

大口径ダクトイル鋳鉄管の挿し口自動溶接設備の導入

Introduction of Automatic Welding Facilities for Large Diameter Ductile Iron Pipe

牟禮眞太郎* 岡村敏正** 気田淳次*** 武田哲也***

Shintaro Mure, Toshimasa Okamura, Junji Kida, Tetsuya Takeda

耐震管の需要急増にともない、挿し口突起部の溶接能力の確保が緊急の課題になってきた。今回、挿し口溶接の自動化、手入れ工数の削減を目標に大口径管の挿し口自動溶接設備の導入を行った。従来の設備で問題となっていた溶接開始点の検出、溶接線の倣いを自動化することにより作業性向上、溶接多層盛りの自動化を実現することができたので報告する。

Ductile Iron Pipe Division in KURIMOTO LTD. produces approximately 450 ductile iron pipes of $\phi 300 \sim 2600\text{mm}$ a day at KAGAYA FACTORY. Recently, customers need anti-seismic pipes. Figs.1~4 show the advantages of these anti-seismic pipes. They are produced so as to prevent two pipes from separating by means of prominence provided on spigot part of pipe and lock-ring of joint part. This prominence can not be made by the centrifugal casting method. So, this prominence is welded by a mild steel or a ductile iron piece. It was necessary to investigate the mechanical properties of this welding part in order to make it stronger. We have developed a new welding method. We have been using three automatic welding machines for the S II & S type $\phi 300 \sim 800\text{mm}$ size pipes since Feb. 1996, and for the S II type $\phi 300 \sim 450\text{mm}$ size pipes since Jul. 1996. And this time, we have developed a new automatic welding machine for large diameter pipes($\phi 700 \sim 2400\text{mm}$). This report explains this welding method.

1. はじめに

加賀屋工場鉄管部門では呼び径300~2600mmの中大口径のダクトイル鋳鉄管を1日に約450本生産している。最近、耐震管の需要が急増している。

これら耐震管の大きな特徴は図1~図4に示すように、管挿し口部に突起部を設けロックリングで離脱を防止する継ぎ手方式である。遠心力鋳造の場合、この突起部を形成することは、製造上高さに限界があるため、軟鋼製リング（またはダクトイル鋳鉄製リング）を溶接することにより形成しなければならない。そのため、溶接能力の確保が緊急の課題になってきた。

挿し口自動溶接機は、呼び径300~800mmのS II、S形用としては平成8年2月より1基、呼び径300~450mmのS II形用として、平成8年7月より2基がすでに稼働中である。

