
自動溶接機による水道パイプライン現場溶接

Trial of the Field Automatic Welding for Water Pipeline

堀 義春(Yoshiharu Hori) 加藤 誠一(Seiichi Kato) 藤本 智也(Tomoya Fujimoto)

要旨：

高梁川をはさむ川崎製鉄（株）水島製鉄所対岸のE地区に工業用水を供給するパイプライン計画の実施にあたり、スプレッド工法を応用した自動溶接施工法を陸上部約850mにわたるわが国初の本格的規模で導入した結果、施工能率、溶接品質などの面でほぼ所期の目的を達成した。自動溶接は国産溶接機を2台使用し、枠組足場による芯出し施工を行った。今回得られた成果を要約すると下記のとおりである。(1)枠組足場とCRCインナークランプとの組合せによる特殊な芯出し施工法を採用し、サイクルタイム30minの体制を確立した。(2)1日あたり10～13ジョイントの溶接接合能率が容易に得られた。(3)機器の簡易化、防風装置の改良を推進した結果、オペレータの作業空間が広くなり作業能率が向上した。(4)溶接部は外観上良好なビードが得られ、放射線透過試験結果においてもフィルム別合格率99.5%が得られ、品質面での優位性を確認した。

Synopsis：

Nation's first field automatic welding using the spread system has been tried out on a water pipeline that extends to the opposite side of Mizushima Works across the Takahashi River. High welding performance has been achieved as expected in terms of quality and efficiency, using two homemade girth welders. A new pipe centering technique reduces the welding cycle time to about half an hour by the application of an inner cramp together with frame stagings. Execution efficiency of 10-13 joints a day can be attained easily. Both the simplification of automatic welders and the development of a new wind protector have made it possible to enhance the welding workability. Bead on the welded joint showed fine appearance. This automatic welding assured a 99.5% success rate in the transmission X-ray inspection, confirming its superiority over the ordinary manual welding.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

自動溶接機による水道パイプライン現場溶接

Trial of the Field Automatic Welding for Water Pipeline

堀 義 春*

Yoshiharu Hori

加 藤 誠 一**

Seiichi Kato

藤 本 智 也***

Tomoya Fujimoto

Synopsis:

Nation's first field automatic welding using the spread system has been tried out on a water pipeline that extends to the opposite side of Mizushima Works across the Takahashi River.

High welding performance has been achieved as expected in terms of quality and efficiency, using two homemade girth welders. A new pipe centering technique reduces the welding cycle time to about half an hour by the application of an inner cramp together with frame stagings. Execution efficiency of 10-13 joints a day can be attained easily. Both the simplification of automatic welders and the development of a new wind protector have made it possible to enhance the welding workability. Bead on the welded joint showed fine appearance. This automatic welding assured a 99.5% success rate in the transmission X-ray inspection, confirming its superiority over the ordinary manual welding.

1. ま え が き

かねてより岡山県企業局にて計画されていたE地区工業用配水管敷設工事が、さる昭和50年11月より実施された。

このパイプラインは、岡山県が高梁川をはさむ当社水島製鉄所内敷地と対岸のE地区とにまたがる陸上部分1300m、河底部分1700mの延長3kmからなる。

一方、当社としては昭和46年6月から、国鉄パイプライン構想の具体化を契機として一連のパイプライン現場溶接に関する研究を進めるとともに、現場溶接の省力化、能率化および継手品質の向上をめざし、国産自動溶接機による溶接性試験、現場施工実験を重ねてきた結果、自動溶接施

工システムとしても応用可能な段階に至った。

本報告は、上記陸上部分1300mのうち約850mの直線区間をスプレッド工法を応用した自動溶接施工法を導入して実施した管接合工事の概要を説明するものであり、この工法の本格的実施はわが国初の試みである。

2. ルート概況

敷設地は、当社水島製鉄所構内北端の北門から西門にかけ遊水池に沿って東西に走るグリーンベルトの内側である。グリーンベルトの幅員は7mあり、遊水池側の間知石積壁天端から1mのところがパイプラインの基線となっている。

