

データ利活用型 ICT 土工管理システムの開発

ー土砂トレーサビリティ管理システムー

Development of Earthworks Management System for Acquiring and Utilizing ICT DATA

- Soil Traceability Management System -

高尾篤志* 宮田岩往* 藤本情志** 外木場康将***

要 旨

土取場のバックホウに設置したビーコンおよび土運搬のダンプトラックに搭載したセンサにより、「どこの土」を「どの場所」に盛土したのかを記録可能なシステムを開発した。このシステムは、センサデータと ICT 土工の締固め管理システムのデータについて土砂トレーサビリティアプリケーションを使用し、関連付けることで、3 次元土工管理図を自動作成する。これにより、従来職員が手作業で行う必要があった盛土場所の記録管理の必要がなくなり、トレーサビリティ管理の省力化および人員削減が図れる。作成される 3 次元土工管理図には、施工日や土質情報等の属性情報が自動的に付与されるため、将来の施工履歴の確認等に利用することが可能である。

キーワード：センサ、盛土、トレーサビリティ、ICT 土工、データ利活用

1. まえがき

国土交通省が推進する i-Construction の施策によって建設現場において ICT (Information and Communication Technology) の全面的な活用が進められている。この取り組みにより、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) や ICT 建設機械、IoT (Internet of Things) センサ等の導入が進み、施工や施工管理等の現場作業の省力化・効率化の面では、一定の効果が得られている¹⁾。

一方で、UAV や ICT 建設機械等の導入により、建設現場において、従来の施工管理情報に加え、ICT 建設機械の 3 次元設計データ等の導入時に必要なデータや ICT 活用後に取得される多種多様なデータを扱うことが必要となった。それらのデータ処理には専門の知識が必要であり、場合によっては膨大なデータが取得されるため、データの処理等に多くの時間を要し負担となっている。そのため、UAV や ICT 建設機械等の様々な ICT を活用する近年の土工事においては、導入された ICT 機器により取得されるデータの活用が十分にできていない。

また、土工事の管理項目である工事進捗管理、品質管理 (転圧管理、材料管理)、出来形管理、土量管理についてのデータは個別に管理されているため、効率的にデータを活用することが難しい。そのため、データを集約し一元的に管理するプラットフォームの構築と、プ

ラットフォームを利用したデータ連携および利活用によるさらなる効率化が求められている。さらに、近年の土工事、特に盛土工事においては大規模で多くの種類の発生土を扱う工事が増え、品質確保のためには工事進捗管理および材料管理が重要になっている。

そこで、これらの土工事における課題解決のため、奥村組、西松建設、および戸田建設は、3 社共同研究により、データ利活用型 ICT 土工管理システム (以下、「本システム」) を開発した。本システムは、ICT 土工において取得されるデータをクラウド上の共有プラットフォームに集約することで、データの処理および管理を効率化し、工事進捗管理や品質管理等の土工事の管理項目におけるデータの利活用を推進するものである。これにより、プラットフォーム上のデータを現場事務所や本支社等の関係者が共有し、関係者間で連携して、出来形・出来高 (土量) 管理および品質管理等に利活用する。

本システムは、データ共有プラットフォーム²⁾、転圧施工履歴データによる土量算出³⁾、および土砂トレーサビリティ管理システム⁴⁾の 3 つのシステムにより構成されている。本稿では、ICT 土工管理システムの全体概要と、当社が主として取り組んだ土砂トレーサビリティ管理システムの詳細について述べる。