今回大口径管用（呼び径700~2400mm）の挿し口溶接設備の設置にあたり、溶接多層盛りの自動化・手入れ工数削減を目標に進め、実現できたのでその概要を報告する。

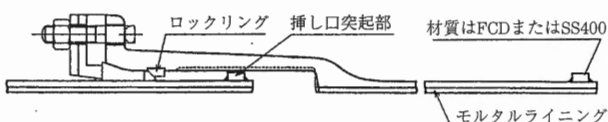


図1 S II形ダクトイル鋳鉄管継手形状
Fig.1 Joint of S II type ductile iron pipe

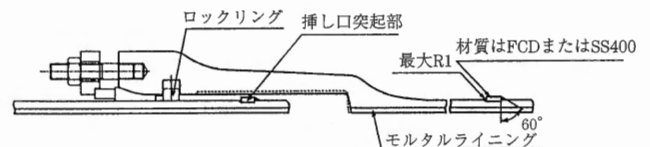


図2 S形ダクトイル鋳鉄管継手形状
Fig.2 Joint of S type ductile iron pipe

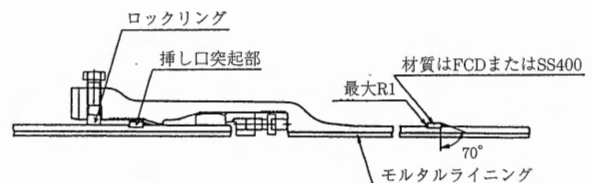


図3 U S形ダクトイル鋳鉄管継手形状
Fig.3 Joint of US type ductile iron pipe

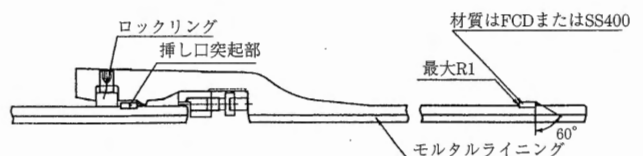


図4 L U F形ダクトイル鋳鉄管継手形状
Fig.4 Joint of LUF type ductile iron pipe

2. 設備概要

2.1 新設備特徴

今回の設備は従来の設備で問題となっていた、溶接開始点の検出、溶接線の倣いを自動で行えるようにし、作業者の手作業をできるだけなくするようにした。

今回の設備の特徴を以下に述べる。

1) 溶接線倣いにアークセンサを使用し自動で溶接を行

* 鉄管事業部 鉄管技術部 加賀屋生産技術課
** 加賀屋工場 工務部 設計課
*** 鉄管事業部 加賀屋工場 鉄管製造部

論文・報告

っている。

2) 溶接開始点の検出を高電圧タッチセンサを使用し自動で検出している。

3) ターニングロールの回転、ロボット架台の昇降をロボット外部軸制御とし、溶接速度制御、ティーチングが容易である。

4) ロボット1台に対しターニングロールを2式もち、人によるリングの仮止め（仮付け）、溶接を交互に行うようにし、設備効率を向上させている。

2.2 全体構成

新設備の全景を図5、全体配置を図6に示す。新設備はリング溶接ロボット、昇降可能なロボット架台、ターニングローラ（2台）から構成されている。

管をクレーンによりターニングローラ上に搬入し、軟鋼製リングまたはダクタイル鋳鉄製リングを仮付けする。その後、軸方向の位置決めをし、自動で溶接を行う。溶接が完了すると、その場または手入れ場に管を移動させ、グラインダ手入れを行う。ターニングローラは2式

（ステーション1、ステーション2）あり、ステーション1で溶接を行っている間に、ステーション2でリングの仮付けを行い、溶接が完了したらロボット架台を旋回させ、次のステーションの管の溶接を行う。

