

3眼カメラを用いた配筋検査システムの開発と各種構造物への適用

吉 武 謙 二・松 永 英 哲・松 尾 勝 司

配筋検査の精度維持と省人化・省力化という課題解決のため、3眼カメラ配筋システムを開発した。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」の試行現場である東根川橋上部工工事では段階確認に国内で初めて適用され、新思惟大橋上部工工事では、半年以上にわたり日常的に使用し躯体完成に至った。また、音中トンネルでは曲面形状鉄筋への適用性を、二色トンネルでは遠隔臨場と高い親和性も確認した。取組みの結果、平均間隔の規格値を判定するために十分な計測精度を有していること、検査時間を70%程度削減できること、高所作業時間削減や省人化効果による新型コロナ感染対策など安全性向上にも貢献できることが明らかになった。本稿では今回開発した3眼カメラを用いた配筋検査システムの機能、生産性、適用性、新型コロナ対策など安全性向上効果等について報告する。

キーワード：配筋検査、画像処理、情報共有、ステレオカメラ、新型コロナ感染対策、PRISM

1. はじめに

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^{1)~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⁴⁾。

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」⁶⁾に2度採択され、両者で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。

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(北陸地方整備局発注)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(関東地方整備局発注)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東根川橋上部工工事(東北地方整備局発注)では、本システムが規格値(案)⁷⁾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全ての工種を通じて国内で初めて適用された。新思惟大橋上部工工事(東北地方整備局発注)では半年以上にわたり日常的に使用



(a) 配筋検査比較(左:システム利用, 右:従来)

(b) 段階確認検査状況

写真-1 従来検査とシステム検査

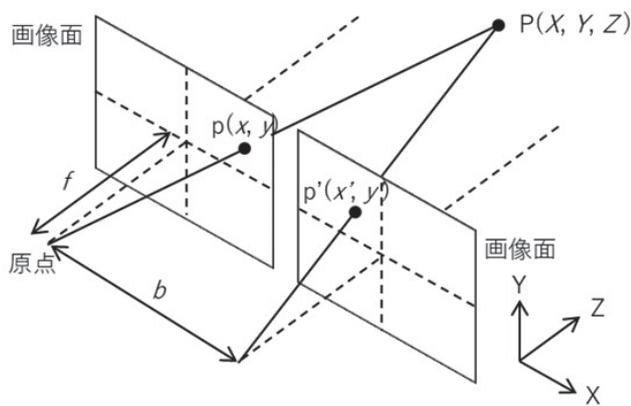
し躯体完成に至った。橋梁のみでなく、音中トンネル工事（北海道開発局発注）でも自主検査に適用しており、二色トンネル工事（近畿地整発注）では遠隔臨場と配筋検査システムを組み合わせた試行を実施した。

本稿では、システムの機能、妙高大橋下部工事と新思惟大橋上部工事を例として橋梁の上下部工における生産性やトンネル構造物での適用性、さらに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報告する。

2. 配筋システムの原理と機能

撮影モデルを図一に示す。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。

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



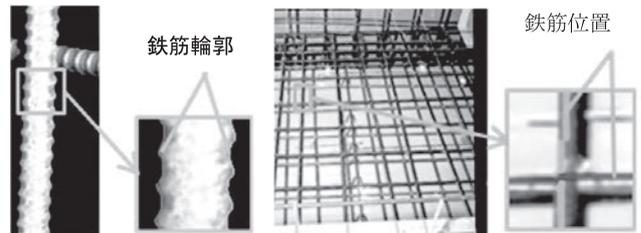
図一 撮影モデル

本システムでは、写真一2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。

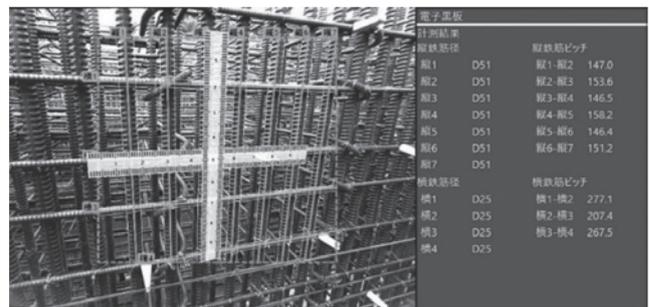
本システムの寸法は、幅 300 × 高さ 200 × 奥行 150



写真一2 システム外観



写真一3 鉄筋輪郭、位置抽出状況



写真一4 帳票の例

(mm)、重量は 3 kg 程度と可搬性を有し足場昇降にも支障にならない。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（写真一3, 4）。配筋面まで 1.3 m 程度の距離からの撮影で、1.1 m² 以上が計測可能である。配筋面と正対しなくても 45 度斜めからでも計測可能である。

