

リアルタイム配筋検査システムの有効性評価について

高村 直樹¹・大平 英生²

¹高田河川国道事務所 (〒943-0847 新潟県上越市南新町3番56号)

²高田河川国道事務所 工務第二課 (〒943-0847 新潟県上越市南新町3番56号)

高田河川国道事務所が管理する国道18号妙高大橋は、コンクリートのひび割れ、鉄筋露出・発錆、PC鋼材の一部破断等の劣化損傷が進行しており、架替事業を実施している。

妙高大橋架替下部その4工事において、鉄筋コンクリート構造物の施工時に行う配筋検査の精度維持と省人化・省力化を目的として開発中のリアルタイム配筋検査システムの試行フィールドとし、配筋検査における計測精度や生産性の向上等の評価を行ったものについて報告する。

キーワード 監督検査、施工管理、鉄筋コンクリート、生産性向上

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物における配筋検査は、検査帳票作成や検査用具準備、自主検査および段階確認など複数人で多くの時間を要するため、検査の精度維持と省人化・省力化の両立が課題となっており、従来から各機関で開発が進められているが^(例えば1)2)3)、計測精度、計測時間やシステムの大きさ・重量などの使い勝手などの要因から実用化には至っていない。これらの課題を解決するため、現在開発中のリアルタイム配筋検査システムを試行した。(写真1、写真2)

試行を通じ技術的課題の抽出・改善を重ね、国土交通省発行の土木工事施工管理基準及び規格値(案)⁴⁾の規格値との比較を実施しシステムの適用性を検証した。また、土木工事共通仕様書(案)⁵⁾に鉄筋組立完了時の段階確認を実施すると規定されている監督員の労働生産性向上のためにクラウドによる情報共有システムを提案した。

本論文では、システム機能、試行時の計測精度、写真3に示す妙高大橋架替下部その4工事での自主検査時における生産性や安全性に及ぼす効果について記す。



写真2 計測結果の例

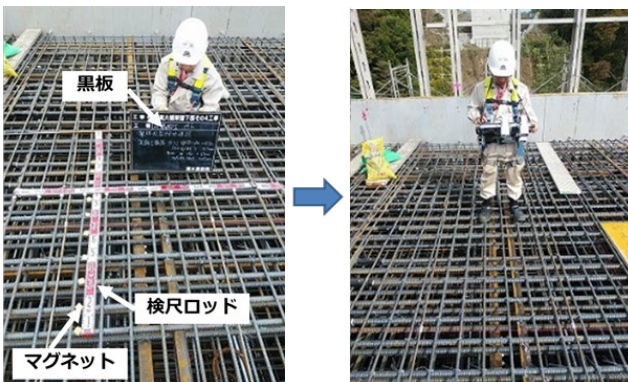


写真1 配筋検査比較(左:従来, 右:システム利用)



写真3 妙高大橋現場状況

2. システムの機能

本システムの寸法は、幅300×高さ200×奥行150 (mm)、重量は3kg程度と可搬性を有する。3つのカメラで異なる方向から同時に鉄筋を撮影することにより、鉄筋位置や鉄筋の輪郭を抽出し、鉄筋径と間隔を算定する(写真4, 写真5)。写真6のようにセパレータや足場のブレースなどの鉄筋以外の異物を自動除去し、上下2段の縦・横方向配筋、合計4段の同時計測や複数の検査結果を自動で重ね合わせた広域な面の配筋検査も可能である。画像内の任意の2点間距離が計測できるため、重ね継手長やかぶりも計測できる。配筋検査は雨天時にも実施するため、防水機能も有する。

配筋ミスの早期発見のため、図1のような鉄筋CIMモデルから抽出した任意の場所における計測結果とCIMモデルとの比較も可能である(図2)。

検査結果を施工計画時の情報とともにクラウドサーバーで監督員や施工管理者などの関係者と共有することで、遠隔地からでも施工状況の把握ができるため、施工品質の向上が期待できる。また、検査結果は3枚の元画像を用いた算定値であるため、元画像を変更すると検査結果も異なる。3枚の元画像を改ざんして同様の検査結果を得ることは極めて困難なため、改ざん防止が図れ、高い信憑性を有する。

