

鋼管柱の現場溶接継手を対象としたロボット溶接システムの開発

田原 健一 佐々木 聡
山本 新吾 米山真一朗^{*1}

概 要

建設工事現場での技能者の不足や高齢化を背景に、建設作業の一部を行うロボットの研究・開発が盛んに行われている。中でも溶接工事を対象としたロボットの開発は多くの事例が見られ、一部では実工事への適用が始まっている。

こうした状況の中、筆者らは、柱鋼管継手の現場溶接を対象としたロボット溶接システムの開発を行っている。

本稿では、はじめにシステムの概要として機器構成とプログラムなどのシステム概要を示す。

次に同システムを使用した室内ロボット溶接施工試験の概要と結果を示す。平板状の試験体、コーナーR部を模した試験体、およびコラムの形状をした試験体を用いて試験を行っている。

最後に、建設現場への本ロボット溶接システムの適用例について示す。

いずれの試験でも溶接品質上十分な性能が得られ、システムの有効性が示された。

Development of On-Site Robot Welding System for Square Steel Column Joint

Abstract

Against a backdrop of a shortage and aging of skilled workers in construction sites, research and development of robots performing a part of construction work are actively pursued. Above all, many examples are seen in the development of robots for welding construction, and some cases of application to construction sites can be seen.

Under such circumstances, the writers are developing a robot welding system for the spot welding of pillar coupling through joint development.

Firstly, in this report, we show a configuration and summary of the program as an outline of the system. A summary and the results of an indoor examination using the system are shown next. We examine it using a flat plate, a specimen R-shaped plate, and a specimen simulating a column. Finally, a construction examination applying this system to a construction site is shown.

Both examinations provided enough performance in welding quality, and the effectiveness of the system was demonstrated.

キーワード: 鉄骨工事, 溶接, 角形鋼管柱
自動化, ロボット, 機械的性質

*1 東日本支社建築統括部

§1. はじめに

1.1 背景

昨今、工事現場での技能者の不足や高齢化が顕著になっている。鉄骨建物の現場溶接に関しても状況は同様であり、この打開策としてロボット技術の活用を図った幾つかの研究・開発が行われている(例えば1-3)。

筆者らは、現場溶接の中でも比較的スキルレベルの高い横向き溶接が必要な、柱の現場継手を対象として、SWAN(Site Welding Android)と称するロボット溶接システムの開発を行った。

本報では、システムの概要と溶接試験、機械的性質試験と現場適用について報告する。

1.2 システムの概要

(1) 溶接ロボットの設置方法

本システムは冷間成形角形鋼管柱の継手を対象としており、2台の多関節型ロボット1組として用いている。図1にシステムの概要に関する模式図を示す。下記に組み立て手順を示す。

- 1) 溶接の対象となる柱継手の下部に予め工場溶接等によりねじ孔付きプレートを設置する。
- 2) 設置用の架台を取り付ける。
- 3) 設置用の架台の上に水平の走行用レール2つを、柱をはさんで平行に設置する。
- 4) それぞれのレール上を走行するキャリッジの上に、溶接トーチを取り付けた小型の6軸垂直多関節型ロボット(以下、ロボット)を設置する。

マニピュレータはおよそ32 kg、架台の最大部品で56 kgとなっており、2名で運び組み立てることが出来る。

(2) プログラムの構成

溶接は上記ロボット2台により同時に行う。図2に溶接時の運棒の概要を示す。トーチの運棒方向は1パスごとに左右交互(往復運転)とする。2台のロボットはそれぞれコの字状の区間を担当する。

建入れ調整治具がある部分については、トーチを溶接線に対し前進角ないし後退角に傾斜させて溶接する。通常、建入れ調整治具は柱の各面に1つずつ合計4か所あるため溶接区間は4つに区切られるが、区間の境界では1パスごとにビードの終端に始端を重ねる。

