

(33) 3 眼カメラによる配筋検査システムの 現場適用性に関する研究

吉武 謙二¹・中野 貴公²・井手 章人³・藤井 彰⁴・有田 真一⁵

¹正会員 清水建設株式会社 技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17)

E-mail: yoshitake@shimz.co.jp

²正会員 清水建設株式会社 北陸支店 (〒920-0863 金沢市南町 4-55)

E-mail: t-nakano@shimz.co.jp

³正会員 清水建設株式会社 土木東京支店 (〒104-8370 東京都中央区京橋 2-16-1)

E-mail: akt.id@shimz.co.jp

⁴正会員 清水建設株式会社 東北支店 (〒980-0801 仙台市青葉区木町通 1-3-26)

E-mail: a_fujii@shimz.co.jp

⁵非会員 シャープ株式会社 研究開発事業本部 (〒261-8520 千葉県千葉市美浜区中瀬 1-9-2)

E-mail: arita.shinichi@sharp.co.jp

配筋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、3 眼カメラ配筋システムを開発し、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、計測精度と生産性や安全性の評価を実施した。その結果、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、平均間隔の規格値 $\pm\Phi$ を計測するために十分な精度を有していること、配筋検査時間を 1/3 程度に削減可能で生産性向上に貢献できること、高所作業時間削減により、安全性の向上にも貢献できることなどが明らかになった。

Key Words: rebar arrangement inspection, image processing, information sharing, stereo camera

1. はじめに

配筋検査基準は発注者毎に定められ、国土交通省では土木工事施工管理基準及び規格値(案)¹⁾により、測定項目を平均間隔とかぶりとし、規格値をそれぞれ $\pm\Phi$ (Φ は鉄筋径)、 $\pm\Phi$ かつ最小かぶり以上と規定してい

る。また、写真の撮影項目、撮影・提出頻度などの管理基準を写真管理基準(案)²⁾に、段階確認について土木工事共通仕様書(案)³⁾に定め、受注者は鉄筋組立完了時に監督職員による段階確認を受ける必要がある。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

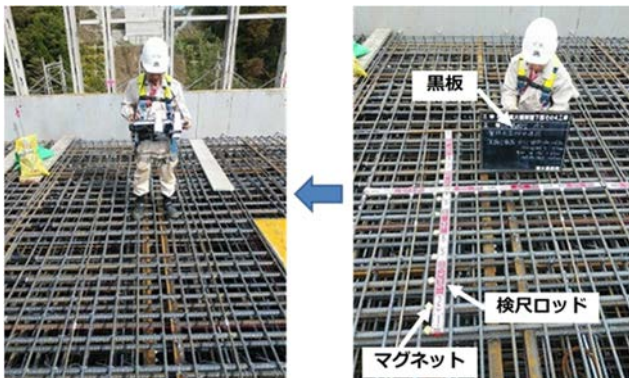


写真1 配筋検査比較(左:システム利用, 右:従来)



写真2 段階確認状況



写真3 試行現場の例 (左:妙高大橋, 右:東根川橋)

