

## 三眼カメラによる配筋の確認

吉武謙二・藤井 彰・吉田直樹・有田真一

### 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）<sup>1)</sup>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 $\pm\Phi$ （ $\Phi$ 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）<sup>2)</sup>に、段階確認について土木工事共通仕様書（案）<sup>3)</sup>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、検査の精度維持と省人化・省力化の両立が長年の課題であった（写真-1）。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<sup>4)・5)・6)</sup>、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かったため、3眼カメラを用いた配筋システムを開発し、20現場で延べ40回以上の現場実証により改善を重ねた<sup>7)</sup>（写真-2）。

本技術は、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」<sup>8)</sup>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、令和元年度の追加公募にも採択された。令和元年度の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）橋梁下部工事では自主検査に適用した。さらに、令和元年度の追加公募の試行現場である写真-3の東根川橋上部工工事では、本システムが規格値（案）<sup>3)</sup>を判定可能な精度を有することが認められ、発注者監督員の段階確認にも国内で初めて適用された（写真-3）。新思惟大橋上部工工事では段階確認も含めて日常的に使用している。

本報では、システムの機能、東根川橋上部工工事および新思惟大橋上部工工事における生産性や新型コロナウイルス感染症対策を含む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原理と機能

撮影モデルを図-1に示す。平行配置された2台のカメラで同一の被写体を撮影した場合、画像内における被写体の位置が異なる。このずれ量を視差D (m) と呼び、カメラ間距離である基線長b (m) と、被写体の距離Z (m) と、カメラの焦点距

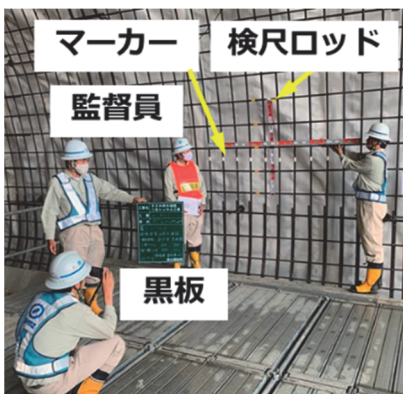


写真-1 従来の配筋検査



写真-2 システム検査



写真-3 東根川橋での段階確認状況

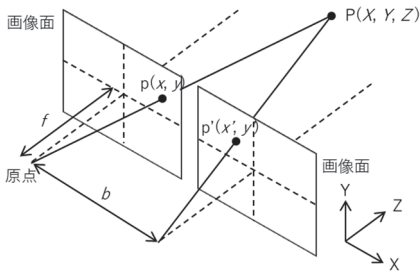


図-1 ステレオカメラの撮影モデル



写真-4 システム外観

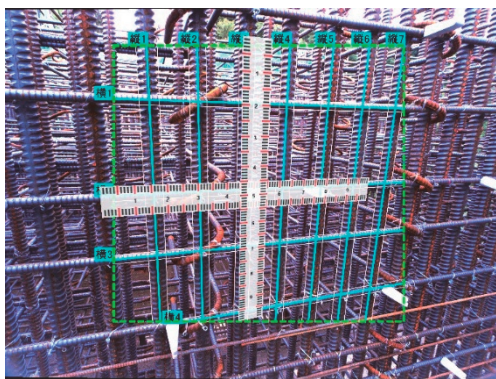
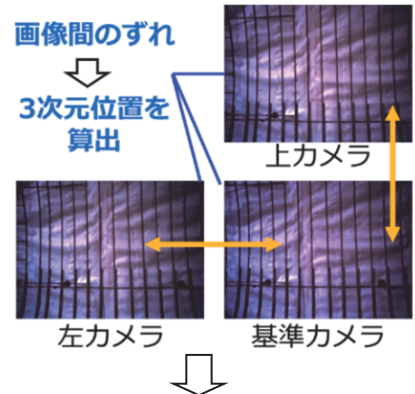