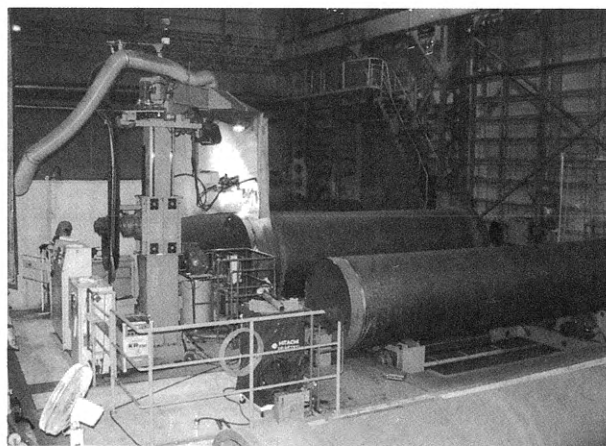


図5 新設備全景

Fig.5 Over view of new facilities

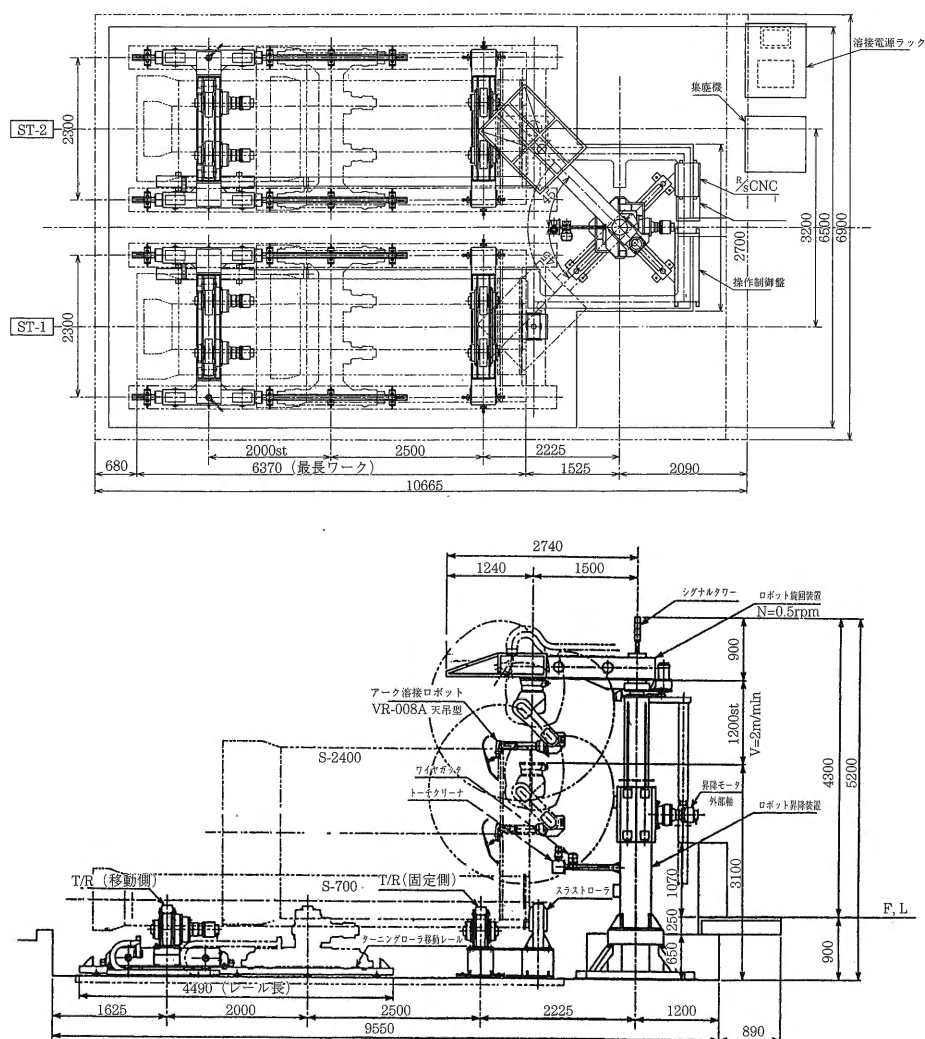


図6 新設備全体配置

Fig.6 Arrangement of new facilities

2.3 リング溶接ロボット

溶接ロボットは松下産業機器(株)製のロボット、溶接電源、アークセンサを使用している。表1に旧設備との比較とともに、仕様についてまとめる。

表1 各装置の仕様
Table 1 Specifications of apparatus

		新設備	旧設備
溶接機 本体	本体	6軸多関節ロボット	直交型2軸
	トーチ	スパインアーク水冷ストレート	水冷45°カーブド (2トーチ)
溶接電源	メーカ	松下電器産業	松下電器産業
	仕様	インバータマグ RF-600	インバータパルスマグ AE-500
開始点検出		高電圧タッチセンシング	作業者が目視で調整
溶接線微い		スパインアークセンサ	作業者が目視で調整

溶接電源はセンサの使用率から、パルスではなく通常のマグ溶接電源とした。溶接線微いセンサはスパインアークセンサを使用している。これは高速度の自動溶接に対応している。

溶接中は各種溶接異常（ワイヤ切れ、アーク切れ、冷却水異常、ガス圧不足、ロボット異常など）をモニタしており、これらの異常が発生した場合、原因が表示されるようになっている。

