

# AI を活用した自動鉄筋出来形システムの開発と適用効果

日本高圧コンクリート(株)      ○宮越 亮      北見工業大学      正会員      井上 真澄  
コムシス情報システム(株)      岡島 匠吾      日本高圧コンクリート(株) 正会員      吉岡 憲一  
日本高圧コンクリート(株)      鈴木 篤朗

## 1. はじめに

近年、建設業においても人口減少・高齢化に伴う技術者不足が顕著化しており、DXの導入による生産性向上が喫緊の課題となっている。コンクリート構造物の配筋検査においても、検査前の準備作業やスケールなどを用いた計測、写真撮影・整理、帳票の作成など多くの時間と労力が必要である。そこで、配筋検査に関わる多くの手順を自動化し現場作業の省人化・省力化を目的に、画像解析技術とAIを活用した自動鉄筋出来形システム（以下、本システム）の開発に取り組んでいる。本システムの開発のコンセプトは、①市販されている計測機器を用い手軽でシンプルな機器構成とすること、②従来の配筋検査方法と同等以上の精度であること、③計測結果をリアルタイムに確認できることの3点とした。

本稿では、従来の配筋検査の課題、本システムの概要、実橋において検証した適用効果（従来のスケールなどでの計測と比較した計測精度や省人化・省力化率）について報告する。

## 2. 配筋検査の課題とシステム開発の経緯

コンクリート構造物における鉄筋は主要部材であり、工事完成後に不可視となる部分である。このためコンクリート打込み前の配筋検査の重要度は高く、打込みごとに繰返し実施される。例えば、橋梁上部工の片持架設工法によるPC箱桁断面では、一般的に1ブロック（片側）あたり上床版4箇所・下床版2箇所・ウェブ2箇所（左右）の計8か所を計測し、1ブロックごとに繰り返す。

また、一般的に発注者立会の配筋検査は、発注者1名の他に写真撮影者を含む施工管理者3名程度で行う。まず、検査においては主筋と配筋に鉄筋径ごとに異なる色のマーカーを設置し、検査対象鉄筋を区別する。次に配筋間隔の確認は検測ロッドなどの標尺を配置して計測し、その結果を記録したのち、写真撮影する（写真-1）。検査終了後は、工事事務所で写真を整理し検査結果を取りまとめて帳票を作成する。このように多くの時間と労力を必要とする配筋検査の省人化・省力化を目的として、市販されているタブレットPC付属のカメラやデジタルカメラで撮影することで、検査対象鉄筋の本数と配筋間隔を自動で計測できる「AIを活用した自動鉄筋出来形計測システム」の開発に取り組んでいる（写真-2）。



写真-1 従来の配筋検査状況



写真-2 本システムの配筋検査状況

キーワード AI, 自動鉄筋出来形計測, 省人化, 省力化

連絡先 〒060-0003 札幌市中央区北3条西3丁目1番地54 日本高圧コンクリート(株) PC事業部 TEL: 011-241-7108

### 3. システムの概要

本システムは、画像解析技術と AI 技術を活用し配置した検査対象鉄筋を市販されているタブレット PC 付属のカメラやデジタルカメラを用いて撮影するだけで、鉄筋本数と配筋間隔を瞬時に自動計測しリアルタイムにその結果を確認でき、帳票（検査結果報告書）を作成できる一連のシステムである（図-1）。AI 技術により表層（最上面）の鉄筋のみを 1 本単位で検出し、検出した鉄筋間の距離を画像解析技術により算出する。

