

41 i-Construction 等

床版コンクリートの仕上げ作業における ICT 施工管理システムの開発

日本橋梁建設土木施工管理技士会

日立造船株式会社

鈴木 達也[○] 阿部 圭吾

1. はじめに

国土交通省中部地方整備局より発注された鋼コンクリート合成床版（以下、合成床版）を有する鋼5径間連続少数桁形式の鋼橋上部工事は、長野県松本市から福井県福井市を結ぶ中部縦貫自動車道のうち、岐阜県高山市の積雪寒冷地に施工される。合成床版は鉄筋コンクリート系床版と同じく、供用中における凍結防止剤等に起因する劣化が懸念されることから、合成床版の長期耐久性を確保する取り組みが必要であった。そこで、合成床版の長期耐久性を確保するために、床版コンクリート表面の仕上げ作業に着目したICT活用技術の開発を目的として、試験機および実橋での検証を実施した。

工事概要

- (1) 工事名：平成30年度中部縦貫新張高架橋鋼上部工事
- (2) 発注者：国土交通省中部地方整備局
高山国道事務所
- (3) 工事場所：岐阜県高山市丹生川町新張
- (4) 工期：平成30年10月27日～
令和02年03月25日
- (5) 工事内容：工場製作工（約580ton）、
鋼橋架設工、
合成床版工（約2,900m²）

2. 現場における問題点

合成床版は、鋼板パネルの架設、鉄筋組立、コンクリート打込み、養生等の一連の作業が現地で行われることから、施工の良否が合成床版の長期耐久性に影響する。積雪寒冷地では、床版表面の不陸に伴う防水層の初期欠陥等に起因する滞水によって、凍結防止剤を含む路面水が床版表層に浸しやすくなることから、コンクリートの土砂化等が懸念される。この床版表面の不陸は以下に示す仕上げ作業の特性等が影響すると考えられる。

(1) 作業者の技量による仕上げ作業

床版表面の仕上げは、作業者が手動式ないし機械式の仕上げ工具（例：機械式トロウエル）を使用して行われる。仕上げ作業の範囲や程度は作業者の目視や経験によって判断されるため、仕上げ作業後の出来形や性状バラツキが生じやすい。これにより、床版表面に不陸が生じてしまい、床版表面と防水層との密着性が低下することで、浸水や滞水による床版の耐久性低下が懸念される。

(2) 仕上げ作業の管理手法

コンクリート打込み時には、内部振動機の挿入間隔および挿入時間の管理が必要であり、コンクリートの充填度をリアルタイムに管理する手法が開発され、実用化に至っている。しかし、床版表面と防水層との密着性や床版の緻密性に影響する仕上げ作業の管理は熟練技術者の目視や経験による定性的な手法に留まっており、全ての床版表面

に対して必要な仕上げ作業が適切に履行されたことを立証することは難しい状況である。

以上(1)、(2)で述べた仕上げ作業の特性に起因する床版の劣化を防ぐためには、仕上げ作業時に不陸を抑えて床版表面と防水層との密着性を確保すること、仕上げ未了範囲を残さずに全ての床版表面において緻密性を確保することが可能となる定量的な仕上げ管理手法を確立することが有効であると考えられる。

3. 工夫・改善点と適用結果

(1) 仕上げ作業におけるICT管理手法の開発

熟練技術者の目視や経験に基づいた定性的な管理手法からICTを用いた定量的な管理手法に改善し、全ての床版表面に対する適切な仕上げ作業の履行を立証可能にすること、床版表面と防水層との密着性や床版の緻密性に影響を与える仕上げ作業の確実性を高めることを目的に、既に土木工事等で活用されている転圧管理システムを床版表面の仕上げ作業の特性に配慮して改良した仕上げ作業におけるICT管理手法として「トロウエル等の施工エリア管理システム」を開発した。

① トロウエル等の施工エリア管理システム概要

図-1に本システムの概要を示す。本システムは、床版表面の仕上げ作業に用いられる機械式トロウエル等による仕上げ作業の施工範囲を自動追尾式トータルステーション（以下、ATS）によって管理可能にしたICT施工管理システムである。このシステムは、機械式トロウエルに設置した全方位プリズムをATSにて自動追尾することで、仕上げ作業中の機械式トロウエルの位置情報を取

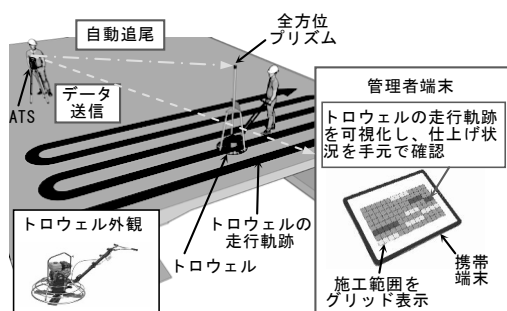


図-1 施工エリア管理システムの概要

得し、位置情報が管理者端末に送信されることで監理技術者等の管理者の手元で仕上げ程度を確認できるものであり、仕上げ作業に関する施工管理を作業者の目視等による管理からATSによる自動追尾軌跡管理に変えたシステムである。

