

デジタルツインが施工管理業務に与える効果の検証

早川 健太郎^{*1}・澤城 光二郎^{*1}・星加 夢輝^{*1}

建設現場における施工管理業務を効率化するため、筆者らが独自に開発したデジタルツインのプラットフォームとデータの取得・処理を自動化するシステムを施工中の大規模造成工事に適用して効果を検証した。その結果、仮想空間を用いた明確な情報共有による手戻りの防止、遠隔地からの状況確認による移動時間の削減、点群を用いた施工の進捗分析による定量的な予実積管理、自動運用型ドローンによる3次元形状の計測・更新作業の軽減等の効果が確認された。また、デジタルツインの導入効果が高い施工管理業務について整理したところ、当該現場の所長、中堅、若手等の立場によって得られる効果が異なることが明らかとなった。

キーワード：デジタルツイン、施工管理、点群、ドローン、大規模造成

1. はじめに

就業者数の減少と高齢化が進む建設業では、生産性向上を目指す「働き方改革」につながる抜本的な対策が切望されている。既存の業務を変革すべく、AIやデータサイエンス、ロボットなどがキーワードになった技術開発が盛んに進められており、関連技術がさまざまな現場に導入されつつある。そのような中、国土交通省はi-Construction2.0¹⁾を策定し、建設現場のオートメーション化によって2040年までに生産性を1.5倍にする目標を据えた。特にデータ連携のオートメーション化に向けたロードマップでは、仮想空間に建設現場と同等の「双子」を構築するデジタルツインが注目されており、この技術の活用による現場作業の効率化が期待されている。

デジタルツインとは、IoTセンサー等から収集した現実空間の情報を基にして仮想空間に対となる双子(ツイン)を構築し、データに基づいた分析やシミュレーションを行う技術である。その結果を現実空間にフィードバックすることで、持続的な作業の改善が可能になる。近年では製造業での発展が目覚ましく、製造装置の安定制御や生産ラインの最適化、エネルギー生産性改善などで活用されている²⁾。その他にも大規模なプラント設備の管理、内視鏡の検査にも応用³⁾されており、多様な業界で関心を集めている技術であることがわかる。

建設業界においては、BIM/CIM原則適用や現場の形状を3次元的に計測する技術が発展したことがデジタルツインの実現を大きく加速させている。すなわち、ドロー

ンによる写真測量やLiDARを使用して点群を取得する手法が普及し、設計や施工計画、出来形検査等への利用で業務が効率化するだけでなく、それらのデータを用いることでデジタルツインを実現し、施工現場のさらなる効率化を目指している。建設現場におけるデジタルツインに関連する既往研究としては、ビジョンベースで現場の進捗監視を自動化してデジタルツインを構築する構想⁴⁾や建設業界におけるデジタルツインの用途、課題、技術的ギャップをレビューした研究⁵⁾があるが、こうした研究は建設現場での具体的な効果を示したものではない。また、施工段階の建設現場へ試験適用した事例⁶⁾も存在するが、実際の施工管理業務における活用シーンと効果を検証した研究はまだ少数である。

そこで筆者らは、職員の施工管理業務を効率化することを目的として建設現場のデジタルツインを実現するプラットフォームを開発し、大規模造成工事の施工管理業務に適用した際の効果を検証した。本稿では、開発したプラットフォームの概要や特徴的な機能について述べ、施工管理における活用シーンとその効果について報告する。

2. デジタルツインを運用するプラットフォームの概要

本研究で用いるデジタルツインのプラットフォームは、オープンソースの3D地理空間可視化エンジンであるCesium⁷⁾をベースとして独自に開発⁸⁾したものであり、PCのwebブラウザで動作する。プラットフォーム

*1 フロンティア研究部

で扱うことができるデータは点群、オルソ画像、DSM (Digital Surface Model)、画像、映像であり、位置情報と時刻情報を持つことを基本としている。各種計測機器で得たデータをプラットフォームにアップロードすることで、図-1のような仮想空間が構築される。

