

## 写真計測技術とAR技術を用いたコンクリート表面仕上げ管理システムの開発

三井住友建設(株)	正会員	○大野 寛太
三井住友建設(株)		掛橋 孝夫
三井住友建設(株)		三上 博
三井住友建設(株)	正会員	細野 宏巳

キーワード：ステレオ写真計測，AR（拡張現実），表面仕上げ管理

### 1. はじめに

一般的に、コンクリート打設後の表面仕上げは人力で行うため、仕上げ具合の良し悪しは作業員の技量や定性的な判断に依るところが大きい。とくに、床版コンクリートのように広い範囲を平坦な面に仕上げるには熟練を要し、仕上げ具合が悪いときはコンクリート硬化後に研削や表面修復による不陸調整が必要となり、コンクリートの耐久性を損なうことが懸念される。したがって、均し作業においては、定量的な評価方法によって仕上げ状況を確認し、表面の平坦性を確保することが重要である。

そこで筆者らは、コンクリート表面の均し作業時に、表面の凹凸状態をステレオ写真計測技術とAR（拡張現実）技術により可視化して、仕上げ面の平坦性を向上させるシステムを開発した。ステレオ写真計測技術は、異なる方向から撮影した複数の画像データから視差を利用して3次元形状を認識する技術であり、これまで当社では、打継ぎ処理面の粗度を評価するシステム<sup>1)</sup>や鋼材形状を計測するシステム<sup>2)</sup>などのさまざまな計測で適用してきている。

本稿では、本システムの概要および精度検証の結果について報告する。

### 2. システムの概要

#### 2.1 概要

システム概要図を図-1に示す。本システムは、床版コンクリートの均し作業時にデジタル一眼レフカメラで仕上げ面を2方向からステレオ撮影し、撮影した画像データを専用プログラムで解析し、計画高さとの誤差を色分けしたコンター図で出力する「ステレオ写真計測技術」と、出力したコンター図をタブレット端末機の画面上に現場の実映像に重ね合わせて表示させ可視化する「AR技術」の2技術を組み合わせたシステムである。本システムの適用により、床版コンクリートの仕上げ作業におけるコンクリート天端の仕上がり形状を容易にかつ速やかに把握できるため、計測と仕上げ作業を繰り返すことにより、不陸の小さい平坦な仕上げ面を構築することが可能となる。

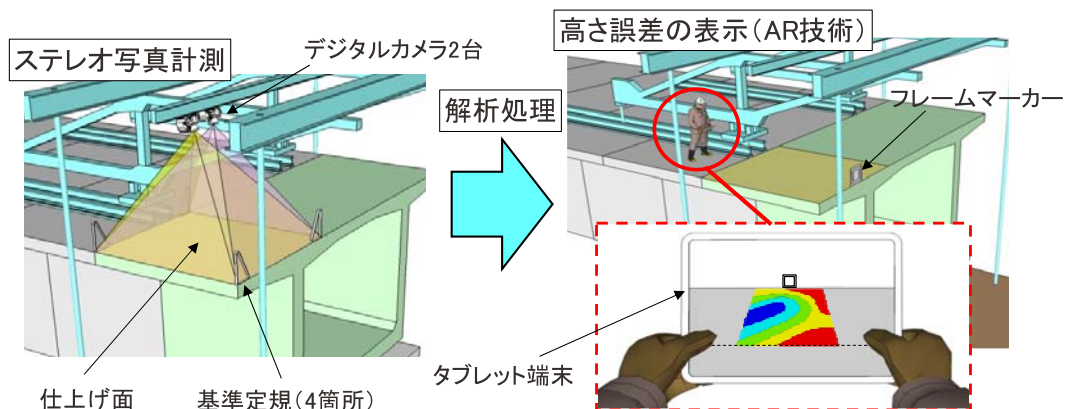


図-1 システム概要図

## 2.2 使用資機材

### (1) ステレオ写真計測

ステレオ写真計測に必要な資機材は、デジタル一眼レフカメラ、計画高さの指標となる専用基準定規、ならびに解析処理用のノートパソコンである。カメラは有効画素数が約2420万画素、レンズは標準的な焦点距離18-55mmの製品を使用し、仕上げ面が広範囲となり広角での撮影が必要な場合には、レンズに0.7倍ワイドコンバーターを装着するなどして対応する。専用基準定規は、高さの計測精度を確保するために、定規に設置する基準点間に30cm程度の高低差を設けている(写真-1)。