建入れ調整治具とエレクションピースの除去後も、ロボットの正面で溶接を停止し、姿勢転換を行ったのちに次の区間を溶接する。

溶接条件(電流・電圧・速度)およびトーチ角、狙い位置はパスごとに適切に設定し、また、特定のパスではウィービングを行うようにプログラムを作成した。

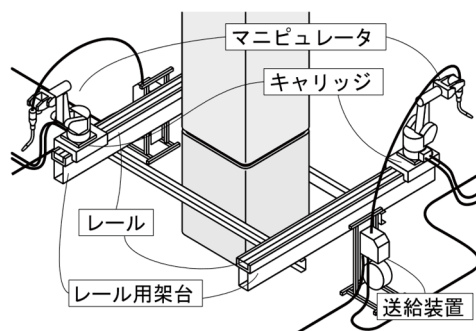
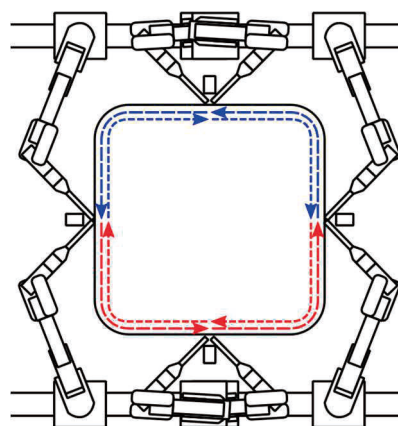


図1 システムの構成



※矢印は運棒方向

図2 溶接時の運棒の概要

§2. 溶接試験

2.1 部分試験体を用いた試験

(1) 溶接試験

図3に示すような開先を有するPL-25の平板を組み合わせて作った試験体(以降、平板試験体)および、開先を有するPL-25の平板を塑性曲げ加工して作成した角形鋼管のR部を模した試験体(以降、R試験体)を用い、実験室内で溶接した。溶接条件を表1、積層の計画とレーザー変位計による計測結果を図4、溶接試験の状況を写真1に示す。試験体の鋼材には平板試験体、R試験体ともSN490B、溶接ワイヤにはJIS Z 3312 YGW18を用いた。

(2) 機械的性質の試験

溶接試験から得られた試験体を用いて、機械的性質の試験を行った。試験片を採取位置について図5に示す。

表2、図6に継手引張試験の結果、写真2に引張試験片の写真を示す。試験片には事前にエッチング処理を施し、母材、溶着金属部にそれぞれひずみゲージを貼り付けてひずみを計測している。

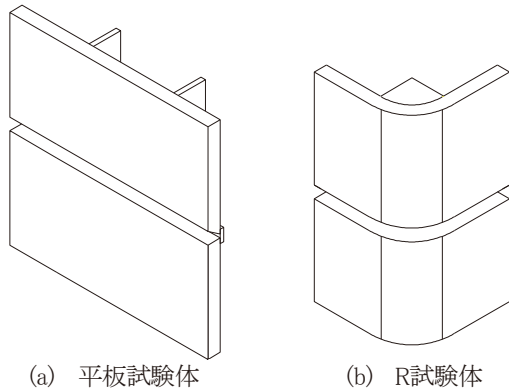
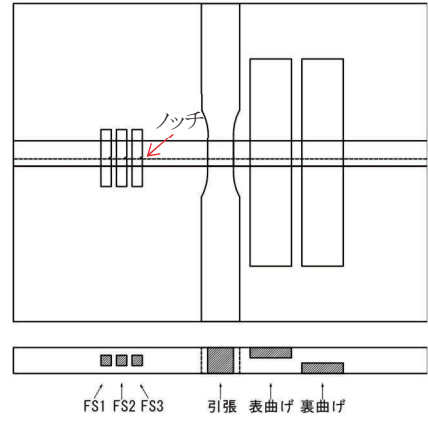
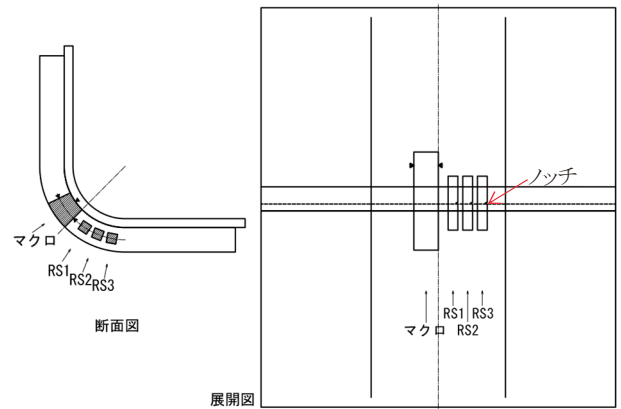


