

建設業の業務効率化に貢献する AI配筋検査システム

AI Rebar Inspection System Contributes to Business Efficiency in Construction Industry

宮本高明*
Takaaki Miyamoto

宮本 健*
Ken Miyamoto

井原宏幸*
Hiroyuki Ihara

青木 透†
Toru Aoki

久柴拓也‡
Takuya Hisashiba

要 旨

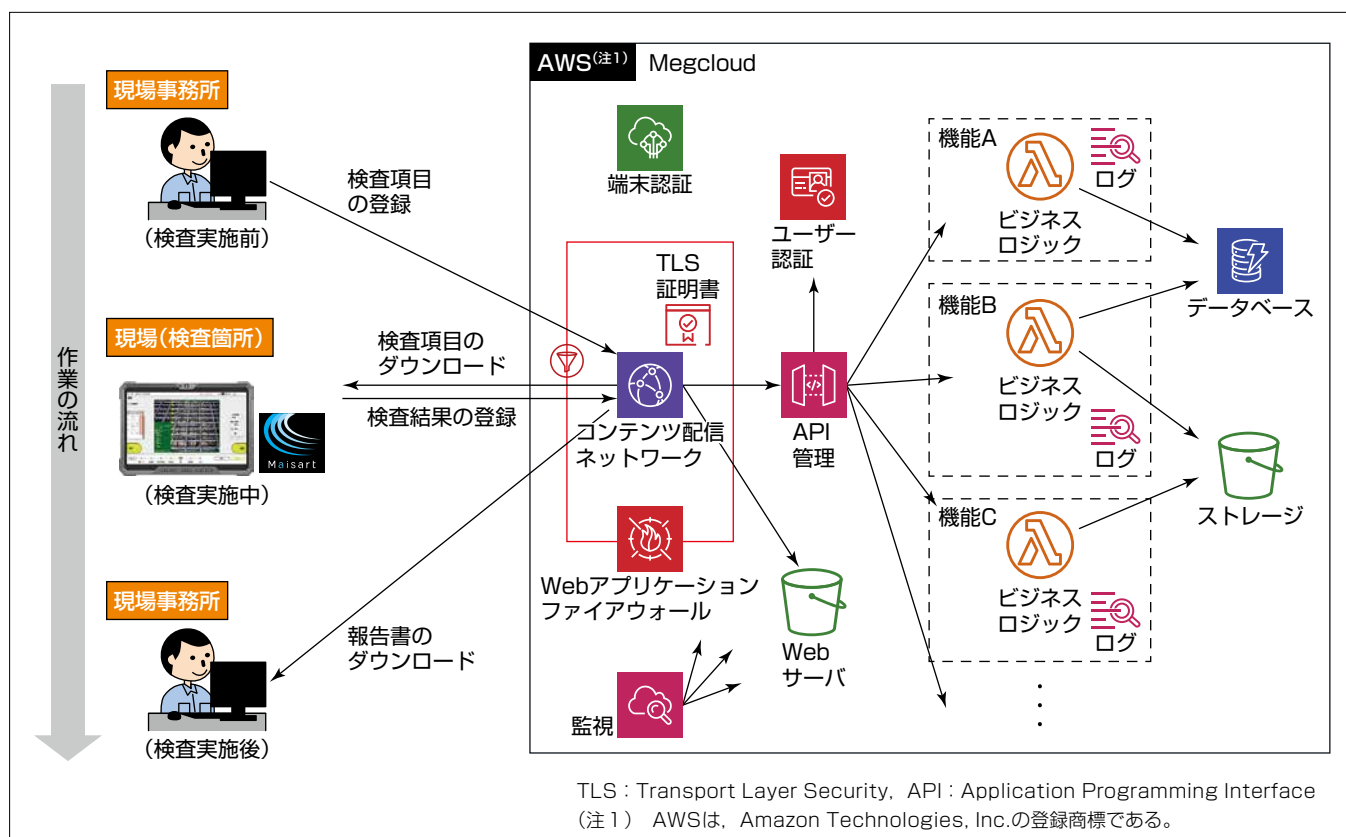
国内建設投資(年間63兆円)は堅調に推移するも、少子高齢化や労働時間の規制強化等で労働者不足が発生し、今後社会インフラの建設・補修、維持が困難になるとの危惧から、国土交通省ではICT(Information and Communication Technology)技術の導入による業務効率化(i-Construction)を推進している。