2.4 スパインアークセンサ

2.4.1 スパインアークセンサの特徴

アークセンサとは、溶接トーチを開先内で往復運動させ（ウィーピング）、このときの溶接電流・アーク電圧波形から溶接線と往復中心とのずれを検出し、トーチのねらい位置を修正する方法である。この方法ではアーク自身をセンサとするため、他に特別な検出器が不要であるという利点がある。スパインアークセンサはトーチを往復運動ではなく、高速回転させることにより（図7参照）、通常のアークセンサより10倍以上の周期で信号検出を行うので、高速度、高精度で溶接が可能である。

スパインアークセンサは溶融金属に回転運動を与え、アークの圧力・熱が均一に分散するので、ビード表面が平滑になる。また、母材に対する溶け込みが浅く、ビードが梨型形状になる（図8参照）ので高電流で溶接が可能などの利点がある。また、ロボットで溶接を行う場合には、ウィーピングと比較してロボットの溶接中の動作が大幅に少ないので、ロボットの耐久寿命にも貢献する。

2.4.2 スパインアークセンサ微いの原理

図9は、アークの回転位置（Cr、L、Cf、R）に対するアーク電圧波形の基本パターンを示したものである。アークの回転中心が開先の中央にあるとき（ $\Delta X=0$ ）、アーク電圧波形は波線で示すように、Cf、Cr点で最大、L、R点で最小となり、Cfにおいて左右対称となる。これに対し、例えばトーチが立て板側にずれる

と（ $\Delta X \neq 0$ ）、実線に示すようにCf点に対して非対称になる。そこでCf点を中心に左右同角度に囲まれる電圧波形の面積（積分値） S_L 、 S_R を比較することにより、X軸方向のトーチ位置ずれを検出し修正している。トーチの高さ方向（Y軸）については、アークの1回転毎に溶接電流波形の面積が一定となるように制御している。

