

第7回 「i-Constructionの推進に関するシンポジウム」

発 表 論 文 集

令和7年（2025年） 7月22日

於 土木学会

主催 土木学会建設マネジメント委員会
(企画 i-Construction特別小委員会)

第7回「i-Constructionの推進に関するシンポジウム」投稿論文一覧

テーマ	番号	論文題目	氏名 [勤務先]	頁
①現場生産性／ コンクリート・ 鉄筋・管工事	1	成瀬ダム堤体打設工事における台形CSGダムの生産性向上の取組み	大木洋和 [鹿島建設株式会社]	1
	2	建設用3Dプリンタの出来形および品質の確認方法に関する検討	櫻井 真 [国土技術政策総合研究所]	5
	3	低炭素型自己充填コンクリートを用いたトンネル覆工の生産性向上	三浦裕寿 [国土交通省中国地方整備局]	9
	4	点群データから生成した3Dモデルを用いた配筋検査システムによる省力化効果とBIM/CIMの活用に向けた取り組み	中野嵩士 [DataLabs 株式会社]	13
	5	管工事における3次元計測技術を用いた施工管理の効率化と生産性向上	北野哲司 [東邦ガスネットワーク株式会社]	17
	6	建設現場の最適化検討	小川雅博 [国土交通省中国地方整備局]	21
②施工段階の データ管理	1	建設施工段階の段階確認等への適用による共通データ基盤（R-CDE）の有用性評価	松下文哉 [東京大学]	25
	2	令和4年度美和ダム上流土砂掘削工事におけるデータマネジメントの活用	古瀬 渉 [小澤建設株式会社]	29
	3	ICT施工StageⅡチャレンジによる施工履歴データ活用事例	永原和久 [外蘭建設工業株式会社]	33
	4	ICT施工StageⅡの推進に資する工程進捗データ流通環境の整備に関する課題	二宮 建 [国土技術政策総合研究所]	37
	5	国道4号箱堤高架橋上部工工事におけるDXの取組み	壽系亘平 [高田機工株式会社]	41
	6	下水道管路施設の通報対応業務における意思決定支援ツールのプロトタイプ開発	丸山涼介 [東京大学]	45
③維持管理／ 道路・橋	1	小型ドローンを活用した栈橋式岸壁における上部工下面の効率的な点検手法について	川端志歩 [国土交通省四国地方整備局]	49
	2	防災・メンテナンスの時代におけるICT/DXを活用した宇都宮国道事務所の取り組み	森 芳徳 [国土交通省関東地方整備局]	53
	3	XAI(Explainable AI)による道路附属物点検の高度化—北大との連携協定に基づくインフラ管理のイノベーション「NORTH-AI/Eye」の推進	今西将也 [国土交通省北海道開発局]	57
	4	Graph Transformerによる橋梁部材要素位置を考慮したマルコフ連鎖劣化予測モデル	稲富翔伍 [東京大学]	61
	5	電線共同溝における地下埋設物の「見える化」に向けた取り組みについて	渡辺朝晴 [国土交通省近畿地方整備局]	65
	6	3次元点群データとGISを活用した歩道路面評価手法の検討	盛 祥平 [北見工業大学]	69
④維持管理	1	BIM/CIMモデルの属性情報を活用した盛土のリスク評価に関するシミュレーション	小林 純 [株式会社不動テトラ]	73
	2	AIを活用した河川の環境変化予測について	平田元気 [国土交通省近畿地方整備局]	77
	3	自律飛行型UAVによる砂防施設点検計画作成	小池利章 [国土交通省関東地方整備局]	81
	4	360度画像を活用したインフラ点検情報管理システム：雨水排水管事例研究	陳 瑜 [東京大学]	85
	5	レーザ光を用いたカメラ位置姿勢推定における断面形状への依存性を考慮した構造光の実装	伊賀上卓也 [東京大学]	89

第7回「i-Constructionの推進に関するシンポジウム」投稿論文一覧

テーマ	番号	論文題目	氏名 [勤務先]	頁
⑤災害復旧／ 防災／無人化	1	国道249号大川浜工区における無人化施工	木村翔起 [株式会社大林組]	93
	2	ドローンの自動飛行による港湾施設の災害後異常確認 実証実験	井上裕司 [中央復建コンサルタンツ株式会社]	97
	3	雲仙・普賢岳 警戒区域内の維持管理の取り組みについて ～無人化施工とドローンによる砂防設備点検～	岩田和宙 [国土交通省九州地方整備局]	101
	4	令和6年能登半島地震における自動走行技術の適用と その評価	飛鳥馬翼 [株式会社熊谷組]	105
	5	災害復旧現場におけるICT搭載型高所無人掘削機に よる遠隔操作での初施工	山沖呼対 [国土交通省四国地方整備局]	109
	6	多様な環境に適応しインフラ構築を革新する協働AI ロボット（河道閉塞の緊急調査と応急復旧作業を実現 するシステムのインテグレーション）	永谷圭司 [筑波大学]	113
⑥業務デジタル化	1	BIM/CIM活用業務・工事成果品の効果的な活用に向けた 管理ファイル案	鈴木淳史 [国土技術政策総合研究所]	117
	2	河川法許可審査の自動化のための審査基準のデジタル化	矢本貴俊 [東京大学]	121
	3	3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）の改定に ついて	桐井健一 [国土技術政策総合研究所]	125
⑦データ連携／ デジタル化取組	1	海岸工事（人工リーフ改良）におけるICTの活用について	藤井久忠 [共和土木株式会社]	129
	2	鋼橋の設計データ連携と3Dモデル活用による手戻りゼロ を目指した取り組み	保田敬一 [オフィスケイワン株式会社]	133
	3	有向非巡回グラフに基づくタスク分解を活用した i-Construction ロボット用データセットの構築	王 永東 [東京大学]	137
	4	DXデータセンターにおける3次元モデル等の利用実態	光谷友樹 [国土技術政策総合研究所]	141
	5	関東地方整備局におけるi-Construction2.0の取組	古平 崇 [国土交通省関東地方整備局]	145
	6	国総研におけるDXリテラシー向上の取組 （プロジェクトDX）について	大城 温 [国土技術政策総合研究所]	149
⑧システム開発	1	3DWebGISを活用した観測データリアルタイムモニタ リングシステムの開発	藤原圭哉 [日本工営株式会社]	153
	2	関門航路の浚渫革命 ～リアルタイム測量が拓く先進的道標～	竹内桃花 [株式会社白海]	157
	3	電力消費量削減により脱炭素社会を目指して －交通流検知によるトンネル照明設備の制御－	田尻貴大 [国土交通省近畿地方整備局]	161

成瀬ダム堤体打設工事における 台形 CSG ダムの生産性向上の取り組み

大木 洋和¹・出石 陽一²・菅井 貴洋³

¹正会員 鹿島建設株式会社 成瀬ダム堤体打設 JV 工事事務所

(〒019-0803 秋田県雄勝郡東成瀬村椿川字立石 30-1) E-mail: hirokazu@kajima.com

²正会員 鹿島建設株式会社 マトロニクスソリューション部自動化施工推進室 (〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8)

E-mail: izushi@kajima.com

³正会員 鹿島建設株式会社 マトロニクスソリューション部自動化施工推進室 (〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8)

E-mail: sugait@kajima.com

成瀬ダムは、秋田県雄勝郡東成瀬村に建設中の国内最大規模の台形 CSG ダム^{注1)}である。当現場は東北地方でも有数の豪雪地帯に位置し、冬期の CSG およびコンクリートの打込みはできないため、打設期間は4月中旬～11月中旬の7ヵ月と限定されている。短い施工期間に品質と安全を確保した上で確実な施工が求められ、この要求を満足できるようにするため DX を活用した取り組みを行っており、その取り組みについて紹介する。

Key Words: DX, CSG, DAM, A4CSEL®, Labor saving, Autonomous

1. 成瀬ダム工事概要

成瀬ダムは、雄物川水系成瀬川（秋田県雄勝郡東成瀬村）に建設中の多目的ダムであり、型式は「台形 CSG ダム」を採用、堤高 114.5m、堤頂長 755m、堤体積 485 万 m³、総貯水容量 7,850 万 m³で、同型式としては堤高 100m を初めて超える国内最大規模となる。本工事では、建設機械の自動運転を核とした次世代建設生産システム「A⁴CSEL（クワッドアクセル）」を適用し、それに連携して CSG を製造、運搬する「CSG 製造・出荷管理システム」などをはじめとする施工の合理化を推進することで、これまでにない堤体打設の超高速施工化を実現し、月間最大打設量（28.1 万 m³/月）の国内記録を更新した。

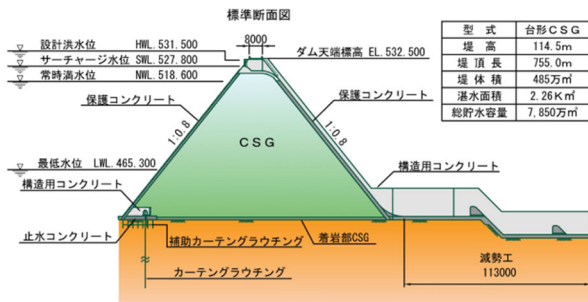


図-1 成瀬ダム標準断面

2. 自動化施工システム「A⁴CSEL®」

A⁴CSEL は、これまで労働集約的、定性的に行われていた建設工事を、①作業の標準化、②運転の最適化、③計画の最適化により、最小人員数かつ高い生産効率で実施できることが大きな特長である。人が作業データを送ると、建設機械が定型的な作業や繰り返し作業を自動で行う。このため、必要最小限の人員で複数の機械を同時に動かすことができ、施工の安全性および生産性が飛躍的に向上する。



図-2 A⁴CSEL 概要

以下に成瀬ダムにおける主な導入効果を紹介する。

(1) 作業の効率化

成瀬ダムでの自動ブルドーザによる CSG まき出し作業（敷き広げる作業）は、AI 手法、シミュレータによって最適化された作業計画をリアルタイムで作成し、その計画通りに行く。このため、有人運転よりも少ない動作でまき出しを行えることが大きな特長である。2022 年度の自動ブルドーザによる CSG まき出し量は1台当たり 254.4 m³/h と、有人運転 128.6 m³/h の約2倍であった。



写真-1 自動化施工全景

(2) 環境負荷の低減

A⁴CSEL の導入により、単位時間あたりの打設量の増大、建設機械の走行距離の短縮が可能となり単位生産量に対する燃料使用量が減り、CO₂の排出量の抑制につながった。自動運転でのまき出し作業 1 m³あたりの燃料使用量を有人運転と比較したところ、約 40～50%削減できたことを確認した。

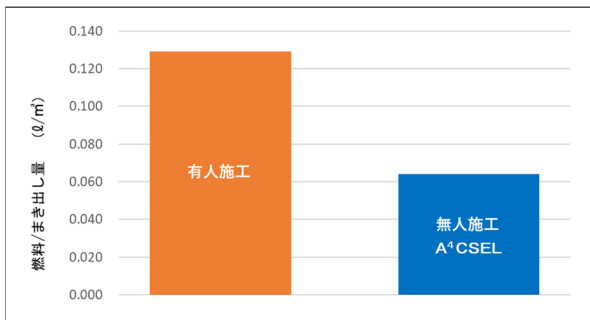


図-3 CSG敷均し時の燃料消費量比較（最大と最小比較）

(3) 省人化・安全性の向上

最大 14 台の自動化建機を 3 名の管制員で管制し、79% の大幅な省人化を実現した。自動化施工は建機に人が乗っていないため万が一の時でも人的災害が発生することはない、安全性の向上も同時に実現した。

A⁴CSEL を導入する複数現場の自動化建設機械を一括管制する「遠隔集中管制システム」を使って、鹿島西湘実験フィールド（神奈川県）に設置した遠隔管制室から、3 人の管制員が成瀬ダムに配置した自動ブルドーザ、自動振動ローラ、自動ダンプトラックなど最盛期には合計 14 台の自動化建設機械を稼働させ、2 交代制で CSG の堤

体打設を昼夜に亘って最大 72 時間連続施工した。



写真-2 遠隔地（神奈川県）からの自動化施工管制状況

3. 置き型枠自動スライドリフト

成瀬ダムでは堤体の上下流の表面が 75cm の階段形状となっている。コンクリートを打設するための型枠は、置き型枠として採用した H 形鋼（H400）を 2 段重ねにしたもので、1 セットの長さは 5m、重さにして約 1.8t になる。置き型枠は、CSG の高速施工に伴い養生期間等を考慮して 3 段分を配置する。

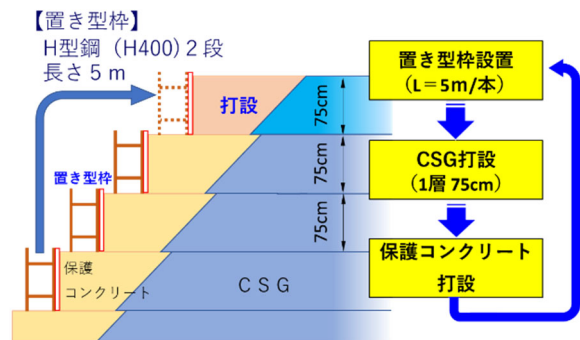


図-4 置き型枠の施工サイクル

ダムの型枠は、通常堤体の内部に設置した移動式クレーン等により設置するが、堤体内には CSG を打設するためのダンプ等多くの重機が動いているため、安全性に課題があるとともに生産性が阻害される一因となる。



図-5 従来工法での施工状況と課題

そこで置き型枠の設置には、設置したH型钢をレール替わりにして横移動を可能とした「置き型枠自動スライドリフト」を開発し運用した。これにより、堤体外部からの型枠作業を可能とし、堤体上の重機稼働エリアと分離することで安全性の確保と生産性維持の両立を実現した。

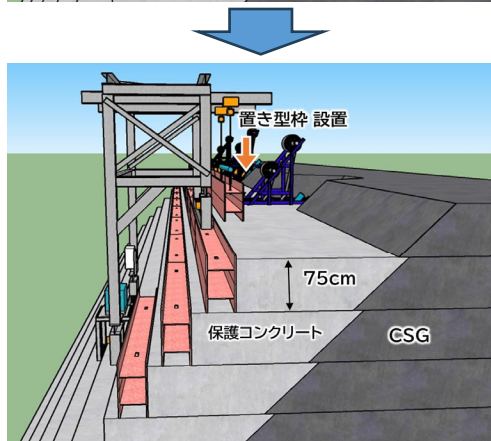
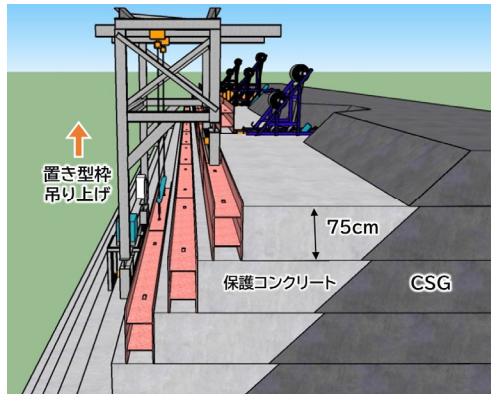


図-6 置き型枠自動スライドリフト施工概要

置き型枠自動スライドリフトは、最下部（3 段下）の置き型枠を、ボタン一つで引き上げから設置まで一連の作業を自動で行うことが可能で、作業の効率化により作業時間・人員の 80%低減を同時に実現した。

表-1 従来工との比較

項目	従来工法	本システム	効果
作業時間	150分	30分	80%低減
揚重機械	25t7フレンクレーン	置き型桟自動 スライドリフト	堤体上作業に 支障なし
作業人員	特殊作業員4人 クレーンオペ1人	普通作業員1人	80%低減

また、置き型枠自動スライドリフタと同様の移動機構を備えた止水板台車とおもり台車を併せて開発し、保護コンクリート打設時の施工設備配置に伴う CSG 打設を含めた生産性阻害要因を排除した。

おもり台車は、保護コンクリート打設時に発生する型枠への側圧を上載したおもり台車の重量により保持するものであり、従来工法のセパレータ溶接作業による型枠

固定が不要となり、型枠作業の生産性向上が著しく向上した。



写真-3 堤体上下流面で稼働する各台車

4. 越流部における自動スライド型枠

成瀬ダムの洪水吐き下流面は 1:0.8 の勾配となっている。そのため置き型枠ではなくダム用型枠をスライド可能な自動スライド型枠を採用した。本システムはタブレット端末からの指示だけで、コンクリート打設後の脱型から、次の打設箇所までのスライド・セットまで、人力を全く必要とせず自動で行うことが可能である。

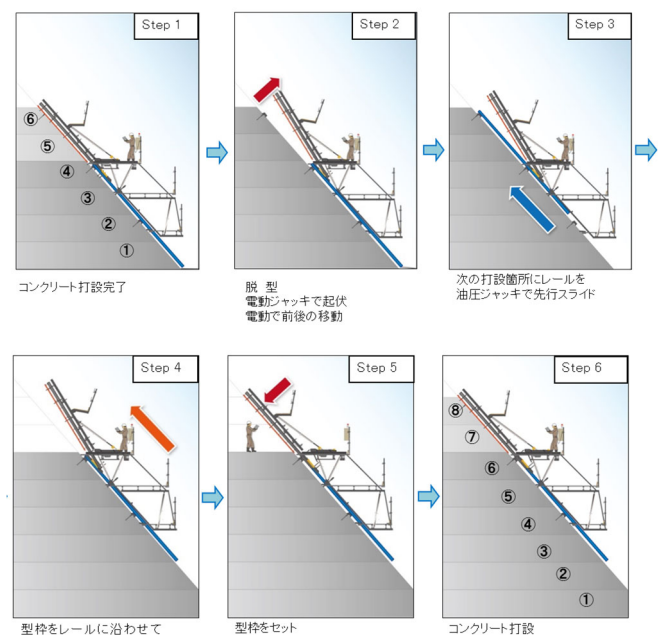


図-7 自動スライド型枠施工概要

クレーン作業を必要とせず、35%の作業時間・80%の人員の低減を同時に実現した。ダムフォームをスライドさせる際のズレを防止する同調制御や、型枠セット時の位置合わせをミリ単位で調節することも可能で、作業の精度も向上した。



写真4 自動スライド型枠運用範囲

自動スライド型枠の特徴は次のとおりである。

(1) 作業の省力化・平易化

電動モータを用いて脱型と水平移動を行い、油圧ジャッキによるセルフクライミング装置で鋼製型枠をスライドさせるもので、1人の作業員がタブレット端末を操作することで行える。とび工（型枠大工）、クレーンオペレータ等の特殊技能労働者でなくても作業を行うことができ、誰でも同じ精度で型枠スライド作業が可能となり、作業の省力化・平易化により、生産性が向上した。

(2) 作業人員の削減および作業時間の短縮

従来のクレーンによる型枠スライド作業に比べて、作業時間の短縮と作業人員の大幅削減が可能となった。

表-2 従来工との比較

項目	従来工法	本システム	効果
作業時間	280分	180分	35%低減
揚重機械	25t77テレクレーン	自動スライド型枠	堤体上作業に支障なし
作業人員	特殊作業員4人 クレーンオペ1人	普通作業員1人	80%低減

(3) 型枠スライドと堤体上作業の並行作業

これまで打設面に配置していたクレーンが不要となるため、スライド作業と並行して、打設面清掃・打設等の別の作業を行うことが可能である。コンクリートなどの材料運搬をするダンプトラックとクレーン作業との錯綜が減り、運搬効率の改善による打設速度を確保し、生産性及び安全性が向上した。

(4) 安全な高所作業

型枠作業のための足場（プラットフォーム）が躯体に常に固定されており、高所でも安全に作業ができる。従来工法の3m幅でのスライド作業に比べ、60m幅を一括スライドできるため、端部作業の発生頻度が劇的に減り、安全性が向上した。

4. おわりに

厳しい施工条件であったが打設工程を短縮し、2024年11月に堤体CSG打設を完了した。今回採用した先進的な各システムの有効性が確認できたと考えている。今回紹介した各システムは波及性があり、A⁴CSELは造成工事や無人化施工の災害復旧工事等に適用している。

置き型枠自動スライドドリフタは、階段形状のコンクリート構造物への適用が可能でダム以外にも堤防や護岸などへの適用が見込まれる。

自動スライド型枠は最小5mのユニットで構成しており、様々な鉛直方向に同一形状で連続するコンクリート構造物への適用に長けている。

今後は本工事での経験を他工事へ水平展開し、さらなる生産性・安全性の向上を図っていく。

NOTES

注1) CSG（Cemented Sand and Gravel）とは、現地発生材（石や砂れき）とセメント、水を混合してつくる材料。台形CSGダムとは、このCSGを使い、堤体の断面を上流面も下流面も同様の勾配を持つ台形にしたダムのこと。

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

Initiatives to improve productivity of trapezoidal CSG dams during construction of Naruse Dam embankment

Hirokazu OKI, Youichi IZUSHI, Takahiro SUGAI

Naruse Dam is the largest trapezoidal CSG dam in Japan, currently under construction in Higashinaruse Village, Ogachi District, Akita Prefecture. The site is located in one of the snowiest areas in the Tohoku region, and pouring of CSG and concrete is not possible in winter, so the pouring period is limited to seven months from mid-April to mid-November. Reliable construction is required while ensuring quality and safety in the short construction period, and efforts are being made to utilize DX to meet this requirement, and this article introduces these efforts.

建設用3Dプリンタの出来形および品質の確認方法に関する検討

櫻井 真¹・市村 靖光²・大谷 周³・堤 達也⁴

¹～³非会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）

¹E-mail:sakurai-m8312@mlit.go.jp

²E-mail:ichimura-y92pi@mlit.go.jp

³E-mail:otani-a8311@mlit.go.jp

⁴正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）

E-mail: tsutsumi-t92ta@mlit.go.jp

近年、国土交通省直轄土木工事において建設用3Dプリンタの活用の実績が増えているが、現時点では、出来形や品質の確認方法は規定されていない。本報告では、建設用3Dプリンタを採用した事例における出来形・品質管理の実施状況を整理し、建設用3Dプリンタの特性を考慮した出来形や品質の確認方法の策定に向けた検討状況を報告する。

Key Words : three dimensional printer, quality

1. はじめに

国土交通省直轄土木工事における建設用3Dプリンタ（以下「3Dプリンタ」という）は、令和5年度に高知県内で初めて採用¹⁾されて以降、その実績を積み重ねている。3Dプリンタは、型枠が不要であることから、型枠工などの熟練工が不足する地域においては有効なツールとなるほか、造形の自由度によって意匠性に優れた造形物の製作も可能となることから、今後も実績は増加すると推測される。

しかしながら3Dプリンタによる造形物に関する施工管理基準が定められていないため、受発注者間で個別協議を実施しているが、当該技術の採否を含めて時間を要している。

国総研では、直轄土木工事において3Dプリンタを活用した際に受発注者間で行われた個別協議（採用の理由や施工管理方法）の調査を行い、円滑な協議を支援することを目的に出来形や品質の確認方法を策定中であり、本報告では、その検討状況を報告する。

2. 3Dプリンタの活用状況

直轄土木工事における活用実績（令和5～6年度）は、すべて材料押出方式による無筋コンクリート構造物であり、集水ますが最も多い（15件）。製作された構造物は、型枠の製作が比較的複雑であるもの、現場における養生期間の短縮が可能なもの、通常の型枠では製作が困難である曲線を有するもので採用される傾向が見受けられた。

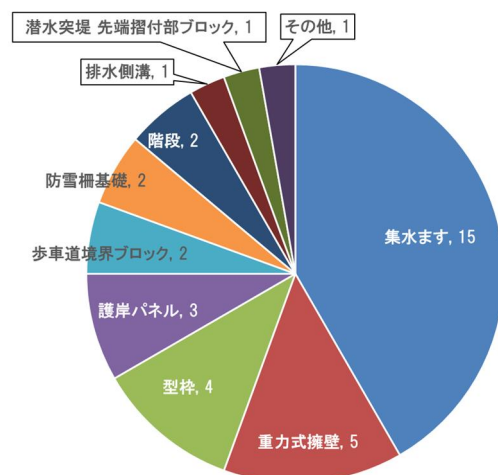


図-2.1 活用状況（構造物別内訳 R5～6年度）

3. 活用にあたってのメリットとデメリット

これまでに直轄工事で活用を行った施工者に対して、活用のメリットとデメリットを聴取した（表-3.1）。

表-3.1 施工者の主な意見²⁾

メリット	形状の自由度が高い。 型枠が不要。 工期の短縮を見込むことが出来る。
デメリット	コストが高い。 施工管理方法（基準）がない。

形状の自由度が高く、型枠が不要であり、現場打ちコンクリートと異なり、打設後の養生期間が極めて短いことから、工期の短縮を見込めるメリットがある一方で、コストが高く、施工管理の基準がないなどのデメリットがあることが意見として聴取された。

施工管理方法の定めが存在しないことは、当該技術の採用にあたって、発注者としてもその品質を確認する方法に関して、受注者との協議に時間を要する等から、当該技術の採用を見送る原因になり得ることも想定される。

4. 施工管理方法の検討

施工管理項目の検討にあたっては、これまでの施工実績から材料押出方式による無筋コンクリート構造物を対象として検討を行った。

(1) 基本的な考え方

3Dプリンタによる造形物は、材料を一層ずつ積み重ねて造形するところが従来の場所打ちコンクリート構造物と異なるため、出来形及び品質管理においては以下について留意が必要である。

- ① 層状に積み重ねるため、造形物の表面には積層模様が生じる（出来形の計測に関する留意点）。
- ② 層状に積み重ねるため、同じ材料を型枠に打ち込んで作製した場合とは圧縮強度に差が生じる場合がある（強度確認方法に関する留意点）。
- ③ 積層プロセス（プリント速度、積層時間間隔、材料温度等）が造形物の品質に影響を与える（プロセス管理に関する留意点）。

(2) 出来形管理

材料押出方式の場合、前述の通り造形物の表面に積層模様が生じるが、その凹凸差は5mm程度であり、土木工事施工管理基準及び規格値（案）の規格値と比較しても小さい。そのため、適正な造形がなされていれば規格値を超過することはないと考えられる。現場打ち集水ますの場合、出来形管理基準は図-4.2.1に示す通りである。

表-4.2.1 出来形管理基準（集水ます）³⁾

測定項目	規格値	測定基準	測定箇所
基準高▽	±30mm	1箇所毎	
※厚さt1～t5	-20mm	※は、現場打部分のある場合	
※幅w1, w2	-30mm		
※高さh1, h2	-30mm		

しかしながら、積層表面のどの位置を計測すべきなのか等は規定が必要であることから、下記によることが望ましい。

- ① 造形物に対応する工種（現場打ちコンクリート）の出来形管理基準及び規格値に準拠する。
- ② 造形物の外観（表面）に有害なひび割れ（複数のフィラメントを貫く幅の大きなひび割れ）や損傷等の異常が発生していないか、積層模様の凹凸が著しく不均一になっていないか等を目視により確認する。
- ③ 造形物の下部等に、自重による過度の変形が生じていないか等を目視により確認する。
- ④ 造形物の性能を考慮し、積層の凹凸部の計測位置を設定する。

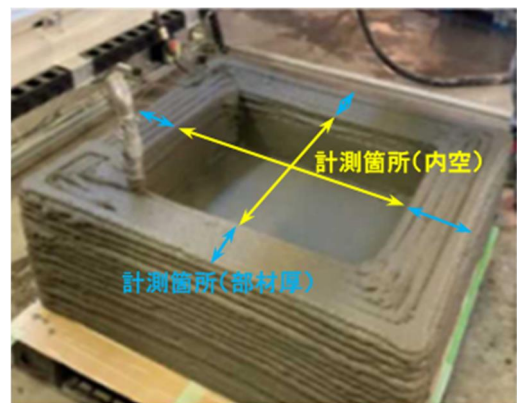


図-4.2.1 計測箇所の例（集水ます）

i. 幅・高さ・長さ・厚さ等

構造上の要求性能に影響する場合は、造形物の縁端を考慮しないで計測する（凹部で計測）。

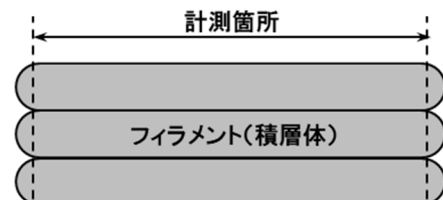


図-4.2.2 計測箇所の例（集水ます部材厚）

ii. 内空幅・内空高さ等

構造物の縁端を考慮して計測する（凸部で計測）。

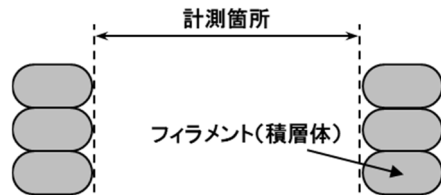


図-4.2.3 計測箇所の例（集水ます内空）

iii. 造形物の端部

3Dプリンタの造形物の端部は、その性質上、曲線を描くことになるため、計測においてはこれを含めない位置で計測することが望ましいと考えている。

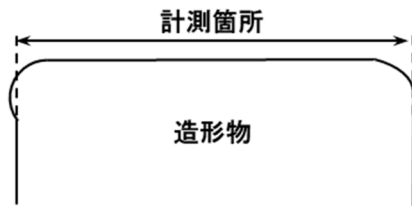


図-4.2.4 計測箇所の例（造形物の端部）

(3) 出来ばえ評価

3Dプリンタによる造形物は、製造の過程で必ず積層模様が発生する。そのため、型枠に生コンを流し込む現場打ちコンクリート構造物と同様の出来ばえ評価を適用することは合理的ではないため、出来ばえ評価の対象外とするべきである。

(4) 品質管理

3Dプリンタの材料は、通常の生コンと同様に材料を構成する材料およびプリントを行う際の状態（品質）を確認する必要がある。そのため、材料に関する品質確認を①プリント原材料、②プリント材料に分類して管理を行うことが適当であると考えられる。

①プリント原材料

プリント原材料は、プリント材料を構成するセメント、水、骨材、混和材料等の各材料のことで、3Dプリンタを適用する場合、使用するプリント原材料の品質を確認しなければならない。JISに規定がある材料を使用する場合は、セメント・コンクリートの品質管理基準及び規格値を適用することが出来る。

一方、JISに規定がない材料やプレミックス材料を用いる場合は、材料メーカーの品質保証書または試験成績表（以下、「保証書」という）及び安全データシート⁴⁾（以下「SDS」という）の両方で確認を行う。発注者は、保証書とSDSにより表-4.4.1の内容を確認する必要がある。

表-4.4.1 プリント原材料の確認内容

確認資料	確認内容
品質証明書および試験成績表	原材料の品質 (材料構成、密度等の物性、強度特性等)
安全データシート	原材料の安全性

②プリント材料

プリント材料は、プリント原材料をミキサで練り混ぜたものである。3Dプリンタを用いた造形物の製造者は、プリント材料の品質について、

a. 適切に造形が可能か

b. 造形物が所定の品質を満たすか

を試験等により確認しなければならない。発注者は、これらの試験結果からプリント材料の品質を確認する必要がある。

現在の検討段階では、プリント材料の品質管理は、圧縮強度を確認項目として選定することが妥当であると考えられる。

③強度

仕様書で指定した強度を満足しているかを試験により証明し、その試験結果を発注者が確認する必要がある。3Dプリンタの造形方法は現場打ちコンクリートとは異なるため、強度確認を行うための供試体の作製についても事前協議において決めておく必要がある。

供試体の作製方法は、表-4.4.2のような方法がある。

表-4.4.2 供試体作製方法

	供試体作製方法
A方法	プリンタにより積層した造形物からコアを採取
B方法	モールドに材料を打込む方法

A方法で、かつ、造形物への載荷方向を考慮して供試体を採取することが現実により近い方法であるが、採取する方向によって強度に違いがあることに留意する必要がある。

A方法とB方法では圧縮強度に差が生じることが報告されている⁵⁾。そのため、過去に蓄積されたデータからA方法とB方法の相関関係を確認することが出来、かつ、仕様書で指定された呼び強度を確保することが可能であれば、B方法による強度確認とすることも可能であると考えられる。

④プロセス管理

プリント速度や打ち重ね時間間隔等のばらつきは、造形物の強度（品質）に影響を与えると想定される。そのため、積層プロセスの設定が適切であるか、設定されたプロセスにより造形されているかを確認することが重要である。これらのデータは、造形物に何らかの不具合が発生した場合に、原因究明の有用な情報になると考えられる。

プロセス管理の項目(案)は、表-4.4.3に示すが、頻度や判定基準などは現在検討中である。

表-4.4.3 プロセス管理項目(例)

管理項目	試験・確認方法
積層パス	目視、動画、ログ等
プリント速度	目視、ログ等
吐出量	目視、動画、圧力計等
打ち重ね時間間隔	時間計測、動画、ログ等
附帯材料や附帯設備	目視、動画等

3Dプリンタは、種類（機種）によって管理・記録される情報が異なるため、管理項目については、工事ごとに協議によって決定されることが望ましいと考えられる。

一方で、試験データや工事実績が少ない現状では、これらの管理項目が造形物に与える影響の大きさが明らかではないため、定量的な管理基準を設定することは困難であるとも考えられる。その場合は、類似した造形物の実験結果や工事実績等を参考にして管理項目や管理基準の目安を設定することが考えられる。

5. 3Dプリンタ適用にあたっての留意事項

3Dプリンタの適用にあたり、発注者は品質管理項目と併せて下記の点にも留意して採否を決定する必要がある。

(1) 適用工種の妥当性

図-2.1に示す施工事例は、無筋コンクリート構造物あるいは埋設型枠である。そのため、新たな構造物の提案がなされた場合は、その妥当性について工事受注者と十分な協議を行い、採用を決定する必要がある。

(2) 再設計の必要性

3Dプリンタの材料は、粒径の大きな骨材が含まれていないため、生コンやプレキャスト製品に比べて単位体積重量が小さい。そのため、重力式擁壁等に適用する場合は、安定計算が必要となるか検証が必要である。

(3) 契約変更の判断

3Dプリンタの材料は、現場打ちやプレキャスト

製品に比べて高価な場合が多い。これまでの事例では、施工承諾による採用がほとんどである。現場施工の期間を短縮できることによる効率化も見込むことが可能であることから、造形物のみのコスト比較ではなく、当該造形物の施工全体の最適化を踏まえたコスト比較をすることにより、契約変更の対象とするかを判断することが望ましい。

6. おわりに

今回の報告は、直轄工事の発注者が3Dプリンタを採用した際に、実施すべき出来形や品質の確認方法の検討状況を報告した。今後、「建設用3Dプリンタによる埋設型枠設計・施工に関する研究小委員会（土木学会）」の成果報告を踏まえ、とりまとめを行う予定である。

謝辞：活用状況の収集及びアンケート調査にあたり、各地方整備局、工事受注者等の皆様にはお忙しい中にも関わらず多大なるご協力を賜りました。心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土佐国道事務所：国内の公共工事初！重要構造物（橋梁下部工）に3Dプリンタを活用します！！，令和5年10月17日記者発表資料
- 2) 国土技術政策総合研究所：国土交通省の直轄土木工事における3次元プリンタの活用状況，令和6年度i-conシンポジウム
- 3) 国土交通省：土木工事施工管理基準及び規格値(案)，令和7年3月
- 4) 厚生労働省：職場の安全サイト
(https://anzeninfo.mhlw.go.jp/yougo/yougo07_1.html)
- 5) 日本コンクリート工学会：3Dプリンティングによるコンクリート構造物構築に関する研究委員会，令和3年

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

Study on methods for verifying the shape and quality of construction 3D printers

Makoto SAKURAI, Yasumitsu ICHIMURA, Amane OOTANI
and Tatsuya TSUTSUMI

In recent years, the use of construction 3D printers has been increasing in civil engineering projects directly managed by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, but currently there are no regulations on how to check the finished shape or quality. In this report, we summarize the implementation status of finished shape and quality control in cases where construction 3D printers have been used, and report on the status of the study toward formulating a method of checking the finished shape and quality that takes into account the characteristics of construction 3D printers.

