

4

ICT を活用した施工管理の高度化技術の開発

塩畑 佑典^{*1}・石田 靖^{*2}

概 要

スマートフォン等の様々なデバイスにより撮影した動画から、画像解析により点群化を行う SfM 処理を活用した点群に対し、トータルステーションによって計測した実測値との比較を行うことで精度検証を実施した。その結果、点群から得られる計測値と現地で計測した実測値において、出来形計測で必要とされる精度を確保できることを確認した。また、その点群から 3 次元配筋モデルを半自動で生成し、出来形情報を抽出するシステムを開発した。

キーワード：点群，自動モデル化，SfM 処理

DEVELOPMENT OF ADVANCED TECHNOLOGY FOR
CONSTRUCTION MANAGEMENT USING ICTYusuke SHIOHATA^{*1} Yasushi ISHIDA^{*2}

Abstract

The accuracy of point clouds after SfM processing, which converts videos taken by various devices such as smartphones into point clouds through image analysis, was verified by comparing such point clouds with the actual measurement values measured by a total station. As a result, it was confirmed that the accuracy required for as-built measurement could be obtained through measured values obtained from the point clouds and the actual values taken at the field. We have also developed a system which is able to semi-automatically generate a three-dimensional reinforcement model from these point clouds and to extract as-built data information.

Keywords: point cloud, automatic modelling, SfM processing

*1 ICT Construction Promotion Group, i-Con Promotion Department, Civil Engineering Division

*2 General Manager, Information system Department, Digital Transformation Promotion Division

ICT を活用した施工管理の高度化技術の開発 ―配筋検査システムの開発―

塩畑 佑典^{*1}・石田 靖^{*2}

1. はじめに

土木工事における鉄筋検査では、鉄筋を組立完了した段階で、施工会社による自主検査を実施する。そこで設計図に対する整合性を確認した後、発注者の監督員による立会い検査を受けることが義務付けられている。監督員は現地に外向き、対象範囲全体の出来栄を確認するとともに、抜き取りで部分的に鉄筋の種別、径、本数、間隔、かぶり、重ね継手等を確認する。あわせて、定められた項目の写真撮影を行う。

また、地方で監督員1名当たりの担当現場が多い場合は、それぞれの施工現場までの往復時間が長く、施工会社にとっては、次工程のコンクリートを打設するタイミングを図りながら、立会い検査のスケジュールを確保する等の作業調整を行わなければならない。現状として、施工管理を行う建設会社の職員および発注者の監督員ともにかなりの労力が必要となっている。

写真－1に従来の鉄筋検査の状況を示す。

本開発では、3次元レーザースキャナや動画の画像解析によって生成される点群を活用し、構造物全体の配筋状況の把握、3次元配筋モデル化による出来形の自動計測を行うことで、全数検査を可能とする。これにより従来の鉄筋検査の際に行っていたマーカーなどの事前準備をなくすとともに自動計測されたデータをネットワーク上にアップロードすることで遠隔地からの確認を可能とし、検査業務の効率化を目指すものである。

2. 配筋検査システムの動向

i-Constructionの取り組みが進む中、ステレ



写真－1 従来の鉄筋検査状況

オカメラ等を用いた画像処理による鉄筋径や本数、間隔の計測を行うシステムや、LiDARから取得した点群から配筋のモデルを作成することにより、鉄筋間隔等を判定するシステムが開発・実用化されている¹⁾。

ステレオカメラ等を用いた画像処理の原理は、例えば、複数台のカメラにより撮影された画像のカメラ間距離と被写体の距離、カメラの焦点距離から、画像内における被写体のずれ量、視差を算出する(図－1)。それにより、対象となる鉄筋の3次元座標を特定することで、その輪郭や位置を抽出し、鉄筋径と間隔を算定する。

このほかLiDARを用いた場合、まずレーザー光を物体に当て、跳ね返りの時間によって物体までの距離、方向を測定して各情報を算定し対象物の点群化を行う(図－2)。その後システム上で点群からモデルの作成、計測を行う。

これらの方法は、原則的に従来の鉄筋検査のうち、任意の抜き取り検査の部分をデジタル化したものであり、全体の出来栄等は、別途、現地での確認または写真等で確認することとなる。また、画像解析、LiDARともに天候や日射等の影響を受けやすく、計測ごとのばらつきな