写真-1 専用基準定規

### (2) 高さ誤差の表示 (AR技術)

AR技術を用いたコンター図表示に必要な機材は、カメラ付きタブレット端末、AR用マーカー、無線LANルーターである。AR用マーカーは、タブレット端末と対象物(仕上げ面)との位置関係を認識するために必要であり、正方形の外枠の内側に白黒のドットが並んだデザインである(写真-2)。外枠は位置関係や大きさの指標となり、内側のドットのパターンでマーカー毎のID番号を認識する。



写真-2 AR用マーカー

## 2.3 システムフロー

本システムを移動作業車による張出し施工に適用した場合を例とした具体的な手順を以下に示す。

1) 床版コンクリートの粗均しの後、計測対象となる仕上げ面の上方(移動作業車のトラス上部)に1m程度の間隔を開けてデジタルカメラを2台配置する(写真-3)。また、撮影範囲の四隅(既設ブロック端部および小口型枠)には、計画高さの基準となる専用基準定規を設置する(写真-4)。



写真-3 デジタルカメラ配置状況

2) デジタルカメラをリモコンで操作して、同時に2方向からのステレオ撮影を行う

3) 撮影した画像データをパソコンに無線で転送し、専用ソフトによりステレオ写真計測技術を利用して仕上げ面の高さ誤差を解析する。解析は、画像取込 → 基準点の認識 → 標定計算(カメラの位置・傾きなどの計算) → 計測面の左右画像の対応点を探索 → 計測面の凹凸形状を算出の順に処理され、これら解析処理に要する一連の所要時間は3~4分程度である。なお、まれに左右画像の対応点がうまく合致せずに解析できないことがあり、その場合は、カメラ間隔や角度などを微調整して再度撮影する。

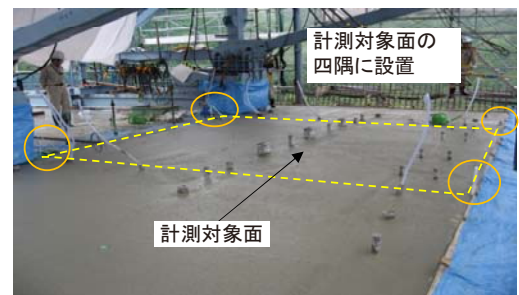


写真-4 基準定規設置

4) 解析結果は、高さ誤差を10cmメッシュで色分けしたコンター図に変換し、そのデータをタブレット端末のAR専用アプリから読み込む。対象となる仕上げ面とコンター図との位置関係を認識するために、専用のA

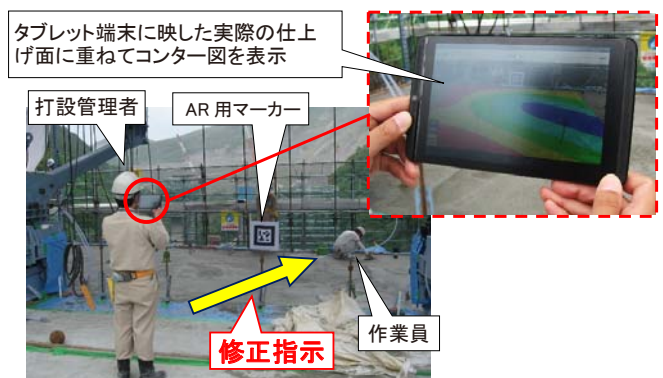


写真-5 タブレット端末によるコンター図表示

R用マーカー（既知の図形）を設置する。マーカーの設置位置や設置角度は現場条件に合わせてアプリ内で任意に設定できる。このマーカーを基準として、タブレット端末のカメラで映した実際の仕上げ面とコンター図とを重ねて画面に描画させて仕上げ具合を確認できる（写真-5）。

5) 仕上げ面の高さの誤差が大きい範囲について、タブレット端末を見て確認しながら、作業員に均しの修正指示を行い、修正した仕上げ面を再度撮影・解析する（図-2）。これらを目標の高さの誤差に収まるまで繰り返す。

