

(27) ステレオカメラを活用した AI 配筋検査システムの社会実装

廣瀬 詢¹・森本 直樹²・平 陽兵³・小林 直広²・宮本 高明⁴

¹ 非会員 鹿島建設株式会社 土木管理本部 (〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8 KT ビル)
E-mail: makoto-hirose@kajima.com

² 正会員 鹿島建設株式会社 土木管理本部 (〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8 KT ビル)
E-mail: naoki-morimoto@kajima.com, kobanaoh@kajima.com

³ 正会員 鹿島建設株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)
E-mail: ytaira@kajima.com

⁴ 非会員 三菱電機株式会社 ビジネスイノベーション本部 (〒100-8310 東京都千代田区丸の内 2-7-3)
E-mail: Miyamoto.Takaaki@df.MitsubishiElectric.co.jp

鉄筋の配筋検査は、検査前の準備から検査後の報告書作成まで、多くの時間と手間を要している。特に、鉄筋径を区別するマーキングや鉄筋の間隔を示すスケールスタッフの設置など、検査前の準備作業には多くの手間がかかっており、省力化が強く望まれていた。今般、ステレオカメラで撮影した画像と高度な画像処理技術を用いた AI 配筋検査システムを開発し、基礎的な計測精度実験と土木現場での適用実験を経て、現場での実装を実現した。

Key Words: stereo camera, reinforcement inspection, image processing technology, 3D-data

1. はじめに

コンクリート構造物における配筋検査は、施工を進める上で重要な位置づけにあり、その検査にあたっては検査前の準備から検査後の報告書作成まで、多くの時間と手間を要している。特に、検査前の準備として鉄筋径を区別するマーキングや鉄筋の間隔を示すスケールロッドを設置するなど、多くの手間が発生しており、省力化が強く望まれていた。

そうした問題を受け、国土交通省では配筋検査の省力化を目的に、令和3年より「デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測」の現場試行を開始し、令和5年度を目標として当該技術の社会実装を目指している。

筆者らはステレオカメラと高度な画像処理技術を活用して、鉄筋の径・本数・間隔などを自動で計測し、従来検査の課題を解決する配筋検査システムの開発を進めてきた¹⁾。様々な現場での実証やアルゴリズムの改良に加えて、多くの工種・条件下の画像を教師データとした機械学習を繰り返すことにより、AI 技術を活用した配筋検査システム（以下、AI 配筋検査システム）を造り上げた。本システムにより、現地での事前準備作業が不要になるため、検査担当者一人でも円滑な配筋検査が実施可能になった（図-1）。

また、本システムは、令和2年度に国土交通省が技術公募を行った「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（PRISM）」に採択され、A 判定（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。現在はサービス提供を開始し、令和4年6月1日時点で58台の導入実績がある。

本稿では、本システムの概要、並びに様々な機能について、現場での検証結果と精度、システム導入によって得られる生産性向上について紹介する。



図-1 従来の配筋検査との比較

2. システム構成について

(1) ハードウェア

AI 配筋検査端末は、小型で高感度・高精細な 2 台のカメラを備えており、環境変化が生じてカメラ間の歪が発生しない構造を有する。カメラはタブレット端末と一体化させ、外観寸法 幅 320mm×高さ 210mm×奥行 95mm、重量 2.1kg と小型軽量化を実現し、利用者の運搬や計測作業の省力化を図った。

また、AI 配筋検査端末は屋外の過酷な環境で使用されることが想定されるため、周囲温度は-10℃～+40℃まで対応しているほか、現場利用時に雨天や塵埃の影響を受けない耐塵・防水設計や、使用者が誤って落下させてしまう事を考慮して 1.2m からの落下にも対応可能な耐衝撃性能を有する仕様とした(図-2)。

(2) ソフトウェア

AI 配筋検査システムはステレオカメラで配筋を撮影するだけで、鉄筋の径・本数・間隔を自動で計測(判別)でき、自動計測の結果データを画面上に表示し、記録する機能を有する。システムによる計測フローは以下の通りである。

- ① ステレオカメラで検査対象を撮影
- ② 操作画面上で検査範囲を指定
- ③ 独自アルゴリズムによる 3 次元復元処理の実行
- ④ 生成された点群データから配筋のみを検出
- ⑤ AI 技術²⁾と画像処理技術を用いて「鉄筋径」、
「鉄筋本数」、「鉄筋間隔」を自動計測し、
画面上に表示(図-3)
- ⑥ 計測結果は電子小黑板・マーカー・計測値を含む画像と XML データとして記録

