

鋼管の現場全周片面溶接（大宮市連絡通路橋）

All-Around, One-Side Welding of Steel Pipes on a Bridge (The Connecting Bridge in the city of Omiya)

村上 貴紀*¹ 瀬木 純一*² 鶴岡 毅*³
Takanori MURAKAMI Jun-ichi SEGI Tsuyoshi TSURUOKA

Summary

The Connecting Bridge in the City of Omiya has a steel-pipe arch Lohse girder of a basket-handle type of which the joints in the steel-pipe arch ribs were done by all-around welding in the field. This paper presents the result of an experimental study on the all-around welding of the steel pipes. As a result of the study, automated one-side welding with reverse side welding electrodes, using an SY-ROBO W3800 welding robot, was adopted. The result of the experiment was that the welding method was successful.

キーワード：鋼管アーチローゼ桁，現場溶接，鋼管全周溶接

1. はじめに

大宮市連絡通路橋は、東日本旅客鉄道株式会社東北線浦和・大宮間29k050m付近14線を跨ぎ、中山道よりさいたまスーパーアリーナを結ぶ跨線橋（人道橋）である。本橋は、下部構造を含めて「さいたま新都心中枢・中核施設建設調整委員会」より「ボリューム感を抑え視覚的にシャープな景観を創り出すアーチライズとし、また橋裏とのコントラストを明確にし、歩行者への威圧感を和らげる効果を出すため、アーチリブの形状を鋼管とする」というデザインモチーフが示され、構造形式は景観デザインを考慮したバスケットハンドル型鋼管アーチローゼ桁に決定された。図-1に一般図を示す。

アーチリブは、材質SM520C 板厚30mm直径1mの鋼管を使用しており、現場継手部は現場全周溶接を採用している。当社において水平継手以外の鋼管現場全周溶接の経験は少なく、溶接装置を含めて溶接施工方法を十分に検討する必要があった。そこで、実橋と同じ径の鋼管を用い、溶接方法及び溶接装置の選定、溶接条件の確立、

溶接施工手順等の検討を行った。これらの実験から得られた結果を実橋の現場溶接に反映し、平成12年5月に現場溶接を完了した。

本文では、実験結果から得た鋼管全周溶接の施工方法について、および上記工事の現場溶接施工の概要について報告する。

2. 溶接方法の選定

鋼管全周溶接の溶接方法としては、①両面溶接または片面溶接 ②片面溶接とした場合、裏当金方式または裏波溶接 ③被覆アーク溶接または半自動溶接または自動溶接が考えられる。これらの溶接方法から下記の事項を考慮し、溶接方法を選定した。

- 1) 鋼管の直径が1mであり、鋼管内面から全周溶接は困難である。ただし、鋼管内面での裏当材（セラミックバックング）の取付けや、部分的な補修溶接は可能。
- 2) 裏当金方式とした場合、現場接手部は差し込みとなり、裏当金の密着度の確保が難しい。

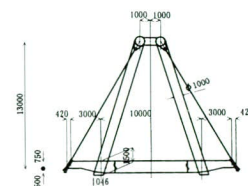
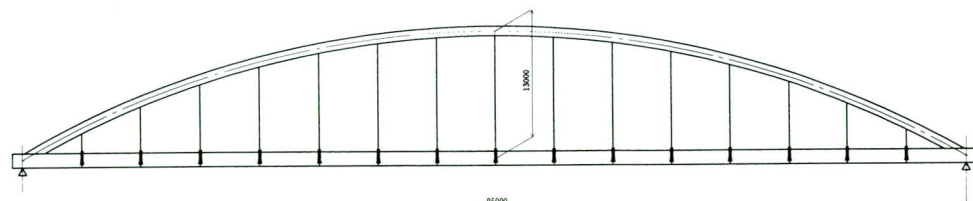


図-1 一般図

*¹技術本部生産技術研究所

*³小野組鐵工（株）工事部

*²技術本部生産技術研究所

3) 被覆アーク溶接または半自動溶接では溶接継ぎが多くなり、溶接品質が不安定となる。

上記事項、および、今後鋼管を用いた構造の道路橋や鉄道橋が多くなると思われ、鋼管全周溶接の施工方法を確立する必要があることから、本工事では鋼管外面からの片面裏波自動溶接を採用するものとし、溶接装置および溶接施工方法の検討を行った。なお、鋼管の溶接では全方向の溶接姿勢が生じるが、中でも難度の高い上向き姿勢でのアークの安定、およびスパッタの減少を図り、溶接ワイヤはフラックス入りワイヤ、シールドガスは混合ガス (Ar80%+CO₂20%) を選定した。