低炭素型自己充填コンクリートを用いた トンネル覆工の生産性向上

三浦 裕寿¹・中谷 幸一²・小山 広光³

¹国土交通省 中国地方整備局 山陰西部国道事務所（〒758-0041 山口県萩市大字江向 318-2）
E-mail: miura-h87ed@mlit.go.jp (Corresponding Author)

²佐藤工業株式会社 技術センター 土木研究部（〒300-2658 茨城県つくば市諏訪 C30 街区 1）
E-mail: k.nakatani@satokogyo.co.jp

³正会員 佐藤工業株式会社 技術センター 土木研究部（〒300-2658 茨城県つくば市諏訪 C30 街区 1）
E-mail: h.koyama@satokogyo.co.jp

令和 4 年度俵山・豊田道路第 1 トンネル工事において、生産性向上と環境負荷低減の両立を目的に、自己充填コンクリートを圧入して覆工を構築する「自己充填覆工構築システム」と、現場近郊のフライアッシュを活用して CO₂ 排出量を抑制した「低炭素型自己充填コンクリート」を適用した。適用の結果、コンクリートの打込みにおいて、作業人員が半減、作業時間が 40% 短縮し、表面気泡や未充填箇所のない高品質な覆工を構築することが可能となった。さらに、コンクリートの CO₂ 排出量は一般的な覆工と同程度で、普通セメントおよび高炉セメント B 種のみを使用した自己充填コンクリートと比べ、57% および 30% 削減されることを確認した。

Key Words: tunnel lining, self-compacting concrete, productivity improvement, fly ash, low-carbon

1. はじめに

俵山・豊田道路は、山口県下関市豊田町八道から長門市俵山小原を結ぶ延長 13.9km の自動車専用道路で、山陰道の一部区間として平成 28 年度に事業着手し整備を推進している。

図-1 に工事概要を示す。令和 4 年度俵山・豊田道路第 1 トンネル工事（俵山第 1 トンネル）は、完成 2 車線の自動車専用道路としてトンネル内空断面が大きく、覆工コンクリートの打設量が多いため、従来の打込み施工による時間外労働が懸念された。そこで当工事はトンネル覆工の生産性向上を目的に、「自己充填覆工構築システム」を RC 施工区間を含む一般部（262.5m）に適用することとした。他方で、国土交通グリーンチャレンジにおいては、“インフラのライフサイクル全体でのカーボンニュートラル・循環型社会の実現”が推進されている。今後、更にその必要性は高まると考えられることから、コンクリートの CO₂ 排出量抑制を目的に「低炭素型自己充填コンクリート」を併せて適用し、生産性向上と環境

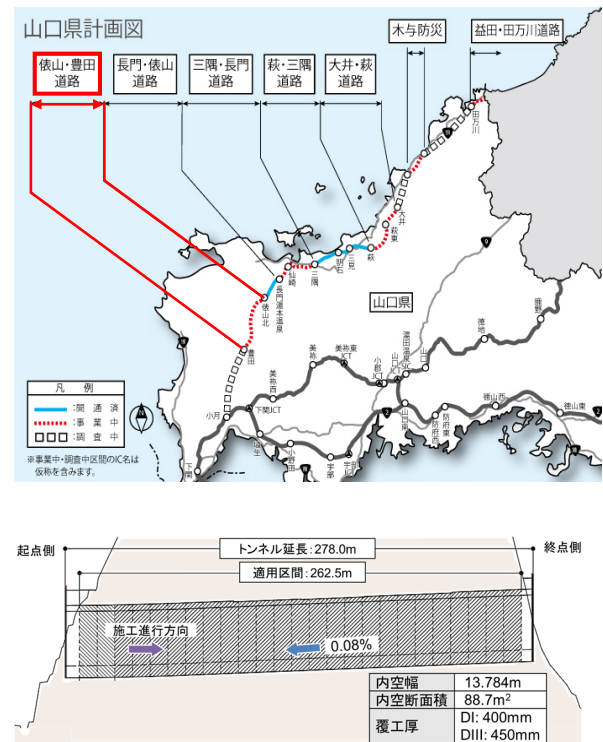


図-1 工事概要

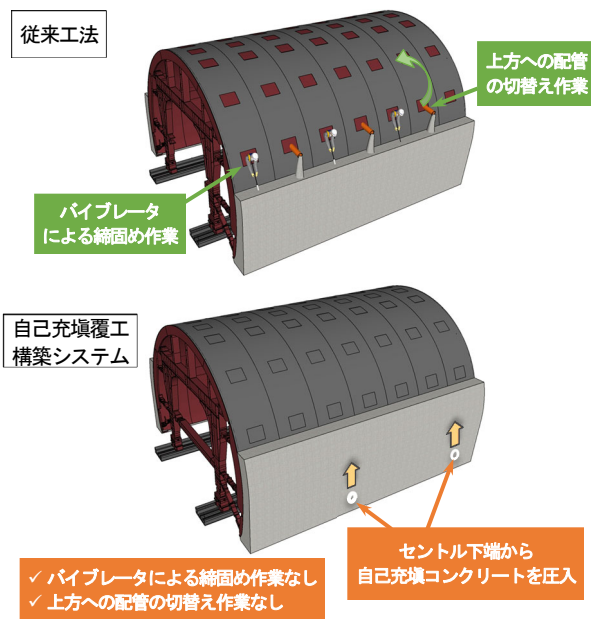


図-2 施工方法の比較



図-3 セントル内の狭隘空間での作業

負荷低減の両立を図った。

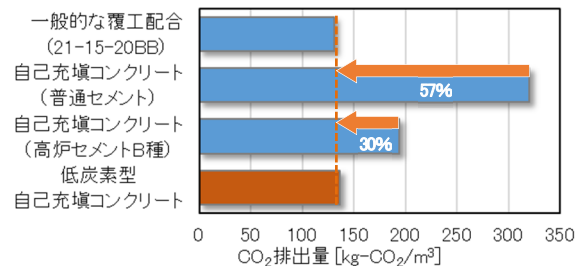
2. 自己充填覆工構築システム

(1) 従来工法

図-2に従来工法と自己充填覆工構築システムの施工方法の比較を示す。山岳トンネルの覆工コンクリートの施工は、地山とスライドセントルに挟まれた空間に、スライドセントルの検査窓（作業窓）からコンクリートを打ち込み、パイプレータで締め固めて充填させながら、配管を順次上部へ移動させて行う。この際、コンクリートの打込み作業、打込みの準備作業、脱型およびスライドセントル内の清掃などは狭隘な空間で行わなければならない（図-3参照）、作業者の負担は大きい。この負担を軽減する設備の設置が望ましいとされているが¹⁾、施工条件などにより対策が難しいことも多く、作業員の技量や経験に頼らざるを得ないのが実状である。さらに、近年の建設技能者の減少および高齢化により、現在の施工方



図-4 低炭素型自己充填コンクリートの性状

図-5 各コンクリート配合のCO₂排出量

法を継続していくことは困難であり、施工に起因した不具合発生が増加や覆工品質の低下が懸念される。

(2) 自己充填覆工構築システム

自己充填覆工構築システムは、スライドセントル下部に設けた圧入口から自己充填コンクリートを圧入し、覆工を構築する工法である。本システムを用いることにより、従来工法では必須であるパイプレータによる締固め作業や配管切替え作業を省略することができるため、覆工の品質を確保しつつ、生産性向上を図ることが可能となる。これまでに本システムの実物大施工実験や実工事への適用が実施され、生産性向上と品質確保に加え、作業環境改善が可能であることが実証されている^{2),3),4)}。

3. 低炭素型自己充填コンクリート

自己充填コンクリートは、高い充填性能を持っているため、締固めを必要とせずに自重のみで型枠の隅々まで行きわたる。この性能を確保するためには、一般的には結合材量（セメント量）を増やす必要があり、通常のコンクリートよりもCO₂排出量が増大する傾向にある。そこで本工事では、現場近郊のフライアッシュを活用した「低炭素型自己充填コンクリート」を用いてコンクリートのCO₂排出量抑制を図った。

図-4に低炭素型自己充填コンクリートの性状を示す。試験練りによって、本システムに必要な充填性能（スランプフロー600±100mm、自己充填性ランク 3）を満足す

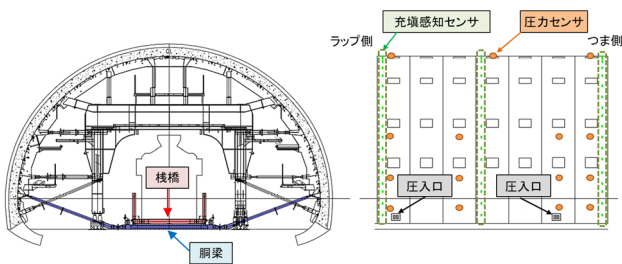


図-6 スライドセントル概要図



図-7 コンクリートの充填状況の確認

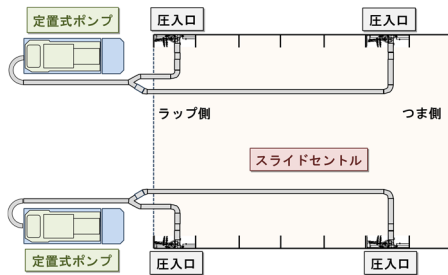


図-8 コンクリート配管の平面図

るように配合を選定し、圧縮強度は一般的な覆工コンクリート（呼び強度 21N/mm^2 ）と同等以上を確保していることを確認しており⁹⁾、施工サイクルに影響を与えないようにした。図-5に既往の文献⁹⁾を参考に算出した、各コンクリート配合の CO_2 排出量を示す。低炭素型自己充填コンクリートの CO_2 排出量は、一般的な覆工コンクリートと同程度であり、普通セメントおよび高炉セメントB種のみを使用した自己充填コンクリートと比べると、57%および30%削減されることを確認した。

4. 工事への適用

(1) スライドセントルおよび打込み方法

図-6に、本工事で使用したスライドセントルの概要図を示す。自己充填覆工構築システムでは、コンクリートの流動性が高く凝結時間が長いので、スライドセントルに作用する側圧を液圧として型枠設計が行われる。これまでは、側圧に対する補強材である胴梁をスライドセントル内部に配置していたため、覆工の施工中は工事車両の通行が制限され、他の工程が制約されていた。本工事

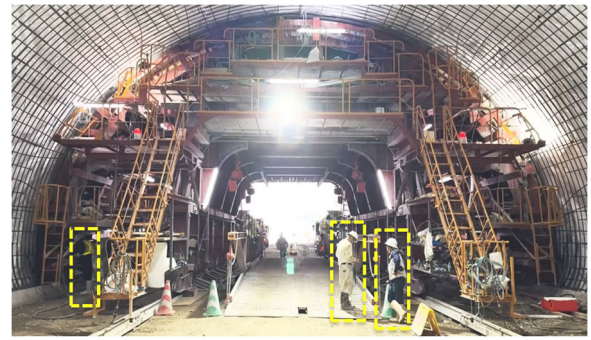


図-9 コンクリート打込み状況

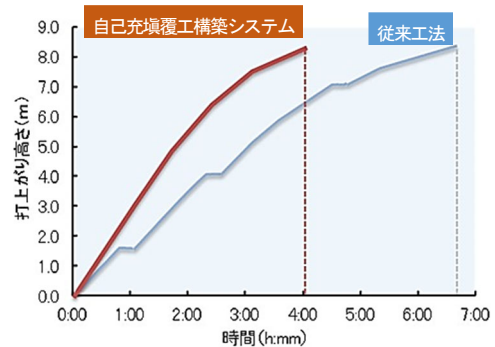


図-10 コンクリート打込み時間の比較

では、胴梁を路盤上に設置しその上部に栈橋を設けることにより、覆工の施工期間中のスライドセントル内部の工事用車両の通行を可能とさせ、他の工程への影響をなくした。また、スライドセントルの型枠面に充填感知センサと圧力センサを設置して、打設システム制御盤で計測したデータから充填状況を確認・管理し、タブレット端末や現場外部のPCから充填状況をモニタリングできるようにした（図-7参照）。

図-8にコンクリート配管の平面図を示す。図に示すように、スライドセントルの左右にそれぞれコンクリートポンプを配置し、圧入口は片側2箇所（計4箇所）設置して、つま側の圧入口につながる配管の水平換算距離をラップ側圧につながる配管よりも大きく（約3.4倍）してラップ側のコンクリート吐出量が卓越するようにした。また、これまでは左右の打上がり高さを確認しながらコンクリートの吐出量を調整していたため、打込み作業の全般にわたり作業員1名が拘束されていた。そこで、左右のそれぞれのコンクリートポンプと充填感知センサを連動させ、コンクリートの吐出量を自動制御する仕様とした。これにより、左右の打上がり高さに差が生じた場合、左右の高さが均等になるように打上がり速度の調整が自動で行われ、更なる省人化を図ることが可能となる。

(2) 適用結果

図-9にコンクリートの打込み状況を示す。従来工法では締固め作業や配管切替え作業が必須であるため、作業



図-11 覆工コンクリートの外観



図-12 箱抜き箇所の状況

員6名程度で打込み作業を行う必要がある。自己充填覆工構築システムでは職長（充填状況監視、吐出量調整）1名、つま型枠での打込み状況確認・監視員2名の計3名での打込み作業が可能となるため、作業人員を半減することができた。図-10にコンクリート打込み時間の比較を示す。本現場の覆工において1スパンの打込みに要した時間は平均約4時間で、従来工法を使用した場合にかかる6.6時間（試算）から約2.6時間（約40%）ほど短縮することを確認した。さらに、スライドセントル内でのパイプレータによる騒音障害や振動障害等のリスクが抑制され、作業環境が大幅に改善した。

図-11に覆工コンクリートの外観を示す。覆工表面は、低炭素型自己充填コンクリートの使用による色むら等の影響は認められなかった。また、従来工法で発生しやす

い側壁下部の表面気泡は極めて少なく、充填が困難な箱抜き箇所（図-12参照）においても、未充填や表面気泡は確認されず、品質の高い覆工を構築した。

5. おわりに

俵山第1トンネルにおいて、生産性向上と環境負荷低減の両立を目的に、「自己充填覆工構築システム」と「低炭素型自己充填コンクリート」を適用し、下記の項目を達成した。

- ・コンクリートのCO₂排出量は、一般的な覆工コンクリート配合と同程度で、セメントのみを使用した自己充填コンクリート配合に比べ30～57%削減した。
- ・覆工コンクリートの打込みは、3名の作業人員で約4時間で行うことができ、従来工法に比べ作業人員は半減、作業時間は約40%短縮したことを確認した。
- ・側壁下部の表面気泡や未充填箇所は確認されず、品質の高い覆工が構築された。

REFERENCES

- 1) 土木学会：2016年制定トンネル標準示方書〔山岳工法編〕・同解説，p193，2016
- 2) 弘光太郎，藤原正佑，小山広光，小野知義：自己充填コンクリートの圧入によるトンネル覆工構築，コンクリート工学年次論文集，Vol.45，No.1，pp334-339，2023.7
- 3) 村松賢一，加藤公章，小山広光，瀬谷正巳：セントル下端からのコンクリート圧入により覆工施工の省力化を実現—国道418号足瀬トンネル—，トンネルと地下，Vol.54，No.9，pp751-757，2023.9
- 4) 小山広光，弘光太郎，村松賢一，橋本紳一郎：セントル下端からの圧入によるトンネル覆工の省力化—国道418号足瀬トンネル—，コンクリート工学，Vol.61，No.10，pp.910-915，2023.10
- 5) 市川晃，弘光太郎，橋本紳一郎，小山広光：型枠内に圧入される自己充填コンクリートの均質性におよぼす配合要因の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.46，No.1，pp481-486，2024.7
- 6) 土木学会：コンクリートの環境負荷評価（その2），コンクリート技術シリーズ62，pp.39-40，2004.9

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

PRODUCTIVITY IMPROVEMENT OF TUNNEL LINING USING LOW-CARBON SELF-COMPACTING CONCRETE

Hirokazu MIURA, Koichi NAKATANI and Hiromitsu KOYAMA

We applied both the Self-Compacting Concrete (SCC) Tunnel Lining System and Low-Carbon SCC to improve productivity and reduce environmental impact in the Tawarayama-Toyota Road Tunnel No. 1 construction project in 2022. As result, it was constructed high-quality lining with no surface air-voids or unfilled areas, and the number of workers was reduced by half and the time was reduced by 40% in concrete casting. Additionally, we have gotten CO₂ emissions equivalent to those of ordinary lining concrete by Low-Carbon SCC.

点群データから生成した 3D モデルを用いた配筋検査システムによる省力化効果と BIM/CIM の活用に向けた取り組み

中野 富士¹・江藤 博哉²・上坂 正晃³

¹正会員 DataLabs 株式会社 研究開発部 (〒103-0024 東京都中央区日本橋小舟町 8-6)
E-mail: takashi.nakano@datalabs.jp (Corresponding Author)

²DataLabs 株式会社 事業開発統括本部 (〒103-0024 東京都中央区日本橋小舟町 8-6)
E-mail: hiroya.eto@datalabs.jp

³DataLabs 株式会社 研究開発部 (〒103-0024 東京都中央区日本橋小舟町 8-6)
E-mail: masaaki.uesaka@datalabs.jp

土木・建築分野におけるデジタルデータを活用した効率化の取り組みとして、点群データから生成した 3D モデルを用いた配筋検査の効率化がある。3D モデルを用いた本手法と従来方法を比較し、配筋検査の作業時間を約 8 割削減することができた。また、i-Construction 2.0 が目標とする配筋検査の実現に向けた取り組みとして、BIM/CIM の活用についても紹介する。

Key Words: rebar inspection, point cloud, 3D data, 3D model, BIM/CIM

1. 概要

土木・建築分野におけるデジタルデータを活用した効率化の取り組みとして、3D データの活用が進んできている。実際、国土交通省において、「3次元計測技術を用いた出来形管理の監督・検査要領(土工(1,000m3 未満)・床堀工・小規模土工・法面整形工編)(案)令和 7 年 3 月)¹⁾」, 「3次元計測技術を用いた出来形管理の監督・検査要領(構造物工(橋脚・橋台)編)(案)令和 7 年 3 月)²⁾」等の要領が作成され、3D データを活用した効率化の取り組みが始まっている。土木・建築各現場において、デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測を推進するために、「デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測の実施要領(案)令和 5 年 7 月³⁾」, 「官庁営繕事業の建設現場におけるデジタルデータを活用した配筋検査試行要領令和 5 年 3 月⁴⁾」が発出されているが、これらの要領に基づいた 3D データを活用する事例も多くあり、受発注者双方に多くの労力がかかっている鉄筋出来形計測の効率化が進められている。また、国土交通省が公表している i-Construction 2.0⁵⁾では、建設現場のオートメーション化の実現を目指して、「施工のオートメーション化」, 「データ連携のオートメーション化」, 「施工管理のオートメーション化」に取り組むことが明記されている。特に「施

工管理のオートメーション化」においては、デジタルデータを活用した配筋検査の省力化が主な取り組みとして紹介されている。

i-Construction 2.0 が目標とする配筋検査の実現のためには、3D データの活用が有用である。本稿では、3D データを活用した配筋検査の省力化や BIM/CIM の活用に向けた取り組みについて述べる。

2. 3D データを用いた配筋検査の省力化

(1) 従来方法での鉄筋出来形計測

従来方法での鉄筋出来形計測は、検査箇所に対してマグネットやテープでマーキングをしたのちに、リボンロッドなどで長さを計測し、写真を撮るという方法にて行われている。この作業は 1 名で行うことは難しく、複数人での実施が必要となる。計測した箇所については事務所に戻ってから帳票整理を行う必要がある。また、発注者が現地で検査に立会わなければならない。

(2) 3D データを活用した鉄筋出来形計測

「デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測の実施要領(案)令和 5 年 7 月³⁾」に基づき、3D 配筋検査システムを活用することで、配筋計測にかかる時間

の大幅な短縮を実現することができるようになっていく。

今回、3D データを活用した鉄筋出来形計測として、3D 配筋検査システム Modely[®]を用いて検証を行った。3D 配筋検査システム Modely (NETIS 登録済み⁷⁾) は、iPad 等の汎用デバイスにより取得した点群データから 3D モデルを作成することで、配筋検査項目の自動合否判定や帳票出力が出来るシステムである。クラウド上で受発注者がデータを共有することも可能であり、遠隔での立会いも可能なことから発注者との立ち合い頻度の低減が可能になる。

Modely を用いた精度については、鉄筋間隔が相対誤差 0.3φ 以内、かぶり厚が相対誤差 0.6φ 以内である⁸⁾。(ただし、φ は鉄筋径)

(3) 従来との比較（作業時間など）

作業時間などについて、従来手法と 3D データを活用した手法との比較を以下に示す。この結果は、国土交通省中部地方整備局「令和 4 年度現場ニーズと技術シーズのマッチング¹²⁾」に基づくものである。また、そのほかの活用事例もある¹³⁾。

a) 作業時間

従来方法の作業時間では、鉄筋組み立て完了現場での、施工者の自主検査、マーキングでの写真撮影や受発注者による立会検査で 150 分/回程度となる。

一方で、Modely を使用した場合、点群のデータ取得、モデル化の処理などで 30 分/回程度となり、約 80%の作業時間削減を実現することが可能である。(ただし、この評価は国土交通省中部地方整備局との現場ニーズと技術シーズのマッチング事業内の現場試行内での評価であり、対象となる構造物の種類や現場状況によって作業時間削減効果には変動がある¹²⁾。)

b) 品質

従来手法の場合、目視やメジャー手計測による確認になることや、帳票を手入力にて作成を行うことから、その過程でヒューマンエラー（数え間違い、計測読み違い、誤記入）が生じる可能性がある。一

方、Modely を使用した場合、システムの自動測定や帳票も自動作成が可能のため、確実な配筋検査が可能となる。

c) 安全性

Modely を使用した場合、現場作業時間が大幅に短縮されることや携帯機器のみの使用で行うことが出来るなどの理由により、鉄筋上でのつまづき・転倒等の災害発生リスクが削減できる。

d) 施工性

従来方法の検査では、メジャー、マグネットなど、多くの準備物があり、複数人での作業が発生する。

Modely を使用した場合、iPad を用意し、1 名が作業を行うことで検査が出来るため、施工性の大幅な向上が見込める。

e) 拡張性

従来方法の検査では、出来形の確認を行うことしかできない。Modely を使用した場合、点群データの取得と 3D モデルの作成を行うことが出来るため、将来的に維持管理への活用が可能になる。

3. 写真ベースによる配筋検査との比較

Modely は「新しい配筋検査の形を確立する」ことを目指している。具体的には点群から生成した 3D モデルをベースに、図-1 のように自動作成した 3D モデルと CIM データを全面的に活用することで、配筋検査の完全自動化及び検査以降の維持管理等の業務へのデータ適用を可能とし、i-Construction 2.0 が目指す省人化を実現していくことを目指している。

点群データを活用する手法と写真データを直接活用する方法について、現場施工性（撮影デバイス、撮影範囲、天候や足場など現場状況の影響の有無）、汎用性（測定できる工種）などの観点から比較した表を表-1、表-2、表-3 に示すとともに、以下で各内容について説明する。ここでは、点群データを活用する手法は、Modely を用いた場合をもとに記載している。



図-1 Modely の将来構想

(1) 現場施工性（使いやすさ）

a) 撮影について

写真データを活用するシステムでは、撮影のために専用のデバイスが必要なことがある。一方で、点群データを活用するシステム（Modely）では、撮影

のための専用デバイスは不要であり、LiDAR 付属の iPad Pro や iPhone Pro を用いて、PIX4Dcatch⁹⁾や PIX4Dcloud¹⁰⁾などのアプリで取得した点群を用いることが可能である。また、地上型レーザースキャナー(TLS)やハンディスキャナーを用いた点群も取り

込むことが可能である。また、写真データを活用するシステムでは、データ取得が可能な範囲が専用デバイスにより限られることがある。点群データを活用するシステムでは、広範囲の検査が可能である。

b) 天候（照度）の影響について

写真データを活用するシステムの場合は、撮影時の照度が影響する場合がある。たとえば、明るすぎる場合、撮影した写真が反射で白くボケてしまい、暗い場合も、鉄筋を検出しにくい可能性がある。一方で、点群データを活用するシステムの場合、照度の影響はあまり大きくない⁹⁾。Modely の場合は、国土交通省中部地方整備局「令和 4 年度現場ニーズと技術シーズのマッチング¹²⁾」で夜間工事での適用を前提に開発されており、「労働安全衛生規則(照度)第六百四条¹¹⁾」に記載してある「普通の作業に必要な照度(150 ルクス以上)」で適用可能であることを検証済みである⁹⁾。

c) 足場の影響について

写真データを活用するシステムの場合、足場が写り込むとそのあとの解析が不可能な場合がある。そのため、足場がない箇所で撮影するか足場を外して撮影する必要がある。一方、点群データを活用するシステム (Modely) の場合、足場が写り込んでいても問題なく検査が可能である。

表-1 点群ベースと写真ベースによる配筋検査の比較 (現場施工性)

	点群ベース (Modely)	写真ベース
撮影デバイス	iPad Pro, iPhone Pro, 地上型レーザー スキャナー、ハンディ スキャナー	専用のデバ イスが必要 な場合があ る
撮影範囲	○ (非常に広 い)	△ (狭い)
天候の影響	○ (ほとんど 影響を受けな い)	△ (受ける 可能性があ る)
足場の影響	○ (足場があ っても、撮影 可能)	△ (足場が あると撮影 が難しいこ とがある)

(2) 汎用性（測定できる工種）

実際の配筋検査の現場においては、ダブル配筋、過密配筋、鉄筋籠（フープ筋）の主鉄筋や環状フープ筋のような鉄筋に対する検査もある。写真データを活用するシステムでは、こうした複雑な鉄筋の検

査は難しい場合があるが、点群データを活用するシステム (Modely) では可能になる。また、かぶり厚の計測についても、写真データを活用するシステムでは難しい場合があるが、点群データを活用するシステム (Modely) では、かぶり厚の検査も可能である。

表-2 点群ベースと写真ベースによる配筋検査の比較 (汎用性)

	点群ベース (Modely)	写真ベース
鉄筋籠の検査	○	△ (対応できないことがある)
ダブル配筋 や過密配筋 の検査	○	△ (対応できないことがある)
かぶり厚の 検査	○	△ (測定できないことがある)

(3) 写真管理

「デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測の実施要領(案)令和 5 年 7 月」³⁾によれば、写真データを活用するシステムを使用する場合は、取得された画像データを出来形管理写真とすることができ、別途工事写真を撮影することは不要となる。点群データを活用するシステムの場合は、発注者との協議により、出来形管理写真の多くを省略することができ、写真管理の工数を削減できる場合がある¹³⁾。仮に従来通りの方法で出来形管理写真の撮影を求められる場合は、二重管理になる可能性がある。

表-3 点群ベースと写真ベースによる配筋検査の比較 (そのほか)

	点群ベース (Modely)	写真ベース
写真管理	写真管理不要。ただし、写真管理を求められる場合、二重管理となる	写真管理不要。従来通りの写真管理も可能
3D モデル の出力	○	△ (不可の場合がある)

(4) IFC 出力

点群データを活用するシステムでは、3D モデルでの出力ができる。例えば、IFC として出力し、BIM ソフトウェアなどで活用することが可能である。

4. BIM/CIM の活用

国土交通省から公表されている「BIM/CIM に関する基準・要領等¹⁴⁾」をもとに、受発注者双方の業務

効率化・高度化が推進されている。配筋検査においても、BIM/CIMを活用することが可能になってきている。

Modely における BIM/CIM の活用としては、図-2 に示すように大きく分けて 2 つある。1 つ目は、作成した BIM/CIM モデルを 3D 配筋検査システム Modely にインポートし活用する方法である。これによって、BIM/CIM モデルを、検査において取得した点群や点群から作成した 3D モデルと直接重ね合わせて比較することができる。2 つ目は、Modely で作成した 3D モデルを IFC 出力し、活用する方法である。施工後の配筋の 3D モデルを IFC 出力することで、施工後のデータとして管理することができる。

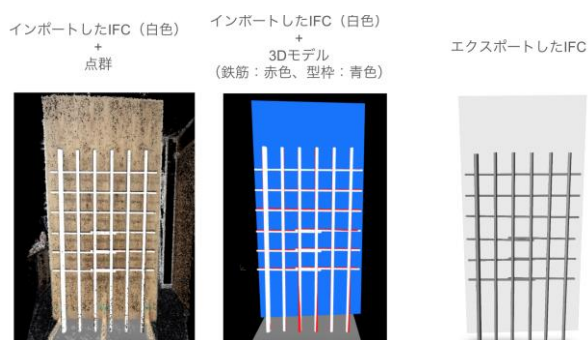


図-2 Modely における IFC のインポートとエクスポート

5. 結論

土木・建築分野におけるデジタルデータを活用した効率化の取り組みの一つである配筋検査の効率化について、点群データから生成した 3D モデルを用いた本手法と従来方法との比較を行った結果、配筋検査の作業時間を約 8 割削減することができた。

また、i-Construction 2.0 が目標とする配筋検査の実現の取り組みとして、BIM/CIM の活用について紹介した。特に、設計時の IFC ファイルをインポートし、点群や 3D モデルと重ね合わせる方法や作成した 3D モデルから IFC モデルをエクスポートする方法について紹介した。

REFERENCES

- 1) 3次元計測技術を用いた出来形管理の監督・検査要領（土工（1,000m³未満）・床掘工・小規模土工・法面整形工編）（案）令和7年3月，
<https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001880069.pdf>
- 2) 3次元計測技術を用いた出来形管理の監督・検査要領（構造物工（橋脚・橋台）編）（案）令和7年3月，
<https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001880070.pdf>
- 3) デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測の実施要領（案）令和5年7月，
<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001619475.pdf>
- 4) 官庁営繕事業の建設現場におけるデジタルデータを活用した配筋検査試行要領 令和5年3月，
<https://www.mlit.go.jp/gobuild/content/001594736.pdf>
- 5) i-Construction 2.0 ～建設現場のオートメーション化～，
<https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001738240.pdf>
- 6) 3D配筋検査システム Modely，
<https://www.datalabs.jp/modely>
- 7) NETIS 登録番号 CB-230008-VE，
<https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubsearch/details?regNo=CB-230008>
- 8) 中野 嵩士，上坂 正晃，江藤 博哉，3D データを活用した配筋検査における柱・梁の鉄筋を用いた精度評価，令和6年度土木学会全国大会，
<https://pub.conf.it.atlas.jp/ja/event/jsce2024/presentation/C517-03>
- 9) PIX4Dcatch，
<https://www.pix4d.com/jp/product/pix4dcatch/>
- 10) PIX4Dcloud，
<https://www.pix4d.com/jp/product/pix4dcloud/>
- 11) 労働安全衛生規則（照度）第六百四条，
<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=347M50002000032>
- 12) 国土交通省中部地方整備局「令和4年度現場ニーズと技術シーズのマッチング」点群データの自動モデル化による配筋検査効率化技術現場試行結果，
https://www.cbr.mlit.go.jp/architecture/netis/matching/siryou/230329_01.pdf
- 13) Modely・Hatsuly 導入事例，
<https://www.datalabs.jp/news/tag/%E5%B0%8E%E5%85%A5%E4%BA%8B%E4%BE%8B>
- 14) BIM/CIM に関する基準・要領等，国土交通省，
https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000037.html

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

LABOR-SAVING EFFECTS OF A REBAR INSPECTION SYSTEM USING 3D MODELS GENERATED FROM POINT CLOUD DATA AND EFFORTS TOWARD THE UTILIZATION OF BIM/CIM

Takashi NAKANO, Hiroya ETO and Masaaki UESAKA

One approach to improving efficiency in the civil engineering and construction fields through the use of digital data is the streamlining of rebar inspections by means of 3D models generated from point cloud data. By comparing this method using 3D models with conventional methods, we can reduce the inspection work time by approximately 80%. In addition, we explain the efficient utilization of BIM/CIM as part of efforts to achieve the rebar inspection goals outlined in i-Construction 2.0.

