

ロボットによる ボックス柱厚板ダイヤフラムの溶接施工

The Welding of Thick Diaphragms in Box Columns by Using Robots

田 中 一 男* 千 葉 正 幸**
Kazuo TANAKA Masayuki CHIBA

Summary

In the steel frames of the building, thick diaphragms of box columns were welded in multiple layers by a robot.

In developing this method, various thicknesses of plates, combined with different gaps of welding routes, were tried experimentally, and from these experiments, the welding conditions were decided.

In designing the Systems, the efficiency and the problems of the welding work were also examined. As a result, the expected welding, both in quality and economy, was obtained.

1. はじめに

近年産業界では非常に多くの分野において多種類のロボットが使用されている。

最近のロボットは単にプログラムされた通りに動く自動機械にとどまらず、センサーにより外的条件(対象物の変化等)を検知し、ロボット自身が状況判断をしながら動作したり、インプットするプログラムの量を極力少なくして内部演算の機能を充実する傾向にある。

ロボットは制御技術の進歩と共に発達しており、複雑な動作をするにとどまらず、上述の様に判断能力を持った物へと進んでいる。

溶接の分野でも、自動車の生産ラインに組み込まれた大型スポット溶接から、数十ミクロンの電子部品の溶接まで、多種多様な溶接ロボットが使用されており、鉄骨橋梁業界に於いても徐々に使用実績が増加して来ている。

宮地技報 3号で、「ボックス柱自動生産ラインの実用化」として紹介したが、本報ではその中で使用されているダイヤフラムの溶接にロボットを使用し、厚板の多層盛り突合せ溶接を行なっているののでそれについて報告する。

2. システムの概要

本報で紹介するロボットは、下向姿勢で溶接する為に

ボックス柱を直立させる大型ポジショナーと、ロボットを所定の位置に上下する為の Gondola から構成する大型装置の一部となっている。

図-1 に示す様に上下移動装置の上に、ロボット本体(A R C M A N - G X 210 特 (株)神戸製鋼所製)と、左右移動装置(スライダ)を各々2基搭載し、4本のボックス柱のダイヤフラムを下側より順次溶接して製品を完成させる。¹⁾

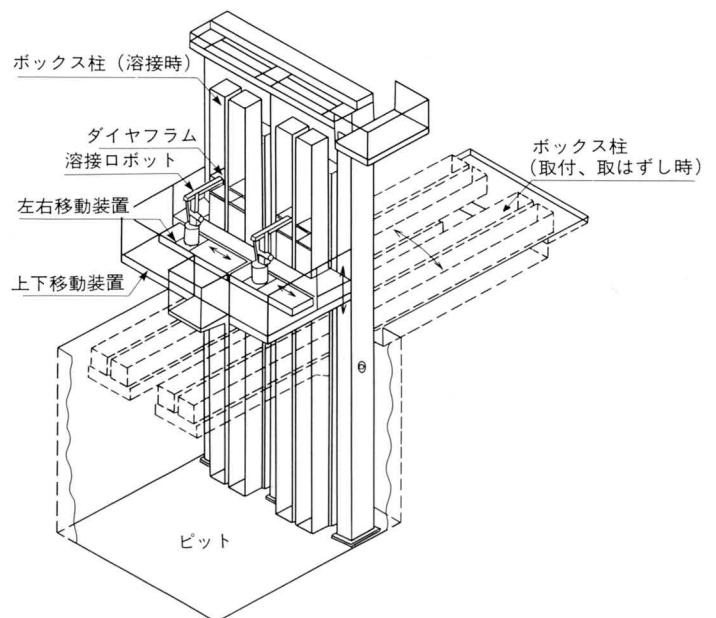


図-1 システム概要図

* 松本工場製造部副部長

** 松本工場製造部生産技術課

ロボットは、5軸多関節型のティーチングプレイバック方式であり、スライダはロボット側からの指令により同期移動が可能である。溶接電源は600A 100%デューティーの特注仕様の物を使用している。