この緑地帯には高さ約5mの樹木と多数の灌木が植込まれており、パイプ配列にあたっては樹木

* エンジニアリングセンター建設開発部パイプライン技術室課長
*** エンジニアリングセンター建設開発部鋼構研究所主任研究員

** エンジニアリングセンター建設開発部土木開発室掛長



写真1 ルートおよび接合完了したパイプラインの概況

を傷めないように配慮するとともに、土中の根を損傷しないよう掘削をサンドベッド部のみに止めるよう計画した（写真1参照）。

3. 接合工事

3・1 工事概要

工事件名：水島第4期工業用水道事業

E地区配水管敷設工事（水島工区）

施主：岡山県企業局

工期：昭和50年11月～昭和51年3月

施工業者：川崎製鉄株式会社

仕様：鋼管諸元（表1参照）

延長1260m（開削305m、盛土955m）

溶接工 JIS Z 3801 N-2P 同等以上

判定基準 JIS Z 3104 3級以上

自動溶接による接合は、盛土部955mのうち850mの区間の87継手に適用した。その管割を図1に示すが、直管以外の伸縮管などの現場搬入が遅れて接合できなかったため、自動溶接の適用率は全継手数の88%となった。

表1 鋼管諸元

材 質	STPY41
管 種	ERW
外 径	457.2mmφ
厚 さ	6.0mm
単 管 長	9000mm
管端ベベル	角度 $30^{\circ} \pm 5^{\circ}$ ルートフェース 0.8 ± 0.8 mm
塗 覆 装	外面：アスファルトビニロンクロス 内面：タールエポ 300μ
梱 包	全面板スノコ巻、管端十字支柱

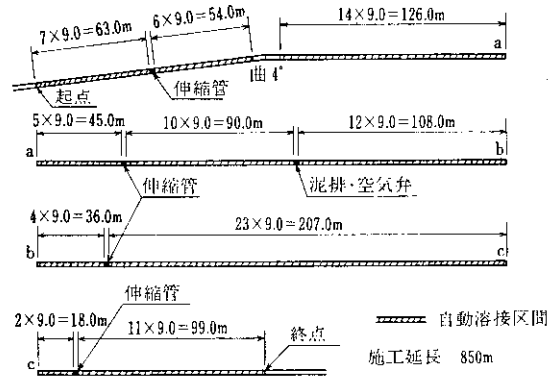


図1 管割図

3・2 施工方法

3・2・1 溶接施工法の検討

パイプラインの固定管溶接工法には、大別してリング別工法とスプレッド工法の2種類がある。わが国で行われているのは、もっぱら1～2名の溶接工によるリング別工法であり、既設管の終端に新管をセットし、その継手部の溶接が完全に終わったのち順次新しい管を接合していく手法である。

一方、スプレッド工法は欧米の大規模パイプライン接合工事に適用されている手法であり、各溶接パスごとに専属の溶接士を数名配置し、たとえばルートパス溶接士は工事期間中常にルートパス溶接のみに従事し、同様にフィラーパス溶接士はフィラーパスのみを行う。

このように溶接士の専属化をベースとしてルートパス溶接、ホットパス溶接、……、キャップパ

ス溶接がライン沿いの各継手ごとに同時に行われる。新管の継ぎたしはルートパス溶接が完了した時点で直ちに行われる。溶接を薄肉多層盛にすることにより各パスの所要時間は一般に3～5minとなり、16inφのパイプラインで1.5～3km/日の施工スピードを得ることができる。欧米の大規模なパイプライン工事はすべてこのような工法で施工されている。もとより、わが国で実施されているリング別工法と比較すれば、その投入人員、重機、作業領域ともに膨大であり、たとえば外径16inのパイプライン工事で130～190人もの熟練工を必要とする。このように、リング別工法とスプレッド工法には大きな差異があるが、現場接合能率を倍加するための手法として、あらかじめ管長を倍に溶接しておくダブルジョイント工法も両者に併用されることがある。