3. 溶接装置の選定

(1) ウィビング機構付簡易溶接台 (PICOMAX) の適用性検討

板桁や箱桁等の全断面溶接は、通常、ウィビング機構を有する簡易溶接台車PICOMAX (神戸製鋼所) を使用して片面裏波溶接を行っている。今回の鋼管全周溶接においても、このPICOMAXが適用できるかどうかを確認し、下記に得られた結果を示す。

- 1) レールのセッティング誤差、およびワイパー、溶接トーチ取付け部の剛度不足のため、円周を走行すると母材トーチ間隔が一定しない。
- 2) 鋼管全周溶接では溶接姿勢が漸次的に変化していき、その姿勢に応じた電流・電圧・速度を調整する必要があり、また溶接中は突出し長さ、狙い位置も監視する必要がある。

以上のように、鋼管全周溶接では溶接中にオペレーターが監視および調整する項目が多く、PICOMAXを用いてこれらの調整をオペレーター1人で対応することは難しい。よって、鋼管全周溶接におけるPICOMAXの適用は難しいと判断し、他の溶接装置の検討を行った。

(2) 溶接ロボットSY-ROBO W3800の適用

鋼管片面裏波全周溶接の自動溶接装置を検討するにあたり、漸次的に変化する溶接姿勢に応じ溶接条件も調整することから、溶接中に任意の位置で自動で溶接条件が切り替わる機能を有することを前提とした。検討の結果、可搬走行型全姿勢溶接ロボットSY-ROBO W3800 (住金溶接工業) を採用するものとした。SY-ROBO W3800の特徴を下記に示し、SY-ROBO W3800の標準仕様を表-1、

鋼管全周溶接の状況を写真-1に示す。

- 1) 1パス内で溶接条件、狙い位置、オシレート条件等を細分できる
- 2) 細分化した適正溶接諸条件を ICカードに内蔵させることにより全周溶接が可能
- 3) 溶接諸条件はパソコンによるオフラインプログラム編集が可能
- 4) 溶接諸条件は溶接中リアルタイムで変更できる
- 5) 溶接線教示機能搭載

表-1 SY-ROBO W3800の標準仕様

ロボット本体			
軸名称	X軸	Z軸	T軸
目的	左右、ウィング	上下、ウィング	走行
ストローク	150mm	100mm (別に手動90mm)	MAX. ±50,000mm
駆動モータ	ステップモータ	ステップモータ	ステップモータ
軸最大速度	40mm/sec	40mm/sec	70mm/sec
ソフト分解能	0.1mm	0.1mm	1mm
他の半固定軸	R軸：トーチ前後角 ±20° S軸：トーチ左右角 ±50°		

制御盤・教示ボックス

経路制御方式	PTP現物教示によるCP再生(直線補間)
制御軸数	同時3軸
溶接条件設定方式	液晶20桁×4桁にMDI方式、オフライン編集可
溶接条件記憶方式	ICカード方式(64KB 1枚、128KB 1枚使用可)
溶接条件設定数量	MAX.240ステップ/継手×8.16継手
溶接線教示点数	MAX.99点/継手
位置制御方式	ソフトウェア方式
ウィング制御方式	X軸単振動およびX-Z合成斜め単振動
リアルタイム条件変更	溶接電流、溶接電圧、溶接速度 ウィング条件(幅、速度、両端停止時間) X、Y軸位置シフト(角バースhift、全層一括シフト)
異常検出機能	ガス圧不足、ワイヤ溶着、アーク切れ 動作領域エラー



写真-1 SY-ROBO W3800による鋼管全周溶接

立を試みた。初層については裏波ビードの形状を重視し溶着量は特に拘らなかったが、中間層については、溶着量がほぼ同じとなりビード形状も良好となる溶接条件を求めた。ルートギャップ7mmでの初層溶接条件のオフラインプログラムの例を図-2に示す。なお、ルートギャップは現場架設時の誤差を考慮して、表-2に示す5～10mmの範囲について溶接条件を求めた。

(4) 施工方法

鋼管の溶接では、鋼管一周を連続的に溶接するには半周は下進溶接となるが、下進溶接での突合せ溶接、特に裏波溶接は困難であると思われた。よって、鋼管の上下を始終端部とし鋼管を半周ずつ上進溶接することにした。また、先行側の半周を仕上層までの全ての溶接を行うと、溶収縮および変形により反対側のルートギャップの変動が大きくなるため、図-3に示す順序にて行うものとした。なお始終端部についてはカスケード法にて処置するものとした。

