

バックングレス全層自動 MAG 溶接法の開発

～高能率・高品質自動溶接の実用化～

Development of Automatic MAG welding process for pipeline girth
welding without backing strips.

～Practical use of High efficiency and High quality Automatic
welding process～

西島 崇泰* Takahiro NISHIJIMA
日鉄住金パイプライン&エンジニアリング株式会社
溶接技術部 溶接技術室 マネージャー

松廣 克之 Yoshiyuki MATSUHIRO
日鉄住金パイプライン&エンジニアリング株式会社
溶接技術部 部長

抄 録

近年、シールドトンネル内での高圧ガスパイプライン建設が増加している。トンネル内のパイプライン建設は溶接時間が工事進捗を決定するため、現地溶接の効率化が求められる。シールドトンネルを対象とした、500A 以下に対する従来の溶接法は、初層 TIG 溶接＋残層 MAG 溶接を標準としてきたが、今般、銅裏当て無しで初層から最終層まで全層を自動 MAG 溶接で行うバックングレス全層自動 MAG 溶接法を国内で初めて開発し大幅な能率向上を達成した。

本法の開発状況と国内初の現地適用状況を報告する。

Abstract

In recent years, gas pipelines with internal pressure higher than 1 MPa in shield tunnels has been increasing constructed in Japan. Welding time determines the construction period of pipeline installation and thus, highly efficient (high speed) welding has been demanded. Pipeline girth welding of pipes with diameter less than 500 A has been conventionally conducted by a process in which a root pass is made by TIG and subsequent passes are done by MAG. However, the authors has first in Japan developed a new process in which all the passes from root passes to final capping pass are automatically welded by MAG without using backing strips. This development shortens the construction period of pipelines in shield tunnels to a larger extent.

1 緒言

近年、山岳および河川の横断を含む大型パイプライン建設プロジェクトが増加し、専用のシールドトンネル工法の採用が増加している。トンネル内のパイプライン建設は、管と管を接続する配管・周溶接

の作業がクリティカルパスとなる為、工事進捗向上には、溶接時間の短縮が強く求められる。この場合、初層から最終層までを全て自動 MAG 溶接で行うには、溶接品質の確保のため、管内面に銅裏当てを精密にセットする必要があり、管内に作業員が入り対応している。

* 〒141-0032 東京都品川区大崎1-5-1 大崎センタービル Tel: 03-6665-6000

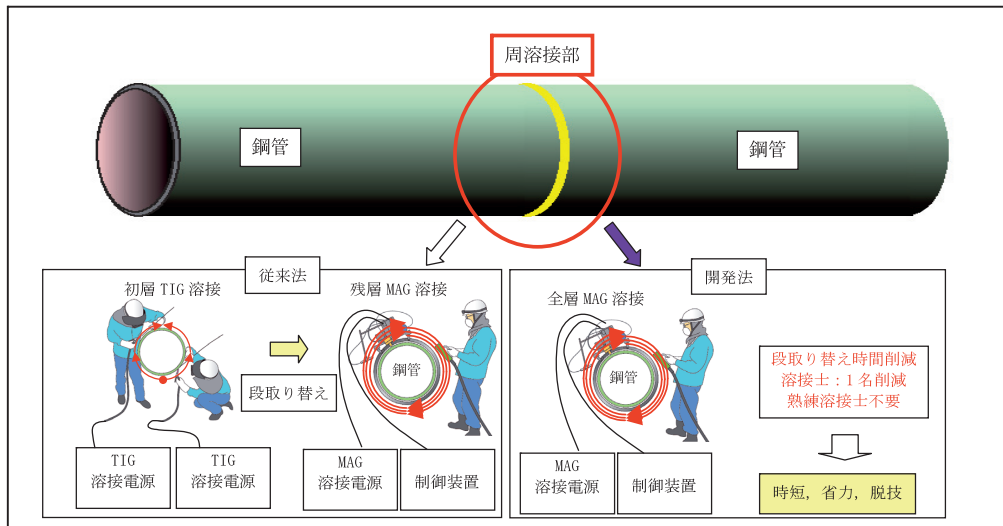


図1 従来の溶接方法と開発法の比較
fig.1 Conventional process and newly developed one

しかし、管内に作業員が入ることのできない500A以下の鋼管の溶接にはこの対応が適用出来ず、初層を熟練溶接士による手動のTIG裏波溶接で行い、残りを自動MAG溶接で行う方法が採られてきた。この方法は初層溶接が遅く、TIG溶接→自動MAG溶接の段取り替えを要するため、所要時間が長くかかる。さらに高品質の初層TIG裏波溶接には熟練TIG溶接士を必要とする。従って、500A以下の従来溶接方法は、品質は溶接士の技量に依存し能率は全層自動MAG溶接ほど高くないという2面の問題があった。