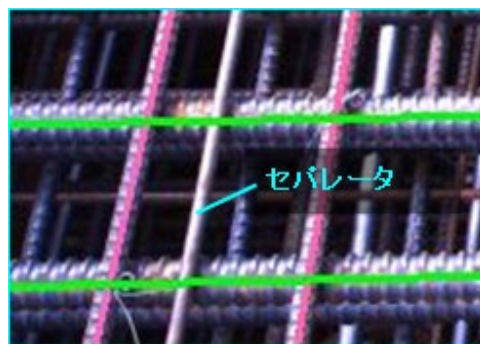


写真6 セパレータ除去状況

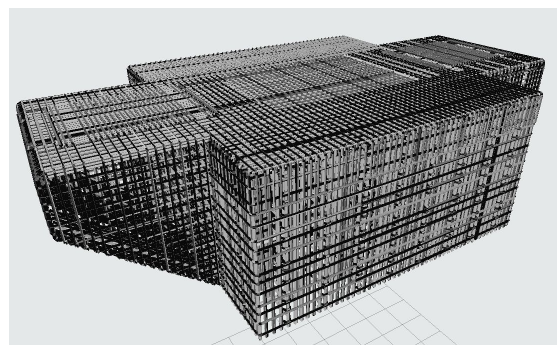


図1 脚頭部鉄筋 CIM モデル

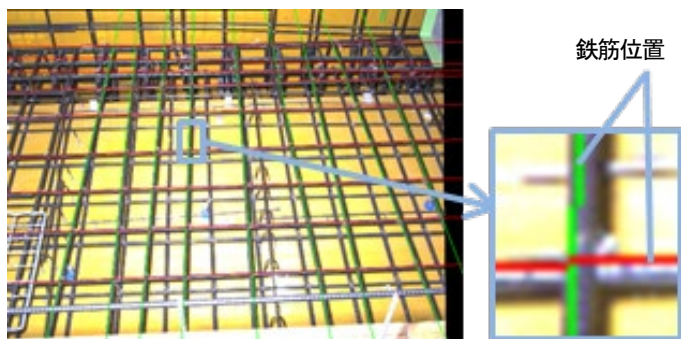


写真4 鉄筋位置抽出例

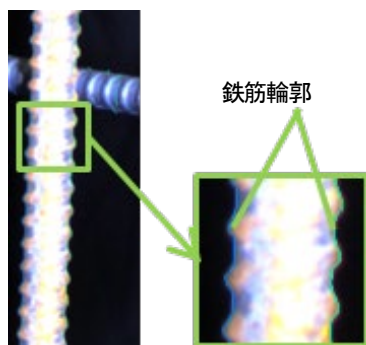


写真5 鉄筋輪郭抽出例



図2 計測結果と CIM モデル比較 (赤: CIM モデル)

3. 計測精度および生産性・安全性の評価

試行の結果、鉄筋径や間隔、本数が7秒程度で算出可能であり、現場での運用上、支障がないことを確認した。スケールとシステムを用いた平均間隔の誤差と鉄筋径との関係を図3に、鉄筋径で正規化した平均間隔の誤差と頻度の関係を図4に示す。

鉄筋径によらず平均誤差のばらつきに大きな差異は見られなかった。また、平均間隔誤差を鉄筋径で正規化した値の最大値は0.125であり、土木工事施工管理基準及び規格値(案)⁴⁾の平均間隔の規格値 $\pm\Phi$ を計測可能であることを確認した。鉄筋径の判定については、表1に示すように規格の誤判定が生じ、計測した鉄筋全体での鉄筋径判別精度は88%であった。誤判断の要因は写真7のように本来計測すべき鉄筋と平行にスターラップが配置さ

