

(19) 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

森本 直樹¹・平 陽兵²・桑島 奨¹・佐藤 佐一³・古橋 幸人⁴

¹正会員 鹿島建設株式会社 土木管理本部 (〒107-8348 東京都港区赤坂 6-5-11 鹿島赤坂別館)

E-mail: naoki-morimoto@kajima.com, kuwajims@kajima.com

²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

³非会員 オリンパス株式会社 新事業開発 (〒192-8507 東京都八王子市石川町 2951)

E-mail: sai_sato@ot.olympus.co.jp

⁴非会員 オリンパス株式会社 画像システム開発 (〒192-8512 東京都八王子市久保山町 2-3)

E-mail: y_furuhashi@ot.olympus.co.jp

鉄筋の配筋検査は、事前の準備から検査後の報告書の作成まで、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る。今回、ステレオカメラと高度な画像処理技術を用いた自動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により、その実用性を確認した。

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るものの、その検査にあたっては事前の準備から検査後の報告書の作成まで、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る(図-1)。



図-1 従来の配筋検査イメージ

蔡ら¹⁾の研究では、ステレオカメラを活用した壁筋模型を用いて測定実験を行い、分解能やキャリブレーション精度など基礎的な実証を行っている。今回、鉄筋位置だけでなく鉄筋径の判別まで実現するため、ステレオカメラに加えて高度な画像処理技術を用いた自動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により、その実用性を確認した。

2. ステレオ画像による配筋計測の原理

(1) 全体計測フローの設計方針

鉄筋を判別して、鉄筋間隔(ピッチ)を計測するためには、画像上のピクセルとしての距離ではなく、空間上の3次元寸法としての距離の算出が必須となる。このため、ステレオ撮影による配筋構造の3次元情報取得を基本方針とし、建設現場のフィールドで撮影から計測まで実施することを前提に、処理速度と計測精度の観点からSGBM²⁾アルゴリズムを利用したステレオマッチングを行うこととした。

配筋構造をステレオ3次元計測の対象とする場合、配

筋構造特有の以下の理由によりステレオマッチングに誤差を生じやすい。

- ・鉄筋が類似テクスチャの繰り返し構造である。
- ・計測対象鉄筋で組まれた面には鉄筋間の空間があるため、鉄筋部分と空間の奥の背景部分との奥行き差が大きい。

このため、ピッチ等について高精度な3次元点群を取得することは困難である。島倉らの研究³⁾によれば、計測対象に幾何学的な特徴（拘束条件）が存在する場合、これを利用し、3次元点群の誤差に対して頑健な計測を実現できるとされており、本システムでも3次元点群からそのまま計測するのではなく、計測対象が概ね直線の並行する鉄筋が2方向に組み合わせることで平面を成しているという拘束条件を利用する方針とした。さらに、ステレオマッチングから得られる3次元情報と撮影画像から得られる二次元情報とを適宜組み合わせることで利用することとした。具体的には、3次元点群から計測対象鉄筋により構成される平面（拘束条件）を検出し、この平面上の2次元テクスチャ（撮影画像）を利用して鉄筋判別やピッチ計測を行うよう設計した。

(2) 計測の処理概要

計測の詳細な処理概要を以下に示す。

a) ステレオ撮影

基線長 200mm、解像度 2048x1536 pixel の二眼ステレオカメラ（タブレット端末と連動させた2台のカメラ）を用い、カラー画像を取得する。

b) ステレオマッチング

事前のキャリブレーションにより取得したカメラパラメータを用い、ステレオ撮影した画像から3次元点群を生成する。

c) 平面検出

3次元点群に対してRANSAC（Random Sample Consensus）⁴⁾を適用し、点数およびカメラとの位置姿勢から計測対象である最表面の鉄筋で構成された3次元空間内の平面を検出する。

d) 正対化

検出した3次元空間内の平面に含まれる3次元点群を、その平面の法線方向からみた2次元画像を生成する。

e) 鉄筋検出

正対化した2次元画像に対し、複数の平行する鉄筋が2方向（縦横）に存在することを前提に、2次元画像内の直線（鉄筋中心軸）を検出する。

f) 計測

3次元点群の鉄筋中心軸の座標、鉄筋中心軸周辺の2次元画像上のテクスチャからピッチの計測および鉄筋の判別を行う。

3. システムの概要

(1) ハードウェア

ハードウェアは、2台のカメラ間の離隔を固定してタブレット端末と一体化させる構成とした。システム利用者が計測だけでなく運搬もしやすいようデザインを工夫している（図-2）。