ロボット制御盤及び溶接ワイヤー(300kgパック巻)は、床上に設置してあり、長尺ケーブル、コンジットで連結されている。

3. 溶接条件の設定

溶接方法は、炭酸ガス溶接でフラックスコアードワイヤー2.0φ、CO₂ガス100%を使用し図-2の開先を標準的に使用している。

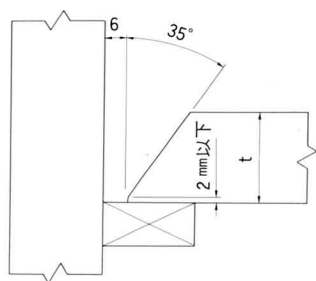


図-2 標準開先形状

(1) 多層盛り溶接

本システムの設計に当って多層盛り溶接の出来る事がロボット選定の必須条件であった。

多層盛り自動溶接は、図-3に示すごとくウィーピング振幅を除く4つの位置コントロールをし、なおかつ溶接中は

- ① 溶接電流
- ② 溶接電圧
- ③ 溶接速度
- ④ ウィーピング振幅
- ⑤ ウィーピング速度
- ⑥ ウィーピング両端停止時間

の6要素について制御しなくてはならず、合計12の要素について各層毎にロボットに指令する必要があるため、種々の板厚・ルート間隔毎に一定の組み合わせを実験により選定した。

この組み合わせは理論的には無数に存在する事になるが、電流、電圧、速度等はそれぞれあるレンジに於いて同一条件と見なす事が出来るから、実務的にはいくつかの組み合わせとして決める事が出来る。

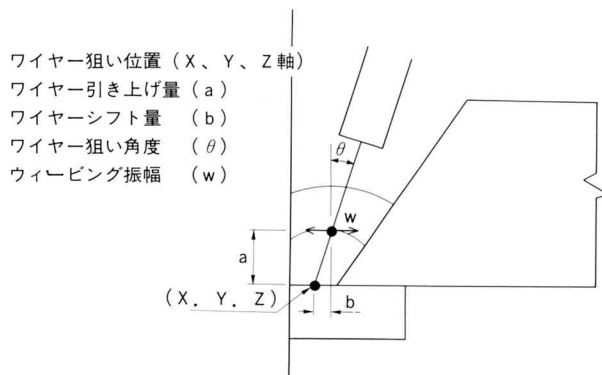


図-3 多層盛の基本形

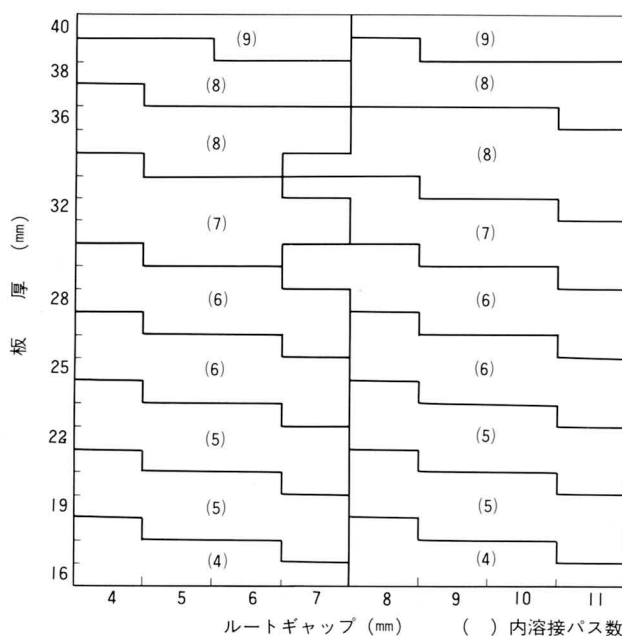


図-4 同一溶接条件適用区分

実験は、数種の板厚毎に(16mm~40mm)ルート間隔を変化させ(4~11mm)、合計48種について行なった。図-4にその結果を示す。図では板厚・ルート間隔毎に同一溶接条件で施工可能な条件を一つの枠で表わしている。

(2) ロボットの機能

実施工において、板厚・ルート間隔毎に前述の条件を教示していたのでは、ティーチング時間ばかり膨大なものになり作業効率が極端に悪くなってしまふ。

ここでロボットの保有する多層盛機能について述べる。一般に溶接ロボットは基本条件として下記の機能を具備している。

- ① XYZの座標認識と指令位置への移動
- ② 移動速度及び移動軌跡の制御
- ③ 手首軸の方向制御(トーチ角度制御)

- ④ 溶接電流・電圧制御
- ⑤ アークスタート・ストップ、クレーターフィルアー
- ⑥ ガス流制御（プリ・アフターフロー）
- ⑦ 位置検出あるいは微制御
- ⑧ 外部同期

