

# 鉄骨柱の現場横向き溶接ロボットの開発

## Development of a Robot for Horizontal Welding of Steel Columns in the Field

大月 真一\*<sup>1</sup> 鳴沢 明雄\*<sup>2</sup>  
Shinichi OTUKI Akio NARUSAWA

### Summary

The automation of field welding lags behind the automation of shop welding because of the difficulty of automating horizontal welding in the field.

The recent shortage of welders and the aging of these workers are providing incentive to accelerate the development of automated field welding systems. Through joint research, Miyaji Iron Works has developed a horizontal welding robot for deployment in the field.

Since the end of last year, when the mechanical performance of the robot was confirmed by a working test, the robot has been put to practical use and has brought about good welding quality in two construction projects in which it has so far been used.

### 1. まえがき

鉄骨製作および建築業界は「3K」と呼ばれ、技能工不足が慢性化している。現場溶接技能者についても高齢化、新規採用者の減少等、人材不足の感は否めない。脱技能、人材不足解消の手段として現場作業の自動化は避けられない問題であり、溶接についても溶接ロボットの開発が必要に迫られている。

溶接において横向き溶接を自動化する事は困難とされており、このことが工場溶接に比べて現場溶接の遅れた要因となっている。人材不足も今後解消されるとは考えにくく、ここ数年間で横向き溶接の自動化が急速に進んでいる。

当社としても、人材不足に対応し脱技能を目指す観点からも横向き溶接の自動化に取り組むこととした。しかし、ファブリケーター1社の力では、開発から導入をこなしていくことは非常に困難であり、ゼネコン・ロボットメーカーとの共同開発が必要であった。

そこで、(株)フジタ、(株)神戸製鋼所と共同開発を進め、実工事への導入を実施したので、これについて報告する。

### 2. BOX 柱用「POCO (ポコ)」の概要

ロボットは大別して直交型と多関節型がある。現場導入を考えた場合、軽量コンパクトが第一条件でありこの

観点からいくと直交型が有利であるが、BOX 柱専用機ではなく、ある程度の汎用性を持たせようとした場合、多関節型の方が応用範囲が広いと考えられるため、多関節型を採用することとした。軽量化については、現状のロボットの中で最小の機種を選定し、なおかつ分割型とすることで、直交型ロボットと重量的には遜色ないものとする事ができた。

今回採用した(株)神戸製鋼所の「POCO」は、6自由度・多関節型+1自由度(走行台車)の同時6軸および7軸制御のティーチングプレイバック方式となっている。表-1にロボット本体の仕様を示す。

本体の構成軸は、S1(旋回)、S2(下腕ふ仰)、S3(上腕ふ仰)、S4(手首回転)、S5(手首曲げ)S6(手首ひねり)、S7(専用台車)からなっている。ロボットの総重量は33kgで、その内訳はロボットアーム部15kg、ロボット旋回部・台車が18kgとなっている。レーンルは、3サイズを用いてBOXサイズ400×400~1000×1000まで施工可能としている。

本システムは、「KOTS(コウベ・オフライン・ティーチング・システム)」を採用し、溶接条件はパソコンに開先条件を入力することにより標準条件が自動生成される。溶接条件については、溶接電流・電圧・速度を変更することが可能である。表-2に入力項目を示す。

\*1松本工場 製造部生産技術課  
\*2松本工場 製造部次長

ティーチングポイントは8点（直線部の両端×4面）で、溶接方法は、1.2φソリッドワイヤを使用した炭酸ガス（100%）シールド溶接を採用している。

表-1 ロボットシステム仕様

アークマン Poco (柱-柱継手仕様)			
動作範囲	S 1	±35°	33° /sec
	S 2	+170° ~-10	56° /sec
	S 3	+1° ~-150°	56° /sec
	S 4	±140°	180° /sec
動作角度	S 5	±150°	150° /sec
	S 6	±200°	180° /sec
	S 7	10m	5 m/min
手首可搬重量	3 kg		
位置繰り返し精度	ロボット本体：±0.2mm ロボット本体+台車：±0.5mm		
重量	ロボットアーム部：15kg ロボット旋回部+台車：18kg		
モーター総容量	340W (最大80W)		
溶接電源	センサーク SP500		