*1 DX推進室 情報システム部 部長

*2 土木本部 i-Con推進部 ICT施工推進部グループ

どデバイスによる制約条件を事前に整理・確認しておく必要がある。

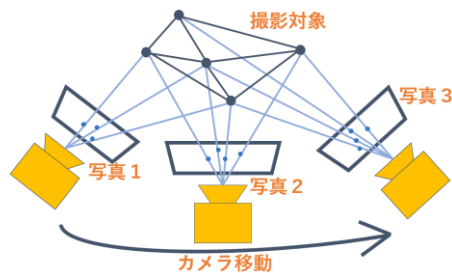


図-1 SfM処理の原理

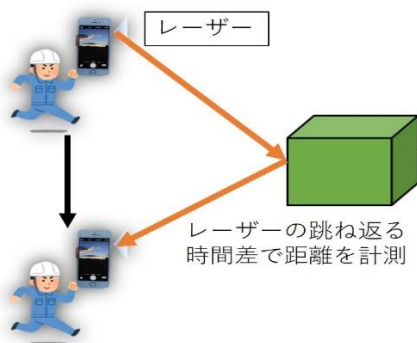


図-2 LiDERの原理

3. 点群を活用した配筋検査システム

3.1 システム概要

本システムの計測フローを図-3に示す。

3次元レーザースキャナによる計測は、1カ所からだけでは配筋が重なり影となる部分が発生し、配筋状況全体の点群が取得できない（写真-2、写真-3）ため、複数の方向からの計測を実施し合成することで、配筋全体の点群データを取得する（写真-4）。SfM処理による点群の場合は、まず動画撮影を行う。撮影は一般的に対象物に正対し、歩くより少し遅い速度で移動しながら行う。また、3次元レーザースキャナ同様に影となる部分が発生しないように行う。SfM処理によって得られた点群データを写真-5に示す。

この点群を本システムへ取り込み、点群の合成や、余分な点群の修正を行った後（図-4）、鉄筋のモデル化を実行する。その際に、点群から鉄筋径を自動的に判定し、点群に合わせてモ

デル化を行い、選択範囲に対する各鉄筋の本数、間隔（最大、最小、平均）が算出される（図-5）。また、図-6に示すように設計のコンクリート面を仮想面として設定することにより、仮想面と点群の距離をヒートマップで表示して鉄筋かぶりの計測も行えるようにしている（図-7）。

