

§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

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(200 mm)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(39 kgf)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。

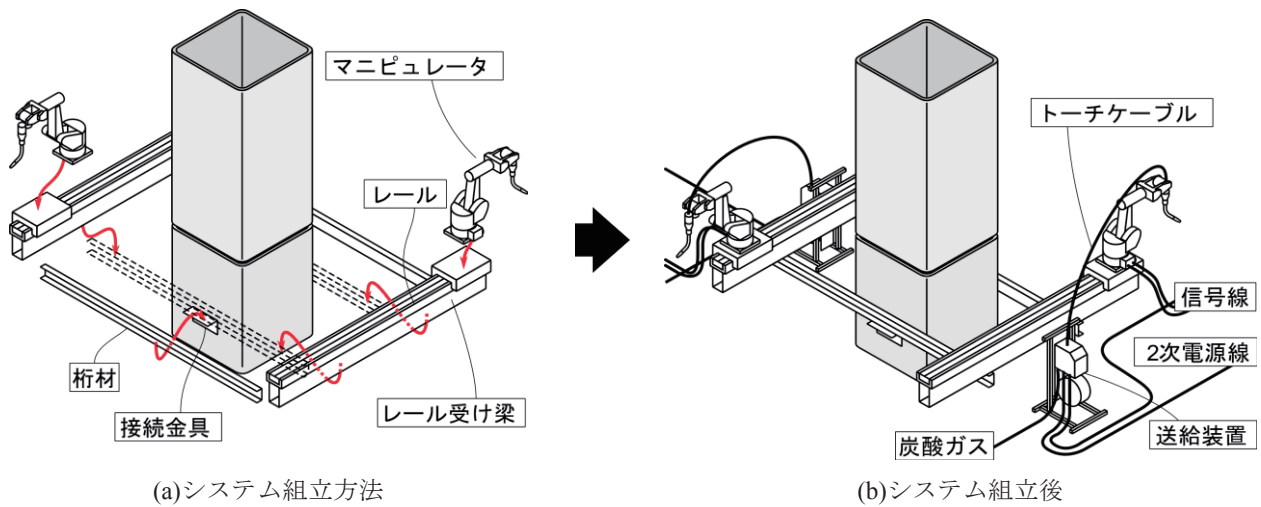


図1 システム概要と組立

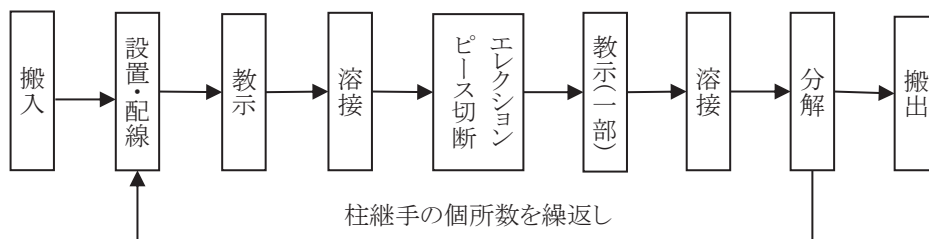


図2 作業手順

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 現場 B での水平搬送の状況

表 2 運搬作業時間

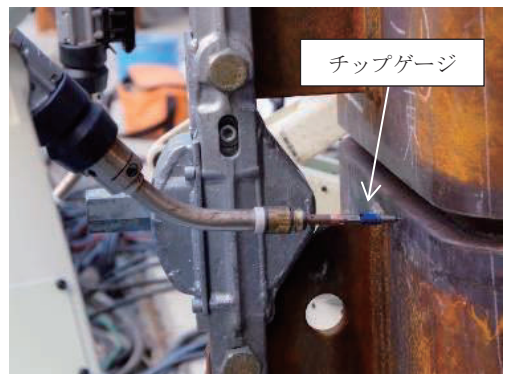
	現場 A	現場 B
作業床	コンクリート スラブ	鉄筋トラス付きデッキ + ポリエチレン製敷板
台車台数	8 台	11 台
作業人数	3 名	5 名
床養生時間 (実時間)	—	約 120 分
搬送時間 (実時間)	約 10 分	約 90 分