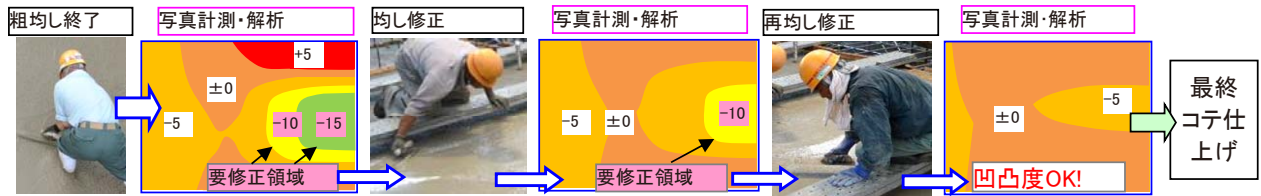


図-2 仕上げ作業の繰り返し手順（図中の数値は高さ誤差量（mm））

### 3. 写真計測の精度検証

#### 3.1 珪砂を使用した検証試験

##### (1) 試験条件

張出し施工での計測を想定して、移動作業車のトラス上部にデジタルカメラを配置したときの高さ（仕上げ面から約3.7m）での計測精度を確認した。フレッシュコンクリートを1mm単位で任意の凹凸形状を付けて仕上げるのは難しいため、コンクリートとほぼ同色の珪砂により仕上げ面を模擬して検証試験を実施した（写真-6）。珪砂による模擬仕上げ面は3.5m×4.0mの平面寸法とし、平坦に敷き均した後、アクリル板（一辺30cmの正方形）により2mm, 3mm, 5mmの深さで各2箇所を凹ませた。撮影ケースは、カメラの撮影角度を真上(90°), 60°, 45°, 35°に変化させた4ケースとした。

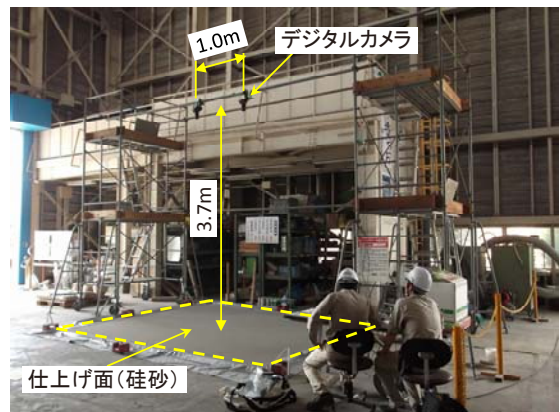


写真-6 珪砂による検証試験状況

##### (2) 試験結果

カメラの撮影角度が90°のケースでは、1mm以内の誤差で凹凸形状を計測でき、CCD分解能などから算出される計測精度の理論値（精度1.0mm，図-3）とほぼ同等の結果が得られた（図-4）。また、60°および45°のケースでは、いずれも2~3mm以内の誤差で計測でき、ある程度斜めから撮影しても高い計測精度が得られることが確認できた。なお、35°のケースでは、カメラ位置を求める標定計算が収束しなかったため、凹凸形状の計測結果は得られなかった。また、仕上げ面を部分的に凹ませるのではなく、滑らかに変化させた場合においても、同程度の誤差で計測できることも確認した。