② 仕上げ作業の見える化による管理

管理者が管理者端末にて仕上げ作業を定量的に管理できるだけでなく、作業者が仕上げ状況を確認しながら作業できるようにすることを目的として、機械式トロウエルに管理者端末と同じ機能を有するタブレット等の作業端末を搭載した。これら管理者および作業端末に施工範囲をグリッド分割した管理画面を表示し、仕上げ済みエリアのグリッドが着色されることで仕上げ状況を確認できる。これにより、仕上げ状況を視認でき、作業者が手元で仕上げ範囲や仕上げ回数を確認できるようにした。管理者は、ATSを用いた自動追尾軌跡管理による仕上げ作業の見える化によって、作業者が施工した仕上げ状況を管理者端末で確認できるため、仕上げ未了範囲をリアルタイムに特定して作業への速やかな再仕上げ指示が可能となる。また、仕上げ作業の施工管理記録として発注者へ提出できるように、仕上げ範囲や仕上げ回数に関する管理データの保存・印刷も可能にした。これらの機能により、仕上げ作業の確実性および効率性の改善が期待される。

(2) 試験機による施工エリア管理システムの検証

実橋での仕上げ管理に先立ち、本システムによる仕上げ管理の機能および有効性を検証することとした。図-2に本検証の実施状況を示す。本検証では、試験機を実橋と同様の方法で操作し、

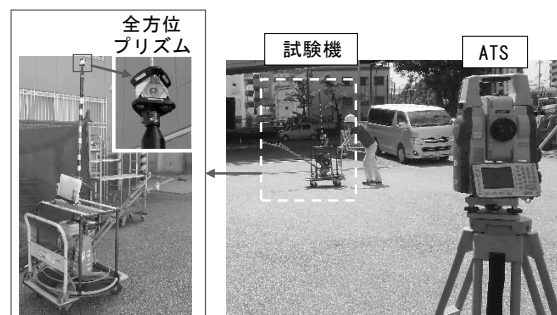


図-2 試験機を用いたシステムの検証状況

ATSの自動追尾性能および軌跡管理性能について以下の通り確認することとした。

- 1) ATSの自動追尾可能距離、ATSと全方位プリズムとの間を作業員や車両が横断した場合の再追尾機能を確認する。
- 2) 仕上げ作業中における機械式トロウエルの振動に対するATSの自動追尾性能を確認する。
- 3) 管理者および作業員端末にて、リアルタイムに機械式トロウエルの走行軌跡を可視化できることを確認する。

検証の結果、本システムの機能で仕上げ作業の管理が可能であること、仕上げ作業の管理手法として有効であることを確認した。検証結果を以下にまとめる。

- 1) ATSは距離200m程度まで自動追尾可能であること、ATSと全方位プリズムとの間を作業員や車両が横断しても、一時的な横断であれば再追尾できることを確認した。また、視線が遮られた場合には管理者端末から警報音が発せられるため、即座に再追尾処置ができることを確認した。
- 2) 実橋での仕上げ作業を想定して試験機に振動を与えたところ、ATSは全方位プリズムへの自動追尾を保持して機械式トロウエルの走行軌跡を計測できることを確認した。
- 3) ATSの自動追尾データが管理者および作業員端末に送信されることで、リアルタイムに仕上げ作業の走行軌跡を可視化できることを確認した。

本システムが仕上げ作業の管理手法として有効であることを確認できたことから、実橋における床版の仕上げ作業にて本システムの有効性を検証することとした。

(3) 実橋における施工エリア管理システムの検証
 実橋における合成床版（検証範囲の勾配：縦断2.67%、横断2.5%）の仕上げ作業において、本システムによる仕上げ管理の有効性を検証することとした。本検証では、図-3のように、実橋での床版表面の仕上げ作業に本システムを導入して仕

上げ作業を実施し、仕上げ範囲と仕上げ回数
 の管理および仕上げ状況の記録と出力機能を以下の通り確認することとした。

- 1) 実橋での仕上げ作業において、仕上げ範囲と仕上げ回数の管理が可能であることを確認する。
- 2) 機械式トロウエルの走行軌跡データから仕上げ回数を色分け図で記録し、これらの管理データが出力できることを確認する。

検証の結果、試験機による検証と同様に実橋での仕上げ作業においても本システムの有効性を確認できた。検証結果を以下にまとめる。

- 1) 実橋においてもATSで機械式トロウエルの走行軌跡を自動追尾でき、この走行軌跡データに基づいて仕上げ範囲や仕上げ回数の管理が可能であることを確認した。
- 2) 機械式トロウエルの走行軌跡データから仕上げ回数の色分け図（図-4）を記録でき、管理データとして出力できることを確認した。本システムにより、ATSが自動追尾した機械