(2) ソフトウェア

本システムは、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、本数を自動で計測（判別）でき、タブレット端末に自動計測の結果データが記録される。具体的な処理手順は、以下のとおりである。

- ①ステレオカメラで検査対象を撮影する
- ②3次元点群がタブレット内部で自動生成される
- ③生成された3次元点群から配筋された鉄筋のみが検出される
- ④検査範囲をタブレット画面上で指定する
- ⑤画像処理技術により自動計測された「鉄筋径」、
「間隔」、「本数」が画面上に表示される（図-3）
- ⑥計測結果はデータとして記録される



図-2 ハードウェア構成

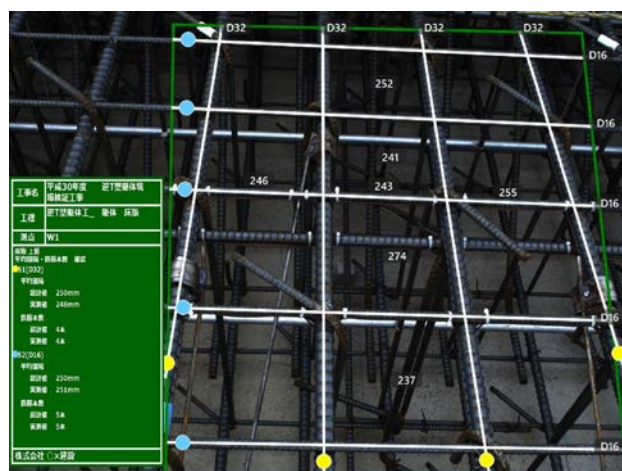


図-3 本システムの計測結果画面

また、写真1枚だけでは撮影しきれない場合にも分割して撮影した複数枚の写真を統合して全体を計測できる「分割撮影機能」や、重ね継手長など任意の2点間を計測できる「2点間計測機能」を追加した（図-4）。

測点毎の設計値の取り込みや検査報告書への出力機能は、市販されている施工管理ツールと連携させることで実現させた。ただし、他のツールとも連携できるようにデータの相互授受は、汎用的な XML 形式で行える仕組みとしている。検査結果や電子小黑板付きの工事写真は、予め設定した属性情報に基づき自動的に仕分けされ、「出来形管理」及び「写真管理」に保管される（図-5）。

4. 計測精度の検証

(1) 基礎的な検証

建設現場において用いられる配筋パターン（スラブ、梁・柱、鉄筋径 D10～D51）を模擬的に組み立て、検査対象との距離や角度を変えながらシステムの計測精度を検証した（図-6、7）。

