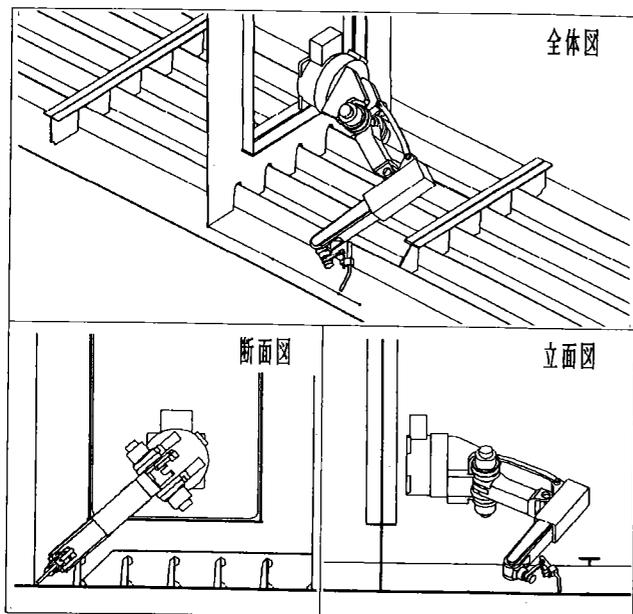


・縦リブおよびダイヤフラムに干渉。

・縦リブに干渉。

中間部

終端部



・縦リブに干渉。

・縦リブおよびフランジに干渉。

(適用率①)

種別		溶接線 タイプ	溶接線 本数	溶接線 長	溶接 可能長	全溶接 線長	全溶接 可能長	適用率 %	
① フランジと ウェブの溶 接	下フランジ側	右端	2	725	525	1450	1050	72.41	
		左端	2	725	525	1450	1050	72.41	
		横リブ-ダイヤ	8	1450	640	11600	5120	44.14	
		横リブ間	6	1450	690	8700	4140	47.59	
		小計	18	-	-	23200	11360	48.97	
	上フランジ側	右端	2	725	0	1450	0	0	
		左端	2	725	0	1450	0	0	
		横リブ-ダイヤ	8	1450	0	11600	0	0	
		横リブ間	6	1450	0	8700	0	0	
		小計	18	-	-	23200	0	0	
	小計			36	-	-	46400	11360	24.48

(解説①)

始端部では、ロボットとダイヤフラムが干渉した(図3-6)。これを回避する方法の一つとして、トーチ角度を変更する方法がある。今回のシミュレーションでは角度を45度と固定したが、例えば図3-7のようにトーチ角度を40~50度とした場合、ダイヤフラムとの干渉は避けられるが、それでもカラープレートと干渉する。そこで、トーチを図3-8のようにロングトーチとすることにより、下フランジ側では、全線溶接可能となる。しかし、スカラー径が35R程度では棒継部が溶接出来ず100R位のものが必要となる。

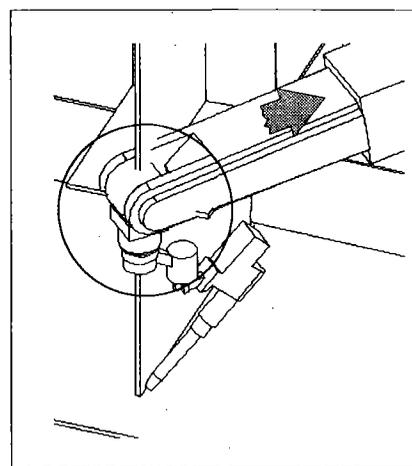


図3-6 トーチ角度が45の場合

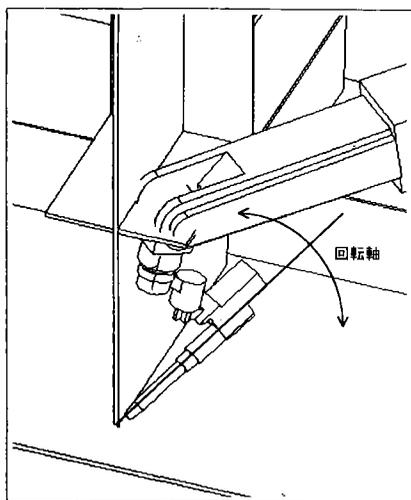


図3-7 トーチ角度を小さくした場合

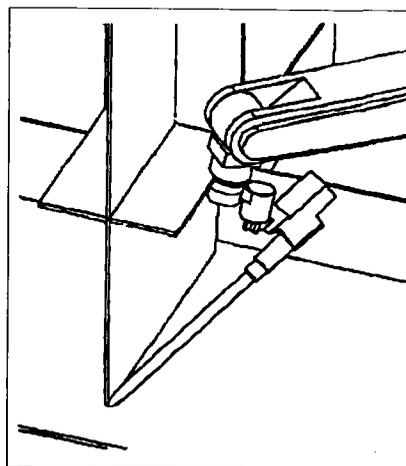


図3-8 ロングトーチを使用した場合

次に上フランジ側では、縦リブと干渉し適用率が0%となる。図3-9はトーチの方向を変えて行う場合であるが、トーチ角度が45度ではロボットとウエブが干渉する。ここで、トーチ角度を広げることにより(図3-10)、縦リブとの干渉は避けられる。また、ロングトーチを使用することも有効である。その他、構造的にウエブと縦リブ間隔を大きくすることで、干渉が避けられ適用率が下フランジと同等になる。

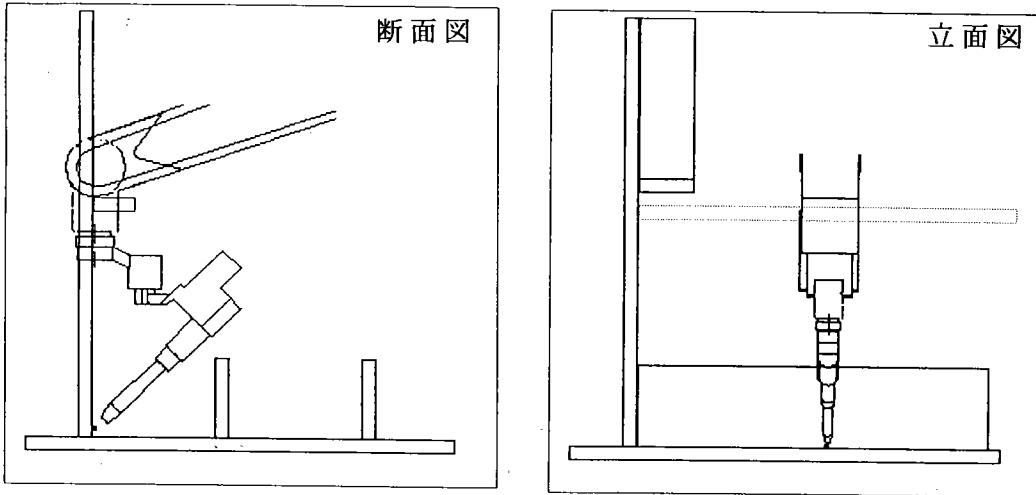


図3-9 トーチの方向を変更した場合

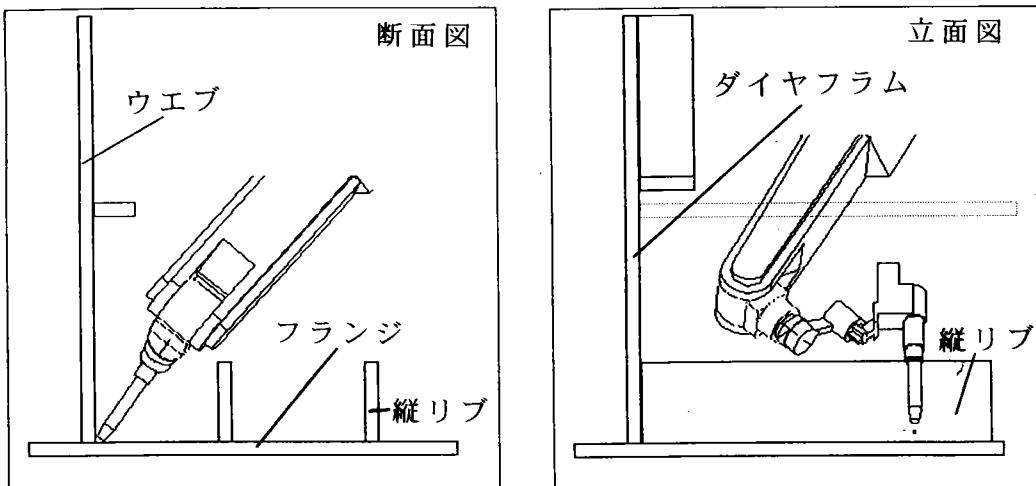
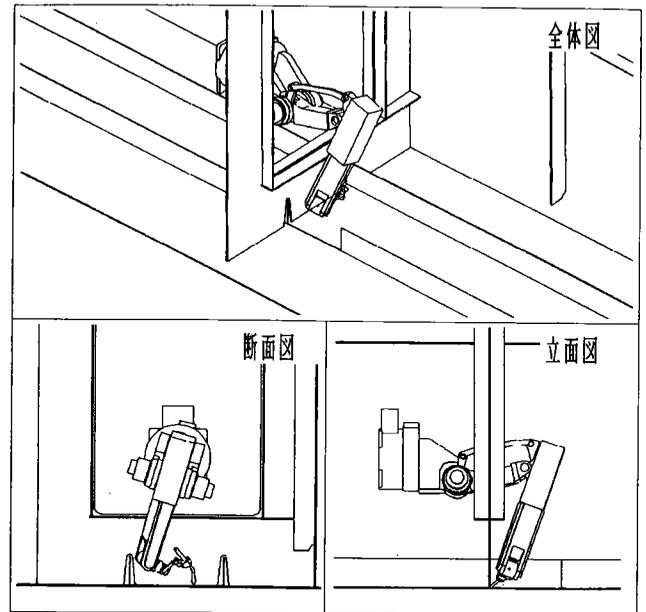
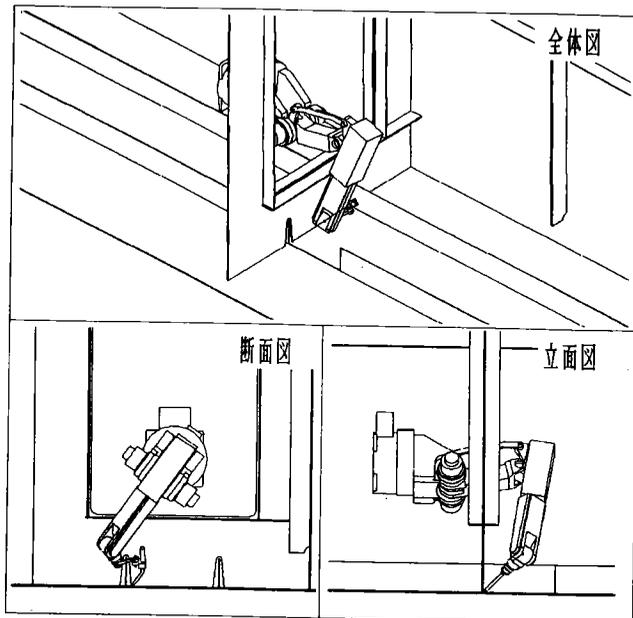


図3-10 トーチ角度を広げた場合

②フランジとダイヤフラムの溶接（下フランジ側）

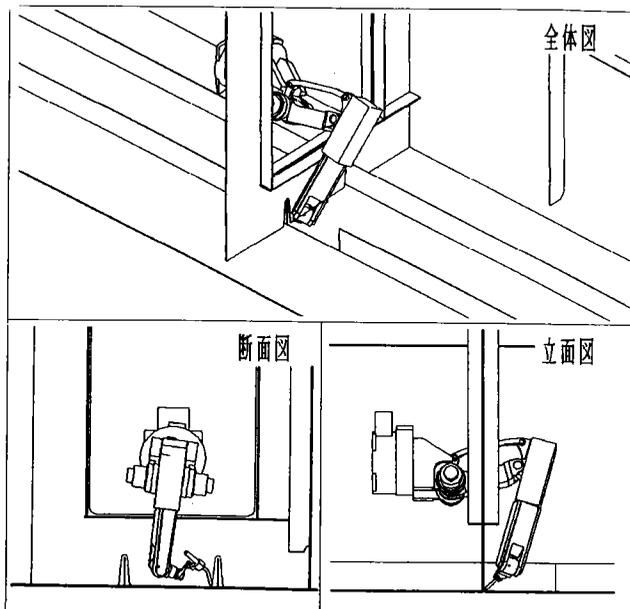
始端部

中間部



・縦リブに干渉。

終端部



(解説②)

上フランジ側では、縦リブと干渉し適用率が0%となる。ロングトーチを使用することにより、多少溶接可能となるが、余り期待できない。構造的に縦リブ枚数を減らし、ロングトーチを使用することにより、適用率が向上する。

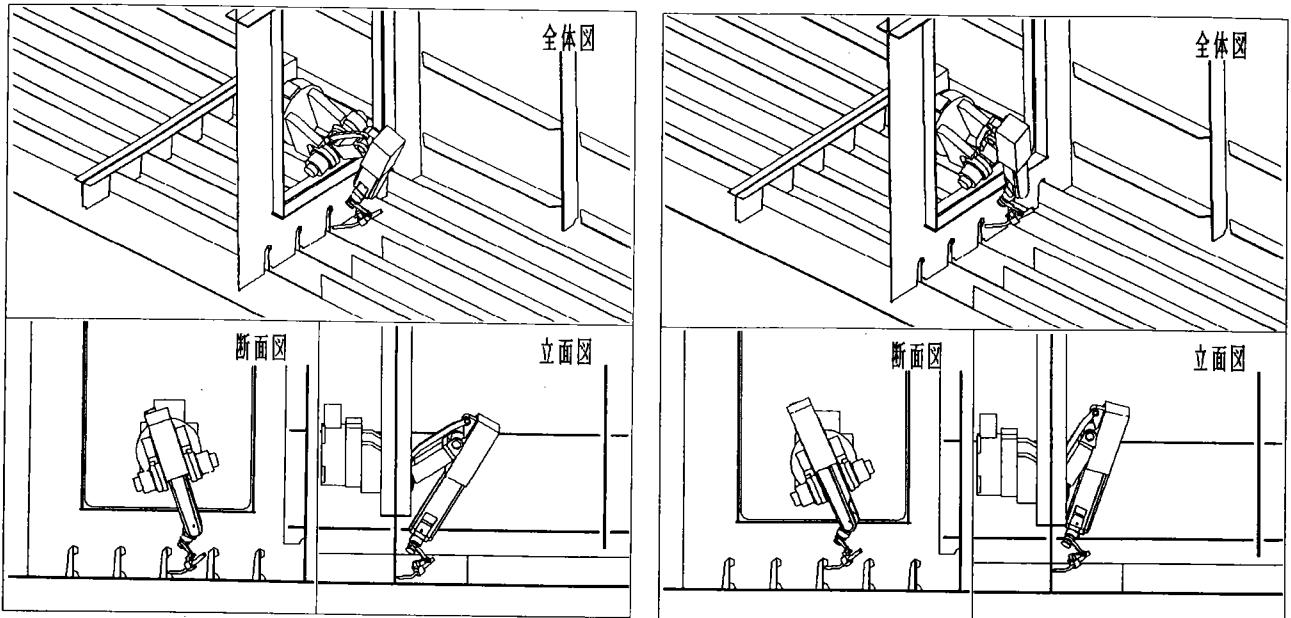
(適用率②)

種別		溶接線 タイプ	溶接線 本数	溶接線 長	溶接 可能長	全溶接 線長	全溶接 可能長	適用率 %
② ダイヤフラ ムとフラン ジの溶接	下フランジ側	両端	32	563	120	18016	3840	21.31
		中央	16	563	180	9008	2880	31.97
		小計	48	-	-	27024	6720	24.87
	上フランジ側	両端	32	215	0	6880	0	0
		中央	64	215	0	13760	0	0
		小計	96	-	-	20640	0	0
	小計		144	-	-	47664	6720	14.10

③縦リブとダイヤフラムおよび横リブの溶接（上フランジ側）

始端部

終端部



(解説③)

今回のシミュレーションモデルでは、縦リブとロボットのアームとの干渉があるかどうか微妙なところであり、シミュレーションではコンジットケーブルの干渉は考慮していないが、これとの干渉が起こることが予想され、適用率を0%とした。また、終端部ではダイヤフラムのカラープレートの干渉がある。このため、構造的に縦リブ間隔を大きくする必要があり、またカラープレートの出幅もできる限り小さくすることが望まれる。

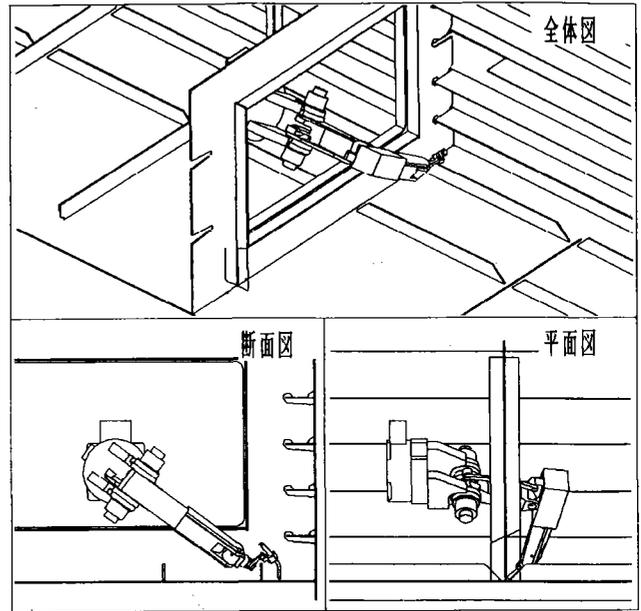
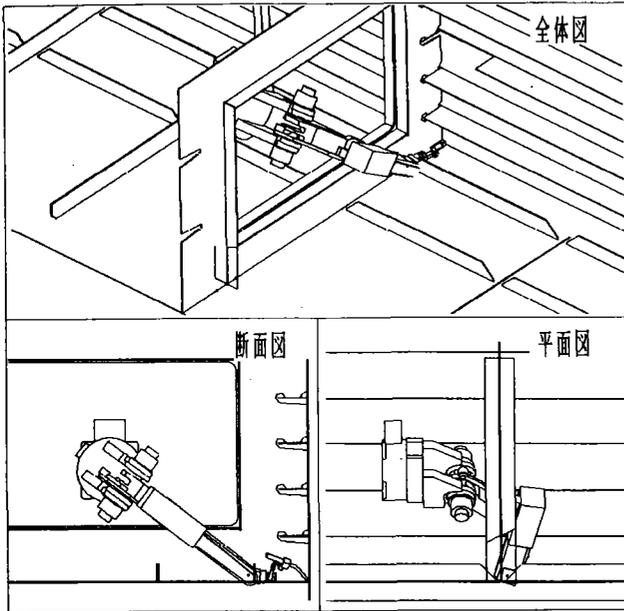
(適用率③)

