

ICT を用いたコンクリート仕上げの高さ管理システムの開発

大日本土木(株) 正会員 ○長谷川 勝幸
大日本土木(株) 正会員 花井 敦
大日本土木(株) 中田 光治
計測ネットサービス(株) 青島 竜

1. 開発の背景

近年、既設道路橋においてアスファルト舗装のポットホールやコンクリート床版の砂利化等の損傷事例が多く報告されている。これは輪荷重の繰り返し載荷だけではなく、コンクリート床版上面の凹部への滞水も原因とされている^{1),2)}。そのため、コンクリート上面は凹凸がないように精度良く施工することが重要である。

一般的にコンクリート上面を仕上げる際は、数 m² ごとに設置したコンクリート設計高さの目印となる治具（以下、高さ目印と称する）を作業員が目視で確認しながらトンボとコテでならす。しかし、従来の施工方法には、主に2つの問題がある。

1 つ目は作業効率の問題である。高さ目印を設置する際は、元請職員、測量担当および手元となる作業員が必要である。また、仕上げ面積が大きくなるほど設置する高さ目印の数は多くなる。この作業には多くの費用と時間がかかる。

2 つ目は精度の問題である。高さ目印は、打設時にパイプレータなどが接触する可能性がある。これにより、高さ目印が傾くあるいは外れてしまうため、仕上げ作業時における高さの精度に影響を与える。また多くの場合、トンボによるならし作業時に高さ目印を撤去するため、コテによる仕上げ作業は作業員の目測を頼りに行なっている。

これらの問題を解消するため、自動追尾トータルステーション（以下、自動追尾 TS と称する）を活用した、コンクリート打設時における仕上げの高さ管理システムを開発した。本稿では、その開発と実証試験の結果について報告する。

2. システムの概要

(1) システムの構成

開発したシステムは、自動追尾 TS と測量用 360° プリズム、スマートグラス、タブレット PC および再追尾と高さ登録のための TS コントローラーで構成される（図-1）。ここで用いるスマートグラスとは、ディスプレイ機能を有した眼鏡型ウェアラブル端末である。

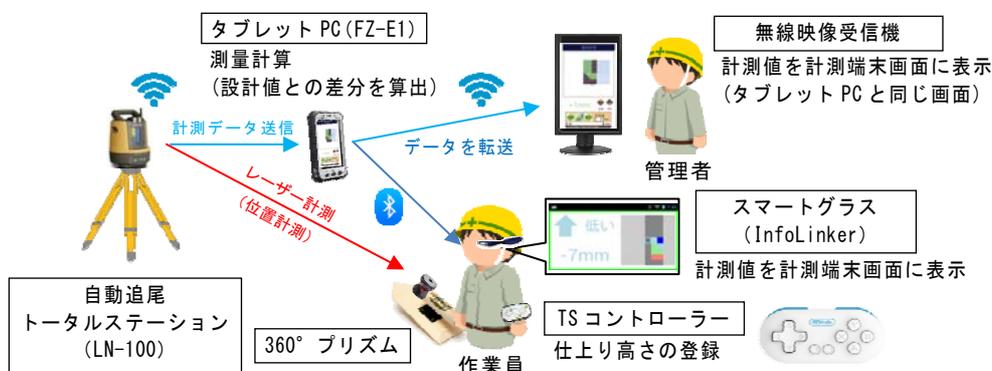


図-1 システムの構成図

キーワード コンクリート 仕上げ 品質向上 スマートグラス ICT

連絡先 〒160-0023 東京都新宿区西新宿6丁目16番6号 大日本土木(株) 土木本部土木技術部 TEL 03-5326-3939

本システムで使用するスマートグラスは以下の特徴がある。

- ・眼鏡およびヘルメットに装着可能である。
- ・視界の一部に計測値をリアルタイムに色と数字で映すため、仕上げの高さを確認しながら作業ができる。
- ・フレキシブルアームを採用しているため、モニター位置を自由自在に調節できる。

