

鉄筋組立・鉄筋出来形計測の自動化

三井住友建設(株)	正会員	○岡本 菜里
三井住友建設(株)	正会員	竹之井 勇
三井住友建設(株)		水田 武利
三井住友建設(株)	正会員	二宮 健

1. はじめに

近年、日本が直面している少子高齢化に伴う担い手不足により、働き方改革の推進や生産性向上への対応が必要になってきている。それに伴い IoT や AI を活用したさまざまな技術の高度化が進んでおり、建設現場での各技術の運用に期待が高まっている。このため当社では生産性向上を目的として、鉄筋組立作業の自動化と鉄筋出来形計測作業の自動化の2つの技術を開発した。本稿では、各技術の概要と開発経緯、開発の流れ、活用成果と期待される効果、および今後の展望について報告する。

2. 鉄筋組立作業の自動化

(1) 鉄筋組立自動化システムの概要と開発経緯

当社は、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作業の自動化に着目し、コンクリート構造物の鉄筋組立作業において、ロボットアームを使用して鉄筋を自動で配置・結束するシステム「ロボタラス (Robotaras / ROBOT Arm Rebar Assembly System)」の開発を行った (写真-1)。



写真-1 鉄筋組立自動化システム
ロボタラス

(2) 対象構造物の選定

本システムの開発にあたり、対象構造物として、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 (写真-2)。そこで、当社三田川 PC 工場 (佐賀県神埼郡吉野ヶ里町) にて軌道スラブを製作する以下の工事を、本システムの開発対象工事とした。

- 【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
- 【製造枚数】 11,933 枚

軌道スラブの配筋図と加工図を図-1 に示す。構造寸法は、長辺 4.9m×短辺 2.22m、厚さ 190mm であり、開口部のある板状構造である。配筋は、上筋と下筋の2段となっており、それぞれ D13 の両端が曲げ加工されたフック付き鉄筋が格子に配置されている。また格子鉄筋に加えて、突起部や開口部等に使用する補強用鉄筋が存在する。

本工事では、鉄筋地組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おり、その中の鉄筋地組作業については、従来、作業員約 20 名で 31 枚/日の鉄筋組立作業を行っていた。



写真-2 軌道スラブ

キーワード 鉄筋組立自動化、ロボットアーム、鉄筋出来形自動検測、デブスカメラ、生産性向上

連絡先 〒104-0051 東京都中央区佃 2-1-6 三井住友建設(株) 土木技術部 構造技術グループ TEL 03-4582-3060

本工事では、開発の初段階として、軌道スラブ鉄筋全体重量の75%を占めている長短4種類(800mm, 2310mm, 4930mm, 4990mm)の格子鉄筋を自動化対象とした。

