

データ利活用型 ICT 土工管理システムの開発

転圧施工履歴データを活用した土量算出に関する研究

DEVELOPMENT OF EARTHWORKS MANAGEMENT SYSTEM FOR ACQUIRING AND UTILIZING ICT DATA

Research of soil volume calculation using compaction construction history data

本木章平*¹, 近藤信輝*², 羽田正沖*³, 坂崎信夫*⁴
Shohei MOTOKI, Nobuteru KONDOU and Masaoki HANEDA and Nobuo SAKAZAKI

In recent years, the use of ICT has been promoted for efficient process control and quality control of earthworks. However, it takes a lot of time to process data because it is necessary to handle a huge amount of data of various types and requires specialization. Toda Corporation, Nishimatsu Construction and Okumura Corporation have jointly developed the "Earthworks Management System for Acquiring and Utilizing ICT DATA" which consists of (1) a data sharing platform, (2) a soil volume calculation method based on compaction construction history data, and (3) a sediment traceability management system.

This paper reports an overview of the system and the results of research of a soil volume calculation method based on compaction history data. Compared to conventional ground-based laser scanner survey, this soil volume calculation method reduces the time required to calculate soil volumes by more than 90%, and is able to calculate the soil volumes with an accuracy within 10%.

Keywords : ICT Earthwork, Compaction Management System, Construction History Data, Soil Volume Calculation, Data Utilization
ICT 土工, 締固め管理システム, 施工履歴データ, 土量算出, データ利活用

1. はじめに

国土交通省が推進する i-Construction の施策により、建設現場における ICT (Information and Communication Technology) の全面的な活用による建設生産システム全体の生産性向上に向けた取り組みが推進されている。土工事においては、ドローン等による空中写真測量等により、短時間で面的 (高密度) な 3 次元測量が可能となり、そのデータと BIM/CIM を用いて合理的な施工計画が可能となっている。また ICT 建設機械による施工では、丁張レスによる施工効率の向上や施工品質の向上が図られている。監督・検査においても検査日数の短縮や検査書類の削減など、ICT 活用による一定の導入効果が得られている¹⁾。

一方で、ICT を活用した土工事 (ICT 土工) では多種の膨大なデータを扱うため、データ処理に多くの時間を要することが負担となっており、またデータ処理には専門の知識や技術が必要とされる。また、近年の土工事は大規模かつ多種類の現地発生土を扱う工事が増え、工程管理のための土量管理や品質確保のための材料管理が重要となっている。さらに、国土交通省では「施工履歴データによる土工の出来高算出要領 (案)²⁾」では、ICT 建設機械から得られる施工履歴データを有効活用した出来高管理の効率化が期待されている。加えて、これらの ICT 土工データの利活用を促進するためのデータ共有・管理基盤の構築が求められている。

そこで、戸田建設 (株)、西松建設 (株)、(株) 奥村組の 3 社は共同で「データ利活用型 ICT 土工管理システム (以下、「本システム」という) を開発した。

本システムを開発した目的は、ICT 土工データをプラットフォーム上で一元的に管理しデータの利活用を図ることで、①管理業務の

省力化・効率化、②ICT 建設機械の施工履歴データ活用による土量の進捗管理、③盛土材料のトレーサビリティ強化である。

本稿では、まず本システムの概要を示し、転圧施工履歴データ (本稿では、締固め管理システムにより得られる施工履歴データを「転圧施工履歴データ」という) による土量算出に関する研究成果について報告する。

2. 本システムの概要

本システムは、①データ共有プラットフォーム³⁾、②転圧施工履歴データによる土量算出⁴⁾、③土砂トレーサビリティ管理システム⁵⁾の 3 つのシステムで構成されている。図 1 に本システムの全体概要を示す。本システムで対象とする施工データは、ICT 土工で行われる 3 次元起工測量データ、3 次元設計データ、3 次元施工履歴データ、3 次元出来形測量データに加え、IoT センサーにより取得される盛土材の土取り位置および荷卸し位置のデータ等である。

なお、本章では各システムの概要について報告し、②に関する研究成果については 3 章以降に詳述する。

2.1 データ共有プラットフォーム

これまで ICT 土工で得られる施工データは、専用のソフトウェアを用いて現場事務所等のローカルサーバーに保存・管理されていた。そのためデータを活用する上では、利用場所やユーザーが限定され、業務の効率化を阻害する要因となっていた。

本システムのデータ共有プラットフォームは、3 次元データを扱うことができ、かつ汎用性の高いクラウドサービスである

*1 戸田建設株技術研究所

*2 戸田建設株土木エデュケーション部

*3 戸田建設株イノベーション戦略部 博士 (工学)

*4 戸田建設株土木技術営業部

Technology Research Institute, TODA CORPORATION

Civil Engineering Education Division, TODA CORPORATION

Innovation Strategy Division, TODA CORPORATION, Dr.Eng.