本システムを使用することで、従来の高さ目印を基準とした点による管理ではなく、コンクリート上面全体を管理することができる。

(2) システムの使用方法

使用手順を以下に示す。

- ①自動追尾 TS を打設に支障がなく、かつコンクリート上面が見渡せる場所に据え付ける（写真-1）。
- ②トンボとコテに測量用 360° プリズムを取り付け、キャリブレーションを実施する（写真-2～4）。
（トンボとコテのならす面から 360° プリズムまでのオフセット高さを調整する。）
- ③トンボとコテに取り付けた 360° プリズムを自動追尾 TS で追尾する（写真-5, 6）。
- ④設計値との差分を算出し、計測値を計測端末画面に表示する。
- ⑤計測値をリアルタイムに確認しながらならしおよび仕上げ作業を行う。



写真-1 自動追尾 TS 据え付け



写真-2 測量用 360° プリズム取り付け



写真-3 トンボのオフセット高さ計測状況

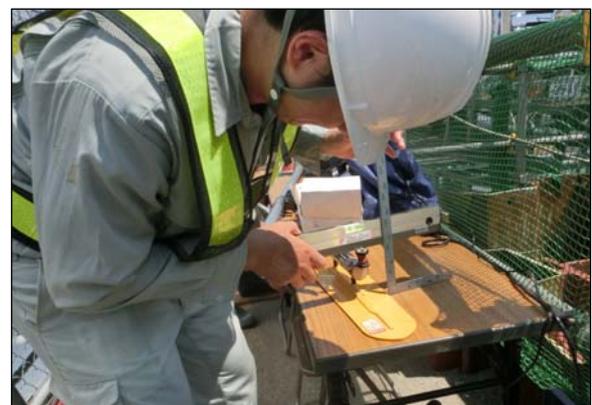


写真-4 コテのオフセット高さ計測状況

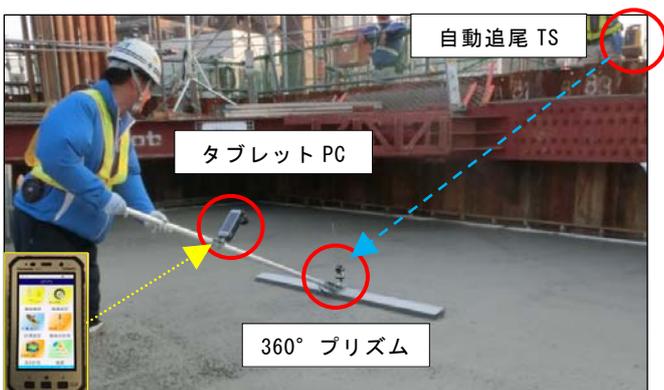


写真-5 トンボによるならし状況

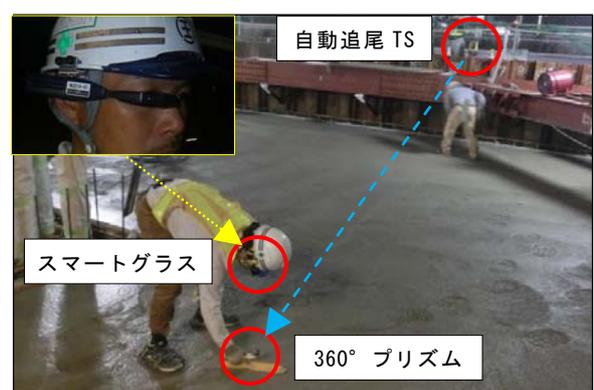


写真-6 コテによる仕上げ状況

3. システムの利用・活用方法

本システムは、コンクリート上面を三次元座標で計測および管理する。

計測に必要なデータの設定はタブレット PC のメニュー画面より行う (図-2)。

(1) システムの設定

本システムでは、設計図面に示された施工対象物 (構造物) の三次元座標値をもとに、計測管理の対象となるコンクリート上面 (たとえばフーチングの上面) を三次元平面として表現する。コンクリート上面の上に格子点 (以下、メッシュと称する) を設定して管理を行う。メッシュは、図-3 のメッシュ設定画面よりメッシュ幅および管理値を入力することで作成できる。以上の設定は、図-4 のようにまとめられる。

測定で使用する測量基準点および構造物座標は、それぞれの座標をまとめた CSV ファイルを、また設計図面は dxf ファイルをタブレット PC にインポートして設定する。