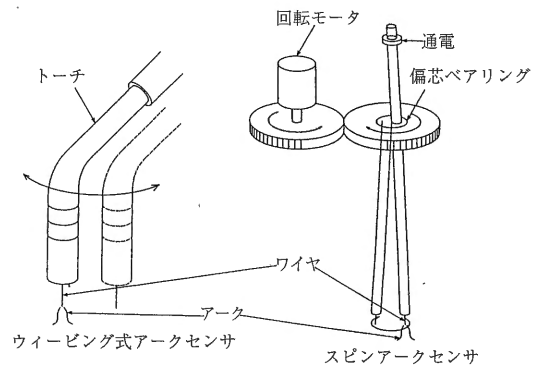


図7 溶接トーチの原理

Fig.7 Principle of welding torch

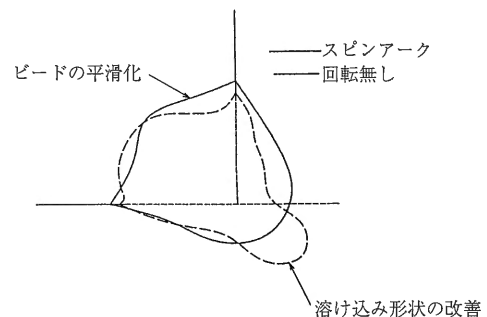


図8 ビード形状の改善効果

Fig.8 Reform effect of welding bead form

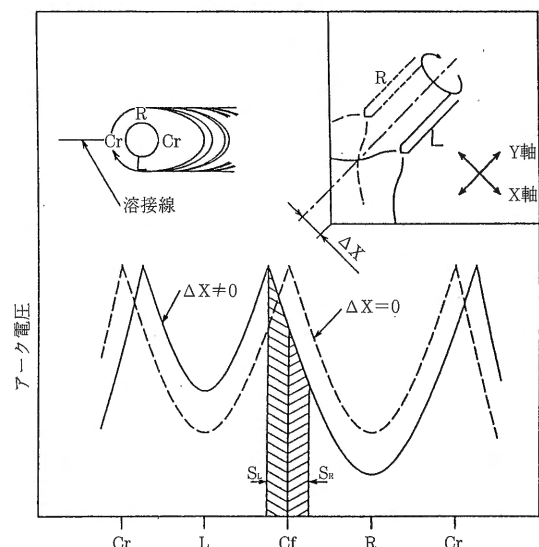


図9 アークセンサの原理

Fig.9 Principle of arc sensor

2.4.3 開始点検出

溶接を行う管は歪んでいるため、溶接開始点が毎回異なる。よって、溶接を行う場合、その都度開始点の検出を行う。図10に示すように、トーチに高電圧を印加し管に接触させることにより、管の高さ、リング位置を検出し、溶接開始点を検出している。なお、トーチ部にはスパッタ付着抑制のために、水冷式ダブルシールドガスノズルを使用している。

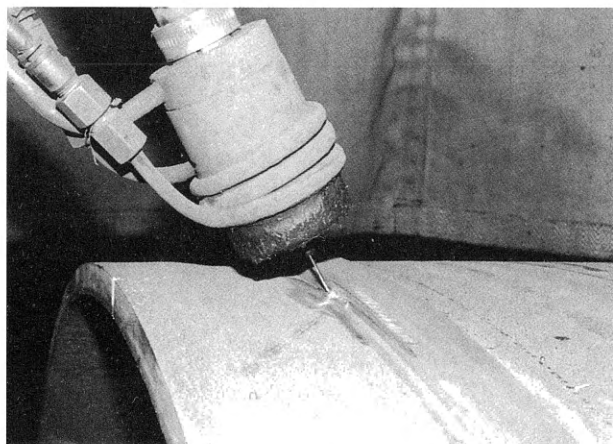


図10 溶接トーチ部

Fig.10 Welding torch part

2.5 ロボット架台

ロボット架台は昇降装置および旋回装置からなる。昇降装置はロボット外部軸制御で高精度の位置決めが可能で、また、ロボットコントローラから操作できるので、ティーチングが容易である。旋回装置は待避位置・ST1（ステーション1）・中央・ST2（ステーション2）の4位置で停止可能で、操作は手押しボタンにより行う。

2.6 ターニングローラ

ターニングローラは昇降装置と同様にロボット外部軸制御で、一式あたり2軸駆動させている。2軸を同期回転させ、回転制御を確実に行うようにしている。また、ターニングローラは固定式ローラと、管長の変化（4m管、5m管、6m管）に対応するための手押し移動式ローラとがある。管長の違いによる段取り替えは移動式ローラを手押しで移動させて行う。

管の軸方向の位置決めは、管を回転させることにより行う。固定側のローラに捻りを与えており、管を回転させると、移動式ローラとともに管が挿し口側に移動し、位置決めローラに接触して位置決めが完了する。操作は足元のペダルスイッチで半自動で行う。

3. 溶接方法

3.1 溶接ワイヤおよびシールドガス

溶接ワイヤは表2に示すJIS Z 3252 DFCNiFe相当品を

使用している。また、シールドガスはAr + CO₂混合ガスを使用している。

表2 溶接ワイヤの化学成分

Table 2 Chemical composition of welding wire

C	0.10%以下
Si	0.10~0.60%
Mn	0.30~1.00%
P	0.02 %以下
S	0.015%以下
Ni	55.00~59.00%

3.2 溶接条件

リングは管を所定の形状に溝加工を行った後、溝部にリングをはめ込む形にし、仮付けしてから溶接を行う。S、US、LUF形の場合、受口側には開先が設けられ管体に対してフラットに、挿し口側はテーパ形状になめらかに仕上げなければならない（以後受口側を開先側、挿し口側をテーパ側と呼ぶことにする）。従来から使用している溶接機では、挿し口側、受口側ともに1層盛りで溶接を行ってきた。大口径管、US形管になると、テーパ側のビードの脚長、肉盛り量が大きくなるため、多層盛りで対応しなければならなくなった。

