

ロボットアームを使用した鉄筋組立て自動化システムの開発

| | | | |
|-----------|-----|----|--------|
| 三井住友建設(株) | 正会員 | 工修 | ○竹之井 勇 |
| 三井住友建設(株) | 正会員 | | 村田 宣幸 |
| 三井住友建設(株) | 正会員 | 工修 | 水田 武利 |

キーワード：鉄筋組立て，ロボットアーム，自動化，生産性向上

1. はじめに

昨今，人口減少や高齢化が進む中，建設現場においても労働者減少を補う目的で生産性向上が求められている。とくに，国土交通省が提唱する ICT を活用した建設生産プロセスにおける生産性向上の取組みである「i-Construction」の実現が掲げられている。当社では，「i-Construction」の具現化に向けてさまざまな取組みを行っている中，建設工事においてさまざまな工種で生産性向上のボトルネックとなっている鉄筋組立ての自動化システムの開発に着手した。

鉄筋組立て自動化システムは，現在作業員の人力によるコンクリート構造物の鉄筋組立て作業を，ロボットアームを用いることによって自動化し，大幅に省人化できるシステムである。本報告では，鉄筋組立て自動化システムのこれまでの開発経緯，さらにロボットアームによる動作確認試験を実施し，鉄筋の配置と結束の自動化に目処をつけたことを報告する。

2. 開発対象

開発の対象として，配筋が比較的容易で工場にて大量製作される鉄道構造物の軌道スラブを選定した。軌道スラブとは，鉄道レールの下に設置されるコンクリート製の板であり，現在，当社三田川 PC 工場（佐賀県神埼郡吉野ヶ里町）にて以下に示す工事で製作している（写真-1，2）。

【工事名】九州新幹線（西九州），武雄・大村間軌道スラブ製作運搬

【発注者】独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構

【工 期】平成 29 年 11 月 24 日～令和 3 年 2 月 23 日

【製作枚数】「5m タイプ」11,248 枚 「4m タイプ」685 枚



写真-1 敷設された軌道スラブ



写真-2 本工事での製作品（5m タイプ）

軌道スラブ「5mタイプ」の配筋図を図-1に示す。構造寸法は、長辺4.9m×短辺2.22m、厚さ190mmであり、中央に孔のあいた板状構造である。配筋は、上筋と下筋の2段となっており、突起部や孔空き部などの曲げ加工された補強鉄筋を除いて、それぞれ上下筋はD13の格子配筋となっている。さらに、その上下の格子鉄筋は、それぞれ1本の両端が曲げ加工されたフック付き鉄筋である。本工事では、軌道スラブを31枚/日製作しており、鉄筋組立て作業から鋼製型枠への配置、コンクリート打設、養生、仮置きをサイクル施工で行っている。鉄筋組立て作業では、曲げ加工されたフック付き鉄筋を正規位置に配置・保持するために溝切りされた鉄筋組立て架台を使用して、毎日作業員約20名を配置して31枚分/日の鉄筋配置から結束の地組を行っている(写真-3)。