表-2 入力項目

	<p>① ② ③ ④</p> <p>W D L</p> <p>開先角度</p> <p>ルート間隔</p> <p>板厚</p>																																	
	<p>&lt;溶接箇所情報&gt;</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>設定項目</th> <th>①</th> <th>②</th> <th>③</th> <th>④</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>開先角度</td> <td>35.0</td> <td>35.0</td> <td>35.0</td> <td>35.0</td> </tr> <tr> <td>ルート間隔</td> <td>12.0</td> <td>12.0</td> <td>12.0</td> <td>12.0</td> </tr> <tr> <td>肌すき</td> <td>2.0</td> <td>2.0</td> <td>2.0</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>各コーナからの距離</td> <td>150</td> <td>150</td> <td>150</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>エレクションピースの長さ</td> <td>190</td> <td>190</td> <td>190</td> <td>190</td> </tr> </tbody> </table>					設定項目	①	②	③	④	開先角度	35.0	35.0	35.0	35.0	ルート間隔	12.0	12.0	12.0	12.0	肌すき	2.0	2.0	2.0	2.0	各コーナからの距離	150	150	150	150	エレクションピースの長さ	190	190	190
設定項目	①	②	③	④																														
開先角度	35.0	35.0	35.0	35.0																														
ルート間隔	12.0	12.0	12.0	12.0																														
肌すき	2.0	2.0	2.0	2.0																														
各コーナからの距離	150	150	150	150																														
エレクションピースの長さ	190	190	190	190																														

### 3. 横向き溶接ソフトと機器の改良

#### (1) ソフトの改良

横向き溶接は、溶接作業者の技量に負うところが多く、溶接電流・電圧・速度を適正条件に保てばよい結果が得られるとは限らず、各パスにおけるトーチ角度、運棒方法、前パスを加味した狙い位置等、その時々状況判断と技量が求められる。自動化する上では、溶け落ち、オーバーハング、スラグ巻き込み等の欠陥を防止し、製作および建方精度から発生する開先形状の変化を吸収できることを基本方針として開発を行った。

積層は、ストリングビードとウィピングビードの組み合わせで行っている。図-1に積層パターンを示す。

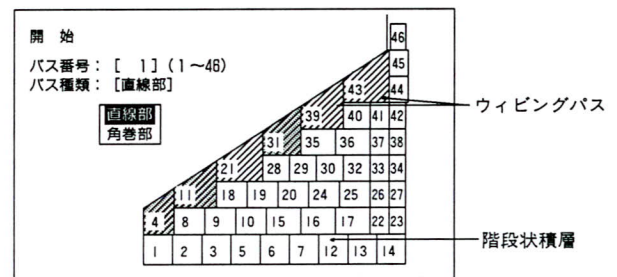


図-1 積層パターン

この積層方法では、オーバーラップ、溶け落ちを防止するため溶接しようとする箇所の下に十分な棚を形成するようにになっている。また、テーパギャップはウィピングビードで補正する。ストリングビードは、ルートギャップ調整のための下盛り層（最下段）、その上段のストレート層、表面の仕上げ層とに区分され、個々に溶接条件を持っている。この溶接条件は、スタート部・中間部・クレーター部に細分化され、各々の溶接条件が修正可能となっている。

図-2に溶接作業の工程を示すが、エレクションピースを切断した後は、4面往復溶接を行うことにより、今までのロボットにあった起点復帰にかかる移動時間を短縮している。また、BOX 柱角部まで溶接を行うため、補修溶接を必要としない。施工適用範囲を表-3に示す。

