

6. “鉄筋籠自動溶接ロボットシステム”の 開発と適用

清水建設(株)：*尾之内 和久・渡辺 俊雄
菊池 雄一

1. 概要

近年の土木工事の分野においては、その施工規模が大型化・大深度化の傾向を呈している。この土木工事の工法のなかのひとつである地中連続壁工法は山留工事や建築基礎工事、地中構造物の側壁工事等へとその利用範囲が拡大している工法である。

地中連続壁工法は、大型掘削機により地中を泥水掘削し、掘削箇所を安定液で保持しながら鉄筋籠を挿入し、コンクリートを打設する工法である。現在、掘削深度100m以上・施工延長500m以上・壁厚2m以上の大規模施工を要求され、掘削精度等においても高品質な壁体の施工が望まれている地中連続壁工事の現状のなかで、その掘削や掘削に伴う泥水処理などでは大型掘削機や掘削制御管理システム、および安定液管理システム等の開発・運用により、作業の省力化・品質の確保・安全性の向上が顕著に現れ始めている。

しかし、挿入する鉄筋籠の製作に関しては、その規模・使用材料が大型化・重量化の傾向を呈しているにもかかわらず、従来からの鉄筋工・鍛冶工による人力での製作を行っているのが現状である。そこで、筆者らは現在の鉄筋籠製作工における低効率作業を改善し、作業の省力化、工期の短縮化、安全性の向上、品質管理の向上を目指すことを目的とした「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」を開発した。

清水建設では、本システムを平成5年8月より、実際の地中連続壁工事の鉄筋籠製作作業に導入した。その結果、本システムが鉄筋籠製作作業の省力化や品質管理、および安全性の向上等に優れた効果があることを確認した。



写真-1 「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」 多関節ロボット部

2. システム概要

1. システム構成

「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」は、①産業用多関節ロボット、②アーク溶接機、③ロボットを懸架する台車、④ロボットを風雨から保護するための自走式上屋（幅8.5m×長さ14.7m×軒高7.3m）、⑤鉄筋組立架台より構成されている。（写真－1、2）

アーク溶接機は溶極式ガスシールドアーク溶接法を採用しており、その溶接トーチは多関節ロボットの先端に取付けられている。ロボットは自動車工場等で使用されている一般的な6自由度垂直多関節型であり、横行可能な台車に懸架されている。このため、製作する鉄筋籠の短辺方向への連続移動と溶接作業が行える。また、台車と上屋はレール走行式となっており、鉄筋籠の長辺方向に連続移動が可能である。このように、システムが長短辺方向に連続移動可能となったことにより、製作する鉄筋籠に点在する溶接箇所のを網羅することができる。また、ロボットを懸架している台車内のガータは上下可動式であるため、厚さが最大2.4mまでの鉄筋籠の製作が可能である。

表－1 に本システムを構成する主な機構の仕様を示す。



写真－2 「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」 全 景

表－1 「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」 システム仕様一覧

	多関節ロボット	溶 接 機	台 車	鉄筋籠製作可能サイズ
仕 様	構造：垂直多関節形 （6自由度） 天吊り仕様 駆動方式：ACサーボモータ 可搬重量：6kg 本体重量：180kg 位置繰返精度：±0.1mm 平均消費電力：1.5kW	溶接方式： CO ₂ アーク溶接方式 （タッチセンサ方式） 溶接芯線：φ1.2mm ソリッドワイヤ 溶接電流：max250A	 奥行き：11.1m	$B \leq 8.5 \text{ m}$ $H \leq 2.4 \text{ m}$ L：無制限
数量	2 機	2 台	1 基	—

II. システムの動作パターン

「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」は鉄筋籠1エレメントを製作するにあたり、鉄筋配置・溶接箇所を探査・溶接の基本的な繰返し作業を基本動作パターンとしている。

動作1. 鉄筋配置

鉄筋組立架台に鉄筋籠の材料となる鉄筋・フレーム材を揚重機等で配置する。鉄筋組立架台は、鉄筋配置の定規架台として精度良く作成しており、鉄筋配置箇所には切り欠きがあり、鉄筋が精度良く配置されることにより、ロボットの溶接箇所を探査時間を短縮させ、サイクルタイムの向上を図っている。この作業は、従来通りの人力作業で行う。