この問題を解決するため、銅裏当ての不要な自動MAG溶接法を開発し、500A以下にも全層自動MAG溶接の適用を可能とした。本稿では開発内容と現地適用状況を報告する。

2 開発のポイント

銅裏当て無しで初層から最終層まで溶接を行うバックングレス全層自動MAG溶接法を完成した。

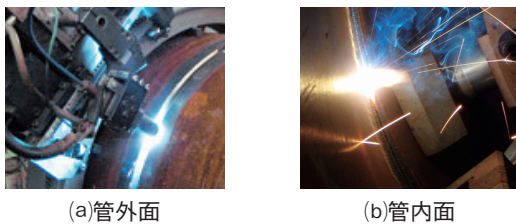


図2 開発法の初層溶接状況(500A×12.7mm t X60)(写真)
fig.2 Root pass welding by new process(Photo)

従来法との比較を図1に、開発法による初層溶接状況を図2に示す。

開発のポイントは、全周にわたって均一な高品質の裏波溶接を行うことであり、これは裏波溶接に適した特殊溶接電源の選定と、裏波高さに着目した溶接姿勢毎の各種溶接パラメーター(電流、電圧、溶接速度など)の最適化を行って達成した。

3 溶接条件の導出

固定管の溶接は全姿勢の溶接が必要となり、姿勢ごとの溶接条件の最適化が必要である。特に本開発で用いた電源は従来のDC電源に比べてピーク電流、ベース電流等の多数のパラメーターを有しているため、最適化のプロセスが複雑である。そこで溶接条件の検討には、まず鋼板を用いて4つの姿勢、即ち下向き、立向下進、上向き、立向上進姿勢で基礎検討を行い、これを基に鋼管の全姿勢溶接に展開し調整確定するという手法をとった。

3.1 鋼板による基礎検討

鋼板による基礎検討は初層溶接についてのみ行った。母材は板厚12mmのSS400を、溶接材料はφ0.9mmのJIS Z 3312 YGW12のソリッドワイヤを用いた。開先形状は図3に示す40°V開先とし、銅裏当ては用いていない。

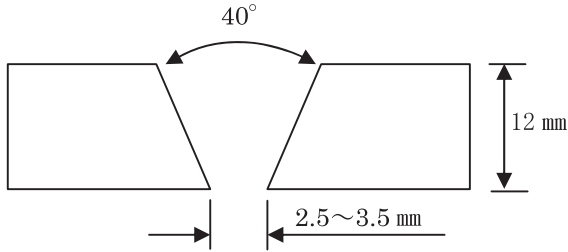


図3 開先形状
fig.3 Groove shape

溶接実験は、まず溶接速度を固定して、ピーク電流、ベース電流、ワイヤ送給速度を変化させた。溶接条件の適否は裏波の連続安定性、アンダーカットの有無、開先への溶け込み深さ等を総合的に評価した。評価結果の例を図4に示す。図4(a)は良好な例である。(b)は溶接入熱過小の場合であり、裏波が不十分である。(c)は逆に溶接入熱過剰の場合であり裏波が凸形状となっている。これ等を下向き姿勢について条件MAPとしてまとめたものが図5である。

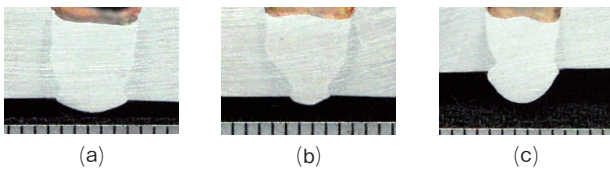


図4 評価結果の例(写真)
fig.4 Macro-structure of root passes by test welding(Photo)

次に図5の適正条件について溶接速度を変動させ、裕度調査を実施した。その結果、溶接速度に対する広い裕度を確認すると共に、最適な溶接条件範囲を把握した。ワイヤ送給速度2m/minの場合の調査結果を図6に示す。