三菱電機では、これまで様々な産業分野で培ってきた画像解析技術とAI技術を核に、建設施工現場の生産性向上に貢献するAI配筋検査システムを開発した。

このシステムは、多数の現場実証を繰り返した結果、鉄

筋検出率96.4%、鉄筋径判別率は94.2%という結果を得て、国土交通省が作成した“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。

このシステムによって、従来複数人で実施していた配筋検査の準備・計測・検査に1人で対応可能になることが確認できた。また、今までは計測値を手入力で検査帳票に転記する必要があったが、このシステムでは計測結果をデータとして記録し、検査報告書に自動的に反映するため、検査報告書作成時間も1/4に短縮できることが分かった。



AI配筋検査システムの利用フローとクラウドシステム構成図

配筋検査は、主に検査前の準備、検査の実施、報告書の作成と三つのステップで実施する。従来は計測した数値を画面で記録するなど、非効率的な作業になっていたが、三菱電機が構築したAI配筋検査システムは、これらのステップでクラウドを活用し、検査前の準備作業から検査報告書の作成までの処理を電子上で完結させることができる。

1. ま え が き

コンクリート構造物の品質を確保するために、施工状況が設計図書や施工計画と合致しているか、各工程で確認検査が行われる。しかしながら、検査には準備から報告書作成まで多くの労力を必要とすることから、ITを適用した検査の効率化が求められていた。その中でも鉄筋工での配筋検査に多くの手間がかかっており、省力化が強く望まれていた。

これに対して三菱電機は、ステレオカメラとAIによる画像処理技術を活用して、カメラで撮影した画像から、鉄筋径、本数、間隔などを計測する配筋検査システムの開発を進めてきた。

本稿では、開発したAI配筋検査システムの概要と機能、実証試験の結果について述べる。

2. AI配筋検査システムの概要

鉄筋工で、所定の鉄筋が図面どおりの数量と間隔で組み立てられているかの確認、いわゆる配筋検査が行われる。鉄筋径を区別するマーキングを行い、鉄筋の間隔を示すスケールスタッフを設置して、実際の寸法とともに記録を残す検査作業に非常に多くの手間がかかっており、省力化が望まれている。ITによってこれを解決するため開発したのがAI配筋検査システムである。

AI配筋検査システムは、ステレオカメラとタブレットパソコンから構成されるAI配筋検査端末と、事前準備や帳票作成を行うためのクラウド環境で構成する。ユーザーがシステムを利用する流れを図1に示す。

ステレオカメラを搭載したAI配筋検査端末で、対象の鉄筋を撮影し、視差情報を用いて三次元復元処理をすることで、鉄筋を抽出し、検査対象面を特定する。特定した対

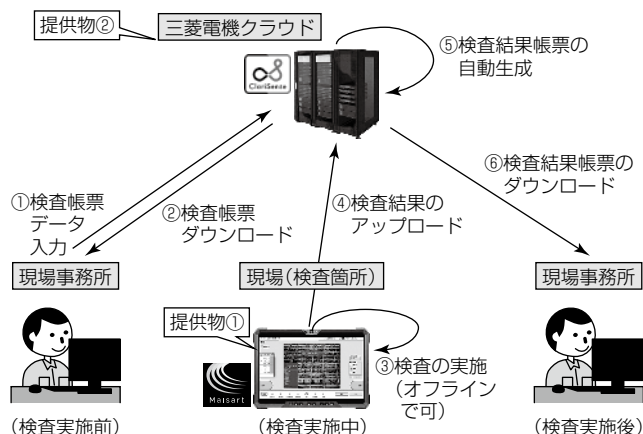


図1. AI配筋検査システム利用の流れ

象面にある鉄筋を計測対象として、鉄筋径、本数、間隔などを自動計測し、計測した結果をクラウド上へアップロード、又は施工管理ソフトウェアへ連携させることで検査帳票を自動生成する。これによって、検査前の事前準備作業で必要であった鉄筋のマーキングやスケールスタッフの設置などが不要になり、検査準備作業や出来形管理図作成作業についても省力化が可能になる。

