

舗装修繕工事における ICT の更なる活用促進に向けた取り組み

i-Construction2.0 の実現に向けた切削オーバーレイ工の一元管理

日本道路（株）	東京支店	栗本	愛
〃	技術部	長谷	啓司
〃	関西支店	池田	茜

1. はじめに

近年、少子高齢化が急速に進んでおり、建設業でも担い手不足が懸念される。加えて、労働基準法の改正により時間外労働の上限規制が適用されるなど、より一層の生産性向上が求められている。

国土交通省でも働き方改革を進めるため、2016 年から建設 DX の推進に取り組み、ICT 活用の基準化がされてきた。2020 年からは ICT 舗装工の修繕工で施工履歴データを用いた出来形管理が適用され「3 次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）」¹にその手法が示されている。これにより舗装修繕工事においても ICT の活用が広くできるようになり、インフラメンテナンスとしても新技術の導入促進につながっている。2024 年には、この取り組みを加速し、更なる省人化・生産性の向上を目指し、i-Construction2.0²が策定された。

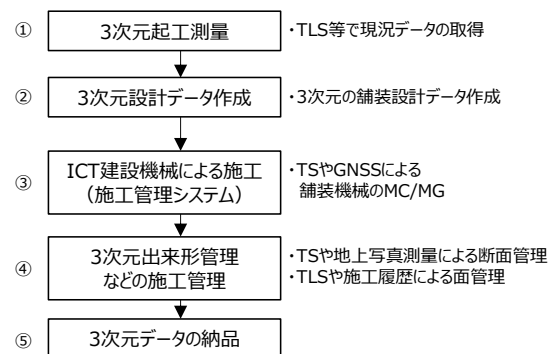
本報文は、舗装修繕工事において i-Construction2.0 の実現に向けて、切削オーバーレイ工を対象に、切削工から舗装工までの工事全体を一元管理することで、省人化・生産性の向上を図る取り組みについて報告する。

2. 舗装維持修繕工事における ICT 活用と課題

2-1 ICT 活用の概要

舗装修繕工事における ICT 活用は、図－1 に示す以下の 5 項目のフローとなる。

舗装修繕工事で③を履行する際は、トータルステーション（以下、TS）や GNSS（「Global Navigation Satellite



図－1 舗装修繕工における ICT 活用フロー

System」の略称) による路面切削機（以下、切削機）でのマシンコントロール（以下、MC）やマシンガイダンス（以下、MG）の方式がある。また④においては管理方法を断面管理または面管理かどちらかの選択でき、3 次元計測機などを用いて計測を行う。

2-2 切削オーバーレイ工の ICT 活用

舗装修繕工事では切削オーバーレイ工の切削工で ICT 活用が多い。上記③の施工管理システムでは、切削機の MC や MG により、切削深さの路面へのマーキングの省略やオペレータの操作をサポートする等、省力化や安定した施工の品質確保の効果がある。

活用の当初は、以前から実施していた情報化施工の流れから TS を使った切削機で MC を行い、3 次元出来形管理は TS や地上型レーザースキャナ（以下、TLS）を用

いた計測が一般的となっていた。現在は、道路規制の時間制約や障害物の多い現道においては、TSの施工やTLSを用いた出来形管理は難しい。GNSSを用いた測位方式によるICT施工機械が開発され、切削機の自己位置と切削機による施工履歴がリアルタイムに取得される出来形管理の実施が可能となった。

2-3 切削オーバーレイ工におけるICT活用の課題

前述のとおり、現在の切削オーバーレイ工ではICTの活用は切削工のみである。舗装工でICT施工するには事前に下層の現況データを取得し、3次元設計データを作成する必要があるが、規制の時間制約がある中、ICT施工の準備時間が限られている。そのため、舗装工は従来通りの施工となっていて効果の少ない取組みとなっている。そのため、現状では切削機によるリアルタイムに取得した施工履歴を舗装工には活かされていない。

3. 検討内容

本検討では、切削オーバーレイ工におけるi-Construction2.0で提唱している「データ連携のオートメーション化」の実現のため、切削工から舗装工までの全体でICT施工と3次元出来形管理の実施を目指した。具体的には、切削工で取得した出来形データを舗装工に連携させ、舗装工の3次元設計データとして活用し、アスファルトフィニッシャー（以下、AF）によるICT施工と施工履歴取得に取り組んだ。図-2に示すように切削工の施工履歴を用いて、正確な厚さを用いて舗装工を管理するシステム（以下、本システム）を構築し、現場での適用性について検証した。