* ICT 統括センターイノベーション部 ** ICT 統括センターシステム部 *** 東日本支社土木技術部

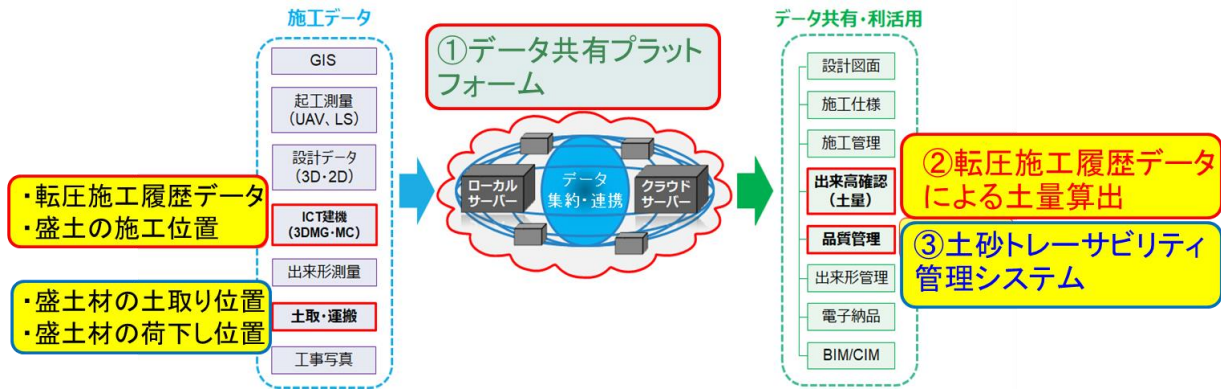


図-1 データ利活用型 ICT 土工管理システム概要図

2. データ利活用型 ICT 土工管理システム

2.1 データ利活用型 ICT 土工管理システムの概要

本システムは、ICT 土工において取得される施工データをデータ共有プラットフォームにアップロードしてデータ処理を行い、共有化を図り、各管理項目のデータを効率的に利活用するものである。図-1に、本システム全体の概要を示す。今回、データの利活用の対象として、盛土工事における出来高管理、品質管理に着目した。対象とする施工データは、図-1に示すように、ICT 土工において行われる 3 次元起工測量、ICT 建設機械による施工、3 次元出来形測量の各段階において取得される 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 センサによって取得する盛土材の土取り位置および荷下ろし位置のデータである。以下に、本システムを構成する 3 つのシステムのうち、データ共有プラットフォームおよび転圧施工履歴データによる土量算出の特長について述べる。なお、土砂トレーサビリティ管理システムについては、次章以降で述べる。

2.2 データ共有プラットフォーム

従来、ICT 土工で得られるデータは、専用のソフトウェアを使用して現場事務所等のパソコン上にデータを保存し、データの利活用を行っていた。これらのデータをクラウド上へアップロードすることで、誰でもどこからでもデータを閲覧し利活用可能とする。

データ共有プラットフォームとして、3 次元データが扱えるクラウドサービス「CIMPHONY Plus (福井コンピュータ社)」を利用した。GNSS (Global Navigation Satellite System) を利用した締固め管理システムにより取得した転圧施工履歴データ等は、クラウドサービスのデータ样式に応じた変換処理をした後、CIMPHONY Plus へアップロードを行う (図-2)。この一連の作業をソフトウェアにより自動化し、定期的にアップロード動作を実施する。現場職員はクラウドサービスを利用し



図-2 データ共有プラットフォームのイメージ

て、すぐにデータを閲覧・利活用できる。また、GNSS を利用した締固め管理システム内に含まれる設計形状のメッシュデータやローラーの軌跡データ等を、共通フォーマットの点群テキストデータとして取り扱うことで、複数社の転圧施工履歴データを同じように取り込むことができ、汎用性も高い。

2.3 転圧施工履歴データによる土量算出

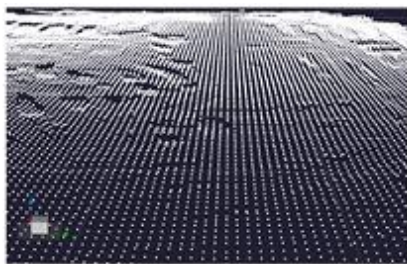
盛土の品質管理方法の一つに「TS (Total Station) ・GNSS による盛土の締固め管理システム」⁵⁾を用いた方法があり、TS や GNSS により取得される締固め機械の平面位置 (x 座標、y 座標) データを用いて締固め機械の転圧回数管理 (面的な管理) が行われている。このシステムでは、転圧回数のほかに転圧施工履歴データとして、締固め機械の施工位置の 3 次元位置データを取得しており、この 3 次元位置データを用いることで転圧箇所

転圧施工履歴データから作成したサーフェスデータを使用し、設計形状もしくは前回の転圧施工履歴データと比較することで、土量算出が可能である。転圧施工履歴データを用いた土量算出フローを図-3に示す。転圧施工履歴データを活用することで、TS、UAV やレーザースキャナ等による定期的な測量をせずに容易に転圧後の盛土量を算出できる。また、転圧施工履歴データには UAV 測量等で生ずる周辺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 または 0.5m×0.5m) されたデータであり、データ容量が軽量で扱いやすいことも特長である。