図-1はドローンによる写真測量で作成した点群をプラットフォームの仮想空間上に表示したものであり、利用者が自由な視点でデータを閲覧するだけでなく、長さや面積、体積の計測が可能である。オルソ画像とDSMを仮想空間に表示した場合、3次元的なデータを閲覧できることは点群と同様であるが、図-2のように視点をズームした際に点群よりも詳細な状況を確認しやすいという特徴がある。加えて、3次元データの描画に必要とされるPCスペックが点群と比較して低いため、利用可能なPCの制約が少ないことも大きな利点である。撮影した画像や映像のデータをアップロードした場合は、図-3に示すように撮影した位置にカメラのアイコンが表示され、アイコンをクリックすることで画像や映像が表示される。点群やオルソ画像、DSMと合わせて仮想空間に表示することで、現場のどこでいつ撮影されたデータなのか明確になる。



図-1 プラットフォームに構築した仮想空間

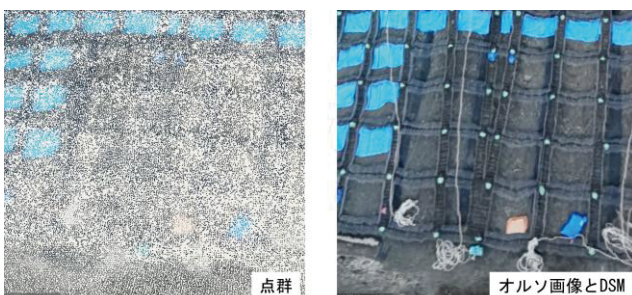


図-2 点群、オルソ画像とDSMにズームした状況

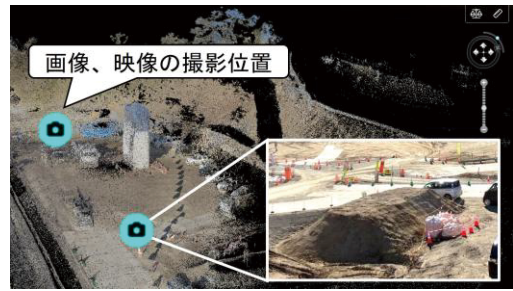


図-3 仮想空間に撮影位置がプロットされた状況

以上のように、複数種類のデータに対応したデジタルツインのプラットフォームを利用することで、職員は仮想空間の現場において、さまざまなデータに基づく最新状況の共有や、任意の場所の距離・面積などの簡易な計測が遠隔かつ任意のタイミングで可能になるため、従来は現地で行うことが前提とされていた多くの業務の変革が可能となり、施工管理の大幅な効率化が期待できる。

3. データの取得・処理を自動化するシステム

施工中の建設現場において、デジタルツインのプラットフォームによって現場の最新状況をタイムリーに把握するためには、継続してデータを更新する必要がある。現場の状況は日々変化するため、データの更新が滞ると現実空間と仮想空間の乖離が大きくなり、プラットフォームから得た情報を基にした指示出し等が不可能になる。しかし、定期的なデータ計測やその後の処理作業はデジタルツインを運用する現場にとって大きな負担となる。そこで筆者らは、自動運用型ドローンやスマートフォンを用いてデータの取得から処理、プラットフォームへの反映までの一連のフローを自動化したシステムを開発した。

3.1 自動運用型ドローンによる現場全域の計測

広大な建設現場全域の3次元形状を計測する手法として、ドローンによる写真測量を採用した。ドローンの関連機器は図-4に示す離発着基地 (DJI 社 Dock2) と機体 (DJI 社 Matrice3D) からなり、防塵防水の離発着基地を電源とインターネットに接続した状態で現場に常設し、機体を格納すると充電が開始されるようになっている。インターネットを通じて飛行開始の指示を出すことで離発着基地が開き、事前に作成した飛行プランに沿って自動で機体が写真測量を実行する。飛行完了後の機体が着陸すると離発着基地が閉じ、撮影した写真が自動で

クラウドサーバにアップロードされる。このような自動運用型ドローンを利用することで、ドローンの充電、現場への運搬、データ回収に係る作業を削減した。また、ドローンはRTK (Real Time Kinematic) 測位に対応した機体であるため、現場に設置する標定点の数を減らすことが可能であり、標定点の管理に要する労力を軽減する効果もある。

