

鉄筋出来形自動検測システムの開発

Development of an automatic rebar inspection system

吉野 優磨*¹, 水田 武利*¹

YUMA YOSHINO, TAKETOSHI MIZUTA

建設現場において施工管理者が行う鉄筋の出来形計測の実施頻度は非常に高く、計測結果の記録、帳票作成、立会検査や写真撮影などに多くの時間を費やしている。今後施工管理の自動化を進め、生産性向上を加速させるためには重要な改善事項のひとつであると考えられる。そこで筆者らは、鉄筋を画像撮影するだけで鉄筋配置間隔などを自動検測できる鉄筋出来形自動検測システムを開発した。本報では、開発に向けた検討内容や現場での試行、AI機能および計測機能の拡大について紹介する。

キーワード：鉄筋出来形検測，自動化，省力化，リアルタイム，デプスカメラ

At construction sites, construction managers inspect the rebar placement frequently, which requires substantial time for verification and documentation. Streamlining this process is crucial for advancing the automation of construction management and accelerating productivity. In response, the authors developed a system that can automatically detect rebar spacing and arrangement simply by taking an image. This paper describes the development process, on-site trials, and enhancements to the system's AI and measurement capabilities.

Keywords: Rebar inspection, Automation, Labor saving, Real time, Depth camera

1. はじめに

一般的な鉄筋出来形計測は、配筋間隔や鉄筋径の計測を施工管理者2名1組にてスケールなどを用いて行い、計測結果の記録や鉄筋出来形調書を作成している。また、発注者による立会検査では、計測者、黒板保持者、撮影者および発注者の計4名が携わり、鉄筋径を区別するためのマーキング、配筋間隔を示す標尺などを配置した出来形計測、写真撮影、計測結果の記録や調書作成をしている（写真-1）。これらの計測業務の実施頻度は高く、たとえば張出架設工法を用いた橋梁上部工の工事現場では1ブロック毎に上床版、下床版、ウェブの各箇所を計測を繰り返し実施する。その結果、施工管理者は鉄筋出来形計測にかかわる一連の業務に多くの時間を費やすこととなる。



写真-1 立会検査の状況

そこで、鉄筋出来形計測における施工管理者の負担軽減および作業の省力化を目的として、鉄筋出来形の写真を撮影するだけで自動的に配筋間隔や鉄筋径の検測と調書の自動作成を行うシステムを開発した。

2. 計測対象物のデータ取得方法の検討

施工管理者が写真撮影するだけで自動的に鉄筋配置間隔や鉄筋径の検測が可能なシステムを構築するために、

*¹ 土木本部 土木DX推進部

距離情報の取得を目的として、以下2つの方法について比較検討を行った。

- ①ステレオカメラを使用し、2枚のRGBカメラ画像により距離情報を取得する
- ②デプスカメラを使用し、距離情報を直接取得する

方法①は、画像の合成や精度向上のため、計測対象物近傍に専用のマーカーや計測治具を配置し、2方向以上の複数箇所から対象物を撮影したデータを画像処理することで、正確な距離情報を取得するものである。この方法は、一定以上の精度は確保できるものの、マーカー等の専用機材が必要となるだけでなく撮影者の技術にも依存するため、結果として施工管理者の計測時間短縮の効果が小さいことが懸念された。一方、方法②は、撮影するだけで対象物までの奥行き方向の距離を直接計測でき、色画像（RGB情報）と合成処理することで鉄筋配置間隔および鉄筋径を取得する方法である。この方法では、直接かつ容易に正確な距離情報を取得できることから、施工管理者の負担が軽減するうえ、使用する機器の将来性に大いに期待できる。よって、本システムではデプスカメラを使用してデータを取得する方法②を採用した。

3. システム開発に向けた基礎研究

現場での計測環境を模擬し、供試体での検証を行った（図-1）。撮影距離は1.0～1.5mとし、以下の項目を確認するため、3種類の試験を実施した。

- ①配筋間隔や鉄筋径の計測精度の確認
- ②多段配筋での対象鉄筋抽出の確認
- ③使用型枠や日照が計測に及ぼす影響の確認

①では鉄筋の配置間隔はスケールを用いた実計測と比較し $\pm 5\text{mm}$ 以内という結果になり、鉄筋径の抽出は約7～8割の精度で計測を行うことができた。