種別	溶接線 タイプ	溶接線 本数	溶接線 長	溶接 可能長	全溶接 線長	全溶接 可能長	適用率 %
③ 横リブ・ダイヤフラムと縦リブ		80	115	0	9200	0	0

④ ウェブとダイヤフラムおよび横リブの溶接

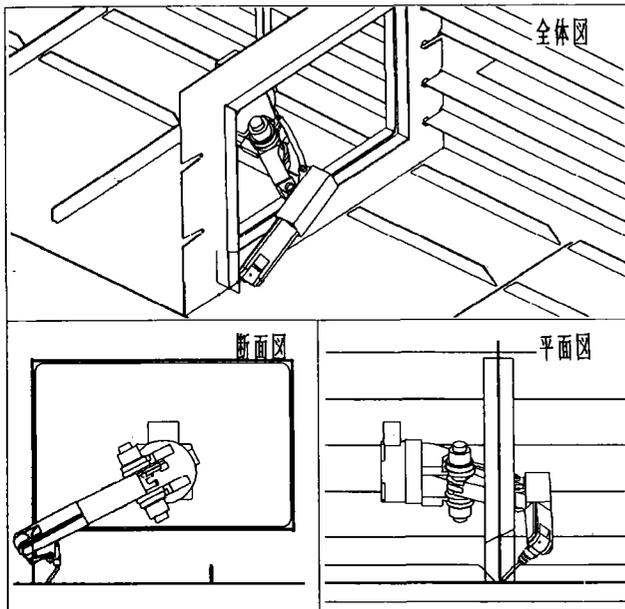
始端部

中間部



・ウェブに干渉。

終端部



・水平スティフナに干渉。

(適用率④)

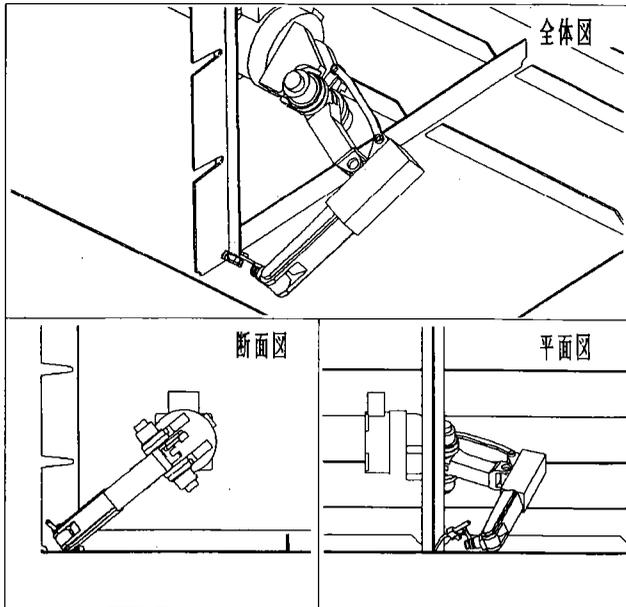
(解説④)

横リブの溶接では、4%と非常に低くまた、溶接長も小さくこの程度では、手溶接で行った方が経済的である。次に、ダイヤフラム部では、ロングトーチを使用したり、あるいはトーチ角度を45度と限定せず、40度程度にすれば適用率も向上する。また、水平スティフナと干渉しており、水平スティフナ間隔をできる限り大きくする必要がある。

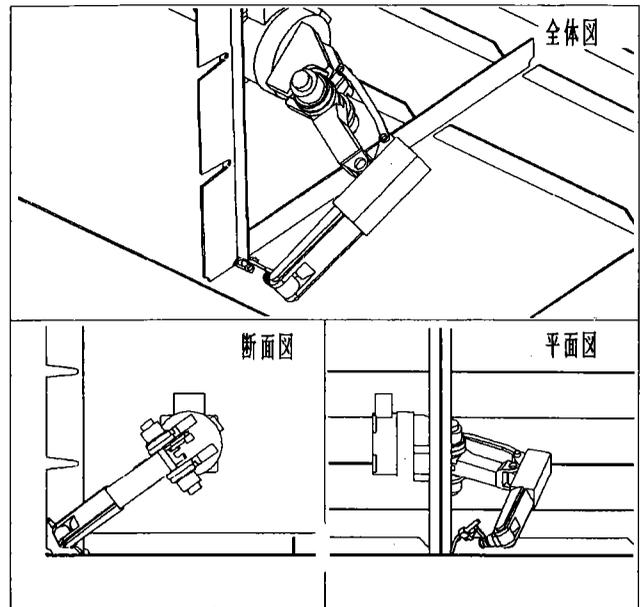
種別	溶接線タイプ	溶接線本数	溶接線長	溶接可能長	全溶接線長	全溶接可能長	適用率%
④ 横リブ・ダイヤフラム と主桁ウェブ	横リブ	24	210	10	5040	240	4.76
	ダイヤ通し	4	2780	1980	11120	7920	71.22
	ダイヤ分割	4	2771	1771	11084	7084	63.91
	小計	32	-	-	27244	15244	55.95

⑤ ウェブと横リブフランジおよびダイヤフラム補剛材の溶接（横リブ側）

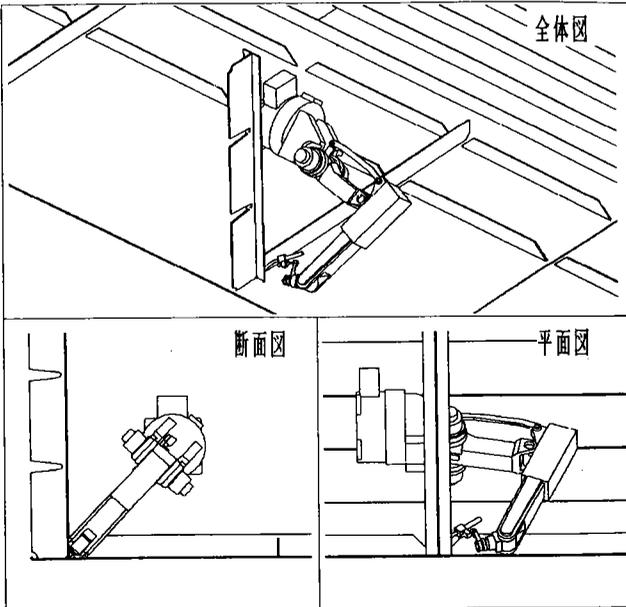
始端側（表面）



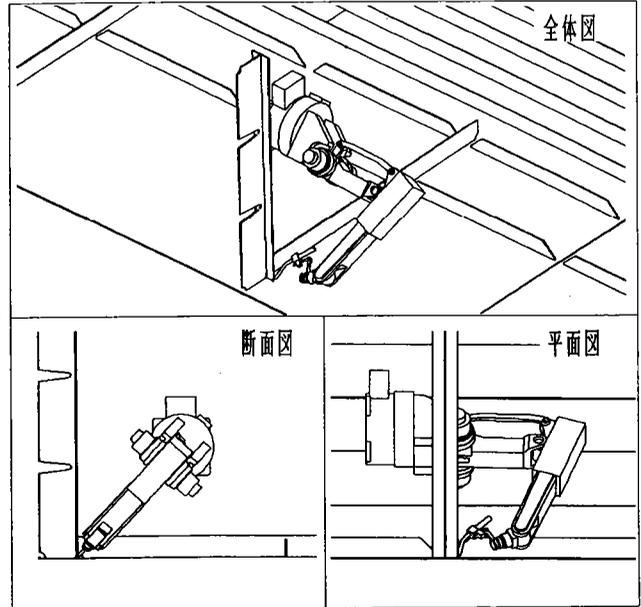
終端部（表面）



始端側（裏面）



終端部（裏面）



（解説⑤）

表面で、トーチ後方が主桁フランジに干渉の恐れがあり、横桁のウェブをあまり低くすることができない。また、スピントーチあるいはロングトーチでは、確実に干渉する。

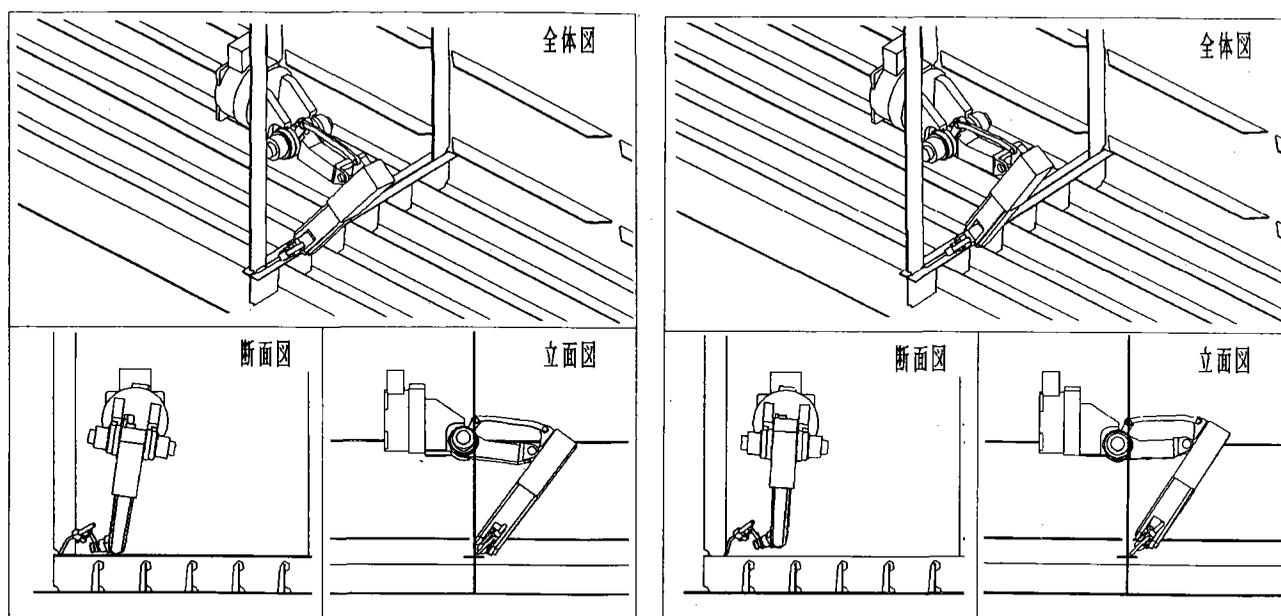
(適用率⑤)

種別	溶接線タイプ	溶接線本数	溶接線長	溶接可能長	全溶接線長	全溶接可能長	適用率%
⑤ 主桁ウェブとダイヤ補 補剛材・横リブフランジ	横リブ	96	100	100	9600	9600	100.0
	ダイヤ	8	150	150	1200	1200	100.0
	小計	104	-	-	10800	10800	100.0

⑥横リブフランジと垂直ステイフナの溶接

始端部

終端部



(解説⑥)

始端部付近で、ロボットと横リブフランジの干渉の恐れがある。このため、ロングトーチを使用するか、あるいはトーチ角度を大きくするかして余裕をみることが望まれる。

(適用率⑥)

種別	溶接線タイプ	溶接線本数	溶接線長	溶接可能長	全溶接線長	全溶接可能長	適用率%
⑥	垂直補剛材と横リブフランジ	48	110	110	5280	5280	100.0

適用率の一覧表を表3-3に示し、適用範囲の全体図を次のページの図3-11に示す。

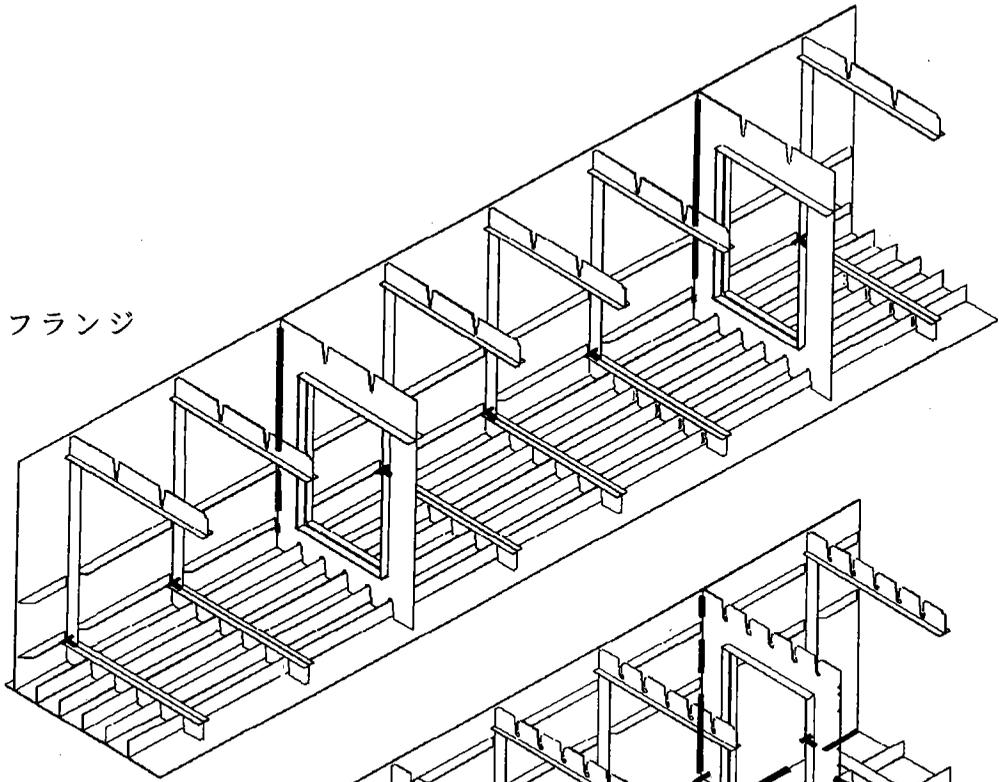
今回のシミュレーションモデルおよび前提条件でロボット溶接した場合、箱桁内の適用率は、33.7%となる。この数値は、あくまでも今回のモデルおよび条件で行った場合であり、解説の中でも述べたが、トーチ角度を変えたりロボットのハード的にロングトーチにすることにより、適用率も向上する。しかし、溶接品質の面からトーチ角度は45度が望ましい。また、ロングトーチにすることで、標準トーチで行えた箇所が適用できなくなる場合も考えられ、必ずしも有効であるとは限らない。また、ロボットの搬送についても考慮していないので、搬送中の問題なども考えられる。

表3-3 適用率一覧表

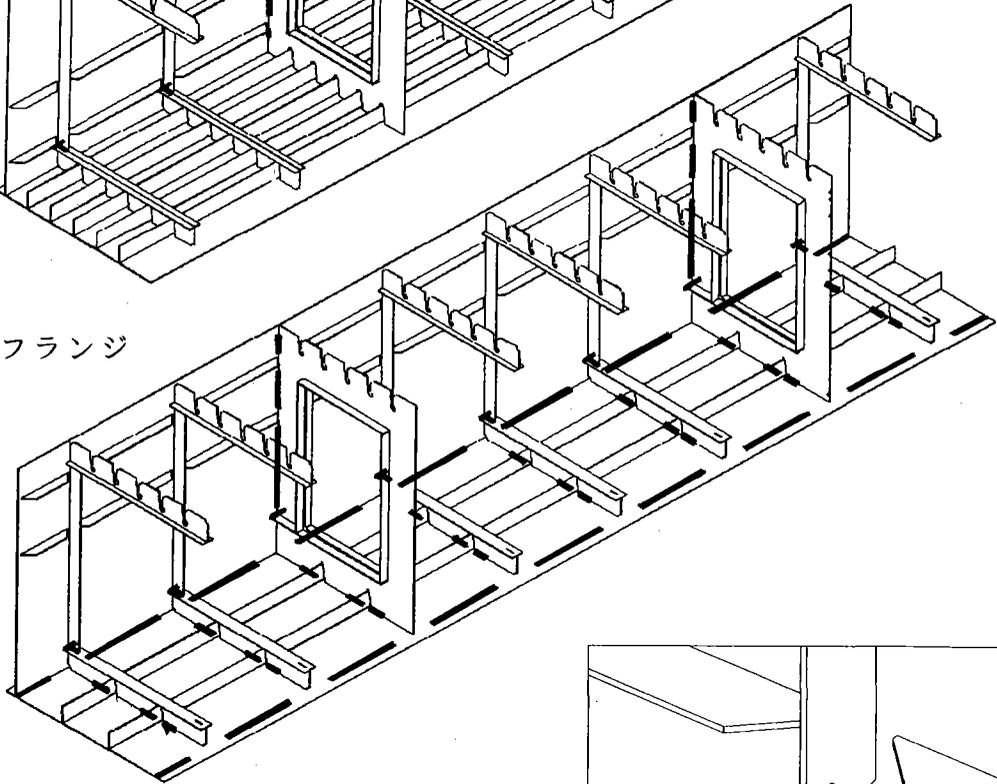
種別		溶接線タイプ	溶接線本数	溶接線長	溶接可能長	全溶接線長	全溶接可能長	適用率%
① フランジと ウェブの溶 接	下フランジ側	右端	2	725	525	1450	1050	72.41
		左端	2	725	525	1450	1050	72.41
		横リブ・ダイヤ	8	1450	640	11600	5120	44.14
		横リブ間	6	1450	690	8700	4140	47.59
		小計	18	-	-	23200	11360	48.97
	上フランジ側	右端	2	725	0	1450	0	0
		左端	2	725	0	1450	0	0
		横リブ・ダイヤ	8	1450	0	11600	0	0
		横リブ間	6	1450	0	8700	0	0
		小計	18	-	-	23200	0	0
小計		36	-	-	46400	11360	24.48	
② ダイヤフラ ムとフラン ジの溶接	下フランジ側	両端	32	563	120	18016	3840	21.31
		中央	16	563	180	9008	2880	31.97
		小計	48	-	-	27024	6720	24.87
	上フランジ側	両端	32	215	0	6880	0	0
		中央	64	215	0	13760	0	0
		小計	96	-	-	20640	0	0
小計		144	-	-	47664	6720	14.10	
③ 横リブ・ダイヤフラムと縦リブ		80	115	0	9200	0	0	
④ 横リブ・ダイヤフラム と主桁ウェブ	横リブ		24	210	10	5040	240	4.76
	ダイヤ通し		4	2780	1980	11120	7920	71.22
	ダイヤ分割		4	2771	1771	11084	7084	63.91
	小計		32	-	-	27244	15244	55.95
⑤ 主桁ウェブとダイヤ補 補剛材・横リブフランジ	横リブ		96	100	100	9600	9600	100.0
	ダイヤ		8	150	150	1200	1200	100.0
	小計		104	-	-	10800	10800	100.0
⑥ 垂直補剛材と横リブフランジ		48	110	110	5280	5280	100.0	
計		420	-	-	146588	49404	33.70	