管工事における3次元計測技術を用いた 施工管理の効率化と生産性向上

北野 哲司¹・松林 秀典²・今井 亮介³

¹正会員 東邦ガスネットワーク株式会社 企画部 (〒456-0004 名古屋市熱田区桜田町 19-18)
E-mail: kitano@tohogas.co.jp

²非会員 東邦ガスネットワーク株式会社 設備部 (〒456-0004 名古屋市熱田区桜田町 19-18)
E-mail: h-matsubayashi@tohogas.co.jp (Corresponding Author)

³非会員 株式会社アンドパッド ANDPAD ZERO (〒101-0022 東京都千代田区神田練堀町 300)
E-mail: ryosuke.imai@andpad.co.jp (Corresponding Author)

本稿では、管工事における3次元計測技術を用いた施工管理業務の効率化および生産性向上について述べる。建設業界の課題は、労働力不足と生産性の低さであり、i-ConstructionでICT導入が推進されている。都市ガス業界も例外ではなく、現場業務のデジタル化が求められている。今回、iPad/iPhoneのLiDARスキャナによる3次元データ生成技術とANDPADアプリの連携により、現場作業・施工管理の効率化・生産性向上を目指した。ANDPAD 3D スキャンは、現場で配管状況などの3次元データを取得・処理し、小容量3次元画像を生成するシステムである。3次元画像による図面作成工数の削減、電子黒板や電子申請・承認機能の拡張、ANDPADアプリとの連携により、作業効率とコミュニケーションが向上した。

Key Words: piping work, construction management, 3D scanning technology, LiDAR (Light Detection and Ranging), 3D data

1. はじめに

建設業は、少子高齢化に伴う深刻な労働力不足と、他産業と比較して低い生産性が長年の課題である。特に、技能者の高齢化と若年層の入職不足は喫緊の課題であり、将来の担い手不足が強く懸念されている。こうした背景から、持続可能な建設業の実現を目指し、ICT（情報通信技術）を導入して建設生産性の飛躍的な向上を図る「i-Construction」が提唱された。

i-Constructionの主な目的は、測量から設計、施工、検査、維持管理に至る建設プロセス全体における生産性の向上、建設現場の3Kイメージ払拭による魅力向上、そして多様な人材が活躍できる環境整備である。将来的には、AIやロボットを活用した施工のオートメーション化、BIM/CIMによるデータ連携の効率化、IoTやドローンによる施工管理の高度化、さらにはインフラ分野全体のDX推進が展望されている。

ガス業界においても、持続可能な事業発展、労働力人口の減少を見据えると、現場業務・事務所業務のデジタル化は必須である。本稿では、年間8万件に及ぶ管内管

（都市ガス事業者が管理している道路に埋設されているガス本支管から分岐して、敷地内に引き込むガス管）の工事を対象に、iPad/iPhone搭載のLiDARスキャナを利用した敷設ガス管等のリアルタイム3次元化技術の開発、および「電子黒板」・「電子申請・承認」等の拡張機能やANDPAD施工管理アプリとの連携による、施工管理業務全体の効率化・生産性向上について述べる。

2. スマートフォンで表示可能な小容量3次元データの生成技術（ANDPAD「3D スキャン」機能）の開発¹⁾

(1) 概要

ANDPAD 3D スキャンは、iPad/iPhoneに搭載されたLiDAR (Light Detection and Ranging) を活用し、現場で配管状況や道路周辺情報などの3次元データを取得・処理し、小容量の3次元画像を生成するシステムである。

現場で、3次元モデルを生成することで、データ取得ミスの排除やデータ取得範囲の確認が可能となり、高付

加価値情報を抜けもれなく入手することを可能にした。

(2) 3D スキャン関連アプリの概要

管路工事で活用しているアプリの概要を下表に示す。

表-1 3D スキャンおよびBIMの概要

	①ANDPAD 3D スキャン	②ANDPAD BIM
概要	LiDAR 搭載 iPhone/iPad アプリ	3次元画像の表示および延長測定などを行うことが可能なクラウドアプリ
利用場所	工事現場	事務所
利用者	工事会社（職人）	工事会社（責任者・監督・職人） 都市ガス事業者社員
利用フェーズ	・配管施工後、現場情報を取得	・精算/竣工図作成/確認/登録業務 ・維持管理業務（他工事照会等）
機能	・点群データ取得 ・取得した3次元画像を表示確認 ・サーバーへのデータアップロード	・3次元画像（テクスチャメッシュ）の表示 ・延長測定 ・オルソ画像変換/出力

(3) 3D スキャンの使用方法

3D スキャンおよび BIM の使用方法および効果を以下に示す。

a) ウォーキングメジャーと野帳の廃止

従来、ウォーキングメジャーで埋設位置を測定し、野帳に記録していた。この野帳作業を廃止し、3次元画像で代替することで、現場での図面作成工数を削減する。



図-1 配管状況の記録（左：従来，右：現在²⁾）

b) 3次元画像の取得

配管施工後、リアルタイムでスマートフォン画面で描画が速い「3次元画像」を生成することができる。現場で3次元画像の品質・取得範囲について確認でき、再取得作業は発生しない。



図-2 3次元画像の取得²⁾

c) 3次元画像が工事竣工図書に

工事竣工図書は、視覚情報で分かりやすい「3次元画像」と「施工位置情報」とした。これらの情報は、将来的に他工事の管理業務やガス工事の設計・施工に活用できる可能性がある。

d) 各種情報がクラウド上で簡単に閲覧可能

「3次元画像」と「施工位置情報」が視覚的な竣工図書となり、配管の出幅・埋設深さ・管種の情報はクラウド上でいつでも、どこからでも簡単に確認可能となった。



図-3 3D竣工図書と活用（イメージ例）²⁾

3. 「電子黒板」と「電子申請/承認」機能の拡張

(1) 電子黒板機能

行政の道路管理者（以下、行政という）に工事完了報告として工事写真を提出しているが、行政区によって写真の仕様が異なるため、写真台帳の作成に手間がかかっている。そこで、行政区ごとの必要項目を電子黒板に事前に反映できる機能を活用することで、必要な写真の把握や写真台帳作成作業を効率化を図った。

表-2 電子黒板機能の概要

①事前準備	行政区毎の電子黒板フォーマットデータベース作成
②現場撮影	電子黒板選択後、撮影で間違い・忘れ無し
③撮影後	台帳出力機能で、簡単出力・簡単管理



図4 工事写真（左：従来、右：現在）

(2) 電子申請・承認機能

これまで、行政などに工事関連の書類を提出するために、現地までの移動や提出書類の印刷作業を行っていた。そこで、電子申請・承認機能を業務フローに組み込み、場所を問わず提出・承認が可能となり、ペーパーレス化、迅速化、印刷コストや提出に伴う移動時間・コストの削減できた。また、ワークフロー承認で確実なエビデンス確保が図れた。

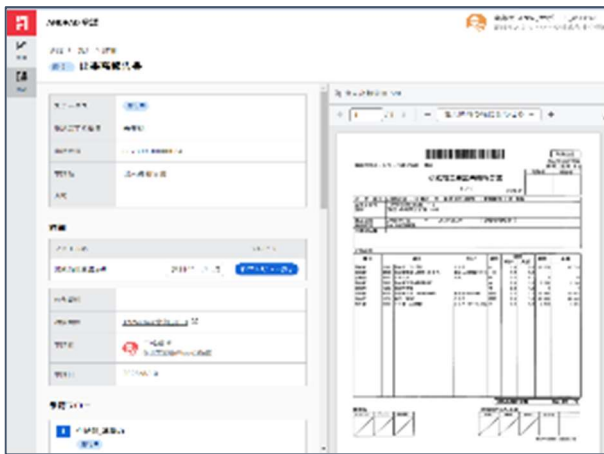


図5 ワークフローで申請・承認・回覧

4. ANDPAD アプリとの有機的に連携による施工管理業務の効率化とコミュニケーションの充実

ANDPAD「3D スキャン」と既存の施工管理アプリ ANDPAD（①現場物件管理機能、②作業完了即時報告機能、③チャット機能、④図書一元管理機能など）を連携させることで、ANDPAD という1つのクラウド上で作業が完結し、シームレスな作業を実現した。これにより、施工管理業務の抜本的な効率化および現場－事務所の迅速かつ効果的なコミュニケーションが図れるようになった。



図6 施工管理アプリ ANDPAD の概要

表3 ANDPAD アプリとの連携で利用可能な機能

① 物件管理機能	物件情報をいつでも、どこでも閲覧可能に
② 施工報告機能	手元のスマートフォンから報告
③ チャット機能	リアルタイムに情報共有
④ 図書管理機能	書類や図面も一元管理

5. 導入による効率化効果

各種機能の導入は、現場作業から事務処理に至るまで、管工事における施工管理業務全体の効率化に大きく貢献している。下表に、具体的な効果を示す。

表4 導入による主な効率化効果

機能	主な効果
3D スキャン	- 取得データにより竣工図作成作業の約5割を代替。 - 加えて、施工情報共有の簡易化・高度化により現地調査のための移動および問い合わせ時間を削減。
電子黒板機能	黒板情報の事前準備と台帳作成時間を約6割削減
電子申請・承認機能	- 紙書類の電子化（約90種・60万枚/年）を実現。 - 電子化に伴い書類提出のための移動時間を省略。

6. 管工事における3次元データの将来展望

- ・現在、3D スキャンは供内管分野という限られた範囲で使用されているが、今後、適用範囲を本支管分野や舗装工事分野などに広げることで、さらなるDX推進に繋がる可能性がある。
- ・配管状況を3次元データとして残すことで、他工事照会時にさらに正確な情報を提供でき、他工事による損傷事故のリスク低減に繋がる可能性がある。
- ・配管3次元データの蓄積は、将来的に掘削作業の自動化・遠隔化、工事設計自動化などの技術発展を促進する可能性がある。

7. まとめ

従来の管工事では、埋設位置や深度の測定・記録、図面作成に多大な時間と労力を要し、手作業による誤差や情報共有の遅延が課題となっていた。本取り組みにおいて、ANDPAD 3D スキャンなどの現場 DX ツールを導入した結果、LiDAR による高精度な 3 次元計測と 3 次元画像での代替により、測定・記録作業が大幅に効率化され、図面作成工数の削減を実現した。また、3 次元画像による視覚的な情報共有は、工事関係者間のコミュニケーションを活性化させ、手戻りを抑制する効果を発揮した。さらに、電子黒板や電子承認機能の活用は、書類作成や申請・承認業務の効率化をもたらし、ペーパーレス化と迅速化に貢献した。

これらの成果は、管工事における生産性向上と品質確保に大きく貢献するものであり、今後の建設業界における現場 DX 推進の重要な一歩となることが期待される。本取り組みで得られた知見を活かし、さらなる技術導入と運用改善を進めることで、より一層の効率的な管工事の実現に繋がるものと考えている。

謝辞：本技術の開発・現場導入を進めるにあたり、多大なるご支援とご協力を賜りました関係各位に深く感謝申し上げます。特に、現場での評価や貴重なご意見、そして現場の問題点のヒアリングにご協力いただきました工事会社の皆様には、心より御礼申し上げます。皆様の現場における実践的な知見は、本技術の開発・現場導入に当たっての貴重な示唆となりました。また、本技術の現場

導入の遂行にご尽力いただきました株式会社 ANDPAD の関係者の皆様、および東邦ガスネットワーク株式会社の関係部署の皆様に深く感謝いたします。

ここに記して、皆様の多大なるご支援に改めて感謝申し上げます。

REFERENCES

- 1) 株式会社 ANDPAD News : ANDPAD 3D スキャン、日本ガス協会主催の「2024 年度 技術大賞・技術賞」において『サービス技術部門 技術賞』を受賞、[ANDPAD Inc. News: ANDPAD 3D Scan Wins the "Technology Award in the Service Technology Category" at the Japan Gas Association's "2024 Technology Awards"]
<https://andpad.co.jp/news/6728/> (2025/05/16 確認)
- 2) 東邦ガスネットワーク株式会社：ガス管の 3D 竣工図作成を効率化するデジタル技術の共同開発を完了、[Toho Gas Network Co., Ltd.: Completed Joint Development of Digital Technology to Streamline the Creation of 3D As-Built Drawings of Gas Pipelines, 2024/5/27],
https://www.tohogas.co.jp/nw/corporate-n/press/_icsFiles/afield-file/2024/05/27/nwpress20240527.pdf (2025/05/16 確認)
- 3) 株式会社 ANDPAD ホームページ：野帳・図面作成が可能な新プロダクト「ANDPAD 3D スキャン」β版をリリース、東邦ガスネットワークとの実地検証も開始、[ANDPAD Inc. Releases "ANDPAD 3D Scan" Beta, a New Product Enabling Field Notebook and Drawing Creation; Begins Field Verification with Toho Gas Network, 2023/6/8]
<https://andpad.jp/news/20230608/> (2025/05/16 確認)

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

EFFICIENCY IMPROVEMENT AND PRODUCTIVITY ENHANCEMENT OF CONSTRUCTION MANAGEMENT IN PIPING WORK USING 3D MEASUREMENT TECHNOLOGY

Tetsuji KITANO, Hidenori MATSUBAYASHI and Ryosuke IMAI

This paper discusses the efficiency improvement and productivity enhancement of construction management operations in pipe work using 3D measurement technology. The construction industry faces challenges such as labor shortages and low productivity, leading to the promotion of ICT adoption through i-Construction. The city gas industry is no exception, requiring the digitalization of on-site operations. This initiative aimed to improve the efficiency and productivity of on-site work and construction management by integrating 3D data generation technology using iPad/iPhone LiDAR scanners with the ANDPAD application. ANDPAD 3D Scan is a system that acquires and processes 3D data of on-site conditions, such as piping, to generate small-capacity 3D images. By reducing drawing creation man-hours through 3D images, expanding electronic whiteboards and electronic application/approval functions, and linking with the ANDPAD app, we achieved improvements in work efficiency and communication.

建設現場の最適化検討

小川 雅博¹・椎葉 祐士²

¹ 非会員 国土交通省中国地方整備局 企画部 施工企画課（〒730-8530 広島市中区上八丁堀 6-30）

E-mail: ogawa-m87gh@mlit.go.jp (Corresponding Author)

² 正会員 一般社団法人日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所（〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154）

E-mail: shiiba@cmi.or.jp

中国地方整備局が整備を進めている国道2号玉島・笠岡道路事業においては、2026年度中の開通を目標に事業が進められている。本事業では複数の建設現場が同時に進行しており、確実な開通を実現するためには、ムリやムダを排した最適な工程計画を実現し、円滑な工事進捗に努める必要があった。

この課題を解決するため、建設現場の施工計画段階において生産計画シミュレーターを活用し、過不足のない機械配置や、工程遅延を防ぎつつ目標とする作業量を達成できる機械計画などを事前に検討する新たな現場マネジメント手法を検討した。

本稿では、玉島・笠岡道路の工事において試行的に実施した製造業向け生産計画シミュレーターを活用した建設現場の最適化の取り組みについて報告する。

Key Words: i-Construction2.0, road earthwork, production planning simulations, site management, worksite data

1. はじめに

国土交通省中国地方整備局岡山国道事務所では、岡山県西部地域で慢性的に発生する交通混雑の緩和、交通安全の確保、地域経済の発展を目的として、図-1に示す一般国道2号玉島・笠岡道路（Ⅱ期）の整備¹⁾を進めている。玉島・笠岡道路は、地域高規格道路「倉敷福山道路」の一部を構成する倉敷市玉島阿賀崎から笠岡市西大島新田に至る延長13.9kmの自動車専用道路であり、平成27年3月に倉敷市玉島阿賀崎から浅口市金光町佐方に至るⅠ区間（延長4.5km）が暫定2車線で開通しており、引き続きⅡ区間の事業を進めている状況である。



図-1 一般国道2号玉島・笠岡道路(Ⅱ期)の事業概要

一方で、国土交通省は2016年より建設現場の生産性向上を目的にi-Constructionに取り組みされており、2024年4月には、i-Construction2.0²⁾が発表され、さらなる建設現場の省人化・生産性向上を目指して、施工のオートメーション化に向けた施工データを活用した施工の最適化や自動施工の活用に関する取り組みがなされている。また、施工のオートメーション化を推進するためには建設機械施工の自動化技術が期待されており、工事の与条件に対してシミュレーションし、現場の最適化を試算可能なシミュレーターの構築が企図³⁾されている。

本稿は、中国地方整備局の道路工事において試行的に実施した製造業向け生産計画シミュレーターを活用した建設現場の最適化の取り組みについて報告する。

2. 玉島・笠岡道路事業に係る課題と現状の管理

(1) 玉島・笠岡道路事業に係る課題

玉島・笠岡道路の工事では、土工事、特に固い岩掘削が供用上のクリティカルな作業工程となっているところ、発注者として、より最適な建設機械の配置や台数、ダンプトラックの台数等を決定し、施工業者の経験のみに頼らない工程管理が必要であった。建設機械の配置及び台数等を巡る具体的な状況は以下の通りである。

・発注者の工程管理は、積算上の標準的な建設機械の日当たり施工量で事業全体の工程管理を実施していたが想定外の岩の出現や地元調整によるダンプトラック運行経路及び速度の制約等により、計画工程どおりの事業進捗が図られないケースが多かった。本現場においても、想定より早く中硬岩が出現したため、当初工程よりも大幅に工程がずれ込むことが予想された。

・中硬岩掘削が多く、切土掘削用建設機械の稼働率は非常に高く、盛土敷均し、締め固め建設機械の稼働率は低い状態で、施工工程に差が出る状況であった。

(2) 現状の工程管理方法

現状の工程管理は、発注後に受注者と施工計画の読み合わせを行い、使用する建設機械の機種及び台数について調整を行った後、受注者が作成した工程表により工程管理を実施していた。しかし、受注者が提案した建設機械の機種及び台数について、それらが最適で且つ最も効率的な計画なのかは検証できていない状況であった。

3. 生産計画シミュレーターを用いた現場マネジメント手法と導入技術

(1) 製造業の生産計画シミュレーターの活用

FA（ファクトリーオートメーション）が進む製造業においては生産計画シミュレーターを用いて、工場の生産ラインなどの機能を可視化、シミュレーションすることで、さまざまなシナリオや条件下での作業フローをテストし、最適な運用方法の検討がなされている。シミュレーターの主な機能としては、シミュレーションの結果、生産ラインの効率性やボトルネックの特定、作業フローの最適化、資源の最適な配置の検討ができる。そこで、本試行では、建設現場の最適化に向けて、製造業向けの生産計画シミュレーターを活用した建設現場の現場マネジメント手法の適用性について検証を実施した。

(2) 生産計画シミュレーターを用いた建設現場の現場マネジメント手法

生産計画シミュレーターを活用した建設現場の現場マネジメント手法は、建設現場の生産設備（使用機械）とその作業工程をモデル化し、建機的能力や台数に応じた「各建機の稼働率」、「各建機の日当たり施工量」、「進捗土量」、「施工日数」などのシミュレーションを実施し、施工計画段階において、シミュレーション結果を評価することで、過不足のない機械配置や、目標とする作業量を達成できる機械計画などを事前に検討できる手法とした。また、これらを実現することで、工程のボトルネックを把握し、ムダな機材費を削減できるとともに、工程遅延のリスクを事前に把握し、円滑な工事進捗を目指すものとした。

(3) 導入技術

上記の生産計画に関する現場マネジメントを実施するため、製造業向け生産計画シミュレーターを導入した。なお、導入技術の選定にあたっては、シミュレーション結果が3次元で可視化でき、「各建機の稼働率」、「各建機の日当たり施工量」、「進捗土量」、「施工日数」などを評価できる製品から選定した。表-1、図-2 に導入技術を示す。

表-1 導入技術

技術名称	メーカー
FlexSim	米国 FlexSim 社（日本総代理店（株）ゼネック）

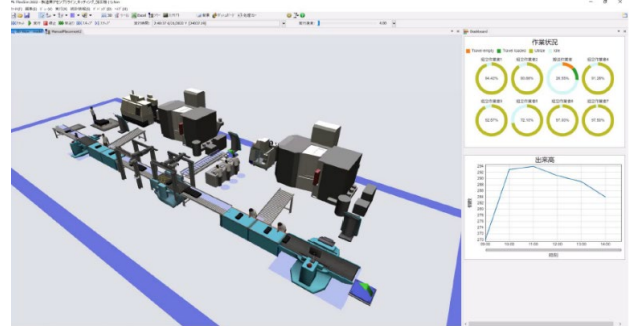


図-2 FlexSimの表示画面例

4. 適用性検証

(1) 検証現場

本試行では、岡山国道事務所が発注した令和5年度玉島・笠岡道路浜中地区中工区改良工事を対象とした。本工事は図-3に示すように、主に土工事で構成されており、当該工事内での切土および盛土、ならびに場内における土の運搬を伴うものであった。加えて、他工事からの土砂等の受け入れも実施された。なお、本工事では、土砂、軟岩、中硬岩といった複数の土質を対象としていた。

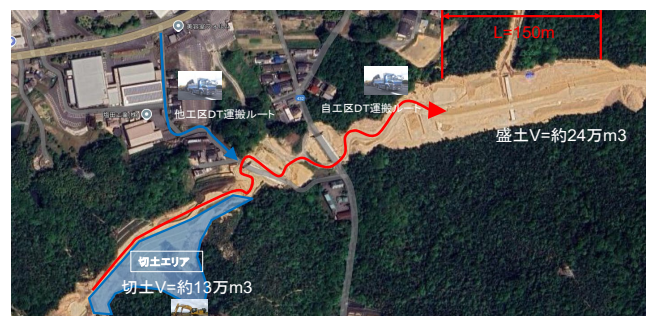
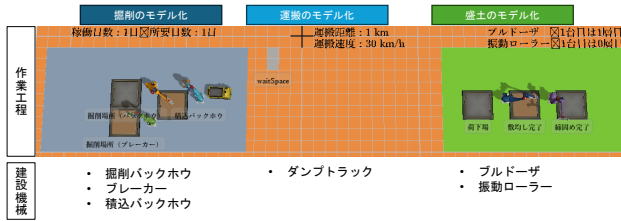


図-3 試行工事現場概要

(2) シミュレーションモデルの構築とシミュレーションの評価項目の設定

シミュレーションの実施にあたっては、建設現場を再現する必要があることから、国土交通省「土木工事積算基準書」を参考に、土工に関する作業工程および土質に応じた使用機材を踏まえたうえで、対象工事における作業工程や建設機械の能力を反映したシミュレーションモ

デルを構築した。また、現場マネジメントに必要となる評価項目の設定を実施した。シミュレーションモデルの対象範囲を図4に、各建機的能力に関するパラメータを図5に、シミュレーションの評価項目を図6に示す。



作業種別	作業工程	使用機械
1 掘削	・岩掘削作業（土質に応じて） ・土砂掘削作業 ・積込作業	ブレーカー バックホウ バックホウ
2 運搬	・運搬	ダンプトラック
3 盛土	・敷均し ・締固め	ブルドーザ 振動ローラー

図4 構築したシミュレーションモデルの対象範囲

<積込バックホウの場合>

名前	値	表示単位	詳細
積込バックホウ台数	2	台	積込バックホウの台数になります。
積込バックホウ作業時間	1	分	バックホウ1台あたりの積込作業時間になります。
積込バックホウ積込量(土砂)	1.40	m ³	土砂の場合のバックホウ1台あたりの積込量になります。
積込バックホウ積込量(軟岩)	1.40	m ³	軟岩の場合のバックホウ1台あたりの積込量になります。
積込バックホウ積込量(硬岩)	1.40	m ³	硬岩の場合のバックホウ1台あたりの積込量になります。
積込バックホウ作業開始土量	10	m ³	積込バックホウが作業を開始できる積込場所の土量に

<ダンプトラックの場合>

名前	値	表示単位	詳細
ダンプ台数	4	台	ダンプの台数になります。
ダンプ積載量(土砂)	5	m ³	土砂の場合のダンプ最大積載量になります。
ダンプ積載量(軟岩)	5	m ³	軟岩の場合のダンプ最大積載量になります。
ダンプ積載量(硬岩)	5	m ³	硬岩の場合のダンプ最大積載量になります。
運搬距離	0.70	km	積込場所から荷下りし場までのダンプが運搬する距離
運搬速度	20	km/h	ダンプの運搬速度になります。

図5 各建機的能力に関するパラメータ

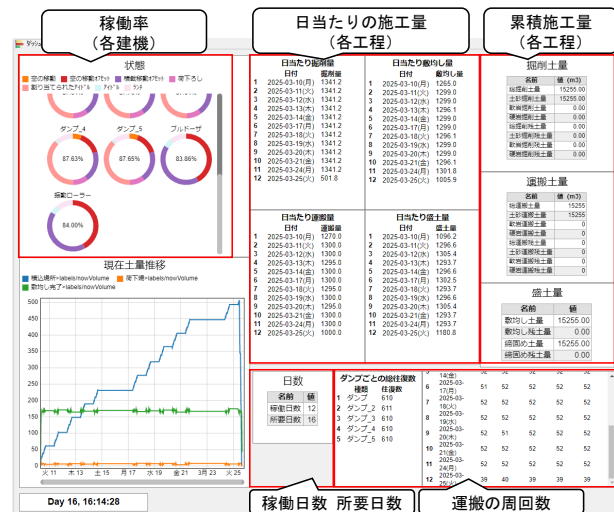


図6 シミュレーション結果の評価項目

(3) 検証概要

本試行現場では、自動施工ローラーの試行も実施していたため、自動施工ローラーの導入に伴う最適な機械配置に向けて、①日当たり施工量と施工日数、②建機の稼働率についてシミュレーションを行った。なお、本稿では、検証内容の一部を述べるが、本稿で報告する検証概要を表2に示す。

表2 検証概要

検証項目	検証内容	検証パターン
1 日当たり施工量と施工日数	・所定の搬入土量（場内搬入および外部搬入）により、施工日数がどのくらいかかるのか？	全体土量は、土砂15,255m ³ 【条件①】場内搬入約500m ³ と外部搬入約500m ³ （合計1,000m ³ ）の搬入量【条件②】場内搬入約500m ³ と外部搬入約800m ³ （合計1,300m ³ ）の搬入量
2 稼働率	・上記の条件における機械の稼働率はどのくらいか？ ・機械編成を変更せずとも対応できるのか？	条件①の場合のブルドーザと振動ローラーの稼働率 条件②の場合のブルドーザと振動ローラーの稼働率

(4) 検証結果（条件①）

検証条件①のシミュレーション結果を図7に示す。

シミュレーション結果をみると、15,255m³の盛土に対して、当該工事内の場内搬入および外部からの搬入の土量が日当たり1,017m³程度の搬入を確保できれば、盛土場の従来ブルドーザおよび自動施工ローラーを用いることで、所要日数22日（実稼働日数16日）で完了することがシミュレーションで見える化できた。また、盛土の機械編成の余裕については、稼働率がブルドーザ、振動ローラーとも約66%であるため、まだ余裕がある状況となっている。上記のシミュレーション結果により、盛土現場の建設機械の稼働率に余裕があることから、搬入土量をさらに増やすことにより、施工日数が短縮できることがわかった。この結果に基づき、日当たり施工量を増やした条件②の検証を実施した。

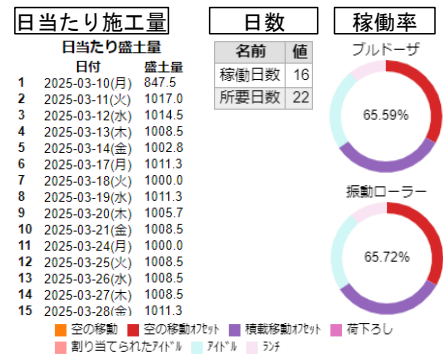


図7 シミュレーション結果（条件①）

(5) 検証結果（条件②）

検証条件②のシミュレーション結果を図8に示す。

シミュレーション結果をみると、15,255m³の盛土に対して、当該工事内の場内搬入および外部からの搬入の土量が日当たり1,300m³（例：場内500m³、外部800m³）程度の搬入を確保できれば、盛土場の従来ブルドーザおよび自動施工ローラーを用いることで、所要日数16日（実稼働日数12日）で完了することがシミュレーションで見える化できた。また、盛土の機械編成の余裕については、日当たり搬入量が1,000m³から1,300m³の増加したことによりブルドーザ、振動ローラーの稼働率が約66%から84%と最適化した。上記のシミュレーション結

果により、日当たり搬入量を 1,000m³ から 1,300m³ へ増加したことで、実稼働日数を 4 日間短縮することができた。盛土の機械編成は稼働率が 84%であったため、機械を増加することなくムリなく対応できる。

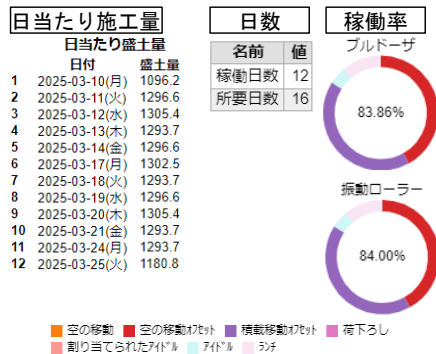


図-8 シミュレーション結果（条件②）

5. 活用効果と課題等

道路工事における製造業向け生産計画シミュレーターを活用した建設現場の最適化に関し、発注者と施工業者が感じた活用効果や運用上の課題を下記に示す。

(1) 発注者における効果

発注者の活用効果は、1 現場の工程計画だけでなく、事業全体の工程の立案にも活用できるとする意見があった。また、現場条件的に工程遅延になっているのであれば、リッパブルドーザ等を導入し工期短縮する場合の変更の根拠にもなると思うなどの意見があった。

(2) 施工業者における効果

施工業者の活用効果は、各建機の稼働率や日当たり施工量を見える化することで、各工程のボトルネックが把握でき、最適な機械編成が検討できるとする意見があった。また、概略工程（機械台数や能力、施工日数）を把握するために活用可能だと思うなどの意見があった。

(3) 運用上の課題

製造業向けのシミュレーターであることから建機や地

形の変化など 3D モデルの見た目が異なることや、地形変化に応じた条件の反映ができない（施工途中の地形変化による機械能力や台数、運搬経路の変化など）などが課題として挙げられた。

6. おわりに

本稿では、製造業向け生産計画シミュレーターを活用した建設現場の現場マネジメント手法を検討し、道路工事における建設現場の最適化に関する取り組みについて報告した。試行工事の結果、施工計画段階でシミュレーションし、施工日数や稼働率などを見える化することで最適な工程や機械計画が検討できるなど、円滑な工事進捗に資する活用効果があることがわかった。今後は、これらの技術を活用し、円滑な工程調整、最適な要員配置、作業待ち防止などを図り、さらなる施工の最適化を実現できるよう努めてまいりたい。

謝辞：今回の取り組みにあたり、試行やヒアリング調査にご協力頂いた株式会社フジタの工事担当者の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：中国地方整備局岡山国道事務所 HP, <https://www.cgr.mlit.go.jp/okakoku/service/abouts/introduction.html>, 2025 現在. [MLIT Chugoku Regional Development Bureau Okayama National Highway Office homepage, 2025.]
- 2) 国土交通省：i-Construction 2.0～建設現場のオートメーション化～, pp. 7, 2024 現在. [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: i-Construction 2.0, pp. 7, 2024.]
- 3) 国土交通省：第 5 回建設機械施工の自動化・自律化協議会資料、参考資料「建設機械施工のオートメーションハブの構築」概要, pp. 4, 2025 現在. [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: ICTkensetsu-kikainojidoka/jiritsukakyougikai, Ref., pp. 4, 2025.]

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

STUDY ON THE OPTIMIZATION OF CONSTRUCTION SITES

Masahiro OGAWA, Yushi SHIIBA

The Chugoku Regional Development Bureau is currently developing the National Highway No. 2 Tamashima-Kasaoka Road Project with the goal of opening the road to traffic by the end of FY2026. In this project, multiple construction sites are underway at the same time, and in order to ensure the opening of the road, it was necessary to realize an optimal process plan that eliminates waste and unreasonableness, and to make smooth progress in the construction. In order to solve this problem, a new on-site management method was studied in the construction site planning stage, which utilizes a production planning simulator to study in advance the allocation of machines without excesses or deficiencies, and machine planning that can achieve the target workload while preventing process delays. This paper reports on the optimization of construction sites using a production planning simulator for the manufacturing industry, which was implemented on a trial basis for the construction of the Tamashima-Kasaoka road.