3. AI配筋検査端末

AI配筋検査端末は、タブレット端末と小型で高感度・高精細な2台のカメラを一体化し、環境変化が生じてでもカメラ間の歪（ひず）みが発生しないよう設計した。外観寸法は幅320×高さ210×奥行き95(mm)、質量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。

屋外の過酷な環境で使用されることを想定し、周囲温度-10～+40℃まで対応する設計にした。また、雨天時や塵埃（じんあい）の影響を受けない耐塵・防水設計や、1.2mからの落下にも対応する耐衝撃性能を重視した(図2)。操作面では、屋外の日差しが強い場所でも見やすいディスプレイを採用し、日射の影響を受けにくい高い視認性を保持し、手袋を着けたままでのタッチパネル操作にも対応した。

システム画面設計では、様々な日射条件でも視認性の高い画面デザインや、誤操作が起りにくいようなボタンの配置など、多くのユーザーに価値を提供できるようにしている(図3)。



図2. AI配筋検査端末

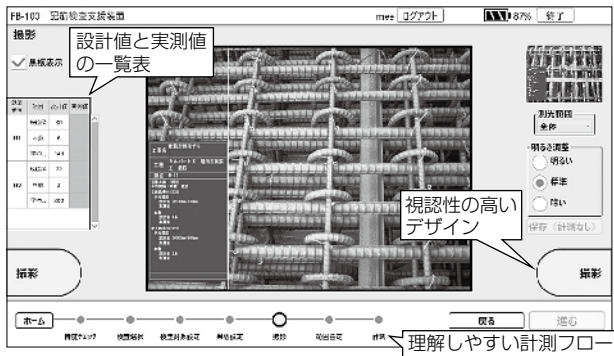


図3. ユーザーインターフェース

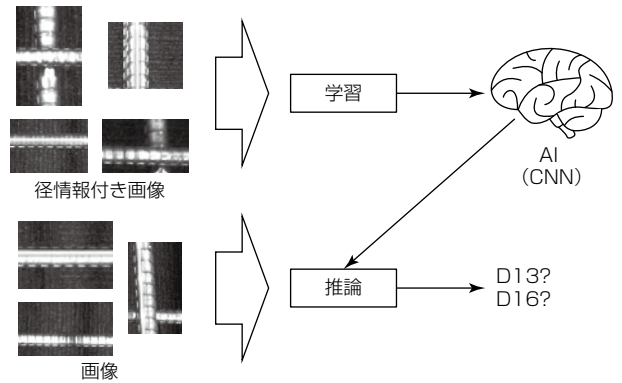


図5. AI配筋検査端末に搭載しているAI

4. 画像処理と自動計測を実現するAI技術

このシステムは、タブレット端末と連動させたステレオカメラで検査対象を撮影するだけで、鉄筋の径、間隔、本数を自動で判別し、タブレット端末に自動計測の結果データを記録する。具体的な処理手順は次のとおりである。

- (1) ステレオカメラで検査対象を撮影
- (2) タブレット画面上で検査範囲を指定
- (3) 三次元点群をタブレット内部で自動生成(図4)
- (4) 生成された三次元点群から配筋された鉄筋だけを検出
- (5) 独自のAI技術“Maisart”⁽¹⁾を用いて、自動計測された鉄筋径、間隔、本数を画面上に表示
- (6) 計測結果をデータとして自動記録

Maisartには、ResNet(Residual Network)⁽²⁾を改良したCNN(Convolutional Neural Network)を用いた。図5に、CNNを学習・推論するプロセスを示す。径の情報を付与した数千枚の配筋の画像を学習することで、配筋径を推定するCNNを作成する。運用時には、作成したAIを使って径を推論する。AI配筋検査端末で撮影したカラー画像を直接的に使ってCNNの学習をすると、背後にある物体の色や明るさ、コントラストの影響によって推定精度が芳しくない場合がある。グレースケール化や正規化などの前処理を入れて学習・推論することで精度を改善した。