箱桁内の適用率 33.7%

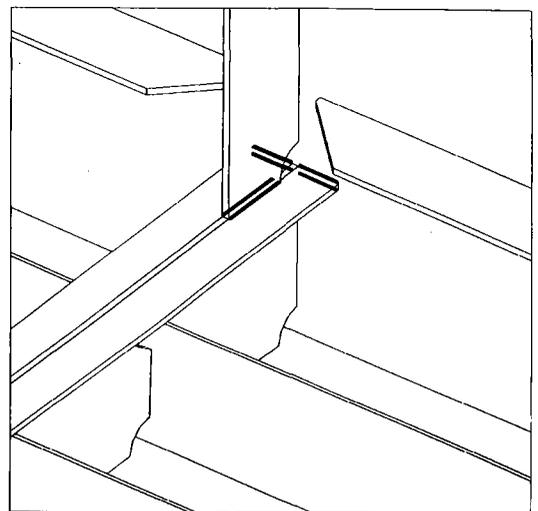
上フランジ



下フランジ



—— は溶接可能な位置



詳細図

図 3 - 1 1 適用範囲

3-2-3 小型ロボットの適用について

可搬式の小型ロボットで行う場合、マニピュレータ式と比較した。

表3-4 小型ロボットの適用について

溶接線	3-2-1の出力図	小型ロボットの場合とのコメント	
①	始端部	トーチおよび手首と主桁フランジとの干渉の程度は変わらず。	ロボット固定のままでは、開始点側から終了点側まで施工は不可能。
	中間部	トーチ後方とロボット・アームとの干渉は楽になる。	
	終端部	トーチおよび手首と主桁フランジとの干渉の程度は変わらず。 トーチ後方とロボット・アームとの干渉は楽になる。	
②	始端部, 中間部 および終端部	ロボット・アームとダイヤフラムの開口部補強部材との干渉は楽になる。 トーチおよび手首周りの干渉の程度は変わらず。	
③	始端部および 終端部	ロボット・アームとダイヤフラムの開口部補強部材との干渉は楽になる。 トーチおよび手首周りの干渉の程度は変わらず。	
④	始端部, 中間部 および終端部	ロボット・アームとダイヤフラムの開口部補強部材との干渉は楽になる。 トーチおよび手首周りの干渉の程度は変わらず。 ロボット固定のままでは、始端部から終端部まで施工は不可能。	
⑤	始端部および 終端部	ロボット本体とダイヤフラムの開口部補強部材との干渉は楽になる。 トーチおよび手首周りの干渉の程度は変わらず。	
⑥	始端部および 終端部	ロボット本体とダイヤフラムの開口部補強部材との干渉は楽になる。 トーチおよび手首周りの干渉の程度は変わらず。	

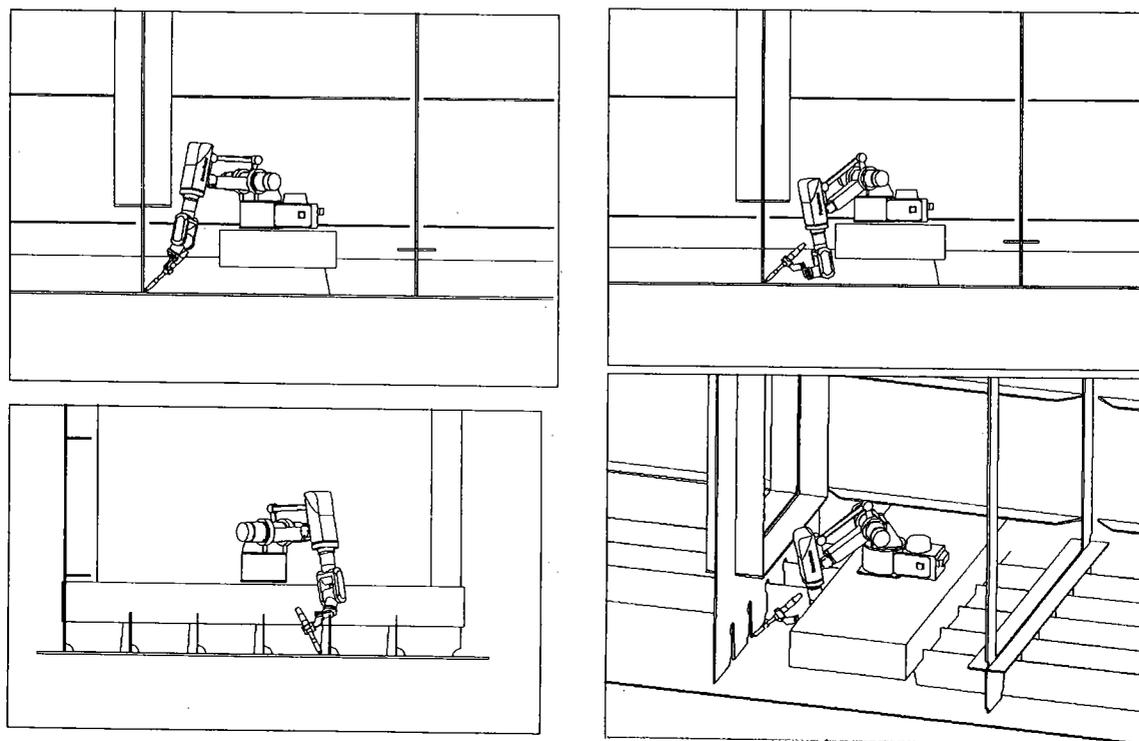


図3-12 小型ロボットによるシミュレーション

3-3 能率

(1) 能率計算の前提条件

箱桁内溶接にロボットを適用した場合の作業能率について、従来の方法(CO2半自動溶接)により溶接する場合との比較を行なって検討した。ここで対象としたのは、日本道路公団の標準図にあるRC箱桁の一般部であり、3-2でシミュレーション対象にしたものと同じものである。

検討に当たり、次の条件を考慮した。

- ①ウェブおよびフランジは、縦リブ材および補剛材を板の状態に溶接するパネル工法を前提とする。そのため、箱桁内溶接の工程にはこれらの溶接を考えない。
- ②溶接は、箱桁内面の部位のみを考慮する。例えば、ウェブとフランジの角溶接では、通常は内面と外面の両方向から行うが、ここでは内面側の溶接のみを検討の対象とする。
- ③ロボットを適用する方法としては、可搬式小型ロボットおよび走行用ラックを箱桁内へ持ち込んで溶接する方法(以後、可搬式と呼ぶ)と、ロボットをマニピュレータの先端に設置して動作させる方法(マニピュレータ式と呼ぶ)の2方法を考えた。ここで考えたマニピュレータは、3-2でシミュレーションしたものと同等の性能を持つものである。
- ④能率は、トーチ1本当たりで算出して比較した。実際にロボットを採用する場合には、複数台を用いることも考えられるが、ここでは複数台使用することは考慮しない。
- ⑤溶接は下向きで行なうことを基本とする。ただし、横リブあるいはダイアフラムと縦リブとの交差部は、立向き溶接で行った方が作業が容易になると思われるので、この部位に限って立向き溶接とする。
- ⑥従来の溶接では、通常4回あるいは工程の工夫により3回のワーク反転を行なうが、可搬式およびマニピュレータ式の場合も同様の反転が必要となるので、ワークの反転時間は考慮しない。溶接機器類あるいはロボット自身の待避時間は、作業方法により異なる要素であるため考慮に入れる。また、マニピュレータ式では、ロボット1台が床に固定されている場合にワークを水平面内で回転させる必要が生じるが、ここではそれを考慮しないものとした。
- ⑦ロボットを用いる場合には、正常な溶接が困難な部位は溶接を行なわないものとする。この部位の判断は、前章のシミュレーション結果により行なった。ロボットで溶接できなかった部位は、後で人手により溶接する必要があるため、作業時間に溶接残し部分の処理作業も入れて検討する。
- ⑧溶接速度は、手溶接(CO2)の場合で水平280mm/min、立向き140mm/min、ロボット溶接(回転式トーチ)の場合で450mm/minと設定した。溶接速度は一般的であると考えられる数値を設定している。回転式トーチの場合、最大で800mm/min程度の溶接速度まで可能ではあるが、溶接部位のプライマ厚などの条件により溶接速度を控える必要も生じるため、ここでは安定して溶接ができる速度として設定した。なお、溶接長は6mm換算で算出した。

⑨シミュレーションでは、回し溶接が全てできないと仮定しており、非常に厳しい条件である。

(2)能率計算の結果

表 3 - 5 1 箱桁当たりの内面溶接時間

溶接方法		従来工法			可搬式			マニピュレータ式 (4m/min)		
溶接箇所	溶接長 (m)	溶接時間	溶接残し処理	合計時間	溶接時間	溶接残し処理	合計時間	溶接時間	溶接残し処理	合計時間
①主桁フランジと主桁ウェブ	46.4	166	0	166	103	0	103	25	125	150
②主桁上下フランジと横リブ・ダイアフラム足下	47.7	170	0	170	106	216	322	15	362	377
③横リブ・ダイアフラムのウェブと上下フランジ付け縦リブ	9.2	66	0	66	66	120	186	0	186	186
④横リブ・ダイアフラムのウェブと主桁ウェブ	27.2	97	0	97	60	48	108	34	91	125
⑤主桁ウェブとダイアフラムの補剛材・横リブフランジ	10.8	39	0	39	24	78	102	24	78	102
⑥主桁ウェブの垂直補剛材と主桁フランジ付け横リブのフランジ	5.3	19	0	19	12	0	12	12	36	48
合計	146.6	556	0	556	371	462	833	110	878	988
		セット時間		0	セット時間		900	セット時間		84
		ティーチング時間		0	ティーチング時間		180	ティーチング時間		216
		清掃・移動時間		360	清掃・移動時間		640	清掃・移動時間		540
		合計		916	合計		2553	合計		1828

1 箱桁当たりの内面溶接時間を比較すると表 3 - 5 になり、作業時間を算出するに当たり、次の1)~3)ように考えた。

1)可搬式の場合の1サイクルの作業内容

- ①ロボット本体の分解、ラック(レール)からの分離
- ②ラック(レール)の移動、設置
- ③本体の移動、設置
- ④ケーブル、ワイヤの移動、設置
- ⑤装置の起動(安全のため、移動時には装置電源を切る)
- ⑥動作プログラムの読み込み(ティーチング)
- ⑦溶接作業
- ⑧必要に応じてノズル清掃、チップ交換などのメンテナンス

①~⑤の作業は、横リブ・ダイアフラムに囲まれた1パネル内での作業と、パネルからパネルへの移動とに分けて考えた。パネル内では4回の移動を行なう必要があるが、これは容易に行なえると考え、時間を(25分×9パネル×4面)として算出した。ロボットのセット後、⑥のティーチングを行なうが、この時間は(5分×9パネル×4面)として算出した。溶接作業後は、⑧のメンテナンスとパネル間の移動を行ない、(20分×8回×4面)として算出した。また、回し溶接部はロボットで行なうのが困難なため、後から手溶接で処理するものとし、1箇所当たり90秒を考えた。

2)マニピュレータ方式の場合の1サイクルの作業内容

- ①ロボットの移動
- ②動作プログラムの読み込み、センシング
- ③溶接作業
- ④必要に応じてノズル清掃、チップ交換などのメンテナンス

マニピュレータ式の場合、ロボットの移動時間は支持ブームの動作速度により

制限されるが、ここでは4m/minを考えた。ロボットは箱桁の両端から挿入するものとし、それぞれにセッティング時間として(30分×2回)を考慮している。目的のパネルへ進入した後、スタート位置のセンシングに(3分×9パネル×4面×2回)必要とし、溶接終了後の移動・清掃に(15分×9回×4面)が必要になると考えた。また、可搬式の場合と同様に未溶接部が残り、処理作業を必要とすると仮定した。

3)人手による溶接

①移動

②溶接作業

③必要に応じてノズル清掃、チップ交換などのメンテナンス

手溶接ではすべてCO2溶接で行なうものとし、パネル間の移動には(10分×9パネル×4面)必要になると考えた。

(3)能率計算のまとめ

表3-5に示した溶接時間について、次のようなことがわかる。

- ①1箱桁当たりの内面溶接時間の合計値は、従来工法に比較して、可搬式ロボットを用いた場合で約3倍、マニピュレータを用いた場合で約2倍になっている。
- ②可搬式ロボットを用いた場合には、ロボットのセットおよびティーチングで作業時間の多くが必要なり、実用化するためにはセッティングを効率化することが課題である。
- ③マニピュレータ式の場合、3-2でのシミュレーションではトーチ角度をかなり限定したために溶接可能箇所が少なくなり、溶接残し処理に非常に多くの時間が必要になる結果となっている。ここでは、1箇所に必要な時間を一律で取り扱っているため、溶接残しの処理時間が、やや過大評価ではある。しかし、その部位は箱内全体に分布しているため、それなりの時間数が必要になることは理解できる。
- ④ロボット溶接の場合、ロボットが溶接を行なっている時間は、作業員が別の作業を行なうことも可能なため、表中の合計時間は実質の工数よりは大きめの値と見なせる。ただし、これを考慮しても、ロボットによる溶接は、従来工法に比較して非常に多くの工数が必要になるといえる。
- ⑤マニピュレータ式の場合、夜間無人運転を行うことも考えられるが、ロボットが実際に無人で稼働するのは90分程度であり、あまり効率が良いとはいえない。
- ⑥ロボットを用いる場合に、人間が溶接を行なう時間は減少し、作業環境改善に貢献できるが、作業時間の合計値は従来よりも増えており、この面でも効果的ではない。
- ⑦箱桁内溶接のロボット化を進めるためには、動作を工夫して、回し溶接などの溶接残しを減少させ、長時間に渡って無人で動作できるように工夫していかなければならない。ここで明らかになったように、ロボット溶接可能な範囲を相当に広げていかないと、後処理で手間がかかり、コスト的にも、労働環境改善の意味からもロボット化のメリットが出てこないことになる。

第4章 構造詳細の提案（適用率向上に向けて）

箱桁内の構造詳細を考える上で、以下の3つの考え方がある。

- ① ロボット施工が容易な構造詳細。
- ② 箱桁内溶接箇所の低減させる構造。
- ③ スカラップ構造の統一。

①については、シミュレーションの結果からもわかるように、箱桁内の構造が複雑であり、シミュレーション上、溶接が可能であるという箇所も、ロボットの機種あるいは物件などが変わったりして条件が違ふことにより、今まで溶接できたところができなくなったりして適用範囲および能率が異なってくる。そこで、シミュレーションの結果も考慮して、ロボット施工が容易かつ施工範囲が大きくなるように構造詳細変更の提案を行うこととし、可能な限り道路橋示方書に添った提案を行った。

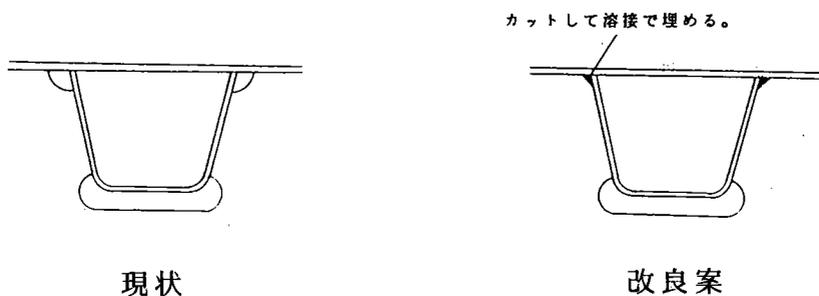
②については、これまで箱桁内をロボット溶接で行うことを検討してきたが、逆に溶接箇所を減らすための構造詳細の変更し、残った箇所をロボット施工することを前提に構造詳細の変更案を提案する。

①②いずれも、変更する上で問題点も生じてくるので、これらについても列挙する。また、ロボット施工以外にも変更することによって利点も出てくるので、この章では利点と問題点を明確にする。

③については、各公団公社のスカラップ構造が様々であり、ロボットを制御する上で、できる限り統一化することが望ましい。そこで、4-3には、各公団公社の箱桁内のスカラップ形状を一覧表として添付し、いかに多くの種類のスカラップが存在するか一覧できるようにした。

4-1 ロボット施工が容易な構造詳細

(1) スカラップの廃止



(利点)

- ・ 製作コスト低減。
- ・ アークタイム率の向上。

(問題点)

- ・ 製作精度を要する。

図 4-1

(解説)

スカラップを省略することによって、一回で行える溶接長が長く、センシング回数あるいはロボットの移動時間が削減できる。このことで、アークタイム率が向上し、コスト削減にもつながると考えられる。また、廻し溶接は溶接品質があまり良くなく、ロボットで行ったとしても、グラインダーによる仕上げ作業が必要となり、廃止することによってこの作業も少なくなる。次に、鋼床版ではスカラップ近傍より疲労亀裂が多く発生し、三木らの研究(文献1)においてもスカラップを廃止し溶接で埋めることによって、疲労強度が向上するという報告もある。しかしながら、スカラップを廃止することによって製作精度が要求される報告もある。

(2)スカラップの大きさの変更

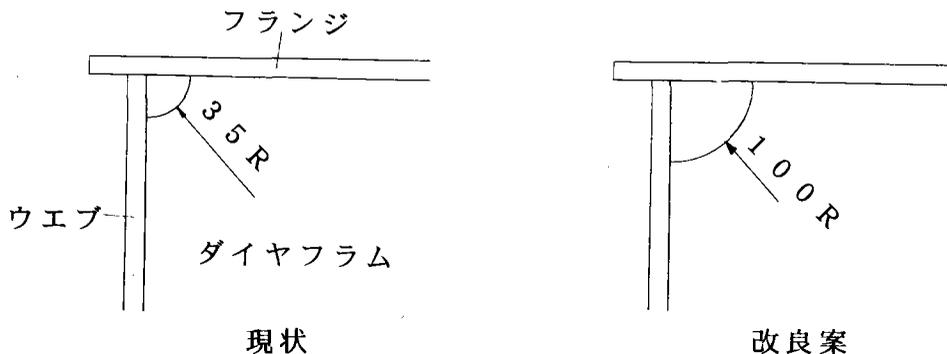


図4-2

(利点)

- ・全線の首溶接がロボット施工可能。

(問題点)

- ・疲労強度の低下。(鋼床版の圧縮側のみ)

(解説)

現状の35Rあるいは40R程度では、トーチとダイヤフラムが干渉し、フランジとウェブの溶接部残しが発生する。シミュレーション結果ではこの部分の溶接はできなかったが、条件を変えることによって溶接が可能となる。図4-3の様にトーチ角度を45°で行った場合、少なくとも50R必要であり、トーチ角度が確保できない。