②では前面と背面に2段配置した鉄筋に対し、デプスカメラを使用することによって、前背面とも鉄筋を正確に抽出することができた。

③では鋼製と木製の2種類の型枠を使用した。型枠の違いによって鉄筋背面の色彩の違いが生じた場合においても、鉄筋の抽出が可能であることを確認できた。また、日照などの照度は鉄筋の抽出に多少の影響を与えるものの、計測結果に及ぼす影響はごくわずかであり、問題なく計測できることを確認した。

以上のことから本システムを使用した鉄筋検測が、スケールを用いた一般的な計測と同等レベルの精度で実施可能であることを確認できた。

4. システム概要

(1) 使用機材

本システムで使用する機材は、図-2に示すように鉄筋出来形自動検測システムのアプリケーションをインストールしたAndroid搭載タブレットと、タブレットに接続するデプスカメラである。デプスカメラには2種類のカメラが搭載されている。撮影時に赤外線レーザーを照射することで対象物との距離を計測する距離画像用カメラと、もう1つが、デジタルカメラなどに使用されている色彩を判別する色画像用カメラである。これら2つのカメラを併用することで任意断面の距離を計測することができ、鉄筋出来形の自動検測が可能となっている。

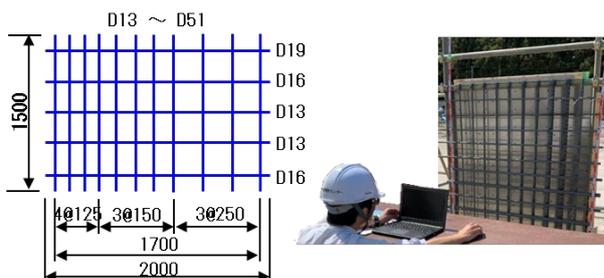


図-1 供試体での検測状況



図-2 タブレットとデプスカメラ

(2) システムの処理の流れ

システムの処理の流れを以下に、イメージ図を図-3に示す。

- ① デプスカメラを搭載したタブレットを用いて対象鉄筋を撮影し距離情報と色情報を同時に取得する
- ② 対象平面の鉄筋についての距離画像とRGB画像を自動合成・自動抽出する
- ③ 指定した箇所の鉄筋配置間隔や鉄筋径が自動検出される

対象鉄筋を撮影し検出箇所を指定するだけで、鉄筋配置間隔や鉄筋径の検出結果が自動でタブレット上に出力される。また、出力された検出結果と電子黒板の写真はSVGファイルで構成されており、工事写真として電子納品にも対応している。

5. 現場での試行

(1) 鉄筋検出方法とその他の検証

本システムは、実務への適用に先立ち張出架設工法を用いた橋梁上部工工事の施工現場において、試行業務として導入した。全16ブロック中10ブロックの上床版、下床版、ウェブ鉄筋において検出を行った。撮影距離は1.0～1.5mとして、鉄筋配置間隔や鉄筋径、照度や背面の型枠状況などが異なる多様な条件で検出を行った。さらに、帳票自動出力機能の開発、本システムの画面を遠隔で発注者に共有する遠隔臨場についても試験的に導入した。

(2) 試行結果

a) 配置間隔・鉄筋径検出の試行結果

鉄筋配置間隔の検出値をスケールによる実測値と比較した。その結果は、図-4に示すように実測値との差は最大5mm、平均1.8mm、約9割が3mm以下となった。以上の結果より、毎回の検出値に大きなばらつきはなく、規格値が $\pm\phi$ （鉄筋径）である配置間隔の検出を行う上で、十分な検出精度を有していることを確認した。

また、鉄筋径の検出については、実際の配置鉄筋径の約7～8割を認識できることを確認した。本システムでは鉄筋配置間隔の検出は高精度で認識することができるが、鉄筋径の検出については約3割が異なる径と認識する。