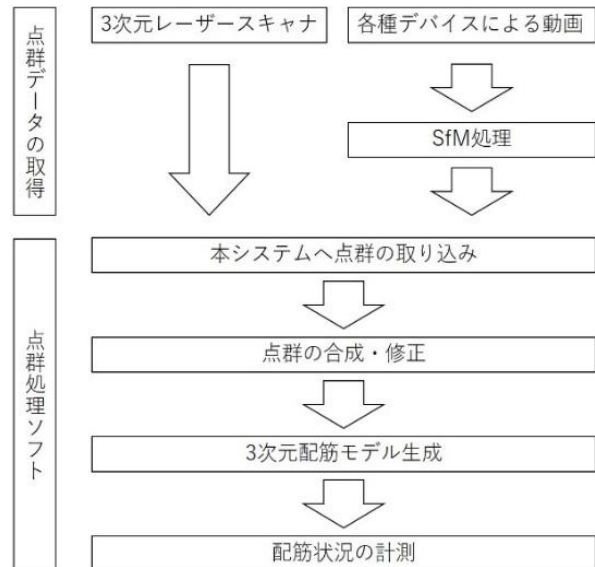


図-3 システム利用フロー

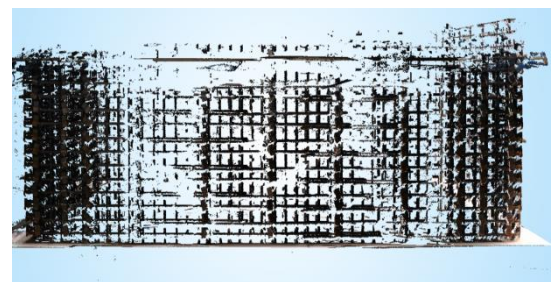


写真-2 影部分を含む点群

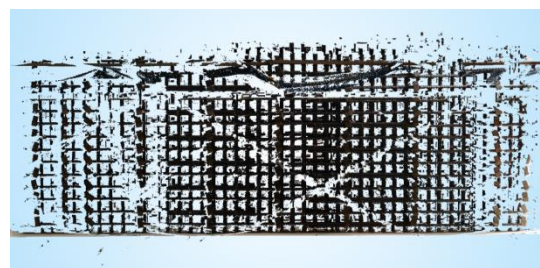
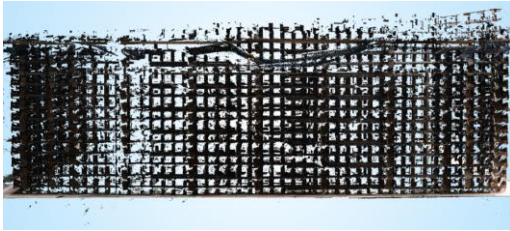
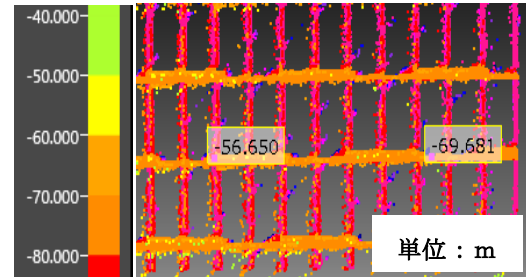


写真-3 別角度からの取得点群



写真－４ 複数点群を合成した点群



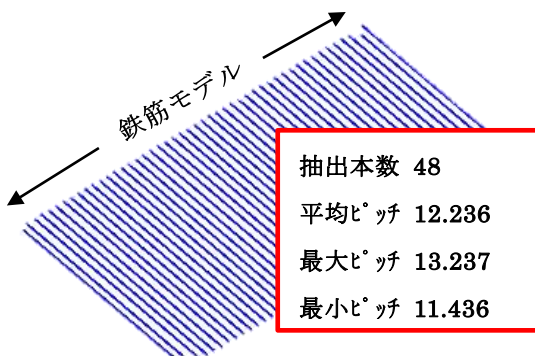
図－７ ヒートマップによる鉄筋かぶりの計測



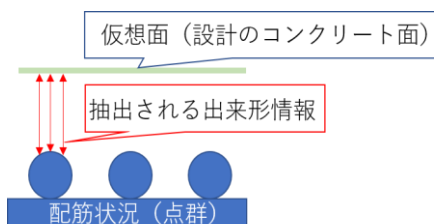
写真－５ SfM 処理による点群データ



図－４ 合成・修正を行った点群データ



図－５ 鉄筋モデルおよび抽出された出来形



図－６ 設計のコンクリート面の設定イメージ

３．２ システムの特徴

点群データから直接的に、鉄筋径や鉄筋間隔などの正確な数値化は行えない。そこで本システムで使用する点群処理ソフトの基本性能である点群から３次元モデルを生成する機能を改良し、鉄筋のような細い物体に対しても点群から径を判別して実際の配筋状況を再現した鉄筋の３次元モデル化を行えるシステムの開発を行った。これにより鉄筋情報を取得し計測を行うことが可能となる。モデル化した鉄筋に対して本数、間隔(最大、最小、平均)が算出される。また、使用する点群は３次元レーザスキャナによる高密度なデータのほか、スマートフォン等を用いて撮影した動画を画像解析し点群化を行う SfM 処理によって得られる低密度な点群に対してもモデル化が可能である。

４． システムに使用する点群精度

４．１ 計測精度の検証

本システムを利用するには、現地で点群の計測を行うことが必要となる。そのため、現地で取得した点群と実際に現地に組まれている鉄筋との計測差が重要となる。３次元レーザスキャナによる計測は製品として 10m 先で誤差 2mm とされており、計測した点群の精度が確認されている。しかし、スマートフォン等を用いて撮影した動画の SfM 処理によって得られる点群は、これまで精度の確認がされていないため、今回点群の精度確認を行った。

SfM 処理によって得られる点群の精度検証は、鉄筋のモックアップを利用して手動による点群の２点間計測値とトータルステーション

(以下、TS) による実測値との比較により評価を行った(写真－6、写真－7、写真－8)。本システムは基礎や柱、床版といった様々な工種での活用を想定しているため、それに合わせた点群の精度検証も行う必要があり、検証の基準は、以下に示す国交省の基準^{2) 3)}とした。