この他に、最近は各種の機能が附加され、出来る限り作業性、経済性の向上を計り、適用範囲の拡大を意図して開発が進められている。

本システムでは、前述のARCMAN-GXを使用している。標準仕様の抜粋を表-1に示す。

このロボットの特徴は、厚板の多層盛り溶接が可能で、溶接条件をデータバンクと呼ぶ記憶領域に格納し随時呼び出して使用する事が出来る。

このデータバンクは、各層毎に表-2に示す内容を必要パス数だけ入力し、一つのDATA No.として登録

表-1 アークマンGXの標準仕様

形 式		GX210
ロ ボ ッ ト 本 体	構 造	5. 自由度、関節形
	駆 動 方 式	ACサーボモータ駆動
	位置再現精度	±0.2mm
	重 量	250kgf
制 御 装 置	教 示 方 式	P. T. P. 教示
	制 御 軸 数	同時5軸制御
	制 御 方 式	直線、内弧補間によるCP制御
	記 憶 容 量	標準：1500ステップ相当 最大：6400ステップ相当(オプション)
	プ ロ グ ラ ム 編 集	プログラム数 99 ブロック数 30 修正、追加、削除機能あり
	速 度 設 定	エアカット区間：3~100mm/min 溶 接 区 間：1~300cm/min
	補 間 機 能	直線および円弧
	ウィーピング機能	ソフトウェアコントロール
	溶 接 条 件	脚長もしくは板厚の指定により最適条件が自動的に設定される。
	自動設定機能	対象開先：水平すみ肉、下向すみ肉、重ねすみ肉
センシング機能	ワイヤアース法による溶接開始点位置検出および アークセンサーによる上下左右の溶接線微	
オ プ シ ョ ン 仕 様		
データバンク機能	条件数9 (25パス/1条件) 最大パス数 100	
外部記憶装置	カセットレコーダー	
周辺装置の制御	移動装置：2軸×1台 ポジショナ：2軸×2台 3台まで接続可	
周 辺 制 御	移動装置の第2軸との同期制御、ただし溶接区間のみ	
ポ ジ シ ョ ナ 連 動	ポジショナの第2軸との連動制御 ただし溶接区間内の指定部のみ	
3 点 シ フ ト 機 能	全体シフト：全プログラムのシフト プログラムシフト：指定プログラムのシフト	

表-2 データバンク入力パラメーター

DATA NO.	1	データバンクNo.	
GROOVE	J	開先種別	
TOTAL PASS	6		
PASS 01			
1450 WELD.I	450	A	溶接電流
2097 WELD.V	97	%	溶接電圧
3035 WELD.S	35	CM/M	溶接速度
4000 WEAVING			ウィーピング条件
WIDTH	0	MM	ウィーピング幅
NUMBER	0	M	ウィーピング速度
W.DWELL	0.0	SEC	ウィーピング停止時間
5 00 SHIFT1	0	MM	左右シフト量
6 00 SHIFT2	0	MM	上下シフト量
7 00 SHIFT3	0	MM	アークスタート時左右シフト量
8 00 SHIFT4	0	MM	アークスタート時上下シフト量
9070 CRAT.T.	7.0	SEC	クレーター処理時間
A350 CRAT.I	350	A	クレーター電流

出来る機能である。(25パス/1種、25種類)

もう一つの特徴は、直径2.0φのフラックスコアードワイヤーを使用し、大電流溶接を行なえる様に電源、トーチ、ケーブル類を大容量化している事が上げられる。

図-5にロボットの系統図を示す。

(3) 初層溶接の検討

欠陥の無い溶接を行う上で、初層溶接は特に重要であり、ルート間隔により溶接条件が左右され、結果にも大きく影響する。そこでルート間隔と溶接条件の関係について検討した。