写真-5 帳票の例

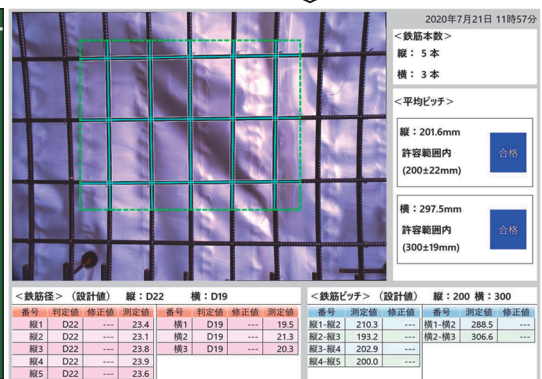


写真-6 3枚の撮影画像と検査結果の例

離 $f$  (m) には式(1)の関係があり、点 $P(X, Y, Z)$  が画像上の点 $p(x, y)$ 、 $p'(x', y')$  として撮影される。2つのカメラの焦点距離 $f$  は共通であるため、式(1)のように撮影された画像から視差 $D$ を算出することで、三次元座標を算出することができる。視差は2台のカメラの画像を用いたステレオマッチングにより算定する。この原理を応用し、鉄筋の輪郭および位置を検出することで、鉄筋径、間隔、本数が算定可能となる。

$$D = f \frac{b}{Z} \quad \text{----- (1)}$$

本システムでは、写真-4のようにカメラを1台増加し、3台のカメラを用いて計測精度の向上を図っている。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、鉄筋の輪郭や位置を抽出し、1人で撮影するだけで、鉄筋径、本数、間隔などが記載された検査帳票をリアルタイムに現場で確認できる (写真-5)。足場のブレースや鉄骨架台、セパレータ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



写真-7 使用状況(左:雨天時、右:降雪時)

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。付属のタブレットで計算するため、インターネット環境のない場所でも使用することができる。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。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 (写真-6)。



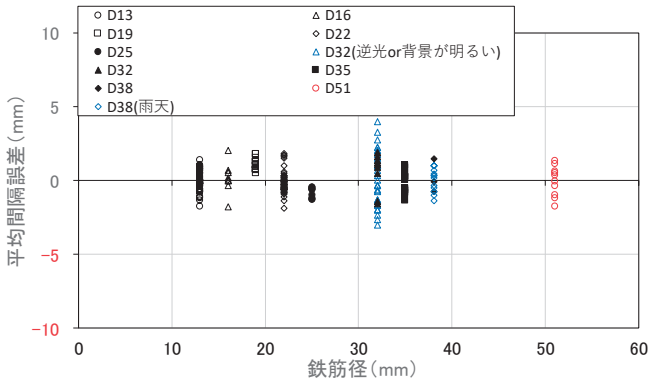


図-2 鉄筋径毎の平均間隔誤差

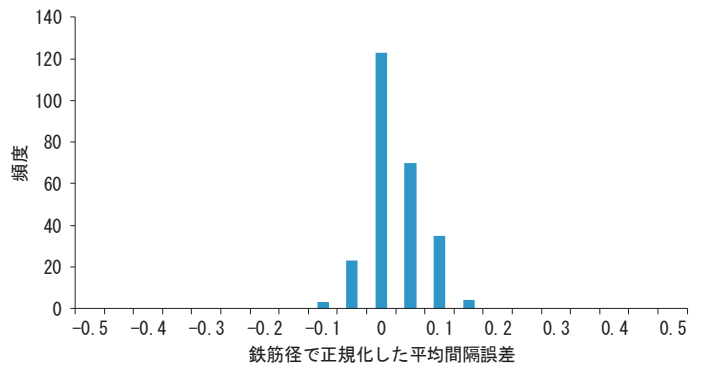


図-3 平均間隔誤差のヒストグラム



写真-8 新思惟大橋での配筋検査状況

表-1 生産性評価（東根川橋上部工工事）

配筋箇所	作業場所	従来検査			システム検査		
		作業時間	人工	人工・時間	作業内容	人工	人工・時間
橋梁上部工 (上床版4カ所、 下床版4カ所、 側壁2カ所)	事務所	2.00	1	2.00	・配筋調書ひな型作成	1	1.00
	現場	5.00	2	10.00	・配筋自主検査	1	2.00
	事務所	2.00	1	2.00	・配筋調書記入 (自主検査用)	1	1.00
	現場	2.00	3	6.00	・段階確認 (配筋検査、写真撮影、 片付け)	1	1.00
	小計			20.00			5.00
削減率(%)		75					