- ①床版工以外の一般構造物は特定の範囲を対象に計算した鉄筋間隔の差分を鉄筋径で除した無次元量で評価する。

鉄筋間隔の計測誤差(%) =

(点群計測値－TS計測値) / 鉄筋径

規格値：計測誤差 30%以内

- ②床版工は個々の鉄筋間隔の計測データの差分を1mあたりで平均化して評価する。

点群計測値－TS計測値

規格値：±10 mm

計測精度の検証を実施するにあたり、点群による計測とTSによる計測が同位置となるようモックアップには、写真－9に示すように目印としてシールによるマーキングを行った。また、点群による計測は、システム内で手動により計測した2点間の距離とした(図－8)。それぞれの計測値による検証結果を図－9、および図－10に示す。それぞれ規格値内に収まる結果となり、監督員による目視検査と同様の精度が確保できることを確認した。



写真－6 SfM処理を用いた点群取得状況



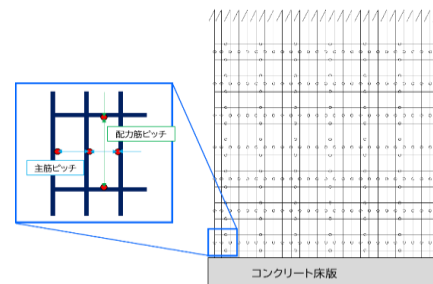
写真－7 TSによる実測値計測状況



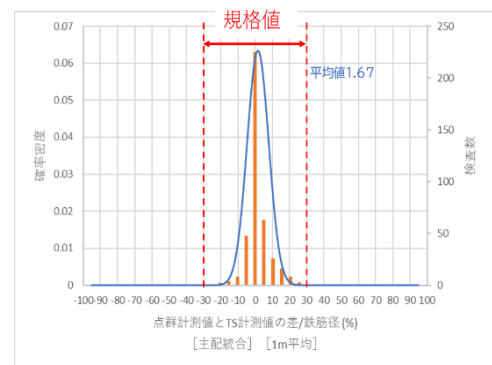
写真－8 計測状況(拡大)



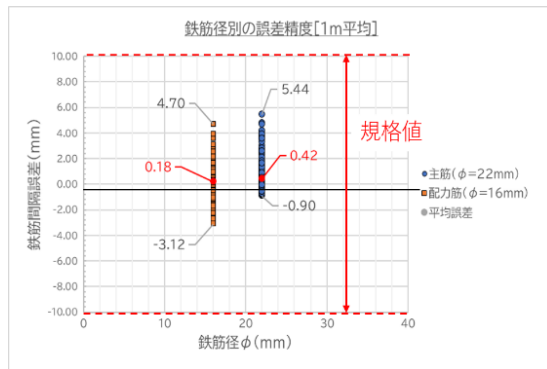
写真－9 計測用マーキング状況



図－8 手動による2点間計測位置



図－9 点群の計測精度検証結果
(床版工以外)



図－10 点群の計測精度検証結果
(床版工)

4. 2 検査で必要なその他の項目

監督員は、鉄筋検査において、前述の項目の確認のほかに、継手の位置、種類、重ね継手長およびその間隔が、仕様書および設計で定めた種別、規格値に適合しているかの確認を行う。さらに、鉄筋の錆や汚れによる構造物としての品質への影響等を確認している。これらの項目についても、3次元レーザースキャナ、動画とともに計測の際同時取得される映像から確認できることから、この項目の検査についても代替できると考えている。

5. まとめ

今回、3次元レーザースキャナおよび SfM 処

理によって取得できる点群を活用した配筋検査システムを開発した。併せて SfM 処理による点群が検査に使用できる精度を確保できるかの検証の結果を示すとともに、現在の鉄筋検査に対しての有効性を確認した。また、SfM 処理による点群の精度を確認できたことにより、今後現場等で簡易に取得した点群の活用が行える。これにより、鉄筋検査時のマーカー準備等の作業を削減し、動画撮影のみで検査を行えるため、鉄筋検査の効率化が行える。

今後は遠隔臨場に対応できるよう、各発注者の基準に合わせた計測結果の出力方法を検証するとともに、代替え方法としての採用を働きかけていきたいと考えている。またそれらの条件への対応や機能拡張に向けて、システムの改良も検討している。

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」に関する現場試行2021年7月
- 2)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), 2021年7月
- 3)国土交通省:土木工事施工管理基準及び規格値(案), 2018年