ルート間隔が4mm未満の場合には、ガスノズルと開先面が接触し溶接不可能となるので修正が必要である。

ルート間隔が広い場合は、初層からウィーピングが必要である事は容易に想像出来る。

図-6に初層ウィーピング無しで溶接した場合の実験結果を示す。

ルート間隔4~11mmまではウィーピング無しでも良好な溶接の出来る事が確認された。

電流・電圧については後述する様に溶材固有な条件として決定できる。

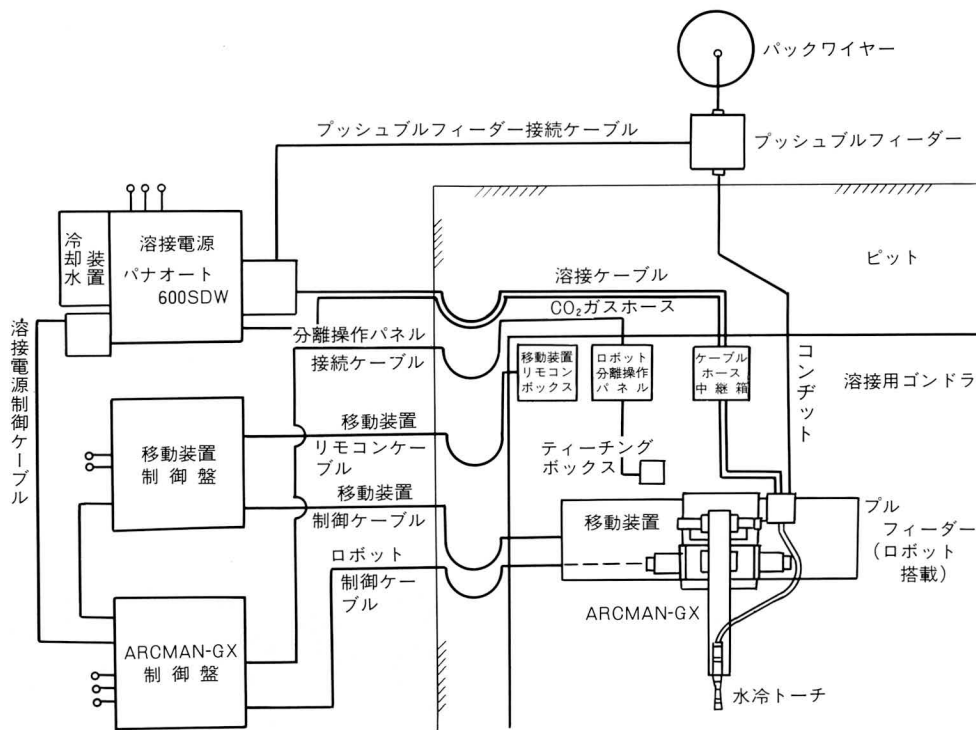


図-5 ロボット系統図

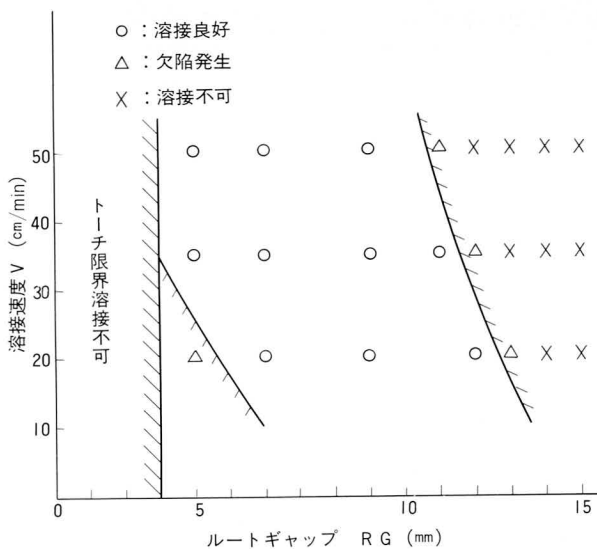


図-6 初層の溶接欠陥発生限界 (ウィービング無しの場合)

(4) 各層の溶接

各層毎の溶接条件は溶接材料の種類・直径及び溶接姿勢によりおのずからある範囲に限定される。

MX-100 2.0φ下向姿勢の適性溶接条件範囲を図-7に示す。²⁾

ウィービング振幅、ウィービング回数及び両端停止時

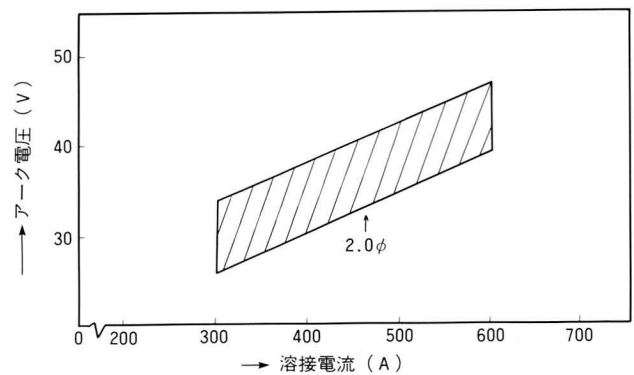


図-7 MX-100の適正溶接条件範囲

間は、開先両側の母材を充分溶融しながらアンダーカットを残さない様に一層当りののど厚を5~7mm程度になる様に決定した。

図-8に板厚25mmと40mmの場合の各層毎ののど厚の例を示す。又、図-9に板厚40mm、ルート間隔6mmの場合の各層毎のワイヤーねらい位置及びウィービング幅の例を、写真-1にマクロ断面を示す。

