

—国土交通省 関東地方整備局 関東技術事務所—

[シリーズ No.8]

DX・i-Construction
建設技術展示館

3 眼カメラ配筋検査システム 「写らく」の高度化

よしたけ けんじ 清水建設株式会社 吉武 謙二, シャープ株式会社 徳井 圭
たかはし まこと 株式会社カナモト 高橋 真琴

1. はじめに

建設業界の長年の課題である配筋検査の生産性向上のため、国土交通省のPRISM¹⁾（令和5年からBRIDGEに変更）を中心に技術開発が行われてきた。筆者らも施工者と監督員の生産性・安全性向上を目的として、3眼カメラ配筋検査システムを開発し²⁾、PRISMで2期採択、Aと高い評価を受け発注者の段階確認に日本で初めて採用された。その後も、日射や天候、配筋仕様などが異なる60現場以上の撮影画像を用いて、計測精度向上のためアルゴリズムを改善した。また、ユーザーからの改善要望を抽出し、使い勝手やシステムの安定性などのハード面、処理速度やGUIなどのソフト面を改善した。本稿では、システムの原理や概要と鉄筋径や鉄筋間隔に関する計測精度について記載する。

2. 3眼カメラ配筋検査システムの原理

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、カメラの焦点距離 f (m) の間には式(1)の関係があり、点

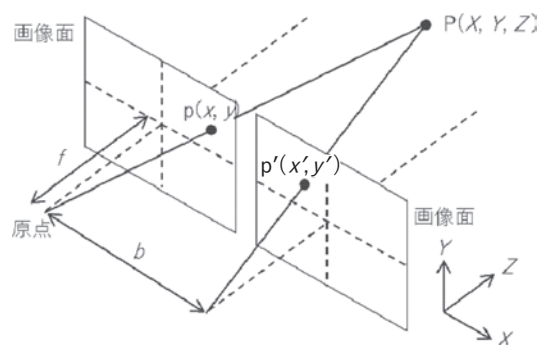


図-1 ステレオカメラの撮影モデル

$P(X, Y, Z)$ が画像上の点 $p(x, y)$, $p'(x', y')$ として撮影される。

二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、三次元座標を求めることができる。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。

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

本システムでは、写真-1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。三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、鉄筋径と間隔を算定する（写真-2）。写真-3のように足場のプレースや鉄骨架台、セパレータといった鉄筋以外の異物の自動除去も可

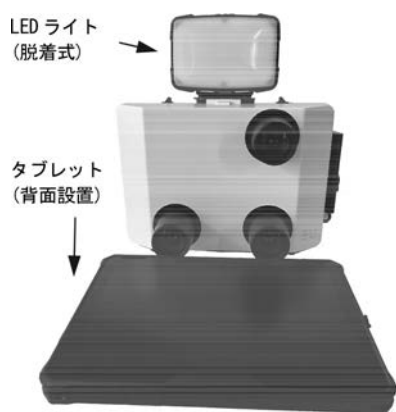


写真-1 システム外観（第4世代）



写真-3 鉄骨やブレース除去状況

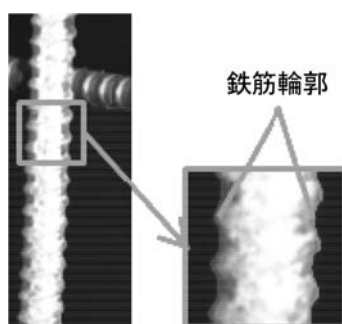


写真-2 鉄筋輪郭抽出例



写真-4 システム使用状況

能である。

3. システムの機能

システムの使用状況を写真-4に、従来システムの外観を写真-5に示す。第1世代は現場で使いやすいモバイル型とし、その後、ハード面では大きく3度改良し、第2世代では防水機能や持ちやすさなどの使い勝手の改善、第3世代ではより頑強にし、バッテリーのON/OFFスイッチの追加といった改善を実施した。

最新の第4世代では次の改善を行った。システ

ムの寸法は、幅343×高さ223×奥行164mm、重量は3.6kg程度と可搬性を有する。

- ① カメラへの給電をバッテリーからではなく、タブレットからとすることにより、従来生じていたカメラの接続エラーのリスクを除去した。
- ② タブレットを高性能化することで、ユーザーニーズの高い帳票作成の高速化を実現するとともに、雨天時や直射日光下での画面操作性を向上させた。
- ③ タブレットのポートやスロットをカメラに接



写真-5 システム外観（左：第3世代、中央：第2世代、右：第1世代）

続した状態で使用でき、かつ、簡単にタブレットを取り外せる構造とすることで、ユーザーの使い勝手を向上させた。

- ④ LED ライトを着脱式にし、暗所作業のない現場での利便性を向上させた。

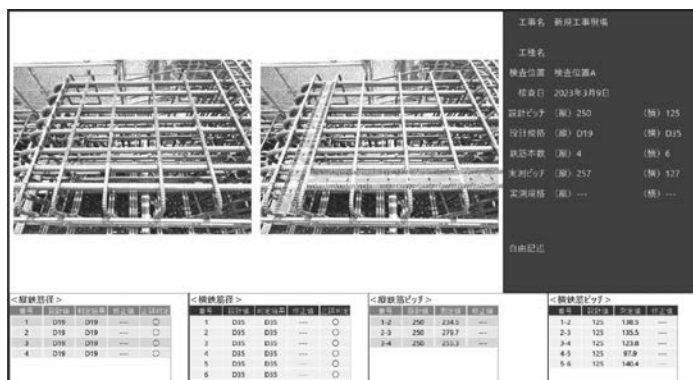
第4世代も従来同様に、防水機能や照明を持つため雨天時や暗所、寒冷地でも使用可能である。1人で撮影するだけでブレースなどの異物を自動除去し、インターネット環境のない場所でも鉄筋径、本数、画像内にある任意の縦・横方向の測線による鉄筋間隔などの測定結果を約5秒で確認できる。