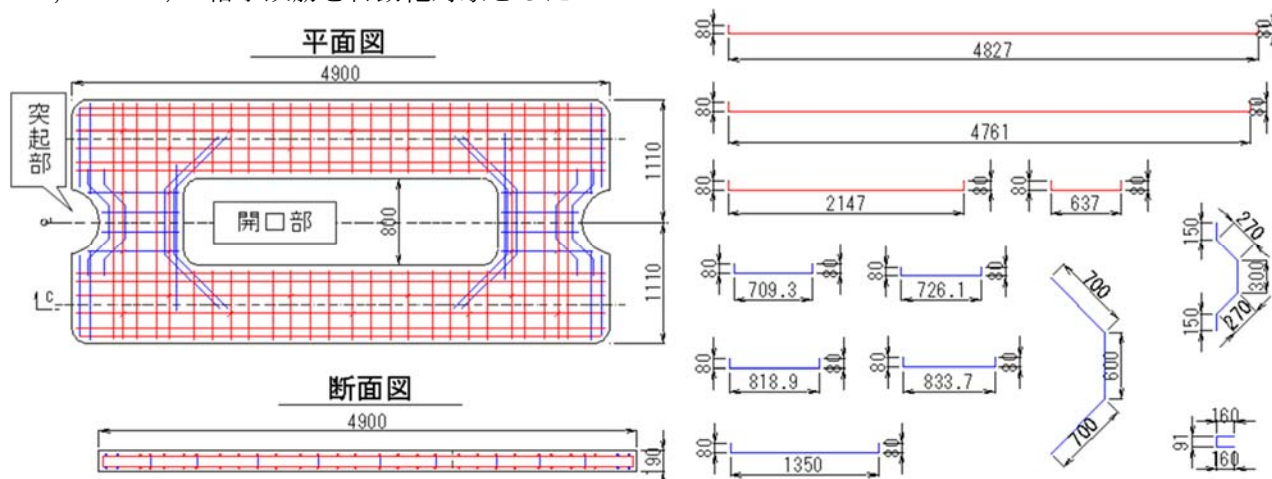


図-1 軌道スラブの配筋図と加工図（赤色：自動化対象鉄筋）

(3) 各作業の基礎的な開発

a) 鉄筋配置作業

鉄筋配置は、ロボットアームの先端にチャック式の鉄筋保持治具を接続する構造とした。鉄筋の長さで保持間隔の違いによる鉄筋のたわみを検証し、鉄筋の長さに応じて2～4点で保持することで、鉄筋のたわみを抑制し、確実に配置できることを確認した（写真-3）。

b) 鉄筋結束作業

鉄筋結束は、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とした。市販の鉄筋結束機は、機械内にロール状の結束線をセットし、結束位置に機械を設置してスイッチを押すことで結束線が飛び出し、鉄筋同士を自動的に結束する機械である。鉄筋結束機とロボットアームとの接続部には、バネを利用した緩衝治具を組み込み、結束時に発生する衝撃をバネに吸収させ、ロボットアームへの影響を軽減させる構造とした（写真-4）。



写真-3 鉄筋配置作業状況

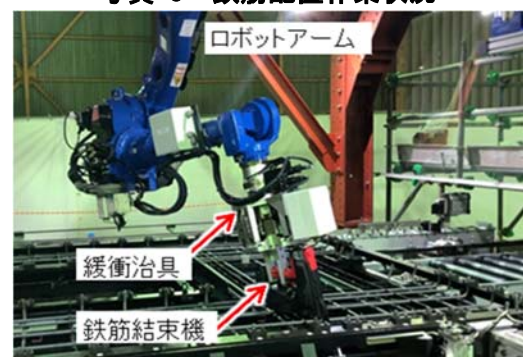


写真-4 鉄筋結束作業状況

(4) 鉄筋組立自動化システムのレイアウト

本システムのレイアウトは、エリアを「自動鉄筋組立エリア」と「補助作業エリア」に区分けし、ロボットアームと補助作業員の混在作業を防止した（図-2）。図-3に組立フローを示す。「自動鉄筋組立エリア」では、ロボットアームによる自動配筋・結束を行った。「補助作業エリア」では、補助作業員2名により、自動化されていない補強筋の組立や、鉄筋供給機への加工鉄筋の補充、鉄筋結束機へのワイヤ充填作業、および配筋確認等の補助作業を行った。

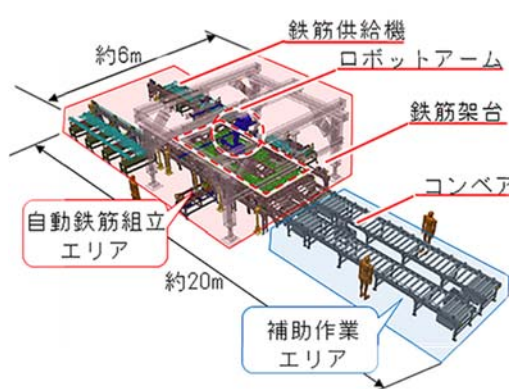


図-2 レイアウト概要図

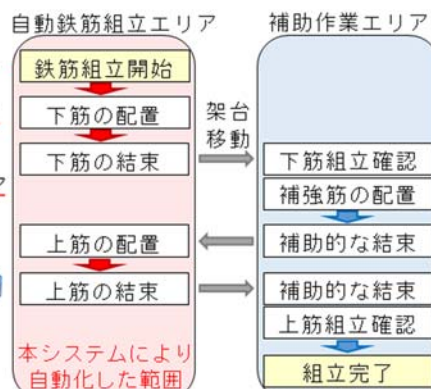


図-3 軌道スラブ鉄筋組立フロー

(5) 鉄筋組立自動化システムの活用成果と期待される効果

本システムを用いて組立てた鉄筋は、従来の組立方法と比較して、精度や結束の強度に遜色がないことを確認した。本システムを用いた場合、システムと補助作業員 2 人により 1 枚あたり 120 分/枚で組立てられる。今後、補助作業員による配置・結束状況の確認時間等の省略により 100 分/枚で組立可能と考えている。そのため、従来の手動組立と比較して、作業員 1 人当たりの 1 日に組立可能な枚数が約 50% 増加し、生産性の向上が実現できる (図-4)。