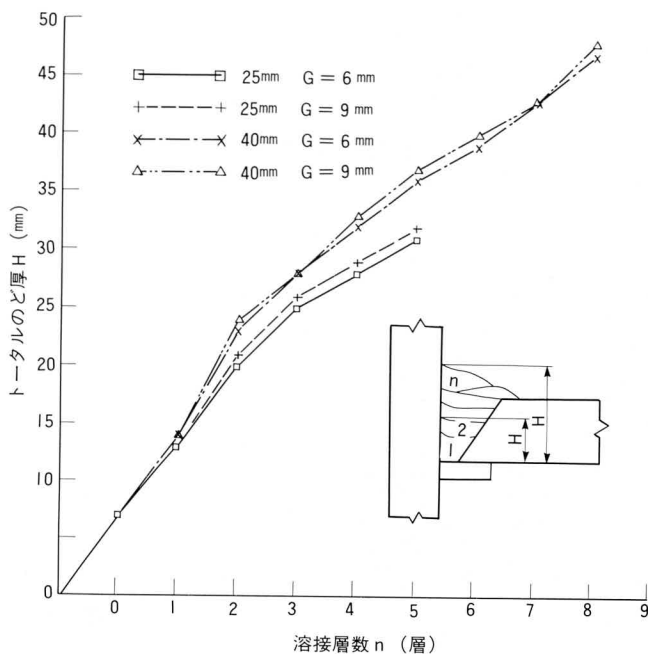


図-8 溶接層数とのど厚

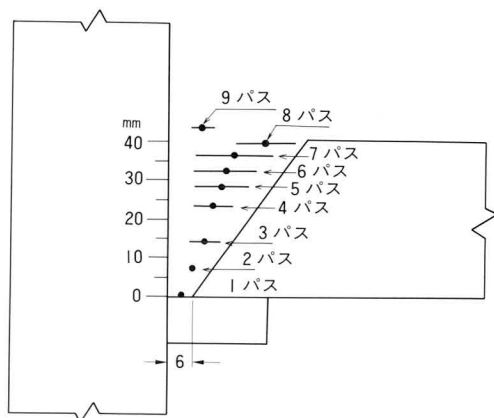


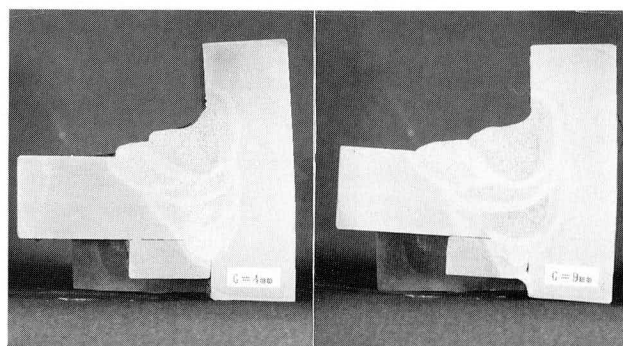
図-9 40mmワイヤー狙い位置・ウィービング幅図

(5) テーパーギャップ

実際の施工では、切断誤差あるいは組立誤差によって溶接開始側と終了側のルート間隔が異なるテーパーギャップがしばしば発生する。

ルート間隔が、4～6mm、6～9mm及び4～9mmの3種類の組合せについて実験を行なった結果、始末端でルート間隔が異なってもギャップ7mmを境にして条件を変える事によって対応出来る事が確認出来た。

写真-2にギャップ4mm～9mmに変化した場合の断面マクロを示す。



溶接条件 電 流 520 A～560 A
電 圧 40 V～43 V
溶接速度 35cm/min～20cm/min
パ ス 数 6パス

写真-2 テーパーギャップ

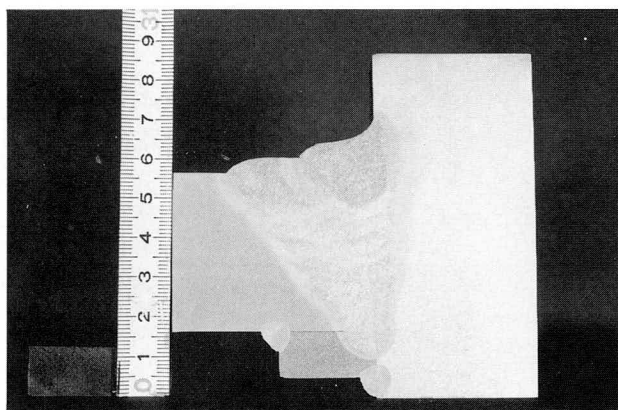


写真-1 40mmマクロ断面

4. 溶接部の機械的性能

溶接部の機械的性能は、基本的には溶接の種類が同じなら同じ性能を有するはずである。

図-10の試験体で、ロボット溶接及びCO₂ソリッドワイヤの半自動溶接で試験を行ない、その結果を表-3及び写真-3に示す。

いずれの値も規格値を満足しているが、全般にロボット溶接の場合が低い値を示している。これは半自動溶接に比べ電流が高い為、入熱量が多く一パス当りの盛り厚が多い事に原因していると考えられる。