トーチ角度についても溶接姿勢により漸次的に変化させることが望ましいが、適用した溶接ロボットにはそこまでの機能は設けていない。よって、トーチ角度は各姿勢において溶接可能な角度とし、初層30°、中間層15°とした。また、シールド方法は耐ブローホールを検討した結果、二重シールド方式とした。さらに、上向き姿勢での初層時のシールド性を考え、OH-AUTO（神戸製鋼所）による上向き溶接で用いている分離ノズルシールド方式を採用した。図-4にトーチ角度およびシールド方法を示す。

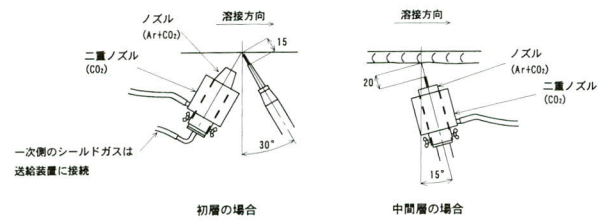


図-4 トーチ角度およびシールド方法

5. 現場溶接施工試験

現場溶接に先立ち、実橋と同じ鋼管を用いた実物大試験体にて、鋼管アーチの最も傾斜があるAJ2（AJ17）を想定した現場溶接施工試験を行った。試験体形状を図-5に示す。（材質SM520C 板厚30mm）

試験の結果、溶接施工性および溶接部の機械的性質とも良好であることが確認できた。機械的性質の試験結果を表-4、マクロ写真を写真-2に示す。

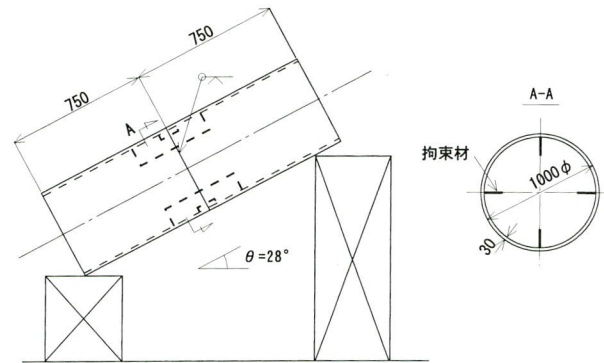


図-5 試験体形状

①A側を2層溶接する。



②B側を全て溶接する。



③A側を溶接する。

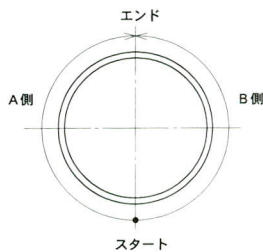


図-3 鋼管の溶接順序

6. 現場溶接の概要

前述した実験結果および施工試験結果を反映して、大宮市連絡通路橋の鋼管アーチリブ現場溶接を行った。溶接接手部の風防装置を写真-3、鋼管アーチの溶接状況を写真-4、溶接完了後の写真を写真-5に示す。

アーチリブの溶接順序は図-6に示すように、隅角部の矩形断面AJ1（AJ2）を先行し、上方に向かって鋼管アーチリブを溶接した。

表-4 機械試験結果

試験種別	採取位置	試験片 No.	引張強さ (N/mm ²)	破断位置	判定基準	合否					
						合否					
引張試験	F	FT-1	580	DEPO	520 ~ 640	合格					
		FT-2	588	DEPO		合格					
	O	OT-1	587	DEPO		合格					
		OT-2	587	DEPO		合格					
試験種別	採取位置	試験片 No.	試験結果	判定基準	合否	合否					
						合否					
型曲げ試験 (裏曲げ)	F	FBB-1	きれつなし	原則として きれつが生 じてはなら ない	合格						
		FBB-2	きれつなし		合格						
	O	OBB-1	きれつなし		合格						
		OBB-2	きれつなし		合格						
型曲げ試験 (側曲げ)	F	FBS-1	きれつなし	原則として きれつが生 じてはなら ない	合格						
		FBS-2	きれつなし		合格						
	O	OBS-1	きれつなし		合格						
		OBS-2	きれつなし		合格						
試験種別	採取位置	ノッチ位置	吸収I値 (J)	破断位置	判定基準	合否					
						合否					
						F	DEPO	205	DEPO	520 ~ 640	合格
							HAZ	298	DEPO		合格
O	DEPO	163	DEPO	合格							
	HAZ	298	DEPO	合格							
試験種別	採取位置	試験片 No.	試験結果	判定基準	合否	合否					
						合否					
						F	FM	欠陥なし	欠陥があっ てはならな い	合格	
						O	OM	欠陥なし		合格	
V	VM	欠陥なし	合格								

