

溶接管理技術者の体験紹介

鉄骨 H 柱溶接ロボットシステム

株式会社神戸製鋼所
岸川 浩久

1. はじめに

ここ数年における建築鉄骨向鋼材需要量は、500 万 t 付近で安定して推移しており、東日本大震災後の復興需要や 2020 年に開催される予定であった東京オリンピック需要を背景に、建築鉄骨の加工、製作を行う鉄骨ファブリケータ（以下、鉄骨ファブ）では一定の加工量確保が継続している。

一方、鉄骨ファブの製造現場においても他の産業と同様に高齢化による溶接工の減少や、熟練から若手への技量継承の遅れ、設計遅延による工場加工の短納期対応など様々な問題に直面している。そのため、鉄骨ファブでは中小企業を対象としたものづくり補助金など政府施策の追い風も背景として、数年前から一次加工機や自動溶接装置への設備投資を計画、実行しており、建築鉄骨向溶接ロボットの新規導入や更新、増設を進めている。

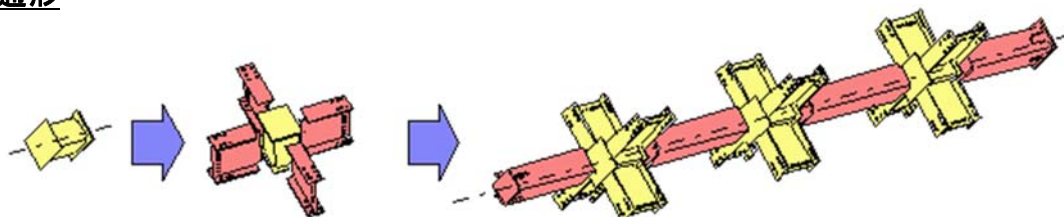
この様な状況の中、溶接ロボットには多能工化、省力化などの生産性の向上に加え、溶接技術、加工技術の進展とともに、より高い水準の溶接品質を安定して提供することが求められる。

また、国内だけではなく海外の鉄骨ファブにおいても厚板の構造物を対象とした溶接自動化のニーズは高く、各国の建築鉄骨部材および鉄骨ファブの製作工程に適した溶接自動化装置の開発が求められている。

2. 鉄骨 H 柱溶接ロボットシステムの開発背景

建築鉄骨における柱梁接合部の構造形式は、梁貫通形（通しダイアフラム式）と柱貫通形の大きく 2 つに分けられる。（図 1）

梁貫通形



柱貫通形

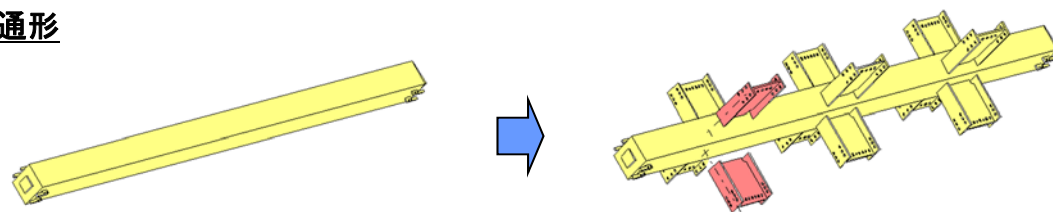


図 1 梁貫通形と柱貫通形

諸外国では柱貫通形が圧倒的多数を占めているのに対し、日本国内の工場、ビル物件では角形および円形鋼管を柱材とした梁貫通形が主流となっており、以下に示す理由から溶接ロボットによる自動化が大きく進んでいる。

- ① 建築工事標準仕様書[JASS6]や冷間成形角形鋼管設計・施工マニュアルなどにより設計、施工基準が定められており、内容にロボット溶接も盛り込まれている。
- ② 角形および円形鋼管の製造品質が高く安定しており、ロボット溶接適用に向いている。
- ③ 能率および品質面において有利な下向姿勢の周溶接が主体であり、自動化の効果が得られ易い^{1),2)}。