図3 試験体形状



(a) 平板試験体



(b) R試験体(右は展開図)

図5 試験片採取位置

表1 試験条件

板厚	25 mm
開先角度	35度
ルートギャップ	7 mm
溶接条件	5層16パス
溶接電流	200~270 A
溶接電圧	24~31 V
溶接速度	30~60 cm/min
入熱	5~17 kJ/cm
パス間温度	250 °C以下

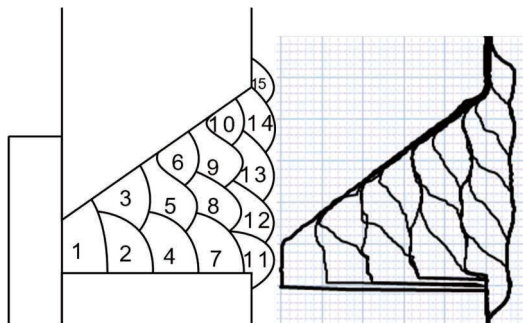


図4 t25の積層図(左:計画, 右:測定結果)

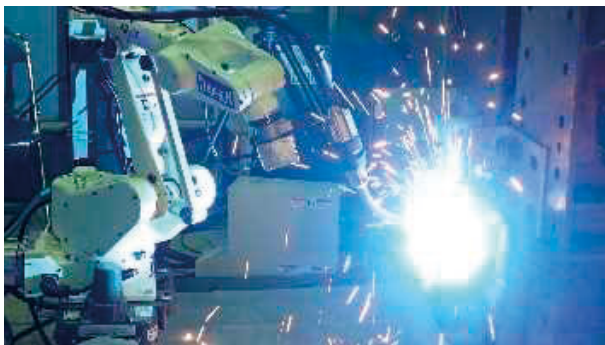


写真1 溶接試験の状況

引張強さは559 N/mm²であり、母材の引張強さの規格値490 N/mm²およびミルシートの値544 N/mm²を下回らなかった。図6から分かる通り、ひずみは主に母材部に生じている。また、試験後の試験片の観察によりレ形開先側の母材部での破断を確認した。

写真3に平板試験体から採取した試験片を用いた表曲げおよび裏曲げ試験結果を示す。試験方法についてはJIS Z 3122に基づき行った。写真からもわかる通り、表曲げ、裏曲げ試験ともに溶接部の割れは観察されなかった。

写真4にR試験体のR部中央付近から採取した試験片を用いたマクロ試験の結果を示す。写真からもわかる通り、十分な溶け込みが見られ、適切な積層計画であった。また、欠陥は観察されなかった。

表3にシャルピー衝撃試験の結果、写真5にシャルピー衝撃試験片の破面写真を示す。試験方法についてはJIS Z 2242に基づき行った。試験片は平板試験体およびR試験体からそれぞれ採取している(図4参照)。平板試験体、R試験体とも吸収エネルギーの平均値が70 Jを超えた。なお、母材の衝撃試験の吸収エネルギーの平均値は217 J(ミルシート値)であった。

表2 継手引張試験結果

降伏強度	393 N/mm ²
引張強さ	559 N/mm ²

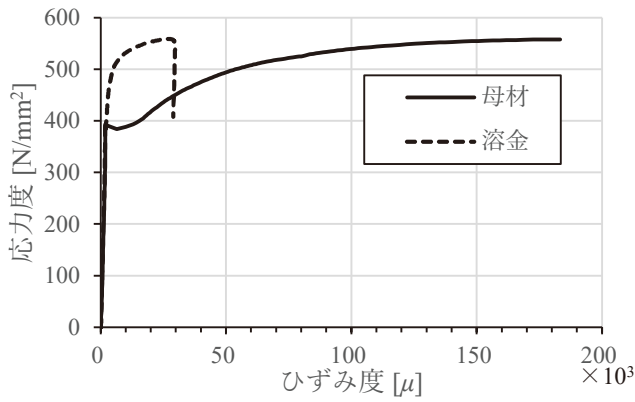


図6 応力度-ひずみ度関係



写真2 引張試験片

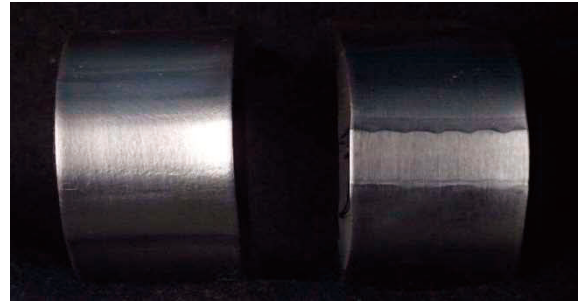


写真3 曲げ試験(左:表曲げ、右:裏曲げ)