今回の工事における施工法を選定するにあたり、距離的にはさほど長くないもののフィールド条件としてはリング別工法、スプレッド工法およびダブルジョイント工法の併用のいずれもが可能な状態にあった。工法の選択は、施工能率とコストの比較によって決定できる。ただしダブルジョイント工法は緑地帯を長管にして吊越す必要があり、樹木を損傷する危険性が高いため除外した。

さらに、欧米式のスプレッド工法の適用は、延長、工期からみて得策ではないので、ここでは各パス専用自動溶接機による国内用とも言えるスプ

レッド工法（これをセミスプレッド工法と呼ぶことにする）を検討した。

表2は、リング別工法とセミスプレッド工法とを過去の実績を参考として比較したもので、溶接はルートパス、キャップパスの2層溶接、接合数は87継手を対象とした。作業範囲としては開先手入れ、芯出し、溶接を考え、他の作業は工法的な差がないかもしくはコスト的に相殺されるものとした。表より明らかなように、コスト的な差はあまりないものの工期的、品質的にまさっている自動溶接セミスプレッド工法が最も適切と判断された。このため本工法の採用を前提として、1日10ジョイント程度の平均施工能率を得るために必要な人員配置、芯出し方法についてさらに検討を加え、実施に踏切った。

3・2・2 班の構成

2台の自動溶接機を使用する層別セミスプレッド方式の班構成を表3に、班の配列状況を図2に示す。

芯出し班とルートパス班は同一ジョイントで協力しながら作業を進めるが、他班は互いの作業に干渉しないよう数ジョイントずつの間隔を保ちながら順次前進した。

なお、芯出し班は芯出し作業のほかルートパス溶接の補助を行い、芯出し作業には杵組足場班が協力するなど効率的な人員稼働に努めた。

表2 本工事における溶接工法比較

		リング別工法		自動溶接セミスプレッド工法
		手 溶 接	自動溶接	
人 員 構 成	開 先 研 磨 (人)	1	1	1
	芯 出 し (人)	2	3	3
	溶 接 (人)	2	3	5
接 合 能 率	1日あたりの平均接合数	2～3	5～6	8～10
	所要実働日数 (日)	35	16	10
経 済 比 較	工 数 比 (人・日)	1	0.64	0.51
	機械損料比 (輸送費を除く)	1	3.9	3.5
	接合コスト比	1	1.11	1.02
品 質	期待合格率 (%)	90～95	95～100	95～100

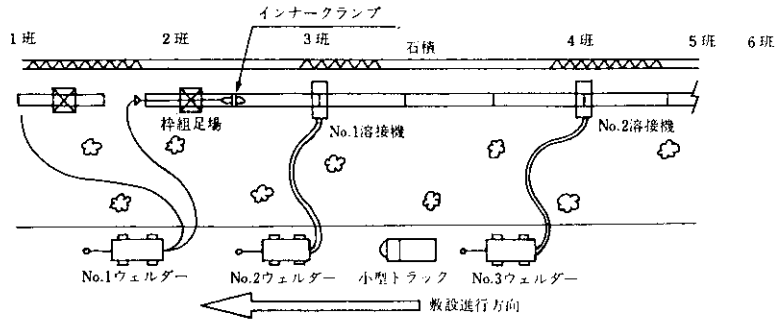


図2 作業班の配列 (班別は表3参照)

3・2・3 芯出し, 溶接作業

芯出し作業には、写真2に示すとおりニューマチックインナークランプを用いパイプの上下、左右、前後の調整用機材として桟組足場とチェーンブロックを組合わせて使用した。パイプの下面と地表面とのクリアランスは、溶接作業上500mm以上を目標とした。またルートギャップはスパーサーリングで3~3.5mmに保持した。