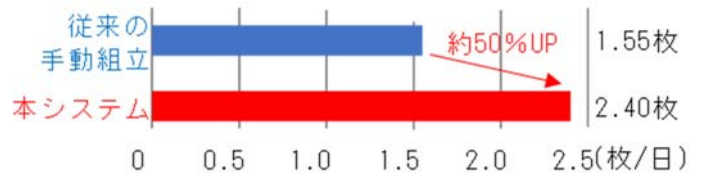


図-4 1人1日当たりの組立可能枚数

3. 鉄筋出来形計測作業の自動化

(1) 鉄筋出来形自動検測システムの概要と開発経緯

一般的な鉄筋出来形計測は、施工管理者2名1組にて鉄筋径や配筋間隔の計測をスケールやノギスを用いて行い、計測結果の記録や鉄筋出来形計測調書の作成を行う。また立会検査では、計測者、黒板保持者、撮影者および発注者の計4名が携わり、鉄筋径および鉄筋の種類を区別するためのマーキングや、配筋間隔を示す標尺などを配置し、出来形計測や写真撮影をするなど、現場施工においては多くの時間を要している (写真-5)。

そのため鉄筋出来形計測における施工管理者の負担減少および作業の省力化を目的として、組立てられた鉄筋をデプスカメラにて撮影するだけで鉄筋径や配筋間隔の計測、写真管理などを自動で行うことができる「リアルタイム鉄筋出来形自動検測システム」の開発を行った。

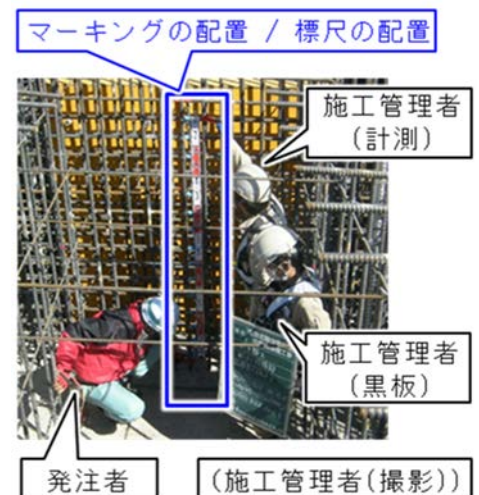


写真 - 5 鉄筋出来形検査状況

(2) 3次元情報を取得する方法の検討

写真撮影をするだけで自動的に鉄筋径や配筋間隔の検測を行う方法として3次元情報の取得に着目し、2つの方法について比較検討した。

- a) 2枚のデジタルカメラ画像により3次元情報を取得する方法 (ツービュー:ステレオ撮影) (図-5)
- b) 3次元カメラ (以下、デプスカメラ) により3次元情報を取得する方法 (図-6)

a) のツービューにより3次元情報を取得する方法とは、対象物に専用のマーカ―や計測治具を配置した後、デジタルカメラを用いて2方向から対象物を撮影し画像処理をすることで、3次元情報を取得する方法である。

b) のデプスカメラにより3次元情報を取得する方法とは、撮影時に赤外線レーザーを照射することで対象物との距離を計測するという機能を用いて3次元情報を取得する方法である。

ツービューにより3次元情報を取得する方法では、専用のマーカ―や計測治具の配置が必要となるだけでなく撮影者のノウハウも必要となるため、計測時間短縮の効果が小さいということが懸念される。そのため、施工管理者の負担減少と将来性の観点から、デプスカメラにより3次元情報を取得する方法を採用した。