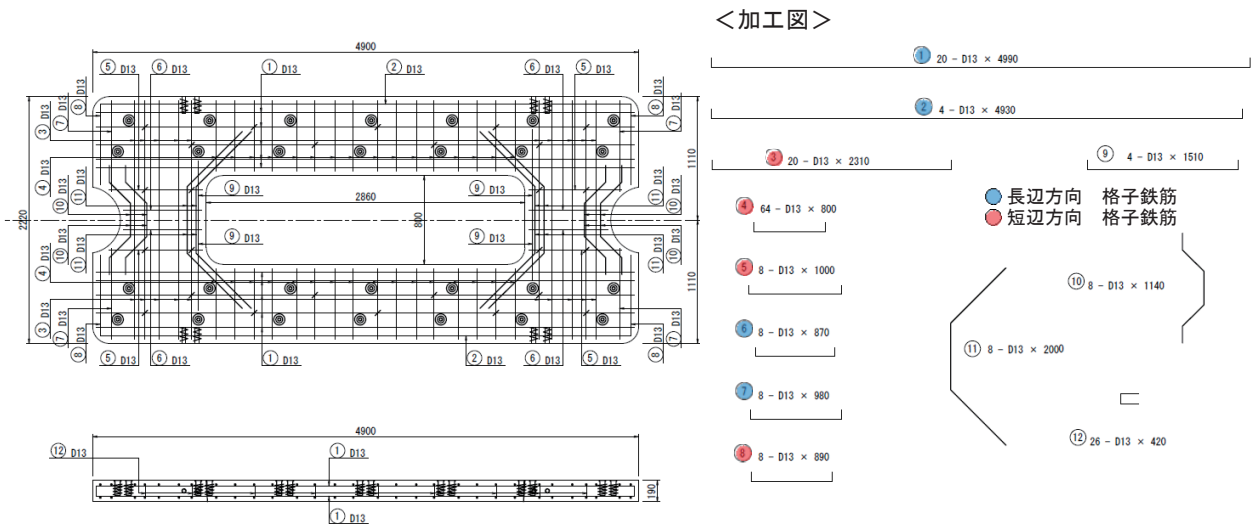


図-1 軌道スラブ (5mタイプ) 配筋図

3. 鉄筋組立て自動化システム開発について

3.1 開発工程について

開発工程を表-1に示す。まず、軌道スラブ全鉄筋のうち格子鉄筋となる鉄筋9種類を対象として、今年中(2019年)の対象工事への導入を目指して昨年度(2018年度)から検討を開始した。ロボットアームを使用した鉄筋配置から結束、さらに鉄筋供給方法の検討に加えて、三田川PC工場の倉庫や門形クレーンなどの立地条件に応じた全体レイアウト検討を同時に進めた。その後、検討が進んだ2019年3月には、軌道スラブ配筋を模擬して、ロボットアームを使用した鉄筋配置と結束の動作確認試験を実施した。



写真-3 鉄筋組立て状況
表-1 開発工程

| | 2018 | | | | 2019 | | | |
|-----------|----------------|----------------|---|----|----------------|---|---|----|
| | 3 | 6 | 9 | 12 | 3 | 6 | 9 | 12 |
| 全体レイアウト検討 | [Progress bar] | | | | | | | |
| 鉄筋配置 | 供給方法の検討 | [Progress bar] | | | | | | |
| | 保持方法の検討 | [Progress bar] | | | | | | |
| 配筋結束 | 鉄筋結束機の選定 | [Progress bar] | | | | | | |
| | 結束方法の検討 | [Progress bar] | | | | | | |
| 動作確認試験 | [Progress bar] | | | | [Progress bar] | | | |
| 現場導入 | 試験検証、改善 | [Progress bar] | | | | | | |
| | 実機製作・導入 | [Progress bar] | | | | | | |

3.2 全体レイアウト検討

三田川PC工場の倉庫内には門形クレーンが配置されており、門形クレーン下の空間内（幅約10m、高さ約3.5m）で全体レイアウトを検討した。レイアウト案概要図を図-2に示す。ロボットアームの可動範囲が軌道スラブの端部に届くために、ロボットアームは軌道スラブの中央付近に天吊り固定配置とし、その下に鉄筋組立て架台を載せたローラーコンベアを配置した。ローラーコンベアにより、自動的に鉄筋組立て架台が移動するシステムとした。鉄筋組立て方法では、上筋の場合、フック付きの鉄筋で配置時にフックが下向きとなるため、配筋後の保持が困難であること、さらに結束時の結束線がかぶり内に入ってしまうことが課題であった。そのため、上筋・下筋の格子鉄筋用の鉄筋組立て架台をそれぞれローラーコンベア上に配置して別組立てとし、さらに上筋の上下を逆さまにして組み立てることにより、配筋後の保持を容易とし、結束線がかぶりを侵さずに軌道スラブ内側となるようにした。鉄筋供給方法は、ローラーコンベアの両脇に各鉄筋の供給機を配置し、さらに細幅の加工鉄筋用コンベアにてロボットアーム可動範囲内まで各鉄筋を運搬させる構造とした。本システムは24時間稼働で31枚製作するとし、鉄筋供給や残り鉄筋組立ての作業などを作業員による補助と想定した場合、9人工（3名×3交代）程度となり、現状の約20名に対して大きく省力化が図れると考えられる。

