

(技術資料)

鉄骨H柱溶接ロボットシステム

Robot System for Welding H-beam Steel Frames



岸川浩久*1
Hirohisa KISHIKAWA



宮田俊介*1
Shunsuke MIYATA



横田順弘*1
Masahiro YOKOTA



高田篤人*1
Shigeto TAKADA

We have developed a welding robot system dedicated to H beams, an area in which automation has, so far, not progressed, to expand the subject and area of automated welding in the field of construction steel frames. A wide range of applications has been realized through the development of the optimum hardware, software, welding consumables and welding conditions for various joints such as horizontal fillet welding and multi-layer welding in grooves. The present system is expected to be used for automating H-beam welding, not only in Japan, but also in foreign countries.

ま え が き = ここ数年における建築鉄骨向け鋼材需要量は500万t付近で安定して推移している。東日本大震災後の復興需要や2020年に開催される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ーカー（以下、鉄骨ファブという）では一定の加工量が継続して確保されている。

そのため、鉄骨ファブでは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、建築鉄骨向け溶接ロボットの新規導入や更新、増設を進めている。

このような状況の中、溶接ロボットには多能工化や省力化などの生産性の向上に加え、溶接技術および加工技術の進展に伴って、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い。このため、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。

本稿では、建築鉄骨溶接の自動化における取り組みとして新たに開発した鉄骨H柱溶接ロボットシステムについて紹介する。

1. 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、梁貫通式（通しダイアフラム式）と柱貫通式の大きく2つに分けられる。諸外国では柱貫通式が圧倒的多数を占めているのに対し、日本国内の工場やビル物件では角形および円形鋼管を柱材とした梁貫通式が主流となっている。梁貫通式では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って設計・施工基準が定められており、その内容にロボット溶接も盛り込まれている。
- ②梁貫通式の柱材となる角形および円形鋼管の製造品質が高く、安定している。
- ③施工能率および品質面において有利な下向き姿勢の周溶接が主体であり、自動化の効果が得られやすい^{1), 2)}。

いっぽう、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。このため、H柱（H形鋼）および外ダイアフラム（主にコンクリート充填鋼管（CFT））柱など柱貫通方式柱を対象とした自動化のニーズがさらに高まっている。当社および多くの同業他社においては、これまで柱貫通式柱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から梁貫通式柱の自動化を優先的に進めてきた。また、柱貫通式柱では水平および横向き姿勢による溶接が必要となるため、下向き溶接と比較して作業能率が低下する。このような理由などから、H柱の溶接自動化は、溶接でH形断面に組み立てるビルトHの製作（サブマージアーク溶接）を除いてほとんど進めることができていない。

こうした背景から、当社は鉄骨分野における溶接自動化の対象・エリアをさらに拡大するためのメニューとしてH柱を対象とした溶接システム（以下、本システムという）の開発に取り組んでいる。本システム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しており、諸外国におけるH柱溶接自動化への展開も期待されている。

*1 溶接事業部門 技術センター 溶接システム部

2. 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も溶接対象としている。また、薄肉で軽量のワークから極厚の重量ワークまで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。本システムが対象とするワークを図1に示す。H柱に対してベースプレート、スチフナ、およびシャーププレートなどの部材が溶接される形態である。これらの対象となる溶接継手は表1に示す5種類としている。

3. 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、溶接ロボットは図2に示すような床置き型の配置でオープンな柱上面にアプローチできる。しかし、H柱に適用するには、図3に示すような柱部材を乗り越えた姿勢で柱の側面下部の継手へ溶接ロボットを到達させる必要がある。そのため、鉄骨H柱溶接ロボットシステムでは、図4に示すとおり、天吊型の溶接ロボットに2軸移動装置およびポジションを組み合わせることで広い動作範囲を実現している。

4. H柱向け溶接施工条件の開発

H柱溶接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。

4.1 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という）は溶着速度が大きく、ビード外観が良好で、低スパッタ溶接が可能である。このため、後工程作業なども大幅に低減でき、溶接工程のコストダウンが図られる。また、鉄骨H柱の溶接継手には水平すみ肉

表1 対象溶接継手
Table 1 Target welded joint

No	Target welded joint	Remark
1	Base plate×Flange	Groove depth : 9~60mm
2	Base plate×Web	Leg length : 4~16mm
3	Stiffener×Web	
4	Stiffener×Flange	
5	Plate×Flange	

