

(70) 3次元点群データを基盤とする 施工現場デジタルツインの検討

山口 愛加¹・田中 友悠²・窪田 諭³

¹学生会員 関西大学大学院 理工学研究科環境都市工学専攻 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

E-mail: k422541@kansai-u.ac.jp

²非会員 関西大学 環境都市工学部都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

E-mail: k836059@kansai-u.ac.jp

³正会員 関西大学教授 環境都市工学部都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

E-mail: skubota@kansai-u.ac.jp

都市空間においては、デジタルツインを志向した現実空間とサイバー空間を連携するプロジェクトがある。建設事業において国土交通省が i-Construction の取り組みを進めており、ICT を導入することによって施工現場における生産性の向上を図っている。しかし、施工分野においてデジタルツインのためにデータを蓄積する取り組みは少ない。施工分野において現場の進捗や環境情報などの取得データを定義することにより、安全管理、品質管理、施工不良の原因究明など二次的な利用が可能となる。本研究では、施工現場の3次元空間化に用いるデータとして施工現場で取得可能なデータを考察し定義して、施工中または施工後に作業進捗を確認できる3次元点群データを基盤とするデジタルツインを検討する。また、施工現場の可視化とデータ取得に係る課題を明らかにする。

Key Words: *digital twin, i-Construction, construction schedule management, quality management, safety management*

1. はじめに

建設事業においては、国土交通省が ICT を導入することにより施工現場の生産性の向上を図る i-Construction の取り組みを推進している。こうしたなか、総務省が2030年に期待される CPS (Cyber Physical System) の考えを用いた社会像である Society5.0 の提言¹⁾を公表した。CPS の考えに基づいてデータを収集し、それを3次元空間上に可視化したものがデジタルツインである。国土交通省が主導する PLATEAU や静岡県の VIRTUAL SHIZUOKA などの都市空間のデジタルツインに関する取り組みが盛んである。国土交通省は2020年度よりインフラ分野の DX (デジタル・トランスフォーメーション) 推進本部を設置し、インフラ分野の DX を実現するための方針を掲げており、データ活用における研究開発を推進している²⁾。施工分野では、現場の進捗や環境情報などから施工空間を可視化すると、安全管理、品質管理、施工不良の原因究明などへの利用が可能となる。また、生産性向上の取り組みとして計画段階から維持管理までのデータ仕様の

定義や実証実験³⁾が行われている。今後 Society5.0 の時代を迎えるにあたり、施工空間においても発生するデータを保持し、流通させ、必要な場面に活用していく仕組みづくりが必要である。先行研究⁴⁾では、デジタルツインを前提とした河川管理 DX を提案しているが、施工分野においてデジタルツインを志向し、施工現場の情報を収集し管理する取り組みは少なく、施工現場においてデジタルツインを実現するための施工現場で取得可能なデータの定義は明らかでない。

本研究では、施工管理の高度化と施工現場におけるデジタルツインの実現を目的として、施工現場で取得可能なデータを考察し、定義して、施工中と施工後に進捗を確認できる3次元点群データを基盤とするデジタルツインを検討する。まず、施工現場で取得されるデータを活用するためのユースケースを示す。次に、施工現場の3次元空間を可視化するためのデータ定義を行う。最後に、3次元点群データを施工の記録として活用し、そこに施工現場で取得されたデータを表示するデジタルツインを考察することによって、施工現場の可視化とデータ取得

に係る課題を明らかにする。

2. 建設事業における現状と課題

施工管理の業務において、ICT を活用した管理業務の効率化が求められている。しかし、施工現場で取得・活用されるべきデータが定義されていないことが課題である。

施工現場のデジタルツインを考察するにあたり、施工現場で取得されるデータの有用性を明らかにするために、デジタルツインに関連する研究⁵⁾、データ定義に関連する取り組み⁶⁾、現場でのサービス事例⁷⁾、および IoT/IoE に関連する取り組み⁸⁾などを調査した。施工現場で発生するデータは施工中に取得、蓄積されることにより、工程管理では3次元地形データを工事進捗の記録としての活用、品質管理では遠隔臨場に係る映像や3次元地形データの活用、安全管理では作業員個人の位置情報やバイタルデータの活用が可能である。これらのデータは、ログとして日々の施工から保存されることが重要であるが、施工現場においてデジタルツインを実現するために、計画段階から竣工まで取得されるデータを蓄積していく取り組みはない。その要因は、データを蓄積することによるメリットが明らかとなっていないこと、施工現場からデータを取得するためのデータ定義が存在しないこと、ICT 建機やウェアラブルデバイスからログを自動的に取得することと異なり、人為的にデータを取得する作業が作業員に負担をかけてしまうためであると考察する。