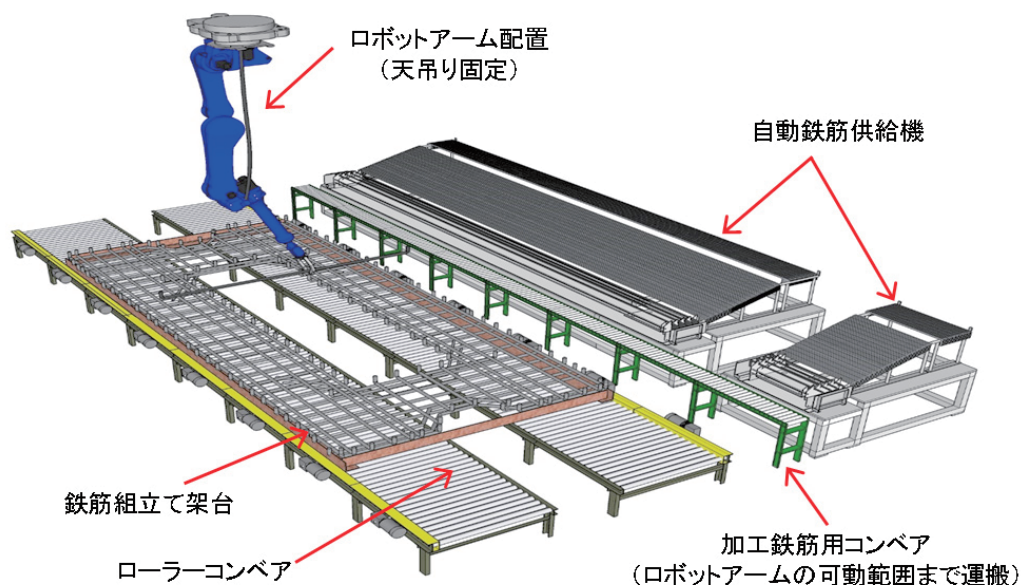


図-2 三田川 PC 工場でのレイアウト案 概要図

3.3 動作確認試験

ロボットアームを使用して鉄筋の配置・結束を模擬した動作確認試験を実施した。軌道スラブの長辺と短辺の鉄筋架台を1箇所ずつ再現し、ロボットアームを中央付近に配置した（写真-4）。ロボットアームによる鉄筋配置位置や結束位置の認識・検出は、あらかじめロボットアームへのティーチング（プログラミング）によって位置を記憶させることにより、自動的に対象位置へ移動するシステムとした。鉄筋配置・結束機能については次項以降に記すが、本試験により、ロボットアームによって鉄筋の配置・結束が可能であることを確認した。



写真-4 動作確認試験状況

3.4 鉄筋配置

鉄筋配置システムは、ロボットアームの先端に鉄筋保持治具を接続する構造とした。組立て自動化を目指す格子鉄筋は、長さ約0.7m~4.8mとさまざまな種類の鉄筋がある。そのため、鉄筋配置の検討では、長さの異なる格子鉄筋1本をロボットアームがどのようにして掴み、保持して、鉄筋組立て架台上の正規位置に移動させるかが課題であった。鉄筋の掴みにはチャック式を採用(写真-5)し、鉄筋保持治具に組み込んだ。さらに、事前に鉄筋たわみ試験を実施し、それぞれの格子鉄筋に対して保持間隔などを検討した。格子鉄筋の長さに応じて1~4点で保持するチャック部を配置した鉄筋保持治具にすることにより、鉄筋のたわみを抑えて鉄筋組立て架台の正規位置に精度良く配置できることを確認した(写真-6)。