一方、近年では鉄骨ファブにおける梁貫通の角形鋼管および円形鋼管柱の溶接自動化が広く定着してきたことから、更なる自動化の対象として、H柱（H形鋼）および外ダイアフラム（主にCFT：コンクリート充填鋼管）柱など柱貫通方式柱への適用ニーズが高まっている。当社においてもこれまでこれらの自動化に向けた取り組みを少なからず実施してきた。しかしながら、前述した日本独特の環境もあり、未だにH柱に関する溶接自動化は、サブマージアーク溶接でH形断面に組立てる、いわゆるビルトHの製作を除いてほとんど進んでいない。

このことから、当社は鉄骨分野におけるロボットによる自動化の対象・エリアを更に拡大するためのメニューとして、H柱の溶接自動化装置の開発に取り組んでいる。また、本装置はこれまでに培った日本における鉄骨溶接技術をベースとして開発することで、諸外国でのH柱溶接の自動化への展開も期待されている。

3. 対象ワークおよび継手

本システムは、形状および寸法がJISで定められたH形鋼だけでなく、ビルトHも溶接対象としており、薄肉で軽量のワークから極厚の重量ワークまでの多様なワーク形状に対応すること、および溶接継手の種類も水平すみ肉から開先内の多層盛溶接まで幅広く対応することを目標とした。図2に本システムが対象としているワーク、表1に対象継手の例をそれぞれ示す。

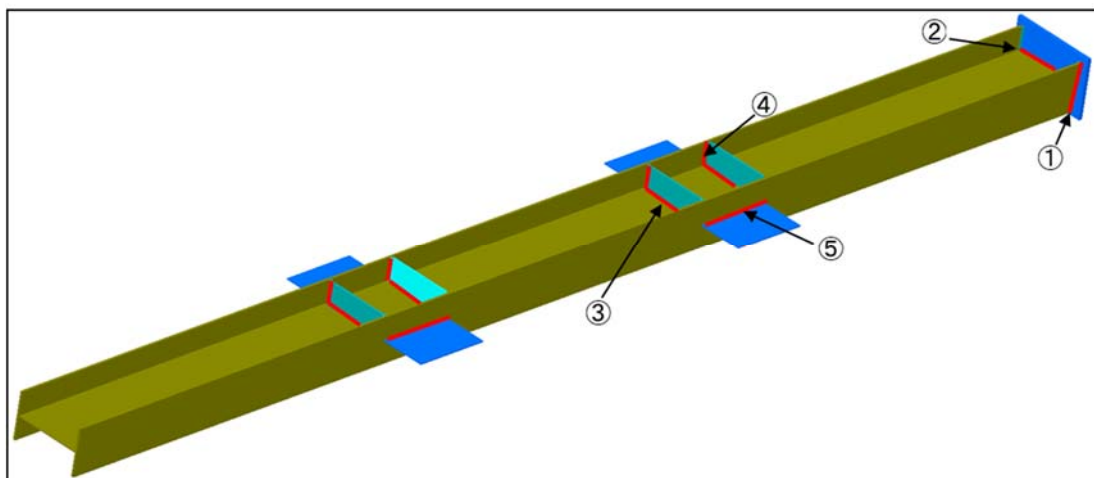


図2 対象ワーク

表1 溶接対象継手

番号	対象継手	備考
①	へ-スプレート×フランジ	開先深さ：9～60mm
②	へ-スプレート×ウェブ	脚長：4～16mm
③	スチフ×ウェブ	
④	スチフ×フランジ	
⑤	プレート×フランジ	

4. システム構成

鋼管とダイアフラムの突合せ溶接であれば、溶接ロボットは床置きでオープンな柱上面にアプローチできるが、H 柱に適用するには、溶接ロボットと反対側に位置する柱の側面下部の継手（スチフナ×フランジ）へ溶接ロボットを到達させる必要がある（図 3、図 4）。そのため、鉄骨 H 柱溶接ロボットシステムでは、天吊型の溶接ロボットに 2 軸移動装置およびポジショナを組み合わせることで広い動作範囲を実現している。今回開発した鉄骨 H 柱溶接ロボットシステムの外観を図 5 に示す。

