

溶接管理技術者の体験紹介

高品質な高圧ガスパイプラインの施工能率向上

JFE エンジニアリング株式会社

井上 弘章

1. はじめに

ガスパイプラインの建設は、海外では1930年代から国内では1950年代から整備が開始され、現在でもガスパイプライン建設は活発に行われている。

海外でのパイプライン建設は、陸上パイプラインと海底パイプラインに大別される。陸上パイプラインにおいては、原野などに巾20~50m程度のパイプライン専用帯を借用し、数十kmにわたって管材料、施工機械、熟練工を配置した後、土木・配管工事などを流れ作業で施工を行うスプレッド工法が一般的で、配管能率は1日1~3kmと高速施工が行われている。図1にスプレッド工法の概要を示す。

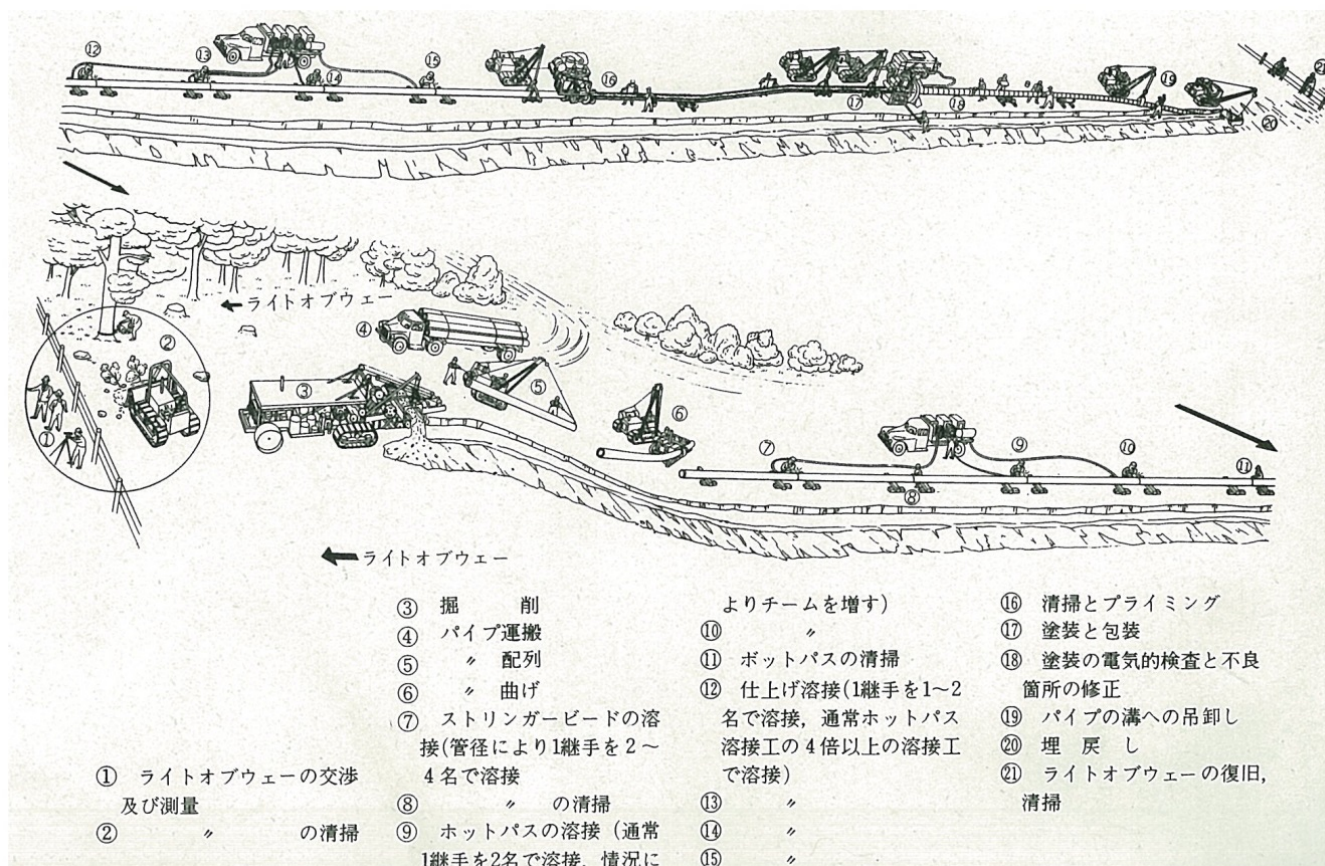
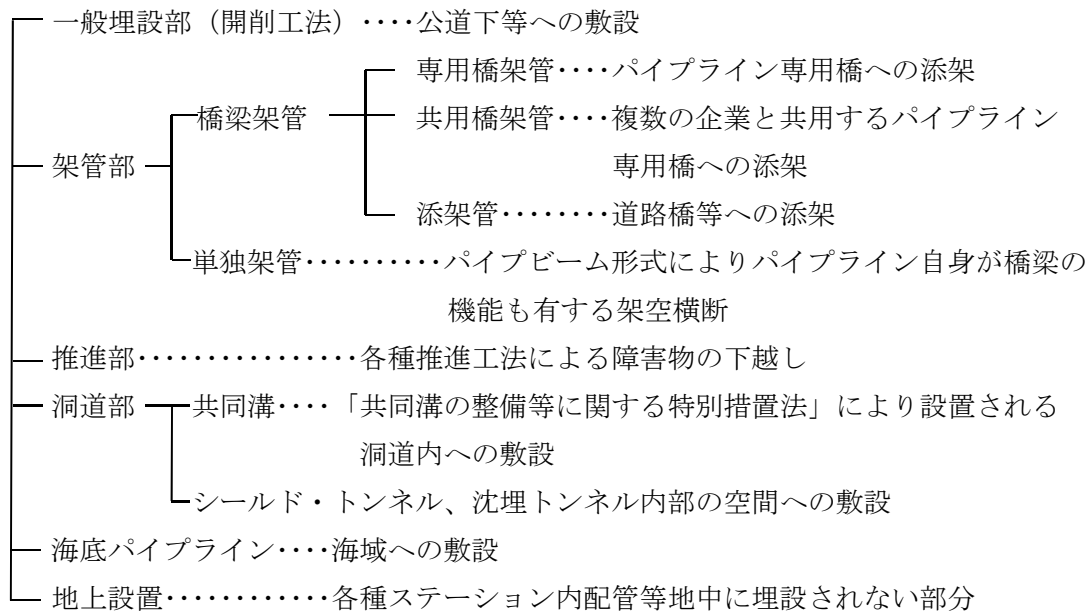