採取位置 F: 下向き溶接箇所
O: 上向き溶接箇所
V: 立向き溶接箇所

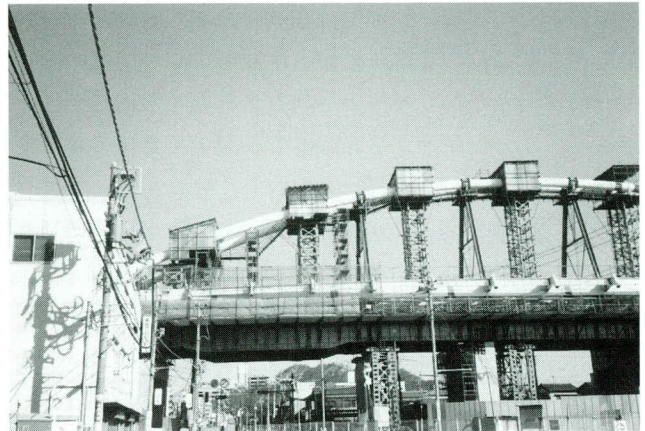


写真-3 鋼管アーチリブ現場溶接継手部の風防装置



写真-4 鋼管アーチリブの現場溶接状況

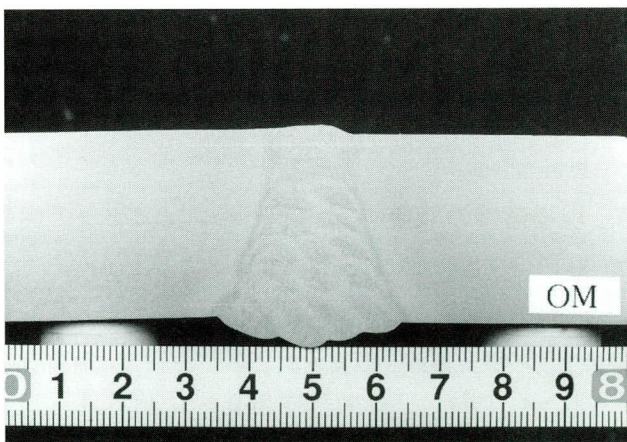


写真-2 マクロ写真

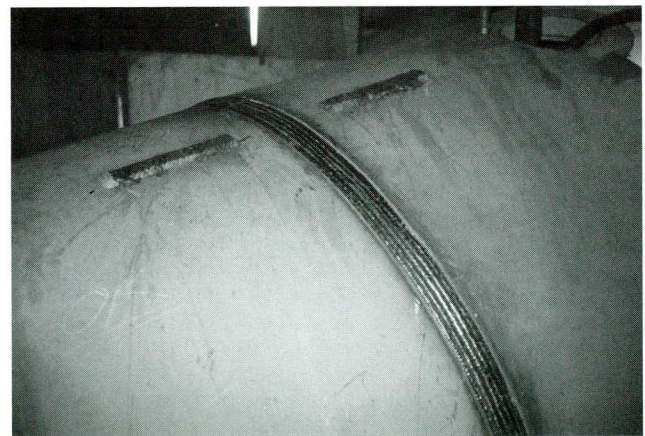


写真-5 鋼管アーチリブの現場溶接後

アーチリブ現場継手部の形状保持として鋼管外面にエレクトロシールド溶接が必要となるが、自動溶接の場合、溶接ロボットおよび走行レールがエレクトロシールド溶接に干渉し連続溶接ができなくなる。本橋の鋼管アーチリブの径は1mであり、内面での作業が可能であることから鋼

管内面にもエレクトロシールド溶接を設け、外面のエレクトロシールド溶接にて形状保持した後、内面のエレクトロシールド溶接を固定し、溶接前に外面のエレクトロシールド溶接を切断する手順とした。鋼管アーチリブの現場溶接施工の手順を図-7に示す。