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各部分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。タッチセンシン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。

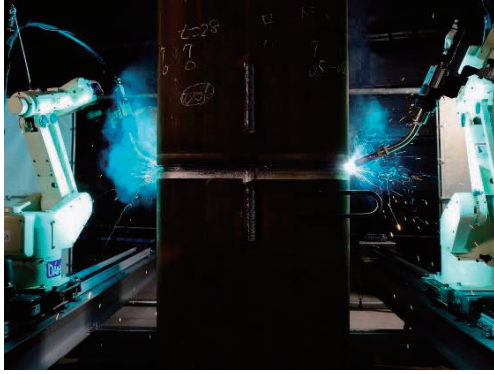
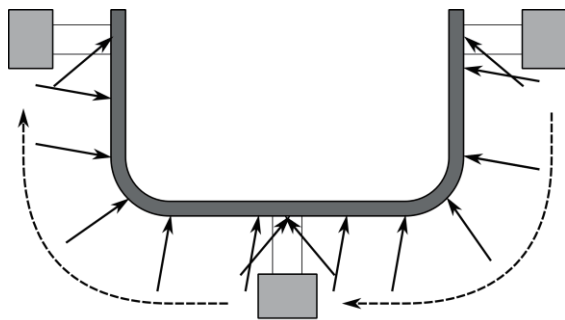
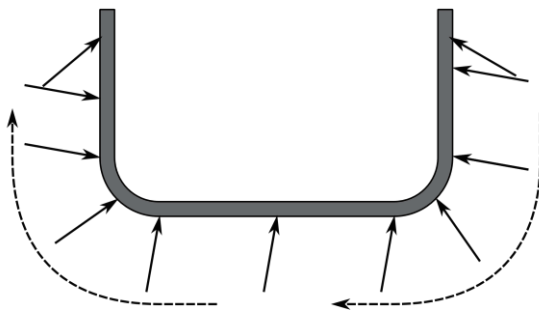


写真 4 溶接



(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

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

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 80 m 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～	26～	30～
25			270	31	60

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
	〃	〃	70	100	110	20	300	59.7
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

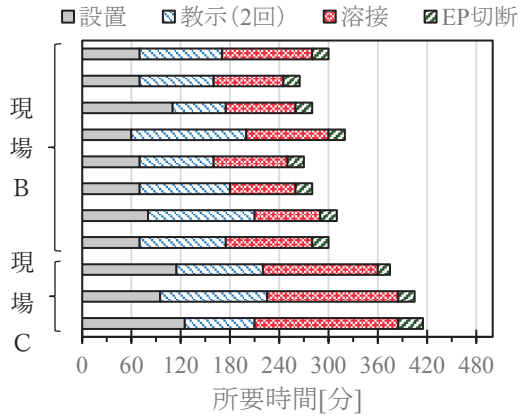


図4 柱ごとの現場作業時間

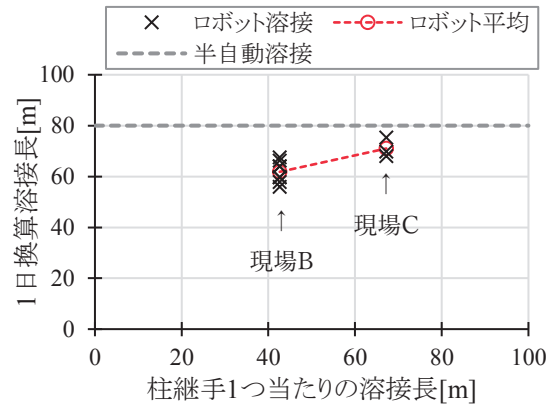


図5 1日当たりの溶接長さ

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る。

本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。本報は株式会社フジタとの共同執筆であり、大和ハウス技術研究報告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

ひとこと



田原健一

本開発も現場での実証フェーズに入り、実用化が見えてきました。

ロボット技術の活用を通じた生産性向上や作業環境改善により、溶接がより魅力的な仕事になればと思っています。