システム画面上には計測フローに従ったガイダンスが表示されるほか、画面も様々な日射条件で視認性が高いような画面デザインやボタン配置の工夫により、多くのユーザーが分かりやすいインターフェースとなるように開発した。

土木現場で考えられる逆光や暗所などの撮影条件においては、撮影時にユーザーがカメラ感度や測光範囲設定などの露出補正を行う機能を備えることで多くの現場環境に適應できる。また、撮影する鉄筋の前後に足場の筋交い等の障害物が存在する場合、本システムでは鉄筋面を検出する専用アルゴリズム

を用いて、点群内から手すりや筋交いの情報を自動的に除外するため、障害物を気にせず安全な位置からの撮影・計測が可能である(図-4)。

本システムは人が腰の高さから下向きに撮影した場合、約 1m×1mの範囲が撮影できる。検査対象が写真 1 枚に収まらない場合や鉄筋全数を計測したい際には、分割撮影した複数枚の写真を統合して全体を計測する「分割撮影機能」を有している。重ね継手長や鉄筋のかぶり(厚さ)などを計測するために任意の 2 点間の距離を計測できる「2 点間計測機能」(図-5)、せん断補強筋やスペーサー等の数を計測する時に有効な「電子マーカーカウント機能」も実装している。さらに、AI 配筋検査端末は一般的なタブレット PC であるため、各種 Web 会議システムをインストールして、利用することができる。これにより音声と映像、システム画面をオンラインで配信することができるため、遠隔臨場への適用性が高いものとなっている。

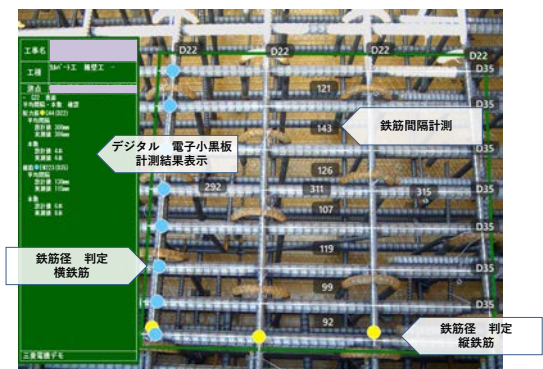


図-3 計測画面表示例



図-4 障害物の除去例



図-2 対環境性能実験

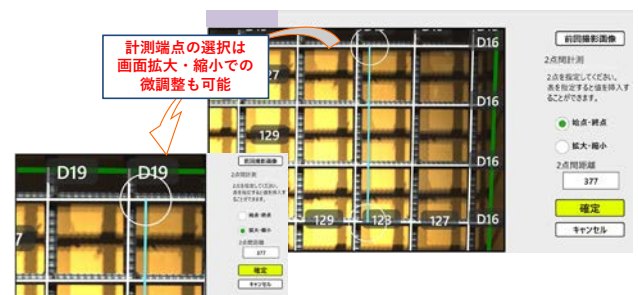


図-5 2点間計測機能

(3) クラウド・施工管理ソフトとの連携について

配筋検査を行う事前準備として、検査対象の鉄筋番号や鉄筋の径・本数・間隔等の設計値を事前にクラウド上で登録し、システムにて生成された検査データを AI 配筋検査端末に取り込み、検査を実施する。検査後は検査データをクラウドにアップロードすることで、自動で帳票作成が行われる。これにより計測後の帳票作成にかかる手間を大幅に削減することができる。

帳票作成にかかる一連の操作はクラウドシステムだけでなく、市販の施工管理ソフトにも連携可能である。施工管理ソフトとのデータ連携では、AI 配筋検査システムで出力した実測値と電子小黒板付きの工事写真を発注者毎の様式に合わせて帳票化することが可能である。また、実測値と工事写真は予め設定した属性情報に基づき「出来形管理」及び「写真管理」のシステムに自動で仕分けされる仕組みとなっているため、施工管理における内業の効率化に寄与できる（図-6）。