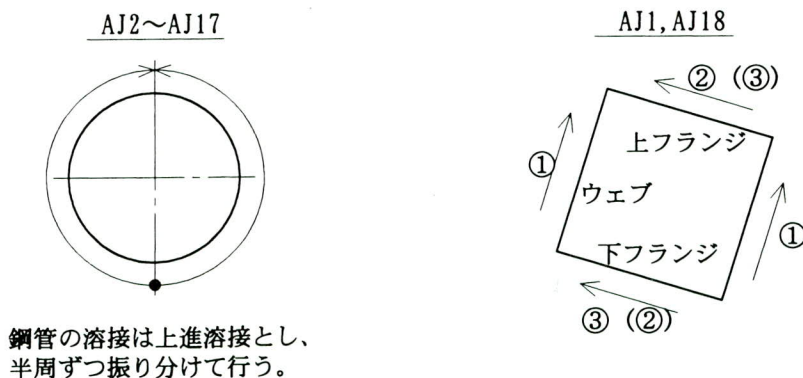
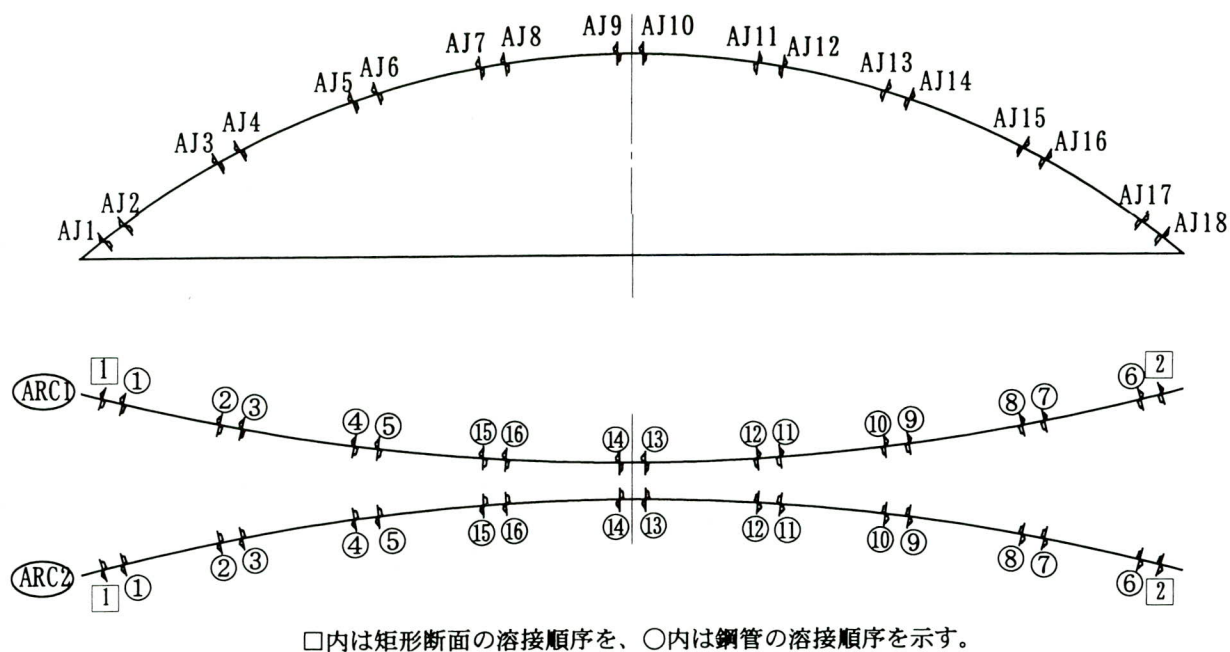