溶接ビードの基本タイプを表3に示す1層盛りから5層盛りまでの4タイプがある。これは、テーパ側のビードの角度（脚長）とリングの高さの違いによるものである。開先側についてはすべて1層盛で溶接を行っている。通常のマグ溶接電源はパルス溶接電源よりスパッタの発生量が多いため、適当な肉盛り量、形状を得るために、溶接スピードを遅くすると、特に1600mm以上の大口径管の場合、溶接時間が長くなり、スパッタの影響でチップが溶着してしまう問題が発生した。また、水平すみ肉溶接では、1層あたりの肉盛り量が多すぎると、ビードが流れてテーパ形状を得ることが困難である。そのため、溶接スピードを上げて、さらに積層数を増やすことにより解決することができた。

これらの教示条件、溶接条件は、管種、管の呼び径に応じた標準条件があらかじめ設定しており、コントロールパネル上のボタンで簡単に選択できるようになっている。また、ダクタイル鋳鉄製リングの場合は、軟鋼製リングに比べて溶け込みが大きくなるため、溶接電流を下げて、溶接速度を遅くすることにより対応している。

表3 溶接ビードの基本形

Table 3 Basic type of welding bead

管種	呼び径 mm	テーパ側積層数
S	700~1500	1層盛
LUF	1500	1層盛
US	700~1500	2層盛
S	1600~2400	3層盛
US	1600~2400	5層盛

3.3 積層方法

図11に溶接順序を示す。開先側を溶接後、テーパ側を積層して所定の形状にする。開先側、テーパ側ともに45°ピッチで開始点を基準に計算された教示点があらかじめ入力されており、開始点データに基づいて自動的に補正される。溶接ビードは次の補正された教示点を目指して進むしくみになっている。ただし、1650mm以上の大口径管の場合は教示点間のピッチが大きくなり、ズレが大きくなる問題が発生したため、22.5°ピッチで教示点を設定している。テーパ側の2層目以降の積層は、スピナーセンサなしで、実際溶接した1層目のデータを反映して溶接を行っている。

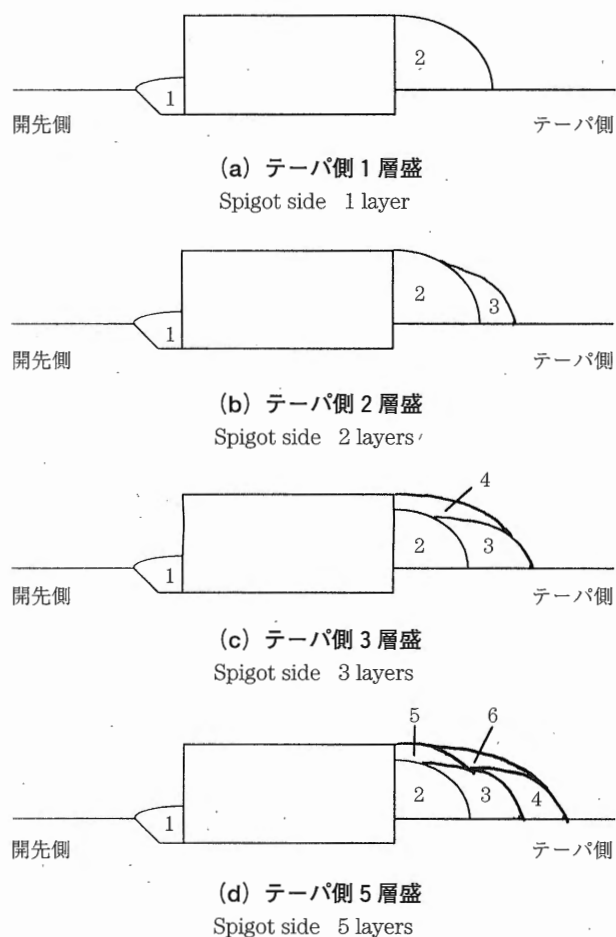


図11 溶接順序
Fig.11 Order of welding

4. 溶接結果

図12に代表的な溶接ビードの外観写真(1500mm S形、テーパ側1層盛り)を示す。スパッタの付着は激しいが、ビードの形状的には蛇行、表面欠陥などもなく、ほぼ一様である。図13にテーパ側5層盛り(1650mm U S形)の代表的な溶接ビードの断面、顕微鏡組織写真を示す。脚長、溶け込み、リングと管の隙間などの問題はないものの、形状的に若干の凹凸があるため、手入を必要とするが、規格は満足している。顕微鏡組織写真は異物の