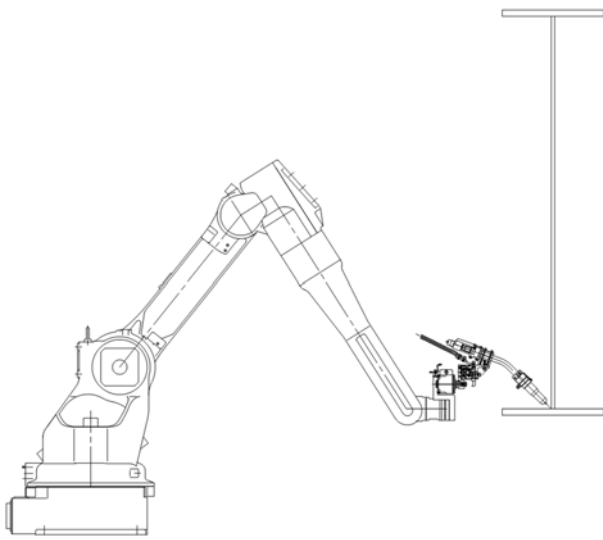


図 3 床置き型溶接ロボット

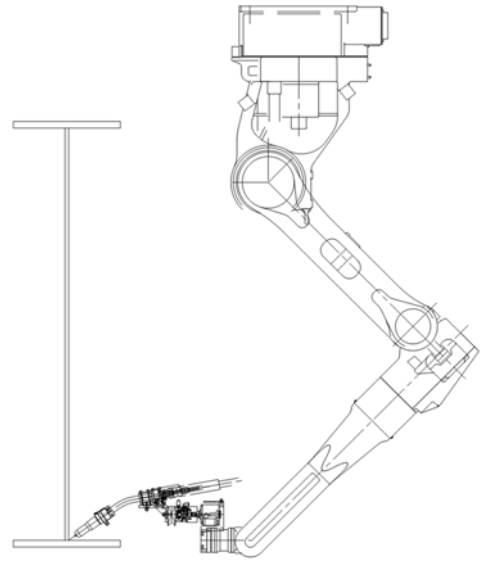


図 4 天吊り型溶接ロボット



図 5 鉄骨 H 柱溶接ロボットシステム

5. ロボット専用フラックス入りワイヤおよびH柱向け溶接施工条件の開発

H柱の自動化に関する市場調査、および社内における溶接評価試験により、本溶接ロボットシステムに最適な溶接材料および溶接施工条件を開発した。

5.1 溶接材料の開発

ソリッドワイヤと比較してフラックス入りワイヤ（以下、FCW）は溶着速度が大きく、ビード外観が綺麗であり、低スパッタ溶接が可能であることから後工程作業なども大幅に低減できるため、溶接工程のコストダウンが図れる。また、鉄骨 H 柱の溶接継手には水平すみ肉と開先内の多層盛溶接が存在し、それぞれの継手に合わせた材料特性が求められることから、本システムではワイヤの成分を細かく調整可能な FCW を採用した。

一般に、水平すみ肉溶接で脚長が 9mm 以上になると 2～3 パスの積層法を採用するが、この時、各パスにおけるスラグが自然剥離し易いと、溶接後のひずみにより前パスのスラグが不安定に剥離し、連続溶接においては次パスのビード外観が不良となる（図 6）。そのため、水平すみ肉の連続多層盛溶接では、溶接後のスラグが自然剥離せずに留まることが求められる。図 7 は、この場合に得られたビード外観である。また、開先内の多層盛溶接には、少ないスラグ量と良好な剥離性が求められる。そのため、本溶接システムに採用する溶接材料として、前述した両方の溶接に必要な特性を満足する FCW（以下、開発 FCW と記載）を開発した。表 2 に開発 FCW を用いたロボットシステムでの溶接諸元を、表 3 に溶着金属の機械的性質および化学成分をそれぞれ示す。



図 6 スラグ剥離性（高）



図 7 スラグ剥離性（低）

表 2 溶接緒元

溶接材料	新開発ワイヤ (φ1.4mm)
溶接姿勢	1F,2F,3F
極性	電極プラス
シールドガス	100% CO ₂
溶接電流	310A
アーク電圧	31V
溶接速度	250～700mm/min