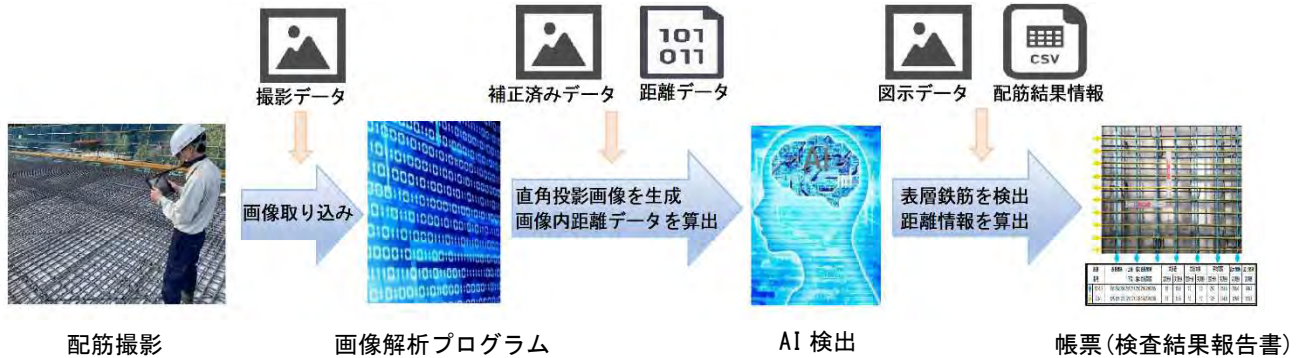


図-1 本システムの概要図

#### (1) 使用機材

使用機材は、本システムのアプリケーションをインストールしたタブレット PC（付属カメラ付き）とキャリブレーション用ロッド（50cm 程度）を使用する。また、現状の配筋検査で使用しているデジタルカメラで撮影した画像も、本システムに取り込むことで同様の配筋計測が可能である。図-2 に使用機材を示す。

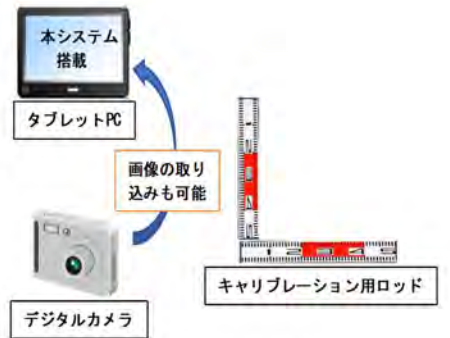
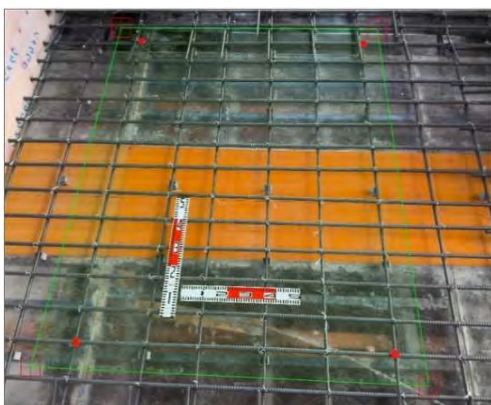


図-2 使用機材

#### (2) 計測手順

本システムは、撮影した配筋画像から画像処理技術を用いた配筋情報の算出と、AI 技術を用いた表層鉄筋の検出を併用した鉄筋本数と配筋間隔を計測するシステムである。

計測の手順は、①キャリブレーション用ロッドを撮影画角内に配置し撮影する（図-3）。②その配筋画像を射影変換し、斜投影された画像から配筋に対し直角投影された画像を生成する（図-4）。③直角投影された画像から配置されたキャリブレーション用ロッドをもとに画像内相対距離情報を算出する（図-5）。④その後、生成画像から AI により最上面の表層鉄筋のみを検出し、検出した鉄筋間隔を前述した画像内相対距離情報をもとに算出する（図-6）。