撮影した写真から点群、オルソ画像、DSM 作成するうえでは、クラウド型の自動SfM (Structure from Motion) 処理サービス (スカイマティクス社 KUMIKI) を利用した。自動運用型ドローンがアップロードした写真をAPI連携によって自動SfM処理サービスに転送し、処理後のデータはAPI連携によってデジタルツインのプラットフォームに転送される。このように、自動運用型ドローンによる計測だけでなく、データの処理と転送、仮想空間への反映までのフローを自動化しているため、担当職員は簡単な操作を行うだけで現場全域の3次元形状データを更新することが可能である。



図－4 離発着基地とドローン機体

3.2 スマートフォン・タブレットによる局所的な計測

現場内の構造物や資機材など局所的な範囲の画像や映像、点群を手軽に取得するため、iOS アプリによるデータ取得デバイスを独自に開発した。このデバイスは図－5に示すようにカメラとLiDARを搭載するスマートフォンもしくはタブレット端末と専用のGNSSレシーバを組み合わせたものであり、独自に開発したiOSアプリで制御することで位置情報を持つ画像や映像、点群を取得することが可能である。また、このiOSアプリはデジタルツインのプラットフォームとも連携しており、取得したデータを簡単な操作だけでプラットフォームに転送、反

映が可能である。こうした機能を活用すると、例えば現場職員が巡視中に懸念のある個所を発見した際には、このデバイスでデータを取得してプラットフォームに反映することで、手間なく現場の状況を共有することができる。

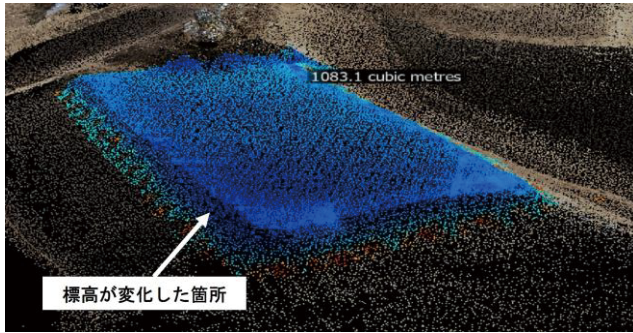


図－5 GNSSレシーバ付きデバイス

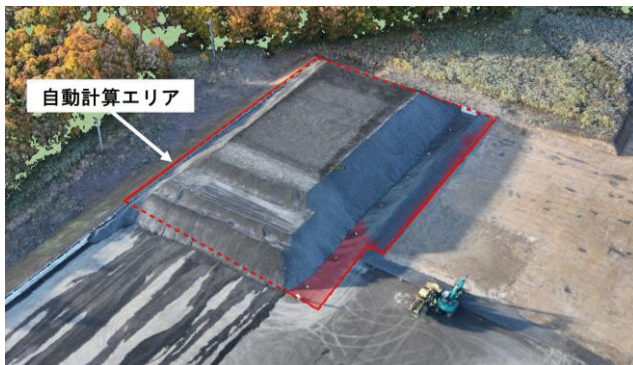
4. 点群を用いた施工進捗の分析機能

本研究で開発したデジタルツインのプラットフォームは、仮想空間のデータを閲覧するだけでなく、点群を用いて施工の進捗を分析する機能を有する。具体的には、プラットフォーム内にて異なる時期の点群を2つ選択し差分を求めると、体積の変化量が計算できるため、切土工や盛土工における土量の出来高を定量的に把握することができる。図－6はこの機能を用いて仮置き土の変化量を計算した結果である。青色が濃いほど標高が大きく低下したことを表しており、全体で1,083m³の切土が行われた。