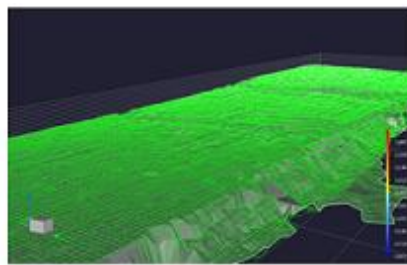
一方、転圧施工履歴データを用いた算出土量は、3 次



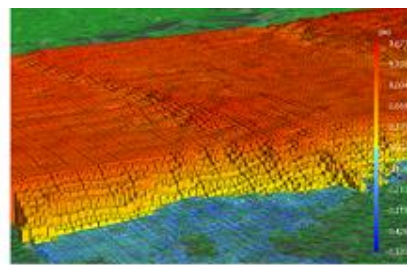
締固め管理システム



転圧施工履歴データ (3次元点群)



転圧施工履歴データ (サーフェス)



土量算出

図-3 土量算出フロー

元出来形測量で一般的に使用される TLS (Terrestrial Laser Scanner) 測量の精度と比較して誤差 10%程度であることが確認されており、盛土の出来高数量確認や進捗管理に十分適用できると考えられる。また、土量算出の作業時間は、TLS 測量と比較して 90%以上短縮でき、従来の測量方法と比較して大幅な省力化が期待できる。

3. 土砂トレーサビリティ管理システム

3.1 システム概要

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可能なシステムである (図-4)。土砂を運搬するダンプトラックのセンシングにより、どの土取場から施工箇所の盛土場に運搬したかを記録する。センサのデータを、ICT 土工の盛土工事において導入される締固め管理システムのデータと関連付けることで、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作成する。3 次元土工管理図では、物体の形状を立方体のような空間格子の集合によって表現するボクセルモデルを使用し、盛土形状を表す。モデルを構成する各ボクセルは土質情報によって色分けされており、属性情報として施工日や転圧管理データ等を保持している。

土砂トレーサビリティ管理システムは、ダンプトラックのセンシングを行うダンプアップ検知センサ、土砂運搬のダンプの記録を保管および情報共有するセンサデータプラットフォーム、センサデータプラットフォームに保管されているダンプアップのセンサデータと締固め管理システムより出力される転圧施工履歴データの関連付けを実施する土砂トレーサビリティ管理アプリケーションによって構成されている。システムを構成する各項目については、以下に詳細を述べる。

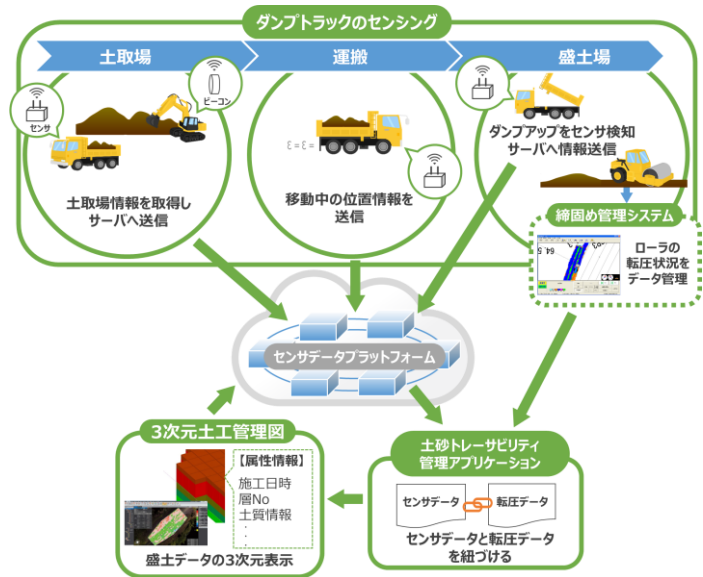
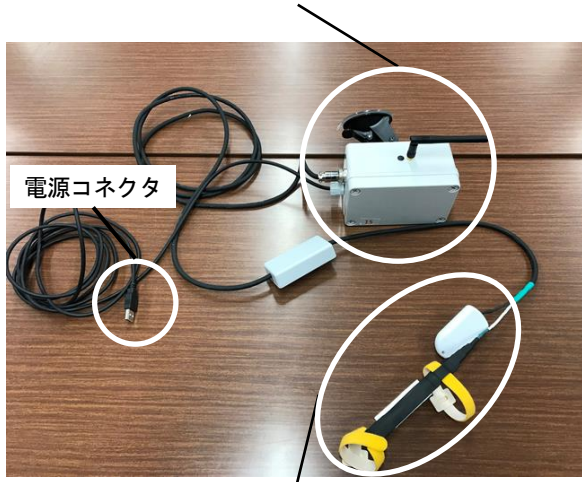