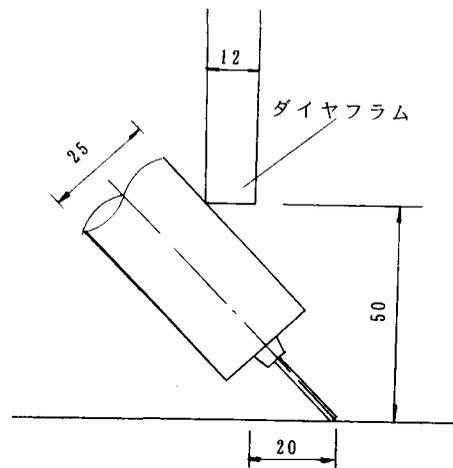


図4-3

そこで100R位にすれば、トーチ接触もなくなり棒継ぎ溶接も可能となる。メッキ橋では、メッキを流す必要性から150Rのものが採用され実績もある。次に、RC箱桁などではほとんど問題とならないが、輪荷重が直接作用する鋼床版のデッキプレート近傍のスカラップでは、スカラップを大きくすることによってスカラップ近傍の局部応力が増大し、疲労強度が低下する。このため、鋼床版の圧縮側では大きくすることは好ましくないと考えられる。

(3)ダイヤフラム開口部の補強方式の変更

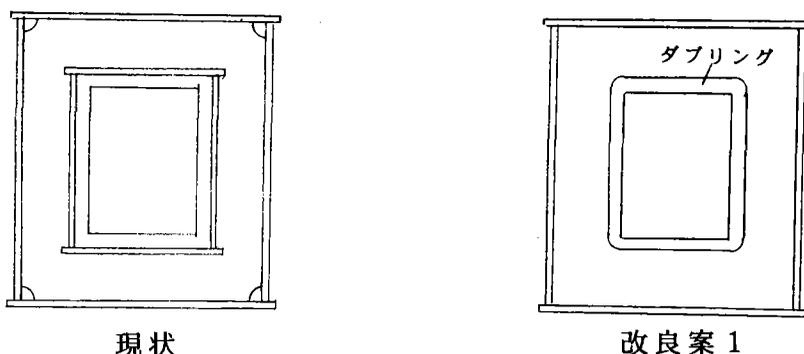


図4-4

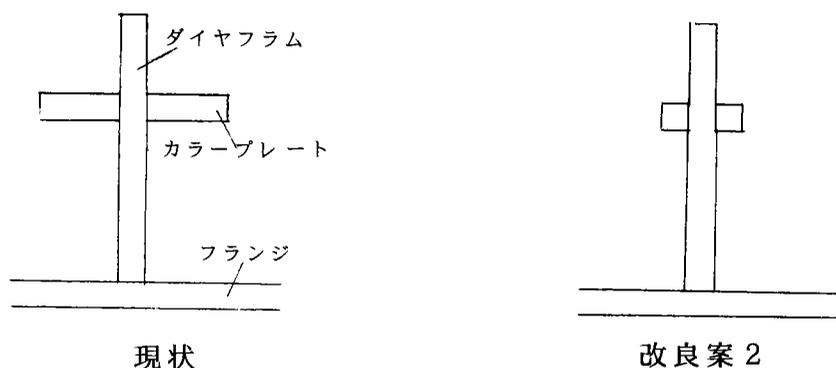


図4-5

(利点)

- ・ロボットと部材の干渉回避。

(問題点)

- ・特になし。

(解説)

ダイヤフラム開口部は、大きくなければ搬送上でロボットとの干渉という問題が生じる。シミュレーション結果からも、ダイヤフラムとロボットが干渉し、フランジとダイヤフラムの溶接は不可能となった。このため、ロングトーチを使用しトーチ角度を変えることにより溶接が可能となる。そして、構造的にもカラープレートの出幅を変更する必要がある。改良案1にカラープレートを廃止し、ダブリング形式で補強する案を示す。また、改良案2にカラープレートの出幅を小さくすることによってロボット本体と部材の干渉がなくなる案を示す。また、シミュレーションでは、コンジットケーブルは考慮されていなかったため、ケーブルと部材が接触する恐れもある。このため、できる限りダイヤフラム開口部を大きくし、カラープレートの出幅を小さくする構造詳細が望まれる。

(4)ダイヤフラム開口部の大きさ (大きくする)

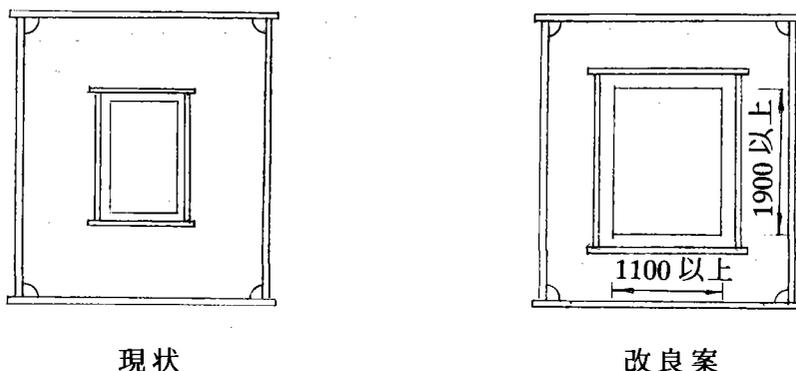


図 4 - 6

(利点)

- ・ロボットの移動が容易。

(問題点)

- ・特になし。

(解説)

ロボットを搬送する上で、ダイヤフラム開口部の大きさが問題となる。ラック方式で小型のロボットを使用する場合はその制限も少ないが、マニピュレータ方式で大型のロボットを自動搬送する場合は、大きな開口部が要求される。現状では、ダイヤフラム開口部の大きさは物件により様々であり、同じ物件でも中間部と端部によっても異なる。設計上中間部については、道路橋示方書の基準内で、できる限り大きくする必要がある。改良案で示した開口寸法は、シミュレーションで行った形状より大きなものとした。しかし、端部については設計上、あまり大きくすることができなかつたので、板厚を厚くするか、開口部の補強方法を変えるなどの対策が必要である。

(5)横リブ構造の変更

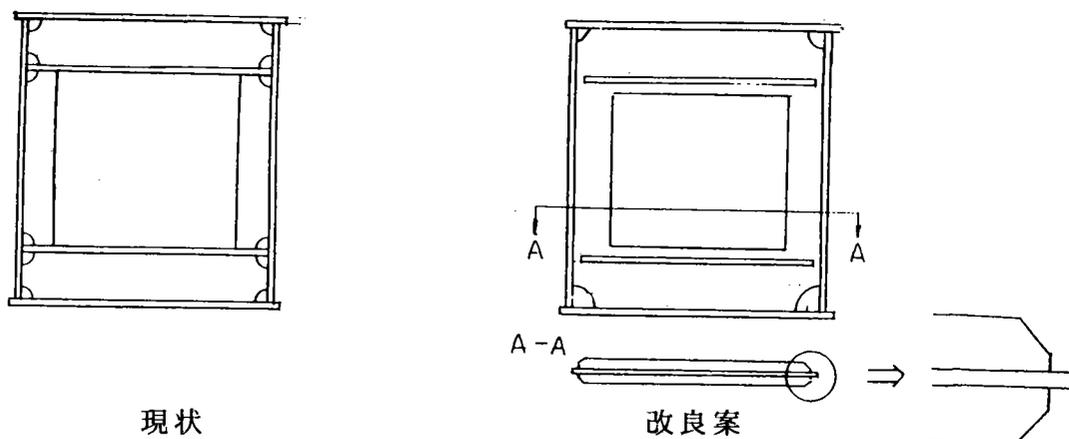


図 4 - 7

(利点)

- ・ロボット施工が容易。
- ・アークタイム率の向上。

(問題点)

- ・溶接長が長くなる。

(解説)

横リブとフランジの組立手順はメーカーによって様々であり、箱桁組立て後溶接を行っている所が多い(総組み)。一部では、パネルに縦リブ溶接を行った後、箱桁組立を行う前に横リブを溶接しているメーカーもある(パネル組み)。また、垂直、水平ステイフナについては、パネル組みでロボット施工しているメーカーが多い。

横リブを総組みで行う場合、図4-7に示すように溶接長の短い箇所が多く、アークタイム率が低下する。また、スカラップ部の廻し溶接箇所があり狭隘な溶接箇所となる。そこで、改良案では、箱桁内での溶接長が多少増えるが、アークタイム率および溶接品質を向上するように、ダイヤフラム形式とした。

次に、パネル工法を前提とした場合、箱桁内の溶接箇所を少なくする構造詳細案は、4-2で横リブ構造の変更案に示す。

(6) 水平補剛材止端間隔の増幅

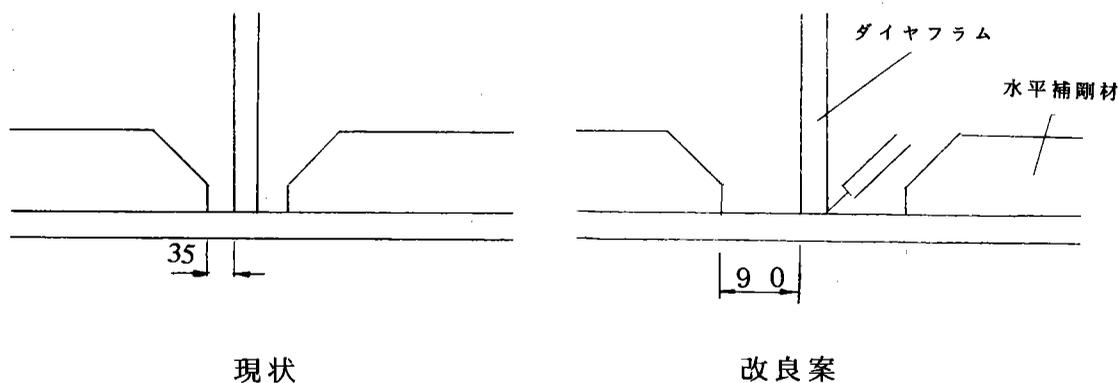


図4-8

(利点)

- ・ロボットと部材の干渉が回避できる。

(問題点)

- ・特になし。

(解説)

シミュレーション結果でも明らかであるが、ウェブとダイヤフラムの溶接時において、水平補剛材によりこの周辺の溶接が不可能となった。このため35mmでは小さく、トーチ角度を45度で保つためには、90mm位にすれば、トーチ接触がなくなると考えられる。

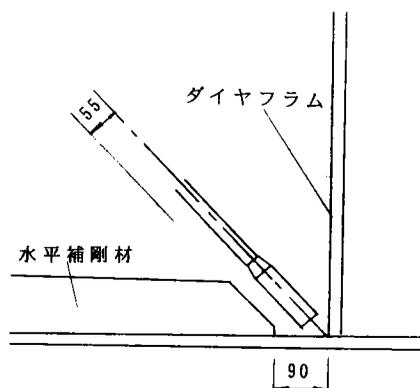


図4-9

(7) 縦リブとウェブの間隔および縦リブ間隔の増幅

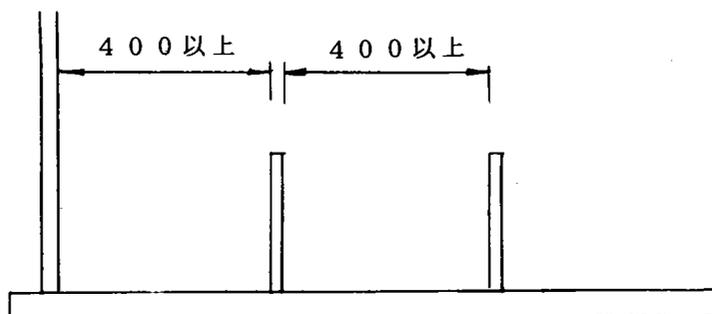


図 4 - 1 0

(利点)

- ・ロボットと部材の干渉が回避できる。

(問題点)

- ・特になし。

(解説)

縦リブとウェブ間隔が短ければ、フランジとウェブの溶接においてロボットのアームおよびコンジットケーブルと縦リブの干渉がある。このため、可能な限り離す必要がある。今回のシミュレーションでは、上フランジで325mmであったが、これによりフランジとダイヤフラムおよびダイヤフラムと縦リブの溶接ができなかった。このため、少なくとも400mm以上の間隔が必要と考えられる。

4-2 溶接箇所の低減

(1) 引張側、圧縮側の形状統一

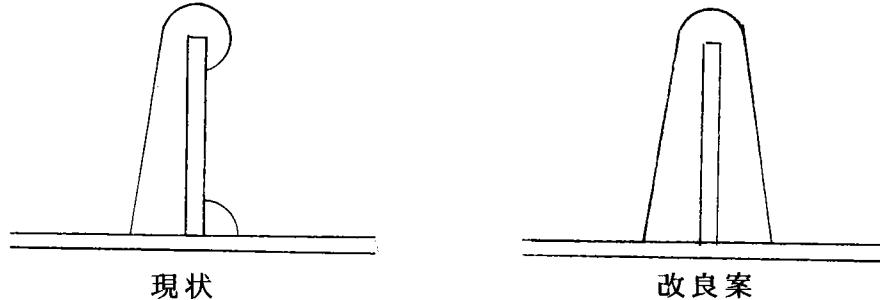


図 4-1-1

(利点)

- ・コスト低減。

(問題点)

- ・特になし。

(解説)

ダイヤフラムおよび横リブと縦リブの溶接箇所は、溶接長が短い。また、機械のセットあるいはセンシングなど時間を要しアークタイム率が低下する。また、この部分の廻し溶接はロボットでは不可能であり、改良することによってコストの低減が可能となる。RC箱桁では一部の公団で圧縮側についても引張側のディテールとしており、現在見直しているところもある。しかし、若干であるが耐荷力の低下が考えられるが、文献2)3)でもこれらの実験および解析的に検討を行っている。これによると、補剛板の耐荷力の低下が若干起こるが、実用上問題にならないと報告している。

(2) 箱桁内でのフランジとウェブの溶接の廃止

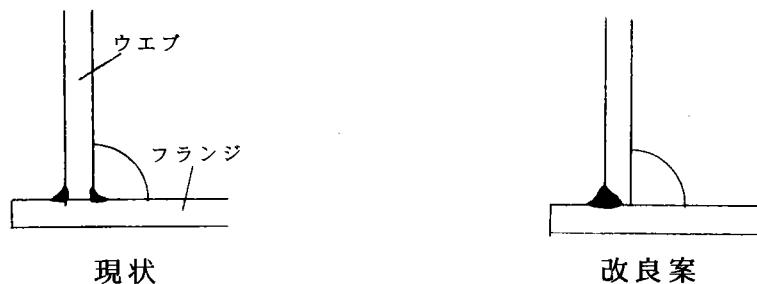


図 4-1-2

(利点)

- ・箱桁内溶接箇所の低減。

(問題点)

- ・ウェブに開先が必要。
- ・角変形がやや大きくなる。
- ・腐食。

(解説)

フランジとウェブの溶接を外側からのみ行うことによって、箱桁内の溶接作業が軽減され、外側から自動溶接機あるいはロボット溶接で行うことが可能である。この構造で、静的強度と疲労強度が問題となる。文献4)でこれらの解析および実験を行っているがこれによると、片側溶接でも静的強度はほとんど変わらないとしており、疲労強度も最大荷重の1/3程度の荷重範囲で疲労試験を行ったが、特に変状は見られないとしている。

しかし、片側溶接にも問題点はある。これまで両側からすみ肉溶接で行っていたが、片側溶接では開先が必要であり、多層盛溶接となる。これを手溶接で行うとしたら、かえて製作工数が増える結果となる。また、角変形もやや多くなり、内側のスリット部から水が浸透し、腐食の問題も生じてくる。

いずれにしろ、片側溶接では多少の問題はあるにしても、省力化あるいはロボット化を行う上で、採用が望まれる構造と考えられる。

(3) 廻し溶接の廃止

(利点)

- ・コスト低減。
- ・疲労強度の向上

(問題点)

- ・腐食。

(解説)

スカラップの廻し溶接の廃止は、ロボット化を行う上でコストの低減では最も有効なものと考えられる。現状では廻し溶接をロボットで行うことは場所によっては可能であると思われるが、溶接品質まで十分満足できるものではなく、グラインダーによる仕上げ作業も生じる。また、道路橋などの疲労亀裂も廻し溶接部止端部から多く発生しており、廻し溶接を廃止できる箇所はその推進を行いたいものである。

次に強度的には、設計上、廻し溶接部を溶接長として見込まれておらず、静的強度にほとんど影響しないものと考えられる。また、疲労強度の面でも廻し溶接部の存在は、スカラップ開口による変形の影響を受け局部応力の高い箇所であり、残留応力の影響もあって、疲労亀裂の発生ポイントとなっている。このため、三木ら文献1)5)の研究では、スカラップ部の廻し溶接をしない方が疲労強度が高くなるという報告も行っており、廻し溶接の廃止は疲労強度的にも有効である。

問題点として、廻し溶接の廃止することによりスリット部から錆が発生する危険性も指摘されている。しかし箱桁内では直接雨に曝されることはなく、下フランジ部に以外ではこの問題も解消されると思われる。

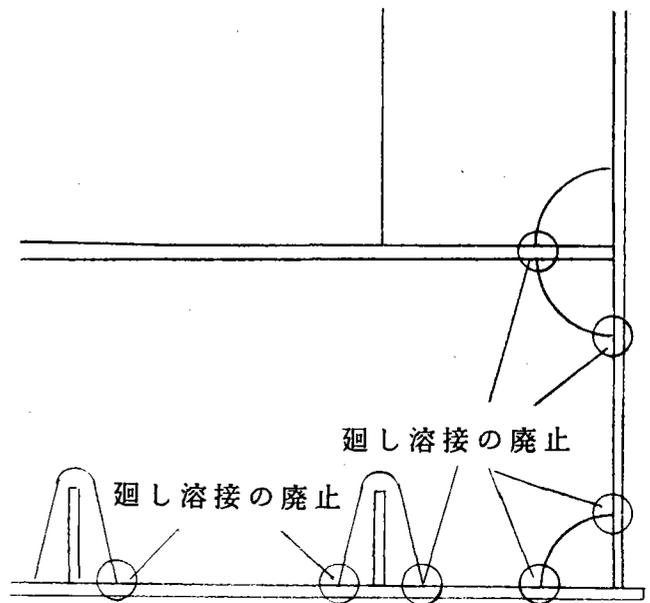
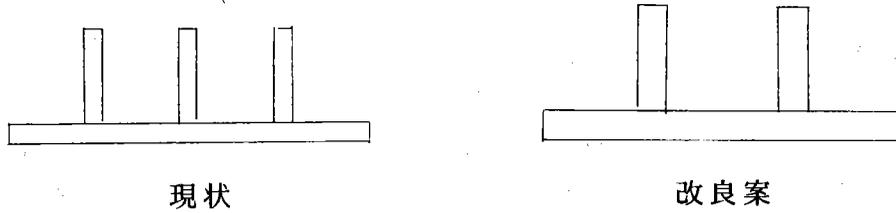