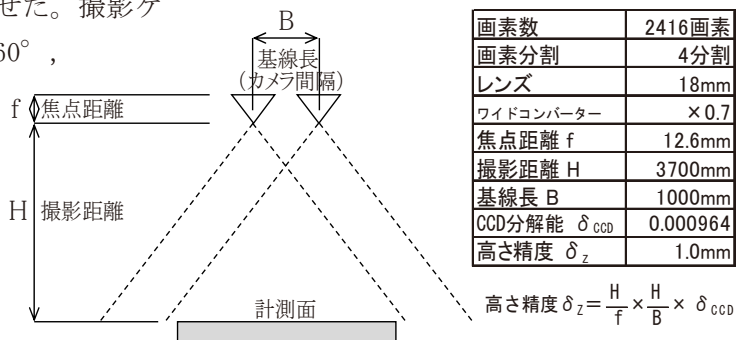


図-3 計測精度の理論値

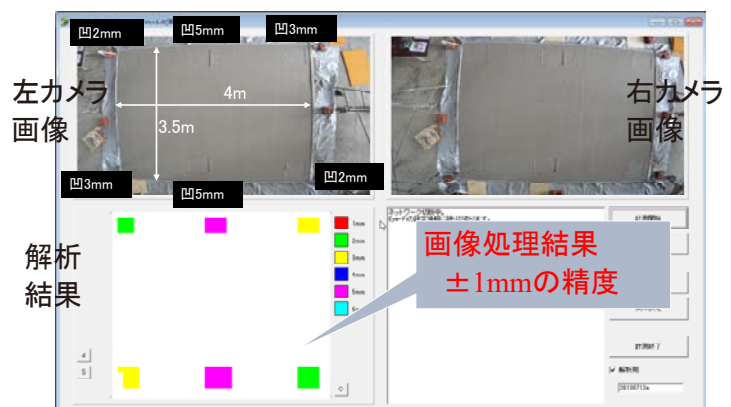


図-4 撮影角度 90° の解析結果

### 3.2 実橋における検証

張出し施工の現場において、床版コンクリート仕上げ面を対象として計測精度を検証した(写真-7)。仕上げ面の一部分を10mm程度高くして計測を行い、フレッシュコンクリートの仕上げ面においても珪砂と同等の計測精度が得られることを確認した(図-5)。また、タブレット端末による計測結果の可視化についても、現場での実用性に問題がないことを確認した。

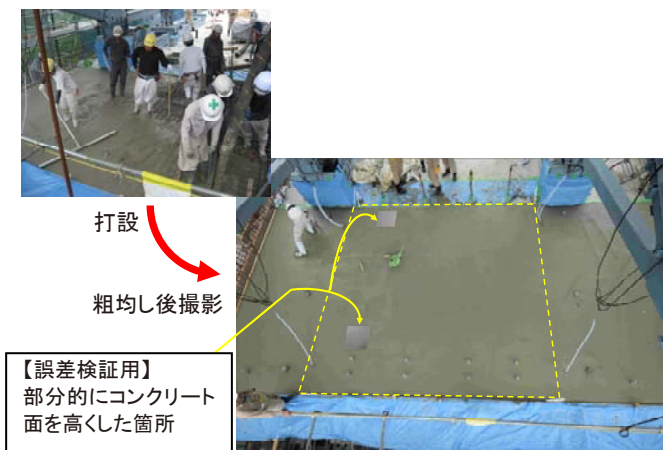


写真-7 実橋における検証状況

### 4. まとめ

本稿のまとめとして、本システムの特徴ならびに今後の課題を示す。

#### 4.1 システムの特徴

- 1) ステレオ撮影技術により仕上げ面の高さを最大でも2～3mm以内の精度で計測できる。
- 2) 写真計測によって得られたデータを解析し計画高さとの誤差をコンター図として出力できる。
- 3) 出力したコンター図を、タブレット端末の画面上にAR技術を用いて現場の実映像に重ね合わせて表示・可視化でき、修正箇所の指示を的確に行うことができる。
- 4) フレームマーカの映り方でタブレット端末のカメラと対象物の位置関係を認識できるため、タブレット端末を持って移動しながら作業員に指示することができる。
- 5) 解析処理を含めた一連の所要時間は3～4分程度であるため、その場で仕上げ状態を確認し、修正指示を迅速に行うことができる。

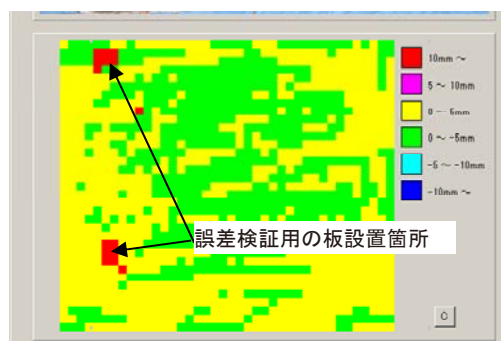


図-5 実橋における計測例

#### 4.2 今後の課題

- 1) 屋根設備などが無く、上方へのデジタルカメラ設置が困難な場合のステレオ撮影方法を検討する。
- 2) 写真計測とAR技術で使用する基準定規(マーカー)の統一化を検討し、計測準備作業の省力化を図る。
- 3) 写真計測の解析処理やデータ転送をさらに高速化し、ほぼリアルタイムで計測結果のコンター図を表示できるように改良する。

#### 4.3 おわりに

本システムは、本稿で事例を挙げた橋梁の床版コンクリートに限らず、建築分野における住居の床スラブなど、土木・建築に関わらずさまざまな構造物への適用が可能である。今後は、多くの現場への適用拡大を図るとともに、システム改良によるさらなる省力化・高速化を進めたい。

### 参考文献

- 1) 近藤真一, 中村収志, 玉置一清, 佐田達典: 写真計測による打継強度評価システムの開発, プレストレストコンクリート, Vol. 54, No. 1, pp. 78-86, 2012
- 2) 大野寛太, 掛橋孝夫, 三上博, 細野宏巳: ステレオ撮影技術を用いた床版横締めPC鋼材配置計測システムの開発, 第24回PCシンポジウム論文集, pp. 651-654, 2015