図-4 土砂トレーサビリティ管理システム全体図

3.2 ダンプアップ検知センサ

土砂運搬のダンプトラックに、触圧および加速度センサ、GNSS、ビーコン受信機、および LTE 通信機により構成されたダンプアップ検知センサ（写真－1）を設置した。ダンプトラックのダンプアップレバーに、触圧センサと加速度センサを取付け（写真－2）、運転手が荷台の土砂を下ろす際のダンプアップレバーの操作を検知

センサ本体
 (GNSS 受信機, LTE 通信機, ビーコン受信機)

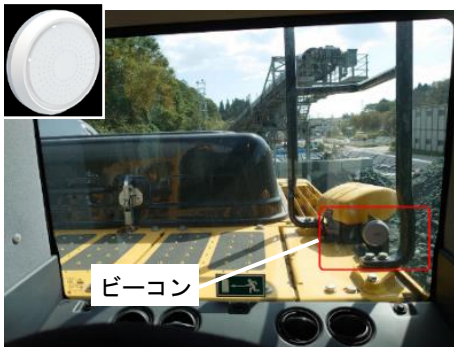


ダンプアップ検知部（触圧センサ，加速度センサ）

写真－1 ダンプアップ検知センサ



写真－2 取付状況



写真－3 ビーコン取付状況

する。ダンプアップ時にボタンを押下しダンプアップを記録する方式の場合、スイッチの押し忘れにより、記録漏れが発生する。そこで今回は、ダンプアップの際に必ず発生するレバーの操作を触圧センサおよび加速度センサにより検出する方式を採用する。

土取場の識別にはビーコンを土砂の積込みバックホウに設置する（写真－3）ことで対応する。土取場の判別を位置情報のみで行うと、土取場とする箇所の座標の範囲を別途設定する必要があるため、ビーコンを使用し、土取場所の判別を行っている。センサを搭載したダンプトラックがビーコンを設置した積込みバックホウに接近するとビーコンの電波を受信し、受信したビーコンの識別信号とその時の時刻・位置情報を LTE 通信によりサーバに送信する（以下、積込みデータ）。積込みデータに含まれるビーコンの識別子より、どの土取場において積み込んだかの判定を実施する。運搬時も GNSS により位置情報を取得し、30 秒に 1 回サーバにデータを送信する。通信が行えない場所を走行する場合は、データを内部のメモリに記憶し、通信が回復したタイミングでサーバに送信し、データの損失を防いでいる。盛土場においては、ダンプアップの操作を検知した際に、ダンプアップ有の識別子・荷下ろし位置情報・時刻（以下、荷下ろしデータ）をサーバに送信する。

3.3 センサデータプラットフォーム

センサデータプラットフォームでは、ダンプアップ検知センサよりサーバに送信された積込みデータおよび荷下ろしデータの可視化を行う。センサデータプラットフォーム上においては、指定した任意の日付または期間における土砂運搬のダンプトラックの走行経路、積込み位置および荷下ろし位置の地図上へのプロットデータを確認できる。図－5 に、センサデータプラットフォームに運行経路をプロットした画面を示す。センサデータプラットフォームはクラウド上で稼働しているため、スマートデバイスを使用することで、どこからでもデータを確認することができる。

3.4 土砂トレーサビリティ管理アプリケーション

土砂トレーサビリティ管理アプリケーション（以下、「管理アプリケーション」）では、まずマスターデータ（以下、「土取場データ」）を設定する。土取場データとは、盛土工に伴って実施する盛土の土質試験等の情報を基に、土取場において、どの時期にどのような土質の土の積込みを行っていたかを登録したデータである。土取場データの例を表－1 に示す。土取場データには、土取場の積込みバックホウに設置したビーコンの ID（terminal_tag）に対して、start_date 欄および end_data 欄に指定された期間において、対応する soil_type 欄に入力された土質を反映する。管理アプリケーション上で指定した日時の積込みデータと荷下ろしデータをクラウドからダウンロードし、土取場データおよび転圧管理