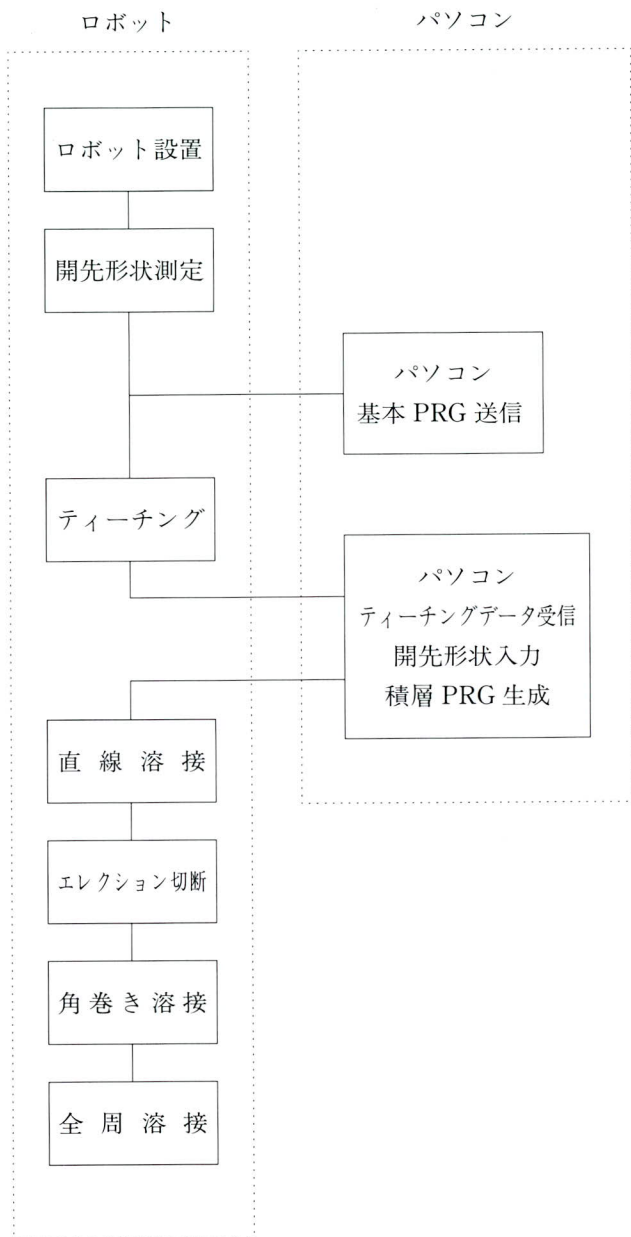


図-2 溶接作業工程

表-3 施工適応範囲

項目	適応範囲
柱形状	□400×400～1000×1000
板厚	19～100mm
ルートギャップ	7.5～17.0mm ※1
肌すき	0～3.0mm

※1：ルートギャップは、ボックス柱の角部4ヶ所の値を入力するが、そのとき最小値が7.5～12.5mmの範囲で、尚かつ最大値が最小値+5.0mm以内でなければ、施工範囲外になる。

## (2) 機器の改良

通常のPOCOは、溶接トーチがアーム部の中心線からオフセットされているが、ソフト開発の段階でオフセットされていることにより位置制御が困難な事が判明したため、アーム部を改良しトーチをアーム中心線上に置くようにしている。

ロボット、レールは共に2分割方式でありロボットが15kg+18kg、レールが30kg/個となっている。1人作業を目指していたが、レールセットは重量的に困難なため2人作業となる。

全周往復溶接を実現するため、本来ならば直線レール仕様であるところを円形レールを用いている。これに伴い、台車も曲面走行するための改良を施している。

## (3) その他

横向き溶接のビード外観の良否は、仕上げ層の第1パスの溶け落ち等の欠陥の有無にかかっている。この問題をクリアするため、溶け落ち防止のためのセラミック表当て材を使用した。

現場使用では防風対策が重要である。二重シールドも候補に上がったが可搬重量が3kgと少なくトーチ重量を考えるとこれ以上重くできないこと、二重シールドだけでは防ぐことができない等の理由から、施工場所をシートで覆うこととした。

データ入力、積層パターン生成およびデータ送受信にパソコンを使用するため、ロボット制御盤が施工場所から離れる場合はパソコンはロボットの近くに設置し作業時間の短縮、施工の確実性をアップしている。