巻き込み、ブローホール、融合不良などの欠陥は認められず、健全であった。組織的にもセメンタイト(炭化物)の析出も認められなかった。

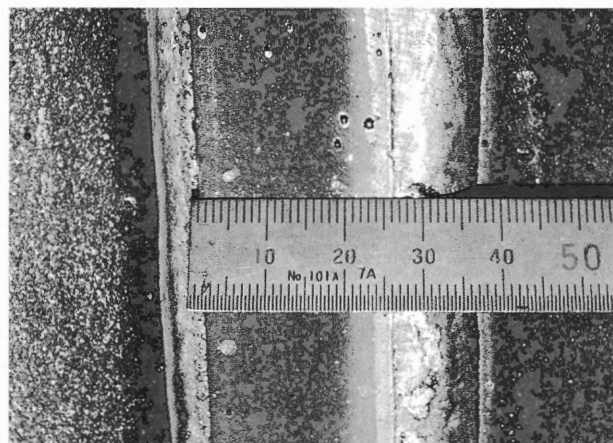


図12 溶接ビード(テーパ側1層盛り)
Fig.12 Welding bead(Spigot side 1 Layer)

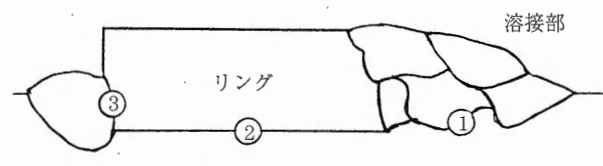


図13(a) 溶接ビード断面観察位置 (テーパ側5層盛り)
Fig.13(a) Position of observation (Spigot side 5 layers)

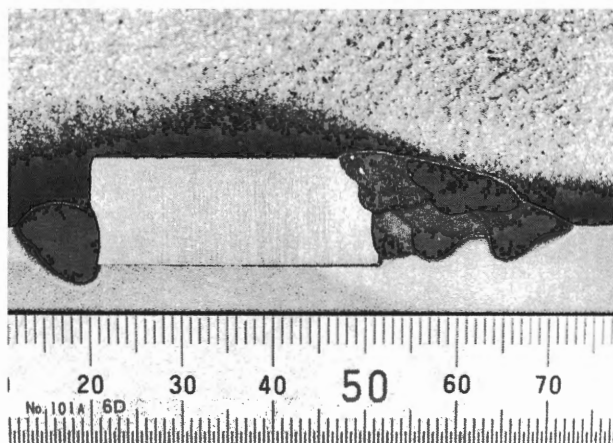


図13(b) 溶接ビード断面 (テーパ側5層盛り)
Fig.13(b) Cross section of welding bead (Spigot side 5 layers)

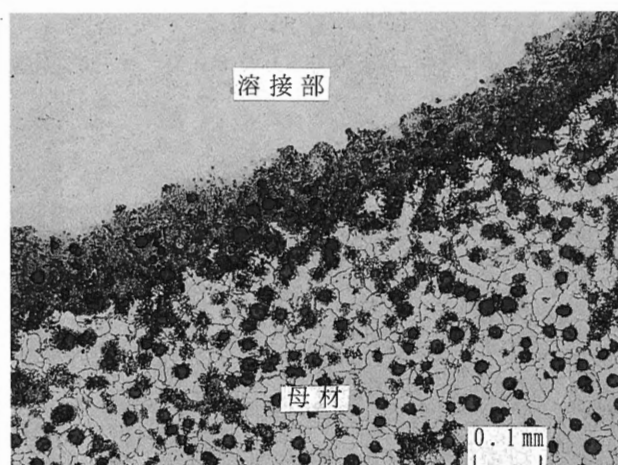


図13(c) 顕微鏡組織① (3%ナイトール腐食)
(母材と溶接部)