データと結合することで、荷下ろし位置における積み込み時の土質情報（以下、荷下ろし情報）を判別する。土質情報を結合した転圧管理データは3次元のデータとして出力される。出力されたデータを3次元CADソフトウェアに取込むことで、土質ごとに色分けされた3次元土工管理図を確認できる。今回、3次元土工管理図を構築するボクセルモデルは、ダンブ一台当たりの運搬土量および転圧の層厚から、5m×5m×0.3mのサイズとした。

盛土施工の場合、荷下ろし位置から周辺に敷均して施工する場合があります。土砂は荷下ろし位置から周辺に分散して盛土されることが起こり得る。そのため、荷下ろし情報については、荷下ろし位置から隣接ボクセルの重心までの距離に応じて距離の逆数による重みづけを行い、隣接ボクセルに重みを付けた土質情報を振り分ける（図-6）。重みづけの振り分け計算後、ボクセル内で土質ごとの投入割合を計算し、最大となる土質をそのボクセルの代表土質として属性情報を持たせる（図-7）。一方、荷下ろし位置から敷均しにより盛土を行う場合に、ボクセル内に荷下ろし情報がない場合も考えられる。締固め管理システムに、転圧施工管理データが存在しかつ荷下ろし情報がないボクセルが存在する場合は、隣接ボクセルの土質情報を参照し、ボクセルの着色を行う。

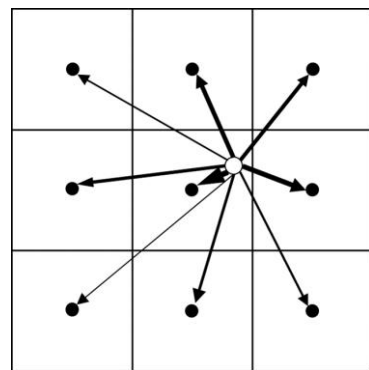
ボクセルの色情報については、各ボクセルの代表土質に対応した色となるが、ボクセルに割り当てられた土質の割合を属性情報として格納しているため、3次元土工管理図のボクセルを選択することで、土質の割合を確認できる（図-8）。

4. 現場検証

土砂トレーサビリティ管理システムについて、施工現場（写真-4）での検証を実施した。検証した現場は約14haの造成現場であり、その中の200m×300mの範囲の施工に対して締固め管理システム（写真-5）を設置したローラーを使用し、検証を行った。まず、転圧施工履歴データとダンブトラック10台に設置したダンブ

表-1 土取場データ例

terminal_tag	start_date	end_date	soil_type
BLE1	20220101	20220131	砂
BLE1	20220201	20220330	粘土
BLE2	20220101	20220330	砂