建設施工段階の段階確認等への適用による 共通データ基盤（R-CDE）の有用性評価

松下 文哉¹・宮岡 香苗²・宮崎 文平³・福山 峻一⁴
嵐田 涼子⁵・森田 俊彦⁶・小澤 一雅⁷

¹正会員 東京大学大学院特任助教 工学系研究科総合研究機構 i-Constructionシステム学寄付講座
(〒113-8656 東京都文京区7-3-1)

E-mail: matsushita@i-con.t.u-tokyo.ac.jp (Corresponding Author)

²正会員 清水建設株式会社 スマートシティ推進室 (東京都中央区京橋2丁目16-1)

E-mail: k.miyaoka@shimz.co.jp

³正会員 株式会社三菱総合研究所 社会インフラ事業本部 (〒100-8141 東京都千代田区永田町2-10-3)

E-mail: bumiyaza@mri.co.jp

⁴正会員 株式会社三菱総合研究所 社会インフラ事業本部 (〒100-8141 東京都千代田区永田町2-10-3)

E-mail: shunichi_fukuyama@mri.co.jp

⁵非会員 東京大学大学院学術専門職員 工学系研究科総合研究機構 i-Constructionシステム学寄付講座
(〒113-8656 東京都文京区7-3-1)

E-mail: arashida@i-con.t.u-tokyo.ac.jp

⁶正会員 東京大学大学院特任研究員 工学系研究科総合研究機構 i-Constructionシステム学寄付講座
(〒113-8656 東京都文京区7-3-1)

E-mail: tmorita@i-con.t.u-tokyo.ac.jp

⁷フェロー会員 東京大学大学院特任教授 工学系研究科総合研究機構 i-Constructionシステム学寄付講座
(〒113-8656 東京都文京区7-3-1)

E-mail: ozawa@i-con.t.u-tokyo.ac.jp

ICT 施工の普及が進む一方、データ流通の非効率性が課題である。これらの課題を解決するために開発された、データの一元化・連携を実現し、真正性も備えた共通データ基盤 R-CDE の有用性を評価するため、国土交通省直轄工事を対象に段階確認および技術検査に適用した。臨場や帳票作成の必要なくなるため、段階確認では受注者約 66%、発注者約 78%の作業時間削減効果が確認され、情報共有の高度化や施工管理の品質向上にも寄与することが示された。

Key Words: common data environment, ICT construction work, inspection, blockchain

1. はじめに

i-Construction のトップランナー施策のひとつであった ICT 施工の実施率は堅調に増加しており、2023 年度時点において、直轄土木工事の 87%と高い実施率が記録されている^{注1)}。ICT 施工では、MG や MC 搭載の掘削機により丁張レス施工が可能となり生産性が向上し、点群測量による面管理で品質確保にも貢献している。また、ICT 活用工事における作業時間縮減効果に基づく生産性向上比率は、約 21%と試算されている^{注1)}。

一方、関係者間でのデータの提供・共有・活用時に求められるデータ流通を鑑みると、依然として非効率な状

況が残っている。例えば、専門工事会社が取得したデータを元請負会社に提供・共有する際、多くの場合、メールや大容量ファイル送信システムを使用している。また、発注者による技術検査においては、書面検査のために依然として帳票を用いた施工誤差の確認や、臨場検査が求められている。

これらのデータ流通の課題を解決し、異なる関係者間に跨る生産プロセスを効率化するためには、取得したデータのうち必要なものを関係者間でタイムリーに共有し、データを直接閲覧して検査を実施するというデジタルワークフローの実現が求められる。このデジタルワークフローの実現には、関係者間で必要な情報が共有される共

通データ環境（CDE:Common Data Environment）^{注2)}の構築が必要不可欠である。

データ流通の課題を解決しデジタルワークフローを実現するために、CDEには、データの一元化とデータ連携が求められる。さらに、データ改ざん等の不正を未然に防ぐためには、データの真正性担保を特徴として追加することが必要である。これら3つの特徴を備えた共通データ基盤をR-CDE（Reliable Common Data Environment）と呼称することとした¹⁾。

R-CDEでは、ステータス管理機能による情報管理に加え^{注3)}、取得したデータの一元化により、施工現場の多様なデータを統合的に管理し、関係者間で必要な情報を効率的に共有できる。また、APIを介したデータ連携により、測量機器や各種ソフトウェアで取得・解析されたデータを、シームレスにR-CDEと連携させることが可能となる²⁾。これらの機能により、情報検索や共有、書類作成にかかる手間が大幅に削減され、誤って古い情報を利用するリスクも低減する。さらに、R-CDEはブロックチェーンおよびスマートコントラクト技術を組み込むことで、データの改ざん防止や証拠の保存を徹底し、データの真正性を担保する。この結果、臨場検査の一部省略³⁾など、業務プロセスの効率化が期待できる。以上を踏まえて、R-CDEの提供価値を表-1にまとめる。

2022年2月に設置された協調領域検討会（事務局：東京大学大学院工学系研究科「i-Construction システム学」寄付講座）の活動の一環として、R-CDEのプロトタイプをICT土工、山岳トンネルの施工段階における出来形検査を対象に開発した。

本論文では、ICT土工の段階確認等にこのプロトタイプを適用し、表-1のうち、情報管理・共有作業の効率化とコラボレーションの促進と高度化に関する評価を行うことを目的とした。これまでに、R-CDEの試行が約40社・80名超の参加で、主に受注者側の効果測定を中心に実施されている⁴⁾。ここでは複数企業がR-CDEをテストデータを用いて試行的に利用し、R-CDEがどの程度、業務効率化に寄与するかなど、ISO/IEC25010を参考に効率性や有効性を評価した。この結果、受注者側にとって有効性や効率性について概ね高い評価を得た。既往の評価に対し、本論文では、発注者側の効果測定も対象に加える点が特徴である。

2. 共通データ基盤の有用性の評価

(1) 対象現場・業務と評価方法

対象工事は、表-2に示す国土交通省の直轄工事2現場であり、対象業務はそれぞれ段階確認、技術検査（中間技術検査）とする。

表-1に示す提供価値のうち、「情報管理・共有作業の効率化（以下、効率化と呼称）」は定量評価、「コラボレーションの促進と高度化（以下、高度化と呼称）」はインタビュー等から得られた意見をまとめ定性評価とする。定量評価では効率化の要因に着目し「情報収集・共有の手間削減（以下、手間削減と呼称）」、「書類作成工数の削減（以下、書類削減と呼称）」、「臨場検査の削減（以下、臨場削減と呼称）」に分類し評価する。また、効率化の評価は、R-CDEの適用前後の作業時間の削減割合を定量的に算定し評価する。

評価手順を図-1に示す。まず、フロー1に示す通りICT土工の段階確認、中間技術検査の業務フローを作業

表-1 R-CDEの提供価値

価値	内容
情報管理・共有作業の効率化	・情報を探す手間の削減、情報共有の手間削減、書類作成工数の削減 ・誤って古い情報を使うリスクの低減、臨場回数の削減
コラボレーションの促進と高度化	・リアルタイムの情報共有、意思決定の迅速化 ・協力関係の強化、誤解の減少、プロジェクト品質の向上
コンプライアンスの強化	・徹底的な証拠保存、業務の信頼性向上 ・改ざんリスクを大幅に低減
データ活用の促進	・データに基づく進捗・リスクの高精度な管理 ・データのプロセス横断的活用の促進（設計－施工－維持管理） ・AIによる高度な分析や自動化の実現

表-2 対象現場と対象業務

略称	詳細
工事 (清水)	名 称：156号岐阜東BP清水山トンネル工事 発注者：中部地方整備局 岐阜国道事務所 受注者：清水建設 工 種：ICT土工 対象業務：段階確認
工事 (フジタ)	名 称：玉島笠岡道路浜中地区中工区改良工事 発注者：中国地方整備局 岡山国道事務所 受注者：フジタ 工 種：ICT土工 対象業務：技術検査（中間技術検査）

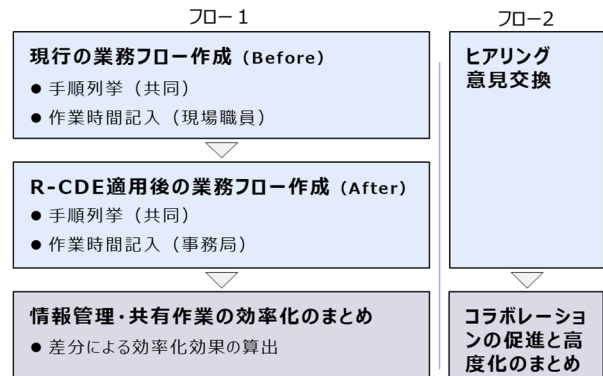


図-1 評価手順

表-3 受注者の従来と R-CDE 導入後の業務フロー比較 対象工事：工事（清水） 対象業務：段階確認

	Before : 従来WF			After : R-CDE導入後のWF				効率化の内訳
	効率化が期待される業務	担当者	時間(分)	導入後の業務	時間(分)	削減時間(分)	削減割合	
出来形計測	モバイル端末の精度確認試験の実施	測量担当	30	モバイル端末の精度確認試験の実施	30	—	—	
	モバイル端末による出来形計測	測量担当	90	モバイル端末による出来形計測	90	—	—	
	取得した点群データの確認	測量担当	10	取得した点群データの確認	10	—	—	
	取得した点群データの現場サーバ保存・共有	測量担当	40	取得した点群データのR-CDEへの自動保存	10	▲30.0	▲75%	手間削減
出来形解析	点群処理ソフトウェアでのデータ処理	主任	30	点群処理ソフトウェアでのデータ処理	30	—	—	
	出来形データの作成	主任	60	出来形データの作成	60	—	—	
	出来形管理図表の出力	主任	10	-省略-	-省略-	▲10.0	▲100%	帳票削減
段階確認	立会日調整	係員	10	-省略-	-省略-	▲10.0	▲100%	臨場削減
	自主検査の実施	係員・主任	90×2	システム上で自主検査の実施	10×2	▲80.0×2	▲89%	臨場削減
	段階確認用資料の作成	係員	60	-省略-	-省略-	▲60.0	▲100%	臨場削減
	段階確認願の提出	主任	10	出来形管理データの確認依頼	10	—	—	
	段階確認（立会）の準備	係員・主任・副所長	20×3	-省略-	-省略-	▲20.0×3	▲100%	臨場削減
	段階確認（立会）の実施	係員・主任・副所長	40×3	-省略-	-省略-	▲40.0×3	▲100%	臨場削減
	段階確認時の実測値の記録	係員	30	-省略-	-省略-	▲30.0	▲100%	臨場削減
	写真整理	係員	20	-省略-	-省略-	▲20.0	▲100%	臨場削減
	上記業務合計	—	760	—	260	▲500.0	▲65.8%	—

表-4 発注者の従来と R-CDE 導入後の業務フロー比較 対象工事：工事（清水） 対象業務：段階確認

	Before : 従来WF			After : R-CDE導入後のWF				効率化の内訳
	効率化が期待される業務	担当者	時間(分)	導入後の業務	時間(分)	削減時間(分)	削減割合	
段階確認	立会日調整	現場技術員	10	-省略-	-省略-	▲10.0	▲100%	臨場削減
	段階確認願の確認	現場技術員	5	段階確認願の確認→システムでの承認	5	—	—	
	段階確認（立会）移動	現場技術員	30	-省略-	-省略-	▲30.0	▲100%	臨場削減
	段階確認（立会）の実施	現場技術員	40	段階確認（データの確認）の実施→システム上での段階確認	20	▲20.0	▲50%	臨場削減
	段階確認（立会）移動	現場技術員	30	-省略-	-省略-	▲30.0	▲100%	臨場削減
	段階確認書類の整理	現場技術員	30	-省略-	-省略-	▲30.0	▲100%	帳票削減
	段階確認書類のASPアップロード	現場技術員	5	-省略-	-省略-	▲5.0	▲100%	帳票削減
	段階確認書類のASP上での承認	監督員	5	段階確認書類のR-CDE上での承認	5	—	—	
	段階確認書類のASP上での承認	主任監督員	5	段階確認書類のR-CDE上での承認	5	—	—	
	上記業務合計	—	160分	—	35分	▲125.0	▲78.1%	—

手順毎に列挙し、業務に実際に要した時間を受発注者それぞれの現場職員が記入する（従来の業務フロー作成）。次に、R-CDE 適用後の業務フローを作業手順毎に列挙し、事務局側（筆者ら）で各作業に要する時間を記入する（R-CDE 適用後の業務フロー作成）。得られる R-CDE 適用前後の業務時間の差分から効果を定量的に算出する。

(2) 評価結果

工事（清水）での段階確認を対象とした従来と R-CDE 導入後の業務フローのうち、受注者側の比較表を表-3、発注者側の比較表を表-4 に示す。表-3、表-4 に示す通り、R-CDE の導入により段階確認において、出来形計測から段階確認に係る時間のうち、従来の業務に対し受注者側で約 66%、発注者側で約 78%の業務時間の削減効果が確認された。効率化の要因毎の時間削減割合（表-5）から、時間削減効果は受発注者ともに臨場削減によるものが支配的である。これは、データの真正性が保証されているため、データだけで出来形の段階確認を実施可能となり、臨場での確認やその準備が不要になることが理由として挙げられる。なお、今回は遠隔臨場では無いため、効果には移動時間の削減も含まれている。

工事（フジタ）についても中間技術検査を対象に同様の比較表を作成し、受注者側で約 23%、発注者側で 6%の削減効果が確認された。工事（清水）に対して工事（フジタ）の削減効果が小さい理由は、R-CDE のプロトタイプは出来形情報のみを扱う仕様となっており、中間技術検査では、出来栄等の出来形以外の検査も多く含まれており、臨場検査を無くすることができず効率化効果も小さくなっている。

定性評価のために得られたインタビュー及び意見交換の結果を表-6 にまとめる。施工管理の高度化と品質向上につながるといった意欲的な見方が受発注者双方から得られた。

表-5 効率化の内訳毎の時間削減割合

受注者	効率化内訳	削減時間(分)	時間削減割合(%)	金額換算(円)
	全体	▲500.0	65.8%	53,417
	手間削減	▲30.0	3.9%	3,269
	帳票削減	▲10.0	1.3%	1,394
	臨場削減	▲460.0	60.5%	48,754

発注者	効率化内訳	削減時間(分)	時間削減割合(%)	金額換算(円)
	全体	▲125.0	78.1%	17,422
	手間削減	▲0.0	0.0%	0
	帳票削減	▲35.0	21.9%	4,878
	臨場削減	▲90.0	56.3%	12,544

表6 コラボレーションの促進と高度化に関する意見

- 施工完了後ではなく R-CDE 上で受発注者間で逐一確認できるのが良い（品質向上に繋がる）
- 現場状況を容易に高頻度で共有できるのは望ましいし、若手の育成にも繋がる
- 全ての施工が終わってから結果が分かるのは管理上危うい、施工途中で逐一確認できるのが良い
- （発注者としては）最終的に要求水準を満たしていれば良いので、頻繁に確認が行われようと最後に検査合格するものが出てこようとどちらでも良い

3. 結論

本論文では、R-CDE の有用性を評価することを目的に、ICT 土工事の受発注者双方の視点で段階確認及び技術検査における適用の効果を計測した。

工事（清水）の、出来形の段階確認において受注者側で約66%、発注者側で約78%の時間削減効果が認められた。段階確認は工事期間中に何百回も実施するため、工数削減の総量は極めて大きなものとなる。一方、中間技術検査においては、現段階の R-CDE のプロトタイプが出来形情報のみ扱うことから、受注者側で約 23%、発注者側で約 5.5%と、相対的に小さな効果にとどまった。R-CDE で扱う情報の範囲を拡大することで、さらなる効果が期待される。関係者へのインタビューや意見交換から、R-CDE の導入により段階確認の手間が減るため、確認回数を増やすことができ、受発注者間の情報共有機会が増え、ひいては工事品質の向上にも繋がり得るといった前向きな意見が双方から得られた。

今後は、「コンプライアンスの強化」や「データ活用の促進」などのその他の価値についても引き続き効果を確認することが求められる。

謝辞：現場への R-CDE の適用及び評価に当たり、国土交通省中部地方整備局岐阜国道事務所、中国地方整備局岡山国道事務所、清水建設株式会社、株式会社フジタの皆様には多大なるご協力を賜りました。また、現場

選定にあたり、国土交通省大臣官房技術調査課にご支援をいただきました。ご協力いただきました関係各位に深く感謝の意を表します。

NOTES

- 注1) 国土交通省：ICT 施工の普及拡大に向けた取組，P1，<https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/constent/001631708.pdf>（最終アクセス：2025 年 5 月 16 日）
- 注2) JACIC：ISO19650 と CDE，<https://www.cals.jacic.or.jp/CIM/cde/index.html>（最終アクセス：2025 年 5 月 16 日）
- 注3) JACIC：CDE の定義，<https://www.cals.jacic.or.jp/CIM/cde/definition.html>（最終アクセス：2025 年 5 月 16 日）

REFERENCES

- 1) 松下文哉，小澤一雅：共通データ基盤 R-CDE の開発と試行 建設施工段階における協調領域の創出を目指して，総合土木技術誌 土木施工，2-2，2025 年 1 月。
- 2) Fumiya Matsushita, Kanae Miyaoka, Bumpei Miyazaki, Masamiki Matsubara, Kazumasa Ozawa: Development of a Prototype Data-system Integration Platform for As-Built Inspection, 2024 Proceedings of the 41st ISARC, Pages 1089-1096, 2024.
- 3) 松下文哉，小澤一雅：施工管理情報の非改竄性を担保するブロックチェーンを用いた出来形検査システム，土木学会論文集 F4（建設マネジメント），pp.1-11, 77 巻 1 号，2020 年 11 月 26 日
- 4) 松下文哉，小澤一雅：ICT 土工を対象とするブロックチェーンとスマートコントラクトを用いた出来高査定及び支払プロセス自動化のためのシステム開発，土木学会論文集 F4（建設マネジメント），pp.133-147, 78 巻 1 号，2022 年 7 月 20 日
- 5) 松下文哉，宮岡香苗，宮崎文平，小島英郷，延藤遵，小澤一雅：建設施工段階の共通基盤プロトタイプの開発と協調領域の検討，土木建設技術発表会，土木学会建設技術研究委員会，2023.

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF A RELIABLE COMMON DATA ENVIRONMENT FOR INSPECTION DURING THE CONSTRUCTION PHASE

Fumiya MATSUSHITA, Kanae MIYAOKA, Bumpei MIYAZAKI, Shunichi FUKUYAMA, Ryoko ARASHIDA, Toshihiko MORITA and Kazumasa OZAWA

Although ICT-based construction is becoming more widespread, data distribution inefficiencies remain an issue. To address this, the R-CDE platform was developed to centralize and authenticate data. Applied to stage inspections and technical examinations in public works projects by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, R-CDE reduced working hours by approximately 66% for contractors and 78% for clients, while also enhancing information sharing and construction management quality.

令和4年度美和ダム上流土砂掘削工事における データマネジメントの活用

古瀬 渉¹

¹非会員 小澤建設株式会社 建設部（〒399-4117 長野県駒ヶ根市赤穂9172番地）
E-mail:w.kose@oform.co.jp

施工情報をデジタル化することで、複数現場の施工管理を可能にし、工事全体で生産性向上を実現した。本工事は、現場間が20km離れており、現場までの移動を極力減らすためにデジタルデータの活用が必須であった。掘削現場では、ペイロード機能による積載量管理、土砂運搬中のリアルタイムな位置情報把握による運行管理効率化を図った。造成現場では、スマートフォンを活用し土量把握を簡素化、マシンコントロール機能による作業効率化だけでなく、遠隔でのリアルタイムな進捗把握・指示出し・品質管理による移動時間短縮、空中写真測量による出来形計測の測量待ち時間などのムダ時間を徹底的に削減した。

Key Words: ICT施工, Stage II, データマネジメント, デジタルデータ, 省人化

1. はじめに

2025年度から、国土交通省直轄工事の土工などでは、「i-Construction 2.0」としてICT施工およびBIM/CIM適用が原則化となる。人材やコストの面でICT施工の導入が難しいと考えていた中小建設業も、ICT施工への適応が求められる。さらには、ICTを活用すれば工事成績評価の加点される時代も終了し、今後は「やるのが当たり前」という時代が変わっていく。

施工情報をデジタル化することで、離れた場所から複数現場の施工管理を可能にし、工事全体で生産性向上を図った取り組みが「令和6年度 インフラDX大賞 i-Construction・インフラDXコンソーシアム会員の取組部門」で国土交通大臣賞を受賞¹⁾。本稿では受賞した取り組み内容と施工中に直面した課題等について紹介する。

2. 工事の概要

(1) 工事概要

長野県南部、伊那市を流れる三峰川は南アルプスに源を発し、天竜川に注ぐ一級河川で天竜川水系では最大の支流だ。その流域の多くは山岳地帯で降水量も多いことから、古くから暴れ川として知られ幾度となく甚大な洪水被害をもたらしてきた。美和ダムは洪水の軽減及び農業用水や発電への利用が目的で昭和34年に建設された。美和ダムは流域の地形の特性から昭和47、57、58年の出水で流入土砂量が多く堆砂が進行した。その後の流入土砂量は安定して

いたが、平成30年以降の近年5年間に大きな出水が発生。流入土砂が増加傾向となり、令和2年は過去3番目に大きな流入土砂となっている。長期的なダムの治水・利水機能への影響が懸念されたため、貯砂ダムや土砂バイパスを設けるなどして堆砂の減少を図るとともに、堆積した土砂の掘削・搬出が進められている。当社では令和元年より美和ダムにおける土砂搬出事業を手掛けている(図-1)²⁾。

<工事概要>

- ① 工 事 名：令和4年度美和ダム上流土砂掘削工事
- ② 発 注 者：国土交通省 中部地方整備局
天竜川ダム統合管理事務所
- ③ 工事場所：長野県伊那市長谷黒河内地先
- ④ 工 期：令和5年4月3日～令和6年12月27日
- ⑤ 工事内容：
 - ・河川土工 掘削工 69,000m³
 - ・残土処理工 1式
 - ・路体(築堤)盛土 1式
 - ・法面整形工 1式
 - ・立木止め工 1式



図-1 工事概要

本工事では、ダム湖の底に堆積した約69,000 m^3 の土砂を、長野県伊那市を中心に12カ所の指定場所に運び込んでいる。土砂運搬先の指定場所のひとつ、伊那市内で造成中の工業団地では、約6ha(60,000 m^2)の土地に土砂を搬入し整地・転圧も行った。

(2) 施工課題と取り組み

施工にあたり、技能労働者不足と片道20kmほど(往復で約1.0時間)の遠隔地からの締固めにおける品質管理および施工管理が課題だった。

品質管理規定により、1,000 m^3 に1回の密度管理が必須であり、さらにはエリアが4工区に分かれていたため、80～100回程度の密度試験と書類の作成等が必要な見込みだった。

従来から、スマートフォンによる土量計測や掘削バケットによる重量計測、ダンプ位置情報管理は行っていたが、離れた複数現場を1人で施工管理を行うのが非常に難しいと判断し、同一事務所で管理ができるICT施工StageⅡに対応した、日立建機株式会社から提供されるSolution Linkageシリーズ等を採用した³⁾。

3. 活用技術の内容

(1) ICT施工

本工事の取り組みとして、施工情報をデジタル化することで、複数現場の施工管理を可能にし、工事全体で生産性向上を実現した。現場への移動を極力少なくするために、デジタルデータの活用が不可欠であり、掘削現場では、ペイロード機能による積載量管理(写真-1)、土砂運搬中のリアルタイムな位置情報把握による運行管理の効率化を図った(写真-2)。



写真-1 LOADEX100 (積載量管理)



写真-2 D-Safety (運行管理)

造成現場では、スマートフォンを活用し土量把握を簡素化(Solution Linkage Survey)(図-2)、MC機能による作業効率化だけでなく、遠隔地からのバックホウ周辺のカメラ映像による安全性向上(Solution Linkage Work Viewer Cloud)(図-3)、締固めの品質管理における移動時間短縮(Solution Linkage Compactor)(図-4)、空中写真測量による出来形計測の測量待ち時間などのムダ時間を徹底的に削減した(Solution Linkage Point Cloud)(図-5)。

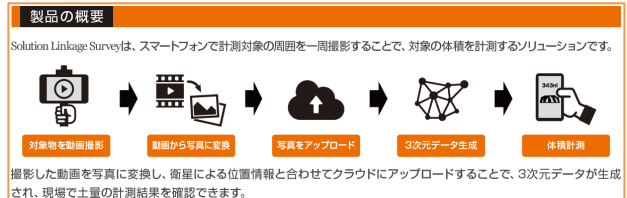


図-2 Solution Linkage Survey (土量算出)



図-3 Solution Linkage Work Viewer Cloud (カメラ映像共有)



図-4 Solution Linkage Compactor (転圧管理)

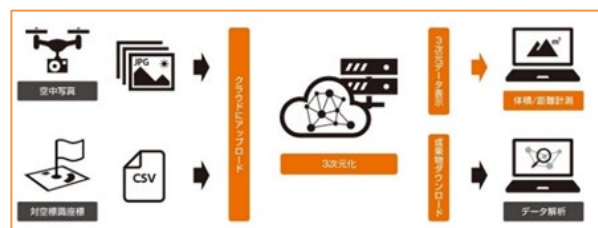


図-5 Solution Linkage Point Cloud (空中写真測量)

(2) データマネジメントの活用

データを活用した現場マネジメントを実施したことで、1人の技術者で離れた2現場をこなすだけでなく、工期の大幅短縮を達成。大きな要因として3つの施策が挙げられる。

一つ目は、施工段取りの最適化だ。ダンプの正確な位置情報を管理することで到着時間を把握でき、積込作業の準備による待ち時間の削減やそれに伴う他作業への時間の有効活用を可能にした。

二つ目は、進捗把握及び作業指示の効率化だ。事務所から施工状況をリアルタイムに把握するこ

とで、距離が離れた2つの現場に対して遠隔からの指示出しや転圧管理を可能にした。

そして三つ目はBIM/CIMツールとしてARを用いた業務効率化だ。ARコンテンツ(写真-3)を用いて現場を見える化することで、作業員との意思疎通が明確になり、手戻りなどのムダな時間を削減、3ヶ月の工期短縮を達成した。



写真-3 TerraceAR (ARコンテンツ)

デジタル技術を活用してデータ分析を行うことで、UAV空中写真測量やICT建機による作業の効率化だけでなく、施工段取りの最適化・遠隔地からの施工状況や機械稼働状況の把握及び指示出しを可能にし、工事全体の効率化を実現した。従来は、これまでの経験値を基にした作業内容や所要日数の設定、機械配置を行っていたため、現場の変化による作業員と管理者の認識齟齬やダンプ台数の不一致等に対応できず、機械や作業員のムダが発生していた。

そこで、「現場映像」や「ダンプ・機械の位置情報」「点群データ」などの様々な現場データを掛け合わせて、現場の変化に柔軟に対応する方向に舵を切ったことで、ムダを徹底的に排除することができた。新しいソリューションや技術を導入するには、毎回慣れるまでには時間を要すが、一度使い始めれば、それらのソリューションは生産性向上に貢献し、先進的な現場マネジメントを実施することが可能だ。

4. 省人化について

昨今の人材不足により、オペレーターのみならず管理者を含め人材が不足している。当社でもいかにICTの活用を推進しても、最終的には人材が大事であると感じている。人材育成にも注力をしているが、ICT施工等の先進技術を知ってもらう機会も少ないのが現状だ。

実際に当現場でも、最低限の実労働者数で施工を遂行することを求められた。掘削側(美和ダム)に建機オペレーターが2名、造成側(東原工業団地)に建機オペレーター3名(内1名は女性)と管理者を入れて6名での体制であった。ICT施工経験者も少なく、ベテランオペレーターは5名中3名だった。ベテランオペレーターはICT施工に活用されるIT機器やソフトウェアの操作方法に抵抗があった。しかし、今回導入したSolution Linkage Compactor

は重機側のタブレットを3回押せば施工が可能な程シンプルで、熟練者や経験者で無くとも操作は容易だった(写真-4)。今後も、管理者目線だけではなく、オペレーター目線に立った新技術が開発されることを期待する。



写真-4 タブレット操作

人材不足問題は今後益々深刻化すると思われる、コスト面でも問題もあるがIT専門職の導入や外注に依頼せざるを得ない状況にある。当現場にて、StageⅡを活用したICT施工による「生産性向上」「省人化」を6名で実行できたことが、今後当社全体で目指す目標になりそうだ。

5. 波及性について

本工事のように現場状況をデータ化することで、「現場映像」「ダンプ・機械の位置情報」「点群データ」等に見える化し、ベテランの管理者だけでなく経験が浅い管理者も効率的な進捗管理による現場の生産性向上を実現できる。また、ダンプのルート管理によるアラート通知や問題発生時の対応、建機やダンプの稼働状況把握によるヒヤリハット情報の収集・対策立案が可能で、安全対策が重視される現場にも活用することが可能である。

さらには、BIM/CIMツールとしてAR技術を活用することで、現場作業員の意思統一を容易に図ることができ、現場の手戻りがなく、効率的に現場を進めることができる。AR技術に関しては、タブレット端末のみで容易に実施ができ、今後様々な現場で波及できる可能性が高い。スマートフォンやタブレット端末、ドローンを使うソリューションは他現場への転用も容易で、今後も測量待ちや測量時間の短縮等の効果が期待できる(図-6)。



図-6 現場導入ソリューション一覧

6. 課題

(1) 施工中に直面した課題

工期途中に、能登半島地震（令和6年1月1日）が発生。当現場ではICT施工にVRS方式（仮想基準点方式；Virtual Reference Station）を採用し施工していた。幸いにも、現場には実害はなかったものの、近隣周辺にある電子基準点が停止した（停止した基準点は約60点）。そのため、GNSS（Global Navigation Satellite System）を補足はしてはいるが、補正情報を受信できなくなり、ICT建機側のタブレットにエラー表示が出続けた。

数日後にはエラー表示が消え、いざ作業に入ると、前回の施工箇所と高さ等が合わないという事例が発生した（最大15cm）。急遽RTK-GNSS測位方式（リアルタイムキネマティックGNSS）に変更を検討したが、約1ヶ月で回復し施工ができるようになった。しかし、結果的に完全回復までに2ヶ月程要することとなった。従来施工では考えられなかった要因もあるが、現場が停止する備えがいかに大事か思い知らされた。

(2) 今後の課題

ICT施工が普及・拡大する中で、施工者側・発注者双方の管理スキルの向上が必要である。ICT施工が当たり前の若年層の世代では、入力データのみを信用しての施工になりかねない。施工の基本を身につけてから先進技術のノウハウを学ぶ事が重要だと感じる。

7. おわりに

今回、当社及び当現場の取り組みが「令和6年度インフラDX大賞」国土交通大臣賞の受賞に繋がった。i-construction 2.0及びICT施工StageⅡの一部を活用したが、まだまだ課題も多く改善・検討の余地は多々あると感じている。受賞に満足せず尚一層の技術の研鑽に励みたい。

謝辞： ご協力いただいた関係者の皆様、当現場に携わった皆様に感謝申し上げますと共に、ICT施工の普及の一端を担えたと自負している。本稿が技術者の参考になることを期待する。

REFERENCES

- 1) インフラ DX に関する優れた取組を行った 26 団体を発表！～令和6年度インフラ DX 大賞の受賞者を発表します～，国土交通省：https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_001158.html（閲覧日：2025.03）
- 2) 国土交通省 中部地方整備局 天竜川ダム統合管理事務所：<https://www.cbr.mlit.go.jp/tendamu/>（閲覧日：2025.03）
- 3) ICT 施工ソリューション，Hitachi Construction Machinery GLOBAL，日立建機株式会社：<https://www.hitachicm.com/global/ja/solutions/solution-linkage/ict-construction/>（閲覧日：2025.03）

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

UTILIZATION OF THE DATA MANAGEMENT SEDIMENT EXCAVATION CONSTRUCTION AT UPSTREAM OF MIWA DAM IN FISCAL YEAR 2022

Wataru KOSE

Enabling construction management at multiple sites by digitizing construction information and achieving productivity improvement throughout the entire construction project. The construction sites are 20 km apart, so utilizing data was required to reduce the movement to each site as much as possible. In the excavation site, improved efficiency of operation management by payload management and real-time location information during sediment transportation. In the land reclamation site, simplifying quantity soil surveying by utilizing a smartphone and promoting efficiency of the work by the Machine Control function. In addition, shortening the movement time by progress monitoring, instruction giving, quality control that are real-time from the remote location and reducing useless time such as the surveying waiting time of the as-built survey by the aerial photo surveying thoroughly.