①キャリブレーション用ロッドを配置し撮影

図-3 撮影画像



②直角投影された画像を生成

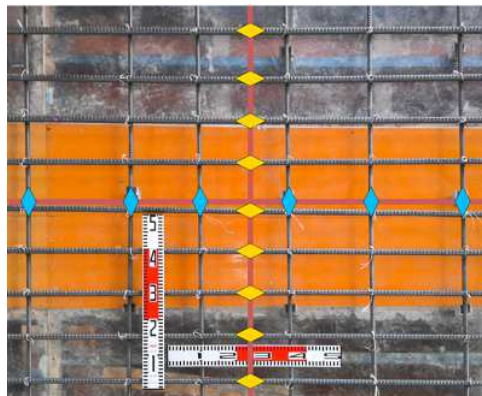
図-4 直角投影画像

※500mmの距離を選択してください



③画像内相対距離情報を算出

図-5 距離情報取得画像



④AI で表層鉄筋のみを検出し鉄筋間隔を算出

図-6 AIによる鉄筋検出画像

#### 4. 実橋での現場検証

本システムによる現場検証は、さまざまな現場条件（構造物の規模、型枠、日照等の気象条件）による計測精度のばらつきを確認するために、橋梁上部・下部工事などの現場や PC 床版などのプレキャスト工場製品を対象に行った。表-1 に現場諸元の一覧を示す。

表-1 現場諸元一覧表

橋梁上部	構造形式 他	主な部位	橋長 (m)	有効幅員 (m)	検証頻度 (回)	気象条件等	型枠種類
M橋	7径間連続 PC箱桁橋	上下床版 ウェブ等	580.00	11.00	14	屋外(晴れ・曇り) 屋内(箱桁内)	透明型枠 型枠用合板
K橋	3径間連続 PC箱桁橋	上下床版 ウェブ等	230.00	7.50	15	屋外(晴れ・逆光・曇り) 屋内(箱桁内)	透明型枠 型枠用合板
W橋	2径間連続 PB合成桁橋	床版 横桁	55.50	11.50	13	屋外(晴れ・逆光・曇り 雨)	型枠用合板
橋梁下部	構造形式 他	主な部位	橋長 (m)	有効幅員 (m)	検証頻度 (回)	気象条件等	型枠種類
I橋	橋台工	フーチング 堅壁・翼壁	245.00	8.50	16	屋外(晴れ・逆光・雨)	コンクリート面 型枠無し
K橋	橋台工	翼壁	230.00	7.50	8	屋外(晴れ・逆光・雨)	型枠用合板 型枠無し
工場製作	構造形式 他				検証頻度 (回)	気象条件等	型枠種類
S橋	プレキャストPC床版				4	屋内(工場内)	鋼製型枠
T橋	プレキャストセグメント桁				4	屋内(工場内)	鋼製型枠

#### (1) 計測精度の評価

##### a) 計測方法

AI による配筋本数の鉄筋検出率 (AI による認識本数/設計本数) と配筋間隔の計測精度を検証するため、市販されているタブレット PC に本システムをインストールし、その付属カメラで撮影したシステム計測値と従来手法のスケール計測値を比較し検証を行った。計測範囲は 2m×2m または 10 本程度、撮影距離を 1.5m～2.5m とし、撮影角度は 0° (正面)～20° (斜方向)で行った。鉄筋種類は異形鋼棒で、鉄筋径は D13～D32、鉄筋間隔の設計値は 125 mm～250 mm である。検証方法を以下に示す。

- ① 本システムを用いて配筋を撮影し、配筋本数と配筋間隔 (個々の配筋間隔と平均間隔) を計測する。本システムでの計測画面を図-7 に示す。

- ② ①と同じ計測領域、同じ計測ライン上において、目視による配筋本数の確認とスケールを用いた配筋間隔（個々の配筋間隔と平均間隔）を計測する。スケールでの計測状況を**写真-3**に示す。
- ③ 上記①と②で取得した結果を比較し、計測精度の検証を行った。