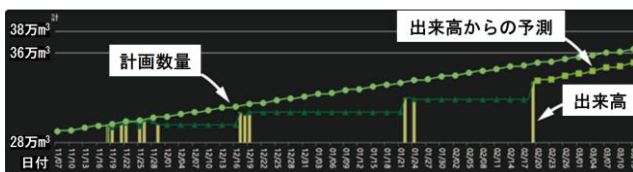
施工中において土量の出来高を管理する業務は継続して行う必要があるため、点群から体積の変化量を計算するフローを自動で実行することで、職員の分析作業を軽減する機能を実装した。図－7はプラットフォームに表示した点群に体積を自動計算するエリアをポリラインで設定した状態である。エリア設定を事前に行うと、新しい点群がプラットフォームにアップロードされた際にエリア内での体積変化を自動計算することができる。また、施工の計画と実績を比較する機能も有しており、施工の開始日と終了日、設計数量を入力すると、図－8に示すように体積の計算結果（出来高）と合わせて計画数量がグラフに表示される。このように、このプラットフォームを利用して施工の進捗状況を可視化することで予実積の管理が可能になり、迅速かつ定量的な施工管理が実現する。すなわち、3.1で述べた自動運用型ドローンと本機能を組み合わせて活用することで、少ない手間で高頻度な進捗管理が可能となる。



図－6 点群の差分計算結果



図－7 体積を自動計算するエリアの設定

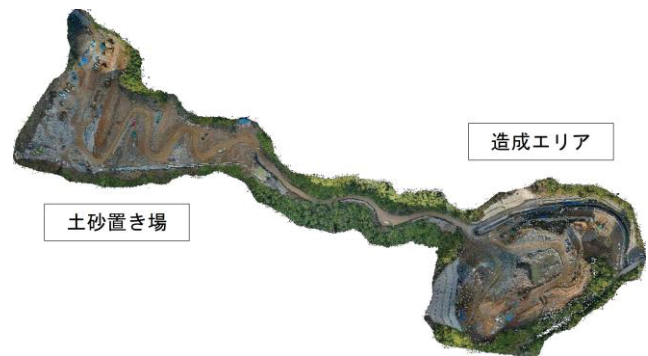


図－8 進捗を可視化した画面

5. 適用現場とデジタルツインの活用効果

デジタルツインを建設現場に適用した際の施工管理への効果を検証するため、開発したプラットフォームとデータの取得・処理を自動化するシステムを実際の大規模造成工事の施工管理に導入した。この現場は、図－9に示したように、延長が約750m、高低差は約140mであり、切土数量は約37万 m^3 、盛土数量は約42万 m^3 である。当現場では造成エリアで発生した土砂を重ダンプで土砂置き場へ運搬・盛土することから、地形が日々変化することに加え、重ダンプの運行で他の現場車両の場内移動が制限されている。このような現場状況に対してデジタルツインを導入することで施工管理が大幅に効率化するものと推測し、この現場で当システムを試行することとした。運用期間は3カ月間で、期間中に取得した各種データをプラットフォームに入力し、施工管理の実務において活用した。以下にデジタルツインの活用シーンと効果

を示す。

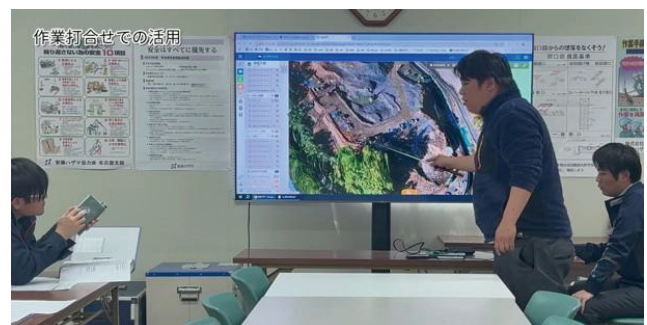


図－9 適用現場の全体図

5.1 打合せでの情報共有

現場の職員は自らが担当する工種やエリアにおいて、関係する協力業者と毎日打合せを行っている。従来は2次元の設計平面図や施工図を用いて打合せを実施していたが、それらの図面には作業の進捗具合や資材の場所が反映されていないため、情報不足による勘違いなどが発生することがある。そこで、毎日の昼礼にデジタルツインのプラットフォームを活用した。