ICT施工stage II チャレンジによる 施工履歴データ活用事例

永原 和久¹・羽子田 将²・鳥羽 晃弘³

¹非会員 外菌建設工業株式会社 (〒895-0062 鹿児島県薩摩川内市大王町9番13号)
E-mail: nagahara@hokazono-kk.co.jp

²非会員 外菌建設工業株式会社 (〒895-0062 鹿児島県薩摩川内市大王町9番13号)
E-mail: haneda@hokazono-kk.co.jp

³九州地方整備局 八代河川国道事務所 建設監督官 (〒866-0831 熊本県八代市萩原町708番2号)
E-mail: toba-a8910@mlit.go.jp

九州地方整備局八代河川国道事務所が整備を進める南九州西回り自動車道事業では、土工事（掘削・法面整形・土砂等運搬）に際して、ICT施工stage II の試行工事に取り組む中で、生産性向上を目的としたデータ活用による現場マネジメントを実施している。その中で監督職員が予実管理や土配計画の見直しなどを積極的に行う必要があった。

本稿は、この課題を解決すべく、道路改良工事において土配に係わる複数の施工業者の現場で盛土材運搬に携わる大型ダンプトラックの稼働状況などを正確に通知させて作業ロスを最小限に抑える施工履歴データ活用による現場マネジメントを試行的に実施した事例を報告する。

Key Words: i-Construction, BIM/CIM, road construction, Soil allocation, Construction site supervision, Site operation data

1. はじめに

八代河川国道事務所では芦北出水道路の整備に関し、図-1に示す道路事業に取り組んでいる。事業中である水俣IC～出水IC間の延長16.3kmの区間であり、早期開通に向け鋭意施工中である。



図-1 芦北出水道路の事業概要

一方で、国土交通省は2016年より生産性向上を目的にi-Constructionに取り組んでいる。その一貫として、公共土木工事ではICT活用工事が広く行われており、ドローンやレーザースキャナを用いてICT建設機械などのICT機器を活用することで、各種作業の効率化が図られている。ICT機器で取得できる現場の機械稼働状況などの施工履歴データを把握・分析することで工事全体の生産性向上を目指すものとして、今回ICT施工stage II の試行となった。また、2024年4月に国土交通省が発表した施策であるi-Construction2.0においては施工のオートメーション化、データ連携のオートメーション化、施工管理のオートメーション化の三つの自動化によるDX（デジタルトランスフォーメーション）を推進し、建設現場のICT活用をアップグレードすると企図されている。

本稿は、「芦北出水道路」の工事において試行的に実施したデータ活用による現場マネジメントに関する実施要領に基づく実施内容（4項目）の取り組みについて報告する。また、ICT建設機械や大型ダンプトラック土砂運搬の運行状況把握に関する監督職員及び施工業者によ

る施工履歴データ活用についても報告する。

2. 施工に係わる課題と現状の土量と運搬管理

(1) 施工に係わる課題

芦北出水道路の工事では、土工事の切土土量の配分が発注段階では関連工区として運搬配分されていたが、関連工区側の明確な盛土必要土量や受入時期などの食い違いなど、切土施工業者と盛土施工業者では工程調整に問題が発生しやすい状況であった。発注者の事業計画では問題ないが、実際は施工業者が着工前測量によりドローンやレーザースキャナ測量によって3次元設計データ作成し、設計を比較した土量を割り出す事となる。測量結果が同一であれば問題は無いが、当然のごとく数量の変更が余儀なくされる場合が多い。このような課題を基にして、搬出先の指定（土配計画と予実管理）は監督職員が積極的に行う必要があった。

各施工業者の工程に影響があることから、高頻度に複数現場の進捗状況を把握することで、円滑な工程調整や計画の見直しなども想定された。

また、1日に数十台の大型ダンプトラックによる土砂運搬が計画されていることから交通渋滞や苦情などへの対応の為にダンプトラック土砂運搬の運行状況を正確に把握するなどの課題も想定された。

上記を踏まえて、搬出先現場の進捗状況の把握や大型ダンプトラックの運行状況も把握するために施工データを用いた運行管理システムにて改善を試行した。

(2) 現状の土量と運行管理

現状の土量についての判断は現地測量によるものであり、ドローン観測にて得た結果としては過大となる土工数量が発覚する結果となった。前回工事からの引継ぎ期間が何年か空いた事により、現況の把握まで監督職員も判断できない状況もあり、土配の再検討も余儀なくされた。現状の土量管理は監督職員の管理のもとで施工業者が土運搬協議会を結成し、工事件名の組み合わせとその土量に関する計画を集計し、総合的な土運搬予定表を作成して工事を進めていく流れであった。

3. データ活用による現場マネジメント（4項目）

(1) 施工段取りの最適化

図-2に示す大型ダンプトラック運行管理システム『Vas Map』を活用し、携帯端末を車両に携帯させ運行状況を知る事で、他作業への移行ができるという作業の効率化を実現でき、積込待機時間の無駄が削減できる。

また、図-3に示す警報や通知機能を備えているので、土砂運搬中の大型ダンプ車両が現場側へ接近すると1回

目に15分前通知、2回目に5分前通知と交通誘導員や重機オペレーターへLINE通知が届く。

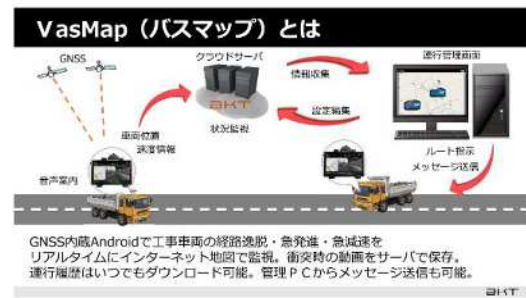


図-2 運行管理システム

よって通知までの間、今まで約〇〇分程度したら現場へ戻ってくると気にかけてながら作業を行っていたが、通知が届くことで他の作業に集中することが可能となった。



図-3 携帯端末Android (LINE通知機能)

(2) ボトルネック把握・改善

図-4に示す各建設機械の稼働状況を把握するクラウドベースのビジョンリンクやWEBアプリケーション画面にて施工管理データを取得することによって、日当たり施工量（サイクルタイム）や待機ロス（アイドリング時間測定）など、現場内の問題点を探り出せるデータ管理として月毎記録していく。

更にICT建機に標準装備された機能で積載量を正確にモニター表示しつつ計量して、土砂積込土量を把握した上で搬出がスムーズに出来るようになる。



図-4 ビジョンリンク（Cloudリンク）及び
ペイロード（重量データ管理）

(3) 進捗状況等把握による予実管理

図-5に示す現場遠隔カメラ設置により、監督職員及び施工業者の両者に対し掘削の進捗状況といったリアルタイムな情報共有を行い、複数の現場への対応などをカメラ映像にて把握することを可能とした。



図-5 現場遠隔カメラ（NITIS登録商品）及び
WEBアプリケーション（施工履歴データ管理）

また、WEBアプリケーション等の活用も行いながら、土工作業時の日々の進捗土量の見える化を実現することにより、ICT建機のバケット刃先履歴データを日々更新し、日当たり作業量の確認や全体の進捗状況の確認、また、掘削施工断面での任意計測やGPS情報取得にて掘削位置や掘削範囲に至るまで、随時施工管理を実施した。従来、月単位でのドローン観測による点群データをベースに土量算出比較を行い、監督職員へ出来高報告や履行報告などを行うことが施工業者にとってネックとなつて

いたが、WEBアプリケーションの活用により施工管理をより正確にスピーディーに行う事が可能となった。

(4) その他（注意喚起、教育等）

携帯端末は大型ダンプトラックのリアルタイムな運行状況把握による安全管理を行う機能を備えており、コース設定された運行経路により運行経路音声ガイダンス機能にて、トラックドライバーが運行中の交通量が多い場所や病院その他の学校付近に近づくとき音声警告が鳴り日々の危険予知行動を意識できる。

更に図-6に示すICT建機に装着した人検知機能を搭載したAIカメラを活用した安全対策を実施し、工事現場での作業員の不安全な動きなど感知をしたり、重機接近時の警告などによる事故回避や事故リスク低減につながる取り組みを行った。



図-6 AI カメラ搭載（人検知機能）

現場における安全教育訓練実施において、施工ステップごとの3次元モデルによるBIM/CIMイラスト動画での安全教育を取り組んだ事により、360°視点で現場の見える動画を実現した。この教育を行うことにより重機オペレーターや作業員との危険に対する認識を十分高める事が出来、ステップごとの作業範囲が明確化され、あらゆる工種での安全ポイントを押さえる事が可能となった。

4. 活用効果と運用上の課題等

(1) 監督職員における効果

複数現場の進捗状況把握については、遠隔カメラ映像の情報共有によってリアルタイムな現場の掘削状況や掘削断面の確認など、各施工業者からの集計表だけでは、分かりづらかった施工量をより早く確認出来て、工程上のリスク把握が可能となった。また大型ダンプトラックの土砂運搬管理に対する過積載防止を監督指導する立場から、現場監視を実施するなど定期的な点検が必要であったが、今回は建設機械に搭載されたバケットによる重量測定管理データを月毎に集計して、日々積み込み毎の積載量を確認する事ができるようになった。

(2) 施工業者における効果

施工業者を対象にしたヒアリング調査の結果として、大型ダンプトラックの土砂運搬日々管理として、発着時間や1台当りの運搬回数は1サイクルの時間が決定して来るため、無理な走行回数を事前に防御することが可能となる。また運搬土量月報データ取得も可能なので、環境面に対応した排ガス対策としてCO₂削減量の集計も兼ね備えており結果データとして残せた。

尚、場内積込オペレーターが待ち時間に法面整形や場内整備などの他の作業へ集中できることから、待ち時間を減少させる事が可能となった。なお、休憩時間にも充てることも出来たとの意見もあった。

(3) 運用上の課題

施工履歴データの活用によって正確な日々の管理は可能となるが、自然環境の現場状況によっては、ロケーション不備によるGPSの取得が不可能な場合に情報がデータエラーになることがある。

その他、大型ダンプトラックの台数が増えると運転手が入れ替わる場合があり、その都度、携帯端末を配布・回収する手間がかかるような状況もあった。

(4) 今後期待されるメリット

調査の結果として今までは土砂運搬管理台数表をダンプ運転手が毎日の記録として紙ベースにて積込、荷下ろし時間や場所及び回数を記入して夕方提出している手法であったが、運行管理システムや重機刃先履歴データなどの資料作成を自動化することによって、より正確な土量管理や設計変更に至るまで時間短縮が期待でき、すべての記録をデータ化することにより書類作成の効率化につながるなどの意見が挙げられた。

5. 終わりに

本稿では、ICT施工stageⅡ試行工事とはいえ実施要項に基づく実施内容を4項目すべて取り上げて、現場にて施工を取り組んだことにより監督職員への進捗状況の報告や土量管理がスムーズに進むなどの利点がいくつか確認できた。また施工業者においても施工段取りの最適化につながる効果が十分に発揮されて生産性向上に資する活用効果があることがわかった。

芦北出水道路事業において、監督職員と施工業者間及び施工業者と協力業者などの関係者の間で、円滑なコミュニケーションを図りながら事業を進めていくことが不可欠であると考えられ、コミュニケーションの一つの手段として施工履歴データを活用した施工現場の見える化は有用だと感じられた。

最後に、今後の道路事業の効率化に躍進すると共に、新技術の活用をより一層加速させて働きやすい建設産業を実現できるよう努力していきたい。

謝辞：今回の取り組みにあたり、試行やヒアリング調査にご協力頂いた施工業者の皆様へ深く感謝致します。

参考文献

- 1) 土木学会：土木学会論文集の完全版下印刷用和文原稿作成

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

Example of Utilizing Construction History Data through the ICT Construction Stage II Challenge

Kazuhisa NAGAHARA, Shou HANEDA, Akihiro TOBA

In the South Kyushu West Circular Expressway project being developed by the Kyushu Regional Development Bureau Yatsushiro River and National Highway Office, site management utilizing data for productivity improvement is being implemented during the trial construction of ICT construction Stage II, particularly in earthworks (excavation, slope shaping, soil transportation, etc.). In this process, supervisory personnel were required to be actively involved in Budget and actual management and reviewing soil distribution plans.

In the road improvement project, multiple construction contractors were involved in soil distribution, and the operating status of large dump trucks transporting embankment materials was accurately communicated to optimize efficiency. This paper reports on a case study of trial implementation of site management utilizing construction history data to minimize work losses, aimed at solving this issue.

ICT 施工 Stage II の推進に資する 工程進捗データ流通環境の整備に関する課題

二宮 建¹・杉谷 康弘²

^{1,2} 正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所（〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地）

E-mail: ¹ninomiya-t92ta@mlit.go.jp, ²sugitani-y92ta@mlit.go.jp,

本研究は、建設現場の情報をリアルタイムに見える化し、工程の見直しや作業の効率化を行うことで更なる省人化を目指す ICT 施工 Stage II を推進するため、工程進捗データ流通環境について検討し試作したものである。工程進捗データ標準（素案）をベースに業務フロー、業務改善目標（案）を整理、設定したうえで機能要件定義を検討し、工程進捗データ流通環境を試作した。工程進捗データ流通環境の試作を通して得ることができたデータ流通の課題を現時点の成果として報告するものである。

Key Words: lean construction management, construction progress data, data distribution environment, system prototyping, data standard guidelines

1. はじめに

国土交通省では、人口減少、少子高齢化による担い手が不足する中、生産性向上や労働環境の改善のため、i-Construction 及び i-Construction2.0 を推進しており、更なる生産性向上に向け、近年飛躍的に進化した AI, IoT, ビッグデータの利用の活性化を目指している。

このため、国土技術政策総合研究所では、施工や施工管理の高度化に向け ICT 建設機械と AI を活用し自律施工を行う技術の開発促進を目指している。その開発のための学習用データとなる施工現場の工程進捗データ（施工現場の工程進捗に従って変化する、地形、資機材の位置、天候等の時系列データセット）の蓄積と共有手法の検討を行っている。

本研究は、工程進捗データの効率的な収集に資する工事受発注者間の流通環境構築に向け、ICT 施工 Stage II の業務フローをベースとした工程進捗データ流通環境の試作を行うものである。本稿では、工程進捗データ流通環境の試作を通して得たデータ流通の課題を現時点の成果として報告する。

2. 国土交通省における ICT 施工の取り組み状況

(1) ICT 施工 Stage I について

2015 年の i-Construction の開始以降、土工、舗装工などにおいて、ICT を活用した出来形管理、建設機械オペレータへのガイダンスシステム、土工の法面や天端の成形にショベル等のバケットの刃先を自動制御する建設機械

などの活用が進んでいる。これら技術を現場活用するべく、各工種の ICT 活用工事の実施要領、積算要領等を 9 年間で整備、公開している^{*1}。2023 年度の国土交通省発注工事では、単年で 2,014 件の ICT 活用工事が行われ、公告に対し 87%の現場で ICT 施工が取り組まれている^{*2}。

そして、第 16 回 ICT 導入協議会（令和 5 年 3 月 20 日）にて、i-Construction の「ICT の全面的な活用」に基づき実施してきた上記のような ICT による工事の作業効率化を ICT 施工 Stage I として位置づけることが示された^{*3}。

(2) ICT 施工 Stage II について

ICT 施工 Stage I では、ICT による工事の作業効率化を実現してきた。それに対して、ICT 施工 Stage II は土工等の工種単位で作業を効率化するだけでなく、ICT により現場の作業状況を分析し、工事全体の生産性向上を目指す^{*3}ものとしている（図-1 参照）。ICT 施工 Stage II の効

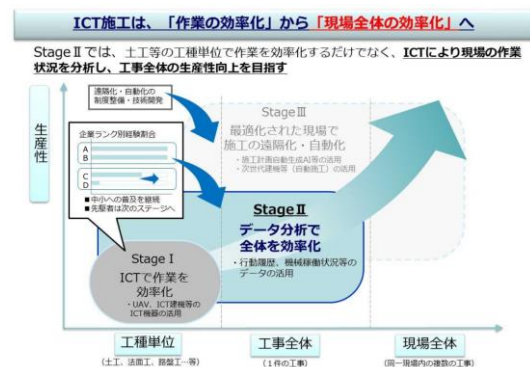


図-1 ICT 施工 Stage I と Stage II の位置づけ^{*3}

果検証のため国土交通省では、データ活用による現場マネジメントに関する実施要領（案）^{*4}（以降、「ICT 施工 Stage II 実施要領（案）」という）を公開し、15 の工事現場にて、ICT 施工 Stage II の試行工事を行っている^{*4}。ICT 施工 Stage II が掲げる工事全体の生産性向上を目指すためには、工程進捗データ（機械稼働データ、施工履歴データ、映像データ）の効率的な収集、的確な解析、効果的な対応策の検討が重要となってくる。

3. 実施工データを用いた工程進捗データ流通環境の検討及び試作

(1) 工程進捗データ標準（素案）＜＜施工データ編＞＞の活用

施工現場の見える化の起点となる時系列に関わる工程進捗データを効率的に収集、共有、解析、発信するためには、流通環境の整備とともに工程進捗データの標準を検討する必要がある。

そのため、国土技術政策総合研究所が「施工計画自動生成 AI 開発向け学習用データの整備に関する検討」^{*5}にて報告した工程進捗データ標準（素案）を本研究では活用する。工程進捗データ標準（素案）は、施工現場の時系列変化情報のデータに関する標準（素案）としており、データ項目の名称、データ内容の説明、形式、計測間隔、取得方法を検討したものである。

(2) 業務フローの整理

工程進捗データ流通環境の試作に向けた要件定義を検討するため、ICT 施工 Stage II 実施要領（案）にて取り組む実施内容のうち表-1 に示す 6 事項を対象に業務フローを整理した。本稿では、①隣接工程の見える化による施工段取りの最適化（図-2 参照）を代表例として説明する。

ICT 施工 Stage II 実施要領（案）の実施内容では、具体的な実施内容、マネジメント手法、実施内容を実現するための必要機能等は示されているが、実施内容を実現するための業務フローは整理されていない。そのため、図-3 に示す形式にて業務フローを整理した。業務フローでは、どの工程にて何の情報を収集し、誰に提供するのかを整理することで、どの工程に何の効果があるかを明確にした。

(3) 業務改善目標（案）の検討

ICT 施工 Stage II 実施要領（案）の「施工計画・工程管理に関する留意事項」、「その他参考事項」から、実施内容に関わらず共通的な業務改善目標立案の観点を表-2 のように整理した。

整理した業務フロー及び業務改善目標立案の観点より

表-1 業務フローの検討対象

ICT 施工 Stage II 実施要領(案)にて取り組む実施事項	
①	隣接工程の見える化による施工段取りの最適化
②	稼働状況等の把握によるボトルネック把握・改善
③	掘削・盛土工程における工程進捗管理による実工程に適した資機材等調整
④	掘削・盛土工程における工程進捗管理による実工程に適した土配管理
⑤	ダンプトラックのリアルタイムな運行状況把握による安全管理
⑥	出来形データを用いたデスクトップ上での段階確認・出来形検査

(1) 隣接工程の見える化による施工段取りの最適化

＜主に受注者の実施内容＞

隣接工程の状況（後工程への引き渡し時刻など）の見える化することにより、待機時間の削減や多能工化（一人が様々な工程や役割を担う）等を行う。

例えば、ダンプトラックの一定の正確性を有する到着時間を把握し、それに基づき、積込作業の準備を開始することで、待機時間の削減（それに伴って、他作業の実施による多能工化や掘削作業時間への有効活用等）等を行う。

なお、従来は、ダンプの正確な到着時間がわからないため、ダンプの到着待ちのための待ち時間や、ダンプが早期に到着したことによるロス（準備が間に合わない）が生じる場合がある。

図-2 「隣接工程の見える化による施工段取りの最適化」の実施内容^{*4}

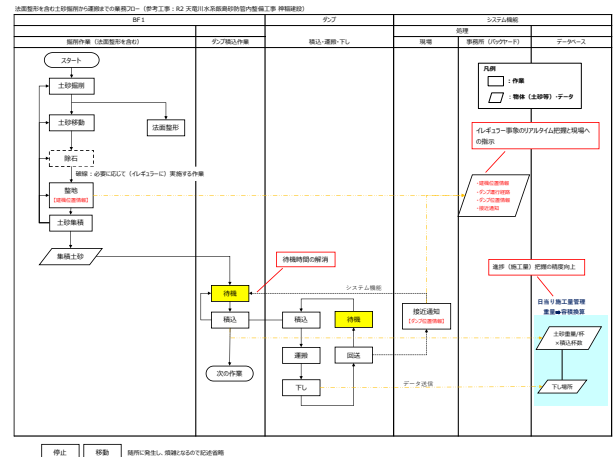


図-3 業務フロー

(例：隣接工程の見える化による施工段取りの最適化)

表-2 共通的な業務改善目標立案の観点

	業務改善目標立案の観点	ICT 施工 Stage II 実施要領(案)の実施内容
①	手順	・各種作業の作業手順の見える化
②	所要時間	・各種作業の所要日数の見える化
③	クリティカルパス	・各種作業のクリティカルパスの見える化
④	情報共有	・工事関係者全体で工程・クリティカル等についての共通認識を形成 ・工事関係者間でのコミュニケーション ・監督職員と受注者間、受注者と協力会社等の関係者との間で、円滑かつ持続的なコミュニケーション

表-3 業務改善目標（案）（例：①隣接工程の見える化
による施工段取りの最適化）

現状	ダンプが、当該現場での土砂等積み込み出発後、荷下ろし場から戻るまでの運行周期を過去の実績時間から予測し、これに合わせて現場の建機作業を進めている。
業務改善のポイント	道路事情(交通渋滞等)の関係で、ダンプの運行周期には一定の幅がある。現場建機側の連携作業は予測に基づくものとなっており、リアルタイム情報を取得することで、改善を期待できる。【②所要時間、④情報共有】 なお、ダンプの運行周期を阻害する要因例としては、次のような事象がある。 イレギュラー事象の管理 建機作業:障害物の出土 ダンプ:交通渋滞(事故等予測不能なもの・通勤時間帯等ある程度予測可能なもの) 天候による作業の進捗度変化(遅延)
業務改善案	■建設機械・ダンプの位置情報等の集約と共有化 ダンプの位置情報を常時把握し、建機側と共有することで、ダンプへの積み込み作業と掘削等その他の作業の時間配分をより厳格に行うことが可能となり、作業の効率化(待ち時間の削減)につなげることができる。

表-1の①～⑥実施内容別に業務改善目標（案）を検討した（表-3 参照）。検討に際しては、現状、業務改善のポイントも併せて整理した。

(4) 工程進捗データ流通環境の試作における要件定義の検討

表-1の6事項別の業務フロー、業務改善目標（案）より、工程進捗データ流通環境の試作に向けた要件定義（業務要件、機能要件）を検討した。検討内容の一部抜粋を図-4に示す。本研究のシステム開発範囲は、施工データの入力、施工データの蓄積・連携、施工データの取り出しとした。本試作においては、各施工データの入力は手動入力としている。また、取り出した施工データを処理するアプリケーションの開発は実施しないため、Excel上でのグラフ化による対応とした。

(5) 工程進捗データ流通環境の試作

1) システムの全体構成

本研究では、要件定義を実現するために AzureAD, AzureFunctions, AzureCosmosDB, AzureStorageAccount を組み合わせたシステムの全体構成を検討した（図-5 参照）

2) システム稼働イメージ

試作した工程進捗データ流通環境のシステム稼働イメージとして、ダンプの運搬履歴データを対象にデータ登録、データ検索、データ出力結果の実施結果を図-6に示す。

3) 工程進捗データ流通環境の効果

本研究で使用したデータは、1現場に2工区（A工区、B工区）あり、異なる施工者が工事を受注している実現現場のデータである。例えば、ダンプの運搬履歴のデータを活用し現場全体の施工状況を工事の受発注者間で把握

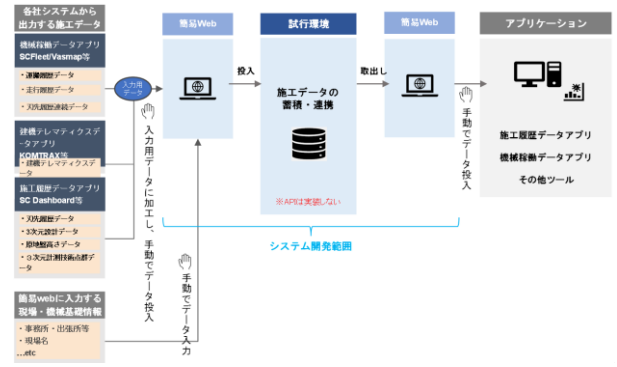


図-4 工程進捗データ流通環境の要件定義（一部抜粋）

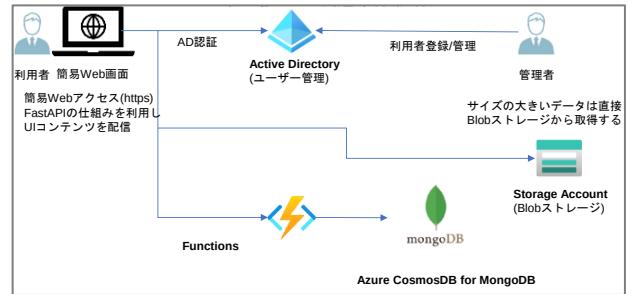


図-5 システムの全体構成



①データ登録



②データ検索

③データ出力結果

図-6 システム稼働イメージ

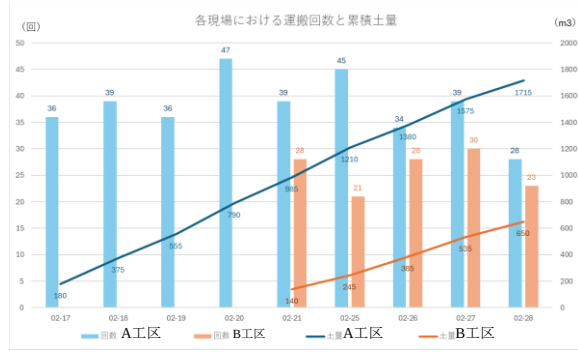


図-7 A工区・B工区における運搬回数と累積土量

するためには多くの手間（施工者間のデータ収集状況の把握、調整やデータ共有方法の検討など）を必要とする状況である。工程進捗データ流通環境を活用することで、両工区の運搬回数や累積土量などの進捗状況を一元的に確認することが可能となった（図-7 参照）。

つまり、工程進捗データ流通環境のような取組を実現することで、ICT 施工 Stage II が掲げる工事全体の生産性向上に資するデータ収集およびデータ解析が対応できることを確認した。

(7) 工程進捗データ流通環境の課題整理

本研究を通して得た工程進捗データ流通環境の課題を表-4に整理した。特に ICT 施工 Stage II の推進に向け精度の高いデータ収集およびデータ解析を実現するためには、施工現場の時系列変化情報のデータ形式に対して規定すべき新たな項目を見い出すことができた。

4. まとめ

本研究のまとめとして、下記4点を記載する。

- ・ ICT 施工 Stage II の推進に資する工程進捗データ流通環境を工程進捗データ標準（素案）をベースに試作した。
- ・ 工程進捗データ流通環境の試作に際し、業務フローや業務改善目標（案）を検討することで工程進捗データ流通環境の要件定義（案）を整理した。
- ・ 工程進捗データ流通環境より、ICT 施工 Stage II が掲

表-4 工程進捗データ流通環境の課題整理

No	分類	課題
1	データ形式	各社システムの時刻情報の形式の標準化
2	データ形式	走行履歴データのデータ取得頻度の設定
3	データ形式	刃先履歴連続データの時刻情報の有無
4	データ形式	刃先履歴データのデータ密度の違い
5	システム要件	データ流通環境（試行）への登録時のレコードサイズの上限
6	システム要件	登録データの作成に関する責任分界点の整理
7	システム要件	外部システムとの連携をするための API の各種要件

げる工事全体の生産性向上に資するデータ収集およびデータ解析が対応できることを確認した。

- ・ 試作を通して得た工程進捗データ流通環境の課題より、施工現場の時系列変化情報のデータ形式に対する規定すべき新たな項目を見い出した。

今後の取り組み方針としては、本研究にて得た施工現場の時系列変化情報のデータ形式への課題を観点に工程進捗データ標準（素案）を更新する必要がある。また、更新に際しては、ISO15143にて規定している各種データ項目にも着目し、国際標準への適用や展開も考慮する必要がある。

REFERENCES

- 1) 国土交通省：要領関係等（ICT の全面的な活用），https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/sosei_constplan_tk_000051.html
- 2) 国土交通省：第 19 回 ICT 導入協議会資料，https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/sosei_constplan_tk_000052.html
- 3) 国土交通省：第 16 回 ICT 導入協議会資料，https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/sosei_constplan_tk_000052.html
- 4) 国土交通省：データ活用による現場マネジメントに関する実施要領（案），https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/sosei_constplan_tk_0000171.html
- 5) 大概 崇, 杉谷 康弘：施工計画自動生成 AI 開発向け学習用データの整備に関する検討, 第6回 i-Construction の推進に関するシンポジウム講演概要集, pp. 65-68, 2024.

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

Issues related to the development of the construction progress data distribution environment that contributes to the promotion of "ICT construction Stage II"

Tatsuru NINOMIYA, Yasuhiro SUGITANI

This study examined and developed a prototype of the construction progress data distribution environment to promote "ICT construction Stage II", which aims to further reduce manpower by visualizing information on construction sites in real time and improving work efficiency. This paper presents results of the data distribution issues obtained through the prototyping of the process progress data distribution environment.