表3 新開発ワイヤ による溶着金属の機械的性質および化学成分の一例

引張試験			シャルピー 衝撃試験	化学成分 (mass%)				
0.2%YS(MPa)	TS(MPa)	El(%)	vE-18°C(J)	C	Si	Mn	P	S
445	535	32	90	0.04	0.57	1.60	0.008	0.006

5.2 開発 FCW を用いた連続多層盛溶接

開先内の連続多層盛溶接ではサイクルタイム短縮を目的として可能な限り中間層のスラグ除去を実施せずに複数パス連続で溶接することが求められる。溶接後はビード表面がスラグに覆われるため、スラグ巻き込みが発生し難いビード形状を安定して実現することが重要となる。そのため、溶接施工には対象ワークの形状、板厚、溶接長、継手数、ルートギャップなど様々な観点から溶接条件、積層法、スラグ除去タイミングや次パスのアークスタート性を考慮した狙い位置を決定することが必要であり、溶接テストを繰り返すことで最適な溶接施工条件を確立した。

6. 溶接施工評価

開発 FCW による代表的な継手のビード外観および断面マクロ写真を図 8 に示す。水平すみ肉溶接、および開先内の多層盛溶接共にスパッタも少なく、滑らかなビード外観が得られた。また、断面マクロにおいても深く幅広い溶け込みを得ることができ、健全な溶接を実現できている。


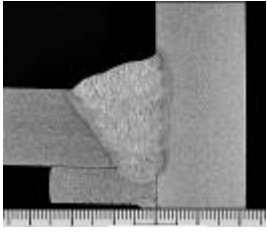

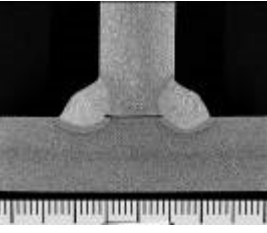

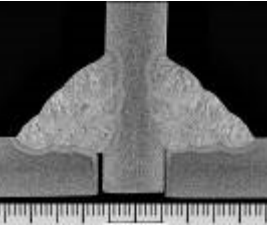
継手番号	継手形状	ビード外観	断面マクロ
1	35°レ形開先 板厚 19mm 6層 - 8パス		
2-5	すみ肉溶接 脚長 6mm 1層 - 1パス		
	すみ肉溶接 脚長 16mm 3層 - 6パス		

図8 ビード外観および断面マクロ写真
(継手番号は図1対象ワークを参照)

7. 鉄骨 H 柱自動プログラミングソフトウェア

H 柱は溶接継手も多く形状も多様であるため、個々のワークに合わせた溶接ロボットのティーチング作業は時間を要する。そのため、板厚や寸法など必要最小限の情報を入力するだけで溶接ロボットが自動的に動作プログラムおよび溶接条件を生成するソフトウェアを開発した。本ソフトウェアの寸法入力画面では、入力中（選択中）の継手の色を変更、継手の選択に応じた部材表示、柱全長に対する概略図の継手配置など、視覚情報を利用することでオペレータによる操作性を向上させている（図 9）。また、天吊型のロボットシステムでの溶接トーチケーブル処理を考慮した溶接箇所への進入、溶接、退避までの一連の動作の最適化、およびスラグ除去タイミングを工夫することによりサイクルタイムの向上も実現している。