表-3 機械試験結果

	板厚 ルートギャップ	溶接条件	継手引張り試験			溶着金属引張り試験			曲げ試験		シャルピー衝撃試験 Kgf-m					
			降伏点 kg/mm ²	引張強度 kg/mm ²	破断位置	降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	裏曲げ	側曲げ	Depo		Bond		Haz	
											個々	平均	個々	平均	個々	平均
CO ₂ 半自動溶接	t=25mm RG=6mm	280A 34V	40.2	58.4	母材	43.6	57.2	30.8	良	良	8.6	10.1	20.0	17.4	17.4	18.4
											12.6		17.8		20.2	
											9.2					
ロボット溶接	t=25mm RG=6mm	520~580A 42~45V	36.9	54.1	Depo	36.1	54.3	37.6	良	良	2.9	3.0	3.1	3.2	8.2	8.1
											2.9		3.6		9.5	
											3.1		2.9		6.6	
	t=40mm RG=6mm	520~580A 42~45V	36.7	52.5	Depo	34.1	56.1	35.0	良	良	3.8	3.6	4.8	4.7	15.8	15.5
											4.0		4.6		15.8	
											3.1		4.6		14.9	

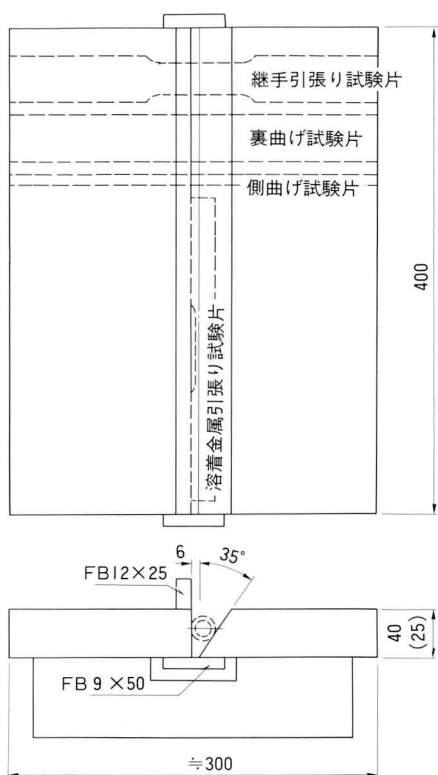
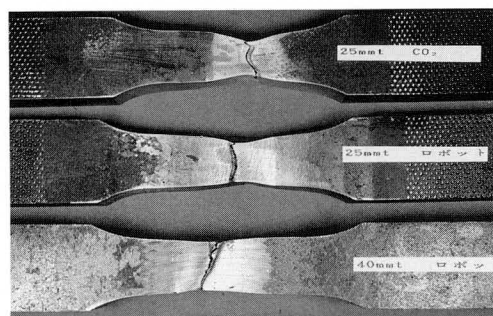
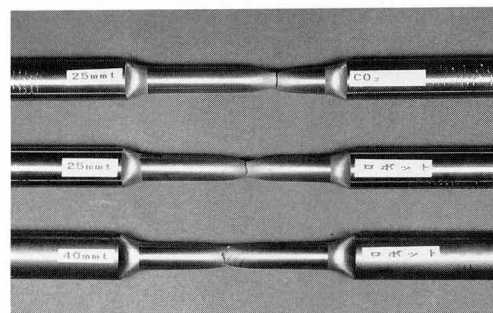


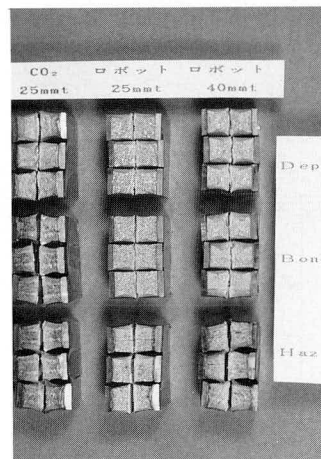
図-10 試験体形状



継手引張り試験



溶着金属引張り試験



シャルピー衝撃試験

写真-3 機械試験結果

5. 実工事への適用

(1) ティーチング

ティーチングは、初層の溶接を行なう為の位置と板厚、ルート間隔に適合した溶接条件を格納したデータバンクNo.を教示するのみで全層の溶接を行なえる。図-11に1台のロボットで2本の柱を溶接する時のティーチング例を示す。