これらの設定は、タブレット PC の画面をタップして操作するため、だれでも簡単に設定できる。このため、現場での高さ目印設置作業をなくすことができ工期を短縮することができる。

(2) 勾配・曲面への適用

本システムは、コンクリート上面の任意の点の計測値を計測端末画面に表示する。このため、従来の施工方法では仕上がり精度の確保が難しい高さ目印の間も正確に仕上げることができる。さらに、管理するコンクリート面に勾配や曲面のあるコンクリート床版やコンクリート舗装などにも幅広く適用ができる。

(3) 計測端末画面

スマートグラスおよびタブレット PC に映し出される計測端末画面を、それぞれ図-5 および 図-6 に示す。「現在の施工箇所」について、設計値との差をミリ単位で表示し、その大きさに応じてメッシュ内部を着色する。数値だけでなく色も使って表示するため、直感的に仕上げることができる。

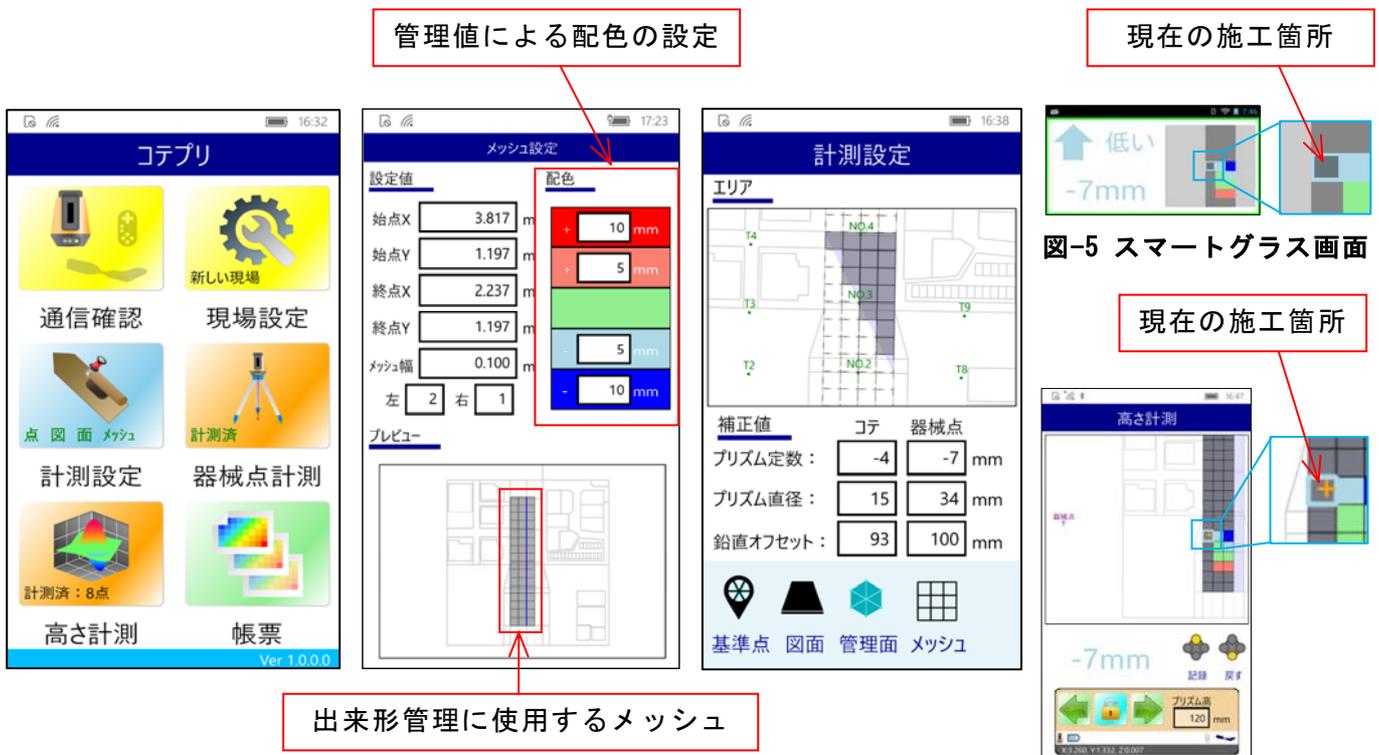


図-2 メニュー画面

図-3 メッシュ設定画面

図-4 計測設定画面

図-6 タブレット PC 画面

(4) 出来形管理

本システムでは設定したメッシュ幅に合わせて、出来形管理記録を作成する。仕上げ終えた箇所のメッシュは、タブレット PC または TS コントローラーの記録ボタンを押すことで、高さの出来形値として保存する。