Civil Engineering Sales Department, TODA CORPORATION

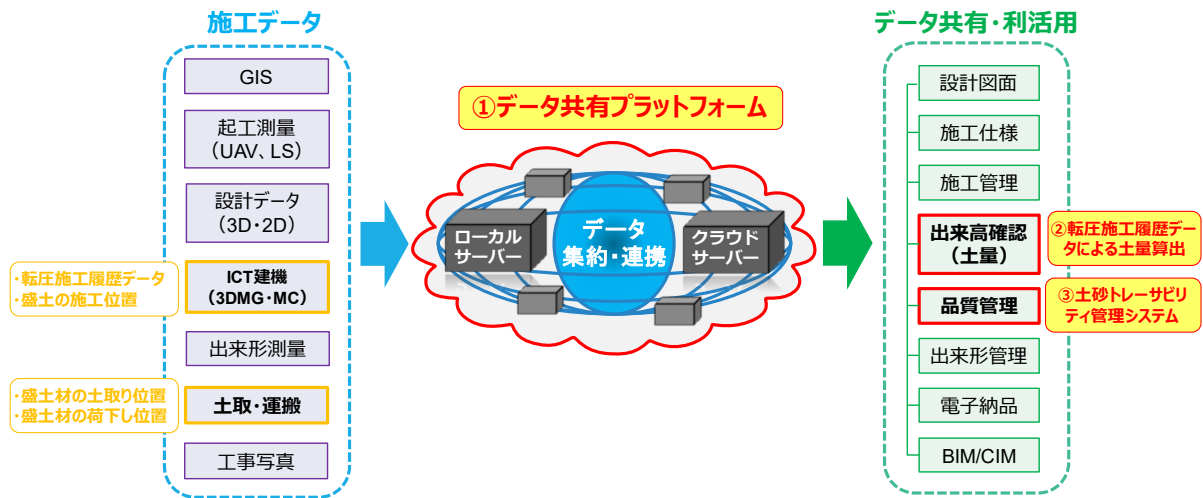


図1 データ利活用型 ICT 土工管理システムのイメージ

「CIMPHONY Plus (福井コンピュータ社)」を利用している。データ共有プラットフォームでは、締め管理システムにより取得された転圧施工履歴データ等を CIMPHONY Plus で扱えるデータ形式に自動で変換しアップロードするソフトウェアを組み込んだ (図 2)。

これにより、関係者はクラウドサービスを利用してすぐにデータを閲覧・利活用することができ、プラットフォーム上で複数社の締め管理システムから得られる転圧施工履歴データを扱うことが可能となった。また、従来の手作業によるデータ処理およびプラットフォームへのアップロードに要する作業時間を 90%以上削減することができ、作業の省力化・効率化を図ることが可能となった。

転圧施工履歴データを活用することで、測量をせずとも容易に転圧後の盛土量を算出することが可能である。また、転圧施工履歴データには、UAV による写真測量や地上型レーザースキャナ (以下、「TLS」という) による測量等では取得される樹木等の不要な地形データが含まれないため、土量算出における点群処理が簡素化される。さらに、メッシュ化 (0.25m×0.25m 又は 0.5m×0.5m) されたデータであるため、データ容量が軽量で扱いやすいのも特長である。

2.2 転圧施工履歴データによる土量算出

盛土の品質管理方法の一つに「TS・GNSS を用いた盛土の締め管理システム」を用いた方法があり、TS や GNSS により取得された締め機械の平面位置座標 (x 座標, y 座標) を用いて、締め機械 (振動ローラやブルドーザ等) による転圧回数の面的な管理が行われている。同時にこのシステムでは、施工履歴データとして振動ローラの鉄輪下面位置やブルドーザの履帯下面位置の高さ (z 座標) を含めた 3 次元位置座標を取得している。そのため、転圧施工履歴データから転圧箇所における盛土表面形状のサーフェス (面) が作成できる。転圧施工履歴データから作成したサーフェスデータを用いて、起工測量データ又は以前の転圧箇所における施工履歴データと比較することで、その間の盛土量を算出することが可能である。転圧施工履歴データを用いた土量算出の概略を図 4 に示す。