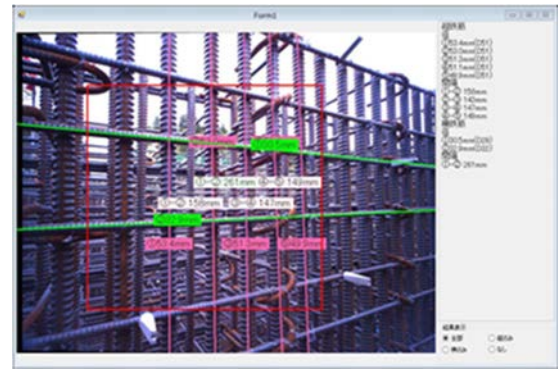


写真4 結果表示例

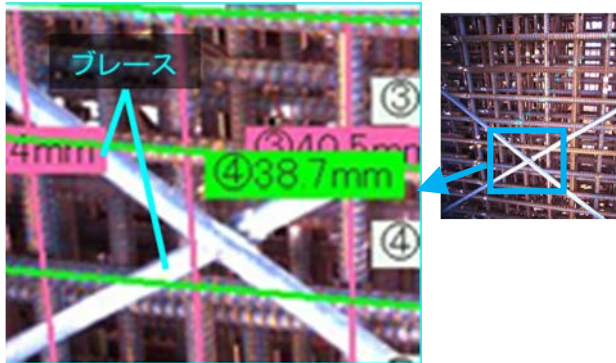


写真5 ブレース除去状況

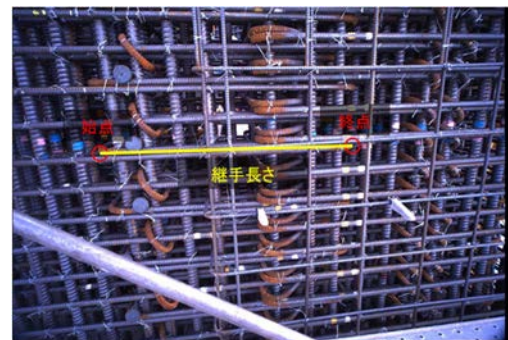


写真6 重ね継手長さ計測状況

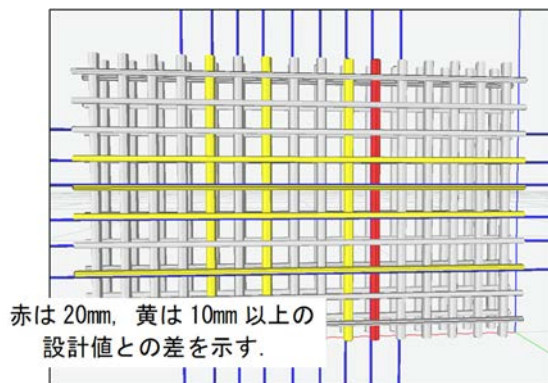


図1 計測結果と CIM モデル比較

精度維持と省人化・省力化の両立が課題となっている(写真1, 写真2)。課題解決のため、従来から配筋検査に関する開発が進められているが^{4),5),6)}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の要因から実用化には至っていない。筆者らは、3眼カメラ配筋検査システムを開発し、「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」⁷⁾に採択され、A(試行は十分な成果があり、技術の導入効果や社会実装の実現性について高く評価できる)と評価された。試行現場である妙高大橋架替下部その4工事や川崎港臨港道路東扇島水江町線主橋梁部(MP5・6)橋梁下部工事の他、東根川橋上部工事で自主検査に適用した(写真3)。様々な配筋仕様の検査に対応するため、鉄道高架橋、道路カルバート、ポンプ場施設、発電所施設など13現場で30回程度試行した。

試行を通じ技術的課題の抽出・改善を重ね、システムによる生産性や安全性の向上効果を検証した。本報では、システムの機能、試行時の計測精度検証結果、生産性や安全性に及ぼす効果について記す。

2. 配筋検査システムの機能

本システムは、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が可能である(写真4)。足場からの撮影時などに支障となる足場のブレースなどの鉄筋以外の異物は自動で除去できる(写真5)。画像内の任意の2点間距離が計測できるため、写真6のように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。

図1に示すように検査結果は鉄筋のCIMとの比較も可能で、施工計画時の情報とともにクラウドサーバーに保存できる。このため、遠隔地との情報共有ができ、監督員の検査場所への移動時間の低減や、複数人でのリアルタイムな検査情報確認による配筋ミスの防止に貢献できる。

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任意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。