図－10は前日の午後に自動運用型ドローンで取得した点群やオルソ画像、DSMを反映したプラットフォームの仮想空間を会議室の大型ディスプレイに表示し、職員や協力業者間で最新の状況を共有している会議の様子である。このように最新の現場状況が反映された仮想空間を用いることで、錯綜する作業の障害にならない資機材の置き場所や重ダンプが往来する中での大型車両の走行ルートの指示、現場巡視で不備のあった場所の是正指摘などが詳細かつ円滑に実施できることを確認した。指示を出す側と受け取る側の双方が同じ仮想空間に基づいて協議することで、関係者間での理解度が向上し、手戻りの防止と情報共有の効率化に寄与することができた。



図－10 昼礼でのデジタルツインの活用状況

5.2 遠隔地からの状況確認・計測

翌日以降の作業指示書や計画書を作成する際には、現況の把握が不十分だと的確な指示書の作成は困難である。そのような場合、現場へ移動して最新の状況を目視で確認することが一般的だが、デジタルツインの仮想空間を用いることで、事務所等の遠隔地から状況を知ることができる。今回の適用現場の例では、現場状況の確認のために事務所から現場へ移動すると往復で最低でも20分を要するが、仮想空間では2～3分で同等の情報を得ることができた。具体的には、盛土の仕上がり高さ(図-11)、ヤードの広さ、工事用道路の状態、敷き鉄板の位置、沈砂池の状態の確認などにおいて移動時間を削減する効果が確認された。適用現場は事務所から現場までの距離が比較的近かったが、現場までの距離が遠くなるほど移動時間の削減効果は増加することとなる。

この現場の主任クラスの職員を対象に、仮想空間のオルソ画像を用いて図-12に示す作業指示書の作成の試行を実施した。この方法により、事務所内において最新の現場状況を把握し、各協力業者がいつ、どこで、何の作業を実施するかを明確に決めることができた。図-12には、資機材が搬入される場所と時間、各協力業者の作業内容と作業エリア、安全通路を設置する場所等がポリラインと文字で明記されている。特に、オルソ画像に指示を書き込んだことで誰が見ても理解しやすい指示書としたことから、共通認識を持つことが容易になったとの評価を得ている。

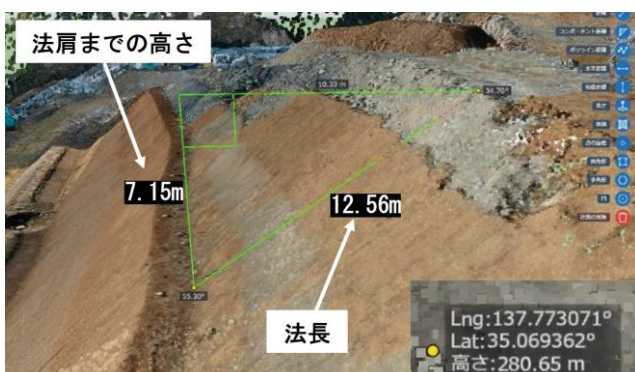


図-11 点群での盛土高さの確認状況



図-12 オルソ画像を用いた作業指示書の例

5.3 土砂運搬量の進捗確認

異なる時期の点群の差分からその期間における土砂の変化量を計算し、土工の進捗確認に活用した。現場への適用期間中は、造成エリアの掘削および土砂置き場への土砂運搬・盛土が継続して行われていた。そこで、前述したように、日々の現場地形を自動運用型ドローンで計測し、プラットフォームの点群を更新することで、点群の差分から現場の切盛り土量を計算した。計算の結果を図-8で示した施工進捗の分析機能を用いて設計値に対する現在の進捗として表した。これにより、現場職員は測量や計算に労力を費やすことなく、土砂運搬量を確認して予実積管理をすることが可能になった。さらに、従来は出来高の把握を1カ月に1回程度の頻度で平均断面法にて行っていたのに対して、この方法を用いることで、1週間に1回の頻度での管理を実現することができた。

5.4 データ取得の自動化による業務の軽減

自動運用型ドローンを活用したことで、現場全域の3次元形状の計測にかかる職員の負担を軽減することができた。従来のドローン写真測量と自動運用型ドローンによる写真測量に関わる作業時間の比較を図-13に示す。この図からもわかるように、本手法ではデータの回収およびダウンロードでは、ドローンが撮影した写真は自動でアップロードされ仮想空間に反映されることから、職員の手作業はゼロになった。SfM解析の準備についても、クラウド型の自動SfM処理サービスとAPI連携しているので、標定点を手動で選択する等の作業は必要ない。加えて、RTK測位に対応したドローンを採用したことで、SfM解析に必要な標定点の数が大幅に削減され、測量に要する時間が大幅に軽減された。一方、飛行プランの作成、現場への移動・飛行に要する時間は従来と同等であ