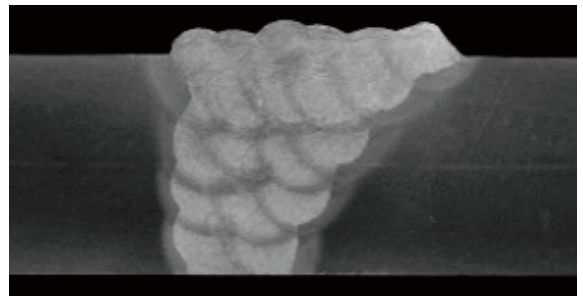


写真4 R試験体のマクロ写真

表3 溶接金属のシャルピー衝撃試験結果

試験体	記号	温度[°C]	位置	吸収エネルギー[J]		脆性破面率[%]	
平板試験体	FS-1	0	DEPO 中央	87	81	23	23
	FS-2			95		13	
	FS-3			62		32	
R試験体	RS-1	0	DEPO 中央	98	111	24	16
	RS-2			94		21	
	RS-3			142		4	



(a) 平坦部(左からFS-1、2、3)



(b) R部(左からRS-1、2、3)

写真5 溶接金属のシャルピー衝撃試験片の破面

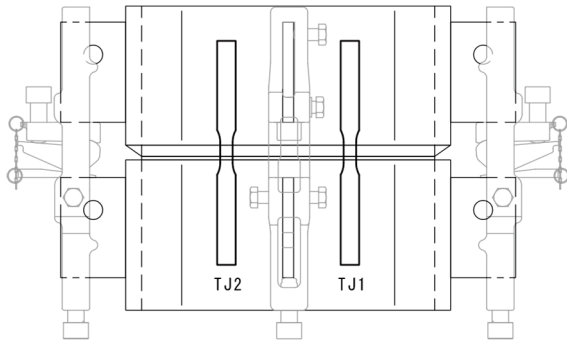


図7 試験体と試験片採取位置

表4 試験条件

板厚	28 mm
開先角度	35度
ルートギャップ	7 mm
溶接条件	6層21パス
溶接電流	200~270 A
溶接電圧	24~31 V
溶接速度	30~60 cm/min
入熱	5~17 kJ/cm
パス間温度	250 °C以下

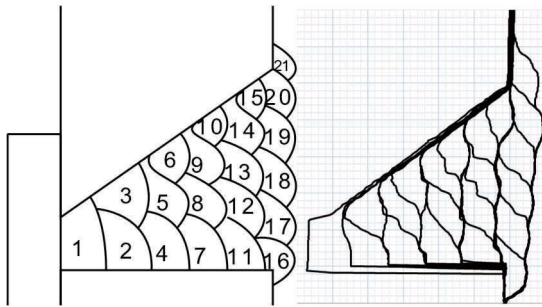


図8 t28の積層図(左:計画, 右:測定結果)

2.2 冷間成形角形鋼管の試験体を用いた試験

冷間成形角形鋼管(□-600×600×28, BCP325)に開先加工を施し、裏当て金や建方治具を取り付けて柱の溶接継手部の周辺を模した試験体(図7)を作成した。これを用いて実験室内において本システムを用いた溶接試験を行った。溶接試験の試験条件を表4に、積層図を図8に示す。