図1 スプレッド工法の概要¹⁾

一方、国内でのパイプライン建設は、公有地である道路下への埋設が大部分を占め、道路に巾 4m × 長さ 70m 程度の工事帯を占有し、全作業を尺取虫的に施工する開削工法が一般的で、配管能率は 1 日 12~24m 程度と極めて少ない。従って開削工法は、土木の掘削能率が配管能率を支配し、溶接能率向上が必ずしも配管能率向上に寄与しないケースが多い。しかし近年は、表 1 に示すような河川、道路、鉄道などを横断する推進部の推進工法や、パイプラインルート上に立抗を掘り立抗間をシールドトンネルでつなぐ洞道部のシールド工法の比率が増えてきている。これらの工法では、溶接能率の向上が直接配管能率の向上に繋がるケースが多く、溶接のスピードアップが強く求められてくるようになった。

表 1 パイプラインの敷設形態の分類²⁾



2. 背景

本稿で対象とする国内ガスパイプライン建設工事は、鋼種 API 5L L450 (X65、降伏応力：450MPa 級)、管径 600A (A：呼び径、外径 610.0mm φ)、管厚 17.6mm の鋼管を、2 年 10 か月の短期間工期で配管総延長約 80km、溶接継手数約 10,000 継手を開削工法、推進工法およびシールド工法により建設する工事である。その中で施工能率の向上を計り、なおかつ客先の高い要求仕様を満足することが課題であった。

3. 溶接仕様の特徴

国内ガスパイプライン建設工事の溶接仕様は、一般的な溶接仕様の他に、通常溶接継手オーバーマッチが求められる。一方、硬度試験の要求仕様は上限を決められており、傾向として強度は高く、溶接部の硬度は抑える厳しい仕様となっている。