動作2. 溶接箇所を探査

多関節ロボットの先端に取付けてあるタッチセンサー方式の探査棒が溶接箇所（鉄筋同士の交点等）を探査（センシング）する。この作業は、システムを監視するオペレーター1人で行うことができる。

動作3. 溶接

溶接箇所を探査した後、ロボット先端が回転し、溶接トーチが溶接箇所の点付け溶接を行う。実際の鉄筋籠製作では鉄筋と鉄筋、鉄筋とフレーム材の溶接である。そこで、実施工では溶接母材に適合した溶接ビードや溶接強度が得られる溶接を行うために溶接電流値に3種類の管理値を定めた。この作業の管理も、溶接箇所を探査同様、オペレーター1人で行う。

溶接箇所を探査（センシング）と溶接作業については、本システムの導入直後、熟練溶接工がロボットを操作し、諸条件をティーチングする。以下にティーチングの内容を示す。

- ・鉄筋の格子の大きさ
- ・使用鉄筋のサイズ
- ・探査方法（センサー位置と溶接位置の距離、センサー移動速度等）
- ・溶接方法（トーチ角度、溶接時間、ウィーピングの有無等）

ティーチングの完了後、プログラミングされた一連の作業を無人で反復実行させる。（ティーチングプレイバック）

溶接箇所を探査（センシング）、および溶接の一連の作業のサイクルタイムは、溶接箇所1箇所につき約30秒程度である。

本システムによる作業をスムーズに行う主な管理点としては以下のものが挙げられる。

- ① センシングミス発生の防止のために、配筋時、鉄筋組立架台（定規架台）の切り欠きに鉄筋を正確に配置すること。
- ② 溶接不良発生の防止のために、溶接箇所の材料（鉄筋・フレーム）に一定以上の隙間を生じさせないこと。
- ③ 溶接ポイントミス発生の防止のために、ティーチングを正確に行うこと。

図-1に本システムの作業手順（作業基本フロー）を示す。

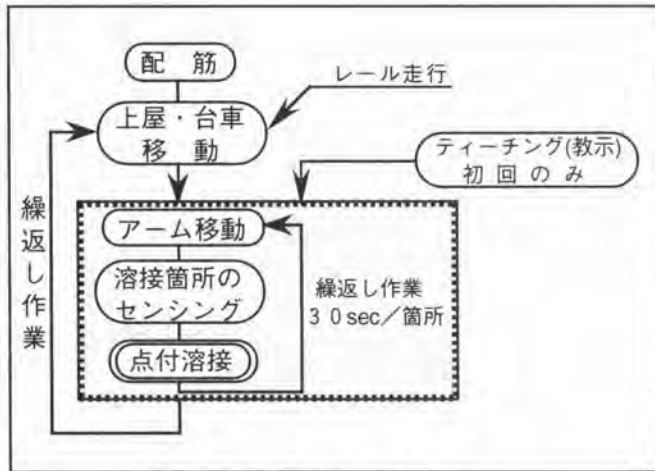


図-1 システム作業基本フロー

Ⅲ. 溶接条件の決定と管理

一般的にアーク溶接法の溶接条件としては、電流・電圧・溶接速度・シールドガス供給・ワイヤと母材との離隔・母材同士の離隔等があり、各条件の微妙な変化により形成される溶接ビードや溶接後の強度等の品質に影響を及ぼす。母材に適合しない溶接条件での溶接は、母材の断面欠損の発生や、溶接箇所の脆弱化等の原因となり、溶接欠陥となる。

そこで、筆者らは鉄筋籠製作を目的とした自動溶接システムを開発・運用するにあたり、要求品質を満足させる溶接条件の検討を行った。その結果、このシステムを本施工への導入の際には、表-2の管理基準を設定し作業を行った。

表-2 「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」溶接管理基準

溶 接 電 流	鉄 筋 + 鉄 筋	160 A
	鉄 筋 + フレーム	170 A
	フレーム + フレーム	220 A
溶 接 電 圧	28V～22V	
溶 接 ワ イ ヤ	ソリッドワイヤ φ1.2mm	
シールドガス	100% CO ₂ , 16ℓ/min	
ト ー チ 角 度	水平面より20° (角度定規によりチェック)	
溶接母材のギャップ (離隔)	4～5mmのギャップを結束にて 2mm以下にする	