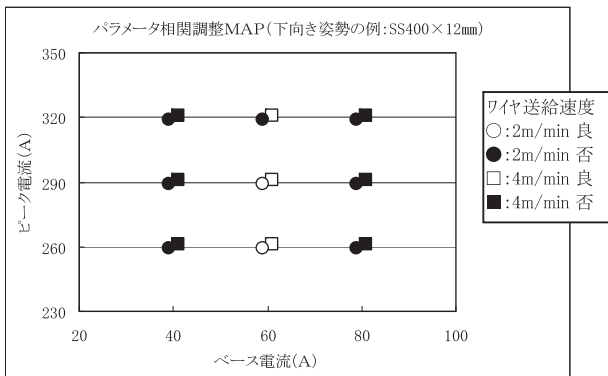


図5 パラメータ相関調査結果
fig.5 Welding speed suitable for varying base current and peak voltage

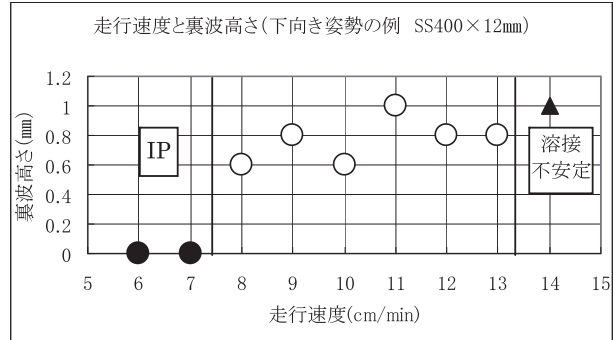


図6 溶接速度裕度調査結果
fig.6 Height of weld reinforcement and welding speed

同様の調査を姿勢毎に実施し、4姿勢の最適溶接条件を決定した。

3.2 鋼管による検討

鋼管溶接はAPI 5L X60 500A×12.7mmtを用いて、水平管固定の全姿勢溶接とした。溶接条件は、まず、鋼板で把握した4姿勢の溶接条件を12条件に展開し、鋼管に対する全姿勢溶接の初期条件として適用した。この初期溶接条件をベースに管の溶接実験を繰り返し、裏波の連続安定性、アンダーカットの有無、開先への溶け込み深さ等を、現地で発生が予測される開先変動(ルートギャップ:±0.5mm、食い違い:2mm MAX)に対しても全姿勢で十分な裕度を有する初層裏波溶接条件を確定した。続いて2層目~最終層までの残層の溶接条件導出を行い、初層から最終層まで自動MAG溶接が行える全層溶接条件を完成させた。姿勢毎の初層断面マクロを図7に、全層断面マクロを図8に示す。

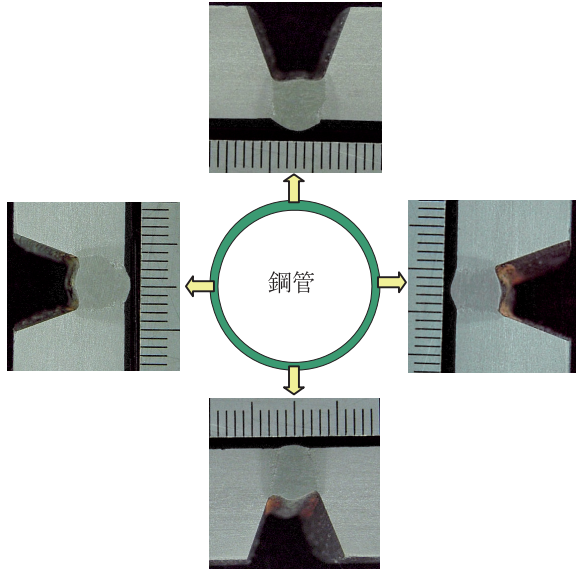


図7 姿勢毎の初層断面マクロ (500A×12.7mm t X60) (写真)
fig.7 Macro-structure of root passes for four different welding positions(Photo)

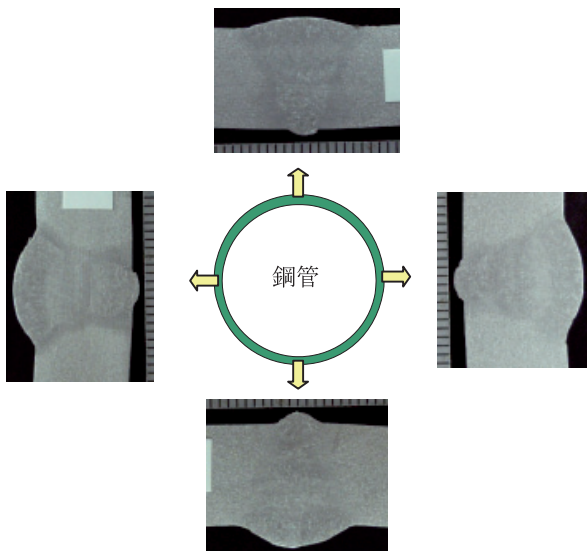


図8 姿勢毎の全層断面マクロ (500A×12.7mm t X60) (写真)
fig.8 Macro-structure of welds for four different welding positions(Photo)

