

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施工検証

平松 剛 森 貴久 大附 和敬 田原 健一* 佐々木 聡*

山本 新吾* 米山 真一朗* 相馬 祐樹*

Go Hiramatsu, Takahisa Mori, Kazutaka Ozuke, Kenichi Tahara, Satoshi Sasaki,
Shingo Yamamoto, Shinichiro Yoneyama, Yuki Soma

概 要

建設業界において技能労働者不足への対応が課題となってきた。工事現場の溶接工も同様に技能者が減少傾向にあり、ロボットによる課題解決の試みが建設業界において多くなされている。

筆者らは鋼管柱継手の工事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。これまでに部分試験体を用いて室内でのロボット溶接施工試験を行い、所定の溶接品質が確保できることを確認した。本報ではロボット溶接システムを現場適用した結果を報告する。現場においてロボット溶接が従来の半自動溶接と異なる点は、ロボットを搭載した専用台車の搬入・水平搬送、溶接対象柱へのロボットの設置作業、溶接狙い位置修正のための教示作業等が発生することである。一方で、1つの柱継手に対し2台のロボットが同時に溶接をすることで、溶接時間の短縮が期待できる。1日当たりの溶接量を従来の半自動溶接^①と比べた場合、柱継手1つの溶接量が大きいほど、ロボット溶接システムで実施できる溶接量も大きくなると考えられる。

Construction Verification of On-Site Robot Welding System for Square Steel Column Joints

Abstract

In the construction industry, dealing with the shortage of skilled workers has become a problem. Welders are also known to be on the decline, and many trials are being conducted in the construction industry to solve the problems with robots.

The authors are developing a robot welding system for on-site welding of rectangular steel tube column joints. It has been confirmed that a robot welding test can be performed using a test piece to ensure the specified welding quality. This paper reports the results of field application of the robot welding system. At the construction site, robot welding is different from semi-automatic arc welding, and several operations occur. It is necessary to bring in and horizontally transfer the robot cart, install the robot on the column to be welded, and provide instruction to adjust the welding target position. On the other hand, it can be expected that the arc time will be shortened by two robots welding one column joint at the same time. Comparing the robot welding amount with conventional semi-automatic arc welding, it is considered that the larger the welding amount of one column joint, the larger the welding amount capability of the robot welding system.

キーワード：鉄骨工事，溶接，角形鋼管柱，自動化，ロボット，生産性

*株式会社フジタ

1. はじめに

鋼管柱の現場溶接継手にロボット溶接を適用した場合の作業時間や生産性について幾つかの報告^{1,2)}がある。

本報では、筆者らが開発中³⁻⁵⁾の冷間成形角形鋼管柱の現場継手の溶接を対象としたロボット溶接システムについて、8現場で適用した分析結果を報告する。

本システムは、図1に示すように、溶接の対象となる柱を挟んで平行に設置した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汎用の小型6軸垂直多関節型ロボット2台を設置したものである。工事現場においては図2のような手順により順次溶接作業を行う。

2. 作業時間

2.1 搬入・水平搬送

機器は専用の台車に積載し、搬入後クレーン等により揚重し、手押しにより水平搬送した。コンクリート打設前のデッキ床（合成デッキ、鉄筋トラス付きデッキ）の状態で行う場合、台車

の搬送経路に作業床の養生が必要となるため、表1に示す3種類の養生方法と搬送性を比較した。

普通合板により養生を行った場合、たわみにより台車の搬送に支障がでる場合があり、耐久性も他の方法と比べて劣った。

敷網に型枠用合板を重ねた場合、台車の荷重によるたわみはごく小さく、搬送への影響はなかった。

写真1に示すポリエチレン製敷板の場合、鉄筋トラス付きデッキのように敷板の支持スパンが大きい（200mm）場合でもたわみは殆どなく、搬送性は良好であった。ただ、敷板の自重が大きく（39kgf）設置に時間や労力を要した。