3.5 鉄筋結束

鉄筋の結束では、市販の鉄筋結束機をロボットアーム先端に接続する構造を検討した。市販の鉄筋結束機は、機械内にロール状の結束線がセットされており、結束位置に機械を設置してスイッチを押すことにより結束線が飛び出し、鉄筋同士を自動的に結束する機械である。ロボットアームとの接続部には、結束時に生じる衝撃をロボットアームへ伝達させないため、バネを利用して衝撃を吸収できる緩衝治具を組み込む工夫をしている。ロボットアームによって、鉄筋結束機を結束位置に精度良く設置し、結束できることを確認した(写真-7, 8)。また、ロボットアーム先端に接続する鉄筋配置時の鉄筋保持治具と鉄筋結束時の機器は、その都度自動的に取替えながら鉄筋組立て作業を進めることを想定している。

4. 今後の予定

当システムは、工場製作する比較的配筋が容易な軌道スラブを対象とし、第一ステップとして軌道スラブの一部の鉄筋に適用して現場導入を目指す。さらに今後、検証して改善を進め、第二ステップとして軌道スラブのすべての鉄筋を自動組立てすることを目指し、将来は、高速道路における大規模更新事業のPC床版や現場ヤードにおける鉄筋組立てなどさまざまな工種に展開して、さらなる省人化、生産性向上を目指す予定である。

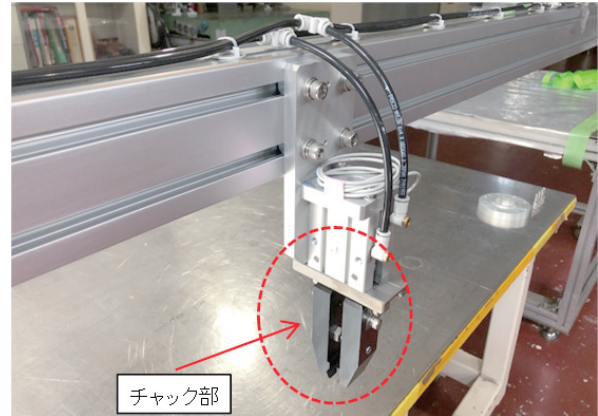


写真-5 鉄筋掴み部 (チャック式)

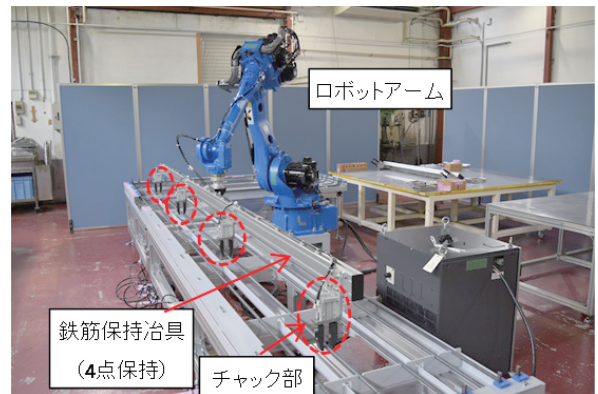


写真-6 鉄筋保持状況 (4点保持の場合)

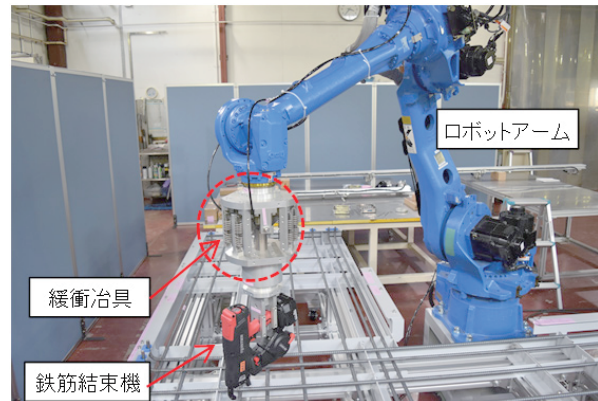


写真-7 鉄筋結束状況



写真-8 結束機設置状況