4 溶接品質

開発したバックングレス全層自動 MAG 溶接法の NDI 品質の確認を行った。結果を表1に示す。放射線透過試験、超音波探傷試験とも安定して良好な結果が得られた。

表1 非破壊検査結果 (500A×12.7mm t X60)
table.1 Results of nondestructive inspections

| 継手 No | 全周 RT (JIS Z 3104) | | | | | | 全周 UT (JIS Z3060) |
|-------|--------------------|----|----|----|----|----|-------------------|
| | フィルム番号 | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 1 | 1N | 1B | 1N | 1B | 1B | 1N | キズ検出無し |
| 2 | 1N | 1N | 1N | 1N | 1N | 1B | キズ検出無し |
| 3 | 1N | 1N | 1N | 1N | 1N | 1N | キズ検出無し |
| 4 | 1N | 1N | 1N | 1N | 1N | 1N | キズ検出無し |
| 5 | 1N | 1B | 1B | 1N | 1N | 1N | キズ検出無し |
| 6 | 1N | 1N | 1B | 1N | 1N | 1N | キズ検出無し |
| 7 | 1B | 1N | 1N | 1N | 1B | 1N | キズ検出無し |
| 8 | 1N | 1B | 1N | 1N | 1N | 1N | キズ検出無し |
| 9 | 1N | 1N | 1B | 1N | 1N | 1N | キズ検出無し |
| 10 | 1N | 1N | 1N | 1N | 1N | 1N | キズ検出無し |

5 継手性能評価

本溶接法を用いた鋼管の周溶接部について、主要な機械試験を実施した。結果を表2に示す。何れも国内の高圧ガスパイプライン向け溶接として十分な値が得られた。

表2 継手性能試験結果
table.2 Results of mechanical tests

| 試験項目 | 試験結果 |
|--------------------------------|---|
| 継手引張試験 | 引張強さ 576, 581MPa(母材破断) |
| 硬さ試験 | 最高: 226 HV10 平均: 200 HV10 |
| シャルピー衝撃試験 (2mm V -10℃フルサイズ) | 149, 134, 147 132, 142, 145 平均: 141.5 J |
| 表曲げ試験 | 良好(キズ無し) |
| 裏曲げ試験 | 良好(キズ無し) |

鋼管: API 5L X60 500A×12.7mmt
溶接ワイヤ: JIS Z 3312 YGW12

6 配管芯出し設備の自動化

本溶接方法は鋼管外面より自動溶接装置を用いて、初層から最終層までを連続して溶接するため、鋼管の固定にインターナルクランプを使用する。しかし、管内に作業員が入る事の出来ない500A以下の鋼管に対しては、管内作業を前提としてきた従来型インターナルクランプを使用する事が出来ない。そこで、無線により遠隔操作が可能なりモコン式インターナルクランプの開発を行った。さらに、配管作業の効率化を目的としたリモコン式鋼管芯出し台

車の開発も行い、配管芯出し作業に関わる作業人員の削減、省力化を達成した。従来型と開発クランプの比較を図9、リモコン式鋼管芯出し台車を図10に、配管芯出し状況を図11に示す。

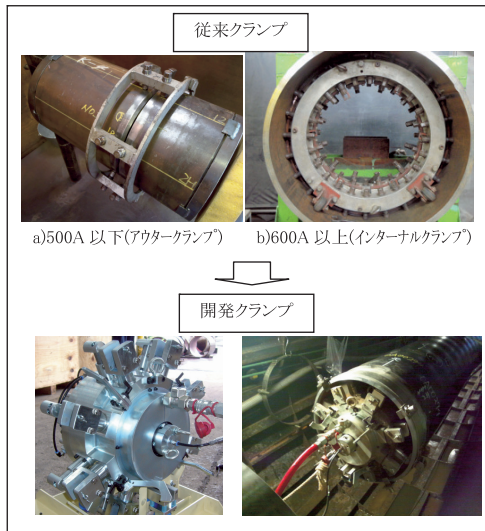


図9 従来クランプと開発クランプの比較(写真)
fig.9 Conventional clamp and newly developed one (Photo)