次に、水平搬送の距離が比較的長い2つの現場で搬送に要した時間を表2に示す。コンクリートスラブの現場Aでは作業場所への搬送に10分程度、鉄筋トラス付きデッキ上にポリエチレン製敷板を敷設した写真1の現場Bでは敷板の敷設に2時間程度、搬送に90分程度を要した。台車数や距離の違いを考慮しても、搬送経路がコンクリートスラブである方が大幅に作業時間は短かった。

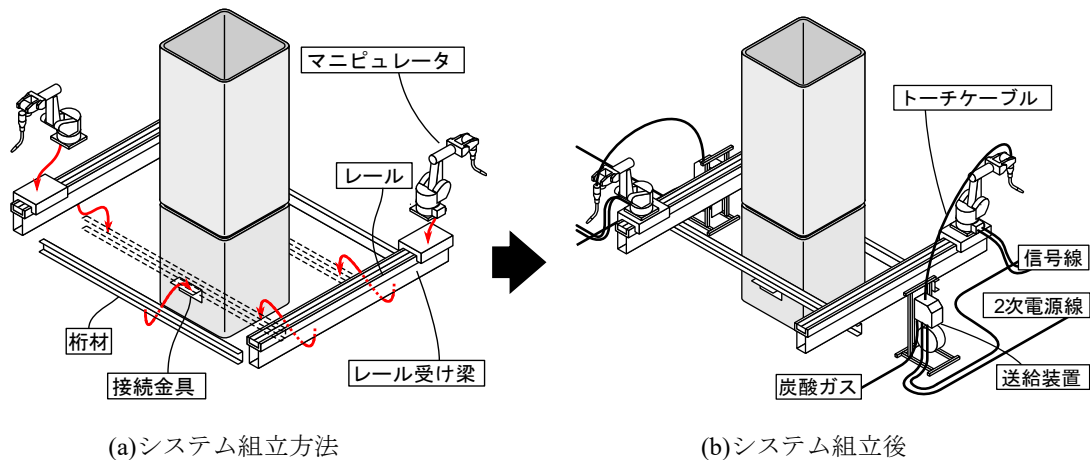


図1 システム概要と組立

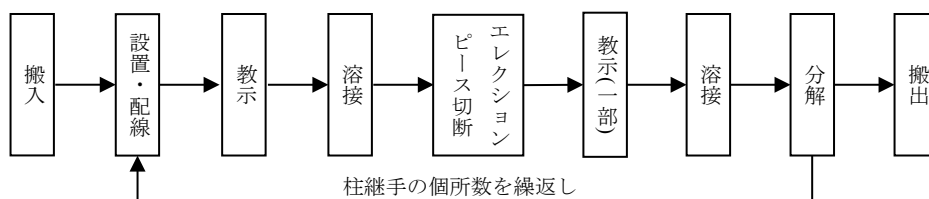


図2 作業手順

表 1 作業床ごとの搬送性の比較

床	合成デッキ	鉄筋トラス付き デッキ	鉄筋トラス付き デッキ
養生	普通合板	敷網+ 型枠用合板	ポリエチレン製 敷板
搬送性	搬送に支障	良好	良好
利点	軽量	軽量	剛性が高い
欠点	剛性が低い	敷設手間が多い	敷板の自重が 大きい



写真 1 水平搬送

表 2 運搬作業時間

	現場 A	現場 B
作業床	コンクリート スラブ	鉄筋トラス付きデッキ + ポリエチレン製敷板
台車台数	8 台	11 台
作業人数	3 名	5 名
床養生時間 (実時間)	—	約 120 分
搬送時間 (実時間)	約 10 分	約 90 分

2.2 設置

レールを載せる架台は図 1 に示すように 3 種 6 個の部品に分かれており、柱に予め溶接接合した取付金物にアングル等の接続治具を取り付け、桁材及び写真 2 のようなレールと一体化されたレール受け梁を組み付けた。自重が大きいため、固定度を確保できるように各部はボルト接合とした。部品の重量は最大のものでレール受け梁の 60 kgf であり、2 名で運搬した。締結や調整方法の工夫を行った上で、作業に慣れた結果、設置から配線完了までに要した時間は 2 名で 60 分程度であった。