れる場合などに、スターラップも同時に計測し鉄筋径を太く判断するなど、鉄筋輪郭検出の誤りに起因すると考えられる。

従来検査とシステム検査による検査時間の比較を表2に示す。従来は自主検査の際に、配筋調書のひな型を事務所で作成し、検尺ロッドやマグネット、黒板などを準備し、現場でスケールを用いて計測し、黒板に計測結果を記入し、写真撮影をして、事務所に戻って帳票を整理していた。自主検査は計測やマグネットの取付の必要があるため2名で、立会検査は3名で実施していたが、本システムを使用することにより、1名で対応可能であることを確認した。システムを用いることにより、現場および事務所での作業時間が17時間30分から5時間10分と70%削減できる見込みとなった。

現状では写真8のように監督員による現場での段階確認が行われているが、本システムでは写真9のように、情報共有が可能であるため、遠隔地からの検査ができることを確認した。表2には監督員の現場への移動時間や検査時の時間短縮などの効果は含まれていないため、遠隔での段階確認が可能になれば、さらに大きい生産性向上効果が期待できる。

従来の配筋検査で柱を検査する際は、マグネットなどの取付のために鉄筋に触れる必要がありブラケット足場を解体できなかった。本システムでは離れた位置からの検査が可能のため、鉄筋組立後、すぐに足場解体ができ、工程短縮にも寄与できる可能性がある。

生産性の向上により高所作業時間は、15時間を3時間10分に、さらに、写真10のように足場など鉄筋から離れた安全な位置からの検査が可能になること、マグネットや検尺ロッドなどの設置の必要がないため、それらの落下の危険性が除去でき、安全性の向上にも寄与することも確認した。

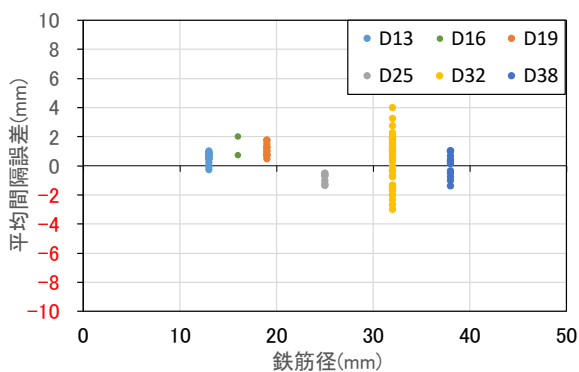


図3 鉄筋径計測結果の例



写真7 配筋表面のスターラップ

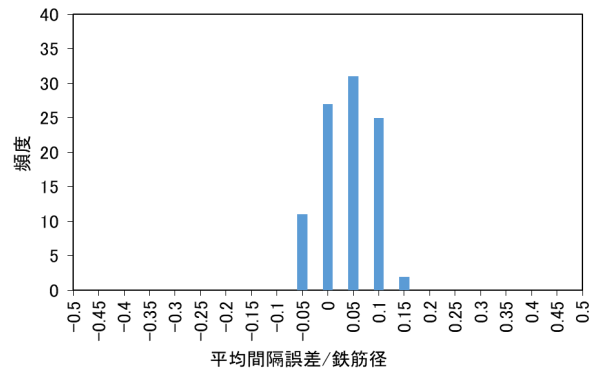


図4 平均間隔誤差のヒストグラム

表1 鉄筋径の規格判定例

| No. | 鉄筋径(縦)(mm) | | |
|-----|------------|------|------|
| | 設計値 | 計測結果 | 規格判定 |
| ① | D51 | 52.4 | D51 |
| ② | D51 | 54.8 | D51 |
| ③ | D51 | 54.4 | D51 |
| ④ | D51 | 55.9 | D51 |

| No. | 鉄筋径(横)(mm) | | |
|-----|------------|------|------|
| | 設計値 | 計測結果 | 規格判定 |
| ① | D25 | 28.5 | D29 |
| ② | D25 | 25.5 | D25 |
| ③ | D25 | 27.6 | D25 |
| ④ | D25 | 26.9 | D25 |