表3 班の構成

班	班の名称	人員 (人)	作業内容
1	開先研磨班	1	工場加工ベベルを所定の開先形状に研磨修正する。
2	芯出し班	3	接管管の吊上げ、位置調整をしながら所定の開先条件でクランプする。
3	ルートパス溶接班	2	仮付け溶接後、初層の溶接を行う。
4	ギャップパス溶接班	3	初層の手直しおよび仕上げ層の溶接を行う。サービスマン1名を含む。
5	放射線透過試験班	3	仕上げられた溶接部の全数X線検査を行う。
6	補修塗装班	2	溶接部塗り残し部の補修塗装を行う。
7	桟組足場班	3	桟組足場の組立、解体、移動、チェーンブロックのセットおよび芯出し作業の補助。
	合計	17	

表4 自動溶接機の仕様

	性能, 諸元
対象管径	450mmφ, 500mmφ
溶接用電源	定電圧直流
制御用電源	AC 100V, 50Hz
ウィーウィング回数	0~100cpm
ウィーウィング幅	0~20mm
ウィーウィングの両端停止	0~0.5sec
トーチの上下調整幅	25mm
トーチの左右調整幅	55mm
芯線送給速度	Max. 11m/min
走行速度	Max. 650mm/min
開先部からの取付け寸法	100~155mm
溶接ワイヤ	0.9mmφ, 5kg巻き

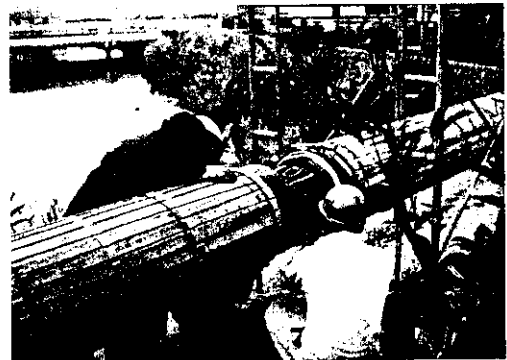


写真2 芯出し作業

溶接は全姿勢自動溶接とし、国産自動溶接機 APW-500 を 2 台使用した。主な仕様を表 4 に、その構造を図 3 に示す。

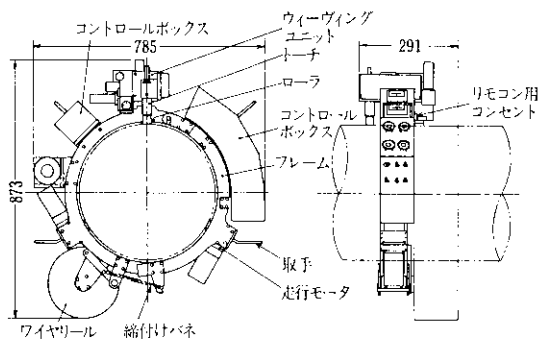


図 3 自動溶接機の構造

ルートパス溶接には、溶接能率にすぐれている一方向連続回転式の $\text{CO}_2 \cdot \text{Ar}$ ガスシールドメタルアーク溶接法を採用し、キャップパス溶接は振分上進で行った。ルートパス、キャップパスそれぞれの溶接条件、積層法を表 5 に、開先形状を図 4 に示す。また図 5 は、一つの継手における溶接作業のフローチャートを示すものである。

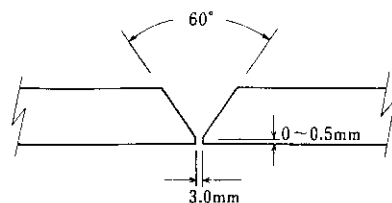


図 4 開先形状

表 5 溶接条件と積層

	電 流 (A)	電 圧 (V)	ワイヤーフィーディング 回 数 (cpm)	両端停止 (sec)	標準作業 時 間 (min)	積 層 法
ルートパス	80~100	15~18	80	0	15	
キャップパス	100~120	15~18	60	0.25	15	
溶 接 材 料	ワ イ ヤ : KC-45 (0.9mmφ) シールドガス : CO_2 , Ar 各 10l/min バ ッ キ ン グ : BF-1 (8枚重ね)					