そのため、施工現場のデータ取得と可視化に係る手法と施工現場デジタルツインを構築する際の課題とを明らかにする必要がある。

3. デジタルツインを志向した施工情報の定義

(1) 施工現場デジタルツインの定義

施工現場デジタルツインのイメージを図-1に示す。これは、データの変遷を蓄積していくデジタルスレッドの考えに基づき、施工現場の起工から施工、竣工まで、土木構造物の建設中すべての期間において、日々の進捗や工事の記録をデータとして収集し、蓄積する。また、そのデータを基にデジタル上に3次元点群データを基盤とした3次元の施工現場を構築し、現場へのフィードバックとして、日々の蓄積されたデータを表示して、施工計画などに活用することを想定する。施工現場デジタルツインの施工中の役割として、過去の記録と現在の把握、未来の予測の3つがある。過去の記録を蓄積することによって、後工程でデータが必要になった際に参照できる

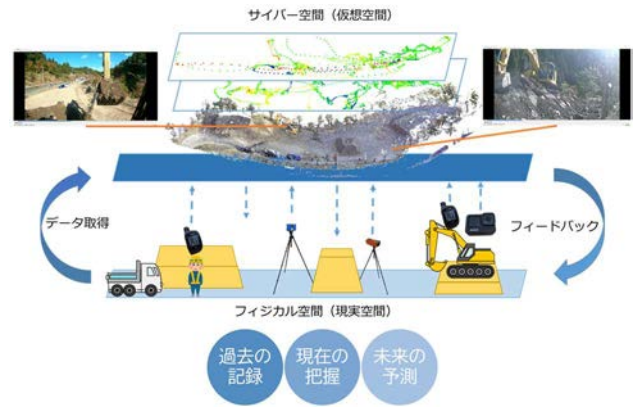


図-1 施工現場デジタルツインのイメージ

データ蓄積基盤となり、デジタル上に3次元の施工空間を再現することによって、現実世界の状況を反映させることが可能となる。また、これまで蓄積されたデータから施工進捗を予測することで、施工計画の調整やボトルネックの解消につながる。

(2) ユースケースの考察

施工現場デジタルツインでは、3次元点群データを基盤として座標軸による重ね合わせによりデータを表示する。3次元点群データには絶対座標を付与し、他のデータを重畳できるようにする。施工現場デジタルツインの活用シーンとして、3次元点群データ、バイタルデータや映像などの取得されるデータについて国土交通省の要領などを参照し、施工管理業務における工程管理、品質管理、安全管理の3つのユースケースを設定した。

a) 工程管理

レーザスキャナや UAV (Unmanned Aerial Vehicle) などの計測機器により日次単位で取得した現場地形の3次元点群データを記録し、過去のデータと重ね合わせて日々の進捗を把握する。また、作業員が装着したウェアラブルデバイスからバイタルデータを取得し、作業量の可視化に利用する。

b) 品質管理

施工不良や不備が発生した際に、デジタルツイン上に収集したデータを基に当時の状況を再構築し、施工ミスが発生した原因を特定する。さらにデジタルツインとして施工現場の情報を集約することによって、遠隔臨場をデジタル空間上で行う。

c) 安全管理

作業員のバイタルデータから体調の変化を定量的に評価することにより体調管理を行う。建機と作業員の位置情報から、接触事故が発生しやすい場面を分析し事故防止に活用する。

(3) 施工現場で取得されるデータの分類

本研究では、状況が常に変化する施工現場の特性から、自動運転でのダイナミックマップ LDM (Local Dynamic Map) ⁹⁾におけるデータ階層を参考にデータを分類する。ダイナミックマップ基盤は、データの変化の速さに応じて動的情報、準動的情報、準静的情報、静的情報の4つの階層に分類される。本研究では取得頻度が比較的短く、一日の中で取得されるべきものを「動的データ」、逆に取得頻度が比較的長く、一日以上の期間を開けて取得されるべきものを「静的データ」と表現する。施工現場において取得されるデータが常に最新となるよう、各項目に対して取得頻度を定義した。まず、施工現場におけるデータの発生要因に基づき、人が取得するスキャンデータとデバイスが自動的に取得するセンシングデータの2つに分類し、それぞれに対し取得頻度を定義した。例えば、作業員の位置情報などのセンシングデータは秒単位、現場の地形を可視化する3次元点群データなどのスキャンデータは日次単位などの取得とした。次に、ユースケースで示した活用場面を想定し、取得すべきデータについて、国土交通省の要領などを基に図-2に示すクラス図を作成した。