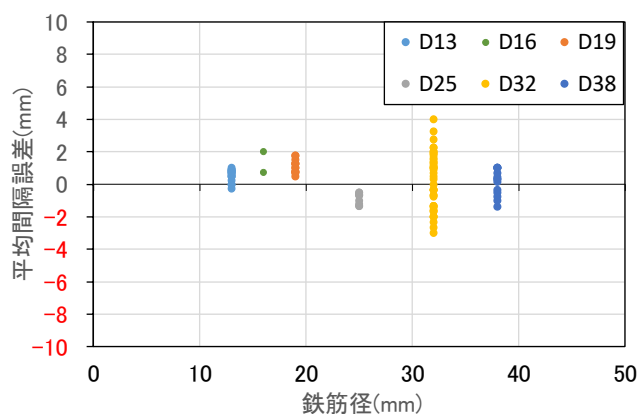


図2 鉄筋径毎の平均間隔誤差

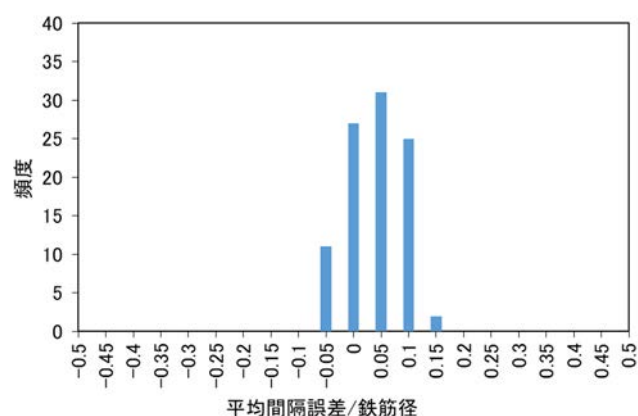


図3 平均間隔誤差のヒストグラム

3. システムの現場適用性検証

試行の結果、足場のブレースなどの鉄筋以外の異物を自動除去し、鉄筋径や間隔、本数が7秒程度で算出可能であった。また、本システムの寸法は、幅 300×高さ 200×奥行 150(mm)、重量は3kg程度であるが、足場の昇降なども含め、現場での運用に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2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3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。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、平均間隔の規格値±Φを計測可能であることを確認した。また、写真7のような傾斜のある配筋仕様や写真8のような雨天時で元画像に水滴がついた状態でも計測精度に変化は見られなかった。

鉄筋の径判別精度に関しては正解率が88%であった。誤判断の要因は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、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、改善中である。

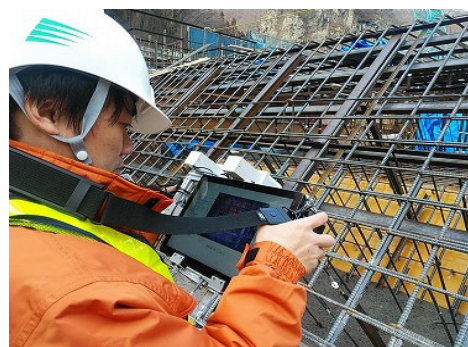


写真7 傾斜した配筋状況

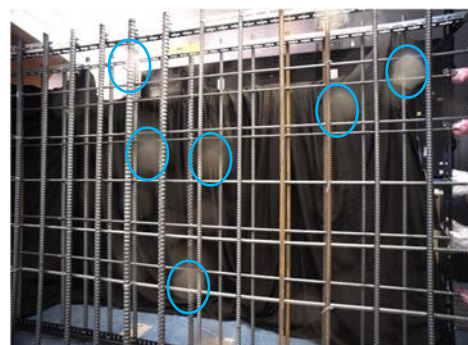


写真8 雨天時の検査状況 (○は水滴)

4. システムの生産性・安全性の評価

妙高大橋および川崎臨港における従来検査とシステム検査による検査時間の比較を表1, 2に示す。妙高大橋では、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。同様に、川崎臨港では、現場および事務所で作業時間が14時間から5時間と64%削減できる見込みとなった。

この中には遠隔立会による監督員の段階確認の時間短縮効果は含まれていないため、検査全体を考慮すると、さらに大きい労働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、妙高大橋では15時間を3時間10分に、川崎臨港では8時間を3時間

表 1 生産性評価（妙高大橋下部工事）

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 検査状況（妙高大橋）

表 2 生産性評価（川崎臨港 MP5・6 橋下部工事）

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	4:00	1	4:00	・出来形管理図表作成	1	1:00
現場	2:00	2	4:00	・配筋自主検査(2面)～検尺ロッド段取り	1	1:00
現場	1:00	1	1:00	・電子黒板作成	1	1:00
現場	1:00	3	3:00	・配筋検査立会	1	1:00
事務所	2:00	1	2:00	・検査結果まとめ ・立会写真・検査報告書メール送信	1	1:00
小計			14:00			5:00
削減率(%)			64			



写真 10 検査状況（川崎臨港）

に大幅に削減できた。さらに、写真 9、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。床版配筋では、マグネットや検尺ロッドは中腰での設置となるため、システムを利用することにより、腰への負担軽減も期待できる。

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、3 眼カメラ配筋システムを開発し、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、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配筋検査システムは可搬性を有し、足場の昇降なども含め、現場での使用に支障はないこと。
- 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、平均間隔の規格値±Φを計測するために十分な精度を有すること。
- ③鉄筋の径判別精度は 88%であり、鉄筋輪郭検出精度の改善が必要であること。
- ④自主 2 名、立会 3 名の検査員数を 1 名に省人化でき

るため、配筋検査時間を 1/3 程度に大幅に削減可能であること。

- ⑤高所作業の短時間化や検査器具の落下の危険性の除去など安全性向上にも貢献できること。

謝辞：本研究の一部は、国土交通省の「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」の援助を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省：土木工事施工管理基準及び規格値（案），2018。
- 2) 国土交通省：写真管理基準（案），2018
- 3) 国土交通省：土木工事共通仕様書（案），2018。
- 4) 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。
- 5) 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。
- 6) 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。
- 7) 国土交通省：建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト，https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000062.html，（入手 2020.6.13）