AIとFFT(Fast Fourier Transform)の結果を統合して

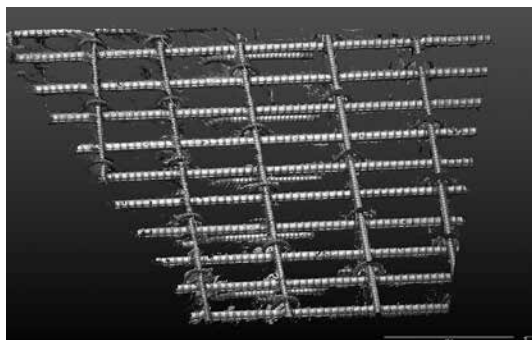


図4. AI配筋検査システムの三次元点群データ

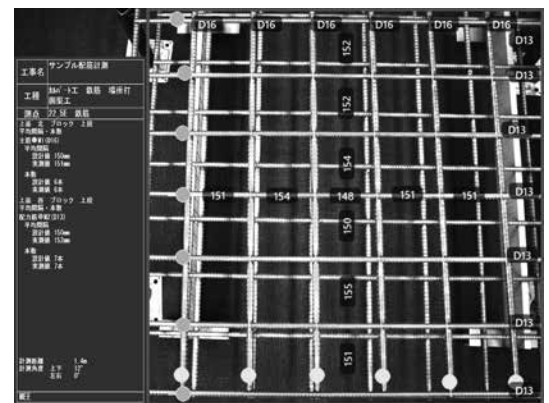


図6. 径の表示結果例

求めた径の表示結果例を図6に示す。画面上に縦配筋、画面右に横配筋の径が表示される。

5. クラウドシステムの構成

クラウドシステムの構成を図7に示す。AWS(Amazon Web Services)をベースに三菱電機がグループクラウドとして提供する“Megcloud”上に構築した。

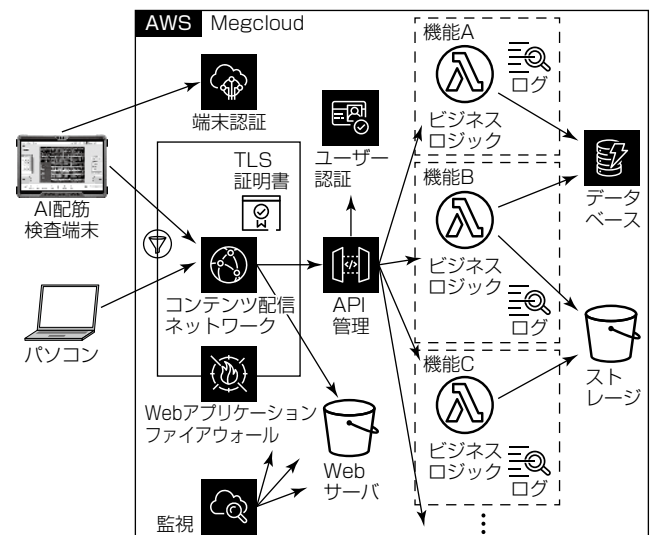


図7. クラウドシステムの構成

このシステムは、三菱電機統合IoT(Internet of Things)“ClariSense”の“IoTシステム統一設計ガイドライン”⁽³⁾に基づいたサーバレスアーキテクチャを採用している。これによって、①OS/ミドルウェアなどのサーバ運用・保守の省力化、②アイドル時のサーバ稼働コストの削減、③システムの高可用性をそれぞれ実現した。また、提供する各機能は、業界で広く利用されているREST(REpresentational State Transfer)形式のAPIとして構築することで、社内外的他システム(例：顧客管理システム、施工管理システムなど)との連携が容易に実現可能になっている。

エッジ側になるAI配筋検査端末との連携に関する特長として、利用者へ提供中の端末に対する機能追加・機能改善を現地へ赴くことなく迅速に対応できるよう、遠隔アップデート(Over The Air：OTA)の仕組みを整備している。また、利用者が選択した契約プランと連動した提供機能の制御(オプション機能の有効化/無効化)をクラウドシステム側で端末ごとに実施できるようにした。これら二つの連携機能によって、より柔軟なサービス提供を実現可能にしている。