4. 現状の溶接施工

弊社は、1970年よりパイプライン自動溶接の現地導入を開始し、溶接品質の向上およびオペレータの技量に依存しないことを目的とした自動溶接の開発を進めてきた。近年の高圧ガスパイプラインにおける溶接施工は、ほぼ100%（小口径を除く）自動溶接を用いて行っている。

弊社で使用しているパイプライン自動溶接の特徴を以下に示す。

- ① 溶接法は、ワイヤ径0.9mmのソリッドワイヤを用いたマグ溶接（混合ガス）であり、比較的高能率な全姿勢溶接が可能である。
- ② 溶接ヘッドは、小型（高さ200mm）、軽量（重さ約18kg）であるため、**図2**に示すように掘削溝内や狭隘部での溶接作業が可能である。
- ③ 開先は、**図3**に示すように40°～60°V開先（片面溶接）を採用しており、現地での開先加工も容易である。
- ④ 溶接ガイドレールを交換するだけで管径200A（A：呼び径）以上の各径への適用が可能である。
- ⑤ あらかじめプログラムされた溶接条件データと、アークセンサによるトーチ上下および開先線倣いの組み合わせにより、スタートから仕上層まで連続溶接が可能である。
- ⑥ 溝付き裏当て銅板を装着した、**図4**に示すような機械式内面クランプを用いることにより、初層からの裏波自動溶接が可能である。
- ⑦ CCDカメラにより溶接部を監視する機能が付いており、オペレータは遠隔で溶接監視することができる。