4. 土工現場における施工情報の取得・処理

第3章のデータ定義に沿って、施工現場のデジタルツインを構築する課題を明らかにすることを目的とし、2021年11月1日～4日に岐阜県揖斐川町の道路拡幅工事の施工現場と盛土造成工事の仮想現場でデータを取得した。施工現場の状況を可視化するための基盤データとして、レーザスキャナを用いて3次元点群データを取得した(図-3上段左)。作業員が装着したスマートウォッチ

から作業員の位置と心拍数(図-3上段中央)を、ヘルメットに装着したアクションカメラから作業員の視線映像(図-3上段右)を取得した。また、作業状況の記録や施工中の重機の稼働状況、作業員の移動状況把握するために、ビデオカメラと全天球カメラによる定点映像と重機に取り付けたアクションカメラによる映像を取得した(図-3下段)。現場で取得した3次元点群データと作業員の位置情報は相対座標を持つため、取得した3次元

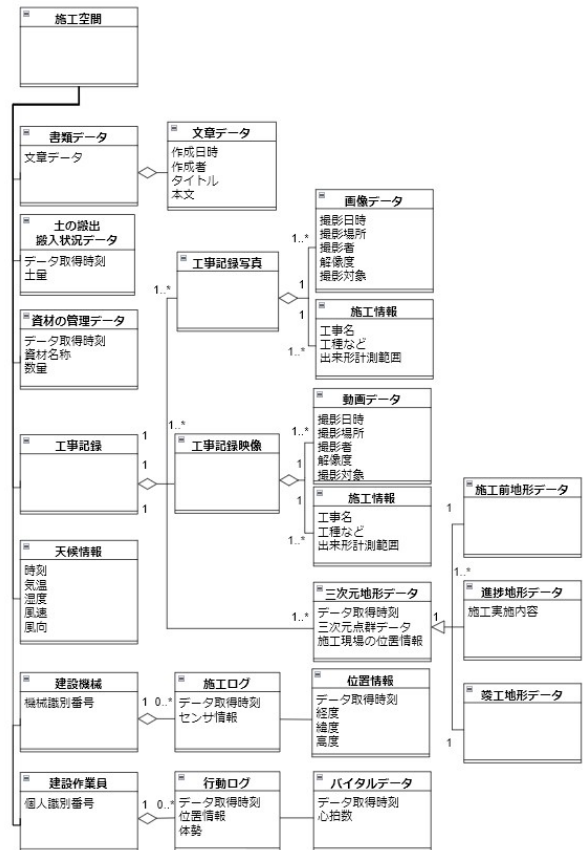


図-2 施工現場で収集されるデータのクラス図

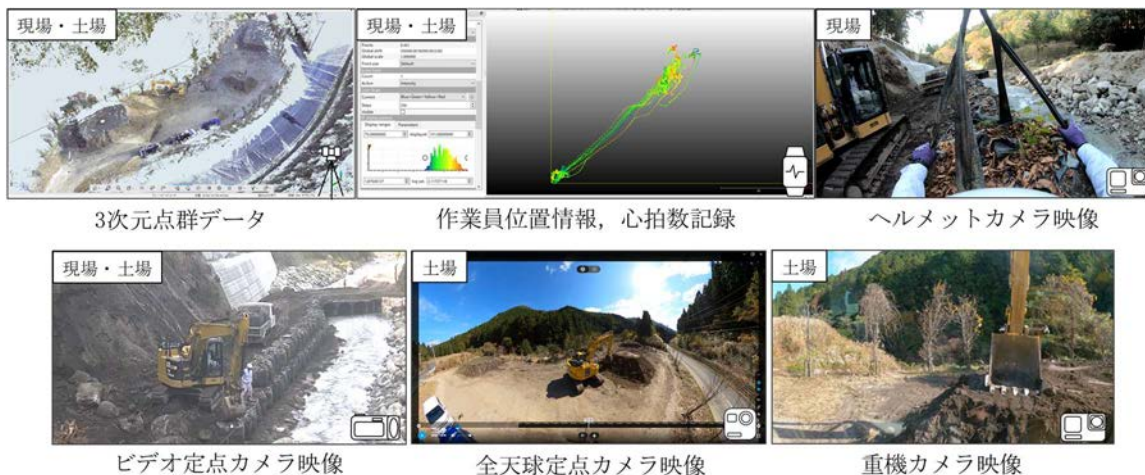


図-3 取得したデータ一覧

点群データと作業員の位置情報に平面直角座標 7 系による座標変換を行い，点群データ編集ソフト CloudCompare 上で可視化した（図4）。

5. ユースケースの実現可能性についての考察

ユースケースの実現可能性を検証するために，デジタル空間上に取得した 3次元点群データ，映像データおよびバイタルデータを用いて施工現場を構築する試行を行う。工程管理には，現場進捗として 3次元点群データを用い，現場状況を映像から確認する手法が有効といえる。図4に示すように，作業員の移動軌跡を点で表示して，取得時刻を付与できたが，時間軸による管理には至らなかった。品質管理と安全管理では，3次元点群データとバイタルデータ，映像データのような異なる形式のデータを取得した。デジタルツインとしてデジタル上に現場を構築する観点からは，異なるファイル形式のデータと同じソフトウェア上で確認する手法の確立が課題である。

施工現場で取得した各データを分析することにより，施工現場デジタルツインを実現するうえでの知見を得た。3次元点群データは，日々の施工進捗を記録する役割を持つが，進捗を 3次元的に把握するためには，進捗の差分を数値や色で表現する手法が必要である。バイタルデータは，3次元点群データとして可視化することができ，用途によって表示方法を変えることが効果的であるが，作業量や体調の変化を捉えるための閾値の設定，時間軸の管理により作業員の位置をリアルタイムに表示することが課題である。映像データは現場状況を記録する手段として有用であるが，その確認や表示を効果的にすることが必要となる。スキャンデータは人為的に収集するという特性上，高頻度にデータを取得する方法が難しい。特に日々単位で 3次元点群データを取得することは，スキャン位置の選定と 3次元スキャンに時間を要することから，実現場では困難である。これを解決する手段として，作業員に取り付けたヘルメットカメラより日々記録する映像から SfM (Structure from Motion) を用いて 3次元点群データ (図5) を高頻度に作成する手法が有効である可能性が示唆された。