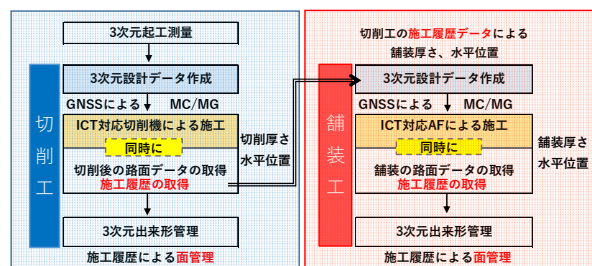


図-2 切削オーバーレイ工における出来形データ連携例

4. 切削工の施工履歴による3次元出来形管理

本システムにおける切削工はGNSS測位方式を用いて切削機でMCによるICT施工を行った。3次元設計データから切削位置と切削厚さの指示を行い、切削機をコントロールするシステムである。

4-1 切削工におけるデータ取得方法

GNSS切削機の外観を写真-1に示す。水平方向は切削機に取り付けたGNSS受信機から得られた位置情報を用いた。鉛直方向の情報として切削厚さは、レーザー距離計を用いて取得した。切削厚さデータ取得の概略図を図-3に示す。レーザー距離計は切削ドラム本体に、レーザー距離計のターゲットをサイドカバーに取り付けた。切削ドラムは切削面に位置し、サイドカバーは既設舗装上面に位置することから、両者の差分が切削厚さとなる。

施工履歴データは記録点数不足とならないように、縦断方向に0.5m、横断方向はドラム幅員を5分割して記録した。横断方向の算出例を図-4に示す。切削ドラムの両側に取り付けたレーザー距離計で切削厚さを算出し、

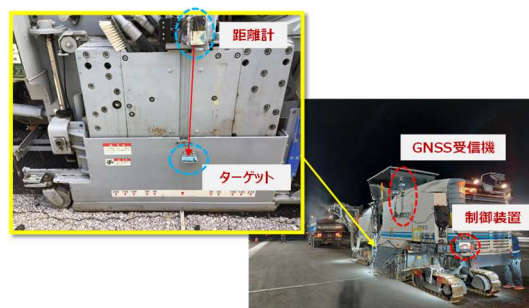


写真-1 GNSS切削機

(左上：レーザー距離計とターゲット、右下：切削機の外観)

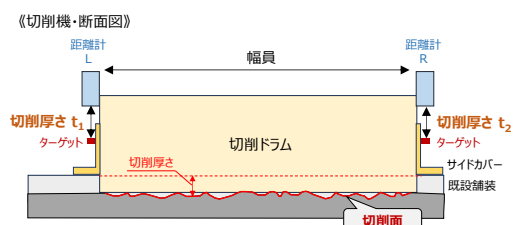


図-3 切削厚さデータ取得の概略図

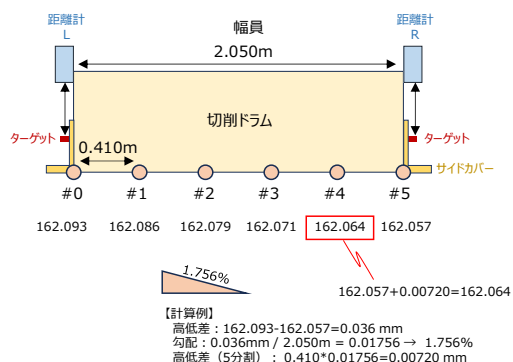


図-4 切削の施工履歴データの算出例

両側の切削厚さから算出する高低差と勾配を用いて、横断方向の切削厚さを算出した。GNSS による測位は、鉛直方向の管理には使用せず、切削機の自己位置の計測のみとした。

4-2 切削工の 3 次元出来形管理の成果

施工履歴データの表示例を写真-2 に示す。施工履歴データは縦断方向 0.5 m 間隔で出力される。切削厚さがリアルタイムでタブレット端末に表示されるため、切削機オペレータと施工管理者が同時に切削厚を確認することが可能である。本システムでは、この計測機器を利用して計測した切削厚さを記録することで施工履歴出来形管理が可能となった。施工履歴データは切削厚さを加味した座標として CSV ファイルで出力されるため、3 次元点群データ処理ソフトにインポートし、設計データとの精査を簡易に行うことができる。出来形評価ヒートマップを写真-3 に示す。