3. ユーザーニーズによる新機能

(1) 下筋計測機能

多段組みの配筋を有する構造物において、最前面以外の配筋検査は現場の立会検査のタイミングや現場の配筋構造によって、鉄筋マーカの設置や写真撮影が困難な場合があり、AI 配筋検査システムの適用が強く望まれてきた。当初のシステムでは鉄筋抽出を行う際、配筋は主筋と配力筋が格子状に組み合われているという特徴を条件にして、最表面の鉄筋だけを抽出するアルゴリズムであったが、これまでの撮影で得た3次元の点群データを分析したところ、最表面以外の鉄筋も検出可能であることがわかった（図-7）。しかし、ステレオカメラで撮影した各カメラ画像上では、下段の鉄筋が上段の鉄筋に隠れてしまう場合があり、3次元復元するための画像特徴量が足りず、自動計測に活用できる十分な量の点群が生成できないため、システムの適用が困難であった。そこで、撮影上の死角を補完するために、マルチアングルからの撮影写真を活用できるような機能改良を加え、多段に組み込まれた配筋でも高精度な3次元復元を可能とし、下段の鉄筋の高精度な計測を実現した。本機能により、立会検査の頻度を削減することができるため、工程短縮にも寄与できる。

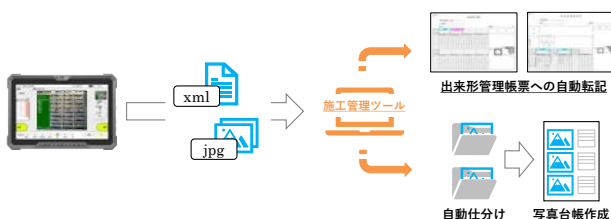


図-6 施工管理ソフトによる内業の効率化イメージ

(2) 広範囲計測機能

従来のシステムは1回の撮影で計測範囲を網羅できない場合に用いる分割撮影機能を有していたが、撮影者が鉄筋をどこまで撮影したのか、続けてどこから撮影するべきかを認識しづらいという課題が生じた。そのため、撮影者が計測鉄筋を把握しながら撮影するのではなく、システム側で撮影位置を判定し、画面上にガイダンスを表示する機能を導入した。位置推定には特殊なマーカを有する専用のテープロッドを併用し、撮影者が移動した場合でも計測範囲内の同一鉄筋を画像解析により自動判別することができ、広範囲にわたる鉄筋径、本数や間隔の計測を実現した（図-7）。計測結果は各撮影での計測結果を統合して、画像と共に出力可能である。

4. 計測精度

「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」での検証など、これまで50数現場における配筋を撮影し、各鉄筋間隔毎にスケールによる実測値とAI配

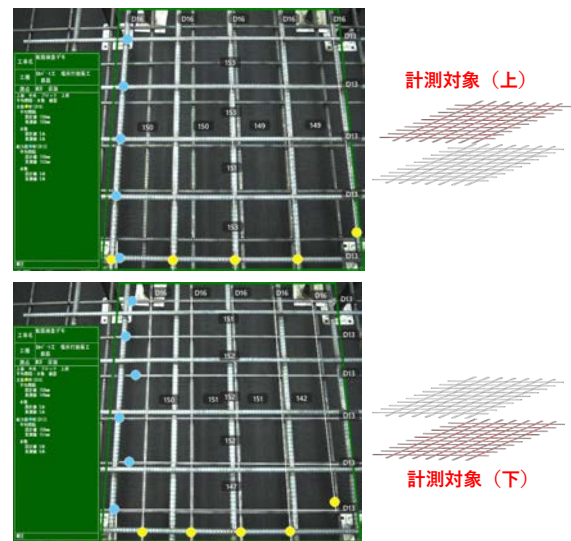


図-7 下筋計測機能例
(図上：上段計測、図下：下段計測)