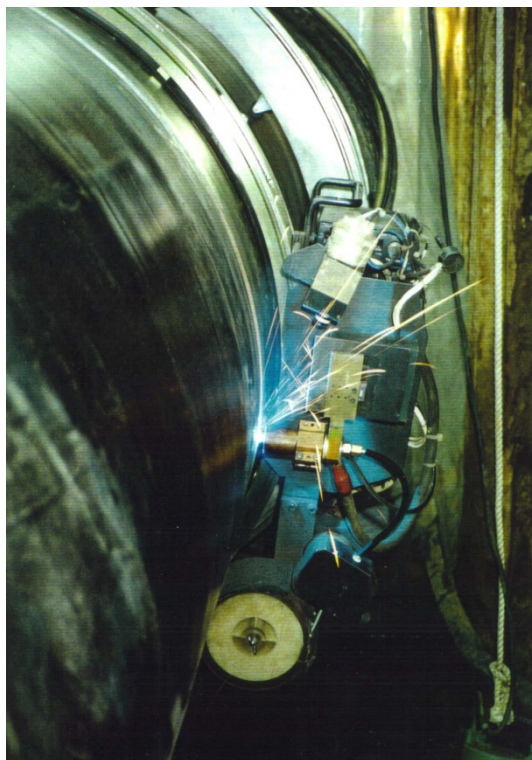


図2 パイプライン自動溶接機

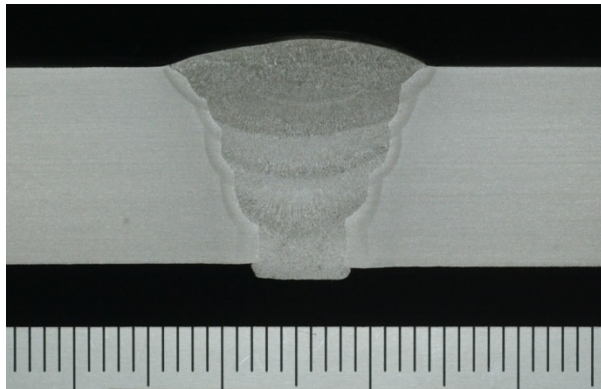


図3 自動溶接断面マクロ（40°V 開先の一例）

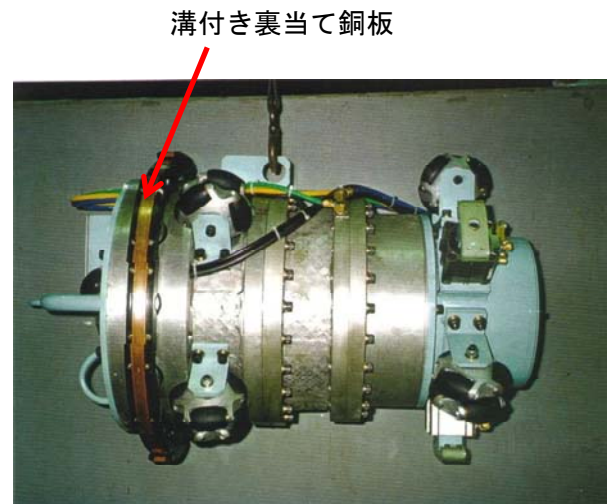


図4 機械式内面クランプ

パイプライン自動溶接機は、国内における高圧ガスパイプラインの現地溶接を行っている主力溶接機であり、年間約 5,000 継手を施工している。

5. 現状の問題点

5.1 溶接施工法

(1) 自動マグ溶接

従来の自動マグ溶接の溶接施工法は、JIS Z 3312 による 650MPa 級のソリッドワイヤを用いてシールドガス 50%Ar+CO₂であった。シールドガス 50%Ar+CO₂の溶接施工法は、鋼種 API 5L L450 (X65) の母材に対して、継手イーブンマッチの強度になるケースが多く、溶接品質を確保した上で継手オーバーマッチの強度が求められていた。

(2) 補修ティグ溶接

補修ティグ溶接は、鋼種 API 5L L450 (X65) の母材に対して溶接品質を確保した上で継手オーバーマッチの強度かつ硬度を抑える溶接施工法が求められていた。

5.2 溶接時間

現状の溶接時間は、全層マグ自動溶接で 1 継手当たり約 100 分であった。推進工法やシールド工法の現場では、溶接時間がクリティカル作業になるケースが多く、溶接品質を確保した上で、溶接時間が少しでも短くなることが求められていた。

6. 改善した溶接施工のポイント

6.1 溶接施工法

当該工事の溶接施工法は、全層自動マグ溶接、初層ティグ溶接+自動マグ溶接からなる本溶接および各々の補修溶接である。

(1) 自動マグ溶接

自動マグ溶接は、JIS Z 3312 による 650MPa 級のソリッドワイヤを用い、シールドガス成分を 50% Ar+CO₂ から 80%Ar+CO₂ へと Ar ガス比率を高くし、数十 MPa (数 kgf/mm²) の強度アップを図った。シールドガスのガス比率を変えた場合の溶接金属の化学成分の変化を図 5 に示す。酸素と親和力の強い Si、Mn はシールドガス中の CO₂ の割合が減ると、溶鋼中の酸素量が減少し、これら元素の歩留り（合金元素移行率）が増える。その結果、図 6 に示すような CO₂ ガス比率が減少すなわち Ar ガス比率が増すことにより溶接金属の引張強さが増大する。