柱サイズ、ダイヤフラム板厚に関係なく30ポイント、62ステップのプログラムを入力すれば溶接可能であり、

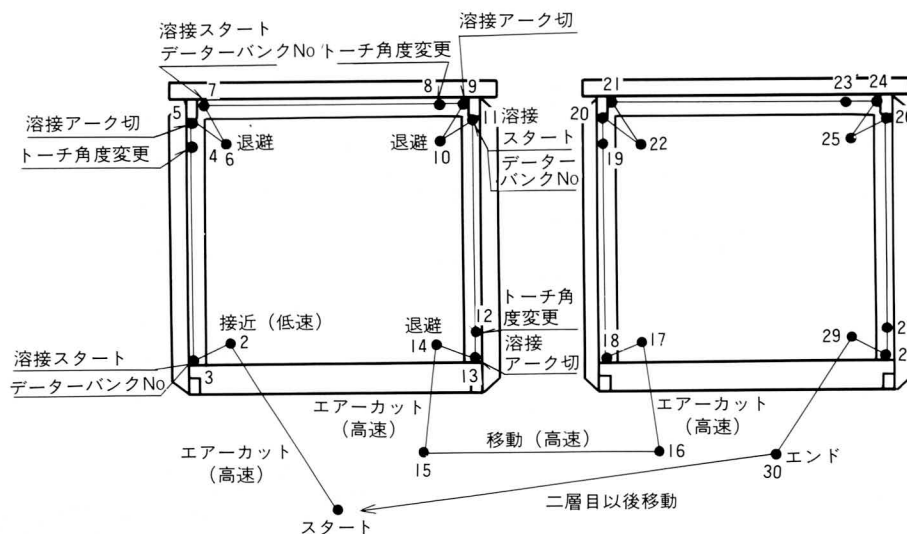


図-11 ティーチング

時間にして15~20分を要しており作業時間全体の約14% (柱4本ダイヤフラム枚数計24枚の場合) となっている。(作業能率については後述する)

(2) 溶接欠陥

現在まで8工事、約3200tもの施工をし約7000個所の超音波探傷検査³⁾を実施した。

その結果図-12に示す様に、導入当初は作業者の熟練度不足及び後述する問題等の為合格率70数%の低い状態であったが、現状では98%程度の合格率を維持している。

これは、一般の建築工事で品質基準の目安としている合否判定合格率の95%位を充分クリアーする内容である。残り2%程の欠陥についても改善の努力をしているが、主としてルート間隔の狭ま過ぎあるいは、裏板取り付け不良などの組立精度不良に起因する物が多い。

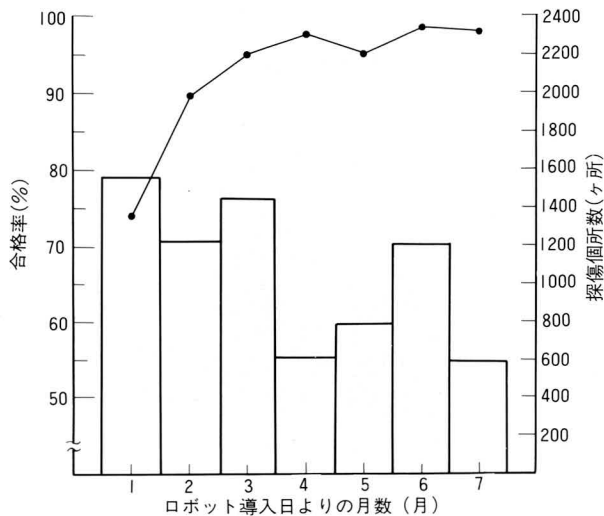


図-12 UT 合格率の推移

(3) 作業能率

表-4に本システムで溶接した場合と、CO₂半自動溶接で施工した場合の作業能率の比較を示す。

ロボット溶接の場合、1人1時間当り59m/Hと半自動溶接の約2.1倍の能率となり初期の目的を達している。

又一回の作業シーケンスに於ける各要素作業の所要時間の実測例を表-5に示す。

これで分かる様に、アーク発生率76%と非常に高い値を示し有効に稼働している事がうかがえる。

表-4 作業能率の比較

溶接方法	CO ₂ 半自動溶接	ロボット溶接
柱本数	157	137
ダイヤフラム厚さ	19mm~40mm	
溶接個所数	3036	2736
溶接量	37617m	33392m
溶接時間	1348.4H (延人工)	566H (2台作業)
溶接能率	27.9m/H	59m/H