るため、結果として1回の計測あたりの作業時間が9.5時間から2.5時間となり、約74%の作業時間を削減することができた。

なお、現場における局所的な計測では、iOSアプリによるデータ取得デバイスを活用した。現場でトラブルが発生した際やパトロール中に発見した仮設足場の不備を図-14のように撮影し、画像や映像をその場でプラットフォームの仮想空間に反映することで、事務所にいる所長や主任が状況を正確に把握し、迅速な対応を取ることができた。

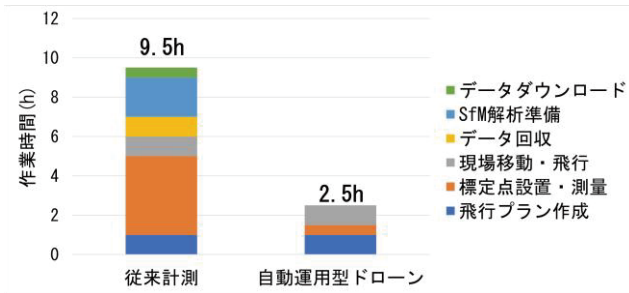


図-13 ドローン写真測量の作業時間削減効果



図-14 タブレットでのデータ取得状況

5.5 その他の業務への効果

ここまで挙げた活用シーン以外にも効率化が確認できた施工管理業務が存在する。利用したプラットフォームの機能は2, 3, 4章で述べたものであり、効果があつた業務内容を若手、中堅、所長・副所長の職位ごとに整理した結果を表-1に示す。現場における若手、中堅、所長・副所長の業務内容は異なるが、全ての職位において何らかの業務改善効果があることを確認した。すなわち、若手職員は移動時間の削減や協力業者との情報共有がスムーズになることで手戻りが減るなどの作業時間の短縮が、中堅職員は点群での土量出来高の計算や仕上がり高さの確認等の業務プロセスを変革することによる効

率化を高く評価する結果となった。所長や副所長など現場の責任者は、指示出しやステークホルダーとの協議をする立場であることから、最新の正確な現場状況を反映した仮想空間を用いた確実な情報共有について、本システムによる効果を高く評価する結果となった。

表-1 効率化する業務の一覧

立場	業務内容	効果
若手	職長と作業場所、搬入箇所の打ち合わせ	情報共有
	ドローンでの定点写真の撮影	時間削減
	大雨の翌日、沈砂池の濁り状況の確認	時間削減
	新しく赴任した職員へ現場状況の説明	情報共有
中堅	現場の最新状況がわかる平面図の作成	時間削減
	計画書や手順書などの作成	時間削減
	点群での土量出来高の計算	業務の変革
	点群での切盛土の仕上がり高さ確認	業務の変革
所長 副所長	要是正箇所の指摘、気になる箇所の聞き取り	情報共有
	社内監査での現場状況の説明	情報共有
	点群やオルソ画像での現場状況の確認、説明	時間削減

6. 現場職員がデジタルツインに期待するもの

施工中の現場にデジタルツインを適用して継続運用する中で、施工管理を担当する現場職員を対象としてデジタルツインに今後求めるものや期待する効果についてヒアリング調査を行った。代表的なものを以下に挙げる。

- ・デジタルツインの展開が進み、全国の建設現場の3次元形状データが高い頻度で更新されるようになれば、各工種のスペシャリストが遠隔から複数の現場を管理するような働き方が実現する。
- ・仮想空間には現実空間を再現するだけでなく、作成した検査帳票や計画書等の書類データと連携すれば、より業務が効率化する。仮想空間上でエリアを選ぶと関連する書類データが表示されるイメージであり、表示される書類が少ない場所は管理が行き届いていない可能性があることの見込みとなる。
- ・仮想空間内での操作や指示が自動的に現実空間にフィードバックされるとよい。現状では、指示の伝達と作業の実施は人間によるものだが、例えば仮想空間内で指定した場所に現実空間の自立型ロボットが向かい作業すれば、仮想空間と現実空間がシームレスになる。