Fig.13(c) Microstructure of weldment etched in 3%-nital
Position ① (Base metal-bead)

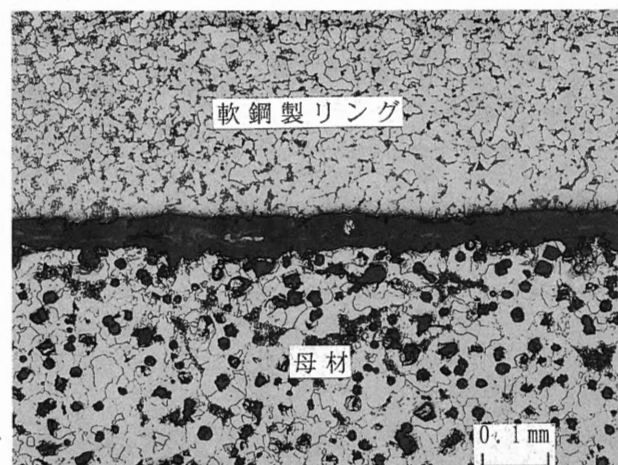


図13(d) 顕微鏡組織② (3%ナイトール腐食)
(リングと母材の隙間)

Fig.13(d) Microstructure of weldment etched in 3%-nital
Position ② (Ring-base metal)

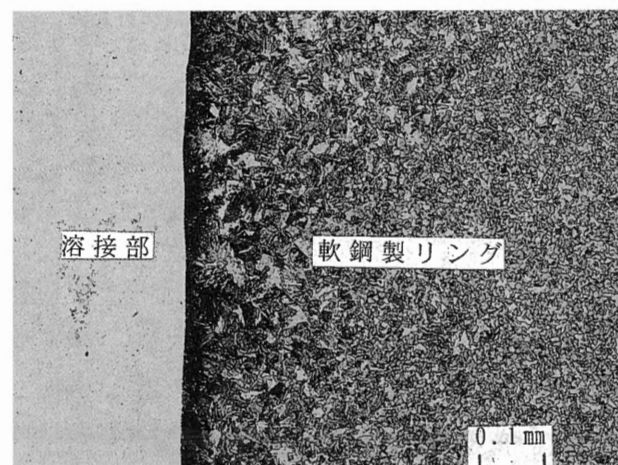


図13(e) 顕微鏡組織③ (3%ナイトール腐食)
(溶接部とリング)

Fig.13(e) Microstructure of weldment etched in 3%-nital
Position ③ (Bead-ring)

5. おわりに

平成10年6月下旬より実管による溶接を開始し、大きな初期トラブルもなく稼動している。現在も管種、呼び径ごとに順次実管によるティーチングを実施している。

既に、この自動溶接設備導入により、挿し口の溶接効率を約30%向上することができた。しかし、スパッタなどの問題があり、今後の検討課題である。

最後に本設備の導入設置にあたり御協力いただいた、加賀屋工場関係者、溶接技術協力いただいた松下産業機器(株)、(株)テンマウェルサービス、ならびに、設計施工していただいた東洋技研(株)の方々に感謝の意を表したい。

執筆者

牟禮眞太郎

Shintaro Mure

平成4年入社

ダクタイル鋳鉄管の生産技術に従事



岡村敏正

Toshimasa Okamura

平成5年入社

製造設備の企画・設計に従事



気田淳次

Junji Kida

平成8年入社

ダクタイル鋳鉄管の製造設備の管理に従事



武田哲也

Tetsuya Takeda

昭和60年入社

ダクタイル鋳鉄管の製造に従事