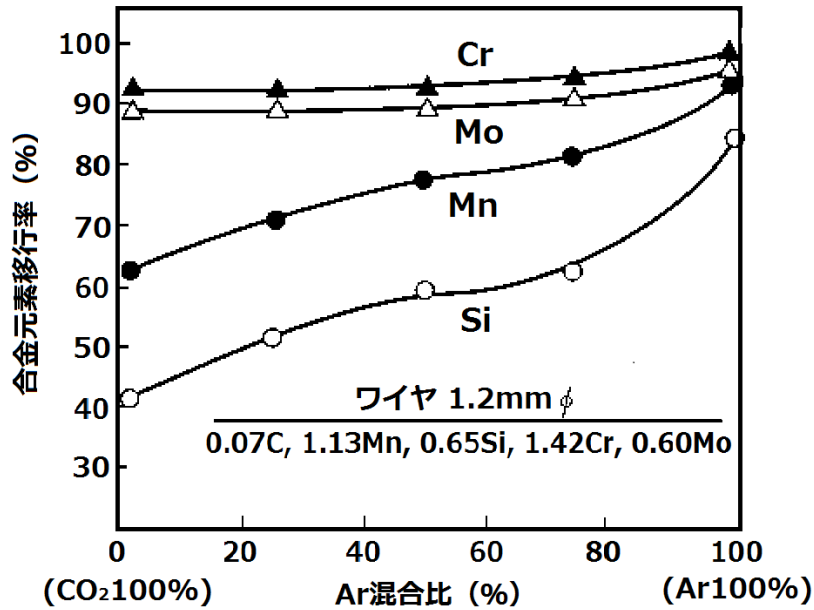


図 5 Ar 混合比と合金元素移行率の関係³⁾

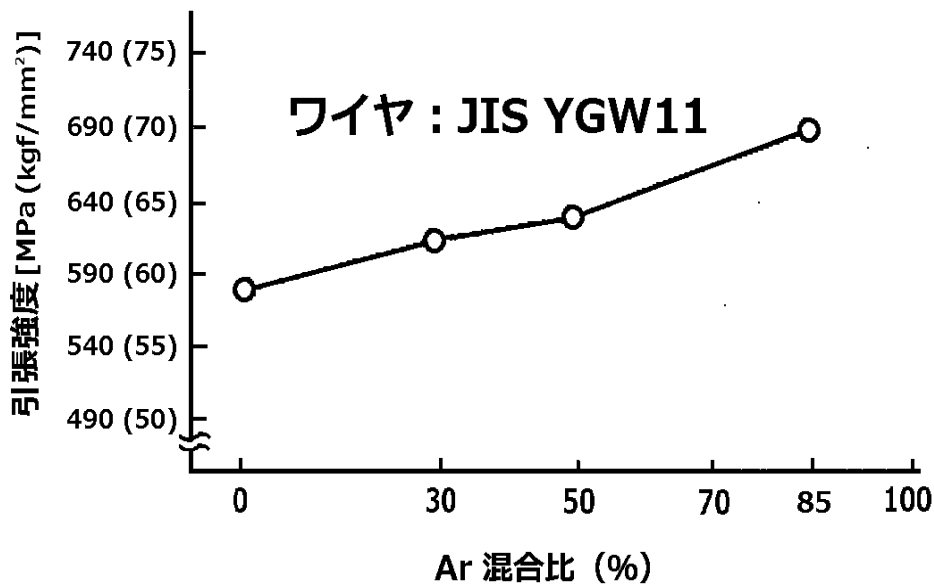


図 6 シールド組成と溶接金属の引張強度との関係⁴⁾

(2) ティグ補修溶接

補修溶接は、全層ティグ溶接であるが、中間層で JIS Z 3316 による 700MPa 級の溶加棒を用い、再熱による硬度低下が期待できない仕上層では、従来通りの 600MPa 級の溶加棒を用いた。溶接パス数と溶接部硬度の関係イメージを図 7 に示す。