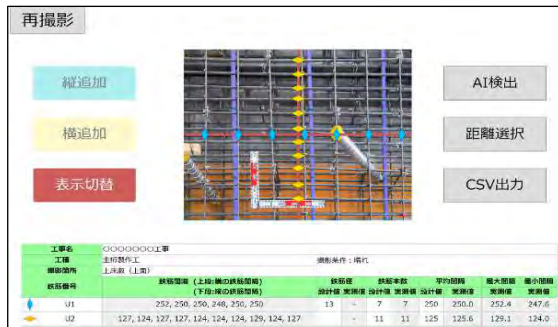


図-7 本システムでの計測画面



写真-3 スケールでの計測状況

b) 検証結果

表-2に本システムによる鉄筋検出率の結果を示す。鉄筋検出率は、88.5%という結果となったが、D13～D16は77.5%～79.7%に対しD19～D32では86.6%～99.0%となり太径の鉄筋検出率が高い値を示した。また、ウェブに透明型枠を使用したスターラップの鉄筋検出率（D16・逆光撮影時）は、73.3%と低い結果となった。これは、暗所からの撮影により強い逆光撮影となったため検出精度が低下したと考えられる。写真-4にウェブ配筋の撮影状況を示す。また、今後は撮影時にカメラ感度や明るさの補正が行える機能の追加も検討している。

表-2 鉄筋検出率の結果

鉄筋径	晴れ	晴れ (逆光)	屋内 曇り	雨	平均値 (各径)
D13	85.7	77.8	75.7	-	79.7
D16	80.6	73.3	78.6	-	77.5
D19	90.9	95.7	83.8	100.0	92.6
D22	88.2	85.0	-	-	86.6
D25	97.0	100.0		100.0	99.0
D29	84.8	100.0		93.3	92.7
D32	88.9	100.0		85.7	91.5
鉄筋検出率 (%)					88.5



写真-4 ウェブ配筋撮影状況

図-8に平均間隔（10本程度の鉄筋間隔の平均値）の計測結果を示す。なお、本システムにはAIで検出できなかった鉄筋をタブレットPC上で確認し補完する機能を備えており、この機能を使って鉄筋検出の補完を行い配筋間隔の検証を行った。

平均間隔の誤差範囲は、-4mm～+4mm以内で誤差平均値は1.4mm（絶対値）という結果となり、スケール計測と本システムの計測精度に大きな違いは見られなかった。

図-9に鉄筋径と計測条件（天候など）の違いによる影響を表す。鉄筋径D13～D32に対し、鉄筋径別に晴れ・晴れ（逆光）・屋内・曇り・雨天での計測を行った。晴れ計測時の平均間隔の誤差範囲は-4mm～+3mm以内、晴れ（逆光）は-3mm～+2mm以内、屋内・曇りは-3mm～+4mm以内、雨天では+1mm～+3mm以内という結果となり、鉄筋径と計測条件によるスケール計測と本システムの計測精度に大きな違いは見られなかった。これらの結果から「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）<sup>1)</sup>」に規定されている「画像計測に対する要求事項」※1を満足した。