得られた施工履歴データは、施工に関係のないデータを除く作業（以下、ノイズ処理）を行う。通常、ノイズ処理には 1,000 m² 当たり約 3 時間を要しているが、切削工が終了してから舗装工が始まるまでの約 30 分程度で実施する必要がある。そこで、切削工の施工履歴データから不要なデータを自動的に削除するアルゴリズムを開発し、本システムに入力した。その結果、1,000 m² 当たり

約 5 分でノイズ処理を行うことを可能とした。本システムを用いて、ノイズ処理したデータ画像の一例を写真-4 に示す。本システムを用いることで、点群取得生データの紫色で示されたノイズを本システムで容易に除去することが可能であり、切削工の施工履歴データを舗装工の ICT 施工で活用できることが示唆された。

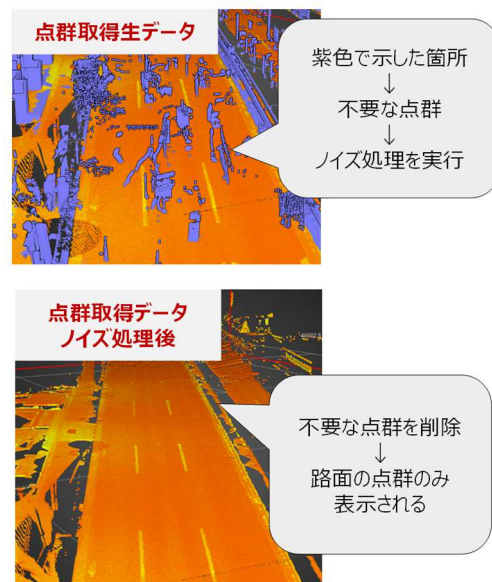


写真-4 ノイズ処理前後の 3 次元計測データ例

5. 舗装工の施工履歴による 3 次元出来形管理

本システムにおける舗装工は GNSS 測位方式を用いて AF で MC による ICT 施工を行った。概略図を図-5 に示す。切削工と同様に、高さ制御方式であるため、舗設する下面の 3 次元現況データが必要である。通常は切削

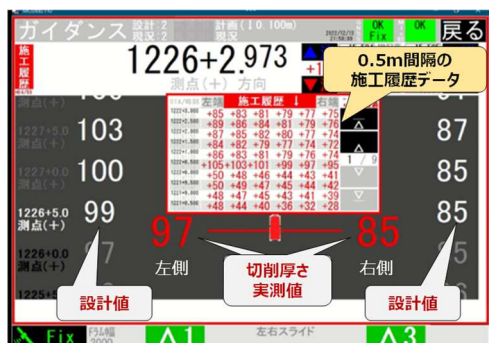


写真-2 施行中の施工履歴データの表示例

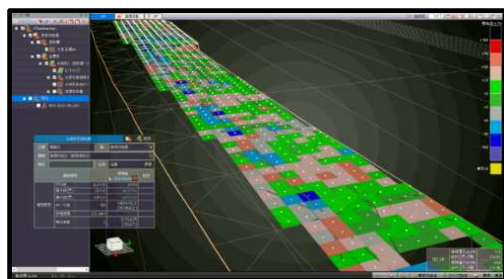


写真-3 施工履歴データの出来形評価ヒートマップ例

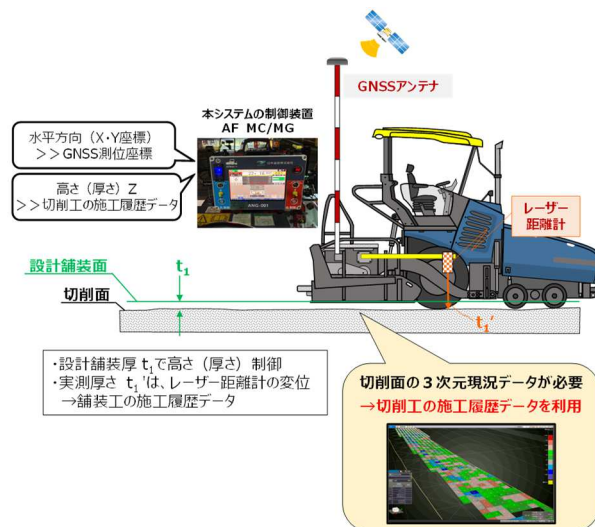


図-5 GNSS-AF の概略図

後に TLS を用いて測量を行うため、規制時間に限りがある中では難しい。本システムでは、切削工の施工履歴データを 3 次元現況データとして活用することで、TLS による現況測量は不要である。