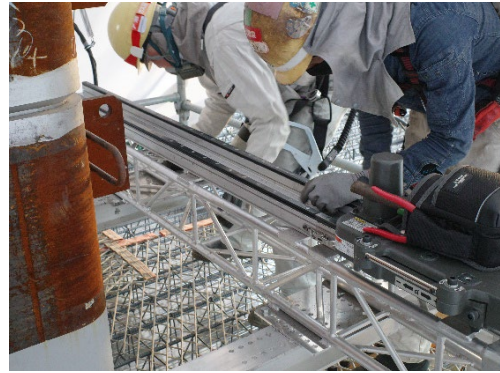
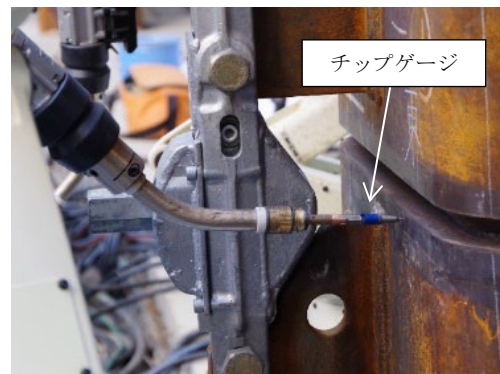


写真 2 設置作業



(a) タッチセンシング



(b) 目視による位置修正

写真 3 狙い位置の補正

2.3 教示（狙い位置の調整）

架台の設置位置には誤差が生じ、試験室内のモックアップで作成したプログラムではロボットが開先の適正な位置を指すとは限らず、狙い位置の修正が必要となる。タッチセンシングによる自動位置調整及び写真 3(b) のような目視による教示での調整の 2 種類を比較した。

タッチセンシングには、溶接トーチに写真 3(a) に示すチップゲージ（先端が鋭利なダミーのチップ）を取り付けたものを用いた。タッチセンシ

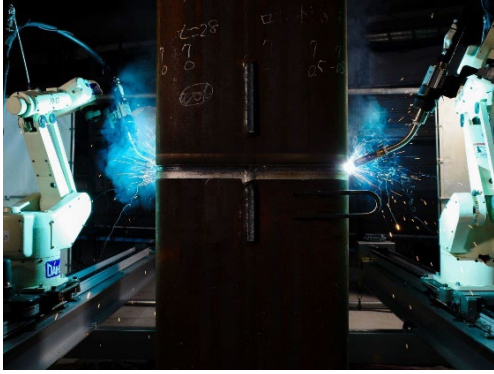
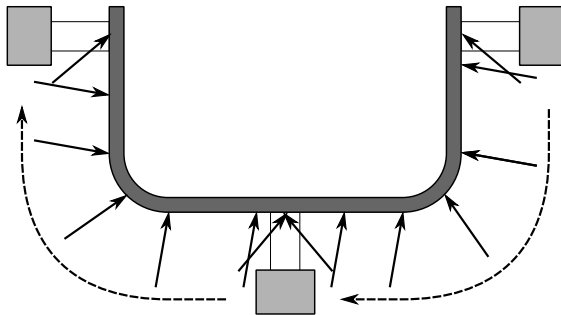
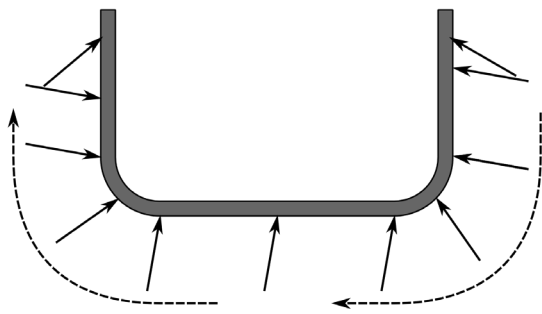


写真4 溶接



(a) 切断前 (EP 前後で衝突回避動作)



(b) 切断後 (トーチ角度一定)

図3 EPの切断前後のトーチ角度



写真5 風養生

グのプログラム動作と補正結果の確認、誤差が大きい箇所の手動修正を含め1セットで45分程度を要した。

目視による教示での位置調整とは、予めモックアップ試験体を用いて作成したプログラムとの誤差を微調整する教示作業を意味する。教示作業の習熟の結果、所要時間は45分程度となった。