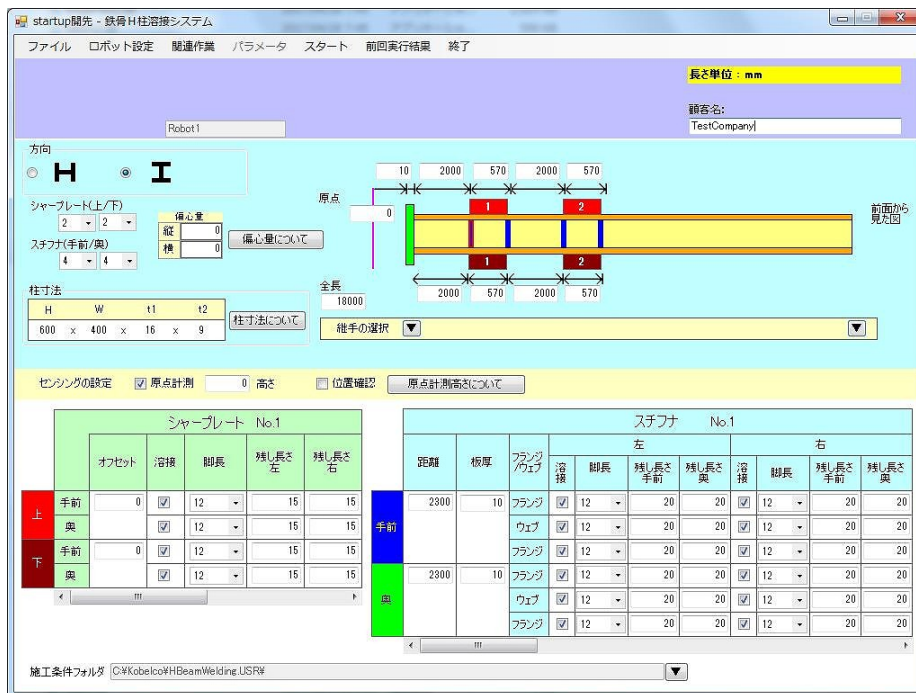


図 9 自動教示ソフトウェア画面

8. 導入効果

H 柱の継手にはすみ肉溶接が多く、サイクルタイム中で溶接時間に対してセンシングや関連機器への動作など非溶接時間の割合が鋼管柱の周溶接と比べて高い傾向となるが、半自動溶接と比較した場合には十分な導入効果を発揮できると評価されている。一例として本装置によるサイクルタイム試算を表 4 に示す。

また、溶接ロボットは、人による溶接作業と比較して突出し長さを一定にして溶接することができ、溶接条件面のばらつきが小さくなることで溶接品質が安定する。さらに、生産性や品質面だけでなく、入熱の記録など人による溶接では実際に正しく管理が実施されているかの確認が難しい問題に対しても、溶接ロボットであれば、継手毎に溶接施工結果を保存することができるため、トレーサビリティ確保といった管理面においても期待されている。

表4 サイクルタイム試算
(継手番号は図1対象ワークを参照)

番号	項目	溶接長さ	脚長
1	ヘースプレート×フランジ (表面)	400mm	16mm
	ヘースプレート×フランジ (裏面)	200mm	
2	ヘースプレート×ウェブ	600mm	
3	スチフナ×ウェブ	600mm	
4	スチフナ×フランジ	200mm	
5	プレート×フランジ	570mm	

項目	半自動溶接 (1人)	ロボット (1台)
溶接時間	1,054 分	638 分

9. むすび

開先内の多層盛溶接と水平すみ肉溶接を両立する FCW の開発や最適な溶接施工条件、および溶接ロボットによる対象継手へのアプローチ方法の検討など、既存 (梁貫通形) の建築鉄骨向溶接ロボットシステムにはない新しい開発に取り組み、これまで自動化されていなかった H 柱の自動化を実現することができた。

日本国内では高齢化と人口減少が進んでおり、溶接士の確保が難しいことから溶接ロボットへの期待は益々高まっている。今後も高能率化による生産性の向上や溶接品質の向上と合わせて、自動化の拡大を進めることで、鉄骨ファブリケータの期待に応えていきたい。

参考文献

- 1) 橋本潔ほか. R&D 神戸製鋼技報, Vol.54, No.2 (2004) P72-75
- 2) 横田順弘ほか. R&D 神戸製鋼技報, Vo.163, No.1 (2013) P42-47
- 3) 澤村直希. 神戸製鋼ぼうだより 技術レポート Vol.52, (2012-1, P1-4)
- 4) IIW Doc.XII-2380-18 Welding Solution for H-shaped Steel Columns

岸川 浩久 (きしかわ ひろひさ) 溶接管理技術者特別級

<略歴>

2006年 株式会社神戸製鋼所 入社 溶接システム部 配属
現在に至る