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が可能である（写真一5）。段取り筋など除去できない鉄筋などは、帳票画面において手動で鉄筋を選択し除去できる。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（写真一6）。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、設計者など多くの関係者と共有する



写真一5 鉄骨架台やブレースの除去状況

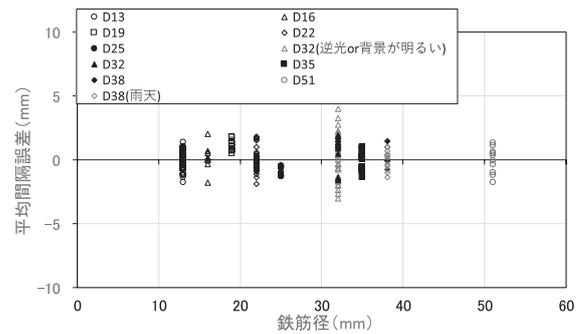


写真一6 重ね継手長さ計測状況

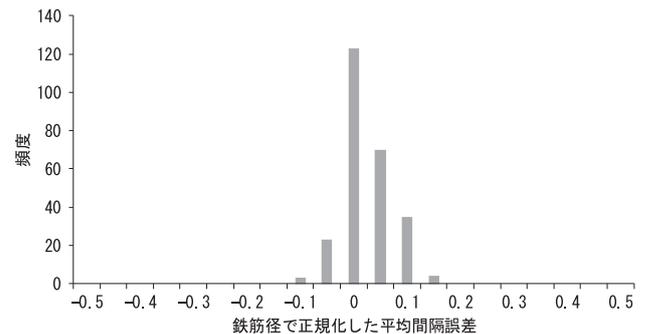
ことで、遠隔地からでも施工状況の把握ができるため、施工品質の向上が期待できる。検査結果は3枚の元画像を用いた算定値であるため、元画像を変更すると検査結果も異なる。3枚の元画像を改ざんして任意の検査結果を得ることは極めて困難なため、改ざん防止が図れ、高い信憑性を有する(写真一7)。写真一8のように複数枚の計測結果を自動的に統合することで広範囲の検査も可能である。1段目の鉄筋により遮蔽されている2段目の鉄筋がある場合にも、遮蔽され

ている鉄筋が見える異なる角度から撮影した画像を統合することにより対応可能である。

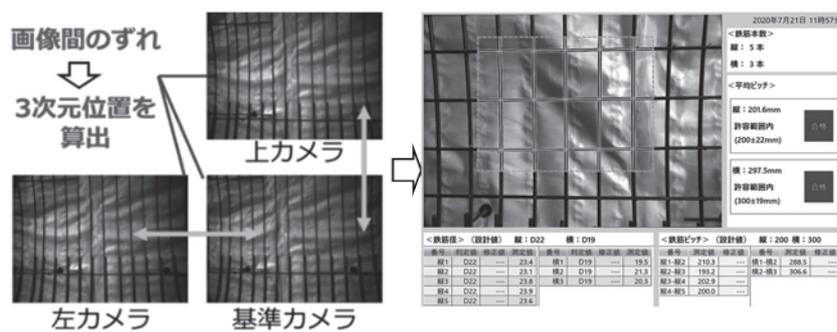
従来の計測方法であるスケールとシステムを用いた平均間隔の誤差と鉄筋径との関係を図一2に、鉄筋径で正規化した平均間隔の誤差と頻度の関係を図一3に示す。鉄筋径によらず平均誤差のばらつきに大きな差異は見られなかった。平均間隔誤差を鉄筋径で正規化した値の最大値は0.14であり、平均間隔の規格値