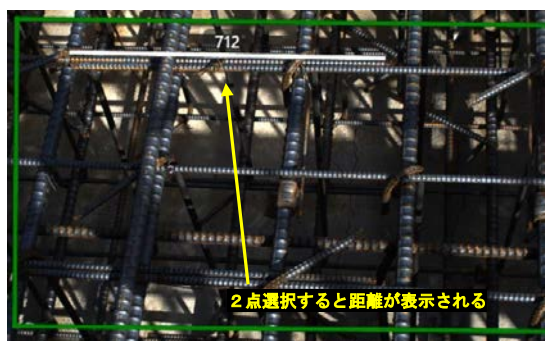


図-4 2点間計測機能による重ね継手長計測

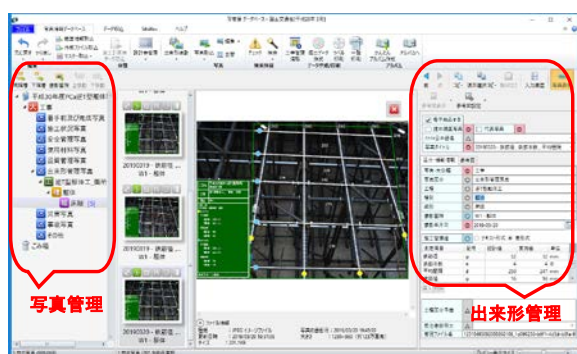


図-5 写真管理及び出来形管理画面

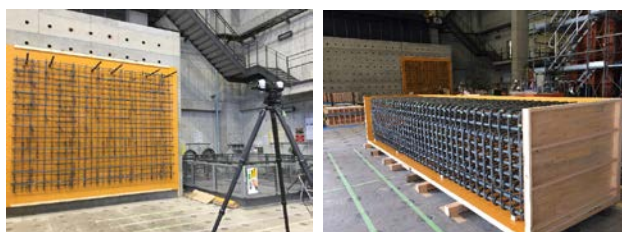


図-6 模擬的に組み立てた配筋

(2) 現場における検証

標準的な鉄道高架橋工事における配筋を撮影して検証を行い（図-8）、基礎的な検証結果とあわせて計測アルゴリズムを改良した結果、一定の条件（撮影距離 1～2m、撮影角度 30° 以内等）の下、鉄筋検出・径判別は 100%、鉄筋間隔は 100mm ピッチに対して±5mm の精度を確認（表-1）し、現在の目視検査に代わる検査システムとして利用できることが確認できた。

しかしながら、現場検証の結果、逆光の際には鉄筋検出が正常にできない課題があったため（図-9）、太陽などの強い光源を計測範囲に入れないなど、運用上の工夫で対処する必要がある。