## 4. 柱コーナー部の溶接と溶接順序

### (1) 柱コーナー部の溶接

柱コーナー部の溶接は、

- イ) コーナーにおいてアークを切らずに方向転換を行う方法
- ロ) コーナー部で一旦アークをきり、ロボット方向転換後、再アークスタートする方法

以上が考えられる。

イ)の方法ではコーナー部に不溶接部分が発生するため補修溶接にかなりの時間がかかる。

一方、ロ)の方法では柱端部まで溶接可能であるため、

補修溶接は最小限度で納めることができる。しかし、一旦アークを切るため、溶接条件が適正でない欠陥の発生する確率はイ)に比較して高くなると考えられる。

本システムでは、ロ)の方法を採用したが前述の問題点への対応策として、アークの切れている時間を極力短くし、クレータ部分が完全に冷え切ってしまううちにアークを発生させる事により、欠陥防止を行っている。柱コーナー部分の溶接状況を写真-1、2に示す。

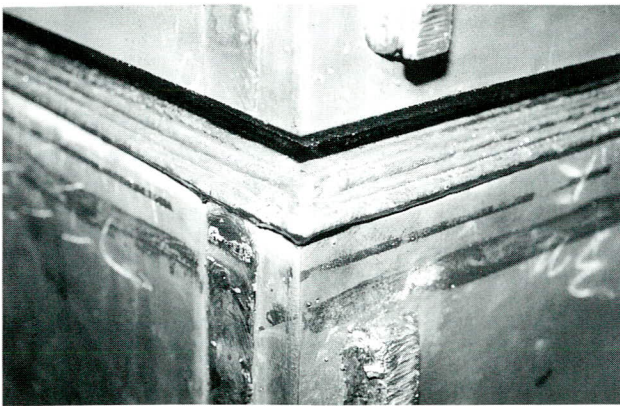


写真-1 柱コーナー（溶接途中）

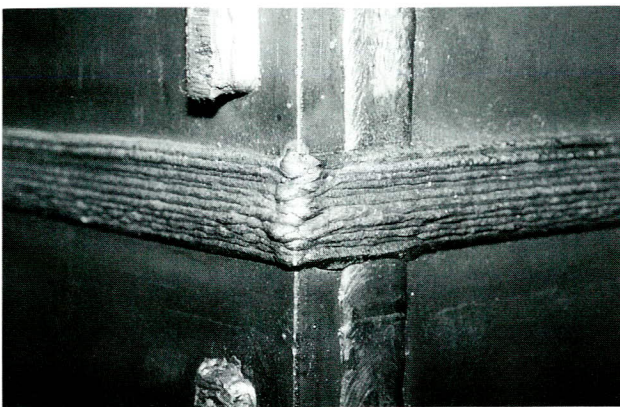


写真-2 柱コーナー（溶接終了）

## (2) 溶接順序

現状の柱ジョイント部は、下柱トッププレート上に上柱がのり、エレクトロシムピースによって固定されている。

このジョイント方法での問題点は、製品精度、建て方精度の誤差が裏板とトッププレートとの隙間あるいは目違いとなって現れる。また、エレクトロシムピースが存在するため初層からの全周溶接が不可能であり、溶接ジョイント部が増加すること等が挙げられる。

エレクトロシムピースを用いない施工方法もあるが、現状は圧倒的にエレクトロシムピース方式であり、これに対応できなければ現場へのロボット導入は困難である。

今回は、図-3に示す溶接順序を採用する事とした。図中のカスケード溶接とは、欠陥の発生しやすいビード継ぎ部の集中を避けるため、継ぎ位置を各パス毎に移動させる溶接方法である。写真-3にそのビード外観を示す。