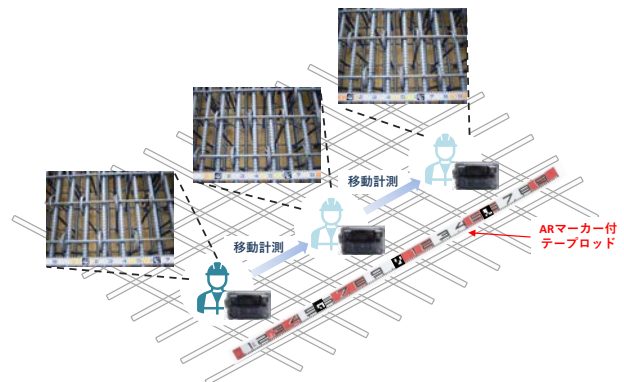


図-8 広範囲計測機能イメージ

筋検査システムで計測した計測結果データの比較検証を行った。サンプルとしてスラブや壁など、径や間隔の異なる様々な箇所を検証を行い、計 200 超のデータを収集した。検証の結果、全てのサンプルにおいて、天候の変化による明るさの影響に関わらず、鉄筋間隔誤差が ± 5 mm以内に収まっていることを確認した(図-9)。また、計測対象の鉄筋面に対して、撮影角度が $0^\circ \sim \pm 30^\circ$ 以内での撮影においては鉄筋検出率 96.4%、鉄筋径判別率は 94.2%という結果も得られ、国土交通省が令和 3 年に公開した「デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測の試行要領(案)」記載の機能要件を満たすことも確認できた⁴⁾。なお、計測精度が保証される推奨撮影距離は 1.0m ~ 2.0m としているが、計測鉄筋面に正対している条件下では、3.5m まで上記精度で計測できることを確認している(図-10)。

5. システムの効果

標準的な鉄道高架橋工事を想定して検査 1 回あたりの工数を算出し、従来の配筋検査と比較した(図-11)。

施工者においてはマグネット・スケールスタッフの取付や黒板記載、写真撮影を要するため、立会検査は 3 名以上必要であったが、本システム利用によ

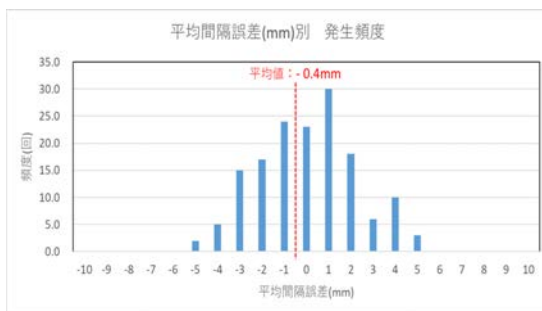


図-9 平均間隔誤差 (mm) 別 発生頻度



図-10 離れた箇所からの計測の様子と出力

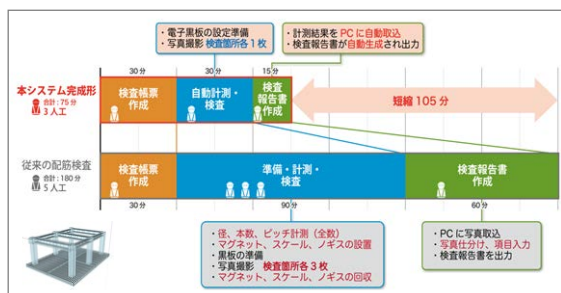


図-11 本システム導入の効果

り、準備・計測・検査に 1 名で対応可能であることが確認できた。また、従前では検査後に計測値を手入力して検査帳票に転記する必要があったが、本システムでは計測結果がデータとして記録され、検査報告書に自動的に反映されるため、検査報告書作成時間も 1/4 に短縮可能であり、検査工数の削減に寄与できる。

6. おわりに

筆者らは、建設現場の生産性向上への貢献を目指し、配筋検査の省力化を実現する AI 配筋検査システムを開発し、既に土木現場での実装を実現している。今後もユーザからのフィードバックに真摯に対応しながら更なる機能開発や利便性向上に努め、一層の普及を図りたい。また、令和 5 年度の本格実装を見据えて、国土交通省から助言いただくとともに、検査要領作成に貢献することで、「i-Construction」の目指す更なる生産性向上や魅力ある建設現場の実現に向けて、継続的に取り組んでいく所存である。

参考文献

- 1) 森本直樹, 平陽兵, 桑島奨, 佐藤佐一, 古橋幸人: ステレオカメラを活用した自動配筋検査システムの開発・実証, 土木情報学シンポジウム講演集, vol. 44, 2019.
- 2) 三嶋英俊: 三菱電機での AI 技術の現状と今後の展望, 三菱電機技報 2020 年 6 月号, Vol. 94-No. 6, 2020.
- 3) 森本直樹, 小林幸司, 平陽兵, 小林直広, 桑島奨: AI 技術を活用した自動配筋検査システムの開発と社会実装, 第 75 回土木学会全国大会年次学術講演会, 2020.
- 4) 国土交通省: デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測の試行要領(案), <<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001413510.pdf>>, (入手 2022. 7. 19) .