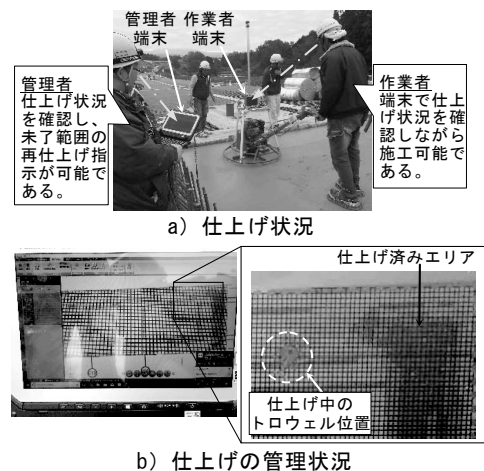


図-3 実橋での床版仕上げにおける本システムの検証状況

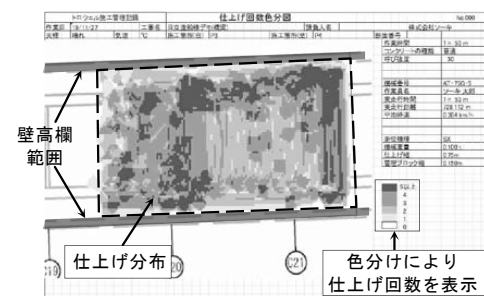


図-4 仕上げ回数の色分け図（提出用）

式トロウエルの走行軌跡データに基づいて仕上げ作業を可視化することで、仕上げ範囲と仕上げ回数の管理に活用できること、仕上げ管理による作業の効率化が図れることを確認した。また、仕上げ状況の可視化機能として仕上げ範囲と仕上げ回数を色分け表示したことで、仕上げ状況を定量的に把握でき、床版の全ての範囲を所定の仕上げ回数以上で仕上げることができた。色分け図は管理者端末に機械式トロウエルの仕上げ可能範囲（≡トロウエルの外径）を入力しておき、ATSで自動追尾した仕上げ作業の走行軌跡データに仕上げ可能範囲の情報を組み込むことで作成される。一回目の仕上げ範囲に二回目の仕上げ範囲が重なる場合に、重なった範囲が別の色で表示される仕様とすることで仕上げ回数の管理を可能とした。

(4) 今後の改善点と展望

著者らが開発した「トロウエル等の施工エリア管理システム」は、機械式トロウエルを操作する作業者と仕上げ範囲と仕上げ回数を管理する監理技術者等の管理者との協同作業を想定している。機械式トロウエルは作業者の手押しによって仕上げ作業を進捗させることができるが、仕上げ作業の省人化・省力化を目的に作業者が騎乗するタイプのトロウエル（以下、騎乗式トロウエル）が開発されて実用化に至っている。騎乗式トロウエルは、手押しタイプの機械式トロウエルに比べ重量が大きく、仕上げ作業時の重し効果によってコンクリート表層部の緻密性が改善されるメリットがある。そこで、騎乗式トロウエルと今回開発した「トロウエル等の施工エリア管理システム」を組み合わせた新システムを構想している。（図-5）このシステムを用いることで、騎乗式トロウエル

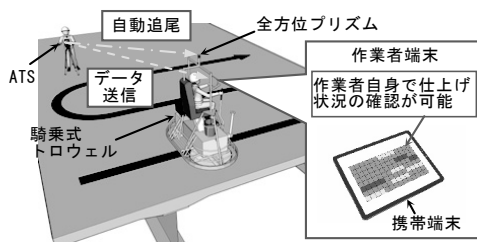


図-5 騎乗式トロウエルによる施工エリア管理システムのイメージ

を操作する作業者が仕上げ範囲を自ら管理しながら仕上げ未了範囲を特定して再仕上げ作業を速やかに実施できるといったメリットが期待される。また、タブレット等の携帯端末に騎乗式トロウエルを操作できるリモコン機能を搭載することで、携帯端末で仕上げ状況を管理しながら騎乗式トロウエルを遠隔操作するといった省人化・省力化の可能性も期待される。さらに、ターゲットをID管理できるATS（ID登録したターゲットのみを追尾し続ける機能を有するATS）を用いることにより、複数台のトロウエルによる仕上げ作業を同時に管理することが可能となり、仕上げ作業の効率化が期待される。

近年、床版仕上げ用自動ロボットが開発されており、ロボットに仕上げ範囲や作業ルートを記憶させることで自動運転による仕上げ作業が可能となるため、本システムを併用することで、さらなる省人化・省力化が期待される。

4. おわりに

本論文で紹介した技術は、既に土木工事等で活用されている転圧管理システムを応用した技術であり、床版の仕上げ作業の特性に配慮して改良を加えた。本技術がコンクリート系床版を有する建設工事で広く活用されるように、新技術情報システム「NETIS」に登録した〔登録名：床版仕上げ「TR-Navi（トロウエル等の施工エリア管理システム）」、登録番号：QS-200015-A、登録年月日：2020年8月7日〕。

橋梁の長期耐久性を確保するためには、供用中における疲労損傷や土砂化等による劣化が生じやすい床版コンクリートの耐久性を確保するための取り組みが必要とされている。本ICT施工管理システムが今後のICT施工のさらなる発展と橋梁の長期耐久性の確保に寄与することができれば幸いである。最後に、本ICT施工管理システムの開発をご支援して頂いた（株）ソーキの皆様、ご協力頂いた工事関係者の皆様に、この場をお借りして厚くお礼を申し上げます。