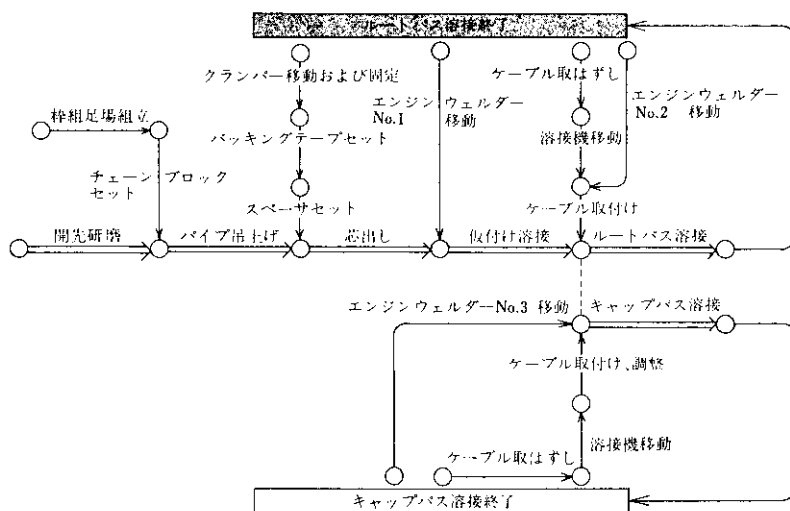


図 5 溶接工程フローチャート

なお、現場自動溶接ではシールドガスの風による影響を防止するため防風 TENT が使用されているが、重くて組立、解体に手間どり接合能率に大きな障害となっていた。このため改良をほどこした防風装置を自動溶接機に取付け 5m/sec 以上の風があるときのみ簡単な防風シートを張ることで解決した (写真 3 参照)。さらに溶接機の移動を容易にするため、不要部品を去除くなど簡易化したものを使用した。また各班において使用した主な機器は表 6 のとおりである。

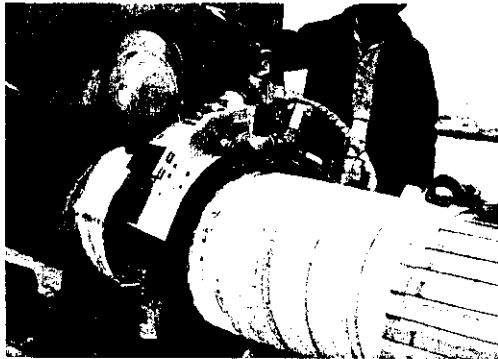


写真 3 APW-500 溶接作業

表 6 使用機器一覧表

職 種	使 用 機 器
開 先 研 磨	ベビーグラインダー 開先検定器
芯 出 し	エンジンウェルダ DCI-250-AC3 インナークランプ (CRC 社製)、スベ サー、倅組足場、チェーンブロック
ルートパス溶接	エンジンウェルダ DCV-250-AC3 SB 溶接機 APW-500 (デンヨー社製) ベビーグラインダー
キャップパス溶接	エンジンウェルダ DCV-250-AC3 SB 溶接機 APW-500 (デンヨー社製) ベビーグラインダー
放射線透過試験	エンジンゼネレータ ラジオフレックス
そ の 他	トラッククレーン、小型トラック、連 絡車、溶断器具、風速計、温湿度計、 スキッド

4. 施工結果と考察

4.1 接合能率

自動溶接工事は昭和 50 年 12 月 9 日から開始し、実作業日数 8 日間で 87 ジョイントの接合を終えた。第 2 日目までは作業パターンが定まらなかったため多少能率が低かったが、3 日目以後はほぼ順調に作業を進めることができた。1 日最高接合数はルートパスで 13 ジョイント、キャップパスで 16 ジョイントであった。