なお、エレクションピース（以下、EP）の切断前は、EPとの衝突を避けるため図3(a)に示すようにトーチを前進又は後退に適宜角度を変えて溶接を行うが、EP切断後は図3(b)に示すように一定のトーチ角度で溶接する。切断後のロボット姿勢については、トーチを一定角度に変更する部位において改めて教示を行った。同時に、全体的な動作確認等を行った。

2.4 溶接

溶接は写真4に示すように対向配置された2台のロボットによる同時溶接であり、電流、電圧及び運棒速度は半自動溶接の場合と同等である。そのため、溶接に要する時間は溶接工1人が半自動溶接で施工する場合の半分程度の時間となる。

2.5 その他の作業

その他の作業として、写真5に示すような溶接欠陥防止のための風養生、作業中断後の風雨養生、作業床の養生等の作業が発生した。風養生は従来の半自動溶接でも必要であり、一般的には簡易な衝立等を用いて、溶接作業部位を局所的に養生している。しかし、ロボット溶接の場合は、ロボット動作を妨げるため局所的な風養生が困難である。特に超高層建物など風が強い現場の場合、図1(b)に示すシステム全体を養生する必要があるため、養生作業に2時間から3時間程度を要した。

3. 生産性の分析

表3、図4に運用を想定した2現場（現場B、C）、11箇所の柱継手について作業時間の実績を、表4に溶接条件を示す。溶接材料はYGW18径1.2mmとした。開先角度は35度、ルート間隔は5~9mmの範囲内にあることを施工前に確認した。狙い位置の修正は目視による教示により行い、教示時間は設置時の教示とEP切断後の教示の合計時間を示している。設置作業に要する時間は、現場Bは平均75分、現場Cは平均112分で、現場状況の違いが影響した。教示に要する時間は作業

者の技能や修正作業量が柱ごとに異なる影響でバラツキはあるが、両現場での平均値は104分と107分であり同等といえる。溶接時間は対象となった柱継手の溶接量の違いにより大きく異なり、現場Bは平均92分、現場Cは平均158分となった。

表3には柱継手1つ当たりにより要した作業時間と溶接長から、1日当たりに換算した溶接長も併記している。このとき、溶接長は脚長6mmの隅肉溶接に換算して算出し、1日の作業時間は420分として計算した。図5は柱継手1つ当たりの溶接長と、1日当たりに換算した溶接長の関係を示す。1日当たりに換算した溶接長の現場ごとの平均値は、現場Bが61.8m、現場Cが71.0mであり、柱継手1つ当たりの溶接量が大きいほど1日当たりの溶接量も大きくなっている。比較のため、溶接工1人による半自動溶接の1日当たり溶接長を80mとし、図5中に破線で示す。今回の例においてはロボット溶接に比べて半自動溶接の方が1日当たりの溶接長が多くなる結果となった。これは、ロボット溶接では半自動溶接には発生しない設置及び教示に時間を要することが原因である。しかし、柱継手1つ当たりの溶接量が大きい（断面が大きい）ほど、2台同時溶接による溶接時間の削減により設置や教示に要する時間を相殺することが可能になる。また、設置や教示作業は今後の習熟による時間短縮も期待できる。そのため、今回の検証よりも大きい断面の柱であれば、1日当たりの

溶接量はロボットの方が多くできる可能性があると考えられる。

4. まとめ

ロボット溶接システムを工事現場で試験適用した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 大幅な時間短縮を図る場合、溶接ロボット機器の搬送を考慮し、スラブ打設後に柱継手の溶接を行う工程が望ましい。
- 2) タッチセンシングと習熟したオペレータによる目視の位置修正の作業時間は同等であった。
- 3) ロボット溶接を導入した場合、半自動溶接と比べて2台同時溶接による時間の短縮と設置等に要する時間が相殺され、ロボット溶接の方がより多く溶接できる可能性があると考えられる。