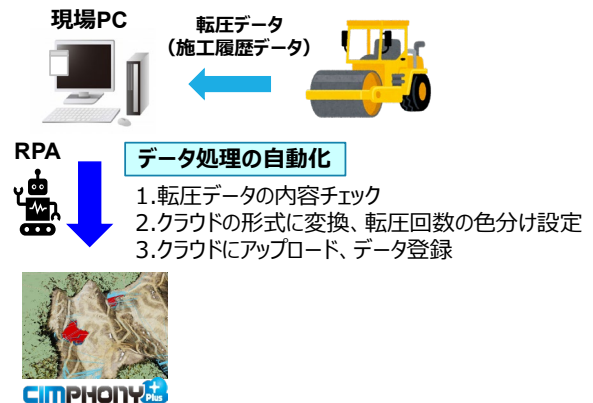


図2 データ共有プラットフォーム利用イメージ

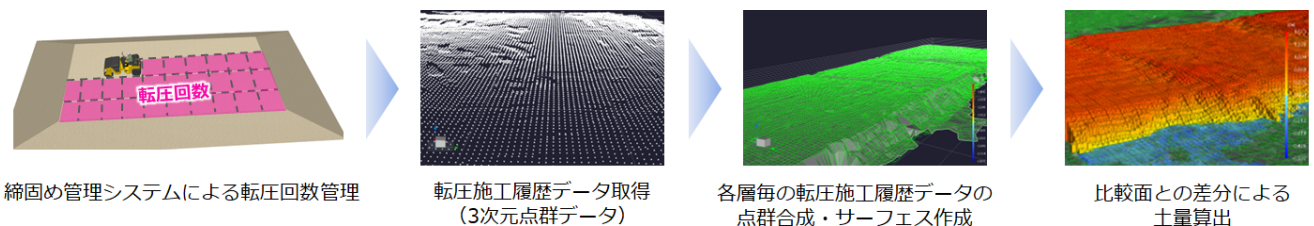


図4 転圧施工履歴データを活用した土量算出の概略図

2.3 土砂トレーサビリティ管理システム

これまで、盛土材のトレーサビリティを管理するための土工管理図を作成する場合は、記録員を施工箇所に常駐させて帳票に記録を付けて管理していた。

本システムの土砂トレーサビリティ管理システムは、「どの土」「どの場所」に盛土したかを自動で記録することが可能である(図 3)。ダンプトラックに設置した IoT センサーにより、どの土取り場から、どこの盛土場に運搬したかの位置情報を記録する。盛土材の土取り位置と荷卸し位置をもとに、土砂の材料情報と締固め管理システムで得られる転圧箇所の施工データを関連付けることで、盛土材のトレーサビリティデータとなる 3 次元土工管理図を自動的に作成する。3 次元土工管理図では、土質ごとに色分けされたボクセルモデル(3 次元の立体的なモデル)により盛土形状を表す。モデルを構成する各ボクセルには、属性情報として施工日や転圧回数等の施工データが保持される。

これにより、盛土材の記録と管理が効率化されるとともに、盛土のトレーサビリティ強化を図り、品質管理の高度化が可能となる。また、土工管理図を作成するための記録員を配置する必要がなくなり、1 人/日程度の人員を削減する効果が期待できる。

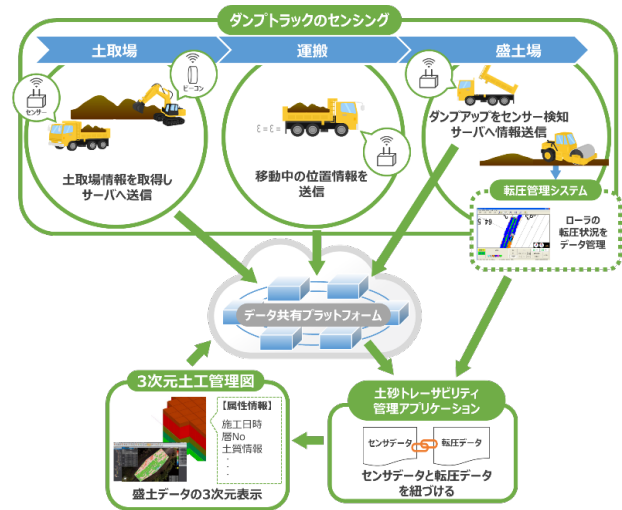


図 3 土砂トレーサビリティ管理システムの全体図

3. 実証実験

3.1 実験目的と概要

転圧施工履歴データを用いた土量算出の有効性の検証を目的として、従来の測量方法との土量算出精度および土量算出に要する作業時間の比較を行った。

実験は、神奈川県厚木市の土地造成工事において、一部の盛土範囲(面積: 34.8m×127.6m, 最大盛土高さ: 1.6m)にて実施した(写真 1)。盛土の施工期間は、2020 年 11 月 4 日から 11 月 30 日であった。