このデータは、タブレット PC の帳票画面よりエクセルに出力することで出来形管理記録となる（図-7）。

出来形管理記録は、ヒートマップで表示するため、メッシュの色で設計値に対する差やコンクリート上面の起伏を把握することができる。

(5) 自動追尾 TS と 360° プリズムの再接続

自動追尾 TS は、トンボやコテに取り付けてある 360° プリズムに向けてレーザー照射することで、トンボやコテの動きを追尾しているが、計測中に 360° プリズムを見失うことがある。

本システムは、自動追尾 TS が 360° プリズムを見失った際に、手元のタブレット PC もしくは TS コントローラーより自動追尾 TS の向きを調整することができる。再追尾にかかる時間は数秒であるため、スムーズに計測を再開することができる。

(6) システムの通信

本システムの各機器間の通信はすべて無線で行われている。自動追尾 TS の有する Wi-Fi 機能によって計測中のデータをタブレット PC へと送り、タブレット PC の Bluetooth 機能によってスマートグラスに映し出している。他に無線映像受信機を準備しタブレット PC の Wi-Fi に接続することで、作業員以外の管理者もコンクリート仕上げ高さをリアルタイムに確認できる。

4. 性能確認試験

(1) 試験内容

従来施工と本システムにおける出来形を比較するために、当社施工の下部工の工事でフーチング上面（15m×16m）を以下の3通りで施工し比較した（図-8、写真-7）。

- ・ [①従来施工（トンボ+コテ）] は、事前に設置した高さ目印を基にトンボでならし作業を行い、仕上げ作業前に高さ目印を撤去し、コテによる仕上げ作業は目測で行う方法である。
- ・ [②本システムトンボ+従来施工コテ] は、高さ目印を設置せず、トンボによるならし作業は本システムで計測しながら行い、コテによる仕上げ作業は目測で行う方法である。
- ・ [③本システム（トンボ+コテ）] は、高さ目印を設置せず、本システムによる計測をトンボによるならし作業およびコテによる仕上げ作業の両方で行う方法である。