図4-13

(4) 縦リブ間隔の増幅 (リブ枚数の軽減)



(利点) 図 4 - 1 4

- ・コスト低減。
- ・溶接箇所の低減。
- ・ひずみ矯正箇所の減少。

(問題点)

- ・フランジ厚および縦リブ厚の増加。

(解説)

縦リブは組立は、パネル工法で行っているところが多く、縦リブ枚数を減らすことにより、箱桁内の溶接が軽減されることはないが、パネル取り付け時での溶接が減る。また、溶接による変形量も少なくひずみ矯正なども少なくなり、製作コストが削減できる。短所として、これによってフランジ厚および縦リブ厚が増加し鋼重は多少増加することが考えられる。しかしながら、鋼重が多少増えても製作コストを軽減した方がトータルコストは下がるということから、縦リブ枚数を減らすことがコスト削減になると考えられる。

(5) 横リブ構造の変更

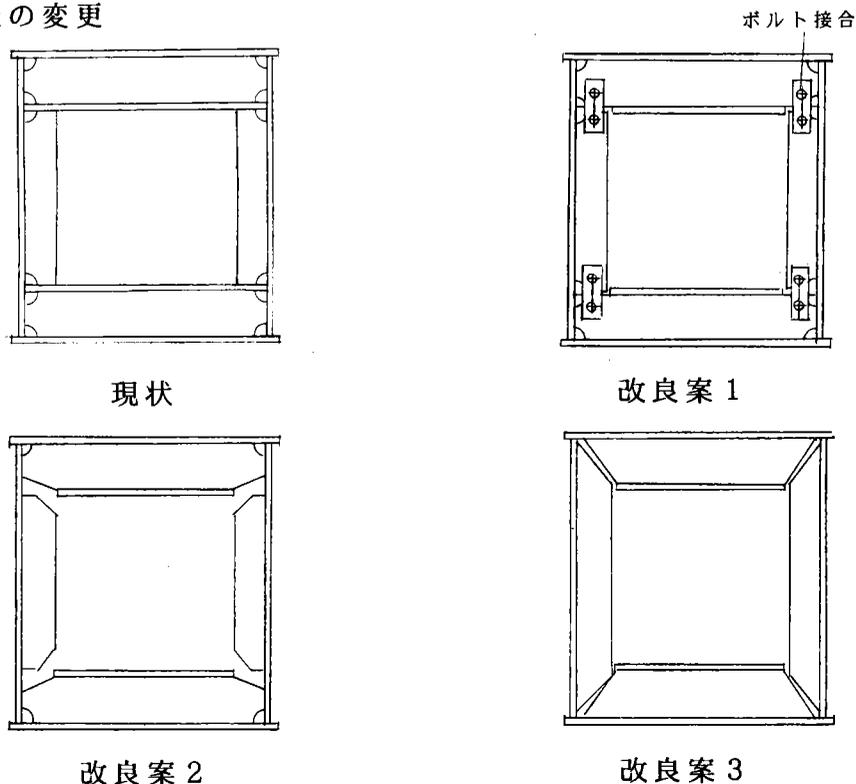


図 4 - 1 5

(利点)

- ・溶接箇所の低減。

(問題点)

- ・耐荷力の低下。(改良案3)

(解説)

横リブとフランジの組立手順はメーカーによって様々であり、箱桁組立て後溶接を行っている所が多い(総組み)。一部では、パネルに縦リブ溶接を行った後、箱桁組立を行う前に横リブを溶接しているメーカーもある(パネル組み)。また、垂直、水平ステイフナについては、パネル組みでロボット施工しているメーカーが多い。

4-1の(5)では、総組みを前提に溶接施工の容易になるように、横リブをダイヤフラム構造となる構造を提案した。ここでは、パネル組を前提に箱桁内溶接箇所が少なくなるよう構造を提案する。

改良案1では溶接箇所を主桁ウェブと横リブウェブのみとし、横リブと垂直ステイフナをボルト接合とした。また、改良案2では、横リブと垂直ステイフナを接合しないものとした。次に改良案3では、箱桁内での溶接箇所がなくなるような構造を提案する。しかし、改良案3の構造では、耐荷力の低下が考えられ、採用に関して注意を要する。

また、ダイヤフラムを改良案1のような構造も考えられる。

(6)横リブ材料の変更

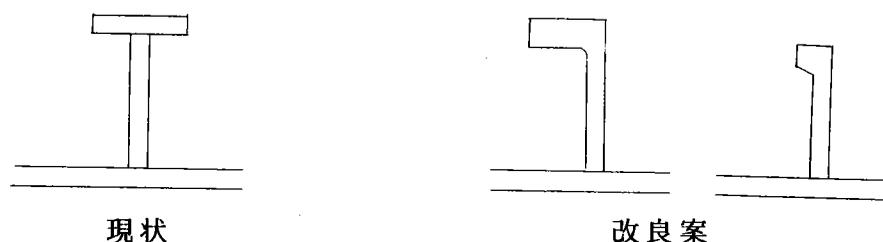


図4-16

(利点)

- ・溶接箇所の低減。
- ・製作コスト削減。

(問題点)

- ・特になし。

(解説)

横リブを不等辺山型鋼、あるいはバルブプレートを使用し、溶接箇所を減らす。

(7)ダイヤフラム補強方法の変更

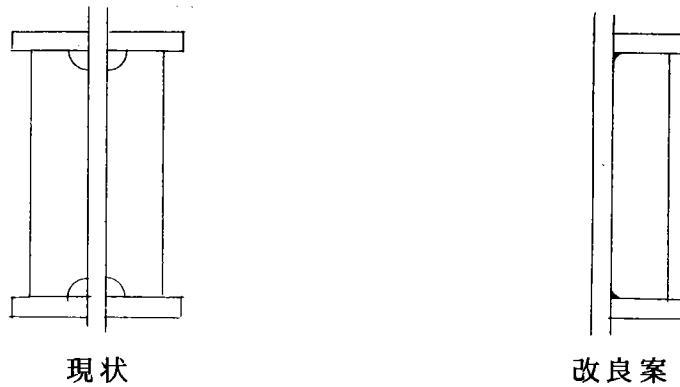


図 4 - 1 7

(利点)

- ・溶接箇所の低減。
- ・製作コスト削減。

(問題点)

- ・変形量が大きくなる。

(解説)

ダイヤフラム補強プレートを片側溶接構造とし、また、スカラップを廃止する。最近設計構造上、スカラップを廃止しているケースもある。しかし、片側構造とすることによって、変形量が多くなるデメリットも考えられる。

4-3 スカラップ形状の統一化

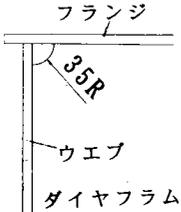
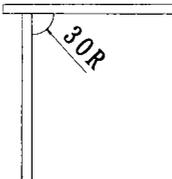
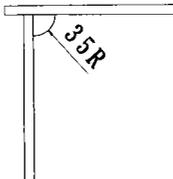
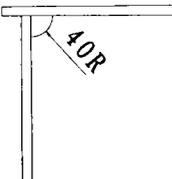
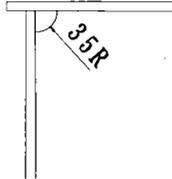
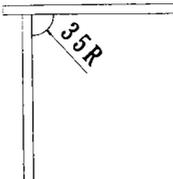
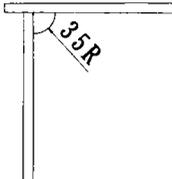
(利点)

- ・ロボット制御データの簡素化。
- ・設計時のミス減少。

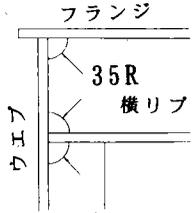
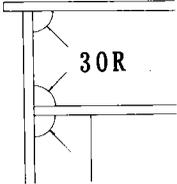
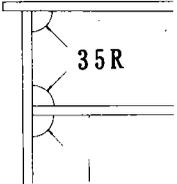
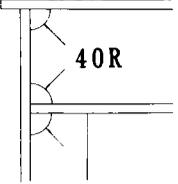
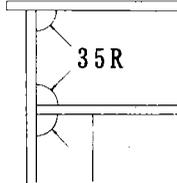
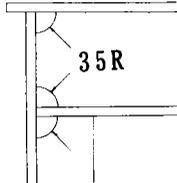
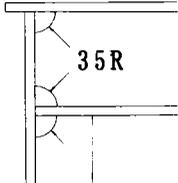
(解説)

各公団公社のスカラップ構造が様々であり、ロボットの制御する上で、できる限り統一化することが望ましい。そこで、以下に、各公団公社を比較したスカラップ形状図を添付しておく。本資料は、鋼橋技術研究会施工部会のスカラップ分科会でまとめた資料(文献6)をもとに編集したものである。

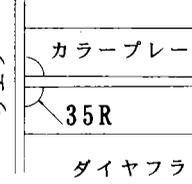
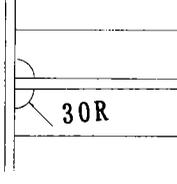
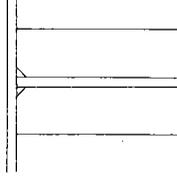
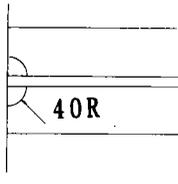
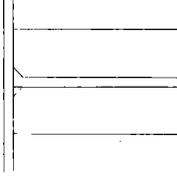
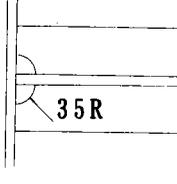
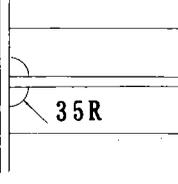
(1)ダイヤフラム

 <p>フランジ 35R ウェブ ダイヤフラム</p> <p>建設省</p>	 <p>30R</p> <p>日本道路公団</p>	 <p>35R</p> <p>首都高速道路公団</p>	 <p>40R</p> <p>阪神高速道路公団</p>
<p>本州四国連絡橋公団</p>	 <p>35R</p> <p>名古屋高速道路公社</p>	 <p>35R</p> <p>福岡北九州道路公社</p>	 <p>35R</p> <p>日本橋梁建設協会</p>

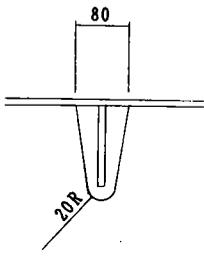
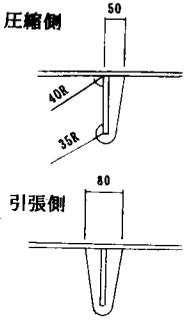
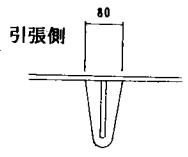
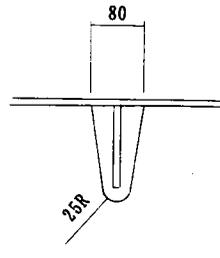
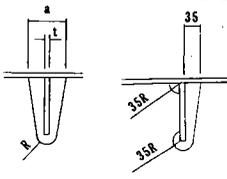
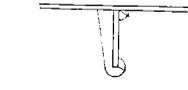
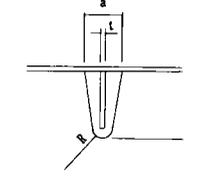
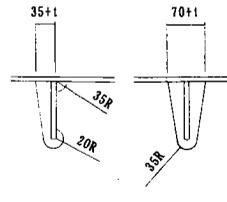
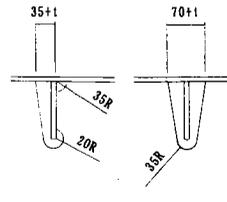
(2)横リブ

 <p>建設省</p>	 <p>日本道路公団</p>	 <p>首都高速道路公団</p>	 <p>阪神高速道路公団</p>
 <p>本州四国連絡橋公団</p>	 <p>名古屋高速道路公社</p>	 <p>福岡北九州道路公社</p>	 <p>日本橋梁建設協会</p>

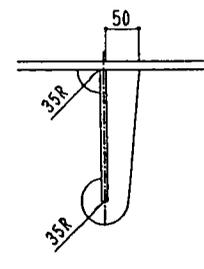
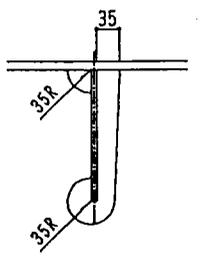
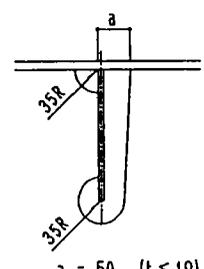
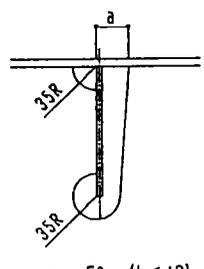
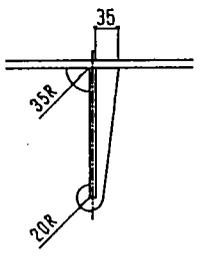
(3)ダイヤフラム補強プレートとウエブ溶接部

 <p>建設省</p>	 <p>日本道路公団</p>	 <p>首都高速道路公団</p>	 <p>阪神高速道路公団</p>
 <p>本州四国連絡橋公団</p>	 <p>名古屋高速道路公社</p>	 <p>福岡北九州道路公社</p>	 <p>日本橋梁建設協会</p>

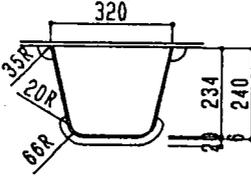
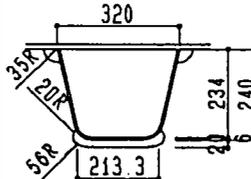
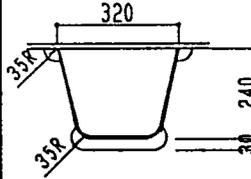
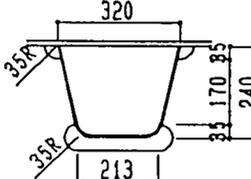
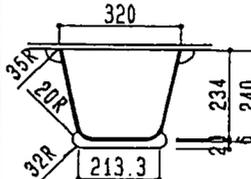
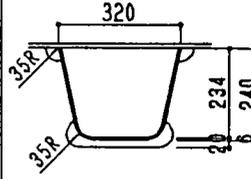
(4) 縦リブ (板リブ) とダイヤフラム交差部 (RC箱桁)

<p>圧縮・引張側共通</p>  <p>建設省</p>	<p>圧縮側</p>  <p>引張側</p>  <p>日本道路公団</p>	<p>圧縮・引張側共通</p>  <p>首都高速道路公団</p>	<p>直接荷重を受ける場合</p>  <table border="1" data-bbox="1121 548 1309 638"> <thead> <tr> <th>t</th> <th>a</th> <th>R</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$t \leq 12$</td> <td>70</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>$12 < t \leq 22$</td> <td>80</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>$22 < t \leq 32$</td> <td>90</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table> <p>阪神高速道路公団</p>	t	a	R	$t \leq 12$	70	20	$12 < t \leq 22$	80	20	$22 < t \leq 32$	90	25
t	a	R													
$t \leq 12$	70	20													
$12 < t \leq 22$	80	20													
$22 < t \leq 32$	90	25													
<p>本州四国連絡橋公団</p>	<p>圧縮・引張側共通</p>  <p>床版打下第1パネル</p>  <p>名古屋高速道路公社</p>	<p>圧縮・引張側共通</p>  <table border="1" data-bbox="854 952 1042 1041"> <thead> <tr> <th>t</th> <th>a</th> <th>R</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$t \leq 12$</td> <td>70</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>$12 < t \leq 22$</td> <td>80</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>$22 < t \leq 32$</td> <td>90</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table> <p>福岡北九州道路公社</p>	t	a	R	$t \leq 12$	70	20	$12 < t \leq 22$	80	20	$22 < t \leq 32$	90	25	<p>直接荷重がない引張側</p>   <p>日本橋梁建設協会</p>
t	a	R													
$t \leq 12$	70	20													
$12 < t \leq 22$	80	20													
$22 < t \leq 32$	90	25													

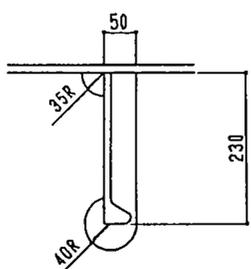
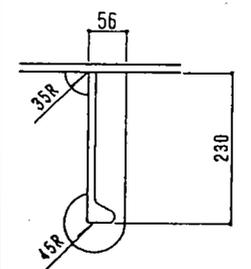
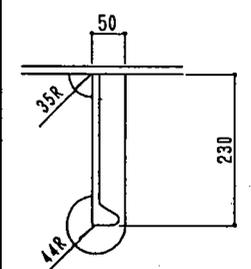
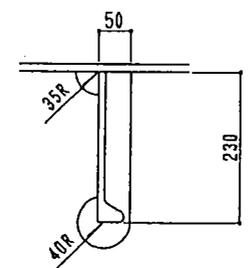
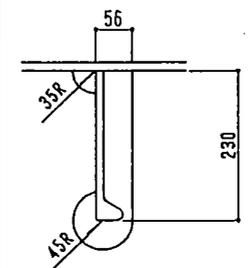
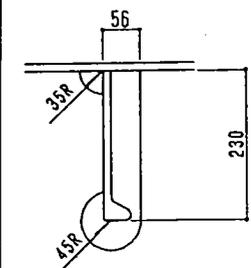
(5) 縦リブ (板リブ) とダイヤフラム交差部 (鋼床版箱桁)

<p>建設省</p>	 <p>日本道路公団</p>	<p>首都高速道路公団</p>	 <p>阪神高速道路公団</p>
<p>本州四国連絡橋公団</p>	 <p>$a = 50$ ($t \leq 19$) $a = 60$ ($t > 19$)</p> <p>名古屋高速道路公社</p>	 <p>$a = 50$ ($t \leq 19$) $a = 60$ ($t > 19$)</p> <p>福岡北九州道路公社</p>	 <p>日本橋梁建設協会</p>

(6) トラフリブとダイヤフラム交差部 (鋼床版箱桁)

建設省			
本州四国連絡橋公団			
日本道路公団	首都高速道路公団	阪神高速道路公団	
本州四国連絡橋公団	名古屋高速道路公社	福岡北九州道路公社	日本橋梁建設協会

(7) バルブリブとダイヤフラム交差部 (鋼床版箱桁)