写真 1 盛土施工前の状況

3.2 実験手順

(1) Step 1: 起工測量

盛土施工前の地形データを TLS 測量により計測した。

(2) Step 2: 転圧施工履歴データの取得

盛土の施工状況を写真 2 に示す。実験対象期間中は、GNSS 締固め管理システムを搭載したブルドーザによる転圧回数管理を行い、日々の転圧施工履歴データを取得した(写真 2, 3)。なお、締固め管理システムはライカジオシステムズ社の iRoller CE を使用し、1 層の仕上り厚さを 30cm とした。締固め管理システムの画面を写真 3 に示す。



写真 2 盛土の施工状況

(3) Step 3: 従来の測量方法による盛土の出来形計測

以下 3 つの従来の測量方法により、盛土の出来形計測を 2020 年 12 月 5 日に実施した。

- ① TLS 測量
- ② UAV を用いた空中写真測量
- ③ GNSS ローバーを用いた横断測量

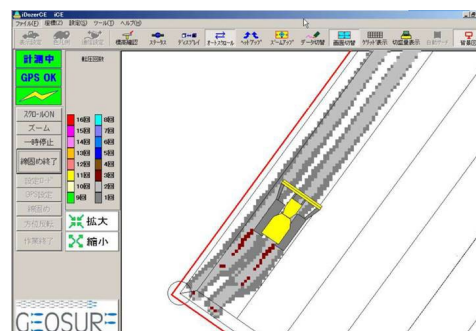


写真 3 締固め管理システムの画面

(4) Step 4 : 盛土量の算出

Step 1 の起工測量の地形データを基準面として、Step 2 及び Step 3 で得られた盛土の出来形形状データを比較面とし、差分から盛土量を算出した。なお、土量計算は3次元 CAD ソフトによる4点平均標高法を使用し、③については平均断面法による土量算出を行った。

3.3 転圧施工履歴データの高さ精度の確認

本実験で使用した締固め管理システムは、ネットワーク型 RTK-GNSS (VRS 方式) により施工機械の位置座標を取得した。そこで本実験を実施する前に、転圧施工履歴データで取得される高さ(標高値)の精度を事前に確認した。レベルを用いた水準測量との比較結果を表1に示す。

計測点7箇所における標高値の差の平均値は-85mm あった。転圧施工履歴データにより取得される標高値は、レベル測量と比較して低く取得される傾向にあることが確認された。一般的に RTK-GNSS 測位では、数 cm 程度の位置座標の誤差が発生することは明らかであるが、85mm もの誤差が発生することは考えにくい。しかし、この段階では誤差の原因が不確かであったため、誤差を許容して実験を開始した。

3.4 転圧施工履歴データから算出した土量への沈下補正

本実験では、盛土終了から一定期間経過した後に Step 3 の出来形計測を行った。当該盛土範囲は軟弱地盤であり、転圧施工履歴データを取得した施工時期から Step 3 の出来形計測を行うまでの期間に生じる圧密沈下の影響を考慮する必要があった。図5に示すように、当該盛土範囲内の3箇所沈下板を設置し、計測エリアを3つに分けて各エリアで発生した沈下量を算出した。各エリアに設置した沈下板の計測結果を図6に、各エリアの推定沈下土量を表2に示す。なお沈下板の計測開始日は、各エリアの盛土が終了した日を基準としている。

また、11月17日と12月5日の UAV 空中写真測量による盛土表面の高さを比較した(図7)。青系の部分が沈下した範囲を示しており、青の濃い部分が沈下量の大きい箇所を表している。図7より、極端に沈下が大きい箇所は見受けられなかったため、各エリアの面積に対して均一に沈下していると想定し、推定沈下土量の算出を行った。