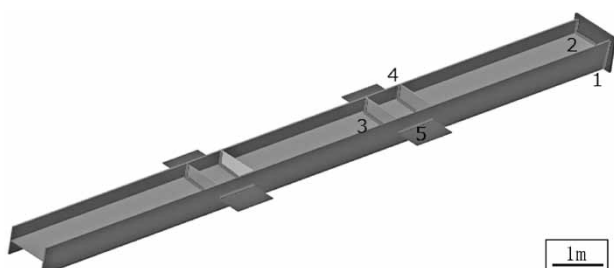


図1 対象ワーク
Fig.1 Target work

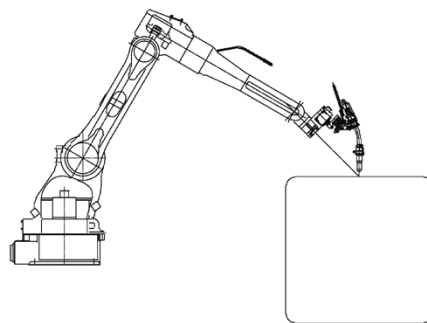


図2 床置き型
Fig.2 Floor mounted type

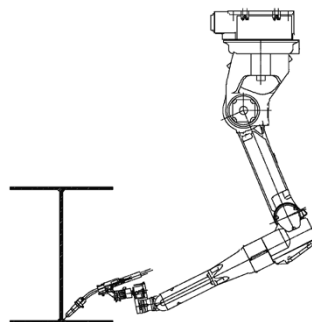


図3 天吊り型
Fig.3 Overhead mounted type



図4 鉄骨H柱溶接ロボットシステム
Fig.4 Structural steel welding robot system for H column

と開先内の多層盛溶接が存在する。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9 mm以上になると2~3パスの積層法を採用する³⁾。連続多層盛溶接においてスラグが部分的に自然剥離すると、スラグが剥離（はくり）した部分では溶接中に熔融池が流れ落ち、次パスのビード形状が不安定となる（図5）。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（とど）まることが求められ、自然剥離することがなければ、整ったビード外観が安定して得られる（図6）。

いっぽう、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FAMILIARCTM注1) MX-50Rを開発した。FAMILIARCTM MX-50Rを用いた本システムの溶接諸元を表2、溶着金属の機械的性質および化学成分を

脚注1) FAMILIARC (FAMILIARCTM) は当社の商標である。

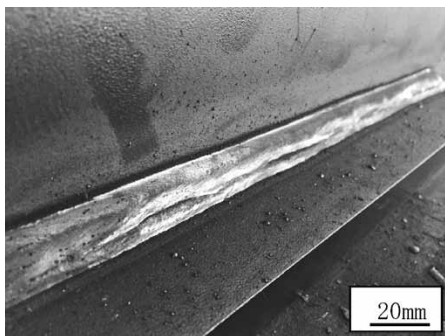


図5 スラグ剥離性 (高)
Fig.5 Slag removability (High)

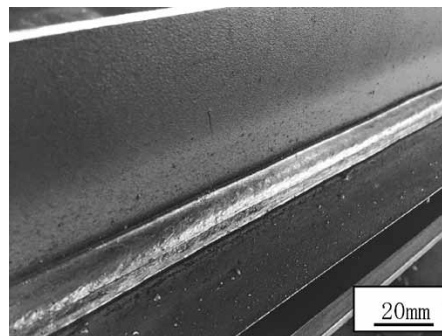


図6 スラグ剥離性 (低)
Fig.6 Slag removability (Low)

表2 溶接諸元
Table 2 Welding specifications

Welding consumable	FAMILIARC™ MX-50R (φ 1.4mm)
Welding Position	1F, 2F, 3F
Polarity	DC-EP
Shielding gas	100% CO ₂
Voltage	29~33V
Current	280~330A
Welding Speed	250~700mm/min

表3 FAMILIARC™ MX-50Rによる溶着金属の機械的性質および化学成分の一例
Table 3 Typical mechanical properties and chemical compositions of deposited metal with FAMILIARC™ MX-50R

Tensile property			Impact property	Chemical Compositions (mass%)				
YS(MPa)	TS(MPa)	El.(%)	vE _{-18℃} (J)	C	Si	Mn	P	S
445	535	32	90	0.04	0.57	1.60	0.008	0.006

表3に示す。

4.2 FAMILIARC™ MX-50R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の短縮を目的として、可能な限り中間層のスラグを除去することなく複数パスを連続して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、溶接施工には対象ワークの形状や板厚、溶接長、継手数、ルートギャップなど様々な条件に応じて、最適な溶接条件、積層法、スラグ除去タイミングを決定する必要がある。また、次パスのアークスタート性を考慮した狙い位置、多層盛り溶接におけるスラグ巻き込みなどの溶接欠陥が発生しにくいビード形状を安定して実現することが求められる。そこで、溶接テストを繰り返すことにより最適な溶接施工条件を確立した。