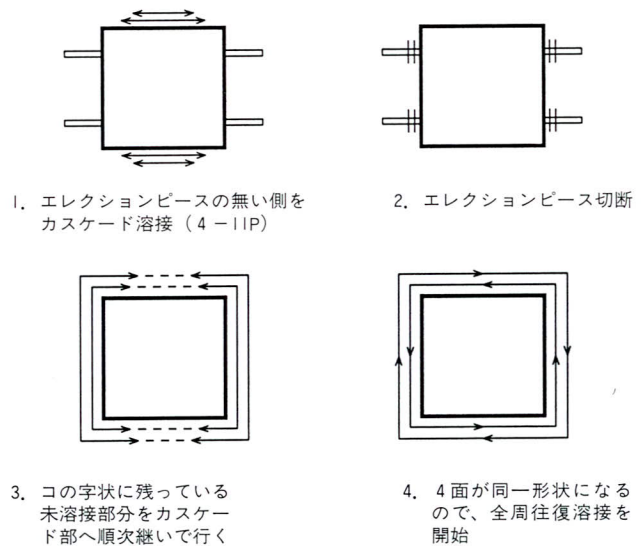


図-3 溶接順序

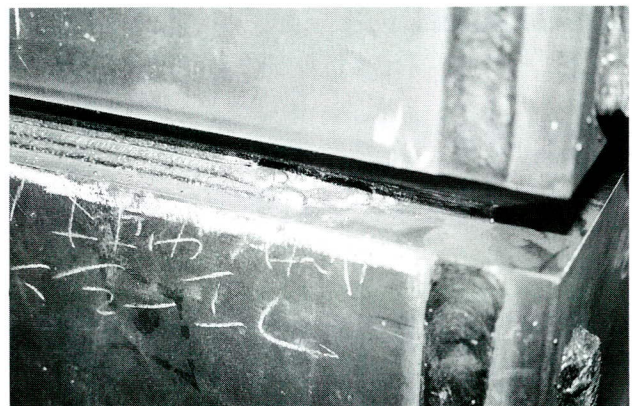


写真-3 カスケード溶接

## 5. 溶接施工試験

現場導入に先立ち、施工試験を実施した。その結果について以下に示す。

### (1) 試験内容

試験は、板厚40mm・600×600の実大 BOX 柱を用いて、現場と同様の環境となるように屋外で行った。このときの溶接条件を表-4、試験一覧を表-5に、試験状況を写真-4に示す。

表-4 溶接条件

種 別	電流 (A)	電圧 (%)	速度 (cm/min)
下盛り層	308	96	50
ストレート層	308	96	64
ウィピング層	260	100	27
仕上げ層	230	96	64~85

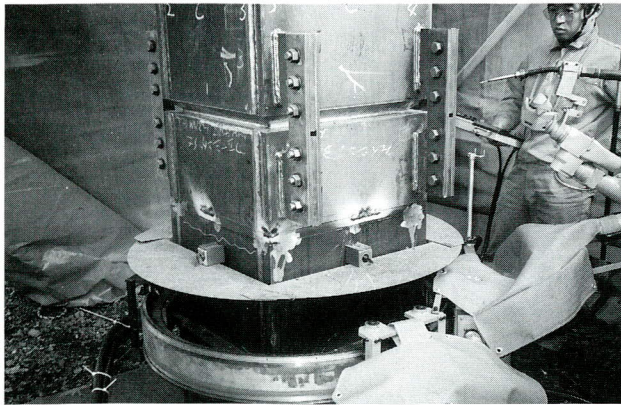


写真-4 試験状況

表-5 溶接試験一覧表

試験項目	数量	基準	
超音波探傷試験	全線	建築学会基準	
マクロ試験	6	JIS G0553準拠	
硬さ試験	4	JIS Z3101準拠	
引張試験	2	JIS Z 3121 1号	
	3	JIS Z 2201 10号	
	4	JIS Z 3111 1A号	
曲げ試験	表曲げ試験	2	JIS Z 3122
	裏曲げ試験	2	JIS Z 3122
	側曲げ試験	2	JIS Z 3122
	コーナー曲げ試験	1	JIS Z 3122
衝撃試験	DEPO	1	JIS Z 3128
	BAND	1	JIS Z 3128
	HAZ	1	JIS Z 3128

### (2) 機械的性能

硬さ分布図を図-4に示す。また、機械試験結果を表-7に示す。マクロ試験片を写真-5、曲げ試験片を写真-6、引っ張り試験片を写真-7に示す。いずれも良好な結果であり、CO<sub>2</sub>半自動溶接と同等の継手性能を有するものであることが確認できた。