建設省			
本州四国連絡橋公団			
日本道路公団	首都高速道路公団	阪神高速道路公団	
本州四国連絡橋公団	名古屋高速道路公社	福岡北九州道路公社	日本橋梁建設協会

第5章 アンケート調査

ロボット研究部会の溶接分科会では、同業各社の鋼橋製作部門におけるI桁、箱桁などの自動化・ロボット化の現状および箱桁内溶接のロボット化に対する考え方、導入の実態、予定などについての実態を把握するためにアンケートを実施し、その現状調査を行った。また、箱桁内溶接のロボット化が困難な理由などについても、構造上の問題点、あるいはロボットのハード・ソフトの問題点についても意見を聞き、その対策案もあわせて意見を求めた。その結果を以下に報告する。

調査対象として、鋼橋技術研究会参加企業を対象に22社、26工場にお願い致しました。また、調査年月は、平成7年12月に行ったものである。

なお、自動機およびロボットの違いは以下のように定義するものとした。

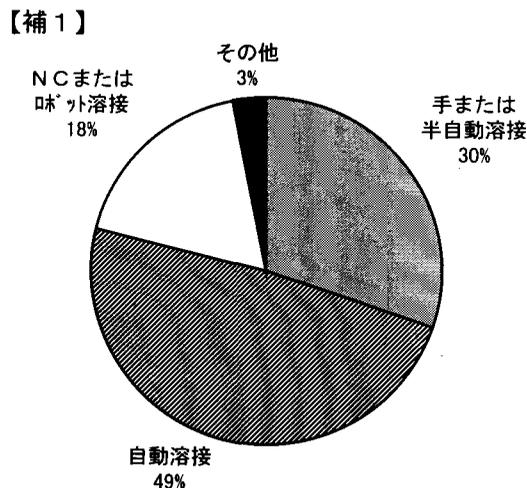
自動機——いわゆる倣い装置で溶接線位置を決めるものとする。

ロボット——与えられたデータをセンサの情報により修正しながら動作するものでいわゆるNC機も含める。

(1) 板継ぎ溶接について

1) I桁のフランジ、箱桁の縦リブなどの細幅材の板継ぎ溶接方式

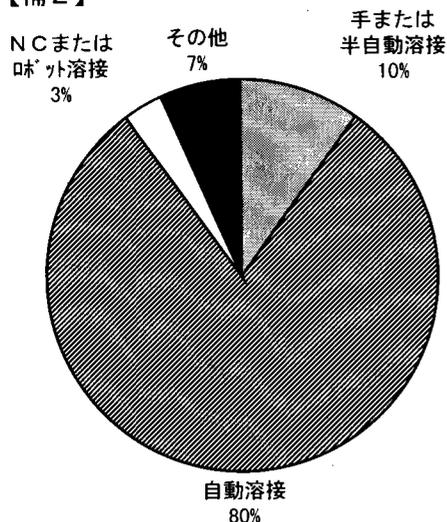
自動溶接機と回答した工場は49%と半数に近く、NCロボット溶接との回答が18%ある反面、手または半自動溶接も30%と生産方式による差異が感じられる。



a. 動作条件のセッティング	ダイレクトティーチング	100%
	オフラインティーチング	0%
	その他	0%
b. 溶接条件のセッティング	オペレータ入力	20%
	プログラム事前設定	80%
	その他	0%
c. センシング機能	タッチセンシング	50%
	アークセンシング	50%
	その他	0%
	CCD位置検出、認識	0%
d. 溶接装置のトーチ数	平均 1.6本 最大 4本	

2) I桁のウェブ、箱桁のフランジ、ウェブなどの広幅材の板継ぎ溶接方式
 ロボット溶接と回答した工場は1件(3%)と少なく、広幅材の板継ぎ溶接は自動溶接が80%と主体となっている実態が伺える。

【補2】



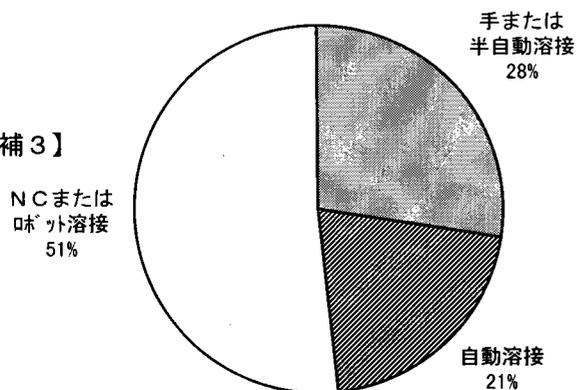
項目	条件	割合
a. 動作条件のセッティング	ダイレクトティーチング	100%
	オフラインティーチング	0%
	その他	0%
b. 溶接条件のセッティング	オペレータ入力	0%
	プログラム事前設定	100%
	その他	0%
c. センシング機能	タッチセンシング	0%
	アークセンシング	100%
	その他	0%
	CCD位置検出、認識	0%
d. 溶接装置のトーチ数	平均 1.6本 最大 5本	

(2) ウェブへのスティフナ取付溶接について

1) ウェブへのスティフナ取付溶接方式

回答の半数強(51%)がパネル溶接工法(NCまたはロボット溶接)で、半自動溶接が28%、自動溶接が21%とそれぞれ回答され、各工場の生産設備の都合が表れている傾向が伺える。

【補3】



項目	条件	割合
a. 動作条件のセッティング	ダイレクトティーチング	7%
	オフラインティーチング	86%
	その他	7%
b. 溶接条件のセッティング	オペレータ入力	0%
	プログラム事前設定	100%
	その他	0%
c. センシング機能	タッチセンシング	67%
	アークセンシング	87%
	その他	7%
	CCD位置検出、認識	20%
d. 溶接装置のトーチ数	平均 3.1本 最大 4本	
e. 作業人数	平均 2.2人 最高 4人	

(3) 縦リブ取付溶接について

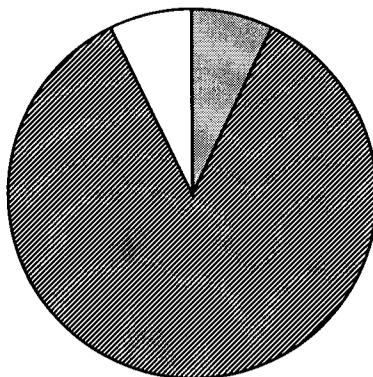
1) 箱桁、鋼床版桁フランジへの縦リブ（板リブ、バルブ）取付溶接方式

パネル溶接工法も浸透し、自動溶接とNCまたはロボット溶接と合わせると93%となり大半の工場が実施しており、手または半自動溶接は7%と少ない。

【補4】

NCまたは
ロボット溶接
7%

手または
半自動溶接
7%



自動溶接
86%

補4 NCまたはロボット溶接の条件

a. 動作条件のセッティング	ダイレクトティーチング	0%
	オフラインティーチング	100%
	その他	0%
b. 溶接条件のセッティング	キー入力	0%
	プログラム事前設定	100%
	その他	0%
c. センシング機能	タッチセンシング	100%
	アークセンシング	100%
	その他	0%
	CCD位置検出、認識	50%
d. 溶接装置のトチ数	平均 6.9本 最大10本	
e. 作業員数	平均 1.3人 最高 2人	

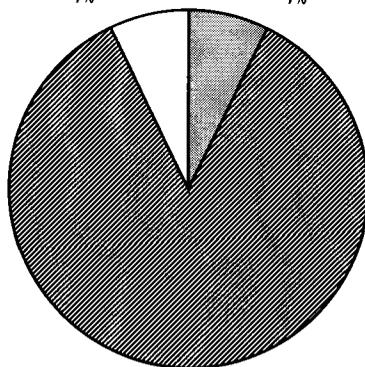
2) 箱桁、鋼床版桁フランジへの縦リブ（Uリブ）取付溶接方式

(3)-1)項と同様の傾向。

【補5】

NCまたは
ロボット溶接
7%

手または
半自動溶接
7%



自動溶接
86%

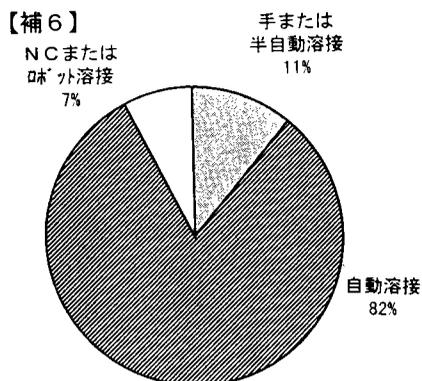
補5 NCまたはロボット溶接の条件

a. 動作条件のセッティング	ダイレクトティーチング	0%
	オフラインティーチング	100%
	その他	0%
b. 溶接条件のセッティング	キー入力	0%
	プログラム事前設定	100%
	その他	0%
c. センシング機能	タッチセンシング	100%
	アークセンシング	100%
	その他	0%
	CCD位置検出、認識	50%
d. 溶接装置のトチ数	平均 7.1本 最大10本	
e. 作業員数	平均 1.4人 最高 2人	

(4)大組立後の溶接について

1)I桁の大組立後の溶接（ウェブ、フランジの首溶接）方式

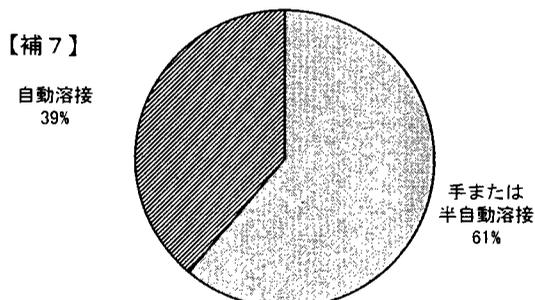
ウェブ、フランジの首溶接はS A Wか可搬式(キャリーボーイ等)自動機と回答した工場が89%であった。手または半自動との回答(11%)は部材取付手順によるものと推定される。



a. 動作条件のセッティング	ダイレクトティーチング	0%
	オフラインティーチング	100%
	その他	0%
b. 溶接条件のセッティング	オペレータ入力	0%
	プログラム事前設定	100%
	その他	0%
c. センシング機能	タッチセンシング	50%
	アークセンシング	50%
	その他	0%
	CCD位置検出、認識	0%
d. 溶接装置のトチ数	平均 3.2本 最大 8本	
e. 作業員数	平均 1.4人 最高 3人	

2)箱桁の大組立後の溶接方式

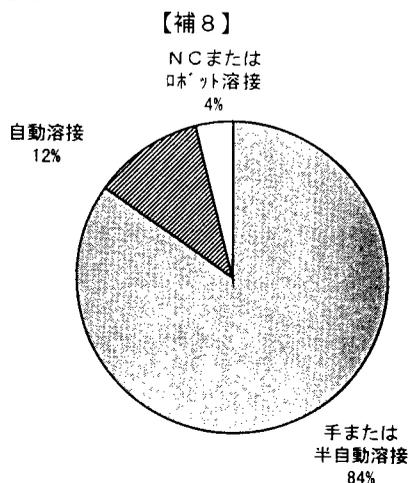
手または半自動溶接との答えが61%あり、これは主に箱内を施工し、39%が自動溶接使用と回答しているが、これは主に首溶接の外側で一部箱内の溶接線の長い箇所を使用していると思われる。



a. 溶接装置のトチ数	平均 2.0本 最大 4本
b. 作業員数	平均 2.3本 最高 5人

3)付属小物の取付溶接方式

手または半自動溶接という答えが84%であるが、自動溶接が12%、更に進んでNCまたはロボット溶接との答えも4%あり、構造上自動化の困難な部位を自動溶接している工場もあった。



a. 動作条件のセッティング	ダイレクトティーチング	0%
	オフラインティーチング	100%
	その他	0%
b. 溶接条件のセッティング	オペレータ入力	0%
	プログラム事前設定	100%
	その他	100%
c. センシング機能	タッチセンシング	100%
	アークセンシング	100%
	その他	0%
	CCD位置検出、認識	0%

(5)溶接作業従事者、環境について

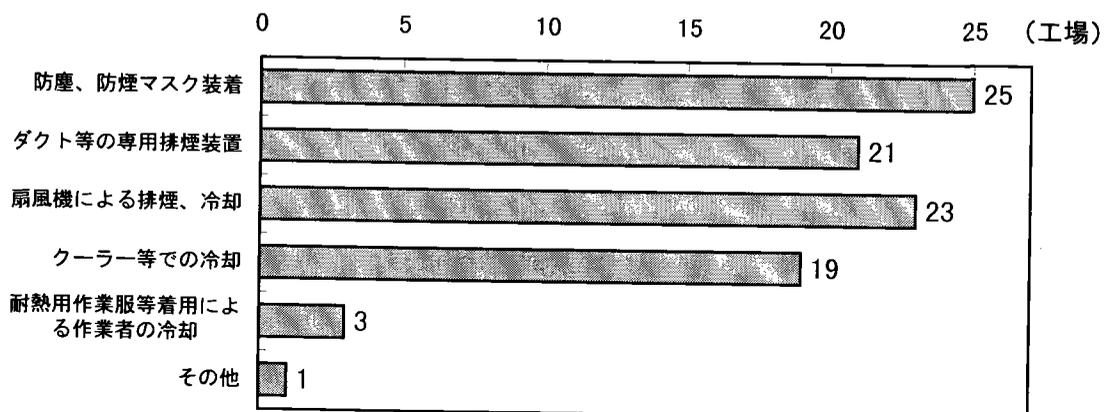
1)溶接作業従事者数について

社内工、社外工とも人数の回答にバラツキがあるが、依然として社外工依存型の傾向がうかがえる。

年齢全体平均はここ数年で各社社内工育成により若干若返っているようにもみえる。オペレータの割合は、社外工ほど低くなっており、社外工の教育まで手が回らないとも思われる。

	人数平均	年齢全平均	直接工に対する オペレータの割合
社内工	33人 (5~106人)	39歳 (30~46歳)	21%
社外工	41人 (5~332人)	44歳 (34~50歳)	6%

2)作業環境改善のための対策

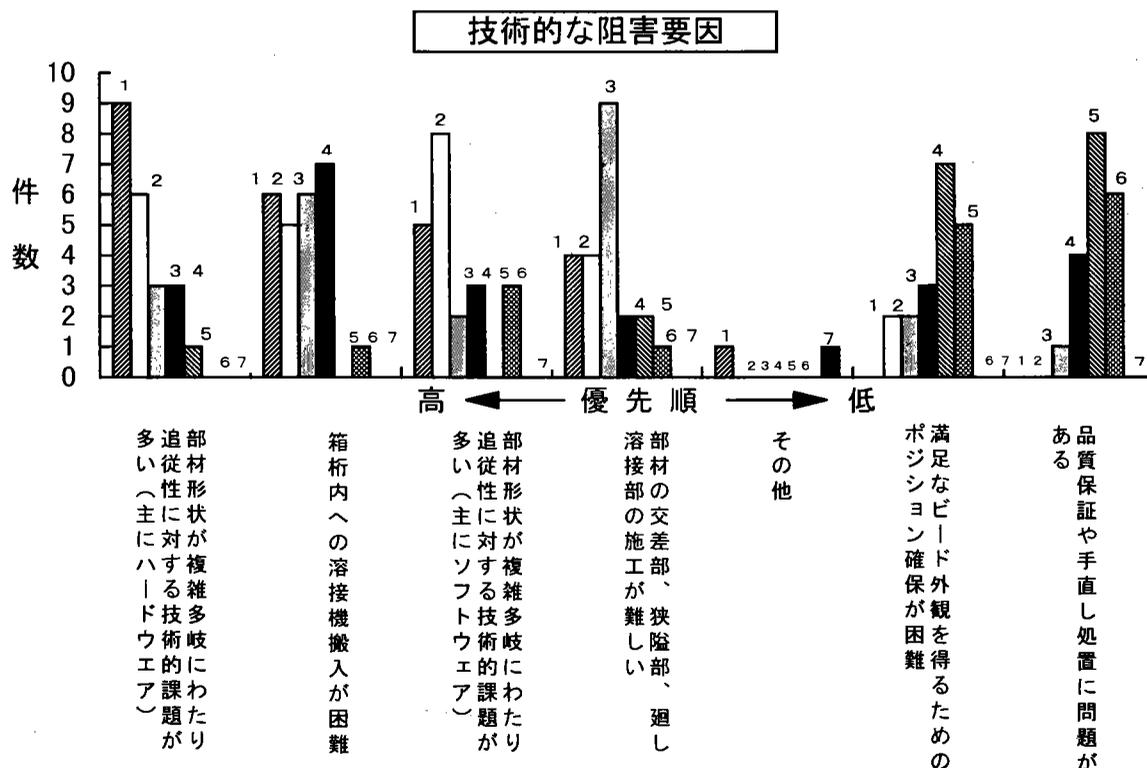


(6) 箱桁内溶接のロボット化、自動化の阻害要因

以下のアンケート結果は、各設問における問題項目をあらかじめ用意し、それに対して優先順位を問う形式で調査したものである。優先順位の高低の付け方としては、優先順位が1位である数の多い順にランク付けし、左から順に高いものを配列してグラフ化したものである。例えば、「1) 技術的な阻害要因」の設問で、最も阻害要因の高い項目としては、「部材形状が複雑多岐にわたり追従性に対する技術的課題が多い」としたが、これは阻害要因として考えられる順位が1位である数が最も多かったもので、9工場で1位としている。また、2位とした工場が6工場、3位とした工場3工場あったことを示している。