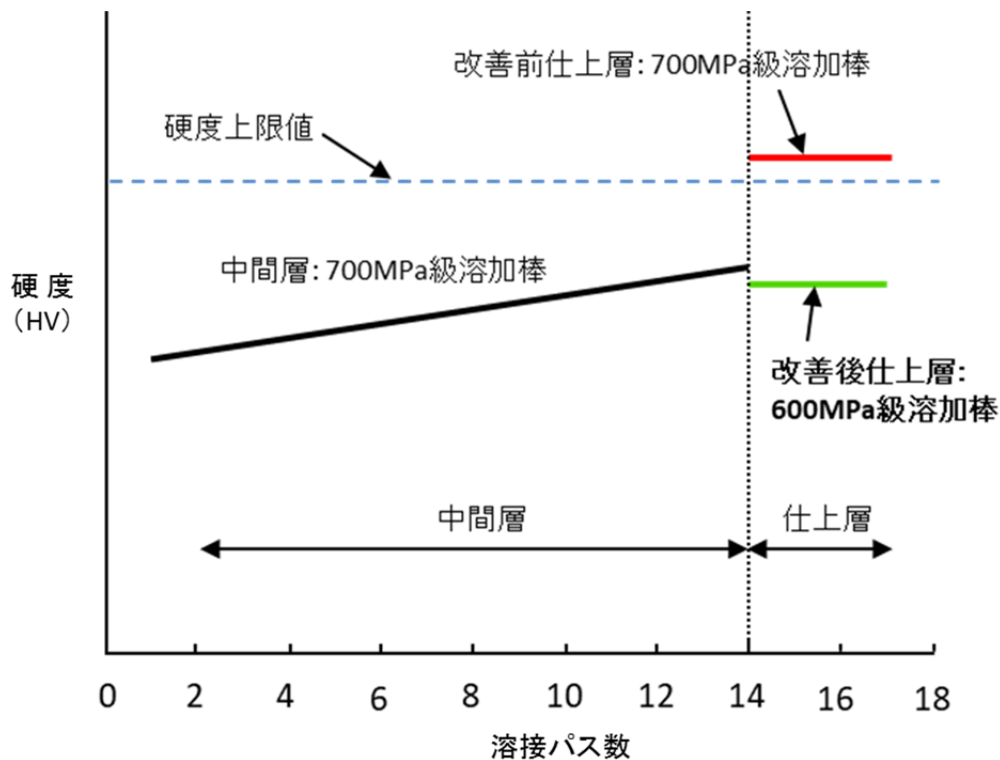


図 7 ティグ補修溶接のパス数と溶接部硬度の関係 (イメージ)

以上の結果、改善した溶接施工法は、溶接継手オーバーマッチかつ硬度上限値をクリアする事ができた。

6.2 溶接時間

自動溶接における溶接時間は、更なる高能率が要求される一部の推進工法等の溶接時間がクリティカルになる現場に対応するため、開先のルート間隔を従来より狭く (4.5mm→2.0mm) して開先断面積の縮小を図り、溶接時間を短縮した。

7. 試験結果

7.1 溶接施工法

改善した溶接施工法により溶接施工法確認試験を行った。非破壊検査は、外観検査、JIS Z 3104 による放射線透過検査および JIS Z 3060 による超音波探傷検査を行った。

検査結果は、本溶接および補修溶接が外観検査において合格、放射線透過検査において 1 類、超音波探傷検査においてきずを認めずとなり、全ての項目で客先基準を満足した。溶接施工法確認試験の状況を図 8 および図 9 に示す。

また、継手性能確認試験として継手引張試験、シャルピー衝撃試験、硬度・マクロ試験および表曲げ試験、裏曲げ試験を行い、全ての項目で客先基準を満足した。



図 8 溶接施工法確認試験（自動マグ溶接）



図 9 溶接施工法確認試験（ティグ補修溶接）

7.2 溶接時間

自動溶接における溶接時間は、開先のルート間隔を従来より狭く（4.5mm→2.0mm）して開先断面積の縮小を図り、1 継手当たり約 20 分短縮した。

8. 現地施工結果

溶接施工法確認試験の結果、開削工法については、計画通りの高能率施工に寄与した。この開削工法による溶接継手数は、2017 年 12 月から 2019 年 5 月までに約 4,220 継手を現地溶接にて行い、非破壊検査合格率は 99.8% と良好な結果で推移している。

一方、ルート間隔を狭くした溶接施工法は、推進工法の一部に導入を図り、非破壊検査合格率 100% と良好な結果である。

9. おわりに

現地施工における高品質な溶接を維持しながら、短期間工期で配管総延長約 80km を達成するために、今後も引き続き本開発技術のサポートをしてゆく所存である。

参考文献

- 1) 配管・導管溶接の実際 1995 年、産報出版
- 2) 新体系土木工学 96 パイプライン 1991 年、技報堂出版
- 3) 溶接・接合技術特論 2003 年、産報出版
- 4) 接合・溶接技術 Q&A1000 1999 年、産業技術サービスセンター

井上 弘章 (いのうえ ひろあき)

**溶接管理技術者特別級
国際溶接学会 IIW (IWE)**

<略歴>

1989年 関東学院大学 工学部土木工学科 卒業

1989年 日本鋼管工事株式会社 (現 JFE エンジニアリング株式会社) 入社
技術部 溶接技術室 配属

1992年 技術開発センター 研究開発部 配属

2005年 国際溶接学会 IIW (IWE) 資格取得

2013年 パイプライン本部 技術部 溶接技術グループ 配属

2016年 エネルギー本部 ガス事業部 導管技術部 溶接技術グループ 配属

2019年 エネルギー本部 パイプライン事業部 東日本導管建設センター
溶接工事・機材室 配属

現在に至る