表-5 ダイヤフラム溶接に対するロボット溶接所要時間

対象物	柱セット数4本 ダイヤフラム6ヶ所 板厚25mm ルートギャップ6mm	
	所要時間	割合
柱取付時間	9分40秒	1.3%
ゴンドラ移動時間	3分20秒	0.2%
ティーチング時間	17分×6ヶ所×2台=204分	13.7%
溶接時間	94分×6ヶ所×2台=1128分	75.5%
タイムラグ	20分×6ヶ所=120分	8.0%
柱取はずし時間	18分20秒	1.3%
合計	1493分20秒	100%

6. 装置設計上の問題点

(1) トーチ角度

ボックス主材で前方・左右を、ダイヤフラムで上下を囲まれた狭隘空間で、開先内部が十分見通せない個所をロボットで溶接する場合は、いかに適正なトーチ角度を保持するかがきわめて重要な問題となる。

トーチの取付け角度は設置当初60°で設定した。しかし、ダイヤフラムの上下間隔が狭い場合ロボット第4軸と下側ダイヤフラムの一部とが当たってしまい、適正なトーチ角度を保持出来ず溶接欠陥が発生した。

そこでトーチ取付け角を変更し欠陥を防止する事が出来た。(図-13)

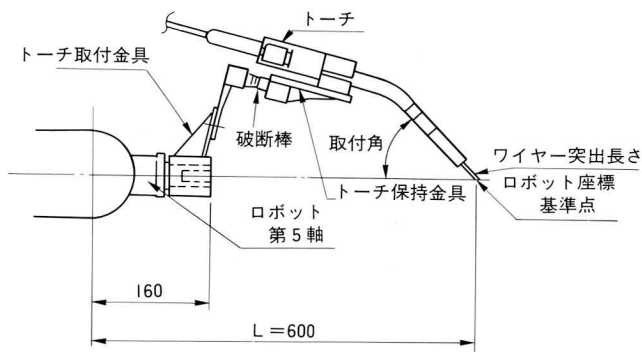


図-13 トーチ取付部

(2) 溶接放射熱の影響

トーチの衝突などによりロボットのアームに衝撃が加わらない様にする為に、トーチ取付金具と保持金具の間をベークライト製の破断棒で連結している。

ところが、径2.0φの溶接ワイヤーを使用し、450A～550A位の高電流で溶接する為、強烈なアークの放射熱が発生し、その熱の為に破断棒が収縮変形を起こし取付けが緩んでしまう事故が発生した。

ティーチング時に正しい狙い位置を設定しても、中間層でワイヤ狙い位置不良が原因と思われる欠陥が発生し、ひどい時はアークがずれた位置に発生する事もあった。

この対策として、放射熱防護カバーを取り付ける事により、破断棒の温度上昇が180℃～250℃あったのが、60℃～100℃程度にまで下降し耐久性も一段と向上し、品質も安定する様になった。

(3) 再アークの発生

ロボットに限らず自動溶接の場合、アーク中断後再びアークが発生する場合、直前に溶接したビード表面のスラグあるいはワイヤー先端の酸化被膜の為にアークが発生し難いのが普通である。特に本システムでは、フラックスコアードワイヤーを使用している為、ソリッドワイヤーに比べややスラグ量が多く再アークの発生が悪い。

この対応策として、一定回数アークスタートを試みるリトライ機能を有しているロボットもあるが、今回使用したロボットにはこの機能が備わっていない。この為4～5層溶接毎にスタート部のスラグを除去せねばならず作業中断を余儀なくされている。

7. 結び

以上、溶接ロボットの一使用法について述べた。ロボットの機能面でも、装置としても今後まだ改善しなくてはならない点も有るが、溶接品質・経済性・作業性の点では当初の目的を達していると考えている。

鉄骨橋梁の生産でも、将来組立ロボット(NC組立装置)その他の物も開発され使用される様になるであろう。

はじめに述べた様に、ロボットは急速な進歩をしており、センシング技術の進歩と相まってより使い易い物が続々市販されると思われる。

今後、生産の合理化を進める中で今回の経験を生かし、自動化、ロボット化に取り組むつもりである。

最後に、本システムを製作するに際し多大な協力をいただいた(株)神戸製鋼所 溶接棒事業部の関係者の方々に對し、この紙上を借りて感謝申し上げる。

<参考文献>

- 1) 田中; ボックス柱自動生産ラインの実用化、宮地技報No.3、1987年3月
- 2) (株)神戸製鋼所; 炭酸ガスアーク溶接用フラックスワイヤM X100について、溶接資料第884号、1985年11月
- 3) 日本建築学会; 鋼構造建築溶接部の超音波探傷検査規準・同解説、1979