5-1 舗装工におけるデータ取得方法

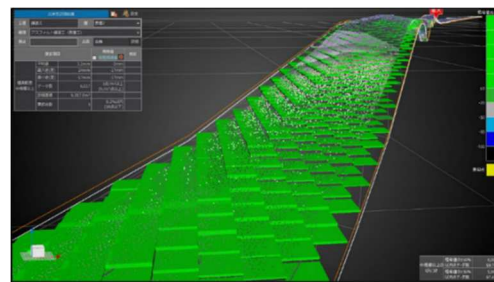
GNSS-AF の概略図を写真－5 に示す。測定手法は切削工と同様の手法とした。レーザー距離計を AF の左右スクリーン端部へ設置し、既設舗装面との変位差が舗装厚さとなる。施工履歴データは縦断方向 0.5 m 間隔で出力される。横断方向は最大幅員施工時に記録点数不足とならないよう、横断方向を 8 分割して記録するようにした。



写真－5 GNSS AF の外観

5-2 舗装工の 3 次元出来形管理の成果

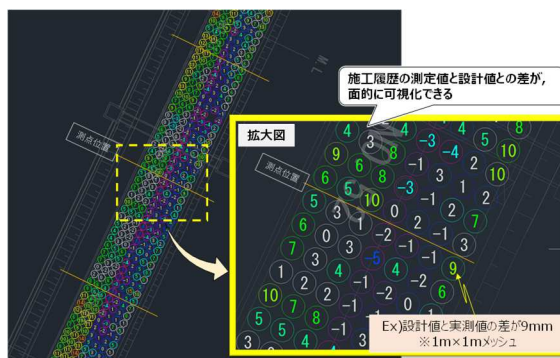
切削工と同様に舗装厚さを記録した施工履歴データの出来形評価ヒートマップを写真－6 に示す。緑色の箇所が横断方向と縦断方向に広がっており、設計値と施工履歴データの差異が規格値に収まっていることが面的に可視化できる。精度の高い仕上りが要求される舗装工において、従来の断面管理は部分的な管理しかできなかったが、面管理では全体的な管理ができ、品質が保証された。



写真－6 舗装工のヒートマップの例

容易に両者を比較することはできない。その理由は、断面管理の場合、設計値との差異の値を示すが、面管理の場合は 1 m 間隔に設計値との差異を評価し、色の濃淡で可視化できるヒートマップを提示するにとどまるためである。

そこで、面管理の場合も設計値との差異の値を表記し、簡易に比較検討できる複合評価マップ（写真－7）を作成した。これは面的に可視化できるヒートマップに、施工履歴データと設計値との差異の値を示した図である。設計値との差異が小さい箇所は薄い色味で示され、大きい箇所は濃い色味で表記される。複合評価マップは、ヒートマップでは把握が難しい設計値との差異の値を視覚化し、かつカラースケールで面的に正確かつ迅速に精度確認が可能となった。