次に、溶接をした試験体から試験片2つを採取し(図7参照)、継手引張試験を行った。

試験結果を表5、応力度-ひずみ度関係(伸び計による計測)を図9に示す。引張強さは583、585 N/mm²であり、十分な強度を示した。

試験後の試験片を写真6に示す。L形開先側の母材部での破断を確認した。

表5 継手引張試験結果

	TJ1	TJ2
降伏強度※	437 N/mm ²	440 N/mm ²
引張強さ	583 N/mm ²	585 N/mm ²

※0.2%オフセット耐力

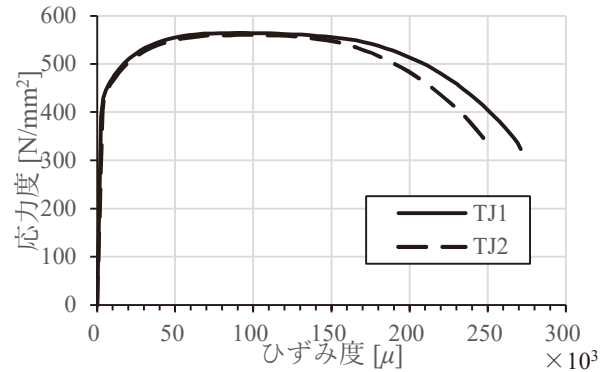


図9 応力度-ひずみ度関係



写真6 試験後の引張試験片

§3. 現場溶接施工試験

3.1 施工試験の概要

地上6階の鋼構造建物の建設現場で柱継手の現場溶接を行った。

対象とした柱は断面が□-600×600×28(BCP325)の中柱で、2階にある継手を対象とした。溶接の際には2名の工事現場横向きAW検定資格保有者が溶接の状況を確認した。溶接条件は表4と同様である。

3.2 施工試験の結果

溶接中の状況を写真7に示す。3パスまで溶接したのち、ロボットをレール端部まで退避させ、建方治具を除去、エレクションピースを切断した後、プログラムを起動させて残りのパスを溶接した。

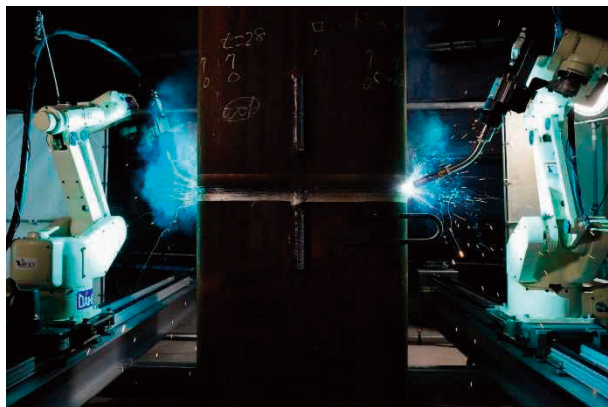


写真7 現場施工の状況

- 1) 機器構成およびプログラムの概要を示した。
- 2) 実験室内において平板およびコーナーR部を模した試験体を用いて溶接実験および機械的性質試験を行い、溶接部の性能について確認し、積層計画が適切であることを確認した。
- 3) 冷間成形角形鋼管から作成した柱継手周辺を模した試験体を用いて溶接実験および機械的性質試験を行い、溶接部の性能について確認し、積層計画が適切であることを確認した。
- 4) 建設現場での柱継手の現場溶接に適用し、システムが適用可能であることを確認した。

謝辞

本システムの開発は大和ハウス工業株式会社、十一屋工業株式会社との3社共同開発により行っている。

§3に示す現場での試験では、作業所長他、関係者に多大なご協力をいただいた。また、試験では生産改革研究部の森山氏の協力を得た。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 白井, 大塚, 鈴井, 浅井: コラム柱に対する現場ロボット溶接技術の開発と現場適用例, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 995-996, 2017. 8
- 2) 護, 三村, 菅田, 山川, 佐久間, 米田, 平井, 山本: 工事現場溶接ロボットを用いた溶接技術の開発(その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1151-1152, 2019. 9
- 3) 中村, 梅津: 鉄骨工事における現場溶接自動化工法の開発(その1, その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 1241-1244, 2019. 9

ひとこと

溶接条件の開発には数多くの実験を繰り返し、苦労もありましたが、現場適用では検査も合格となり一安心です。

本格的な実用に向け、改良を進めてまいります。



田原 健一



(a) 直線部



(b) R部

写真8 溶接終了後のビードの外観

溶接終了後の外観を写真8に示す。良好な外観となっていることが分かる。

非破壊試験技術者による外観検査、超音波探傷検査を行った。両検査ともに合格であり、記録の必要な傷はなかった。

§4. まとめ

開発した柱継手現場溶接用のロボット溶接システムについて、以下のこと示した。