国道4号 箱堤高架橋上部工工事における DXの取組み

壽系 亘平¹・佐合 大²・塚本 和志³

¹正会員 高田機工株式会社 技術本部技術計画部技術計画課長 兼 技術本部技術開発部開発課長
(〒556-0011 大阪市浪速区難波中 2-10-70) E-mail: k_suke@takadakiko.co.jp

²正会員 高田機工株式会社 技術本部長代理 兼 技術開発部長
(〒556-0011 大阪市浪速区難波中 2-10-70) E-mail: d_sagou@takadakiko.co.jp

³非会員 高田機工株式会社 工事本部橋梁工事部工事課長
(〒556-0011 大阪市浪速区難波中 2-10-70) E-mail: k_tsukamoto@takadakiko.co.jp

施工時間に制約のある急速送出し架設では、作業指揮者がタイムスケジュールを踏まえながら、上部工や設備の状況を即時に把握し、適切な判断を指揮系統に反映させる必要がある。従来は、各要所に配置された担当者が手作業で計測を行い、無線で情報を集約・分析したうえで対応を判断していたが、対応に時間を要するうえ、ヒューマンエラーのリスクもあった。限られた施工時間内で作業を完了させるには、通り・たわみ・反力などのデータを迅速かつ正確に収集・一元管理する仕組みが不可欠である。今回開発したシステムでは、ICTを活用して各種データを自動で収集し、インターネットブラウザ上で誰でも確認できるデジタルツインを構築することで、情報伝達の迅速化と精度向上を図り、作業指揮者の的確な意思決定を支援する。

Key Words: ICT, digital twin, visualization, cloud system, productivity improvement, rapid launch construction

1. 事業概要

本工事は、国道4号仙台拡幅事業の一環として実施されたものであり、仙台市内を通過する国道4号（延長約6km）の交通渋滞の緩和を目的としている。

本事業は3期に分けて段階的に整備が進められてきた（図-1）。第1期では、平成元年に仙台市宮城野区苦竹から燕沢にかけて6車線化事業に着手し、平成19年3月に完成している。続く第2期では、平成18年度より宮城野区鶴ヶ谷までの約1.8km区間において6車線化が進められ、令和2年10月に完成した。第3期においては、令和元年度より箱堤交差点（卸町交差点から苦竹インターまでの約1.4km）を含む区間の立体化工事に着手し、令和7年2月には立体部への交通切替を完了している。本工事は、第3期として実施された箱堤高架橋の上部工架設工事であり、令和5年10月に完了した（図-2）。

2. 箱堤高架橋の概要

基本諸元を以下に示す。

- ・橋 長：285m
- ・支間長：48.0+61.0+65.0+61.0+48.0m



図-1 国道4号仙台拡幅事業 平面図①



図-2 箱堤高架橋架設完了写真

- ・全幅員 18.75m
- ・構造形式：鋼 5 径間連続箱桁橋

2. 工事概要

本工事は、橋長 285m の鋼 5 径間連続 4 主箱桁橋であり、箱堤交差点を跨ぐ中央径間を送出し工法により架設し、引き続き側径間をクレーンベント工法により架設する計画を採用した（図-3）。箱堤交差点は、東北地方で最も交通量が多いとされる国道 4 号と市道元寺小路福室線が交差する、片側最大 8 車線を有する日本最大級の交差点である。この交差点上での送出し架設は、全面通行止めを要するため、道路利用者への影響を最小限に抑える必要があった。そのため、1 夜間で移動量が 100m を超える急速送出し架設により実施した。

3. 施工シミュレーション

施工に先立ち、交差点上での送出し架設に関するシミュレーションを実施した。シミュレーションでは、レーザースキャナ測量により取得した現地地形（点群モデル）を基に 3D モデルを作成し、各工程における近接道路への影響（支障物や俯角など）を可視化した。これにより、事前に適切な対応を講じることが可能となった（図-4）。さらに、この 3D モデルに時間軸の要素を加えた 4D モデルを構築し、送出しの進捗（タイムスケジュール）に応じた反力やたわみの変化を視覚的に確認できるようにした。これにより、夜間施工時における理想的な施工モデルを構築することができた（図-5）。

加えて、作成した 4D モデルを MR（複合現実）技術を用いて現地に投影し、干渉物の確認、施工手順の周知、施工計画の妥当性の検証を実施した（図-6）。このように、架設計画を視覚化することで、若手の管理者や作業員でも架設作業のイメージを容易に把握でき、作業手順の周知が可能となった。また、問題点の事前把握が可能となり、作業の遅れや手戻りを最小限に抑えることができたほか、危険予知の精度も向上し、事故やトラブルの防止にも寄与した。これらの結果、施工計画の高度化を図るとともに、作業員の教育コンテンツとしても活用し、作業手順のより確実な周知を実現することができた。

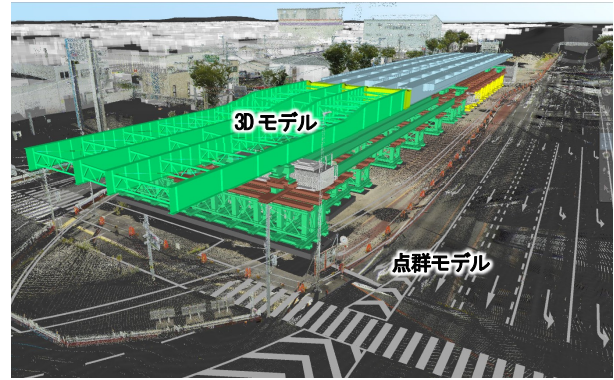


図-4 現地地形を反映した 3D モデル

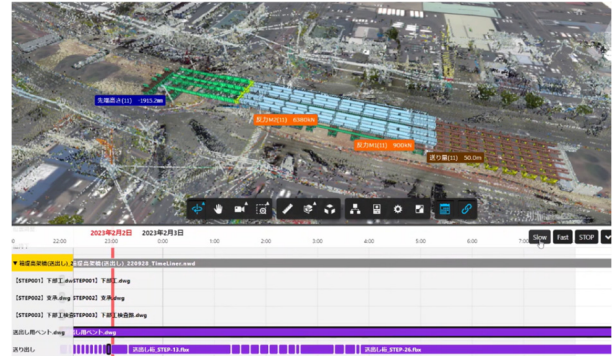


図-5 4D モデルによる施工シミュレーション



図-6 MR による施工シミュレーション

4. デジタルツインシステム

日本最大級とされる箱堤交差点上における送出し架設は、交差点を全面通行止めとし、1 夜間で実施した。タイムスケジュールは 21 時より交通規制を開始し、以下の手順により作業を進めた（図-7）。

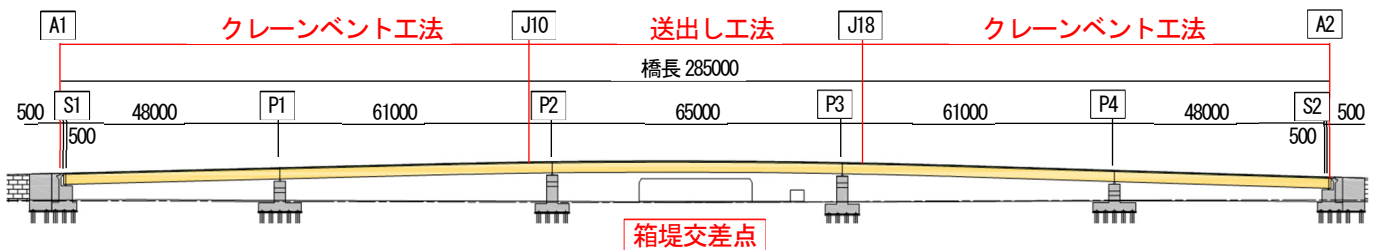


図-3 箱堤高架橋側面図（架設工法の区分）

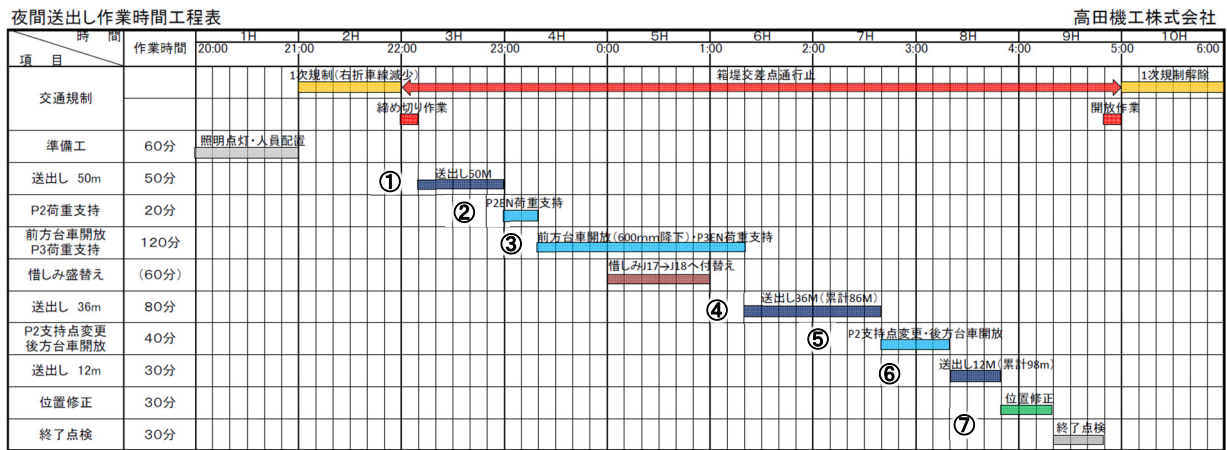


図-7 タイムスケジュール

- ① 22 時 10 分 第 1 回送出し推進開始 (約 50m)
- ② 23 時 00 分 手延べ機が対岸に到達
- ③ 前方台車開放, 各支持点で反力調整を実施
- ④ 1 時 20 分 第 2 回送出し推進開始 (約 36m)
- ⑤ 2 時 40 分 後方台車を開放
- ⑥ 3 時 20 分 第 3 回送出し推進開始 (約 12m)
- ⑦ 3 時 50 分 到達後位置修正と終了点検を実施

本工事の送出し架設は作業時間に制約があることから、①・④・⑥の工程で使用する推進ジャッキには、連続稼働により 1m/min の速度でけん引可能な「ダブルツインジャッキ」を採用し、各支点には、推進に伴う盛替え作業が不要な「エンドレス滑り装置」を採用した。なお、この装置は一般的に直線方向への送出しを前提とした構成であるが、本橋はわずかに曲率を有する線形であり、盛替え作業による時間ロス回避しつつスムーズに送出しを行うためには、推進方向（通り）の厳格な管理が求められた。また、②の工程では、手延べ機先端に生じる約 2.0m のたわみを解消し、適切な反力を載荷させる必要があった。さらに、③・⑤・⑦の工程では、全体の反力バランスを調整し、④・⑥の送出しに伴って変動する支持点の反力の妥当性をリアルタイムで評価する必要があった。これらの課題に対して、従来は各管理点に管理者を配置し、それぞれが手動で計測を行い、無線で作業指揮者に情報を伝達し、手計算により分析・判断を行う手法で実施していた。しかし、この方法では計測や連絡に時間を要するうえ、常にヒューマンエラーのリスクを伴う。したがって、限られた夜間作業時間内で交差点上の送出し架設を安全かつ確実に完了させるためには、通り・たわみ・反力といった情報を迅速に収集し、作業指揮者が適切な判断（意思決定）を行える環境を整えることが、本工事における重要な課題である。

そこで本工事においては、必要な工事情報をリアルタイムで再現可能な「デジタルツインシステム」を構築した。デジタルツインとは、現実世界から収集したさまざ

まなデータを、まるで双子のようにコンピュータ上に再現する技術である（図-8）。



ICT 技術でデータ収集
クラウド上にデジタルの双子を構築

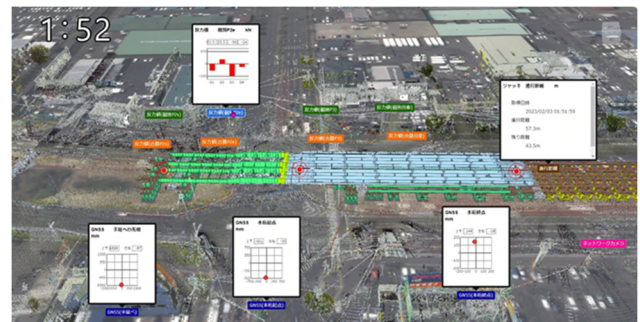


図-8 デジタルツインシステム

まず、桁位置および変形に関する計測（送出し推進量、通り、たわみ）については、手延べ機の先端および桁の両端の計 3 カ所に GNSS を設置し、データを取得した。取得したデータはクラウドシステム上で演算し、ブラウザ上に表示される 3D モデルの位置や、各種ウィジェットにリアルタイムで反映される仕組みとした（図-9）。

次に、主桁を支持するジャッキの反力については、ジャッキの集中管理システムから出力されるデータをリアルタイムでクラウドにアップロードし、同様にウィジェットに表示させる構成とした。桁の通りおよびジャッキ反力値には、それぞれ 2 段階の閾値を設定した。第 1 段階（通り：±20mm、反力：主桁許容荷重の 70%）では、対象箇所のウィジェット表示を黄色に点灯させ、第 2 段階（通り：±30mm、反力：主桁許容荷重の 90%）では赤色に点灯させることで、異常の発生を視覚的に把握できるようにした。

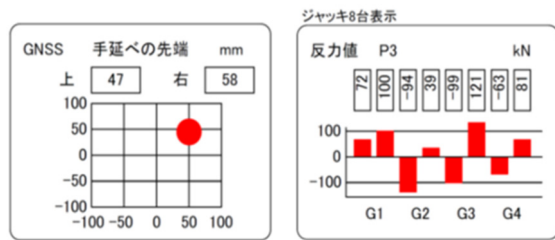


図-9 ウィジェット表示 (左:通り,たわみ 右:反力)

さらに、施工計画段階で構築した 4D モデルを基に作成した施工シミュレーション（送出し架設の理想値）を、デジタルツインと同様にブラウザ上でリアルタイムに再生可能とし、両者を比較しながら管理できる体制を整えた。送出し当日には、現場全体を見渡せる位置にテントを設置し、50 インチの大型モニタにデジタルツインと施工シミュレーションの映像を並列表示して、一般公開も実施した（図-10）。



図-10 現地での運用状況

本システムの活用により、作業の進捗状況が明確になったことで、タイムキーパーの人数を削減できたほか、通りやたわみの計測も確認作業にとどめることが可能となった。また、無線では伝達が困難であった情報についても円滑に共有することができ、個別の無線連絡を最小限に抑えることができた。作業指揮者においても、情報を視覚的かつ俯瞰的に把握できるようになったことで、

状況の分析が容易となり、迅速かつ的確な意思決定に資する結果となった。さらに、状況の把握が容易となったことから、現場見学に訪れた若手技術者の教育においても理解が深まり、教育コンテンツとしての有効性が確認された。これらの効果により、施工の効率化は約 30%向上したものと考えられる。加えて、本システムはインターネットブラウザを介してアクセスが可能であるため、現場に立ち会えない熟練技術者であっても遠隔地から状況を把握することができ、遠隔支援の実現にもつながった。その結果、安全性および品質の向上にも寄与したと考えられる。さらに、施工状況をデジタルデータとして記録・保存できることから、今後の技術伝承への活用も期待される。

5. おわりに

当社は、DX の積極的な推進を通じて、人手不足などの社会課題に対し、より効率的かつ持続可能な未来の実現を目指している。このたび「インフラ DX 大賞」において優秀賞を受賞したことは、これまでの取り組みが広く評価された結果であり、誠に喜ばしい限りである。今後も現場の課題に真摯に向き合い、技術と創意工夫をもってインフラの未来に貢献していく所存である。

謝辞：本取組みに際し、多大なご協力をいただいた東北地方整備局仙台河川国道事務所の皆様、協力業者の皆様、関係者の皆様に深く感謝を申し上げます。

REFERENCES

- 1) 国土地理院 Vector を改変し作成
<https://maps.gsi.go.jp/vector/#7/36.104611/140.084556/&ls=vstd&disp=1&d=1>

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

DX Initiatives for the Construction of the Upper Section of Hakozutsumi Viaduct on National Route 4

Kouhei SUKE, Dai SAGO and Kazushi TSUKAMOTO

In rapid launching erection method, where construction time is limited, the supervisor needs to instantly grasp the status of the superstructure and equipment to make appropriate decisions while considering the time schedule. Conventionally, personnel assigned to each point took measurements manually. As a result, the supervisor used radio communication to consolidate information and determine the situation, however this required time to respond and carried the risk of human error. To complete construction within a limited time limit, it is essential to have a mechanism that quickly and accurately collects and centrally manages data such as straightness, deflection, and reaction force. This newly developed system can automatically collect various data and construct a digital twin that can be viewed by anyone on the Internet browser. The system would speed up and improve the accuracy of information transmission and assist supervisors in their decision-making.

下水道管路施設の通報対応業務における意思決定支援ツールのプロトタイプ開発

丸山 涼介¹・小澤 一雅²

¹正会員 東京大学大学院共同研究員 工学系研究科 i-Constructionシステム学寄付講座
(〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

E-mail: ryousuke-maruyama@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

²フェロー会員 政策研究大学院大学 教授
(〒106-8677 東京都港区六本木7-22-1)

E-mail: k-ozawa@grips.ac.jp

本研究では、地方公共団体の下水道管路施設通報対応業務において、現地調査時の意思決定を支援する RAG 型ツールのプロトタイプを開発した。職員が PC やスマートフォンから現地情報を入力すると、過去の対応履歴を検索し、具体的な対応方針が示される。ツールは、クラウドサービス (AWS) 上に構築し、PC フォルダとの同期のみでデータ更新が可能のため、AI 未経験者でも容易に運用できる。A 市の令和 4 年度業務データ 279 件を基に作成した 300 件の架空データでプロトタイプを検証し、文脈に応じた対応案生成能力を確認した。今後は実データ適用による職員評価及び指示削減効果を定量的に検証する予定である。

Key Words: local government, sewer, retrieval augmented generation (RAG)

1. はじめに

下水道分野は管路・処理場施設の老朽化¹⁾、人口減少による下水道使用料収入の減少²⁾、職員の減少及び熟練技術者の退職による技術力の低下³⁾といった課題を抱えている。特に、人口減少率の高い小規模の地方公共団体は経営基盤が脆弱で、下水道施設の持続的な管理運営が危うい⁴⁾。また、公務員の 8 割を占める地方公務員は、短いスパンで異動を繰り返しており^{4,5)}、業務の引き継ぎに課題を感じていることが明らかとなっている⁶⁾。先行研究によると、同じ土木系の部門内での異動においても要求される職能は大きく異なり、専門性の欠如が指摘されている⁷⁾。一方で、2023 年頃より生成 AI による情報の検索や知識の共有に関する操作性が格段に向上している⁸⁾。本研究では、下水道分野の通報対応業務に着目し、自治体内の異動時の情報・知識の引き継ぎを円滑に行うとともに、業務の意思決定を支援するため、生成 AI の中でも RAG (Retrieval Augmented Generation) と呼ばれる仕組みを活用して、過去の通報対応履歴を容易に蓄積、検索し、その時々現地状況に合わせて過去の対応を参照可能な支援ツールのプロトタイプを開発することを目的とした。

2. 下水道管路施設の通報対応業務

(1) 通報対応業務のプロセス

通報対応業務は、下水道管路施設の異常等について、住民又は同団体の別の課から担当係へ電話連絡が入ることから始まる。通報受領後、職員が現地に急行し、現場の状況や異常の原因、程度などを調査し、応急処置や、修繕の計画・委託を行うものである。本研究で対象とした A 市においては、年間で平均 300 件前後の通報を受ける (記録として残っている通報に限る)。現地への急行は職員二人で対応にあたり、様々な種類の施設、場所、異常の種類があり、状況に応じた方針が求められる。

(2) 通報対応業務で収集する情報

現地にて収集する情報は以下の 4 つに大別できる。

- ①施設種別：管渠、人孔、汚水桝、取付管、先行管、宅内施設、他施設
- ②所有者、場所：国、県、市、港湾道路、民地 道路、歩道、その他
- ③異常種別：陥没、漏水、蓋のガタツキ、不明水、支障移転、老朽化、路面との段差、先行管の屈曲、臭気、溢水、閉塞、破損、周辺の下がり、その他
- ④異常程度：範囲、深さ、漏水量、劣化度合い、騒音

(3) 現地での対応及びその後の対応方針

A市の令和4年度における計279件の通報対応結果から、現地に急行した際の対応方針の判断結果を7ケースに分類した(表-1)。現地急行時、最初に自身の係で対応すべきかどうかを判断するため、損傷している施設やその原因を特定する。その後、状況に応じて表-1の通り、年間契約している維持管理業者や個別に委託するなどの判断を行う。A市においては、判断は基本的に現地に急行している職員間で実施されるが、その場での判断が難しい場合、上長や他係の職員帯同のもと、別日に再度現地調査を行い判断するなどの手間が発生している。特にケース3、5、6は、年間契約している維持管理業者では対応できないことが多く、個別に検討が必要のために判断が難しいことが想定される。

表-1 現地急行時の対応方針と令和4年度における各ケースの割合

ケース	対応方針	割合
ケース1	職員による応急処置のみ	10%
ケース2	応急処置+年間契約している維持管理業者による修繕	52%
ケース3	応急処置+(修繕)+改築(次年度の改築計画に追加)	1%
ケース4	来年度の委託業務(年間契約している維持管理業者)にて対応	4%
ケース5	応急処置+維持管理業者に個別に委託し修繕	5%
ケース6	応急処置+緊急清掃 or 緊急修繕	2%
ケース7	管轄外のため他の課に対応依頼の連絡、住民(所有者)対応など	26%

(4) 通報対応業務の特徴と課題

通報対応業務の特徴は、異常が発生した後の現場での対応の仕方にある。事前に詳細調査等を実施しているわけではないため、どのような原因で異常が発生しているのか明確に区別できない場合がある。その他に市内各所からの通報を受けるために責任の範囲が曖昧であったり、複合的な問題が絡んでいたり、住民対応の判断が難しいケースなども存在する。このような判断が難しい現地状況の場合、関係者との合意形成を図るために現地調査等を複数回実施する必要があるが、変更指示のための決裁が追加で必要になる事態が発生している。A市では追加・変更指示が発生した件数だけでも年間で23件にのぼり、初動の現地急行時の意思決定を支援することで、現地調査や追加の指示回数を減らせるのではないかと考えられる。

3. 意思決定支援ツールのプロトタイプ開発

(1) 開発した意思決定支援ツールの概要

本研究で開発したツールの概要を図-1に示す。本研究ではRAGの仕組みを活用し、現地情報を検索単語として、過去の通報対応履歴を検索・抽出することで、回答

を生成する。これにより、多様な現地状況に対して、過去にどのように対応したかを現地で瞬時に検索でき、意思決定のための方針をユーザーに示すことが出来る。今回、RAGの回答に用いる通報対応履歴は、前述したA市の令和4年度の計279件の通報対応結果をもとに、架空の300件のデータを作成したものを利用した。

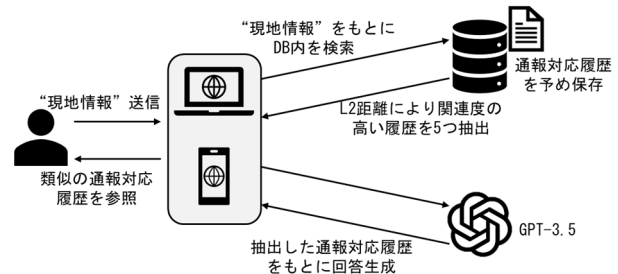


図-1 RAGを用いた意思決定支援ツールの概要

(2) システムアーキテクチャ

本ツールは、Amazon Web Services (AWS) を用いて開発を行った。開発したツールのアーキテクチャを図-2に示す。地方公共団体職員の使用を想定しており、生成AI等に馴染みの無いユーザーもいるため、参照するデータは個人のノートパソコンの特定のフォルダと同期するよう設定することで、データのアップロード作業を不要とした。同期後は、チャンク分割やテキスト埋め込み(OpenAI社 text-embedding-ada-002)等の処理を行い、データベースに保存される。また、フォルダから不要なファイルを削除することでデータベースから削除することも可能である。

(3) ユーザー操作とプロンプト作成

利用場面は地方公共団体職員が通報を受け、現地に到着した際や、現地での調査後に異常が特定できている場合等を想定する。ユーザーはスマートフォン等により、2.(2)の情報を選択し、送信ボタンを押す(図-3 上部)。通常の生成AIであればユーザーがプロンプトを作成する必要があるが、本ツールでは、利用場面を限定していることや、ユーザーによる回答のブレを抑えるために、予めプロンプトを固定している。固定化されたプロンプト文にユーザーが選択した現地状況を挿入したものが、LLMに送信される仕組みである(図-3 下部)。

(4) 回答生成結果

生成に使用するモデルはOpenAI社のgpt-3.5-turboとし、下記の4点について回答するよう予め指示している。

- ① 現地で必要な対応、応急処置
- ② 現地での対応後の方針
- ③ 対応実施後の結果
- ④ 概算費用

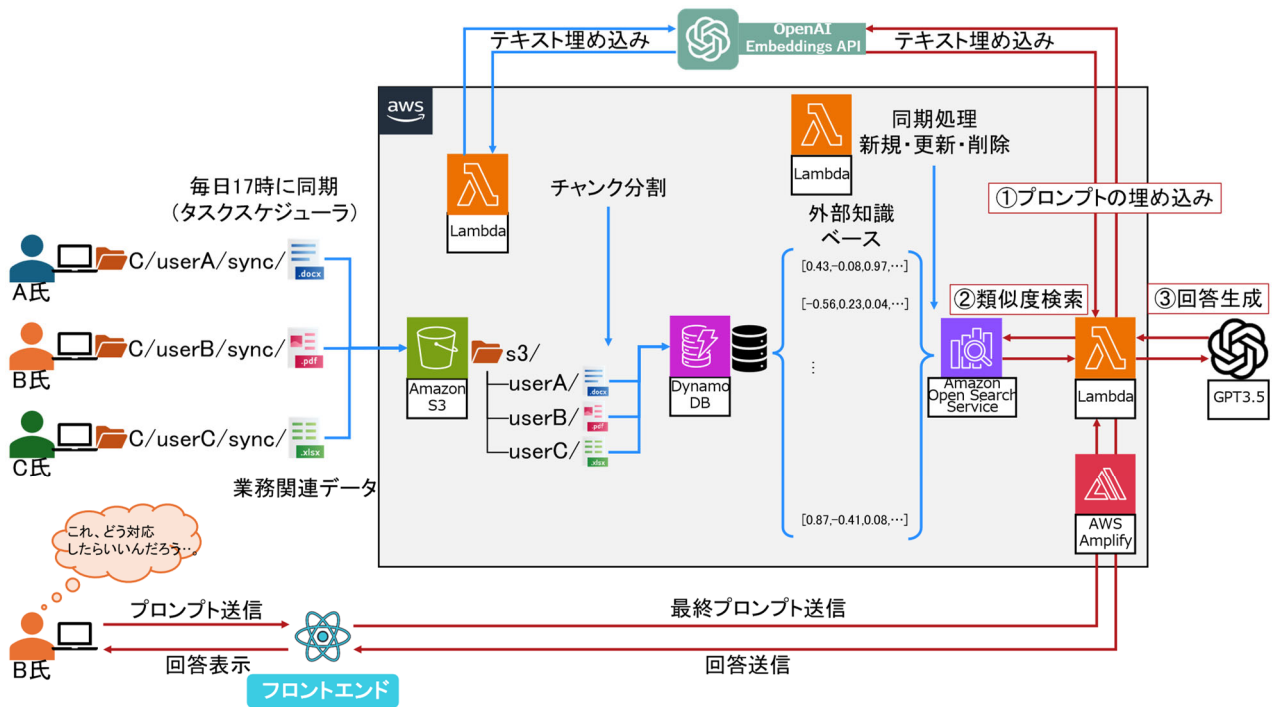


図-2 開発ツールのアーキテクチャ

通報対応業務支援システム

① 施設種類 (facility_type):
☒ 管渠 ☐ 人孔 ☐ 汚水側 ☐ 取付管 ☐ 先行管 ☐ 宅内施設 ☐ 他施設

② 管理者 (occupancy):
☐ 国 ☐ 県 ☒ 市 ☐ 港湾道路 ☐ 民地

③ 場所 (location):
☒ 車道 ☐ 歩道 ☐ その他

④ 損傷の種類 (issue_type):
☐ 陥没 ☐ 漏水 ☐ 蓋のガタツキ ☐ 不明水 ☐ 支障移動 ☐ 老朽化 ☐ 路面との段差
☐ 先行管の屈曲 ☐ 臭気 ☐ 漏水 ☐ 閉塞 ☐ 破損 ☒ 周辺の下がり ☐ その他

⑤ 損傷の程度 (severity):
☒ 深度 ☐ 半径1mに渡って数cm程度 ☐ 漏水量 ☐ 臭気強さ ☐ 劣化度合い ☐ 騒音

補足 (自由記述):
 降雨時に水たまり発生

“市”管轄の“車道”内にて、“管渠”に起因する
 “周辺の下がり”が生じています。
 損傷の程度区分は“深度”で、損傷程度は“半径
 1mに渡って数cm程度”
 補足：“降雨時に水たまり発生”

図-3 意思決定支援ツールの画面と
作成されるプロンプト

回答

1 現地で必要な対応、応急処置:

現地での対応として、漏水が確認された箇所に対して応急処置を行う必要があります。漏水箇所を特定し、漏出を最小限に抑えるために一時的なパッチングやシーリングを施すことが重要です。また、周辺の安全確保も忘れずに行いましょう。

2. 現地での対応後の方針:

漏水の応急処置が完了した後は、根本的な修繕を行う方針を立てる必要があります。漏水が発生した原因を特定し、管渠の破損部を正しく修復するために、管渠の開削と新しい硬質塩ビ管への更新作業を計画しましょう。

3. 対応実施後の結果:

修繕作業が完了した後は、再度管内TVカメラ調査を行い、修復箇所の確認と機能性のテストを行いましょう。漏水が解消され、周辺の下がりも修復されていることが確認できれば成功と言えます。

4. 概算費用:

修繕作業にかかる概算費用は、修復すべき箇所の長さ、管径、材料費、人件費などによって異なりますが、およそ数十万円から数百万円程度がかかる可能性があります。正確な見積もりを行うためには、専門業者に見積もり依頼をして、具体的な費用を把握することが重要です。

図-4 回答生成結果

図-3の現地状況で得られる回答生成結果を図-4に示す。生成結果では、1.漏水箇所の応急処置や周辺の安全確認についての記載から、2.修繕のための方法まで記載されている。今回は架空のデータを参照させているため、実際の対応とは異なる結果が生成されている点も

見受けられる。しかしながら、地方公共団体で蓄積している通報対応履歴を参照させることで、より実践的な対応方針を回答させられるのではないかと考えている。なお、概算費用に関しては、今回のデータには費

用に係る情報を含めていないため、LLM が元々知識として有している情報をもとに生成していると考えられる。本研究では、職員が回答させたい内容を想定して、前述の4項目を設定したが、今後の試用や意見をもとに、質問の改良や参照させるデータの量や質の向上が必要である。

4. 結論と今後の課題

今回、地方公共団体の下水道管路施設の通報対応業務に着目し、現地調査時の意思決定支援ツールのプロトタイプを開発した。ツールでは、生成 AI 等に馴染みの無い職員でも参照するデータの追加・削除を容易に行えとともに、追加したデータをもとに現地調査時の意思決定を支援できる情報を生成できることが示唆された。今回参照したデータは、A 市の通報対応履歴を参考に作成した架空の通報対応履歴である。今後は、A 市において実際に通報があった際の通報対応履歴を用いることや、通報対応履歴を分析し正解ケースのみを残して質の高い回答が生成できるか等を検証する予定である。検証は、実際に通報対応業務に従事している職員を対象に試用してもらい、職員による評価や追加・変更指示件数、一件当たりの現地調査回数などを比較することが考えられる。

今後は、通報対応業務以外の場面への応用や業務プロセスの改革、その他の業務への適用可能性を検討する予定である。前者は、プロンプト文を自由記述とすることで自由に通報対応履歴にアクセスし予算や修繕単価を算出する際の参考にすることや、ツールで選択した現地情報をそのまま日報や Excel へ転記するといったことが考えられる。後者は、複数の業務を抱え、引き継ぎによる課題を抱えている地方公共団体職員に対し、業務データの蓄積、検索、抽出、意思決定を支援することで、引き継ぎ作業の円滑化、又は作業そのものがなくなる仕組みが期待される。

本研究は、パシフィックコンサルタンツ(株)と東京大学 i-Construction システム学寄付講座の共同研究（下水道施設の改築・更新需要増進に伴う計画・設計業務の高度化・省力化に資するデータプラットフォームの開発）に基づく研究の一部である。

参考文献

- 1) 国土交通省：下水道の維持管理，
〔https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000135.html〕（最終検索日：2025 年 5 月 9 日）
- 2) 国土交通省：下水道事業の経営原則，
〔https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000140.html〕（最終検索日：2025 年 5 月 9 日）
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：人口減少下における維持管理時代の下水道経営のあり方検討会 報告書，pp.6-7，2020，
〔<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/content/001371608.pdf>〕（最終検索日：2025 年 5 月 9 日）
- 4) 内閣官房内閣人事局：国家公務員の給与 令和 5 年版，
〔https://www.cas.go.jp/jp/gaiyou/jimu/jinikyoku/pdf/r05_kyuyo.pdf〕（最終検索日：2025 年 5 月 9 日）
- 5) 新井一郎・澤村明（2008）「地方公務員の人事異動と昇進構造の分析」『新潟大学経済論集』No. 85，pp. 149-177.
- 6) 丸山 涼介，小澤 一雅. 生産性向上を目指した地方公共団体の下水道職員の業務上の課題抽出. 第 6 回 i-Construction の推進に関するシンポジウム. 2024.7
- 7) 圓生，和之. (2023). 公務員の人事異動と人材形成 — 大卒ホワイトカラーの公民比較からの分析. 日本労働研究雑誌，(759)，47–60.
〔<https://www.jil.go.jp/institute/zassi/backnumber/2023/10/pdf/047-060.pdf>〕（最終検索日：2025 年 5 月 9 日）
- 8) Gamo, H. (2023, July 21). ChatGPT - LLM システム開発大全 [PowerPoint slides]. Speaker Deck.
〔<https://speakerdeck.com/hirosatogamo/chatgpt-azure-openai-da-quan>〕（最終検索日：2025 年 5 月 9 日）

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

PROTOTYPE DEVELOPMENT OF A DECISION-SUPPORT TOOL FOR INCIDENT REPORT HANDLING IN SEWER PIPELINE FACILITIES

Ryosuke MARUYAMA, Kazumasa OZAWA

In this study, we developed a RAG-based prototype to support on-site decision-making for sewer pipeline incident reports by local government. Upon field data entry via PC or smartphone, it retrieves past cases and suggests response plans. Built on AWS with simple PC-folder sync, it is operable without AI expertise. The intuitive interface minimizes training needs, and rapid retrieval accelerates field operations, enabling more timely maintenance interventions and improved resource allocation. Validated on 300 synthetic cases from City A's FY2022 records, it produced contextually appropriate plans. Future work will apply real data to quantify staff feedback and instruction-reduction effects.