写真－7 複合評価マップの例

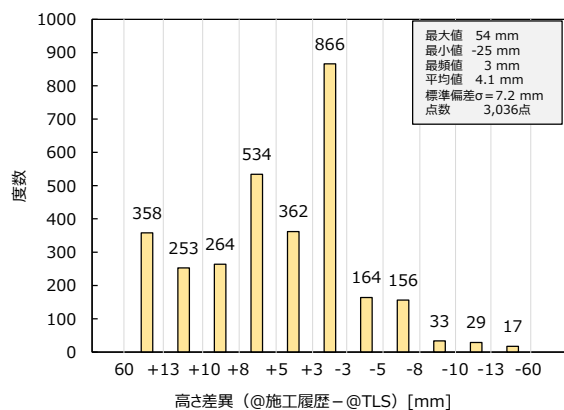
6. 各工種の施工履歴データの精度について

6-1 切削工の施工履歴データの精度確認

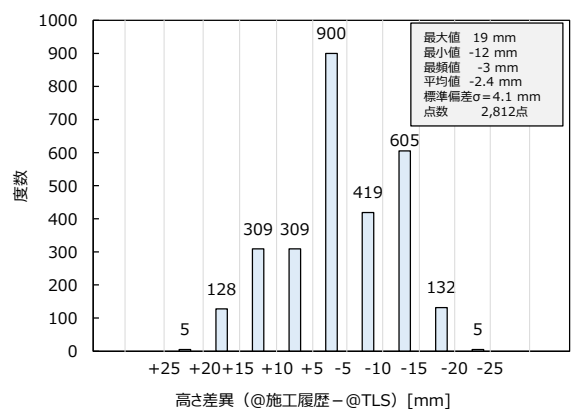
切削工の施工履歴データの精度検証は、従来手法である下がり検測の出来形管理値と比較した。その結果、出来形管理値と大きな差異はなく、精度に問題はなかった。ただし、施工履歴データと下がり検測の出来形管理値は、出来形管理評価が面管理と断面管理で異なっているため、

6-2 舗装工の施工履歴データの精度確認

舗装工はより緻密な管理が要求されるため、精度比較は TLS 測定による出来形実測値と比較した。出来形管理の評価が同じ面管理であり、それぞれの 3 次元実測値データを道路線形形状に沿って 1 m メッシュで抽出して比較した。図－6 に比較結果を示す。施工履歴データと TLS 高さデータの差異は、平均 4.0 mm であり出来形管理基準はクリアしていた。しかし、最大値は 54 mm、最小値は -25 mm とばらつきが大きい結果であった。



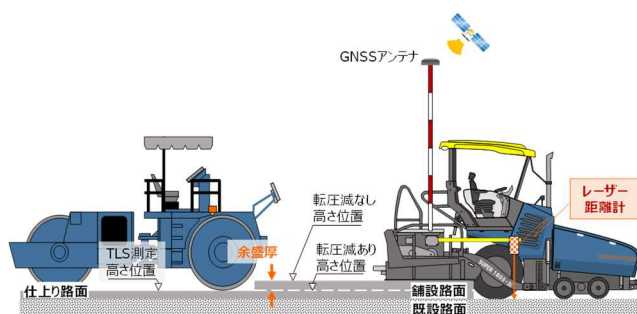
図ー6 施工履歴と TLS の高さ比較結果（転圧減なし）



図ー8 施工履歴と TLS の高さ比較結果（転圧減あり）

6-3 データの精度改善

舗装工の施工履歴データと TLS の高さデータとの差異が大きい要因として、図ー7に示すように転圧減の有無によるとものと推察した。舗装厚さの違いによる精度確認を行った結果、切削面が低く、設計の舗装厚より厚い位置において施工履歴データと TLS 高さデータの差異が大きい傾向が得られた。これより、転圧減を考慮した3次元現況データを本システムに反映させ、施工履歴データを取得するよう試みた。転圧減の値は、初期転圧箇所と未転圧箇所の境に発生する段差をノギスで計測した数値を用い、システムに入力した。転圧減を反映した場合の施工履歴データと TLS の高さの比較結果を、図ー8に示す。施工履歴データと TLS 高さデータの差異は2.4 mmであり、転圧減を加味しない場合に比べて、約50%低減した。転圧減を考慮することによって、多少のばらつきは有するものの、標準偏差も小さく、施工履歴データの高さの精度の向上が図られた。



図ー7 舗装厚さによる転圧減の概念図

7. 本技術で得られた効果

本検討で得られた効果は以下のとおりである。

7-1 省人化・省力化に対する効果

i-construction2.0での主な目的である省人化・省力化の効果を下に記す。

- ・ 施工履歴を切削、舗装の全断面で実施できるため、出来形管理全体が省力化・効率化
- ・ 切削～清掃後直ぐに、乳剤散布等の次工程に進むことができるため、1日の施工延長の増大
- ・ 出来形管理に切削工の施工履歴を用いることで、舗装工全体で省力化と、現場監督職員のマーキングや出来形測定などの計測手間の大幅な削減