※1:鉄筋の平均間隔で評価を行い、規格値(鉄筋径)の±30%

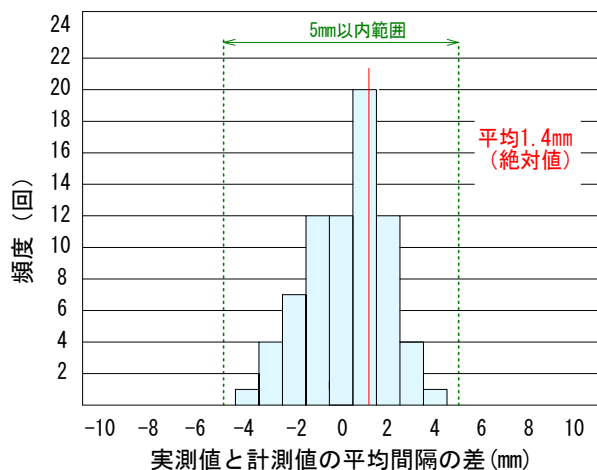


図-8 平均間隔の計測結果

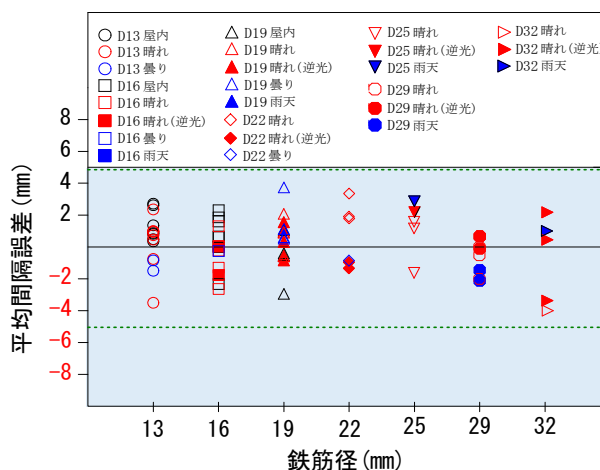


図-9 鉄筋径と計測条件の違いによる影響

## (2) 省人化・省力化の評価

省人化・省力化の現場検証を、PC箱桁橋で行った。PC箱桁橋での現場配筋検査は、1断面に対し下床版・ウェブ配筋検査および上床版配筋検査の通常2回に分け行われている。この2回にわたる配筋検査時間を平均し、従来の配筋検査と本システムを使用した配筋検査の延べ作業時間を比較した。検証作業の項目は、鉄筋へのマーカー設置などの「準備作業」、 「計測・検査」、 検測器具の撤去などの「片付け作業」、 検査結果報告書などの「帳票作成」の4項目とした。

図-10に示すように本システムを使用することで、準備・片付け作業の削減や計測・検査、帳票作成時間の短縮により、1回の配筋検査にかかる延べ作業時間(人数×作業時間)を110分短縮し、約70%削減できる効果を確認できた。よって、本システムを活用することで省人化・省力化が実現でき、工事全体の生産性向上に大きな効果を得ることが期待できる。なお、本システムは一般的なweb会議システムを利用した遠隔臨場検査に対応できるため、現場では施工者のみで対応が可能となり発注者側の省力化も可能となる。

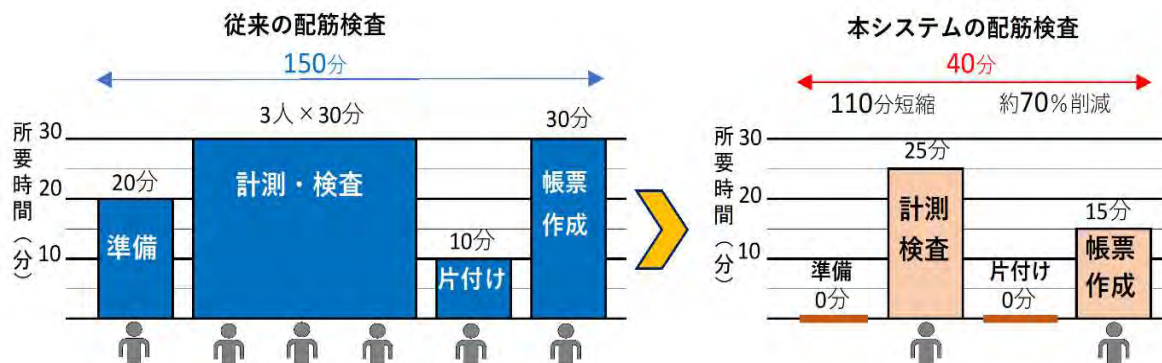


図-10 配筋検査作業に要する時間の比較

## 5. おわりに

開発段階にある本システムは、今後の様々な計測環境でのデータ集積と機能向上を計画しており、さらなる計測精度の向上や作業の効率化が期待できる。これまで多くの時間と労力を費やしてきた鉄筋の出来形管理業務の省人化・省力化のみならず、事業全体の生産性向上と魅力のある建設現場の実現に、本システムが貢献できれば幸いである。

## 6. 参考文献

- 1) 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) 参考資料 画像による配筋間隔計測結果の精度検証手順(案)，2021.7