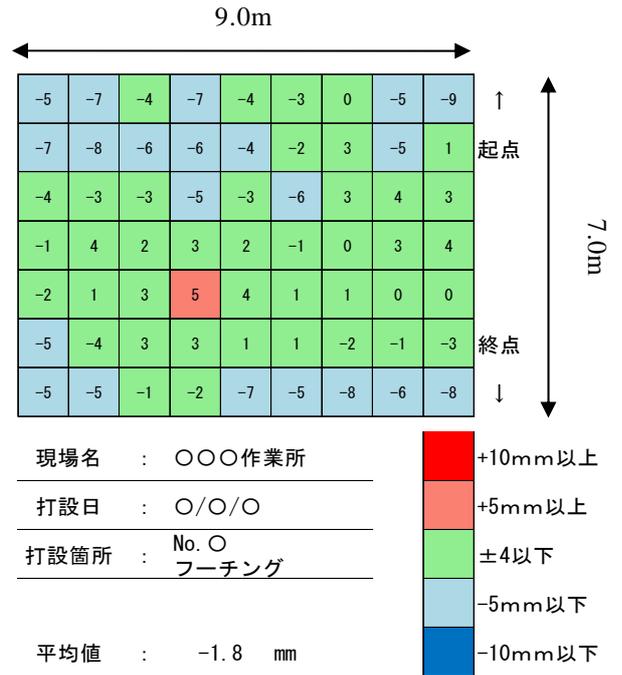


図-7 出来形管理記録

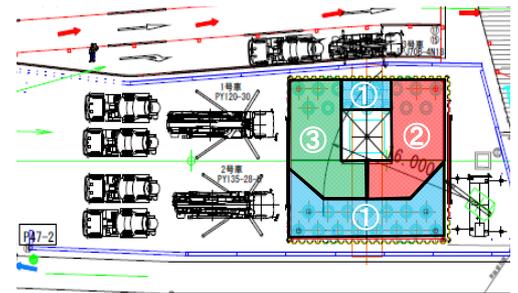


図-8 施工箇所平面図



写真-7 施工方法分割写真

(2) 結果

各施工方法による試験結果を表-1に示す。

- ・ [①従来施工 (トンボ+コテ)]は, 出来形の設計値との差が -7mm ~ +8mm
 - ・ [②本システムトンボ+従来施工コテ]は, 出来形の設計値との差が -6mm ~ +4mm
 - ・ [③本システム (トンボ+コテ)]は, 出来形の設計値との差が -4mm ~ +4mm
- という結果が得られた。

これより, 本システムを使うことで出来形の設計値との差が小さくなり, ばらつきが少なくなることがわかる (図-9) 。 [①従来施工 (トンボ+コテ)] と [③本システム (トンボ+コテ)] の結果を比較すると出来形の設計値との差および出来形のばらつき (標準偏差) がほぼ半分になっている。

本試験では経験 15 年の熟練工が上記の 3 通りの方法で仕上げ作業を行った。本試験によって, 熟練工による従来施工と本システムによる施工の施工精度の差を確認できた。未熟練工による施工では, より精度の差が顕著になると考えられる。

また, 従来 2 日かかっていたコンクリート仕上げの高さ目印を設置する作業は, 本システムによってなくすことができ, この作業に伴う労務費などを 40%程度縮減できた。

5. まとめ

従来施工では,

- ・ 高さ目印は打設時に傾くあるいは外れた場合は, 復旧する必要がある。
 - ・ 高さ目印の間のならし作業時および仕上げ作業時は, 目測により作業を行わなければならない。
- などの課題があった。

本システムを使用することで, 以下の効果が期待できる。

- ・ 取り扱いが容易であり, 高精度なコンクリートの仕上げが期待されるため, 品質向上に貢献することができる。
- ・ ウェアラブル端末と連携し, 色と数字で視覚的に表示するため直感的に判断できる。
- ・ 仕上げ面積の広いコンクリート構造物ほど省人化, 工事日数削減およびコスト縮減に貢献できる。

現在スマートガラスの連続稼働時間は 1~2 時間程度である。バッテリー交換に伴う作業の中断を無くすために, 充電システムの開発を今後進めていく予定である。

参考文献

- 1) 松井繁之: 移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について, コンクリート工学年次論文報告集 9-2, pp.627-632, 1987.
- 2) 村越潤, 田中良樹: 道路橋 RC 床版の劣化形態の多様化と防水対策, 土木施工, 2014.6, pp.68-71, 2014.

表-1 出来形比較表

項目	従来施工 (トンボ+コテ)	本システムトンボ +従来施工コテ	本システム (トンボ+コテ)
設計値との差	-7~+8mm	-6~+4mm	-4~+4mm
平均値	+0.7mm	-0.5mm	+0.2mm
出来形のばらつき (標準偏差)	2.05	1.15	1.02

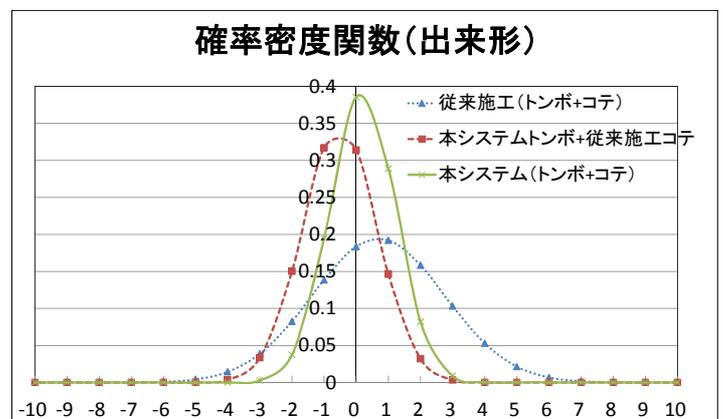


図-9 確率密度関数グラフ