次に、切削オーバーレイ工で一般的な1日、1,000 m²当たりの施工時間の効果について検証を行った。検証結果を表ー1に示す。本検討のICT施工方法はICT活用なしの従来方法と比較して約25%の削減となった。従来のICT施工と比較した場合においても、約8%の削減となり、省力化が図られた。また、省人化について、従来手法と比較すると、切削前に切削厚さをマーキングする手間や、切削後に巻尺や箱尺と水糸を用いて複数人で出来形計測を行う手間が省けることから、出来形管理要員の削減が可能となる。

表ー1 切削オーバーレイ工の施工時間削減効果

		1,000m ² あたり (単位: h)							削減率 (%)
ICT施工	切削工と舗装工の施工履歴データ連携	交通規制	準備	路面切削 清掃	出来形 (切削)	乳剤散布	舗装	出来形 (舗装)	
有り	有り (本検討のICT施工)	1.0	0.0	1.5	0.0	0.5	1.5	0.0	4.5 25.0
	無し (従来のICT施工)	1.0	0.0	1.5	0.0	0.5	1.5	0.5	5.0 16.7
無し	無し (従来工法)	1.0	0.5	1.5	0.5	0.5	1.5	0.5	6.0 -

7-2 品質の向上

切削工の施工履歴データをリアルタイムで舗装工に活用できるため、出来形の精度が向上する。また、従来手法は舗装後にしか出来形計測ができないため、舗装の品質はAFのオペレータの技量に依存していたが、リアルタイムに出来形を確認することが可能となった。

平たん性の結果は、従来方法と同程度の結果であるが、精度の確認で用いた複合評価マップは、これまでのヒートマップでは色による判別しかできなかったが、厚さの数値を付与したことで、舗装施工時の厚さの管理を視覚的な判断に加えて、数値で判断ができるようになった。数値で示されることから、舗装時の型枠の高さの細かい調整ができ、品質の向上につながると考えられる。

7-3 その他の効果

(1) ICT 施工の適用範囲の拡大

橋梁部の舗装工のICT施工において、TS方式では、基準となる切削面の高さが橋の振動で変動するため、活用が困難であった。本システムは、切削面に対して厚さ制御方式での管理であるため、橋梁部の切削オーバーレイ工事で活用できた。施工事例を写真-8に示す。基面が振動する橋梁においてもICT施工が可能となった。



写真-8 橋面舗装での切削オーバーレイ工の事例

(2) 安全性

切削工での出来形測定は、切削後終了箇所からの時間差で行う。切削後の路面は、路面清掃車が前後に行きかう状況にあり、出来形測定と近接の作業となる。本システムを用いることで、切削後の出来形測定が不要になることから、路面清掃車と出来形測定者の接触による事故の恐れがなく、安全性の向上につながる。

8. まとめ

本検討では、切削工と舗装工の出来形管理をICT機器を用いて、一元的に実施できるように検討を行った。得られた成果を以下に記す。

《データ処理》

- ・切削工で得られた3次元計測データは、ノイズ処理専用ソフトにより、簡易に短時間で処理することが可能となった。
- ・舗装工で得られた3次元計測データは、舗装の厚さを補正することで実用レベルの精度になることが確認できた。

《一元管理》

- ・切削で計測した施工履歴データを、3次元データ化することで、舗装工でも施工履歴出来形管理が可能となった
- ・切削工と舗装工を面的に一元管理することで、省人化・省力化が図られた。

以上のことから、切削オーバーレイ工において、切削工で取得したデータを活用して舗装工を施工する「データ連携のオートメーション化」を試み、施工履歴出来形管理として十分活用できるレベルであることが実証できた。

9. おわりに

舗装の施工履歴に関しては、舗装の厚さによる転圧減を考慮することで、実用レベルの精度が確認できたが、アスファルト混合物の種類の違い、施工条件等、影響する要因があることから、更なるデータの蓄積により、精度の向上と、システムの標準化を目指している。

また、本検討と並行して、AF自動操舵・拡幅システムの開発運用も開始しており、「施工のオートメーション化」にも取り組んでいる。この実現には、「舗装した舗装高さが正しいか」、「修正が必要か」などを、機械自体が自動判断する必要があり、より正確な出来形の管理をAFで実施する必要がある。

i-construction2.0の実現に向けて、引き続き検証を進め、更なる省力化、生産性の実現に向けて、取り組む所存である。

【参考文献】

- 1) 国土交通省：3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)、令和6年3月。
- 2) 国土交通省：i-Construction 2.0 ～建設現場のオートメーション化～、令和6年4月。