図-6 アーチリブの溶接順序

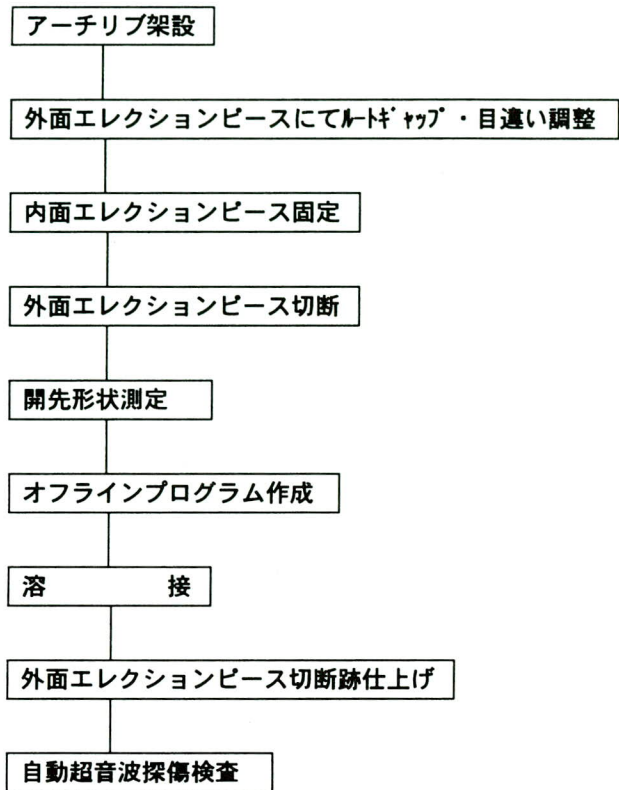


図-7 鋼管アーチリブの現場溶接施工の手順

現場溶接部の非破壊検査は自動超音波探傷検査にて行った。自動超音波探傷検査の状況を写真-6に示す。また、検査結果を表-5に示すが、J2~J17の鋼管全周溶接継手の合格率は90%以上であり、十分満足できる溶接品質を得られた。ただし継手別で見ると、勾配がきつい継手の合格率が若干低下する傾向にあり、今後さらに原因の分析とその改善に取り組みたい。

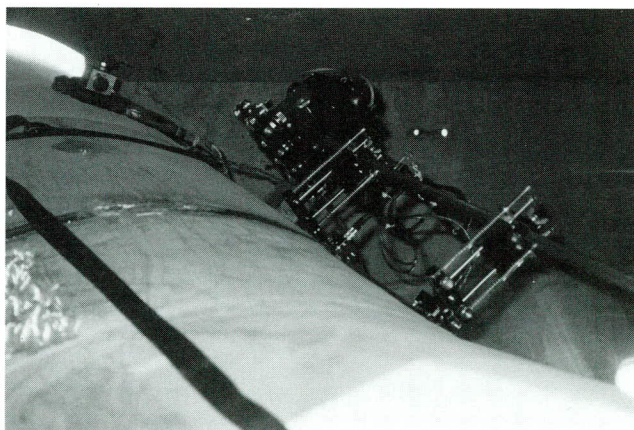


写真-6 鋼管アーチリブの自動超音波探傷検査状況

表-5 鋼管アーチリブの自動超音波探傷検査結果

		ARC 1		ARC 2			
継手 No.	区間数	不合格区画数	合格率 (%)	継手 No.	区間数	不合格区画数	合格率 (%)
J 1	16	1	93.8	J 1	16	0	100.0
J 2	13	1	92.3	J 2	13	1	92.3
J 3	13	0	100.0	J 3	13	5	61.5
J 4	13	0	100.0	J 4	13	2	84.6
J 5	13	3	76.9	J 5	13	1	92.3
J 6	13	1	92.3	J 6	13	2	84.6
J 7	13	1	92.3	J 7	13	0	100.0
J 8	13	0	100.0	J 8	13	0	100.0
J 9	13	0	100.0	J 9	13	2	84.6
J 10	13	2	84.6	J 10	13	0	100.0
J 11	13	0	100.0	J 11	13	0	100.0
J 12	13	0	100.0	J 12	13	0	100.0
J 13	13	0	100.0	J 13	13	0	100.0
J 14	13	0	100.0	J 14	13	0	100.0
J 15	13	0	100.0	J 15	13	2	84.6
J 16	13	2	84.6	J 16	13	0	100.0
J 17	13	8	38.5	J 17	13	5	61.5
J 18	16	0	100.0	J 18	16	1	93.8
鋼管合計	208	18	91.3	鋼管合計	208	20	90.4
全体合計	240	19	92.1	全体合計	240	21	91.3

1区間は250mmとする

7. おわりに

当社において、現場における鋼管全周溶接の自動化は初めての挑戦であり、その検討にあたっては溶接装置の選定から行い、溶接条件、溶接施工方法を確立していった。実橋においても、溶接外観および内部品質とも十分満足できる品質を得られた。なお、今後鋼管を用いた構造の橋梁が多くなると思われる、本工事の自動超音波探傷検査結果の分析、溶接装置の改良等により、さらに溶接条件の改善および溶接施工の効率化に取り組んでいきたい。

最後に、本工事の計画、施工にあたり監督御指導を頂いた、東日本旅客鉄道株式会社 東京工事事務所工事管理室、および大宮工事区の皆様、並びに研究に御協力を頂いた住金溶接工業(株)の関係各位に深く感謝し、紙上を借りて御礼申し上げます。

2000.11.1 受付