図 - 5 ツービューの3次元情報取得



図 - 6 デプスカメラの3次元情報取得

(3) 鉄筋出来形自動検測のための基礎的な開発

a) リアルタイム鉄筋出来形自動検測システムでの検測の仕組み

リアルタイム鉄筋出来形自動検測システムでは、撮影時に赤外線レーザーを照射することで対象物との距離を計測する距離画像用カメラと、デジタルカメラなどに使用され色彩を判別する色画像用カメラとを併用して鉄筋出来形を検測するシステムを構築した（図 - 7）。本システムでは、ミリ単位の精度が求められる鉄筋径や配筋間隔の検測には、より解像度が高い色画像を使用し、対象平面の鉄筋抽出には距離画像を使用する。本システムを利用した検測の流れを図 - 8に示す。

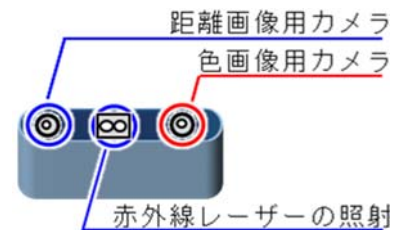


図 - 7 デプスカメラの仕組み

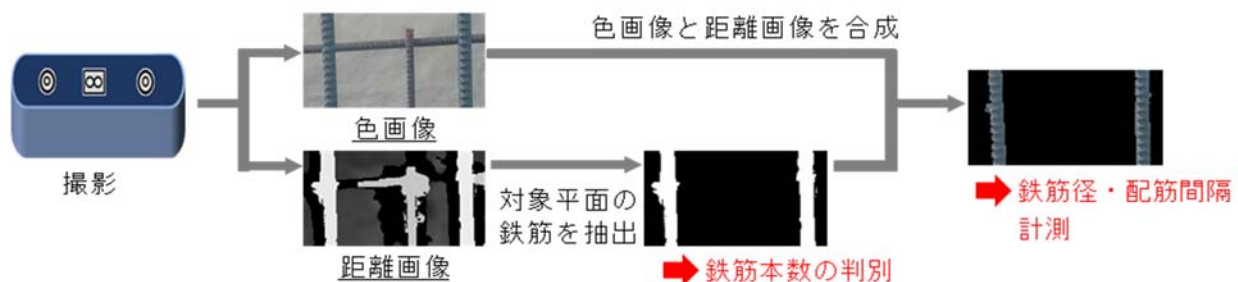


図 - 8 リアルタイム鉄筋出来形自動検測システムでの検測の流れ

b) 動作確認試験と現場実証

デプスカメラを搭載したタブレットを用いて動作確認試験と現場実証を実施した。本試験および実証では、鉄筋径や配筋間隔の検測精度確認、多段配筋での対象鉄筋抽出の精度確認、使用型枠や日照、振動が検測に影響を及ぼすかどうかの確認を行った。その結果、D13の鉄筋（公称幅 11.6～14.0 mm）において実測値 12.6 mmで鉄筋径 D13 と判別、また D25 の鉄筋（公称幅 23.6～28.2 mm）において実測値 26.6 mmで鉄筋径 D25 と判別し、さらに配筋間隔の検測では、手計測と比較して±1.0 mm以内という結果になり十分な検測精度を有していることを確認した。また2段配筋（前後の離隔距離 125 mm）での検測において、任意の面の鉄筋を正確に抽出できたため、多段配筋における対象鉄筋の正確な抽出が可能であることを確認した。さらに、型枠の材質や光の反射、検測角度、および施工時の振動が検測結果に影響を与えないことを確認できた。

(5) リアルタイム鉄筋出来形自動検測システムの活用成果と期待される効果

本システムはデプスカメラを搭載したタブレットを用いて対象鉄筋を撮影するだけで、鉄筋径や配筋間隔の検測までをリアルタイムで自動出力できる。このため図 - 9に示すとおり本システムでの検測に要する延べ検測時間は、一般的な計測方法に要する延べ計測時間と比較して3分の1に縮小することが期待できる。



図 - 9 一般的な計測方法と本システムの検測方法での所要時間の比較

4. 今後の展望

今後、鉄筋組立自動化システム「ロボタラス」は、高速道路の大規模更新事業（床板取替工事）や建築構造物のプレキャスト部材へ導入展開したいと考えている。また、リアルタイム鉄筋出来形自動検測システムは、鉄筋の検測だけではなくPC鋼材などさまざまな部材の検測への適用や、土木や建築分野における各施工段階での出来形検測へ導入展開したいと考えている。今後、更なる施工精度向上と作業速度の上昇を図り、生産性向上へ繋げ、施工管理者の負担減少および作業の省力化を目指していく。