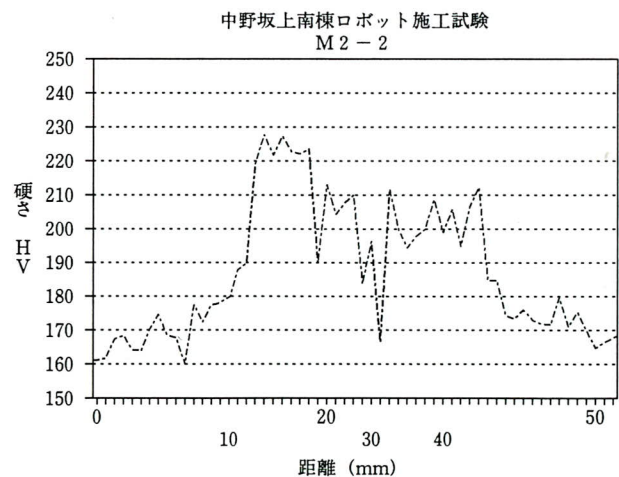


図-4 硬さ分布例

表-7 機械試験結果

試験項目	試験結果			
マクロ試験	欠陥なし			
引張試験 (全断面) (丸棒)	降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	破断位置
	527	574	—	母材
	354	524	15.2	母材
曲げ試験	表曲げ試験	欠陥なし		
	裏曲げ試験	欠陥なし		
	側曲げ試験	欠陥なし		
	コーナー側曲げ	欠陥なし		
衝撃試験 (J)	部 位	表面	l / 2t	裏面
	Depo	106	150	235
	Bond	163	226	159
	HAZ	250	190	250

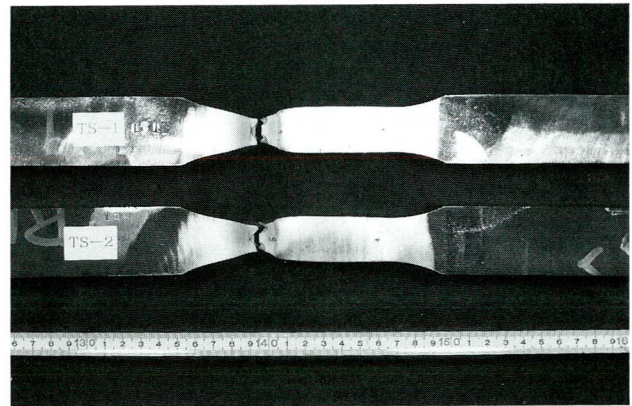


写真-7 引張試験片

## 5. 現場施工

平成6年12月に「中野坂上本町二丁目地区第一種市街地再開発事業施設建築物南棟建築工事」の現場において、現場施工を行った。以下に報告を行う。

### (1) 施工内容

施工箇所は、5-6節(板厚40mm) 4本と6-7節(板厚36mm) 2本の施工を行った。いずれの柱も、サイズは600×600である。写真-8に施工状況、写真-9に溶接ビード外観を示す。