計測結果から算出された3つのエリアの沈下に伴う推定土量の合計は180 m³であり、転圧施工履歴データを用いた土量算出結果を補正した。

3.5 実験結果

転圧施工履歴データを用いて算出した土量と、従来の測量方法により算出した土量の比較を行った。算出土量の比較結果を表3に示す。転圧施工履歴データを用いた算出土量は、TLS 測量と比較して473 m³であり、全体土量4,891 m³に対する誤差率は10%であった。日常管理における盛土の進捗管理に適用できる精度だと考えている。

また、土量算出までの作業時間の比較結果を図8に示す。転圧施工履歴データを用いた土量算出は、TLS 測量と比較して90%以上短縮できることを確認でき、その他の測量方法と比較しても大幅な省力化・効率化が期待できると考えられる。

表1 標高値の精度比較

単位: m

No.	転圧施工履歴	レベル	差 (転圧施工履歴-レベル)
1	13.97	14.053	-0.083
2	13.91	14.005	-0.095
3	13.94	14.025	-0.085
4	13.9	14.022	-0.122
5	14.06	14.095	-0.035
6	14.02	14.15	-0.13
7	13.94	13.985	-0.045
		平均	-0.085

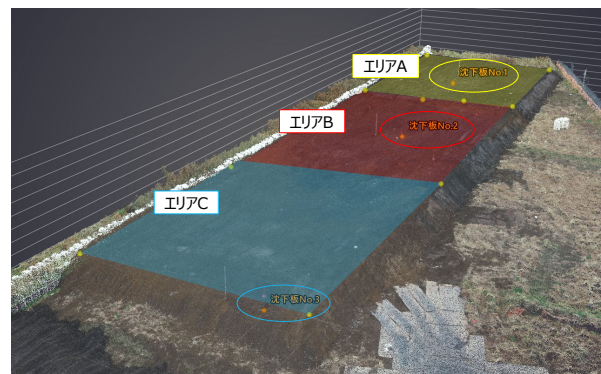


図5 沈下板の設置箇所および計測エリア

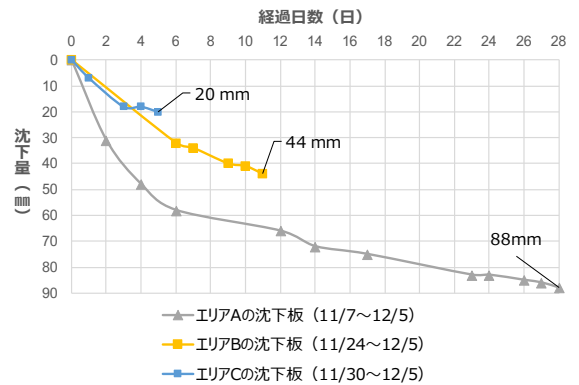


図6 沈下板の計測結果

表2 各エリアの推定沈下土量

計測エリア	面積 (m ²)	沈下量 (mm)	推定沈下土量 (m ³)
エリアA	1,136	88	100.0
エリアB	1,174	44	51.7
エリアC	1,417	20	28.3
			180.0

3.6 誤差要因の分析

3.6.1 TLS 測量と転圧施工履歴データの高さ精度比較

転圧施工履歴データによる土量算出の誤差要因を分析するために、TLS 測量と転圧施工履歴データにより取得された標高値の縦断比較を行った。縦断の比較結果を図9に示す。特に法面部において標高値の誤差が大きいことが確認できた。これは、ブルドーザによる法面走行時に機体が傾くために施工機械の姿勢位置を正しく検出できていないために、標高値の誤差が大きくなっていることが考えられる。

また、振動ローラ等の締固め機械では法肩や法面の締固めが困難な場合があり、十分な施工履歴データが得られない可能性があるため、法面や法肩のデータ不足部分の補間方法を検討する必要があると考える。

3.6.2 GNSS 締固め管理システムの高さ精度

転圧施工履歴データにより取得される標高値は、3.3 で前述した通り、レベル測量による実測値と比較して-85mm 低く記録されることを確認していた。これは、本実験で使用した締固め機械がブルドーザであり、履帯が凹凸の形状をしているために履帯下面位置を正しく取得できていなかったことが要因として考えられる。

TLS 測量と比較して転圧施工履歴データによる土量が少なく算出されていることから、この高さ誤差が大きな要因であると考えられる。そのため、高さの誤差を縮減することで土量算出精度の向上を期待できると考えている。

4. おわりに

ICT 土工における管理業務の省力化・効率化を目的に、データ利活用型 ICT 土工管理システムを開発した。うち、本稿では特に転圧施工履歴データによる土量算出に関する研究成果を報告した。