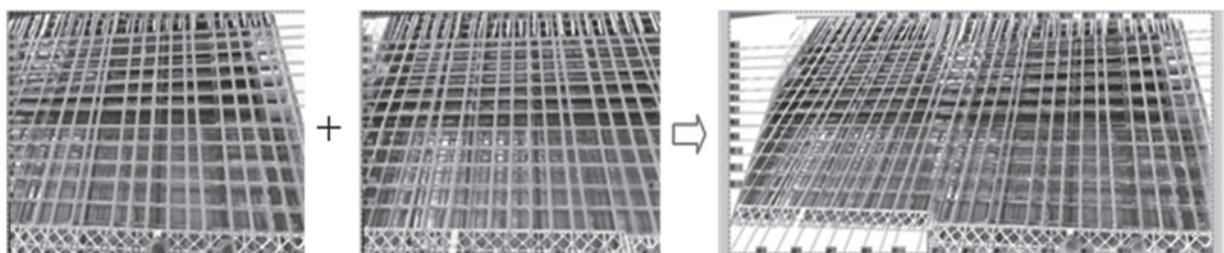
図一2 鉄筋径毎の平均間隔誤差



図一3 平均間隔誤差のヒストグラム



写真一7 3枚の撮影画像と検査結果の例



写真一8 自動処理で統合した計測結果 (左, 中央: 個別結果, 右: 統合結果)

±Φを計測可能であることを確認した。これより、国土交通省の測定項目である鉄筋の平均間隔の規格値±Φ（Φは鉄筋径）を判定可能であることを確認した。

3. システムの現場適用性と効果

妙高大橋では配筋検査システムをRC橋脚部（幅8.0m×奥行き8.0m×高さ42.0m）で用いた。妙高大橋における検査状況を写真—9に、従来検査とシステム検査による検査時間の比較を表—1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。1ロット4.5mのRC橋脚中空部の内側面に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%削減できた。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け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分に大幅に削減できた。さらに、写真—9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。



写真—9 検査状況（妙高大橋下部工事）

新思惟大橋上部工の配筋検査状況を写真—10に、生産性評価結果を表—2に示す。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。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。妙高大橋下部工事と同様に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。従来は3名で合計19時間かかっていたが、本システムでは1名により5時間40分で実施でき、作業時間の70%を削減でき、生産性向上効果を有することを確認した。

写真—11に川崎臨港下部、音中トンネルでの使用状況を示すが、同様の生産性・安全性向上効果が確認できた。また、トンネルの覆工鉄筋のような曲面形状



写真—10 検査状況（新思惟大橋上部工事）

表—1 生産性評価（妙高大橋下部工事）

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
橋梁下部工 (中空橋脚 1ロット4.5m 内側面 4カ所)	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	・自主検査調書記入	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	・立会検査、写真、片付け	1	1:40
	小計				17:30		5:10
削減率(%)	70						

鉄筋にも適用可能なことを確認した。なお、写真—12のように、雨天時や暗所、降雪時などでもシステムを使用可能であることも確認した。

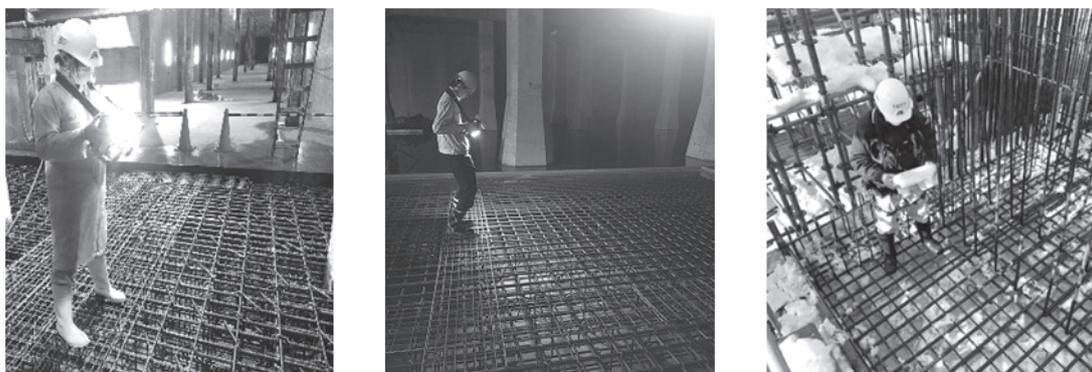
写真—13の二色トンネル工事では、覆工コンクリートの補強鉄筋の配筋検査で、本システムによる配筋検査とウェアラブルカメラによる遠隔臨場を組み合わせ