これは、鉄筋径の検出において3mm以上の誤差が生じると異なる鉄筋径と認識されるためである。今後はシステムの検出精度向上や、カメラの性能向上などにより、どのような条件下でも鉄筋配置間隔、鉄筋径ともに正確な検出ができるように改善を進めていく。

b) 帳票自動作成

今回検出した結果をクラウド上に送ることで、帳票を自動作成するシステムを構築した。写真撮影時に、必要な工事情報などを入力するだけで、システム内の指定された様式で帳票が作成される。従来は、現場で計測した値を野帳などに記入し、事務所に戻ってから数値の入力を行っているが、これらの計測数値の入力などが自動で行われるため、施工管理者の作業の大幅な省力化を図ることが可能となった。

c) 遠隔臨場

本試行業務では出来形検査の遠隔臨場も試験的に導入した。従来の出来形検査では発注者が来現し、スケールや標尺を用いて鉄筋配置間隔の確認を行っている。本システムではタブレットで検出を行うため、タブレットの画像をそのまま遠隔で共有することにより、発注者は事務所にいながらにして検出結果を確認することができる。これにより、検査にかかる移動時間の削減を図ることが可能となった。

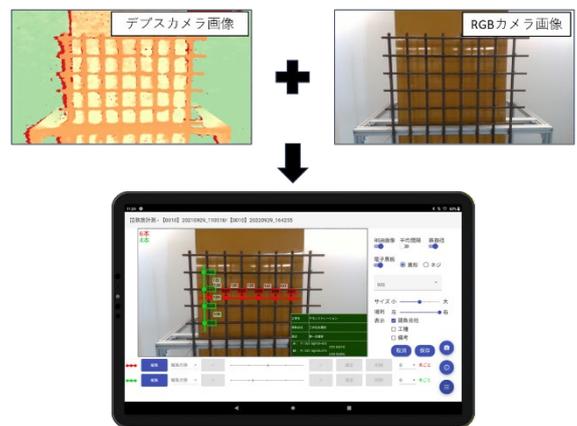


図-3 検出イメージ

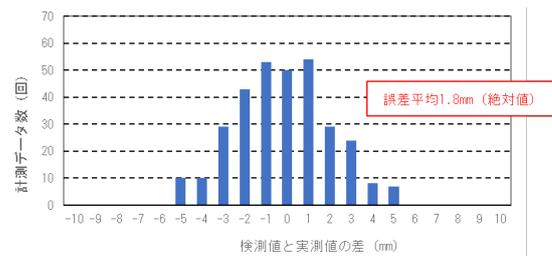


図-4 検測値と実測値の差



写真-2 従来工法の計測方法 写真-3 システムによる計測方法 図-5 ロックボルト配置間隔検測システム

6. 機能の拡大

本システムは、対象物までの距離と画角の情報から画像上で3次元座標値を求めることが可能なため鉄筋配置間隔と鉄筋径の検測以外の検査項目に着目し、鉄筋継手長やかぶり厚さの検測もできるように改良した。その他トンネルのロックボルト間隔の距離検測にも応用させるなど、検測機能の拡大を進めている。

(1) 継手長計測

機能の拡大の1つ目として、任意の2点間の距離計測を行う継手長検測機能をあらたに構築し、精度検証を行った。本機能はデプスカメラで撮影した鉄筋から任意の2点間を選択することで距離検測が行われる。精度検証の結果として、検測の差は最大5mmと良好な結果が得られ、鉄筋配置間隔と同様に実現場においても適用可能であることを確認した。

(2) かぶり厚さ計測

機能の拡大の2つ目として、型枠と鉄筋の距離を計測する、かぶり厚検測機能を構築し精度検証を行った。検証の結果、検測の差が5mm以内であったのは、撮影距離が600mm以内の近距離撮影となった。この要因としては、型枠面を推定する際に生じる誤差に加え、推定された型枠面と鉄筋との距離差を計測する過程における誤差が蓄積するためと考えられる。かぶり厚さは品質確保の観点から規格値の余裕が少なく重要な項目であることから、今後さらなる検測精度の向上を目的とした改良を進めていく。