表-2 生産性評価（新思惟大橋上部工工事）

配筋箇所	作業場所	従来検査			システム検査		
		作業時間	人工	人工・時間	作業内容	人工	人工・時間
橋梁上部工 (上床版4カ所、 下床版4カ所、 側壁2カ所)	事務所	2.00	1	2.00	・配筋調書ひな型作成	1	0.40
	現場	5.30	2	11.00	・配筋自主検査	1	3.00
	事務所	3.00	1	3.00	・配筋調書記入 (自主検査用)	1	1.00
	現場	1.00	3	3.00	・段階確認 (配筋検査、写真撮影、 片付け)	1	1.00
	小計			19.00			5.40
削減率(%)		70					

### 3. システムの現場適用性検証

試行の結果、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。実現場においても、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。写真-7のような雨天時や降雪時でも計測精度に変化は見られなかった。

スケールと本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。スケールとシステムの計測誤差は、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0.14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。

### 4. 現場における生産性・安全性評価

#### 4.1 橋梁上部工工事における評価

東根川橋上部工工事および新思惟大橋上部工工事の現場および配筋検査状況を写真-3、8に、生産性評価結果を表-1、2に示す。東根川橋は橋長

236mの3径間連続PCラーメン箱桁橋である。配筋検査は張出し架設の1ブロックで、張出し両側で上床版4回、下床版4回、側壁2回の計10回実施した。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けの必要があるため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。表-1に示すように、従来は3名で合計20時間かかっていたが、本システムでは1名により5時間で実施でき、作業時間の75%を削減でき、生産性向上効果を有することを確認した。

新思惟大橋は橋長394mの4径間連続PCラーメン箱桁橋である。本工事でも表-2のように、張出

し施工時の1ブロック10カ所の配筋検査時間を従来方法と比較して、70%削減できることを確認した。本システムにより、現場での作業時間が大幅に削減すること、マグネットや検尺ロッド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。さらに、非接触、非対面での検査が可能になること、省人化により新型コロナウイルス感染症対策にも有効であることを確認した。この中には遠隔臨場による発注者や品質管理者の時間短縮効果は含まれていないため、遠隔臨場と組合せた場合は、さらに大きい生産性向上効果が期待できる。

## 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眼カメラによる配筋システムを開発し、PRISM対象現場である東根川橋上部工工事および新思惟大橋上部工工事で発注者の段階確認にも使用し、計測精度や生産性・安全性に及ぼす効果の評価を実施した。その結果、以下の知見を得た。

①スケールとシステムの計測誤差は鉄筋径によらず5mm以内であり、国土交通省の測定項目である鉄筋の平均間隔の規格値 $\pm\Phi$ を判定可能であること、②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70%程度削減可能であること、③現場作業時間の短縮や新型コロナウイルス感染症対策にも有効であることから安全性向上

にも貢献できること、が明らかになった。

## 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) 吉武謙二、藤井彰、谷村浩輔、有田真一：3眼カメラによる配筋検査システムの開発と社会実装、コンクリート工学 テクニカルレポート、pp.931~936、vol. 58、No.12、2020.12
- 8) 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](https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000062.html).

吉武謙二



清水建設(株)技術研究所社会システム技術センターインフラ技術グループ グループ長、博士(工学)  
Dr. YOSHITAKE Kenji

藤井 彰



清水建設(株)東北支店土木部東根川橋上部工工事作業所 所長  
FUJII Akira

吉田直樹



清水建設(株)東北支店土木部国道45号新思惟大橋上部工工事作業所 主任  
YOSHIDA Naoki

有田真一



シャープ(株)研究開発事業本部ソリューション事業推進センター第三開発室主任研究員  
ARITA Shinichi