3. システム評価

ここでは、「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」を、先に述べた変断面地中連続壁工事の施工に導入した結果の評価を述べる。(システム稼働期間：平成5年8月～6年6月の約11ヶ月間)

本来、工業用の多関節ロボットは、工場の家屋内で使用され、ロボットの作業環境は良好に保持されているものである。しかし、本システムでは、ロボットを屋外で使用し、しかも工事現場という悪い環境下で作動させるというものであり、画期的なシステムといえる。

システムを採用した現場では本システムによる製作作業と従来の人力による鉄筋籠製作作業の2系統の方法で鉄筋籠製作を行ったため、双方の作業能率の比較が可能となった。その結果、本システムによる鉄筋籠製作作業が従来の製作作業に比べ、作業の省力化・安全性等において大きな優位性を有していることが判明した。

本システムで製作した鉄筋籠は、標準的なエレメントのサイズが平均長さ70m×幅8.0m×厚さ2.5mである。このシステムで製作したエレメント数量はが15基であった。鉄筋籠の材料には、縦筋(鉛直方向)がD38、横筋(水平方向)がD29であり、フレーム材には構造用鋼材(〔-200、L-75〕)を使用している。1エレメントの溶接箇所は最大4000箇所以上である。このうち、鉄筋同士の溶接が約60%、フレームと鉄筋の溶接が約40%の割合である。表-3に製作した鉄筋籠の規格およびその鉄筋籠製作における労力比較を示す。

なお、表-3に記載してある延作業人員は鉄筋籠の溶接作業のみ的人数比較であり、材料の鉄筋・フレームを鉄筋組立架台に配筋する作業等は従来の人力による製作と同作業であるため、比較対象外とした。

表-3 鉄筋籠の規格、実施工における労力比較

システム導入期間	平成5年8月～平成6年6月 (11ヶ月)		
鉄筋籠寸法 (1エレメントあたり)	長さ70.0m×幅8.0m×厚さ2.5m		
鉄筋籠重量 (1エレメントあたり)	110.0t (鉄筋80t+フレーム30t)	溶接箇所数 (1エレメントあたり)	4,034箇所 (点溶接)
	『自動溶接ロボット』	従来の鉄筋工による作業	
延作業人員	18人	40人	
比率	0.45	1.0	

実施工を通じて判明した「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」の効果を以下に示す。

①全天候型作業の実現

本システムは走行式上屋内での作業であるため、風雨等の天候に左右されないでの溶接作業が可能となり、工程管理が容易になった。

②品質確保の実現

多関節ロボットの溶接作業をコンピューター制御で反復作業を行わせるために、高品質な溶接の連続作業が可能となり、製作する鉄筋籠の品質管理が容易となった。このことにより、信頼性の高い鉄筋籠の製作が可能となった。

③安全性の向上

従来の鉄筋籠製作作業では、配筋された鉄筋上での作業員の足の踏み外しや、梯子・脚立作業での転倒などの災害が発生する可能性が大きかった。しかし、本システムの導入により、作業員の配筋上での作業や、梯子・脚立を使用しての作業が大幅に減少したため、安全管理の改善に大きく貢献した。

④省力化の実現

本システムによる鉄筋籠1エレメントあたりの製作延人員は、従来的人力製作の半分以下となり、鉄筋籠製作の省力化を実現した。

5. 今後の課題

「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」を研究開発し、実施工に採用したことにより、鉄筋籠製作における省力化や作業の安全性・品質管理等の点で本システムの優れた効果が実証された。

これからの課題としては、ティーチングの簡素化やセンシングの迅速化（または、センシングレス化）、多関節ロボットや台車・上屋の走行速度の向上等でシステム全体の高速化をはかることが望まれる。そのためには、数多くの実施工への導入・活用機会を設け、実践を通じたシステムの改良が必要である。

今後、大規模な地中連続壁の施工が多く望まれるなかで、「鉄筋籠自動溶接ロボットシステム」は、掘削制御管理システム・安定液管理システムと併せて有効な施工手段となるであろう。