5. 溶接施工評価

FAMILIARC™ MX-50R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7に示す。水平すみ肉溶接および開先内の多層盛溶接ともにスパッタの少ない、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込みを得ることができ、健全な溶接を実現できている。

Joint No.	Joint geometry	Bead appearance	Cross sectional macrostructure
1	Single bevel joint 35° Thickness 19mm 6 layers – 8 passes		
2-5	Horizontal fillet welding Leg length 6mm 1 layer – 1 pass		
	Horizontal fillet welding Leg length 16mm 3 layers – 6 passes		

図7 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)

Fig.7 Bead appearances and cross sectional macrostructures
(Refer to Fig.1 target workpiece for joint number)

6. 鉄骨H柱自動プログラミングソフトウェア

H柱は溶接継手数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、板厚や寸法などの情報を入力するだけで溶接ロボットが自動的に最適な動作プログラ

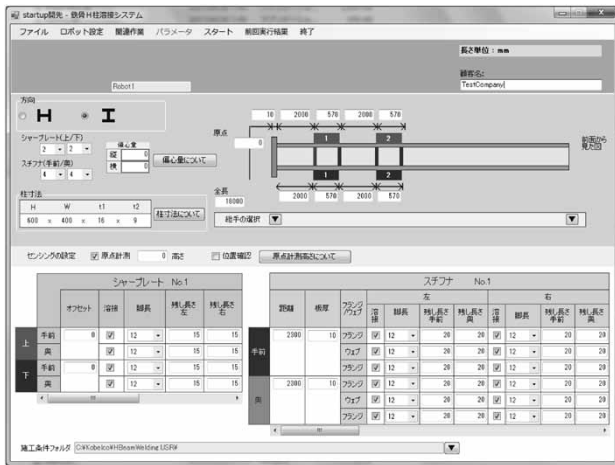


図 8 自動教示ソフトウェア画面
Fig. 8 Screenshot of auto-teaching software

ムと溶接条件を生成するソフトウェアを開発した。本ソフトウェアによる寸法入力画面を図 8 に示す。本ソフトウェアでは、「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、視覚情報を工夫することでオペレータによる操作性を向上させている。また、天吊型のロボットシステムでの「ケーブル処理に対応した溶接継手への進入」、「溶接から退避までの一連の動作の最適化」、「スラグ除去タイミングの工夫によるサイクルタイムの向上」を実現している。

7. 導入効果

H柱の継手にはすみ肉溶接が多い。このため、鋼管柱の周溶接と比べて、サイクルタイム中におけるセンシングや関連機器への動作などの非溶接時間の割合が溶接時間に対して高い傾向となる。しかしながら、表 4 に示すサイクルタイム試算結果からもわかるとおり、半自動溶接に対しては十分な導入効果を発揮できると評価されている。

また、人による溶接作業と比較して、溶接ロボットは

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)

Table 4 Estimation of cycle time
(Refer to Fig. 1 target workpiece for joint number)

No	Item	Welding length	Leg length
1	Base plate×Flange (Front)	400mm	16mm
	Base plate×Flange (Rear)	200mm	
2	Base plate×Web	600mm	
3	Stiffener×Web	600mm	
4	Stiffener×Flange	200mm	
5	Plate×Flange	570mm	
		Semi-automatic welding (1person)	Robot system (1 Robot)
Welding time		1,054 min	638 min

突出し長さを一定にして溶接できることから、溶接条件のばらつきが小さくなり、溶接品質が安定する。さらに、人による溶接では実際に正しく管理されているかを確認することが難しい入熱の記録などの問題に対しても、溶接ロボットであれば継手ごとに溶接施工結果を保存することができる。このため、溶接ロボットは、生産性や品質面だけでなく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。

むすび = 本稿で紹介した鉄骨H柱溶接ロボットシステムはこれまでに複数のユーザに導入いただいている。溶接ロボットはこれまで生産性向上を目的として導入されるケースが多かったが、溶接品質向上のための手段として近年ますます注目されている。当社は今後も溶接自動化の対象およびエリアの拡大を推進することにより、建築鉄骨業界におけるロボット溶接の必要性および信頼性を高め、鉄骨ファブのNo.1パートナーとして溶接ソリューションを展開していく所存である。

参考文献

- 1) 橋本 潔ほか. R&D神戸製鋼技報. 2004, Vol.54, No.2, P72-75.
- 2) 横田順弘ほか. R&D神戸製鋼技報. 2013, Vol.63, No.1, P42-47.
- 3) 澤村直希. 神戸製鋼技術レポート. Vol.52, 2012-1, <http://www.boudayori-gijutsugaid.com>. (参照 2017-06-02).