表—2 生産性評価（新思惟大橋上部工工事）

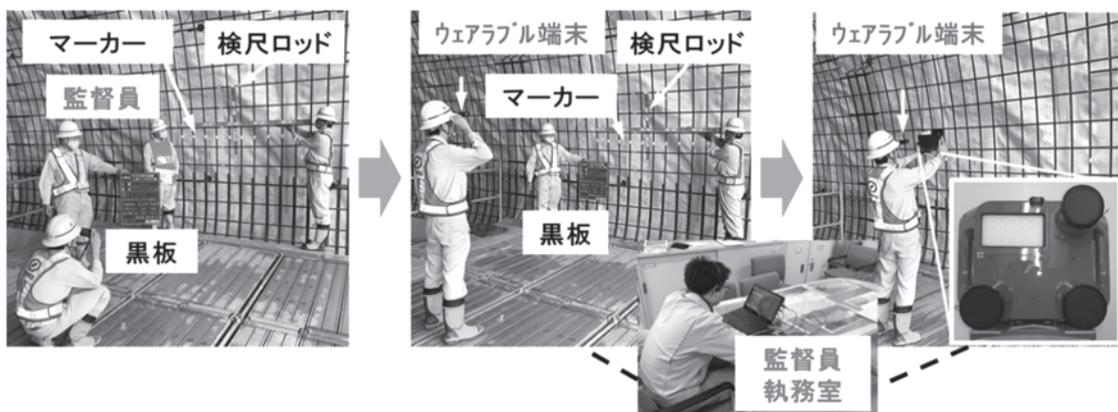
配筋箇所	作業場所	従来検査				システム検査	
		作業時間	人工	人工・時間	作業内容	人工	人工・時間
橋梁上部工 (上床版4カ所, 下床版4カ所, 側壁2カ所)	事務所	2:00	1	2:00	・配筋調書ひな型作成	1	0:40
	現場	5:30	2	11:00	・配筋自主検査	1	3:00
	事務所	3:00	1	3:00	・配筋調書記入(自主枝査用)	1	1:00
	現場	1:00	3	3:00	・段階確認(配筋検査, 写真撮影, 片付け)	1	1:00
	小計			19:00			5:40
削減率(%)	70						



写真—11 検査状況 (左：川崎臨港下部, 右：音中トンネル)



写真—12 使用状況 (左：雨天時, 中央：暗所部, 右：降雪時)



(a) 従来の配筋検査

(b) 従来検査と遠隔臨場の組合せ

(c) システム検査と遠隔臨場の組合せ

写真—13 従来検査とシステム検査

た試行も実施した。その結果、本システムは遠隔臨場との親和性も高く、従来、施工者3名と監督員1名が現場で実施していた配筋検査が、施工者1名のみが現場で監督員は事務所から検査が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、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。

4. おわりに

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現場実証を行い、現場適用性の向上を図った。PRISM 対象現場である東根川橋上部工工事では段階確認に国内で初めて適用され、新思惟大橋上部工工事では、半年以上にわたり日常的に使用し、現場適用性を確認した。また、音中トンネルではトンネル構造物での適用性、二色トンネルでは遠隔臨場との親和性を確認した。その結果、以下の知見が得られた。

- ①様々な構造物に対して、配筋検査システムは簡単な操作でリアルタイムに現場で帳票作成が可能で、寒冷地や雨天時などでも、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0.14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すること。
- ③橋梁の上部工、下部工ともに、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、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、新型コロナウイルス感染症対策など安全性向上にも貢献できること。
- ⑥遠隔臨場との親和性も高く、発注者監督員の生産性・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。

JCMIA

《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) 吉武謙二, 中野貴公, 井手章人, 藤井彰, 有田真一: 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, 土木情報学シンポジウム講演集, vol.45, pp.129-132, 2020.
- 5) 国土交通省: 令和2年度における遠隔臨場の試行について, <https://www.mlit.go.jp/tec/content/001343240.pdf>
- 6) 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.
- 7) 国土交通省: 土木工事共通仕様書(案), 2018.

【筆者紹介】



吉武 謙二 (よしたけ けんじ)
清水建設㈱ 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)



松永 英哲 (まつなが ひであき)
清水建設㈱ 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



松尾 勝司 (まつお かつし)
清水建設㈱ 北海道支店
土木部 一般国道40号音威子府村音中トンネル作業所
所長