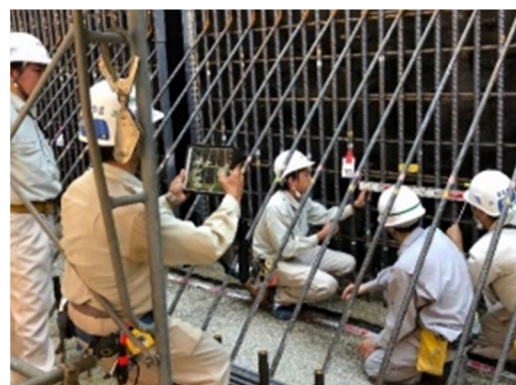


写真8 段階確認検査状況

表2 生産性評価

| 作業場所 | 作業時間 | 従来検査 | | 作業内容 | システム検査 | |
|--------|------|------|-------|------------------|--------|-------|
| | | 人工 | 人工・時間 | | 人工 | 人工・時間 |
| 事務所 | 1:00 | 1 | 1:00 | ・配筋調書ひな型作成 | 1 | 1:00 |
| 現場 | 4:00 | 2 | 8:00 | ・自主配筋検査 | 1 | 1:30 |
| 事務所 | 1:30 | 1 | 1:30 | ・自主配筋調書記入 | 1 | 1:00 |
| 現場 | 2:00 | 2 | 4:00 | ・検尺ロッド設置、黒板記入 | 1 | 0:00 |
| 現場 | 1:00 | 3 | 3:00 | ・立会配筋検査、写真撮影、片付け | 1 | 1:40 |
| 小計 | | | 17:30 | | | 5:10 |
| 削減率(%) | 70 | | | | | |



写真9 情報共有状況



写真10 配筋検査状況

5. まとめ

検査の精度維持と省人化・省力化の両立という課題を解決するためにリアルタイム配筋検査システムを用いて、日射や天候、配筋仕様などの異なる様々な条件での試行を通じ、妙高大橋架替下部その4工事での自主検査時における計測精度と生産性や安全性の評価を実施した。その結果、以下の知見が得られた。

- ①システムは可搬性を有し、鉄筋径や間隔、本数が7秒程度で算出でき、現場での運用上、支障がないこと。
- ②平均間隔誤差を鉄筋径で正規化した値の最大値は0.125であり、規格値±Φを計測可能であること。
- ③鉄筋の径判別精度は88%であり、鉄筋輪郭検出などの改善が必要であること。
- ④配筋検査時間の1/3程度への削減による生産性向上効果、高所作業の短時間化などによる安全性向上効果を有すること。

今後、鉄筋の径判別精度の向上など改良されたシステムの実用に向けて、発注者として検査や監督員の確認手法などについて検討し、施工者・発注者双方の生産性を向上させていきたい。

謝辞：本論文の作成に当たり、リアルタイム配筋検査システムを開発した清水建設（株）をはじめ関係者の皆様に謝意を表す。

参考文献

- 1)竹内啓五，太田達見：鉄筋観測のための小型形状スキャナの適用性評価，日本建築学会学術講演梗概集(東海)，材料施工，pp.193-194，2012.
- 2)蔡成浩，中村隆寛：配筋検査システム，コンクリート工学，Vol.55，No. 9，pp. 840-843，2017.
- 3)森本直樹，後閑淳司，酒匂智彦，早川 博久，平陽兵，吉田裕亮，桑島奨：ステレオカメラを活用した自動配筋検査システムの実証，土木学会全国大会第74回年次学術講演会，VI-1102，2019
- 4)国土交通省：土木工事施工管理基準及び規格値（案），2018.
- 5)国土交通省：土木工事共通仕様書（案），2018.