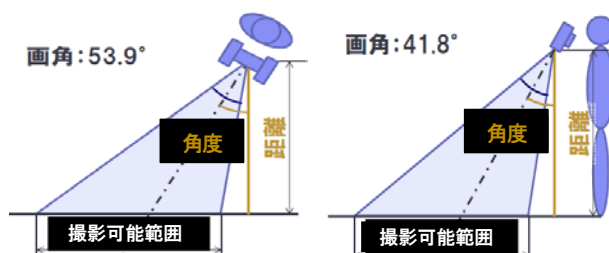


図-7 基礎的な検証イメージ

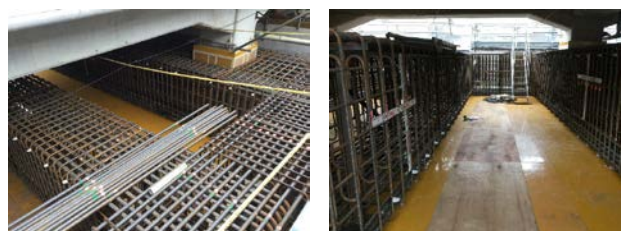


図-8 鉄道高架橋工事において検証した配筋

表-1 計測精度

計測項目	計測精度
鉄筋検出／径判別	100%
鉄筋間隔	±5mm（100mm間隔計測時）



図-9 鉄道工事現場における検証（逆光のケース）

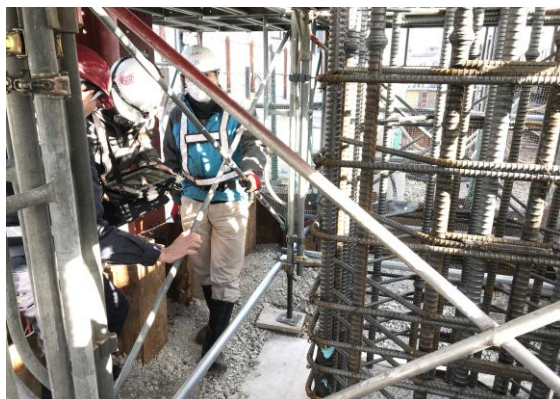


図-10 鉄道工事現場における実証（筋交いがあるケース）

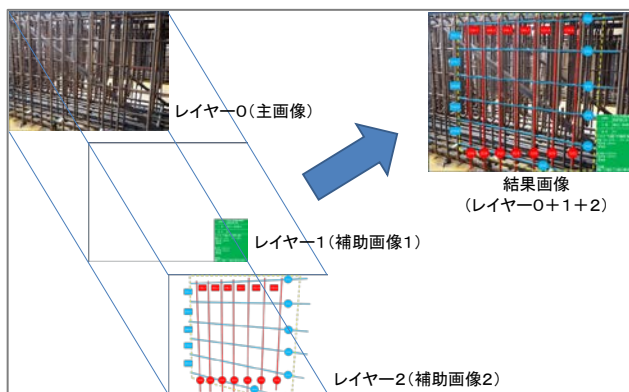


図-12 計測結果など補助情報の重畳イメージ

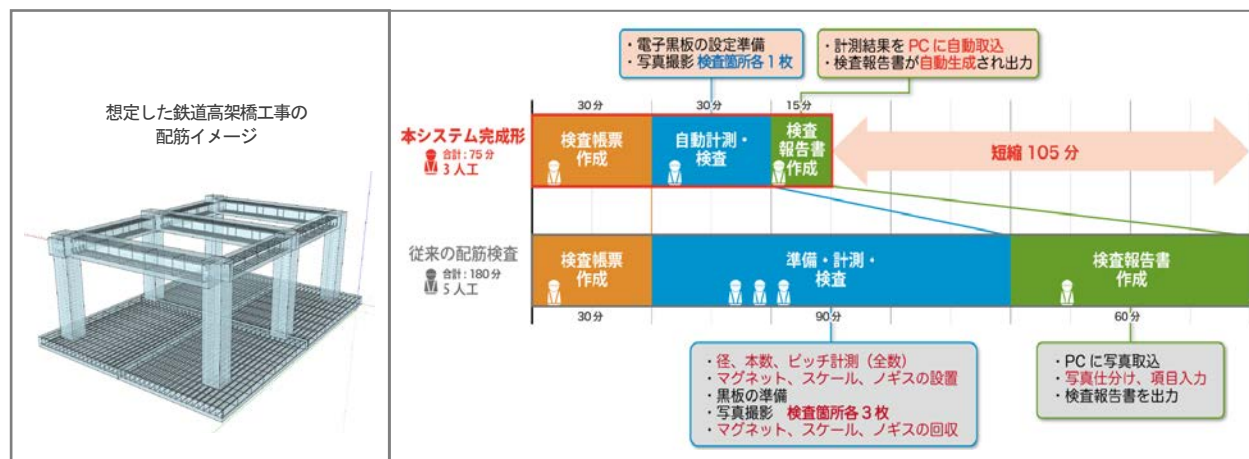


図-11 本システムと従来システムとの工数比較

また、図-10 のように撮影する配筋の手前に足場の筋交いなどがあった場合では、計測範囲を設定することで、筋交いを除外し計測すべき鉄筋を正確に検出して計測できることを確認できた。

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。その結果を図-11 に示す。本システム利用による効果は、準備・計測・検査（青色部分）に要する人数や時間を1/3に省力化できることに加え、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に短縮できる。また、目視だけでは気づきにくいミスやヒューマンエラーを排除し、確実な配筋検査を行うことが可能となる。

6. おわりに

本システムは、基礎的な精度検証と現場検証を通じて、その実用性を確認できたことにより、まずは自主検査へ

適用していく予定であるが、将来的には発注者による立会検査への活用や、発注者と施工者双方が検査結果の画像を遠隔で共有するといった、更なる省力化も視野に開発を進めていく。

また、画像処理技術の進展に伴い、デジタル工事写真だけでなく、電子化された設計情報・計測結果等の補助情報の重畳表示についても認められるよう、業界団体などを通じて提案していく予定である（図-12）。

参考文献

- 1) 蔡成浩, 吉田知洋, 関田徹志, 百瀬晴基, 浅岡茂: 配筋測定へのステレオカメラの適用, pp.901-902, 建築学会学術講演梗概集, 2008.
- 2) Hirschmüller, H.: Accurate and Efficient Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information, *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.807-814, 2005.
- 3) 島倉諭, 関洋: 複数ステレオ画像を用いた配管資材の形状計測, 情報処理学会第74回全国大会講演論文集, pp.21-22, 2012.
- 4) Fischler, M.A. and Bolles, R.C.: Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography, *Communications of the ACM* 24(6), pp.381-395, 1981.