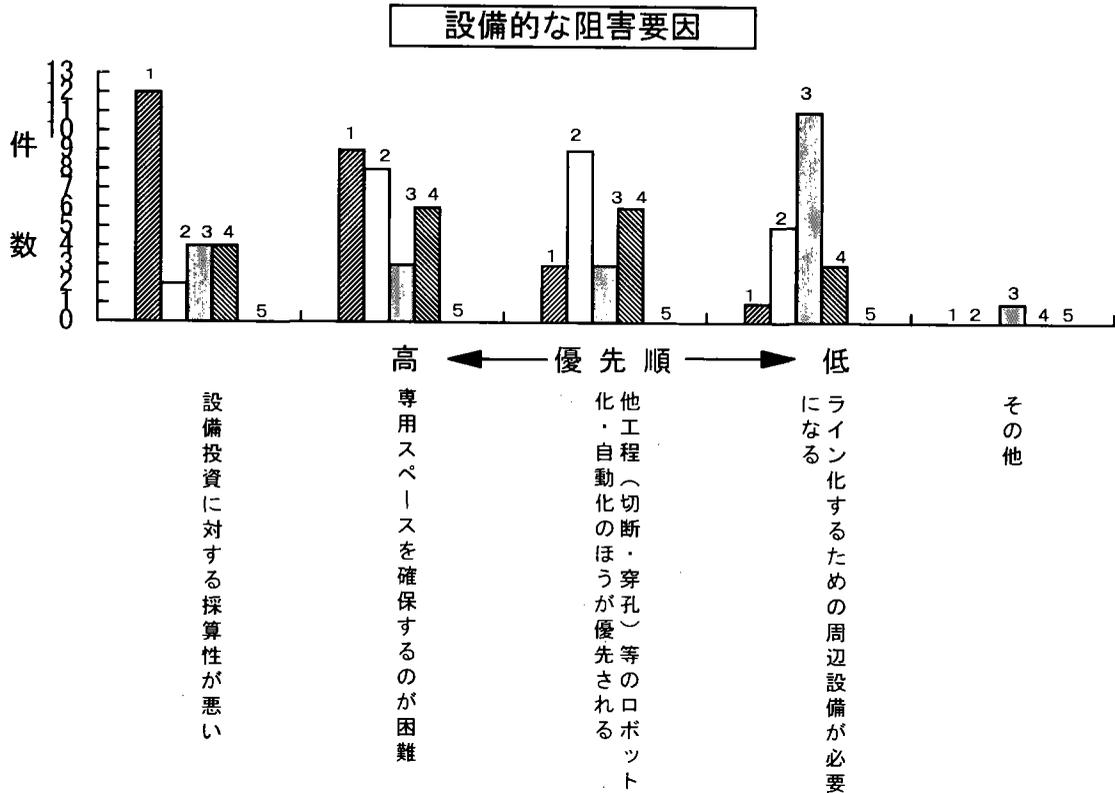
1) 技術的な阻害要因

部材形状が複雑（ハード）、箱内への溶接機搬入、部材形状が複雑（ソフト）、交差部廻し部の溶接の順で阻害要因が大きいと回答している。



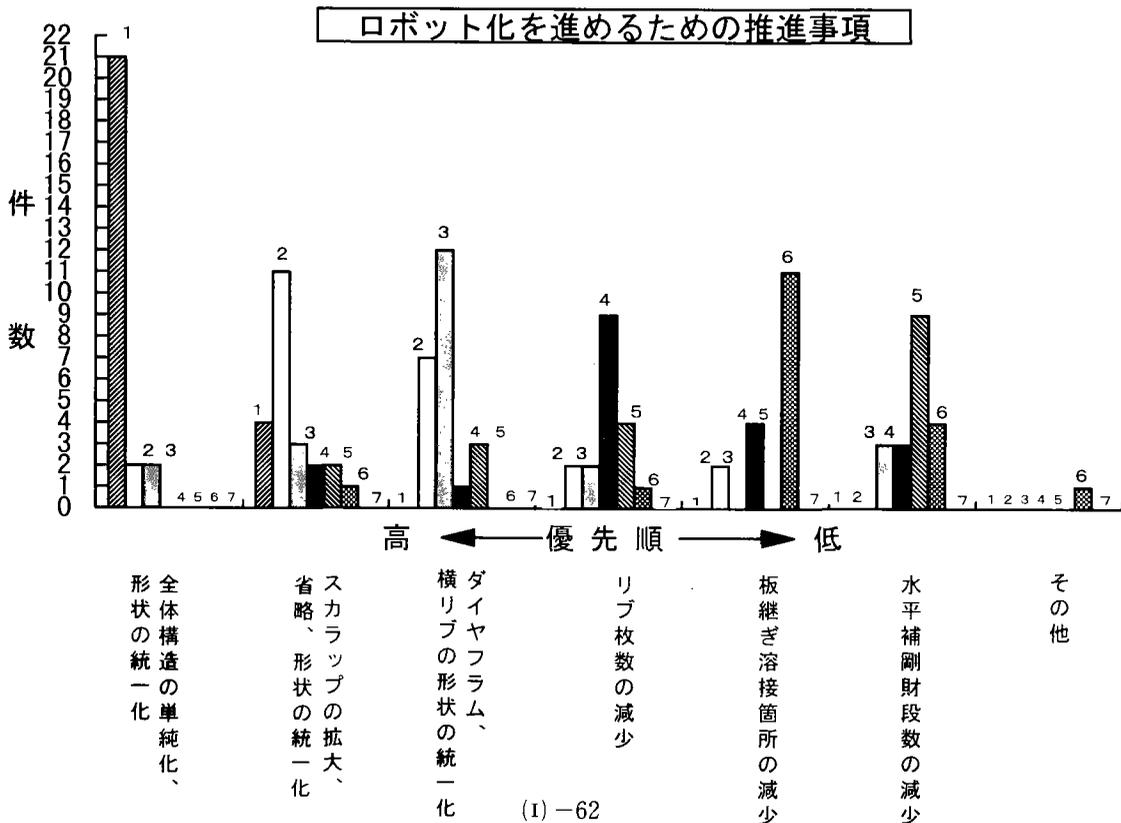
2)設備的な阻害要因

設備投資に対する採算性が悪い12件、専用スペースの確保9件、他工程のロボット化の優先3件と回答している。



3)ロボット化を進めるための推進事項

優先順位として多くの工場は全体構造の単純化、形状の統一化を挙げている。



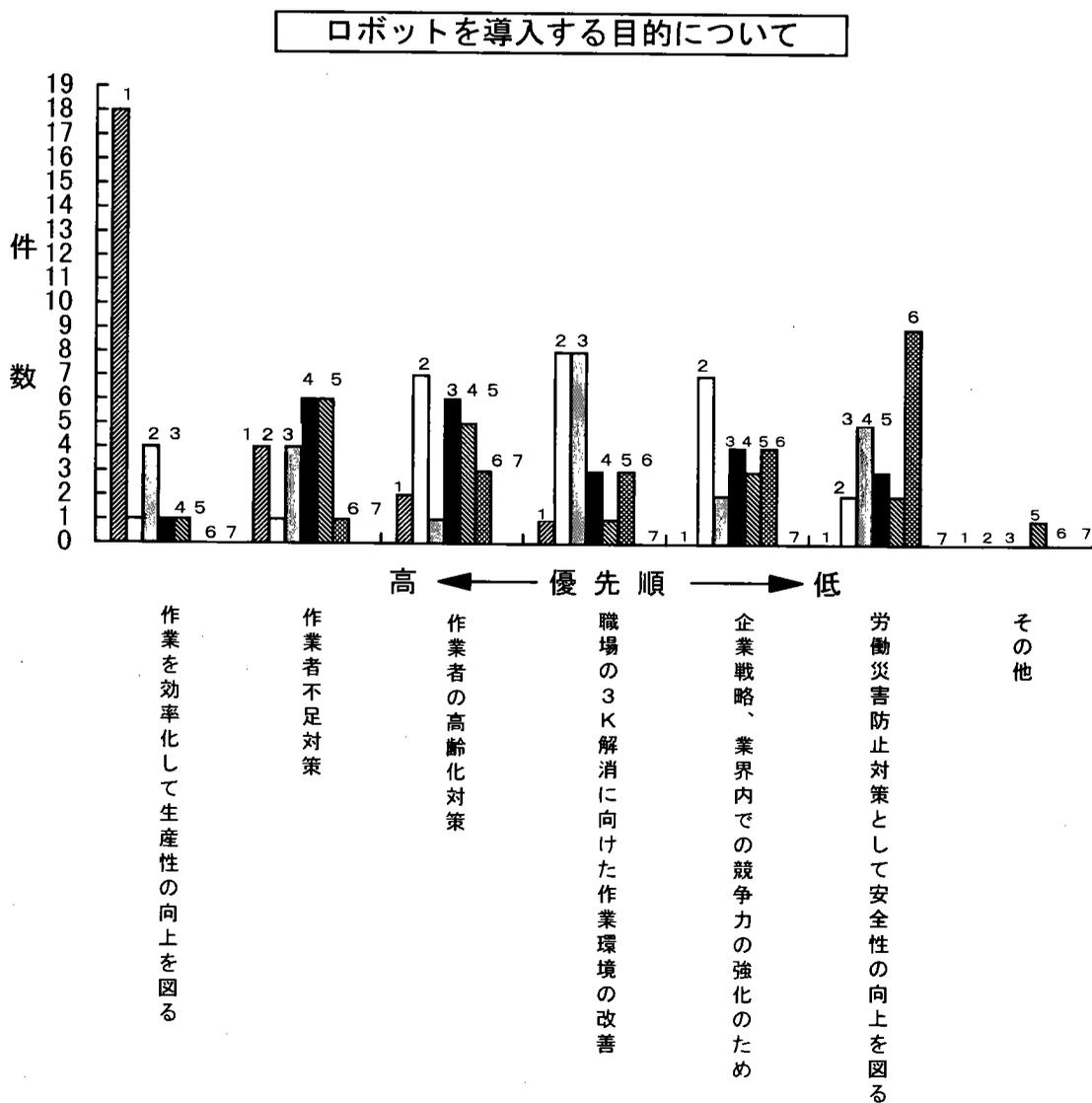
(7) ロボットの導入計画について

1) 貴社に現存しない溶接ロボットの導入計画について

計画中 ————— 8社
 今後計画する予定 ————— 12社
 導入計画なし ————— 6社

2) ロボットを導入する目的について

生産性の向上と回答した工場が18件で、次いで作業員不足対策、高齢化対策と回答している。



(8)意見集約

アンケート回答とともに多数に意見も寄せられた。その意見を種類別にとりまとめ表として以下に表す。(複数回答は※印を付す)

構造上の問題	※構造の簡略化、形式の統一化
	※スカラップの省略
	箱断面から開断面への設計改革
	縦リブ材の省略化
	溶接線の減少、統一化
ハード・ソフトの問題	※入力データの簡略化
	システムトラブルの軽減
	※メンテナンスフリー
	ティーチングの容易さ
	データ接続の明確化
ロボット全般、要望	箱桁大組立、外面溶接の自動化検討を要望
	各社の独自技術の資料整理と公開
	ロボットの軽量化、自歩式ロボット・搬送装置の開発
	現状の可搬式ロボットの人力搬送の難しさ
	ロボット化により能率悪化、投資効果に疑問

第6章 まとめ

本研究をまとめると次のことが言え、箱桁内溶接のロボット化を推進するには、以下のことを改良することが望まれる。

- ・箱桁内溶接を能率よく行えるロボットのハード・ソフトが十分でない。このため、ロボット本体のハード・ソフトの改良が必要である。(表2-4参照)
(例えば、廻し溶接が可能。干渉チェック機能の充実。など)
- ・箱桁内の構造が複雑であり、シミュレーション結果より箱桁内溶接の適用率は33%である。このため、溶接残し箇所が多くなりかえってコストが上がり、ロボット施工が容易な構造詳細の変更が必要である。あるいは、箱桁内の溶接箇所を低減させる構造の採用が望まれる。
- ・1箱桁当たりの内面溶接作業時間(セット、ティーチング等も含む)の合計値は、従来工法に比較して、可搬式ロボットを用いた場合で約3倍、マニピュレータを用いた場合で約2倍になる。
- ・ロボットを用いる場合に、人間が溶接を行なう時間は減少し、作業環境改善に貢献できるが、作業時間の合計値は従来よりも増えており、現状では効果的ではない。
- ・可搬式ロボットを用いた場合には、ロボットのセットおよびティーチングで作業時間の多くが必要になり、実用化するためにはセッティングを効率化することが課題である。
- ・箱桁内溶接のロボット化を進めるためには、動作を工夫して、廻し溶接などの溶接残しを減少させ、長時間に渡って無人で動作できるように工夫していかなければならない。ここで明らかになったように、ロボット溶接可能な範囲を相当に広げていかないと、後処理で手間がかかり、コスト的にも、労働環境改善の意味からもロボット化のメリットが出てこないことになる。
- ・ロボットのハード・ソフトの充実、マニピュレータの開発および構造詳細の変更が同時に満たせば、箱桁内溶接のロボット化が現実的なものとなる。
- ・アンケート結果からも判るように、ロボット導入の第1目的は生産効率の向上であり、作業環境の改善で導入されるケースは少ない。このため、意識改革が必要であり、コストが多少アップしても作業環境の改善を目的としたロボットの導入が今後望まれる。

以上が、ロボット研究部会溶接分科会で約4年かけて検討してきた結果であるが、これまで各委員会でも箱桁内溶接のロボット化に関して具体的に検討したケースは、ほとんどなかった。しかし、文献8)のようにロボットメーカーで実用に向け試作されている報告もある。

終わりに、今後本研究をもとに箱桁内溶接のロボットが各社において実現され、溶接作業者を悪環境から開放し、鋼橋製作のコスト低減につながれば幸いである。

参考文献)

- 1) 塩崎, 三木, 館石, 藤井: 箱断面補剛桁のダイヤフラム-縦リブ交差部の疲労強度, 第49回年次学術講演会, 1994.9
- 2) 春日井, 和内, 大森: 鋼橋の合理化に関する1提案, 橋梁と基礎, 1994.7
- 3) 勝野, 渡辺, 熊谷, 関田, 依田: 縦リブと横リブとを溶接しない補剛板の耐力特性, 三菱重工技報, Vol.24, 1987.7
- 4) 濱田, 寺尾, 塚原: 箱桁製作省力化の提案, 横河ブリッジ技報, No.23, 1994.1
- 5) 三木, 館石, 石原, 梶本: 溶接構造部材のスカラップディテールの疲労強度 土木学会論文集No.483/I-26, 1994.1
- 6) 鋼橋技術研究会施工部会スカラップ分科会: スカラップ構造の検討(案), 1996.3
- 7) 「特集 ロボットをより効率的に使う」, 溶接技術, 1995.12
- 8) 中島, 大沢, 宮脇他: 橋梁溶接の自動化, 日立造船技報第57巻, 1996.4

(注)

本報告書の中で、箱桁内のシミュレーションについては、松下産機システムエンジニアリング(株)殿に依頼したものであり、著作権の関係上、本報告のシミュレーション結果を営利目的等に使用致しますと著作権法に触れる恐れがありますのでご注意ください。

ロボット資料

溶接ロボットシステム概要

システム・装置名称	超小型アーク溶接ロボット アークマンPoco	整理No. :
適用・対象ワーク	造船、橋梁等ブロック内溶接	製造会社： (株)神戸製鋼所
装置概要図		
特徴・特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ① 小型・軽量タイプのロボットであることから、箱内への持ち込みが容易。 ② 制御ケーブル1本。最大50mまで延長可能。 ③ 2ヶ所での手元操作可能。(ロボット本体、制御盤双方に接続可能) ④ 安全柵が不要。(小容量モーター(80W以下)) ⑤ オフラインティーチングシステムと接続可能。造船用トランス/ロンジ溶接システム 他 	
ロボット本体仕様	Poco-L3 (他にPoco3、Poco-α3)	
最大可搬質量	3kg	
重量	ロボット本体 15kg+10kg, 専用台車 8kg, 専用レール 15kg(2m)	
電動機総容量	380W	
コントローラー仕様	()内はオプション	
センシング機能	開始点センシング、アークセンシング、溶接長センシング 3方向センシング、加算センシング、(多点センシング、ステッキ センシング、円弧センシング、ギャップセンシング)	
立向溶接機能	DW-100、φ1.4の場合のみ有効	
その他主要機能	3点シフト機能、ダイレクトステップジャンプ機能、条件ジャンプ機能、 外部入力シフト機能、一時停止点への自動復帰機能、リトライ機能	
多層盛溶接	(多層盛ビード階段仕上げ)	
オプション・周辺機器		
概略価格(標準タイプ)		
問い合わせ先	03-5634-5070	抜粋カタログ資料No. No.225

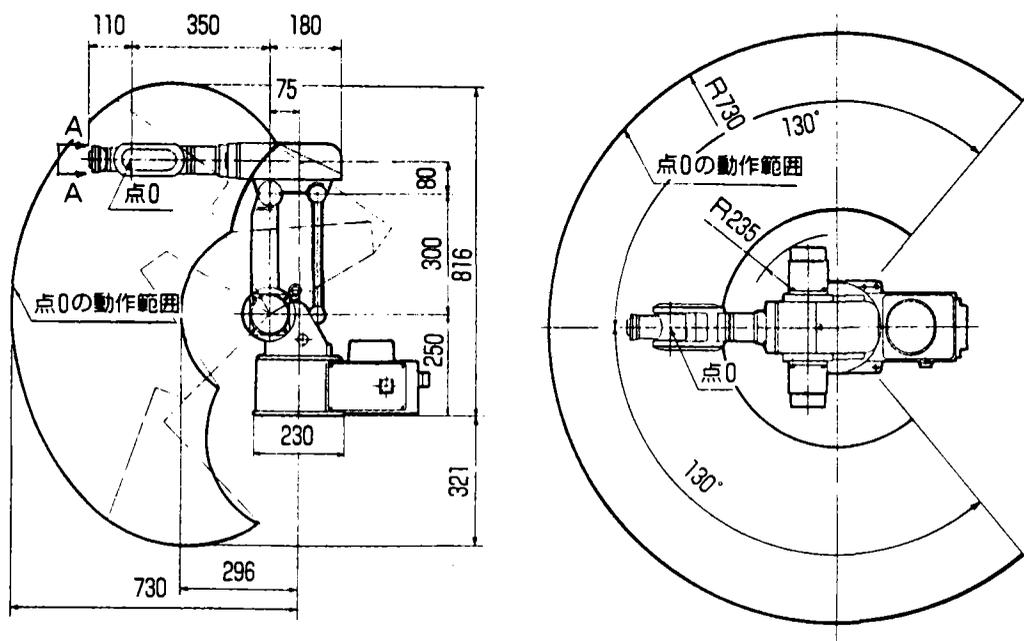
溶接ロボットシステム概要

システム・装置名称	超小型アーク溶接ロボット アルメガROBOLAND		整理No. :
適用・対象ワーク			製造会社： (株)ダイヘン
装置概要図			
特徴・特記事項	<p>① 小型・軽量タイプのロボットであることから、箱内への持ち込みが容易。</p> <p>② 制御ケーブル1本。</p> <p>③ 安全柵が不要。(小容量モーター(80W以下))</p>		
ロボット本体仕様	ロボランドR (他にロボランドP、ロボランドS)		
最大可搬質量	3 kg		
重量	19 kg (本体のみ) + 5 kg (キャリッジユニット)		
電動機総容量	390W (本体のみ)、440W (7軸合計)		
コントローラー仕様	() 内はオプション		
センシング機能	ウィーブアークセンサー、マッハレーザサーチ、スーパーレーザセンサ、スーパーアークセンサ		
立向溶接機能	可能<教示>		
その他主要機能	溶着自動解除機能、アークスタートリトライ機能、オーバーラップ機能、豊富なシフト機能、シーケンス制御機能		
多層盛溶接			
オプション・周辺機器			
概略価格(標準タイプ)			
問い合わせ先	06-317-2521	抜粋カタログ資料No.	R19503A

溶接ロボットシステム概要

システム・装置名称	超小型アーク溶接ロボット Pana Robo AW-003B	整理No. :
適用・対象ワーク	造船、橋梁等ブロック内溶接	製造会社： 松下電器産業(株)

装置概要図



特徴・特記事項

- ① 小型・軽量タイプのロボットであることから、箱内への持ち込みが容易。
- ② 制御ケーブル1本。
- ③ 2ヶ所での手元操作可能。(ロボット本体、制御盤双方に接続可能)
- ④ 安全柵が不要。(小容量モーター(80W以下))
- ⑤ オフラインティーチングシステムと接続可能。

ロボット本体仕様

最大可搬質量	3 kg
重量	約4.4 kg (本体のみ)
電動機総容量	390W

コントローラー仕様

() 内はオプション

センシング機能	タッチセンサー、アークセンサー
立向溶接機能	—
その他主要機能	ワイヤースティック自動解除機能、アークスタートリトライ機能 オーバーラップ機能、レジューム機能、トーチ補正機能
多層盛溶接	別途相談 特殊対応

オプション・周辺機器

概略価格(標準タイプ)

問い合わせ先

06-866-8556

抜粋カタログ資料No.