6. おわりに

本研究では，施工現場のデジタルツインの実現を目的として，施工現場で取得するデータを定義し，ユースケースやデジタルツインを構築する際に課題となる点を示した。今後，ユースケースとして，複数日のデータを用いた施工進捗の可視化の実証を積み重ねる。

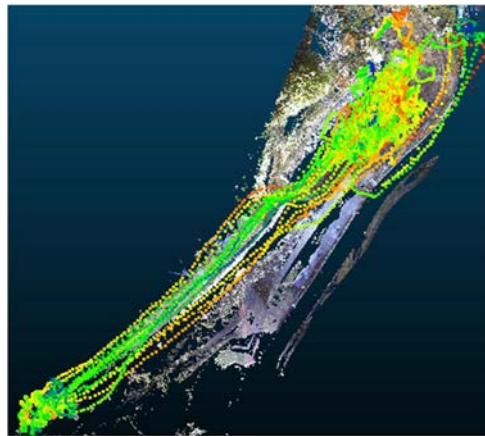


図4 3次元点群データに作業員の位置情報を重畳



図5 ヘルメットカメラ映像から作成した 3次元点群データ

参考文献

- 1) 総務省：情報通信白書 第4章 5Gのその先へ，2020.
- 2) 国土交通省：インフラ分野のデジタル・トランスフォーメーション (DX) 施策，<https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000073.html>，(入手 2022.4.26) .
- 3) 椎葉祐士，小林一郎，山根裕之：土工における 3次元データの情報運用と利活用に関する一提案，土木情報学シンポジウム講演集，Vol.39，pp.29-32，2014.
- 4) 藤井純一郎，吉田龍人，天方匡純：デジタルツインを活用した都市河川管理業務における DX の提案，AI・データサイエンス論文集，Vol.2，No.J2，pp.49 5-502，2021.
- 5) Ye, C. et. al: A Digital Twin of Bridges for Structural Health Monitoring, *Proceedings of the 12th International Workshop on Structural Health Monitoring*, 2019.
- 6) 国土交通省：資料 3-4 国内データ交換の標準化，<https://www.mlit.go.jp/tec/h30tec_tk_000038.html>，(入手 2022.6.9) .
- 7) “KOMATSU SMART CONSTRUCTION”，<<https://smartconstruction.komatsu/>>，(入手 2022.5.23) .
- 8) 社会基盤情報標準化委員会特別委員会：ICT を活用した画像・映像情報の利活用のあり方に関する提言～中間とりまとめ～，2021.
- 9) ETSI TR 102 863 V1.1.1 : Intelligent Transport Systems (ITS) ; Vehicular Communications ; Basic Set of Applications ; Local Dynamic Map(LDM) ; Rationale for and guidance on standardization, 2011.