表4 溶接条件

板厚 [mm]	パス 数	層 数	電流 [A]	電圧 [V]	溶接速度 [cm/min]
22	16	5	230~270	26~31	30~60
25					

表3 現場作業時間の実績

現場名	断面	溶接長 [m]	作業時間[min]					1日換算 溶接長 [m]
			設置	教示 (2回)	溶接	EP切断	合計	
B	□-650x650x22	42.6	70	105	105	20	300	59.7
	〃	〃	80	130	80	20	310	57.7
	〃	〃	70	110	80	20	280	63.9
	〃	〃	70	90	90	20	270	66.3
	〃	〃	60	140	100	20	320	55.9
	〃	〃	110	65	85	20	280	63.9
	〃	〃	70	90	85	20	265	67.6
現場B 平均値			75	104	92	20	291	61.8
C	□-850x850x25	67.2	125	85	175	30	415	68.0
	〃	〃	95	130	160	20	405	69.7
	〃	〃	115	105	140	15	375	75.3
現場C 平均値			112	107	158	22	398	71.0

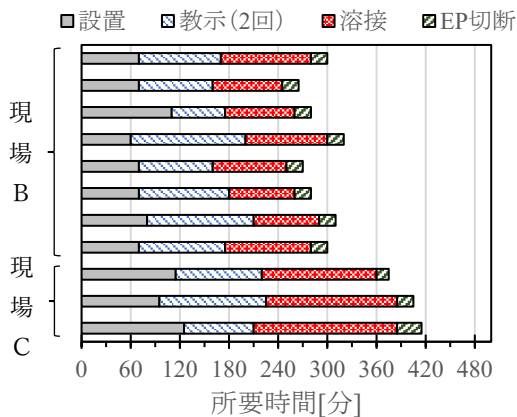


図4 柱ごとの現場作業時間

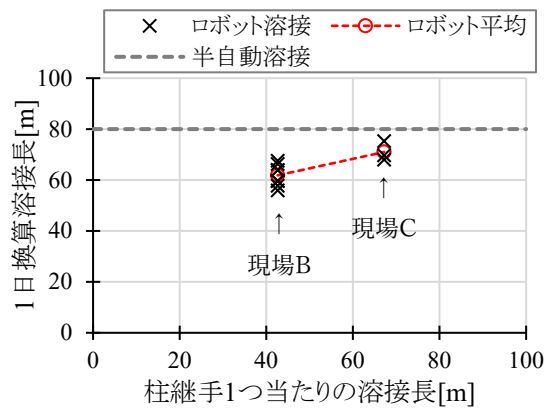


図5 1日当たりの溶接長さ

謝辞

現場での検証には現場所長他、関係者に多大なご協力をいただいた。ここに記して謝意を表す。

本開発は株式会社フジタ、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。本報は株式会社フジタとの共同執筆であり、フジタ技術センター研究報告集においても同様の報告がなされる予定である。

参考文献

- 1) 梅津匡一，中村洋祐：鉄骨工事における現場溶接自動化工法の開発（その2）溶接施工試験による溶接品質及び作業効率の確認，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 1243-1244，2019
- 2) 馬場将栄，梅津匡一，阿波英俊：鉄骨工事における現場自動溶接工法の開発（その4）溶接ロボットの操作者訓練手法と現場施工上の課題の考察，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 785-786，2021

- 3) 田原健一，佐々木聡，森貴久，他：冷間成形形鋼管柱の現場ロボット溶接システムの開発，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 781-782，2021
- 4) 田原健一，佐々木聡，森貴久，他：冷間成形形鋼管柱の現場ロボット溶接システムの開発 その2 現場適用とその分析，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 1087-1088，2022
- 5) 田原健一，佐々木聡，山本新吾，他：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，フジタ技術研究報告，第57号，pp. 41-46，2021

執筆者紹介

ひとこと

本開発は将来予想される溶接工不足を補う目的で着手したが、生産性向上に寄与する役割も期待されている。今後、現場施工を繰り返すことで、生産性に対する検証を深めていきたい。



平松 剛

注) 手作業の溶接作業で、溶接材が自動供給される方式を指す