転圧施工履歴データを活用した土量算出に関する実証実験を行った結果、日々の盛土の進捗管理に活用できる精度の土量算出が可能であることが分かった。特に、従来の測量方法と比較して作業時間の大幅な削減効果が得られ、省力化および効率化が期待できる。

一方で、法面部のデータ取得や高さ精度に関する課題があり、高精度なセンサーの使用や高度な測位等による施工機械の位置精度向上が、今後の課題として求められる。

謝辞

本稿で報告した内容は西松建設と奥村組との共同研究成果の一部であり、本システムの開発に協力いただいた両社の関係者の皆様に感謝の意を表します。また、実証実験に協力いただいた社内関係者の皆様にも、この場を借りて感謝申し上げます。

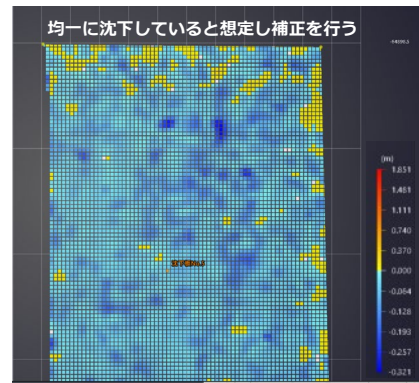


図7 沈下量のヒートマップ

表3 算出土量の比較

	算出土量 (m3)	①との差分 (m3)	誤差率 (%)	備考
① TLS測量	4,891	-	-	
② UAVを用いた空中写真測量	4,927	36	1%	
③ GNSSローバーを用いた横断測量	4,944	53	1%	
④ 転圧施工履歴データを用いた土量算出	4,418	-473	-10%	沈下に伴う推定土量 180m3を補正

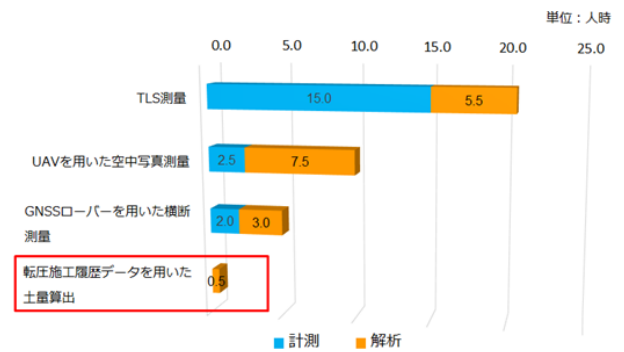


図8 作業時間の比較

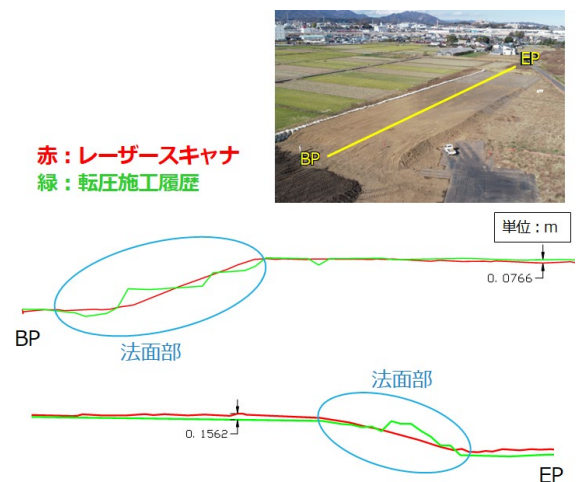


図9 標高値の縦断比較

参考文献

- 1) 国土交通省, 「ICT 施工の普及拡大に向けた取組」, 第 13 回 ICT 導入協議会資料, 2021
- 2) 国土交通省, 「施工履歴データによる土工の出来高算出要領 (案)」, 平成 31 年 3 月
- 3) 佐藤靖彦 他, 「データ利活用型 ICT 土工管理システムの開発 (その 1) - システム概要とデータ共有プラットフォーム - 」, 土木学会第 76 回年次学術講演会, VI-195, 2021
- 4) 本木章平 他, 「データ利活用型 ICT 土工管理システムの開発 (その 2) - 転圧施工履歴データによる土量算出手法 - 」, 土木学会第 76 回年次学術講演会, VI-195, 2021
- 5) 高尾篤志 他, 「データ利活用型 ICT 土工管理システムの開発 (その 3) - 土砂トレーサビリティ管理システム - 」, 土木学会第 76 回年次学術講演会, VI-195, 2021