(3) ロックボルト間隔検測

機能の拡大の3つ目として、ロックボルト配置間隔検測システムを開発した。特にトンネル坑内におけるロックボルト配置間隔の計測は、手の届かない高さが多く、一般的には写真-2のように高所作業車に乗った状態でスケールを用いて計測を行っている。本システムでは、写真を撮影することで検測が行われるため、写真-3のように高所作業車が不要になり、地上からの検測が可能となる。ロックボルトの配置間隔については、出来形管理の計測項目に該当するが、規格値は定められていない。これに対し、当社では社内規格値を定め管理を行っている。本システムは撮影距離6mで±30mm以内の精度で検測を行うことが可能である。また、検測した値は帳票に自動出力されるため、施工管理の負担が軽減され、生産性の大幅な向上が期待できる（図-5）。

7. 画像認識 AI による鉄筋抽出

(1) 画像認識AIの試行

従来の鉄筋抽出方法では、撮影した鉄筋のデータを手動で選択し、その座標を基準に鉄筋平面上の点群データを抽出する手法が用いられていた。しかし、デプスカメラが取得する距離情報には、日照などの照度の影響から多少のノイズが含まれており、鉄筋以外の物体を誤って鉄筋と認識することがあった。そこで画像認識AIを導入することで、鉄筋抽出の精度向上及び自動化を実現することにした。以下にAI学習方法について記載する。

a) 学習データの収集

鉄筋画像はデプスカメラを用いて36枚撮影し、各画像においてダブル鉄筋の上段および下段をマークしてラベ

リングを行った。その後、データの拡張技法を適用し、画像の回転、色調変更、拡大・縮小、ノイズの追加などを行い、最終的に720枚の学習用画像を作成した。

b) 学習方法

作成した720枚の学習用画像を用いて、AIは合計5,000回の学習を実施した。繰り返し学習を行うことで、AIは鉄筋の特徴を段階的に習得し、判定精度の向上を図った。

c) 後処理

AIによる鉄筋抽出結果は誤判定によるノイズが含まれるため、後処理として鉄筋は直線状で一定の長さを持つ領域であることを定め、該当しない領域をノイズとして除外した。



図-6 画像認識AI抽出結果



図-7 期待される効果

(2) 試行結果

画像認識AIによる鉄筋抽出を行った例を図-6に示す。本手法では、鉄筋と判定されたピクセルの距離情報を3次元上の点に変換し、鉄筋領域のみの点群データを生成し、点群データから鉄筋を定義する。この点群データにはノイズが含まれるが、独自アルゴリズムを用いることで、ノイズを考慮しつつ鉄筋の定義が可能となった。これにより、従来手法では難しかった下段鉄筋の抽出や直射日光下での撮影条件においても鉄筋の抽出が可能となった。また、鉄筋抽出の自動化と精度の大幅な向上により、本システムの適用範囲が大きく広がり、さらなる生産性向上に繋がる結果となった。

8. まとめ

図-7は、鉄筋出来形自動検測システムの有効性について、その効果を検証した結果である。PC上部工工事の下床版の配筋検査を行う場合において施工管理者の延べ労働時間を比較した。その結果、スケールを用いた一般的な計測方法では、延べ労働時間が60分であるのに対し、本システムを用いることにより20分に短縮され、3分の1の省力化が期待できることが確認された。また、画像認識AIを導入することにより、操作性や精度を大幅に向上させるとともに、画像認識AIを応用することで、鉄筋以外の構造物などの出来形検測にもシステムを拡張しており、施工管理者の負担削減への貢献および作業のさらなる省力化が期待される。

今後は、計測対象領域の拡大をすすめ、さらに省人化・省力化を実現する技術の開発を加速していく所存である。

参考文献

- 岡本菜里, 竹之井勇, 水田武利, 賀川義昭: リアルタイム鉄筋出来形自動検測システムの開発, 第29回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.461-464, 2020.10
- 吉野優磨, 水田武利, 賀川義昭, 波多江平和: リアルタイム鉄筋出来形自動検測システム (RAC CAMERA) の開発, 第3回 i-Construction の推進に関するシンポジウム, 2021.7
- 吉野優磨, 高岡怜, 水田武利: 鉄筋およびコンクリートの出来形自動検測システムの開発, プレストレストコンクリート, Vol.65, No.1, pp.53-59, 2023.1