接合作業を互いにほぼ独立した 4 職種に分け、各作業に従事した人員と 1 min 刻みの測定による平均作業時間を表 7 に示す。

表 7 作業別平均所要時間、人員稼働率

	(min : sec)			
	開先研磨	足場解 体・組立	芯出し・ル ートパス	キャップパ ス・仕上げ
機器分解移動	—	—	2 : 20	2 : 38
芯出し・仮付け	—	—	6 : 07	—
機 器 組 立	—	—	3 : 15	2 : 38
溶 接	—	—	16 : 15	12 : 44
その他(調整・仕上げ)	—	—	2 : 03	7 : 40
所 要 時 間	25 : 00	25 : 00	30 : 00	25 : 40
標準人員(人)	1	3	5	3
人員稼働率(%)	—	—	74.8	86.8
測定回数(回)	—	—	8	11

本表からわかるように、並行して行われている 4 職種の間にルートパス溶接作業のみが約 5 min の差を生じ、接合作業の全体進行スピードを拘束した。したがって、今回採用した方式での接合サイクルタイムは 30 min となり、実働 7 h/日の場合、14 ジョイント接合可能であるという結果が得られた。

人員稼働率を次式で定義し、以下にルートパス、キャップパスの作業測定結果についてのべる。

$$p = \frac{\sum_{i=1}^T N_i}{T \cdot N_s} \times 100$$

p : 人員稼働率 (%)

T : 所要時間 (min)

N_i : i min経過時点での作業人員数

N_s : 標準人員数 (ルートパス: 5, キャップパス: 3)

(1) ルートパス

ルートパス溶接作業を大きく5つに分類し、並行作業については主作業に組入れた。その平均所要時間は表7に示すとおり30minとなっている。所要時間が30min以上となったものは2例あったが、これは溶接機の調整修理に時間を費やしたためであり、これらを除いた6例での平均所要時間は27min20secであった。またアークタイムについては平均16min15secであり、各サンプルでの変動は極めて少なかった。

一方、芯出し時間については3~10minとかなり変動があったが、作業の進行につれてしだいに一定の値に近づく傾向となり、“慣れ”の要素が強い作業であることがわかる。

またルートパス作業としての稼働率は67~84%で、8例の平均稼働率は74.8%であった。

(2) キャップパス

稼働率は64~100%とばらついてしたが、11例の平均では86.8%とルートパスより高い水準にあった。また平均所要時間は25min38secで、このうち35min以上を費やしたものが3例あった。この原因は、溶接機の調整およびビード仕上げ等により多くの時間を要したためである。これらを除いた8例での平均所要時間は21min38secであり、稼働率も90.3%と高くなっている。いずれにしても、キャップパス作業を構成する要素が少ないため、これらの多少の支障はセミスプレッド工法を支配するまでには至らない。

4・2 継手品質

4・2・1 開先

抜取的に5箇所の接合部を選び、クランプ、仮付けした状態での開先部について目違いおよびルートギャップを特殊ノギスにより $\frac{1}{20}$ mmの精度で測定した。パイプ円周上4点での各平均寸法を図6に示す。個々の測定結果は、目違いで0~1.1mm、

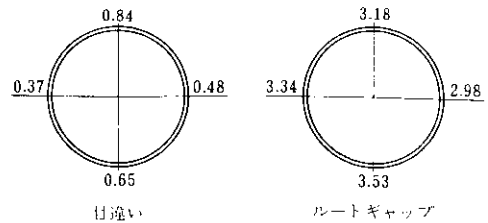


図6 開先部の平均寸法

ルートギャップで2.5~3.8mmであり、自動溶接用の開先条件として十分な精度を得ることができた。これは間隔保持材を用いるとともに、枠組足場による微調整および修正が容易に行えたためと思われる。望ましくは、インナークランプの加圧力をさらに強力なものにしたほうが良い。