小型ドローンを活用した栈橋式岸壁における上部工下面の効率的な点検手法について

川端 志歩

非会員 高松港湾空港技術調査事務所 技術開発課 (〒760-0064 香川県高松市朝日新町1番30号高松港湾合同庁舎3F)

E-mail: kawabata-s88s3@mlit.go.jp

係留施設構造の一つである栈橋においては、栈橋上部工下面での塩害等による損傷劣化（ひび割れや剥離等）が進行することで耐荷力が低下するため、栈橋の点検診断において栈橋上部工下面の状況を確認することが重要となる。一方で、少子高齢化の進行により技術者が減少していることから、港湾施設の維持管理においても人員不足等に対し、さらなるインフラ分野のDX推進が必要不可欠となっている。このような背景から、栈橋式岸壁における上部工下面の点検において、従来の調査員が船上より実施していた目視点検に代わり小型ドローンを活用した効率的かつ安全な点検手法を検討したので報告する。

Key Words: infrastructure DX, infrastructure maintenance times, maintenance management

1. はじめに

栈橋上部工下面で調査員が目視点検を実施する場合、栈橋下の空間で船により構造物に接近しひび割れ等を確認するが、潮汐・波浪の影響を受けながらの点検となるため安全性に課題がある。また、老朽化施設の増加や少子高齢化に伴い、ライフサイクルコスト及びその縮減効果などが見込まれる新技術の導入や効率的な施設点検のニーズがある。

今回の検討では令和4年度に徳島小松島港金磯岸壁(図-1、図-2)で実施した実海域でのドローンを用いた栈橋下面の点検結果をもとに、令和5年度では他分野の技術も活用してドローンやカメラを選定した。また、令和4年度に課題となった小型ドローンの離発着や無線通信距離への対応、現地撮影データから劣化度判定を行うための画像処理等を検討した。今回は小型ドローンを活用した栈橋上部工下面点検の流れと、維持管理への活用を想定したBIM/CIM連携について報告する。

2. 現地作業

(1) 令和5年度に使用したドローン

今回使用したドローンは、栈橋下面の環境(GPS 環境外、

暗所、狭隘、障害物あり)と同様な状況での作業を考慮した結果、ダクト・配管内部の点検で活用されている小型ドローン(約 20cm 角、重量 243g)を選定し、衝突時の施設側への損傷リスク低減のためにプロペラガードを使用した。また、海への落水に対応するためのフロート(浮き)を装着した(図-1)。

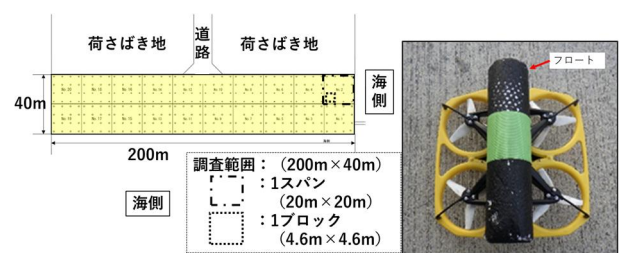


図-1 実証実験施設平面図及び使用したドローン

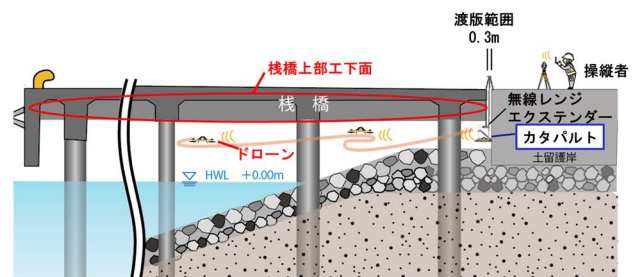


図-2 ドローンを用いた栈橋下面の点検イメージ

(2) 現地作業の課題解決

令和4年度の実証実験で確認された2つの課題について、令和5年度の実証実験で検討・解決を行った。

a) 課題1:離発着方法の検討（風の影響）

令和4年度のドローン離発着は、桟橋上では風による影響が大きく直接ドローンを離発着できなかったが、実証実験中の桟橋下では風の影響を受けなかった(表-1)。このことから、令和5年度は風の影響を受けずにドローンを桟橋下へ入れるため、離発着場として離発着装置(カタパルト)を製作した(図-3,4,5)。

表-1 桟橋上下の風速測定値比較

測定	風速 (桟橋上)	風速 (桟橋下)
1	4.5~2.5 (m/s)	0.8~0.6 (m/s)
2	4.5~2.5 (m/s)	0.6 (m/s)
3	4.0~2.0 (m/s)	0.0(m/s)
4	3.2~5.5 (m/s)	0.5 (m/s)
5	2.0~3.8 (m/s)	0.1 (m/s)



図-3 離発着装置（カタパルト）の外観

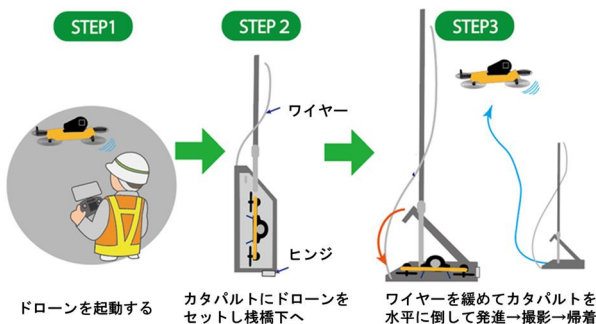


図-4 カタパルトを用いた離発着の方法



図-5 桟橋下面へのカタパルトセット状況（隙間30cm）

b) 課題2:通信環境の確保（無線通信距離確認）

無線通信は、桟橋の杭や梁の影響を受ける可能性があるため、桟橋下における無線通信可能距離を検証した。無線レンジエクステンダーを設置することで、桟橋鋼管杭がある中でも最大80m(図-6)まで無線通信可能であることが確認され、桟橋上部工下でも無線通信距離が著しく低下することはなかった。

(3) 小型ドローンにて撮影した映像の検証

従来は調査員による目視調査でコンクリート剥離状況やひび割れ等の確認を行っており、今回の実証実験で使用したカメラ性能で従来の目視調査と同等な確認が可能な画像精度が取得できるか検証した。

今回使用した小型ドローンのカメラ性能は、フルハイビジョン画像で解像度1920×1080(約200万画素)が安定的に撮影可能であり、取得した画像を確認した結果、図-7に示すとおりコンクリート剥離状況等が確認できる画像データであることが検証された。

なお、3Dモデル化は画像から自動的に作成可能な技術(SfM)を用い、取得する画像データはラップ率を加味した。また、桟橋下面は暗所となるため照度センサ及びライトを搭載したカメラが必要となる。

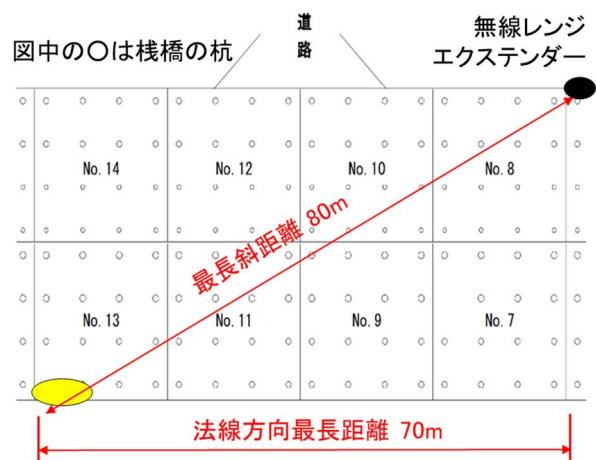


図-6 無線レンジエクステンダーによる無線通信の距離



図-7 コンクリート剥離状況（塩害）

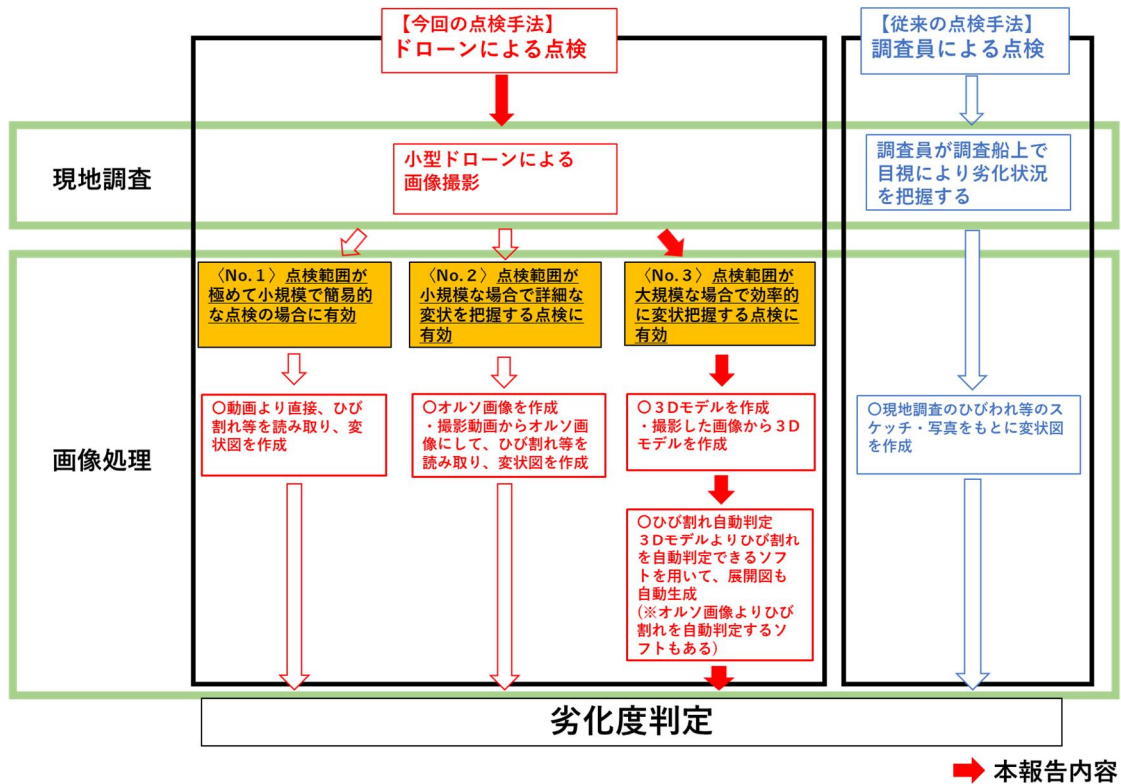


図-8 点検診断フロー

表-2 撮影画像を用いた点検診断の方法の例

No.	方法	留意点	効果的な適用
1	撮影画像を直接参照して診断	・撮影画像をそのまま使用するため画像処理の必要無し。 ・撮影位置がどの部位であるか、飛行ルートを確認しながら判断する必要があるため損傷劣化位置の特定に時間を要する。 ・画質は非常に明瞭である。(撮影画像の解像度による)	・スパン数が少ない小規模な施設や変状が少なく、その位置を特定する必要がほとんどない施設の点検診断に適している。
2	オルソ画像を作成して診断	・撮影動画から画像を切り出し、SfM処理等を行った後、オルソ画像を作成する。 ・オルソ画像は写された像の形状が正しく、位置も正しく配置されているため、画像上で位置、面積及び距離などを正確に計測することが可能である。 ・撮影画像から作成したオルソ画像の画質は非常に明瞭である。	・施設の部分的な場所での細かいひび割れが発生している場合に適している。
3	3Dモデルを作成して診断	・撮影画像よりSfMソフトウェアを用いて3Dモデルを作成する。 ・3Dモデル作成にあたっては、PCの性能やモデル作成精度によって、処理時間が長くなる。 ・3Dモデル作成処理の中で解像度が低下する傾向がある。	・港湾空港技術研究所の点検診断支援システムに組み込むことで劣化度判定まで実施できるため、広い範囲の判定を行う場合に適している。

表-3 ひび割れ検知技術の一例

No.	ソフト名	開発社名	内容	使用データ
1	点検診断支援システム	港湾空港技術研究所	ROVやビデオカメラ等による撮影画像から生成した3Dモデルを用いて、展開図の生成、変状の抽出、劣化度判定、点検結果の作成までの一連の管理が可能。各材料展開図の画像の色相の変化(傾度勾配)から変状を抽出する。	3Dモデル
2	ひびみつけ	富士フイルム	高精度AIによるひび割れの自動検出。日本全国の膨大な数の撮影画像を使った継続的なAI学習による精度改善が可能。	オルソ画像
3	ひび割れ検知システム	株式会社	高精度AIによる最小幅0.05mmまでのひび割れが検知可能。ヒトの点検結果に対するAIのひび割れ検知率は99.5%である。	オルソ画像
4	t.WAVE	大成建設	ウェブレット変換(画像の中にある線状の特徴範囲を抽出するの)に適した画像解析技術)によりひび割れ幅や長さを高精度に数値化・色彩化し、定量的な評価が可能。	オルソ画像

3. 画像処理

(1) 撮影画像を用いた点検診断の方法例

ドローンによる点検と従来の調査員による目視点検の点検診断フローを図-8に示す。ドローンで撮影した画像を使用して部材の状態評価を行うための画像処理を行う。画像処理の要否及び方法については、施設の状態や診断に係る方針を踏まえて選択する。画像処理と効果的な診断方法の例を表-2に示す。

(2) 3Dモデルの作成

今回は3Dモデルによる点検診断方法とし、栈橋上部工下面の1スパンのうち1ブロック(4.6m×4.6m)毎に3Dモデルを作成した。3Dモデル作成は市販ソフトを活用し、撮影した画像をサーバーにアップロードすることで3Dモデルが作成可能なソフトを使用した。

SfMで3次元形状を作るために必要な情報は複数の画像データのみでありカメラ座標などは不要であるが、縮尺を確定するためのクラックスケールなどを画像に写し込ませ、後から取得画像の縮尺を現地縮尺と調整する必要がある。

ひび割れ検知精度として「港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン」にはクラック幅3mmが劣化度判定基準になっており、今回の検証では識別精度確認のためクラックスケールにて確認した結果、0.2mm程度の精度を確認できたため適応可能となる。

(3) ひび割れ検知の検討

オルソ画像や3Dモデルを用いて診断する場合、部材のひび割れ等の変状を把握するために用いられるひび割れ検知技術の一例を表-3に示す。今回は、申請手続きのみで無償利用が可能であり、3Dモデルから展開図の作成、変状の自動検出、変状種類の決定や劣化度判定、点検記録様式

まで一連で行うことができる、港湾空港技術研究所の「点検診断支援システム」(以下、システム)を用いた。システムでは、1 スパンが入力単位となるため、1 スパン当たりの画像を市販ソフトにアップロードして 3D モデル化した。なお、入力データ容量に制限があったため、変換した 1 スパン画像データの解像度を下げたことで、判定基準のクラック幅 3mm を検出することができなかった。本システムを利用する場合は、入力データ容量に注意する必要がある。

4. BIM/CIM連携

(1) BIM/CIM モデルとの連携の有効性

今回取得したデータについて、今後施設の維持管理に活用すべく BIM/CIM データへの反映と保管方法について検討した。栈橋上部工の維持管理において供用期間内に保持・確認する情報としては、部位ごとの状態(劣化度)評価結果、及び評価の根拠資料として各部位に生じた変状の規模・位置が確認できる資料(図面及び写真)が重要であり、これらを BIM/CIM データに紐づけて管理することが考えられる。

ここで、点検により取得した情報(劣化度評価結果及び根拠写真・図面)は、当該施設の維持管理において以下のように利用される。

a) 施設の状態把握及び補修要否・補修範囲の判断

点検時の状態と時系列で劣化進行を把握することで変状の進行や補修の緊急性を評価できる。

b) 劣化進行予測

今後の劣化進行を予測するうえでの基礎情報とし、例えば、点検結果が蓄積すると、確率論的な劣化予測が可能となる。また、コンクリート試験の要否及び供試体採取箇所の選定などに活用できる。

上記で示した維持管理に関する作業において、点検データと BIM/CIM データの関連付けを行うことにより、時

系列でのデータ管理、点検や部材の情報など複数情報の一元化が可能となる。

(2) 点検データの BIM/CIM データへの反映と保管方法

取得した画像から作成した 3mm のクラックが検出できる 1 スパン当たりの 3D モデルを外部参照データの 1 つとしてモデルに紐づける形で管理することが望ましい。

5. まとめ

小型ドローンによる点検は、将来の担い手不足問題、DX 推進に期待される点検手法であり、取得された画像データによる点検診断への適用は可能であることが確認された。ただ、画像データから 3D モデルに変換し、システムによりひび割れ判定を実施する場合、今回のシステムでは画像解像度が低下し判定ができなかった。システム利用では入力データ容量の確認や別システム活用等の対応が必要となる。

また、コスト面では、従来の海上目視点検に対して、ドローン点検は約 1.5 倍であった。

ここで報告した内容も含めて、マニュアル形式でとりまとめ、高松技調ホームページにて公開している。²⁾

今回は、小型ドローンを活用した栈橋上部工下面点検と BIM/CIM 連携について報告した。令和 6 年度より、栈橋全体の点検の効率化等を図るため、水中ドローンを活用した水中部の栈橋鋼管杭点検の検討に着手しており、今後はその結果の報告を行いたい。

REFERENCES

- 1) 田中瞭佑，秋山知士：点検ロボの活用による港湾施設における維持管理の効率化
- 2) 高松港湾空港技術調査事務所：小型ドローンを活用した栈橋式岸壁の上部工下面点検マニュアル(案)

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

AN EFFICIENT INSPECTION METHOD FOR THE UNDERSIDE OF THE SUPERSTRUCTURE OF A PIER-TYPE WHARF USING A SMALL DRONE

Shiho KAWABATA

When inspecting and diagnosing piers, it is important to check the condition of the underside of the pier superstructure, as salt damage and other factors can reduce the load-bearing capacity of the underside of the pier superstructure. Meanwhile, the number of engineers in the maintenance and management of port facilities is decreasing due to the declining birthrate and aging population, making it necessary to further promote digital transformation in the infrastructure field. For this reason, we investigated an efficient and safe inspection method that uses small drones instead of the conventional visual inspection for the inspection of the underside of the superstructure of pier-type quays.

防災・メンテナンスの時代における ICT/DX を活用した宇都宮国道事務所の取り組み

森 芳徳¹・岩見 京助²・吉田 陽一³・笹木 和彦⁴

¹ 正会員 国土交通省関東地方整備局（〒330-9724 埼玉県さいたま市新都心2番地1）
E-mail: mori-y8310@mlit.go.jp

² 正会員 株式会社浜屋組（〒329-2164 栃木県矢板市本町12番6号）
E-mail: kyosuke_iwami@hamayagumi.co.jp (Corresponding Author)

³ 正会員 株式会社大林組土木本部先端技術推進室技術第一部（〒108-8502 東京都港区港南2-15-2）
E-mail: yoshida.yoichi@obayashi.co.jp (Corresponding Author)

⁴ 正会員 国土交通省宇都宮国道事務所（〒321-0931 栃木県宇都宮市平松町504）
E-mail: sasaki-k2yh@mlit.go.jp (Corresponding Author)

2011年に発生した東日本大震災、そして2024年元日に発生した能登半島地震などの大規模な自然災害、また、中央道笹子トンネルの天井板崩落事故¹から12年が経過した2025年1月、今度は埼玉県八潮市内において下水道管の腐食を起因とした道路陥没事故²が発生するなど、インフラの老朽化に起因する事故も後を絶たない。一方、建設現場では、2024年4月1日から時間外労働の上限規制（いわゆる2024年問題）が適用されたことから、生産性の更なる向上が求められている。宇都宮国道事務所では、舗装メンテナンス工事において、長寿命化、生産性向上、働き方改革を目指し、DX技術を組み合わせることによる夜間から昼間施工への転換、災害時におけるロボティクスの活用など、働き方改革や生産性向上に向け受発注者双方連携して試行工事に取り組んでおり、その概要について紹介する。

Key Words: Disaster prevention, Maintenance cycle, Digital transformation, Information and communication technology

1. はじめに

宇都宮国道事務所は、関東から東北の大動脈となる国道4号と新4号国道の栃木県内と茨城県内区間、群馬県前橋市から茨城県水戸市までの東西軸となる国道50号の栃木県内区間の合計約230kmを管理している（図-1）。特に新4号国道は、宇都宮市付近では日交通量が7万台以上と年々交通量が増えている。大型車両等の交通が多いのも特徴で、夜間における大型車混入率は6割近くと、重交通を担っている道路である。このため、上下線が長時間に渡って通行止めとなるような重大事故が発生することも多く、道路管理者として夜間休日の現場対応が求められることも多い（写真-1）。

一方、現在の建設業界においては、作業員の高齢化や新たな若手作業員の参入不足による人手不足、現場の厳しい作業環境などが深刻な問題となっており、建設業就業者数は、2023年時点で479万人とピーク時比で約30%減少している。2019年4月から労働基準法により時間外労働の上限規制が法制化され、2024年4月からは建設業



図-1 宇都宮国道事務所管内図



写真1 交通事故発生状況（新4号国道）

界においても原則適用となったことから、人手不足が進む中で、限られた予算内での働き方改革や施工の省力化、生産性向上への更なる取り組みが必要となっている。

2. 働き方改革を目指した夜間から昼間施工への転換

(1) 試行工事の背景

関東地方整備局では、毎年、（一社）日本道路建設業協会との意見交換を実施している。協会からの要望事項には「道路舗装工事におけるすべての労働環境の改善」があり、「夜間の工事をできるだけ平日の昼間の工事とするよう」求められている。また、協会関係者と意見交換した際、「舗装工事⇔夜間工事というイメージが定着していて担い手確保にも苦慮している」旨のご意見を頂いたこともあった。そこで宇都宮国道事務所では、これまで当たり前のように夜間に実施していた現道上の舗装メンテナンス工事を、DX技術を活用することにより働き方改革と生産性向上を目指し、昼間施工に転換させる試行工事を実施した（写真-2）。

(2) 試行工事概要

工事場所は栃木県那須塩原市内と大田原市内の2箇所である。実施に当たって、まずは関係機関である交通管理者と協議し、建設業における2024年問題や担い手確保等の課題を共有し、今回の取り組み主旨について理解頂いた。そして、実際に昼間施工する上での工夫として、ICT舗装工はもちろん、SNSによる迂回路等の事前



写真2 舗装メンテナンス工事を夜間から昼間へ



図2 Web 広告



写真3 通過時間周知状況



写真4 ロボティックスを活用した測量

情報提供、Web 広告による迂回等の事前情報提供（図-2）、デジタルサイネージによる通過時間の情報提供（写真-3）、ウェアラブルカメラによる混雑状況の把握、AI オートマチック信号による信号サイクルの最適化、更にはロボティックスを活用した起工及び出来高測量（写真-4）などのDX技術を適用した。

(3) 試行結果

このような取り組みを実施した結果、工事中の交通量は、対面通行・片側交互通行時いずれも、時間帯に関係なく工事前の交通量より減少した。これは、SNSやインターネットを活用したリアルタイムな情報提供により、迂回路などへ交通の転換が図られたことが要因であると推察される。また、施工者からは、「規制は夜より昼の方が安全」、「夜より昼に仕事した方が、身体的負担は少ない」との意見が聞かれた一方、「広報や渋滞対策等、通常の工事では行わないことによる作業量や費用の増加もあった」との意見もあった。また、当該工事は2箇所

点在した現場であったことから猛暑時期を回避し、7～8月は6月まで実施した工事箇所の書類整理と9月以降の現場着手に向けた事前調整や協議の時間として有効活用頂いた。上記の試行結果を踏まえ、現在、別の工事でも適用しており、実績を重ねながら、現場条件に適した手法や組み合わせについて検討しているところである。

3. ロボティクスと3次元データ活用による災害時等における状態把握支援技術の取り組み

(1) 試行概要

道路法面、橋梁、トンネル等の道路構造物が、大規模地震発生時に被災した際、余震等が続いている状況や道路構造物そのものが不安定な状態となっているため、作業員等が近づいて構造物の健全性の確認をすることが困難な場合が多くある。従来は作業員等が、構造物が不安定な状態であっても、可能な範囲内で近づいたり、ドローン等で上空から近づいたりして、構造物の状態把握を行っていた。しかしながら、作業員等が直接近づくには危険性も高く、また、ドローンを使用した場合でも、上空からの把握であることから、地上部付近及び構造物内部の状態を把握するには実質的に限界があった。これらの課題を解決するため、ロボット等を構造物内部に侵入させて道路構造物内部の状態を把握することが求められている。

国土交通省関東地方整備局では、「i-Construction」推進のため、様々な分野の産学官が連携して、IoT・人工知能(AI)などの革新的な技術の現場導入や3次元データの活用などを進めることで、生産性が高く魅力的な新しい建設現場を創出することを目的に「現場ニーズと技術シーズのマッチング³⁾」に取り組んでいる。宇都宮国道事務所では、2024(令和6)年度に「ロボティクスと3次元データ活用による災害時等における状態把握支援技術」について、株式会社大林組のシーズ技術とマッチングし、ロボティクスとレーザースキャナ等を活用した災害時等における迅速な状態把握支援技術の適用性について実現場の道路構造物を用いて試行検証した。

(2) 自治体との合同防災訓練における試行

実施場所は、宇都宮国道事務所管内の国道50号佐野市内における田島高架橋付近で、橋梁とボックスカルバートを対象として実施した。検証にあたっては、佐野市と国・県が連携して実施する合同防災訓練において、4足歩行ロボット(Boston Dynamics社のSpot)を活用した。

訓練では、被災により国道が通行止めとなった状況を想定し、迂回路の検討に必要な現地調査をロボットが人の代わりに行う状況を試行した。宇都宮国道事務所職員が操作するロボットをボックスカルバート内部及び高架



写真5 ボックスカルバート内におけるSpotの操作状況と階段昇降状況

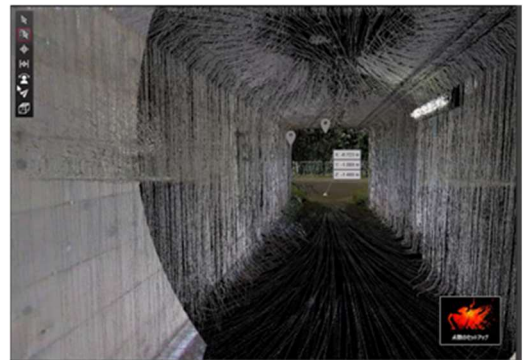


図3 Spotが撮影したボックスカルバート内部

橋上部に移動させ、国交省・県・市関係者よりなる災害本部にリアルタイムでロボットが取得した映像を遠隔中継し、カルバート内部の損傷や橋梁ジョイント部の段差発生状況を視認できることを確認した(写真-5, 図-3)。

(3) 検証結果

現場試行結果については、「品質・出来形」「安全性」「施工性」「環境」の側面から検証整理した。

「品質・出来形」については、試行に用いたSpotの内蔵カメラの解像度は解像度640×480のモノクロ画像であり目視より視認性は劣るが、Spotのペイロードに搭載したレーザースキャナの高解像度カメラを用いれば目視と同等であることを確認した。また取得した点群データによって、寸法、面積、体積といった被災後の状態把握や対策検討に役立つ詳細情報を得ることもできた。また、全長20mのカルバート内部を人が立ち入らずに状態把握できるという「安全性」も検証できた。

「施工性」に関する検証として、操縦初心者への指導時間はわずか30分であり、段差や不整地の走行もカタログ値(最大ステップ高300mm, 最大登坂角度30度)内であれば問題なく実施できることを確認した。一方で、足の関節部が没水するような水深には対応できず、センサーが障害物と認識してしまう丈のある草の生えた場所への侵入が難しいといった適用上の制約もあることも確認できた。また、試行時の環境は、気温32度、湿度

61%, 晴れの猛暑の状況であったが支障なくロボットが稼働することを確認した。

今回は Spot の標準機能に基づく検証を行ったが, Spot には種々の機器が追加搭載可能であり, 目的に応じた測定機能, 遠隔操作距離の長距離化, 自動自律走行機能等, 様々な機能拡張を行うことによって, より多彩な活用も可能である。今回は災害時における適用を想定したが, 当該技術を平常時に活用することにより, ロボットが猛暑時や夜間作業時間帯に人間に替わって計測管理を実施することの可能性も高まり, 現場の生産性の向上や働き方改革への寄与も期待できると思われる。

4. おわりに

DX技術を組み合わせることにより, これまで夜間が当たり前だった舗装メンテナンス工事が昼間施工可能であることが確認出来た。現在, 宇都宮国道では, 当該試行結果を踏まえ, 発注する全ての路面補修工事や電線共同溝工事において, 生産性向上と働き方改革の観点で昼間施工の適用について受注者と協議することになっている。将来的には, DX技術を活用することにより, 図-4 に示すように, 全体コストも低減となるよう, 受発注者ともに引き続き試行に取り組んでいきたいと考えている。当該試行工事に取り組んだ(株)浜屋組は, 令和6年度関東インフラDX大賞局長表彰に選定されるとともに, 国土交通本省のインフラDX大賞優秀賞にも選定された。

また, (株)大林組とニーズ・シーズマッチングのスキームを活用し取り組んだ「ロボティクスと3次元データ活用による災害時等における状態把握支援技術」については, 有事の際のロボットや3次元データ等活用の有用性を見出すとともに, 現場実装に向けた新たな課題も把握することが出来た。

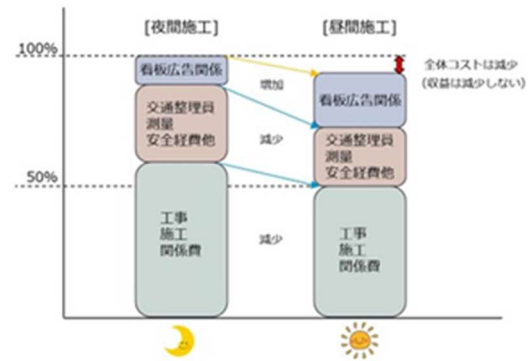


図-4 DXを活用した昼間施工によるコストイメージ

宇都宮国道事務所では, その他にも, 「スマートフォンと AI を活用した路面診断技術」や「AI カメラを活用した冬用タイヤ判定」「長寿命化と LCC 縮減を目指したコンクリート舗装」「猛暑期間を回避した工期設定による工事発注」など, アジャイル精神で新たな取り組みにチャレンジしている。

このような「i-Construction」の取り組みを関係者が継続的に実施することにより, 受発注者双方の技術力の研鑽, モチベーションの向上, 双方向のコミュニケーションが活性化され, 働き方改革や生産性向上に繋がるとともに, 将来に向けても魅力ある建設業の創造に貢献できるものと考えている。

REFERENCES

- 1) 国土交通省ホームページ：中央自動車道笹子トンネル天井板落下事故関連情報
- 2) 埼玉県ホームページ：中川流域下水道管に起因する道路陥没事故について
- 3) 国土交通省関東地方整備局ホームページ：現場ニーズと技術シーズのマッチング

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

Approach of the ICT/DX in the times of disaster prevention, the maintenance at Utsunomiya national highway office

Yoshinori MORI, Kyosuke IWAMI, Yoichi YOSHIDA, and Kazuhiko SASAKI

Large-scale natural disasters such as the Great East Japan Earthquake in 2011 and the Noto Peninsula earthquake in New Year's Day in 2024, 12 years passed from a ceiling board collapse accident of Chuo Expressway Sasago Tunnel again, but the road cave-in accident that assumed the corrosion of the sewage in the Yashio, Saitama city in January, 2025 occurs, and there is no end to accidents to be caused by deterioration of the infrastructure. On the other hand, further improvement of the productivity is found because of the overtime work was applied at the construction site from April 1, 2024. In the Utsunomiya national highway office, I aim at extension of life, productivity improvement, the way of working reform in the pavement maintenance construction and both people of ordering cooperates toward a switch to construction, way of working reform and productivity improvement including the utilization of the robotics at the disaster.