以上のように、新しい働き方を期待する意見や既存業務と連携して、さらなる効率化を図る考えが示された。

生産性の向上が不可欠な状況下において、デジタルツインは単なる新技術に留まらず、建設業界全体の仕事のあり方そのものを変革する基盤になると考える。

7. まとめ

本稿では、現場職員の施工管理業務を効率化することを目的として開発したデジタルツインのプラットフォームの特徴や機能を述べると共に、大規模造成工事の施工管理業務に適用した際の効果を検証した。本報告で述べた独自開発のプラットフォームは、データの取得・処理を自動化する自動運用型ドローンや iOS アプリと連携し、3次元形状データの更新が容易であることが強みである。また、本プラットフォームの現場における活用シーンと効果は多岐にわたり、作業打合せの理解度向上、移動やデータ処理時間の削減、定量的な進捗の分析など、あらゆる立場の職員の施工管理業務の効率化に有効であることを確認した。

今後はデジタルツインのプラットフォームを標準的なシステムとして他の造成工事への普及展開を進めていくと共に、ダム、トンネル等のより多様な工種の現場へ適用できる汎用的な技術として機能の高度化を図る。加えて、ICT 施工が急速に普及・進歩している昨今では、さまざまなデータの統合的な管理も求められているため、IoT センサのポータルサイトとしての役割も担えるようなプラットフォームとする。これにより、現場の職員が期待する理想的なデジタルツインが実現すれば、建設現場に新たな価値を創造する足がかりとなるものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 国土交通省：i-Construction2.0～建設現場のオートメーション化～、<<https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001738240.pdf>>、(入手 2025. 10. 2)。
- 2) 八竹英紀：製造業におけるデジタルツインの実現解、システム／制御／情報、Vol. 69, No. 3, pp. 80-85, 2025。
- 3) 目黒雅昭：スマート化に向けたデジタルツインの展開と課題、社会情報学会大会研究発表論文集、2023 巻, pp. 73-78, 2023。
- 4) Aritra, P., Jacob J. L., Shang-Hsien, H., Mani, G. F.: Automated vision-based construction progress monitoring in built environment through digital twin, Developments in the Built Environment, Vol. 16, 100247, 2023。
- 5) Ashtarout, A., Hala, N., Nadine, A., Anwar, A., Juliano, T., Harald, U., Christian, S.: Digital Twins in the Construction Industry: A Perspective of Practitioners and Building Authority, Frontiers in Built Environment, Vol. 8, 834671, 2022。
- 6) 山中哲志, 湯淺知英, 西川輝, 安田晋, 毛利亮太: 建設施工段階におけるデジタルツインを構成するデータ基盤の開発, AI・データサイエンス論文集, 4 巻 3 号, pp. 924-931, 2023。
- 7) Cesium GS, Inc.: Cesium The Platform for 3D Geospatial, <<https://cesium.com/>>, (入手 2025. 10. 27)。
- 8) 澤城光二郎, 早川健太郎, 星加夢輝: 建設現場の施工管理を変革するデジタルツインプラットフォーム, 土木情報学シンポジウム講演集, vol. 49, pp. 125-128, 2024。

Assessment of the impact of digital twins on construction management efficiency

Kentaro HAYAKAWA, Kojiro SAWAKI and Yumeki HOSHIKA

To enhance the efficiency of construction management at construction sites, we applied our proprietary digital twin platform along with a system that automates data acquisition and processing to an ongoing earthwork site, verifying its effectiveness. The following benefits were confirmed: preventing rework through clear information sharing using virtual spaces, reducing travel time by enabling remote status checks, enabling quantitative forecast and actual management through progress analysis using point clouds, and reducing the workload of 3D shape measurement and updating tasks using autonomous drones. Furthermore, we summarized the tasks where digital twins can be effectively utilized in construction management operations. We found that the evaluation of the effects obtained from the introduction of digital twins varies among different positions, such as site managers, chief staff and junior staff.