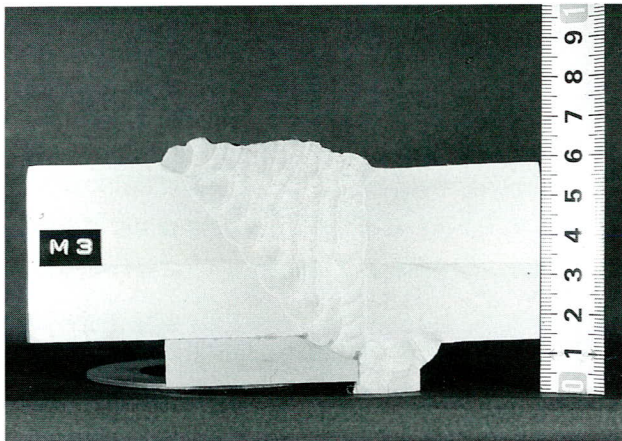


写真-5 マクロ試験片



写真-6 曲げ試験片

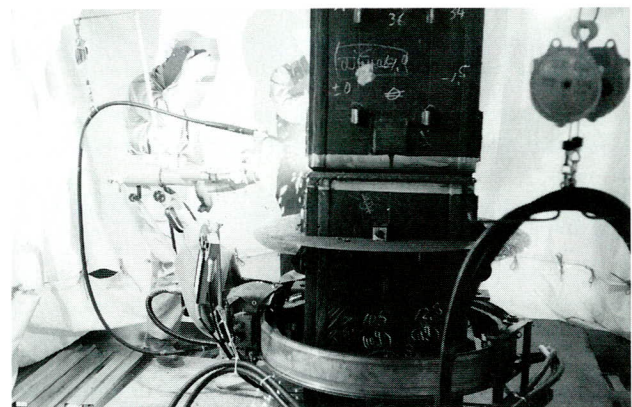


写真-8 溶接状況

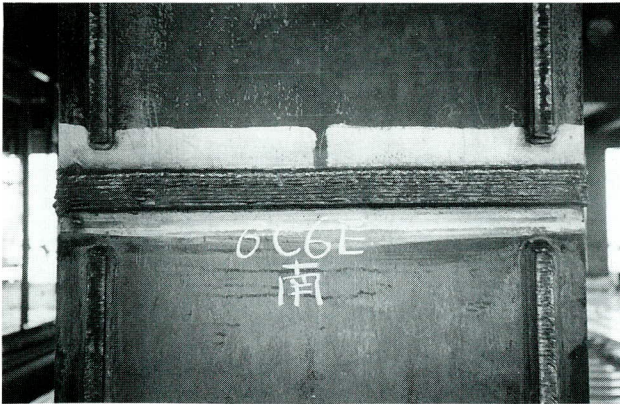


写真-9 溶接外観

## (2) 施工結果

超音波探傷結果は、合格欠陥が2ヶ所発生したが6本全数合格であった。合格欠陥は、発生位置から考えると、ウィビングパスでのスラグ巻き込みと思われる。

ロボット溶接を開始してから終了するまでの溶接時間は40mmで6時間から6時間30分であり、その他セット時間・ティーチング時間・前処理時間を含めると、1日半で1本であった。

半自動溶接の場合、2人一組で1日2本のペースだったことを考えると溶接時間的には同等である。しかし、ロボット設置・ティーチング等、半自動溶接にはない作業時間が増えるため効率向上のためには1人で2台および複数台の管理が必要である。

## (3) 問題点および改善点

現場施工を行ったことで開発中に分からなかった問題点が幾つか発見された。以下に主だった問題点および対応策を挙げる。

### ①ワイヤ送給装置

半自動溶接機の送給装置を牽引台車に載せて使用していたが、送給装置を牽引台車から降ろさなければワイヤ交換ができない。

対策：送給装置と台車を一体化して小型軽量化を図

り、ワイヤ装着方向を外側にする。

### ②ロボット取付位置

柱ジョイント位置が今回1170mmだったが、通常1000mmが一般的である。現在のロボット取付位置だと施工不能となる。

対策：ソフト修正を行い動作範囲を広げ、取り付け位置をジョイント位置に近づける。

### ③仕上げ層

仕上げは2層仕上げであったが、実際には外観上の問題から1層仕上げで施工した。

対策：1層仕上げへソフト修正

### ④ウィビングパススタート位置

スタート位置が全パス同一位置なのでデポ形状が不均一になる。

対策：ストレートパスと同様にスタート位置を一定距離ずらす。

## 5. おわりに

以上、現場横向き溶接ロボットを共同研究・開発し現場への導入、適用を行ったが、現在もこの実施工から得られたデータを基に改良、改善および適用範囲の拡大を行っており、今後も溶接ロボットの現場適用による作業環境の改善、溶接品質および能率の向上にむけて努力していきたいと考えている。

共同開発にあたっては、当社と㈱神戸製鋼所でロボットの基本仕様の作成、溶接条件把握、溶接に係わる諸問題の確認と解決を行った。また、ロボット、周辺機器およびソフト作成を㈱神戸製鋼所、システムを用いた確認試験とソフト修正項目抽出、施工試験を当社で行った。また、現場施工での問題点解決を3社、溶接施工を当社と㈱神戸製鋼所で行った。

御協力頂いた㈱フジタ、㈱神戸製鋼所の関係各位に深く感謝の意を表する。

1995.9.5受付