4・2・2 放射線透過試験

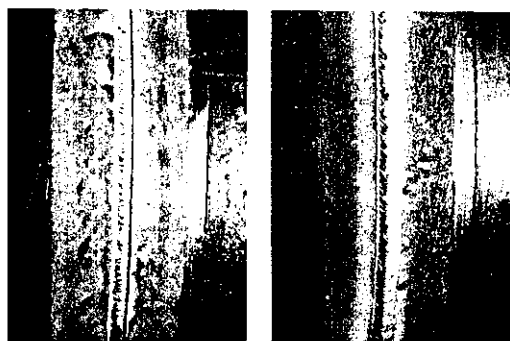
今回の自動溶接接合箇所のすべてについて放射線透過試験を行ったが、不合格は1箇所のみであった。JIS Z 3104による判定結果を表8に、2級以下欠陥の種類と発生位置を表9に示す。これら

表8 放射線透過試験結果

等級	フィルム枚数別		接合箇所別	
	枚数	百分率(%)	接合数	百分率(%)
1 級	180	87.8	64	73.6
2 級	19	9.3	17	19.5
3 級	5	2.4	5	5.8
4 級(不合)	1	0.5	1	1.1
計	205	100	87	100

表9 JIS 2 級以下の欠陥の種類と発生位置 (枚)

欠陥	位置	3 時	6 時	9 時	12 時	計
ブローホール		8	8	2	1	19
溶込み不足		0	3	1	0	4
ポロシティ		0	0	1	0	1
スラグ巻き込み		0	1	0	0	1
欠陥フィルム枚数		8	12	4	1	25
撮影枚数		54	87	41	23	205
1 級達成率(%)		85.2	86.2	90.2	95.7	87.8



ルートパス キャップパス

写真4 溶接ビード外観

の判定結果についても、また写真4に例示する溶接ビード外観についても自動溶接のもつ優れた性能を確認することができた。

4-3 自動溶接の経済性

本工事の実行計画段階においては、自動溶接によるセミスプレッド工法と従来からの手溶接工法とを比較して、接合費において大差ないと判断した(表2参照)。

しかし労務費、材料費、機器損料、足場費を集計した範囲では、この種の工事経験が少なかったことによる投入人員の増加や、枠組足場の拘束日数の延長などにより、計画値を約10%上まわる結果となった。これらは今回の工事経験から容易に改善できる。本工法のような自動溶接本来の性能が発揮できるフィールド条件下での配管工事を対象とした場合、今後大幅な工期短縮が期待でき、それにともない全体工事における経費節減に寄与するものと思われる。

5. ま と め

2台の自動溶接機を使用したセミスプレッド工

法を全面的に導入することができ、施工能率、品質などの面でつぎのような成果を得た。

- (1) 枠組足場とCRCインナークランプとの組合せによる特殊な芯出し施工法を採用し、サイクルタイム30minの体制を確立した。
- (2) 1日あたりの溶接接合能率としては、10~13ジョイントが容易に達成できた。
- (3) 機器の簡易化、防風装置の改良を推進した結果、オペレーターの作業空間が広くなり作業能率が向上した。
- (4) 溶接部は外観良好なビードが得られ、放射線透過試験結果においてもフィルム別で合格率99.5%、等級別で1,2級が97.1%を占め、品質面での優位性を確認した。

本工事は、枠組足場を用いたスプレッド工法タイプの自動溶接工法として非常にユニークな工事であり、なお残された課題もいくつかあるが、ほぼ所期の目的を達成することができた。しかしながら国内一般の埋設配管工事では、工事の規模、土木工事や作業環境との関係から自動溶接機本来の性能を活かせる条件が得にくいいため、その適用に制限を免れないのが現状である。一方、高度の品質を要求されるパイプライン工事において、従来の手溶接における熟練溶接工の不足や品質面でのばらつきを解消するためにも自動溶接に対する期待は大きく、今後も溶接品質の向上、工事の効率化、省力化、さらには経済性をめざして自動溶接工法の普及、発展に努力していく必要があることを痛感している。

最後に、今回の実施にあたり御理解と御尽力をいただいた岡山県企業局関係各位に心からお礼を申しあげるとともに、工事にあたり協力していただいた川鉄鋼管工事(株)水島出張所の諸氏に感謝の意を表する。