カ・240

溶接ロボットシステム概要

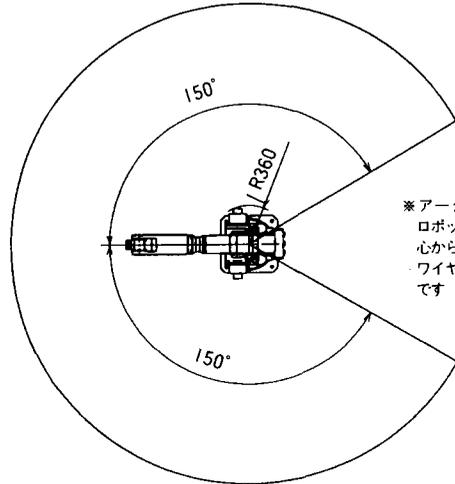
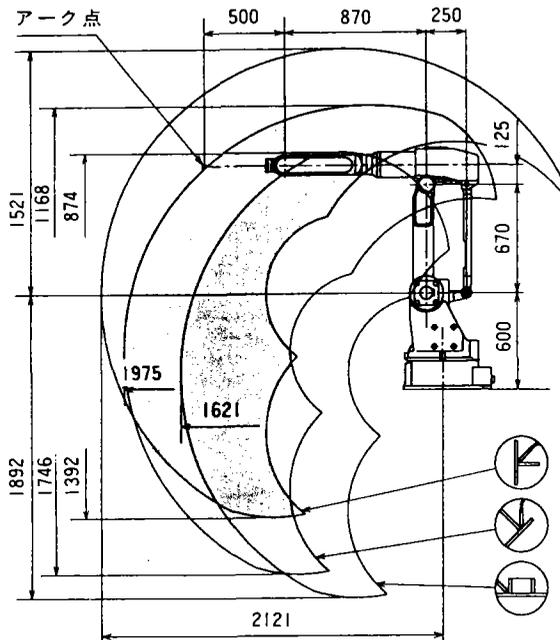
システム・装置名称	アーク溶接ロボット アーク・ジェイス	整理No. :	
適用・対象ワーク		製造会社： 川崎重工業(株)	
装置概要図			
特徴・特記事項			
ロボット本体仕様 最大可搬質量 重量 電動機総容量	6 k g f 1 4 0 k g (アーム部重量)		
コントローラー仕様 センシング機能 立向溶接機能 その他主要機能 多層盛溶接			
オプション・周辺機器	KASTL (カストル) システム		
概略価格(標準タイプ)			
問い合わせ先	03-3435-6869	抜粋資料No.	No.4L0921

溶接ロボットシステム概要

システム・装置名称	アーク溶接ロボット ARCMAN-RON	整理No. :
適用・対象ワーク		製造会社： 株神戸製鋼所

装置概要図

床置の場合(アーク点距離=500mm)



*アーク点距離とは
ロボットのサーボ5軸回転中
心からトーチから突き出した
ワイヤ先端までの距離のこと
です

1/20
(単位: mm)
(Unit: mm)

特徴・特記事項

ロボット本体仕様	ARCMAN-RON3 (他に -RON1, -RON2)		
最大可搬質量	10 kg		
重量	315 kg		
電動機総容量	2750W		
コントローラー仕様	() 内はオプション		
センシング機能	アークセンサ、開始点センシング、3方向センシング+溶接長センシング 円弧センシング、ギャップセンシング、ステッキセンシング、多点センシング センシングコピー		
立向溶接機能	立向き上進溶接<矢尻波形ウィービング>		
その他主要機能	オートトーチポジション、対話入力方式、溶接条件自動設定機能、 プログラムシフト機能、リトライ機能、一時停止点への自動復帰、エアカット最大 速度自動演算機能、スムージング機能、他		
多層盛溶接	パスアングル設定機能、カスケード機能		
オプション・周辺機器	オフライン教示システム、KOTS 他		
概略価格(標準タイプ)			
問い合わせ先	03-5634-5070	抜粋カタログ資料No.	No.003

溶接ロボットシステム概要

システム・装置名称	アーク溶接ロボット RAL06-Ⅱ/RAL10-Ⅱ	整理No. :																														
適用・対象ワーク		製造会社 : コマツ																														
装置概要図																																
特徴・特記事項	<p>■寸法表 単位：mm</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RAL06-Ⅱ (地上型)</td> <td>2077</td> <td>1325</td> <td>867</td> <td>1137</td> <td>1070</td> </tr> <tr> <td>RAL06-Ⅱ (天吊型)</td> <td>1855</td> <td>1325</td> <td>889</td> <td>1038</td> <td>1070</td> </tr> <tr> <td>RAL10-Ⅱ (地上型)</td> <td>2548</td> <td>1633</td> <td>1038</td> <td>1338</td> <td>1420</td> </tr> <tr> <td>RAL10-Ⅱ (天吊型)</td> <td>2271</td> <td>1633</td> <td>1090</td> <td>1296</td> <td>1420</td> </tr> </tbody> </table>			A	B	C	D	E	RAL06-Ⅱ (地上型)	2077	1325	867	1137	1070	RAL06-Ⅱ (天吊型)	1855	1325	889	1038	1070	RAL10-Ⅱ (地上型)	2548	1633	1038	1338	1420	RAL10-Ⅱ (天吊型)	2271	1633	1090	1296	1420
	A	B	C	D	E																											
RAL06-Ⅱ (地上型)	2077	1325	867	1137	1070																											
RAL06-Ⅱ (天吊型)	1855	1325	889	1038	1070																											
RAL10-Ⅱ (地上型)	2548	1633	1038	1338	1420																											
RAL10-Ⅱ (天吊型)	2271	1633	1090	1296	1420																											
ロボット本体仕様	RAL06-Ⅱ (RAL10-Ⅱ)																															
最大可搬質量	6kg (10kg)																															
重量	170kg (360kg)																															
電動機総容量																																
コントローラー仕様	() 内はオプション																															
センシング機能	(サーチセンサ/アークセンサ 溶接開始点の検出/溶接線の倣い)																															
立向溶接機能 その他主要機能	(溶接条件の一括管理)																															
多層盛溶接	(多層盛機能)																															
オプション・周辺機器	上位通信機能標準装備。 LAN/MAP対応可能。																															
概略価格(標準タイプ)																																
問い合わせ先	03-5561-2819	抜粋カタログ資料No.																														

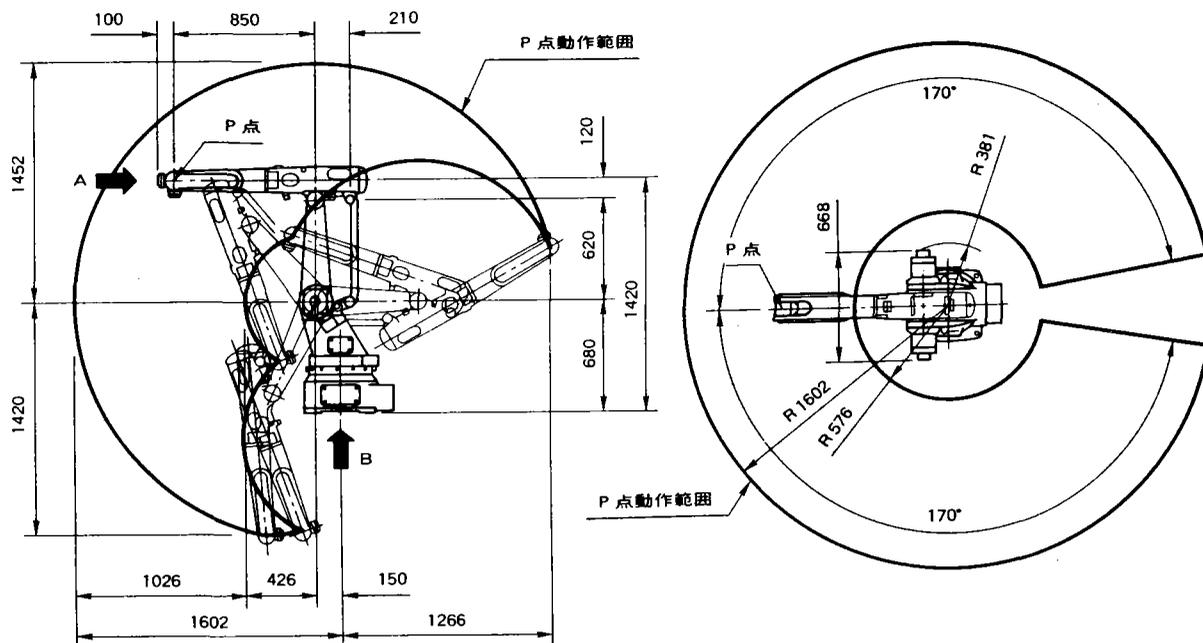
溶接ロボットシステム概要

システム・装置名称	アーク溶接ロボット ローベルRJ660		整理No. :
適用・対象ワーク			製造会社: 新明和工業(株)
装置概要図			
特徴・特記事項			
ロボット本体仕様	RJ660 (RJ670) [他にRJ620]		
最大可搬質量	6kg (10kg)		
重量	約180kg (約350kg)		
電動機総容量			
コントローラー仕様	() 内はオプション		
センシング機能	タッチセンサ、アークセンサ		
立向溶接機能			
その他主要機能			
多層盛溶接			
オプション・周辺機器			
概略価格(標準タイプ)			
問い合わせ先	045-575-6351	抜粋カタログ資料No.	K-1757

溶接ロボットシステム概要

システム・装置名称	アルメガV10S	整理No. :
適用・対象ワーク	10kg可搬多目的ハットリングロボット	製造会社: (株)ダイヘン

装置概要図



特徴・特記事項

ロボット本体仕様

最大可搬質量	10kg
重量	260kg
電動機総容量	3410W

コントローラー仕様

センシング機能
立向溶接機能
その他主要機能
多層盛溶接

オプション・周辺機器

概略価格(標準タイプ)

問い合わせ先

06-317-2521

抜粋カタログ資料No.

R19202

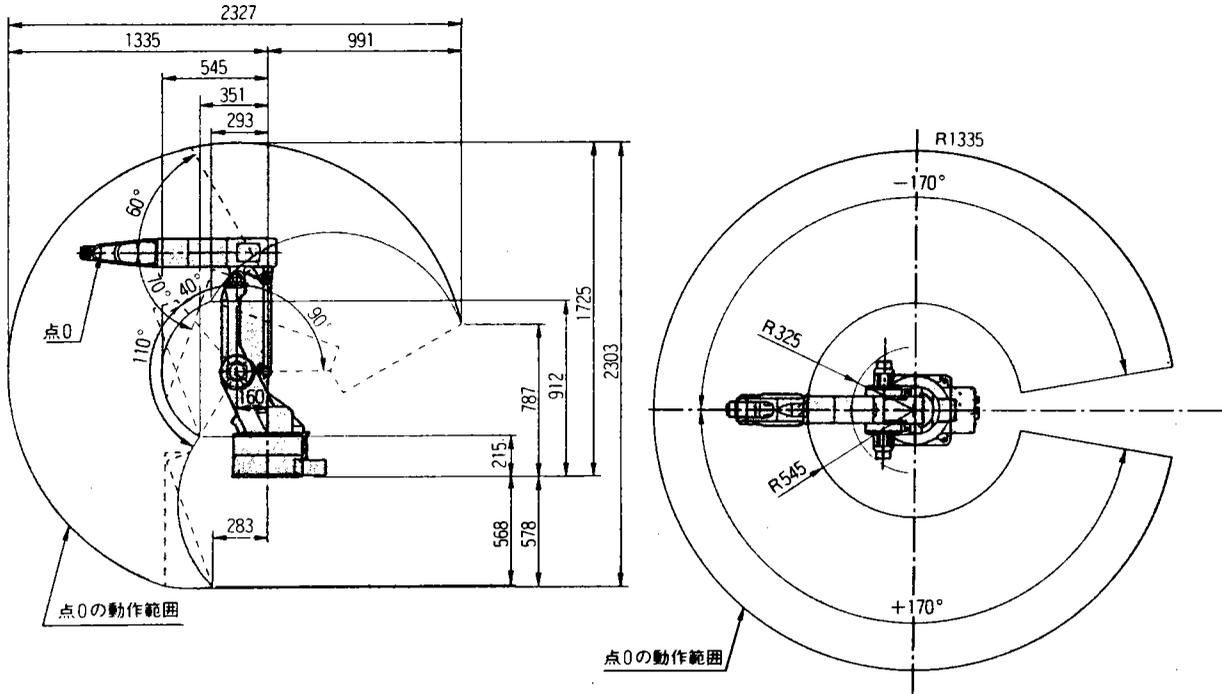
溶接ロボットシステム概要

システム・装置名称	アーク溶接ロボット ARC Mate 120		整理No. :
適用・対象ワーク			製造会社： ファナック(株)
装置概要図			
特徴・特記事項			
ロボット本体仕様 最大可搬質量 重量 電動機総容量	ARC Mate 120 (他にARC Mate S420i, S500, S700, S800W, LRなど) 12kg 230kg		
コントローラー仕様 センシング機能 立向溶接機能 その他主要機能 多層盛溶接	ウィーピング機能、アークセンサ機能 多層盛機能		
オプション・周辺機器	視覚センサ、オフラインプログラミングシステム		
概略価格(標準タイプ)			
問い合わせ先	0555-84-6151	抜粋カタログ資料No.	RS-MATE-120

溶接ロボットシステム概要

システム・装置名称	アーク溶接ロボット Pana Robo AW-005AL	整理No. :
適用・対象ワーク		製造会社: 松下電器産業(株)

装置概要図



特徴・特記事項

ロボット本体仕様	AW-005AL (他にAW-005A、005C、005CL)		
最大可搬質量	5kg		
重量	105kg (85kg)		
電動機総容量	1290W (990W)		
コントローラー仕様	()内はオプション		
センシング機能	(タッチセンサー、アークセンサー、スピンアークセンサー)		
立向溶接機能			
その他主要機能	アークスタートリトライ機能、ワイヤースティック自動解除機能 オーバーラップ機能、レジューム機能、トーチ補正機能、(パソコン編集)		
多層盛溶接			
オプション・周辺機器			
概略価格(標準タイプ)			
問い合わせ先	06-866-8556	抜粋カタログ資料No.	カ・248

溶接ロボットシステム概要

システム・装置名称	アーク溶接ロボット MOTOMAN-SK6		整理No. :
適用・対象ワーク			製造会社 : 安川商事(株)
装置概要図			
特徴・特記事項			
ロボット本体仕様	MOTOMAN-SK6 (MOTOMAN-SK16)		
最大可搬質量	6kg (16kg)		
重量	145kg (280kg)		
電動機総容量			
コントローラー仕様	()内はオプション		
センシング機能	(高速アークセンシング機能、高速始端検出機能)		
立向溶接機能			
その他主要機能	アークリトライ機能、アークリスタート機能、自動溶着解除機能		
多層盛溶接	(多層盛自動プログラミング機能)		
オプション・周辺機器	ROTSY、CIM-STATION、ROBCAD		
概略価格(標準タイプ)			
問い合わせ先	03-3256-7271	抜粋カタログ資料No.	RKA-020

ティーチングプレイバック方式

実際の作業現場でロボットを逐次動かしながら、姿勢、動き、それに何をそこですのか仕事を指示し、一連の作業を記憶させます。必要に応じて、この流れを再生し、同じことを正確に繰り返すことが可能です。従って、ティーチングプレイバック方式の教示は、現在のロボットの「教えられたことを忠実に繰り返す」という特徴を存分に発揮する方法とも言えます。（本当は、自分で判断して動きを作り出すほどの知恵が未だない、と言うのが正しいのですが・・・。）

従って、ワークの種類、加工ラインの特性によっては、このティーチングプレイバックの方が望ましい場合が依然として残ります。例えば、ワーク形状が単純だとか、形状の種類が少なくかつ生産個数が多い場合、教示のために生産ラインが停止していても、全体の稼働から見れば、その比率は無視できる程度です。一方、形状が幾つあるか判らないほど多いが1種類の生産量は少ない（＝多品種少量）とか、あるいは大きいとか複雑とかの理由で教示に1日費やすとしたら、結果的にラインの稼働率が大幅に低下することになります。

ダイレクト教示方式

サーボ制御によりロボットアームをフリー状態にして、ロボット手先を直接持って自由自在に動かし姿勢を作る教示。ティーチングプレイバック方式の欠点の1つである「熟練を要する」に対する対策となります。大きなワークに対しては適用困難と思われる。

セルフティーチ方式

ロボットの先端に特殊な検出センサーを取り付け、溶接すべき位置まで一旦ロボットを動かし、その後、センシングしながら自動的に位置、姿勢等の情報を処理し、自身で教じプログラムを生成する高度な技術。ティーチングプレイバックの欠点の大半は解消されます。実ワークを使うとか、センシング・トーチの持ち換えを必要とするので、ライン稼働率向上の面では問題が残ります。

オフライン教示方式

ロボットコントローラの上にコンピューターを置き、

- ①ワーク形状を予めコンピュータ内部に登録しておいて、その理想形状に対してロボットの姿勢を構造的に求める、
- ②予めコンピュータシミュレーション等により、ワークに対するロボット動作をパターン化して登録し、それらを自動的に組み合わせて必要なロボットの動作プログラムを作成する、
- ③一回だけ、典型的なワークをある規則に則ってティーチングプレイバックにて教示し、そのデータをマスターデータとして、類似形状ワークに対してコンピュータ内部にて自動加工し新たなプログラムを自動的に生成する、
- ④必要な動作データは全てティーチングプレイバックにて事前に作成し登録しておき、上からの情報に基づき、適宜自動的にロボットコントローラへ送りロボットを動かす、等々があります。