6. システム実証結果

基礎検証から現場実験を通じて、システムの改善を繰り返した。それに加えて天候や障害物などの現場環境の違いや、橋梁(きょうりょう)やボックスカルバートなどの異なる工種で取得した鉄筋画像を深層学習することで、高い計測精度と、機能性の向上を図ることができた。

このシステムの導入前後の配筋検査の状況を図8に示す。マーキング・スケールスタッフの設置や黒板記載、写真撮影を要するため、立会い検査に3人以上必要であったが、このシステムによって、準備・計測・検査を1人で対応できることが確認できた。また、今までは計測値を手入力で検査帳票に転記する必要があったが、このシステムでは計測結果をデータとして記録し、検査報告書に自動的に反映

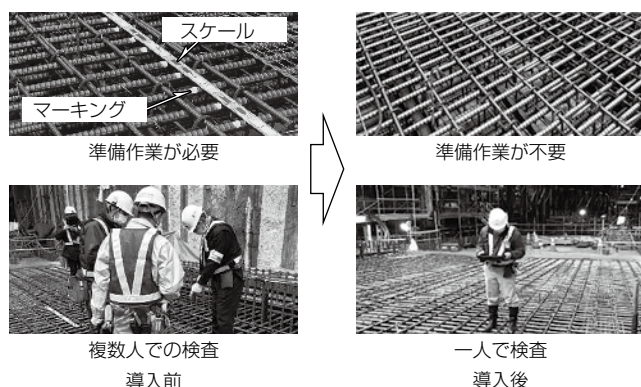


図8. AI配筋検査システム導入前後の配筋検査の状況

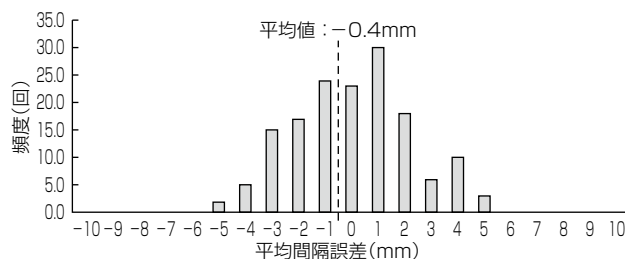


図9. 平均間隔誤差(mm)別の発生頻度

表1. システムの計測精度

計測項目	計測精度
鉄筋検出率	96.4%
鉄筋径判別率	94.2%
平均鉄筋間隔誤差	± 5 mm 範囲(間隔100~330mm)

するため、検査報告書作成時間も1/4に短縮できることが分かった。

このシステムは国土交通省が実施する“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、“東京外環中央JCT北側ランプ(その2)工事”で、鉄筋間隔ごとにスケールによる実測値とAI配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。検証の結果、全ての計測結果で天候の変化による明るさの影響にかかわらず平均鉄筋間隔誤差が± 5 mm以内に収まっていることを確認した(図9)。また、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て、国土交通省が作成した“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⁾(表1)。

7. む す び

今回、建設施工現場の生産性向上に貢献するAI配筋検査システムについて述べた。

今後、Transformer⁽⁵⁾など最新技術の適用や、今回経験したOTAを活用したサービスの運用方法などの知見を生かして、他の業界が抱える社会課題を解決し、多様な業界の生産性向上に活用するソリューションの検討を進めていく。

参 考 文 献

- (1) 三嶋英後：三菱電機でのAI技術の現状と今後の展望、三菱電機技報、94, No.6, 318~323 (2020)
- (2) He, K., et al. : Deep Residual Learning for Image Recognition, Proc. 2016 IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit., 770~778 (2016)
- (3) 御宿哲也、ほか：三菱電機の事業DXを支える統合IoT“ClariSense”、三菱電機技報、96, No.2, 114~117 (2022)
- (4) 森本直樹、ほか：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)
- (5) Liu, Z., et al. : Swin Transformer: Hierarchical Vision Transformer Using Shifted Windows, Proc. IEEE/CVF Int. Conf. Comput. Vis., 10012~10022 (2021)