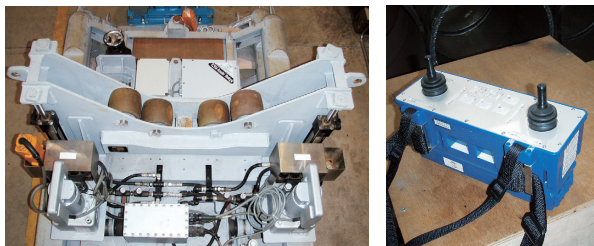


図10 リモコン式鋼管芯出し台車
fig. 10 Pipe centering truck of a remote controlled type (Photo)



図11 配管芯出し状況(写真)
fig.11 Operation of pipeline centering (Photo)

7 現地施工実績

2011年8月より静浜幹線建設工事／シールドトンネル内配管工事に本溶接法を適用した。静浜幹線建設工事は静岡県清水市のLNG基地を始点に同県浜松市の中部ガス南部供給所までの約108kmを結ぶ高圧ガス幹線パイプラインであり、その内の約82kmに対して配管工事を実施した。本溶接方法をA工区の5箇所シールドトンネルに導入し、2013年5月17日に当該区間の工事を完了した。静浜幹線建設工事路線図を図12、施工実績を表3に、現地溶接状況を図13に示す。



図12 静浜幹線建設工事路線図
fig.12 Route map of the Shizuoka trunk line construction

表3 施工実績
table.3 A record of the pipeline construction

| 鋼管 | 総施工延長 | 総溶接リング数 | 初回合格率 |
|----------------------------|--------|---------|-------|
| API 5L X60 500A×12.7mmt | 11.2km | 935R | 99.2% |

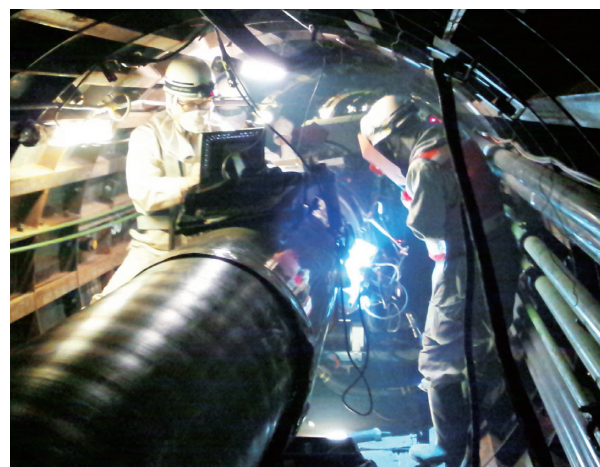


図13 シールド内溶接状況(500A×12.7mm t X60)(写真)
fig.13 Pipeline construction in shield tunnel (photo)

配管溶接の実績は、総延長11.2km であり、溶接数は935R、初回合格率99.2%、進捗3～4R/日である。従来法との作業能率比較を図14に示す。従来法に対して34%の大幅な作業時間短縮を達成した。

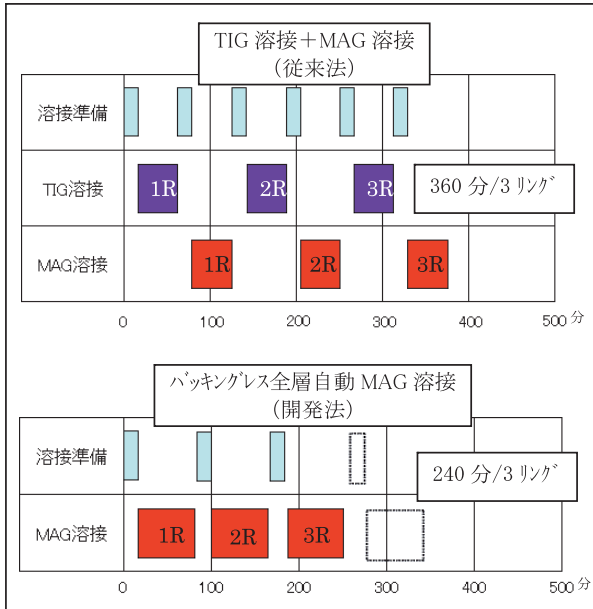


図14 シールド内配管工事 タイムサイクルの実績比較 (500A×12.7mm t X60)
fig. 14 Comparison of cycle time of girth welding in shield tunnel between conventional process and new one

8 結言

国内初のバックングレス全層自動 MAG 溶接技術を開発し、現地シールド内配管工事において、大幅な省力、時短、脱技能を同時に達成する事が出来た。今後も本溶接法の積極的な展開を図り配管施工技術の向上に寄与していく予定である。

現地導入に際し、ご指導頂きました、静岡ガス(株) 殿、静岡パイプライン(株)殿に深く感謝申し上げます。