○：荷下ろし位置 ●：ボクセル重心

図-6 荷下ろし情報の重み付けイメージ

振り分けられた土質情報

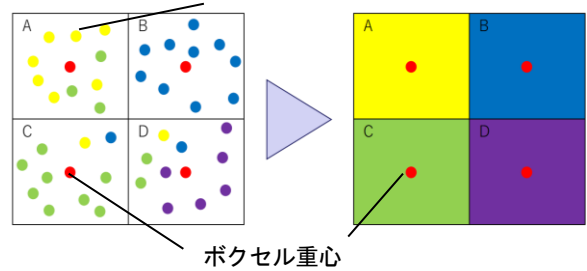


図-7 土質情報割り当てイメージ

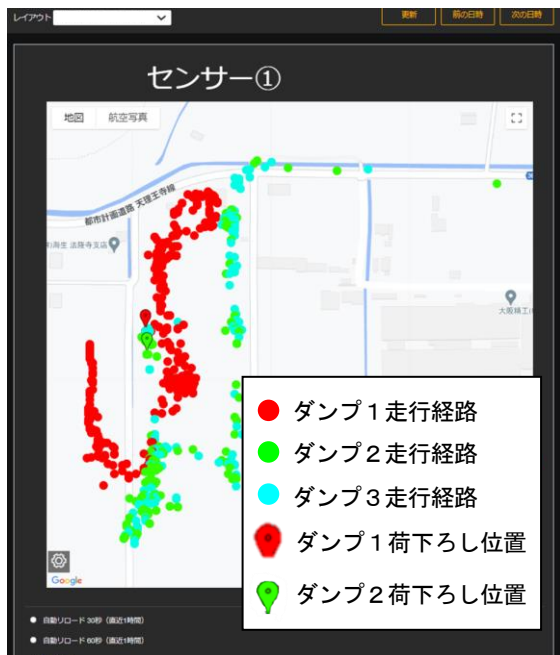


図-5 センサデータプラットフォーム

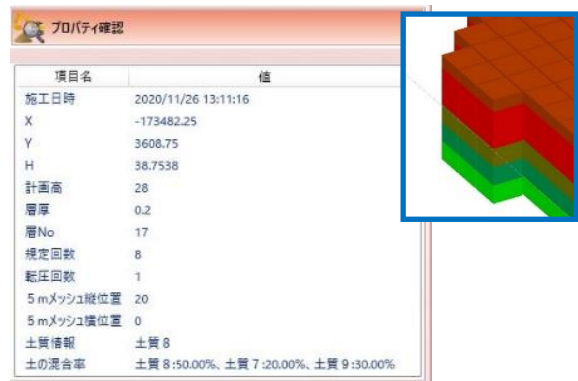


図-8 属性情報の確認



写真-4 施工現場全景



写真-5 締固め管理システム

アップ検知センサのデータを結合し、3次元土工管理図の作成を実施した。今回の施工では、場内で改良した土砂の場内運搬と、場外から搬入しそのまま盛土する2つのパターンがあり、場内と場外の各1箇所にて土取場を設定した。土取場の判別を行うため、改良土の積込みに使用するバックホウにビーコンを設置し、場内運搬の判別を行った。場外から搬入する土砂については、1箇所の土取場からの搬入であったため、搬入車両が入場する現場ゲートにビーコンの設置を行った。

設置したセンサにより荷下ろし位置を特定し、管理アプリケーションを使用して荷下ろし情報の3次元データを自動的に作成した。作成した3次元データを3次元CADソフトウェアに取り込み、土質情報ごとに着色されたボクセルモデルの形式でデータを出力し、土質情報の可視化ができていたことを確認した(図-9)。さらに、可視化した3次元モデル上において属性情報として荷下ろし情報を確認することができた。

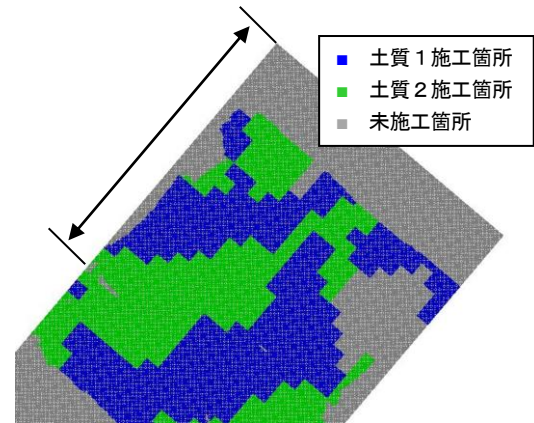


図-9 3次元土工管理図

課題としては、ダンプアップ検知センサの検出精度がまだ十分ではなく、検出漏れがある点も挙げられる。そのため、今後は開発したシステムを現場展開し、検知精度の向上を進め、より精度の高い盛土のトレーサビリティを確保できるように改良を進めていきたい。

5. まとめ

ICT 土工において取得されるデータの利活用により施工管理の効率化を図るため、土砂トレーサビリティ管理システムの開発を行った。開発した土砂トレーサビリティシステムを現場に適用し、検証を実施した。主な結論を以下に示す。

- i. 土砂トレーサビリティ管理アプリケーションを使用し、ダンプアップのデータと転圧施工履歴データと結合した3次元土工管理図により盛土の土質情報を確認できた。
- ii. システムにより土工管理図の作成に必要な土質情報および盛土位置の情報を自動的に記録した。これにより従来、盛土材のトレーサビリティ確認用の土工管理図の作成のために、施工箇所に常駐し、帳票に記録する記録員の配置が不要となる。そのため、盛土工において、記録員分の1人/日程度の人員削減の効果が期待できる。
- iii. データ整理や入力等の手間を増やすことなく、将来の施工履歴の確認等に利用することが可能なトレーサビリティデータの作成が確認できた。

【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) 佐藤靖彦、吉野 修、本木章平、宮田岩往、「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
- 3) 本木章平、坂崎信夫、羽田正沖、田中 勉、宮田岩往、「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-196、2021
- 4) 高尾篤志、宮田岩往、藤本情志、本木章平、田口毅、「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-197、2021
- 5) 国土交通省、「TS・GNSSを用いた盛土の締固め管理要領」、2020