写真－6に示すように、計測結果や電子検尺ロッド、電子黒板が同時に一つのJPEG ファイルで出力でき、従来の検査帳票システムではなかった写真と帳票の鉄筋番号の関連付けができる。重ね継手長さや任意の2点間距離、広範囲検査のための複数結果統合、スペーサーやせん断補強筋数算定、改ざん検知、鉄筋種類を容易に確認するためのロールマーク照合機能も有する（写真－7）。

なお、鉄筋径や間隔に誤りがある場合は現場でのみ修正できる。撮影距離は配筋面に対して0.9～1.8m程度とし、45度以内の角度であれば計測が可能である。撮影距離1.3mの場合の計測範囲は、約1.1m四方である。撮影ソフトを起動後、カメラを稼働させた状態において3時間20分程度動作する。また、写真－8のように鉄筋径が細く2段目の鉄筋輪郭が認識できる場合は、上下2段の縦・横方向配筋、合計4段の同時計測が可能である（写真－9、10）。



写真－8 撮影状況の例



写真－6 検査帳票の例



写真－9 検査結果の例（1段目）



写真－7 ロールマーク照合機能



写真－10 検査結果の例（2段目）

4. システムの鉄筋間隔，鉄筋径判定の計測精度

スケールとシステムを用いた平均間隔の誤差と頻度との関係を図－2に，縦，横方向の鉄筋検出率や鉄筋径正解率を表－1に示す。平均間隔誤差の鉄筋径で正規化した値は， ± 0.15 以内に95%入っており，国土交通省の鉄筋平均間隔の規格値「 $\pm \Phi$ 」について計測可能である。鉄筋径に関しては，鉄筋検出率99.99%，鉄筋径正解率は90.46%であり実用上問題がないことが確認できた。なお，スケールとシステムを用いた個別間隔誤差の値は， $\pm 5\text{ mm}$ 以内に98%入っており，国土交通省の個別間隔の規格値 $\pm 10\text{ mm}$ を計測可能である。

表－1 鉄筋規格判定率

	鉄筋本数	過検出鉄筋本数	未検出鉄筋本数	鉄筋検出率	鉄筋径正解率
縦鉄筋	11,443	1	1	99.99%	91.94%
横鉄筋	7,791	0	0	100.00%	88.28%
全体	19,234	1	1	99.99%	90.46%

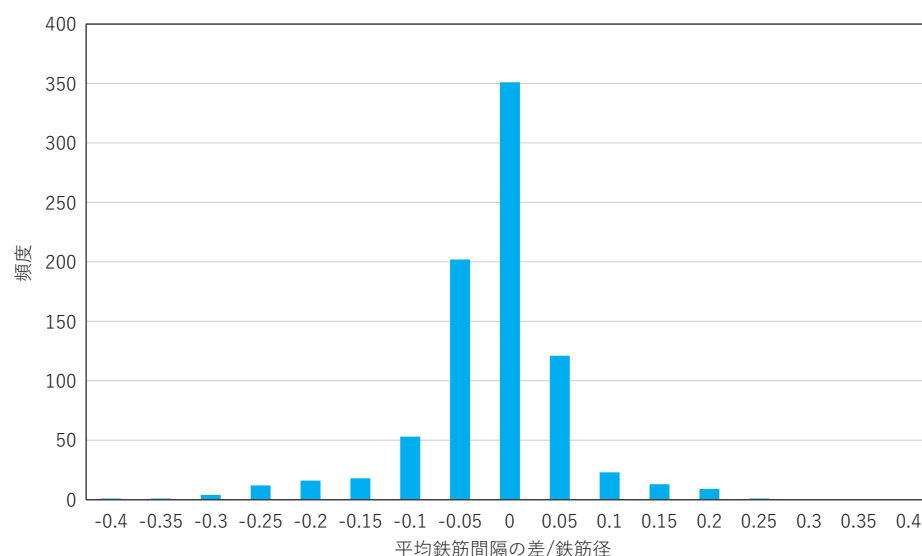
5. ま と め

配筋検査の生産性・安全性向上を目的として3眼カメラ配筋検査システムのハード・ソフトの大幅な改善を行った。従来生じていたカメラの接続エラーのリスク除去なども含めた使い勝手や，鉄筋間隔，鉄筋径判定正解率について実証した。その結果，①インターネット環境のない場所でも，約5秒で現場で検査帳票が作成できるなど使い勝手が向上し現場ニーズを満足すること，②鉄筋間隔に関しては国土交通省の規格値を計測可能であり，鉄筋径の計測も実用上問題ない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。また，「デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測」に関する現場試行も含めた数多くの関係者との貴重な議論を参考に開発を実施している。ここに記して謝意を表す。

【参考文献】

- 1) https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000062.html
- 2) 吉武謙二，小木曾淳弥，末松正俊，北浦竜二：3眼カメラ配筋検査システムの土木・建築両分野での実用化，コンクリート工学，Vol.60，No.8，pp.669-675，2022.8



図－2 正規化した平均間隔誤差のヒストグラム