XAI(Explainable AI)による道路附属物点検の高度化 —北大との連携協定に基づくインフラ管理の イノベーション「NORTH-AI/Eye」の推進—

今西 将也¹・山崎 幸秀²・西山 泰幸³

¹ 国土交通省北海道開発局建設部道路維持課（〒060-8511 北海道札幌市北区北8条西2丁目）

E-mail: imanishi-m22aa@mlit.go.jp

² 国土交通省北海道開発局建設部道路維持課（〒060-8511 北海道札幌市北区北8条西2丁目）

E-mail: yamazaki-y22ab@mlit.go.jp

³ 国土交通省北海道開発局旭川開発建設部（〒078-8513 北海道旭川市宮前1条3丁目3番15号）

E-mail: nishiyama-y22aa@mlit.go.jp

北海道開発局では、北海道大学大学院情報科学研究院と連携し、道路附属物（固定式視線誘導柱（矢羽根）、標識、照明等）の点検・診断について、現状の「高所作業車や伸縮カメラによる点検」＋「人力による診断」から、将来的に「ドローンによる点検」＋「AIによる診断」へ置き換えることによる生産性向上と、誰が実施しても統一的な診断結果を得ることを目的とした取組を進めており、本稿ではこれまでの経過を報告する。

Key Words: AI, drone, Improved productivity, cooperation agreement

1.はじめに

北海道開発局では約6,900kmの道路を管理しており、ここには約24万基の道路附属物（固定式視線誘導柱（矢羽根）、標識、照明等）が設置されている。

これらの施設については5年毎に点検を行うことから、膨大な労力と時間を要していることに加え、昨今の労働力不足といった社会的な背景も相まって道路附属物点検の高度化・効率化は喫緊の課題となっている。

このような背景を踏まえ、令和4年6月に北海道開発局と北海道大学大学院情報科学研究院は、インフラ管理の効率化などを旨とした連携協定を締結（写真-1）。情報科学とインフラ管理という異分野の融合が生み出すイノベーションによる課題解決に向け、両者が連携し道路附属物点検に係る取組を開始した。



写真-1 令和4年6月24日 連携協定調印式写真

2. 取組概要

(1) 点検

道路附属物の定期点検は点検要領¹⁾に基づき、全ての附属物に対し相応の知識と技能を有する者（定期点検員）が5年に1回の頻度で行うことを基本としており、診断に必要な情報を適切な方法で入手する必要がある。このた

め、人が届かない高所については点検車や伸縮支柱付きカメラを用いて点検を行っている現状にある。これをドローンにより代替することが出来れば、図-1のとおり現場での労力削減が可能になる。

(2) 診断

定期点検を行った附属物に対し、部位、部材毎、損傷の種類毎に損傷程度を客観的に評価した上、構成要素の機能を担う部材種別毎に、措置の必要性の「有」「無」

を記録することになっている。これをAIにより代替することが出来れば、図-1のとおり机上での労力削減が可能になるとともに、誰が実施しても統一的な評価結果を得られるほか、技術者（定期点検員）へフィードバックすることによるスキル向上にも期待出来る。



図-1 道路附属物点検の現状と将来像

(3) 点検・診断の効率化・高度化

北海道開発局では、これまで実施してきた道路附属物点検の実績として、点検や診断に係るノウハウの蓄積に加え、損傷劣化に関する点検記録等を保有している。

一方、北海道大学大学院情報科学研究院 長谷山・小川研究室では、AIがどの領域に着目したのかを可視化することが可能で且つ軽量なXAI（Explainable AI：説明可能なAI）を研究している。

連携協定に基づき、開発局が保有するノウハウやデータを北大へ提供し、北大側において道路附属物の診断に特化したAIプログラムを構築することで、AIによる診断の実現を目指す（図-2）。

また、ドローン撮影についても、点検や診断に必要な情報が得られる事を確認した上、高度化に向けた検討を開始する。



図-2 道路附属物点検・診断の効率化・高度化イメージ

3. 取組経過^{2),3)}

(1) AIプログラムの構築

北大側では道路附属物の損傷を検出するAIプログラム

を構築するため、大規模データセットにより学習された最新の画像認識モデルVision Transformer（ViT）⁴⁾のパラメータを利用し、良質な附属物点検の画像560枚を用いてファインチューニングを行った。



図-3 道路附属物損傷検出AI

(2) 点検写真によるAIの精度検証

構築したAIプログラムの損傷検出精度を検証するため、まずは損傷種類の中で最も発生件数の多い「腐食」を対象とし、過年度に定期点検員によって診断済みの点検写真を用いて実験を行った。実験では定期点検員の診断を「正」とし、AIが診断した結果と比較することとした。結果、AIは約93%の精度で腐食を検出することに成功した。また、XAIによりAIが損傷検出時に注目した領域をヒートマップで表現することで、どの部分で判断したのかが明確となり、高い信頼性の担保が可能となっている（図-4）。

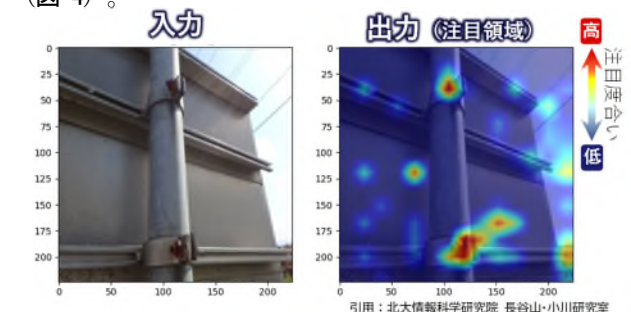


図-4 AIによる腐食検出例

(3) ドローン映像によるAIの精度検証

点検写真ではAIプログラムによる腐食検出が有効であることが確認出来たため、次にドローン映像に対する有効性について確認を行った。ドローン映像については、近年点検済みで腐食が発生している附属物を選定した上、表-1の条件で新たに撮影した（写真-2）。

撮影した映像を用いて、フレーム単位でAI診断を行った結果、図-5に示すとおり96%の精度で腐食有りのフレームを検出することに成功した。一方、附属物の背後に含まれる車両用防護柵や植物などに注目しているフレームも見受けられたことから、構造や色味が対象附属物と類似したオブジェクトの存在は、検出に影響する可能性が示唆された。今後は、背景領域に含まれる物体の影響を低減可能な枠組みについて検討する必要がある。

表-1 ドローン撮影条件等

撮影施設	道路照明、道路標識、固定式視線誘導柱
解像度	4K
フレームレート	30fps
撮影速度	0.1～0.2m/s
離隔距離	1～2m
使用機材	DJI Mavic3 (メイン) DJI Mini3pro (サブ：上向き撮影)
飛行形態	カテゴリーII、レベル1
撮影業務	一般国道230号 札幌市 道路附属物点検外一連業務
撮影者	北海道道路エンジニアリング(株)



写真-2 令和5年8月28日 ドローン撮影状況

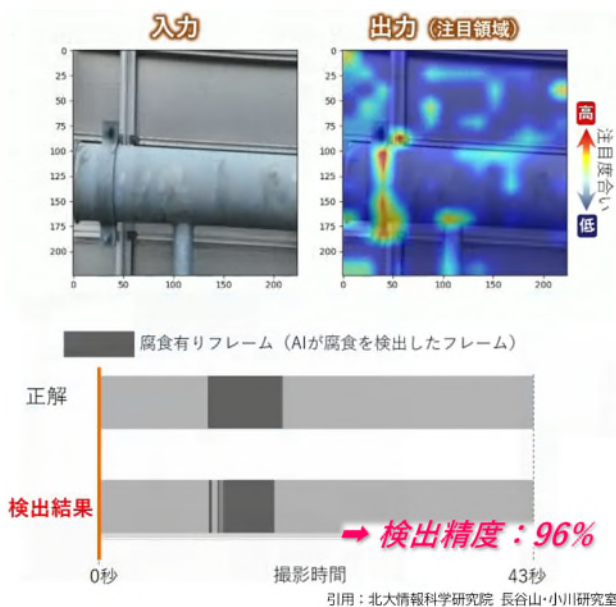


図-5 ドローン映像に対するAIによる腐食検出例

(4) ドローン撮影の高度化

ドローン映像に対してもAIによる変状検出が有効であることを確認したため、ドローン撮影の高度化に向けた検討についても進めることとした。

なお、ドローンを飛行させる場合は、航空法に基づき機体登録手続きや飛行許可・承認手続きを行う必要がある5)。道路附属物の点検は一般交通が往来する道路上で行う場合が殆どであるため、許可や承認が必要な「特定飛行」に該当する。特定飛行では表-2に示すとおりドローンの飛行経路下における立入管理措置の有無によりカテゴリーII、またはIIIに分類される。

表-2 飛行カテゴリー概要

カテゴリーI	特定飛行に該当しない飛行。 航空法上の飛行許可・承認手続きは不要。
カテゴリーII	特定飛行のうち、無人航空機の飛行経路下において立入管理措置を講じたうえで行う飛行。 (=第三者の上空を飛行しない)
カテゴリーIII	特定飛行のうち、無人航空機の飛行経路下において立入管理措置を講じないで行う飛行。 (=第三者の上空で特定飛行を行う)

また、飛行カテゴリーとは別に飛行レベルによる分類もあり、目視内での操縦飛行はレベル1、自動飛行はレベル2に分類される。

表-3 飛行レベル概要

レベル1	目視内飛行+操縦飛行
レベル2	目視内飛行+自動/自律飛行
レベル3	目視外飛行+無人地帯飛行 (補助者無し)
レベル4	目視外飛行+有人地帯飛行 (補助者無し) (第三者上空)

ドローン撮影の高度化に向けた最初のステップとしては、立入措置を講じたうえ（カテゴリーII）で、目視内での自動飛行（レベル2）を想定し、点検画像の取得が可能であるかの検証を行うこととした。検証にあたっては、図-6の国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所が所有する石狩吹雪実験場⁶⁾に設置されている固定式視線誘導柱を使用させていただいた。



図-6 石狩吹雪実験場

現地におけるドローン撮影は令和6年9月6日にNTT e-Drone technologyの協力を得て実施した。使用機材はParrot ANAFI Aiで附属物からの離隔は2mとし、附属物の寸法情報などによりあらかじめ設定したプログラムを用い、自動飛行により実験を行った（写真-3）。

結果、殆どの撮影画角内に附属物を捉えることに成功し、ドローンによる自動撮影の可能性を確認することが出来た。

しかしながら、実験により、撮影に要する時間や自機位置確認精度などの課題が明確となった。実用化に向けては、飛行効率や飛行精度を向上するなど、今後も使用技術の検証や飛行実験を行ったうえで慎重に検証していく必要がある。



写真-3 令和6年9月6日 ドローン自動撮影状況

4. まとめと今後の展望

これまでの取組経過から、道路附属物点検におけるAI診断の実現性が確認出来た。今後は、現在検出可能な腐食の「有無」を「損傷程度の評価（a,c,e）」へ発展させるとともに、腐食以外の損傷（変形・欠損やゆるみ・脱落など）へも拡張していく必要がある。さらには、客観的な評価の検出技術に留まらず、措置の必要性を判断する上で必要な「所見」をAIにより生成することが出来れば、大きな労力削減に加え、技術者へのフィードバック

によるスキル向上にも資することになる。

また、ドローンによる点検の高度化については、将来的には立入管理措置を講じず、カテゴリⅢ・レベル4で飛行することが可能となれば、点検作業の大幅な効率化が実現出来ることから、法令手続きや技術の動向についても注視する必要がある。

AIやドローンは近年の進展がめまぐるしく、インフラ点検を大幅に高度化・効率化する可能性を秘めているものであり、これらを最大限に活用するための研究は非常に重要なものと考え、引き続き取り組んで参りたい。

謝辞：本論文の執筆に際し、北海道大学大学院情報科学研究院 長谷山・小川研究室をはじめ、ご協力いただいた皆様に深く感謝申し上げます。

REFERENCES

- 1) 附属物（標識、照明施設等）点検要領 令和6年9月 国土交通省 道路局 国道・技術課
https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo7_19.pdf
- 2) 前田 圭介, 小川 貴弘, 長谷山 美紀, “ [特別講演] 次世代インフラ維持管理に向けた研究と北海道開発局との連携協定における取組み ”, 映像情報メディア学会技術報告, vol. 48, no. 6, pp. 114-119.
- 3) 渡部 航史, 小川 直輝, 前田 圭介, 小川 貴弘, 長谷山 美紀, “ [特別講演] 道路附属物のドローン映像を用いた vision transformer に基づく変状検出技術 ”, 映像情報メディア学会技術報告, vol. 48, no. 6, pp. 301-304.
- 4) Dosovitskiy, A., et al., (2020). An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale. arXiv preprint arXiv:2010.11929.
- 5) 無人航空機総合窓口サイト
<https://www.mlit.go.jp/koku/info/index.html>
- 6) 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 石狩吹雪実験場
<https://www2.ceri.go.jp/jpn/ishikari.htm>

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

Improving roadside object inspection using XAI (Explainable AI)

- Promoting "NORTH-AI/Eye," an innovation in infrastructure management based on a collaboration agreement with Hokkaido University -

Masaya IMANISHI, Yukihide YAMAZAKI and Yasuyuki NISHIYAMA

The Hokkaido Regional Development Bureau, in collaboration with the Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University, is working on an initiative aimed at improving productivity in the inspection and diagnosis of road accessories (fixed visual guidance posts (arrow feathers), signs, lighting, etc.) by replacing the current "inspection using aerial work platforms and telescopic cameras" + "manual diagnosis" with "inspection using drones" + "diagnosis using AI" in the future, and obtaining unified diagnosis results regardless of who carries out the inspection. This paper reports on the progress made so far.

Graph Transformer による橋梁部材要素位置を考慮したマルコフ連鎖劣化予測モデル

稲富 翔伍¹・全 邦釘²

¹ 学生会員 東京大学大学院 工学系研究科社会基盤学専攻 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

E-mail: inashouut@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

² 正会員 東京大学大学院特任教授 工学系研究科総合研究機構 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

E-mail: chun@g.ecc.u-tokyo.ac.jp (Corresponding Author)

橋梁部材劣化は空間連鎖や局所集中を伴う現象である。本研究では、橋梁部材の位置関係を考慮したマルコフ連鎖劣化予測手法として、Graph Transformer モデルを提案する。部材要素間の隣接関係をグラフで表現し、各要素の損傷評価をノード特徴量として入力し、次回点検時の劣化状態を予測する。提案手法は、合成データおよび東京の実橋梁点検データにおいて、従来手法と比較して高い予測精度を示した。また Attention Weight を用いた予測根拠の可視化により、橋梁劣化メカニズムに合致した妥当な予測が行われていることが示された。本手法は、橋梁維持管理の高度化に貢献する基盤技術として期待される。

Key Words: bridge deterioration, Markov-chain prediction, Graph Transformer, attention analysis

1. 序論

橋梁の老朽化により、定期点検と予防的維持管理の重要性が高まっている。米国では 1970 年代から隔年点検が義務化され、日本でも 2014 年以降 5 年ごとの定期点検が法制化された。点検データは、喫緊の補修判断に加えて将来の損傷予測にも活用できる。正確な劣化予測により補修の時期や内容を最適化することで維持管理に係るライフサイクルコストの削減が可能となる。

既存の橋梁マネジメントシステムでは、部材ごとの状態遷移をマルコフ連鎖で表現し、点検データに基づいて遷移確率を算出する。たとえば、米国の Pontis システムでは、部材状態の遷移確率を用いて、劣化による交通遮断リスクを定量化し、補修タイミングの経済性評価を行うことが可能である。

橋梁における損傷は空間的に連鎖したり集中的に発生したりする傾向があるにも関わらず、空間的依存関係をモデルに組み込む手法は限定的であった。例えば、床版での漏水により下部にある鋼桁の腐食が進行するといった例や、塩分が滞留しやすい箇所での腐食発生、水平方向の力を共有する支承群での同時的変形など、部材間の空間的影響が考えられる。

本研究では、部材の空間配置をグラフで表現し、

Graph Transformer によるマルコフ連鎖劣化予測手法を提案する。Graph Transformer は、局所的な隣接情報に加え、遠隔の依存関係も柔軟に学習可能なモデルである。橋梁点検で用いられる部材単位である「要素」の位置関係をグラフで表し、点検で得られる損傷評価値をノード特徴量として与え、次回点検時の評価値の推移を予測する。

提案手法を、一定の遷移ルールに従う合成データセットと、東京における実際の橋梁点検記録データに適用して検証する。さらに、Transformer の Attention 機構を基に、モデルがどの部材に注目して予測を行っているかを可視化し、予測根拠について解釈を行う。これにより、予測の精度と透明性を兼ね備えた劣化予測が可能となり、維持管理の高度化に資すると考える。

2. 関連研究

既往研究では主に橋梁全体に関する属性に注目してきた。例えば、交通量、橋長、床版面積、構造形式などの巨視的な変数を用いて、損傷進行のハザード率や遷移確率の推定が行われた²⁾。これらの研究は、橋梁全体を単一の解析単位として捉え、部材レベルでの空間的相互作用の考慮は限定的であった。

一部の研究では、観測可能な部材から不可視な部材の

状態を推定する目的で、空間的関係を考慮する試みもなされている。たとえば、上部舗装の亀裂と下部構造の損傷の相関性を用いた手法や、道路区間の隣接関係をグラフニューラルネットワーク（GNN）で学習する手法がある³⁴⁾。しかし、三次元構造を持つ橋梁部材の劣化予測への適用は不十分である。

GNN は局所情報の集約に強みがある一方、広域な依存関係の学習には限界がある。Transformer モデルは、Self-Attention 機構により長距離依存関係を効率的に学習可能であり、近年、時系列データやグラフの解析に応用されている。Graphomer⁹⁾は、グラフ固有の位置情報をTransformer に組み込むことで、グラフ全体を見渡した予測が可能である。さらに、Transformer はモデルの内部挙動を Attention Weight をもとに把握でき、深層学習モデルの透明性確保に有用である。近年の研究では、Attention Weight からモデルがどの特徴量や部位に注目して予測しているかを明らかにする試みが進んでいる⁹⁾。

以上を踏まえ、本研究では、部材配置をグラフで表現し、Graphomerを踏襲したGraph Transformerモデルにより遠隔の依存関係や劣化パターンの予測を目指す。

3. 予測手法

本研究では、マルコフ連鎖モデルを用い、要素ごとの現在の損傷評価に基づいて次回点検時の損傷評価の予測を行う。損傷評価は損傷種類ごとにa～eの5段階で与えられる。予測モデルではこれらを入力として状態遷移確率を算出する。本研究では、遷移確率は時間に依存せず一定であり、点検間隔は一定であるとみなす。また、補修による状態の回復は除外する。

グラフを用いる提案手法では、要素をノードとし、各ノードに損傷判定が関連付けられ、要素の隣接関係がエッジで表される。本章ではまずベースラインとなる数え上げ法やGNNを紹介し、Graph Transformerの特徴を示す。

(1) 数え上げ法と GNN

ベースライン手法として、過去の観測遷移数に基づきa～eに対応した5×5の遷移確率行列を構築する数え上げ法を用いる。ここでは要素ごとに独立に遷移を予測し、位置関係は考慮しない。

また、GNNとしてGraph Attention Network(GAT)⁷⁾を用いた精度比較を行う。GATは周囲のノードの情報をAttentionにより柔軟に集約することができ、グラフ処理の代表手法として用いられる。一方で、隣接次数の高い遠方ノードの情報は希釈されるという課題がある。

(2) Transformer と Graph Transformer

Transformer は、入力トークン（ノード）間の依存関係

をSelf-Attentionによって学習する。本研究ではTransformerをグラフ処理に拡張した Graphomer (Ying et al., 2021)を基に、ノード単位の予測ヘッドを導入することで橋梁隣接グラフに適用可能なモデルに拡張した。

Graph Transformer は GNN と異なり学習初期において近傍ノードだけでなく遠方ノードの情報も等しく考慮できる点が特徴である。損傷の進行には様々な空間スケールが存在するため、遠方ノードとの関係も柔軟に学習することで精度向上が見込まれる。

Graph Transformer では、通常的位置エンコーディングの代わりにノード間の最短経路長を用いた Spatial Encoding を導入する。Attention の計算では、Query ベクトルと Key ベクトルの内積で得られる通常の Attention スコアに対して Spatial Encoding を加算する実装としている。また、ノード単位での分類を行うため、最終層で各ノードごとに損傷状態の分類確率を出力する。

Transformer の Attention Weight は、予測時にモデルがどの部材要素を重視しているかを表す。本研究では、損傷進行予測に寄与する要素を特定し、劣化進行メカニズムと照合し予測の根拠について解釈する。

4. データセットと実験結果

提案手法の有効性を検証するため、ルールベースで構築した合成データセットと、実橋梁データセットの双方を用いて評価を行った。加えて、GNN や位置情報を用いない Transformer との比較実験、および Attention Weight の分析によるモデルの解釈も実施した。

(1) 合成データセットの構築

合成データセットは、要素の空間配置に応じて劣化が進行するように設計した。各ノードは主桁・横桁・床版といった部材要素を表す。エッジは1次の隣接関係を表し、実橋梁データに類似した配置とした。橋梁ごとの形状差を反映するためノード数は可変とし、現実に近い設定での予測評価を行う。各ノードには5段階の評価値が付与され、隣接部材の損傷判定や、ノード固有の劣化進展度に応じて劣化する設定とした。1万の時系列データについて、系列ごとに10ステップ含まれるようにデータを生成し、これらを訓練・検証・テストに7:2:1で分割した。

(2) 実橋梁データセットの構築

実データは、国土交通省が公開する2004年度から2024年度の点検記録のうち、東京地域の鋼およびコンクリートの桁橋を対象とした。本実験では33橋梁・119スパン・379ステップのデータを対象とし、各グラフには平均約88ノードが含まれる。

表-1 性能評価値.

Dataset	予測手法	CE	ND Acc	DE Precision	DE Recall
合成データ	数え上げ法	0.2201	0.8498	0.7324	0.7275
	Graph Transformer	0.1943	0.8727	0.7707	0.7743
実データ	GAT	0.0572	0.9755	0.2614	0.2663
	Transformer(位置埋め込みなし)	0.0463	0.9796	0.3835	0.3556
	Graph Transformer	0.0466	0.9809	0.4331	0.3958

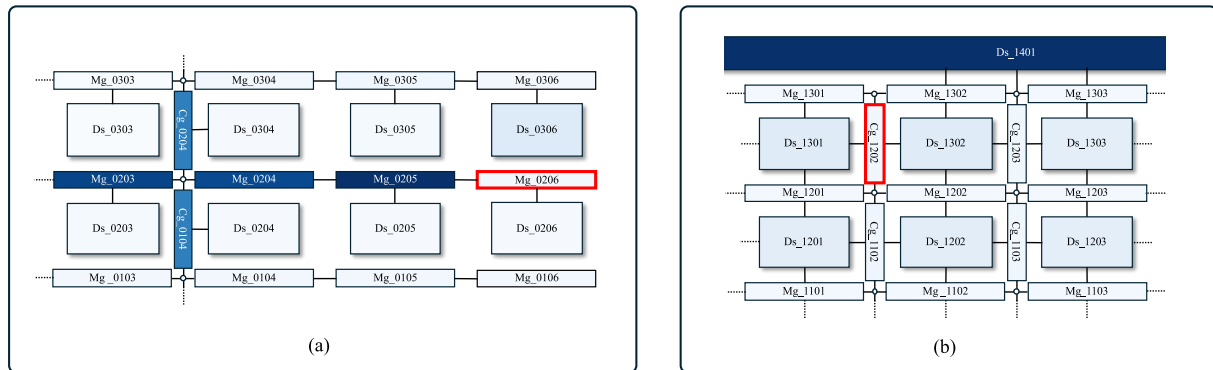


図-1 実データセットにおける Attention Weight の可視化.

本研究では、要素番号図から各部材の相対位置を抽出した。その際、OCR および大規模言語モデル(LLM)を組み合わせた半自動での要素番号抽出を行った。OCR を用いて図面内の要素番号を抽出したのち、OCR の誤認識を LLM や手動の確認を組み合わせで修正した。抽出された要素番号を要素ノードの位置とし、主桁・横桁・床版など5種の隣接要素間を結ぶエッジを構築した。

(3) 比較手法と評価指標

本研究では、数え上げ法、GAT、位置埋め込みを除外した Transformer を、Graph Transformer と比較した。評価指標として、Cross Entropy、ノードごと・損傷ごと(Node-wise and Damage-wise)の予測精度(ND Accuracy)、損傷進行(Damage Evolution)についての予測精度と再現率(DE Precision / Recall)、損傷判定の順序性を考慮した評価である Ranked Probability Score (RPS)を用いた。

(4) 結果と考察

各評価指標についての結果を表-1に示す。合成データセットにおいて、Graph Transformer は高い性能を示した。近傍だけでなく遠隔ノードからも影響を受け、確率的に劣化するルールの下でも空間的依存性を的確に捉えられることを確認した。仮に合成データの劣化ルールをすべて把握していた場合でも ND Acc は 0.8766 となり、提案手法は理論的上限に近い値を示したと言える。

実橋梁データセットにおいては、数え上げ法では 0.0701 であった DE Precision が Graph Transformer では 6 倍の性能となり、GAT や空間埋め込みなしの Transformer と

比較しても高い性能を示した。実データは損傷判定が健全(a)に偏っており、劣化発生割合が少ない中で、DE Precision / Recall が向上した点は特記すべきである。また、RPS は数え上げ法、GAT、提案手法でそれぞれ 0.007200、0.007231、0.005428 であり、提案手法が予測と実値の累積確率の差が最も小さく、損傷の順序性をより的確に反映して予測したことが確認された。

5. モデル挙動の解釈

実橋梁データにおいて Attention Weight の可視化を行い傾向を分析した。解釈可能なデータを選別するため、確度高く劣化を予測し、かつ Attention が特定ノードに集中している事例を対象とした。具体的には、グラフ内の最大 Attention Weight が 0.12 以上であり、正解判定に対する予測確率が 0.7 以上であり、かつ判定が劣化方向に遷移するデータを分析した。

図-1(a)の事例では、赤で示された主桁要素における、防食機能の c から d への劣化を正しく予測した。その際、モデルは青のノードに着目し、近傍の主桁要素だけでなく、防食機能が判定 c である要素を参照して判断したことがわかる。図-1(b)の事例では、鋼横桁の防食機能の a から e への遷移を予測しており、その際に鋼桁上部に位置し漏水・遊離石灰が発生している床版に注目する様子が確認できた。この関係性は、実際の劣化メカニズムを反映していると言える。他の例では、損傷が発生している要素すべてに注目するのではなく、その中でも予測対象の要素と同一種別の部材に注目する様子が見られた。

Attention Weight は予測時の注目箇所を表すものであり、必ずしも劣化の因果性を表すものではないが、橋梁劣化メカニズムと照合することで、上記のような予測の妥当性についての確認が可能である。

6. 結論

本研究では、橋梁部材のマルコフ劣化予測の精度向上のため、部材間の空間的依存関係を明示的に捉える Graph Transformer モデルを提案した。部材の隣接関係をグラフとして表現し、損傷評価をノード特徴量とし、次回点検時の判定を予測した。

提案手法は、合成データと実橋梁データの双方において従来手法を大幅に上回る予測性能を示した。近傍ノードだけでなく遠方ノードとの依存関係を柔軟に学習することができ、また実データでの劣化遷移が限定される中、DE Precision/Recall が向上した点は重要である。

さらに、Attention Weight の分析により、モデルが予測時に参照した要素と実際の損傷メカニズムとの整合性が多数確認された。Graph Transformer により高精度な予測に加えて予測根拠の解釈性が担保できることが示された。

今後の課題としては、時間軸方向のモデリングの強化が挙げられる。本手法ではマルコフ性を仮定し 1 step の遷移予測としているが、時間連続性を導入するなど、さらなる精度向上を図ることが可能である。また、支承や伸縮装置などの部材ノードや、部材ごとの記述文章⁹⁾、詳細な損傷箇所⁹⁾、および交通荷重等の橋梁全体の情報を導入することでより精緻な予測が期待できる。本手法は、部材の空間的相互作用を導入することで、精度や解釈性、拡張性を兼ね備えた予測モデルであり、橋梁維持管理における基盤技術としての発展が期待される。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 JP24KJ0791 の助成を受けたものです。また、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第

3期「スマートインフラマネジメントシステムの構築」JPJ012187（研究推進法人:土木研究所）で実施されている研究も含まれます。これらに謝意を表します。

REFERENCES

- 1) Saydam, D., Frangopol, D. M., and Dong Y.: Assessment of Risk Using Bridge Element Condition Ratings, *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 19, No. 3, pp. 252–265, 2013.
- 2) Miao P., Yokota H., and Zhang Y.: Deterioration prediction of existing concrete bridges using a LSTM recurrent neural network, *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol. 19, No. 4, pp. 475–489, 2023.
- 3) Minami T., Fujiu M., and Takayama J.: Analysis of Bridge Damage Discovered By the Bridge Surface Condition Using Bridge Inspection Data, *Journal of Japan Society of Civil Engineers Ser D3 (Infrastructure Planning and Management)*, Vol. 74, No. 5, p. I_339-I_348, 2018.
- 4) Gao L., Yu K., and Lu P.: Considering the Spatial Structure of the Road Network in Pavement Deterioration Modeling, *Transportation Research Record*, 2023.
- 5) Ying C. et al.: Do Transformers Really Perform Bad for Graph Representation?, *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 34, pp. 28877–28888, 2021.
- 6) Yeh C., Chen Y., Wu A., Chen C., Viégas F., and Wattenberg M.: AttentionViz: A Global View of Transformer Attention, *arXiv [cs.HC]*, 2023.
- 7) Veličković P., Cucurull G., Casanova A., Romero A., Liò P., and Bengio Y.: Graph Attention Networks, *arXiv [stat.ML]*, pp. 1–12, 2017.
- 8) Chun P. J., Chu H., Shitara K., Yamane T., & Maemura Y.: Implementation of explanatory texts output for bridge damage in a bridge inspection web system. *Advances in Engineering Software*, Vol. 195, Issue 103706, 2024.
- 9) Yamane, T., Chun, P. J., & Honda, R.: Detecting and localising damage based on image recognition and structure from motion, and reflecting it in a 3D bridge model. *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol. 20, Issue 4, pp. 594–606., 2022.

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

MARKOVIAN BRIDGE DETERIORATION PREDICTION CONSIDERING COMPONENT SPATIAL POSITIONS USING GRAPH TRANSFORMER

Shogo INADOMI and Pang-jo CHUN

Bridge component deterioration often exhibits spatial propagation and damage localization. This study proposes a Graph Transformer-based Markov chain model that incorporates the position of bridge components. The model represents adjacency among components as a graph and uses damage ratings as node features to predict future conditions. Evaluation on both synthetic and real bridge inspection datasets shows that the proposed method outperforms conventional approaches in prediction performance. Additionally, analysis on attention weights reveals that the model is consistent with deterioration mechanisms. The proposed method is expected to serve as a fundamental technology for advancing bridge management.

電線共同溝における地下埋設物の 「見える化」に向けた取り組みについて

渡辺 朝晴¹

¹ 正会員 近畿地方整備局 道路部 道路工事課（〒540-8586 大阪府大阪市中央区大手前三丁目 1-41）

E-mail: Watanabe-t86vd@mlit.go.jp

電線共同溝事業における課題の一つに、工事段階において台帳上で確認した位置と異なる箇所で既設埋設物が発見されることによる、手戻りがあげられる。そのため電線共同溝工事は試掘による現況確認と現況に合わせた修正設計前提の発注となっており、工事完了まで3年程度の工期を要している。

今回、これらの手戻りを解消するために、地下埋設物探査を活用し、設計段階の現況把握の精度向上を試みた。本稿では、既設埋設物情報のフロントローディングによる効果の検証、既設埋設物情報の3Dモデル化と活用検討についての所見を示す。

Key Words: *underground utility survey, front-loading, 3D model, detailed design, common utility duct*

1. はじめに

(1) 無電柱化事業の背景

無電柱化は、「防災性の向上、安全性・快適性の確保、良好な景観形成の観点」から実施されており、1995年の「電線共同溝の整備等に関する特別措置法」の成立により、道路の掘り返し防止や道路景観の整備の観点から、道路管理者が電線の収容空間として電線共同溝を整備するという仕組みが整った。

しかし、日本の無電柱化率は欧米やアジアの主要都市と比較して低く、東京都区部の無電柱化率は約8%、大阪市では約6%となっている。また全国には、約3,600万本もの電柱が存在しているが、毎年数万本単位で増加し続けている。これを受け、国土交通省は令和3年5月に無電柱化推進計画を策定し、令和3年度からの5年間で約4,000kmの新たな無電柱化に着手することが発表した。

計画の実施においては、無電柱化の完了までに平均7年かかる期間を事業のスピードアップを図り、特殊な現場条件を除き事業期間の半減に取り組むことが掲げられている。

しかし電線共同溝の整備においては、道路管理者、電線管理者、道路占有者、地域住民など利害関係者が多岐にわたり、計画や設計段階における合意形成に多大な時間を要している。

(2) 電線共同溝の課題

電線共同溝の整備の課題のひとつが既設埋設物の位置についてである。

電線共同溝の詳細設計は、配線計画から得たケーブル収容条件を基に、管路断面および特殊部の断面を設定し、電線共同溝の敷設位置を検討するものであるが、交差・近接等による支障移設を減じるために既設埋設物との離隔を調整し、既設埋設物の維持管理も考慮した敷設位置を検討する必要がある。

しかし、検討の段階で用いる既設埋設物台帳の精度が低い場合、施工段階の試掘において設計通りの離隔が確保できず、特殊柵や管路が入らないことが確認され、修正設計などの手戻りが生じる。

(3) 目的

大阪国道事務所管内の国道25号志紀南地区電線共同溝事業では、令和5年度に埋設物の位置を正確に把握し効率的に事業を進めるため、3Dレーダー探査、地上レーザ測量を行い、地上・地下統合3Dデータを作成する埋設物調査業務を実施した。また、同時並行で電線共同溝詳細設計業務が行われ、埋設物調査業務と業務間連携を図りながら、設計精度の向上に取り組んだ。

本稿では、業務での取り組みから確認した効果等を整理し、今後の課題等について考察する。

2. 志紀南電線共同溝事業における既設埋設物情報フロントローディング

(1) 志紀南地区電線共同溝事業の概要

大阪府八尾市の南東部に位置する国道 25 号志紀南地区では、「志紀南電線共同溝（事業延長 1.36km）」の整備を進めている。本区間は、歩道幅員の狭い箇所が多いうえ、地下埋設物の占用物件も多いことから、歩道や交差点を中心に既設埋設物の輻輳している状況が想定された。

(2) 地下埋設物探査について

a) 3D レーダー探査

地下埋設物探査は、地中レーダー法が広く活用されており、マイクロ波を地中に照射し、異なる物性の境界からの反射波を受信して埋設管等の埋設位置を調査する技術である。3D レーダー探査は、多配列の地中レーダーを用いて対象範囲を面的にデータ取得・結合し、三断面（平面・縦断・横断）で解析を行う探査手法である。本事業では、地上・地下インフラ 3D マップ（NETIS 登録番号:KT-180111-VE）を採用した。

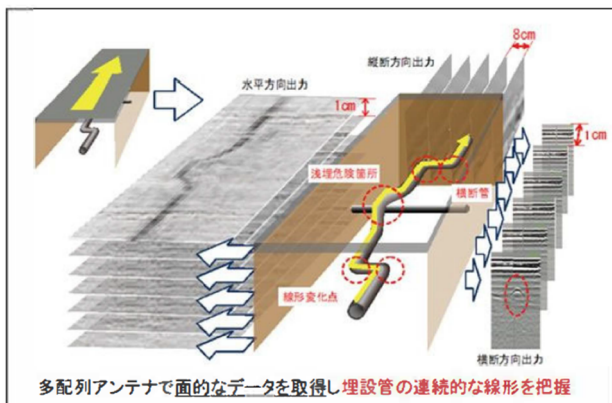


図-1 3Dレーダー探査の特徴

面的に地中のデータを取得し、既設埋設管の連続的な線形を捉えることで、埋設管の平面・深度・線形変化点や上越し、下越し、離隔等が把握可能となる（図-7）。また、台帳に記載のない不明管の検出や、台帳との線形の相違なども確認できる。調査精度は、8～9割程度の埋設物を検出可能で、平均誤差±10cm程度で位置を特定することができる（表-1）。現地調査は、歩道部においては移動規制で作業が可能で交通への影響は小さく、騒音振動も発生しない。

表-1 3Dレーダー探査の主なスペック

	スペック
深度限界	1.0～1.5m 諸条件により異なる
検知可能な材質	金属系、コンクリート系、プラスチック系、その他 φ50mm 以下の小口径の埋設物については土質条件等から検知できない場合あり
調査精度（誤差）	水平位置:平均±10cm 程度 埋設深さ:深度 1m 以浅:平均±10cm 程度 深度 1m 以深:平均±10%程度

机上調査で収集した台帳と地下埋設物探査結果を比較した結果、埋設位置や平面線形、線形の変化点が台帳と大きく相違した箇所が複数確認された。また、台帳に記載のない埋設物や不特定管についても複数確認された。探査の結果、図面に記載のない横断水路が3箇所、台帳に記載のない不特定管が84本検出されている。

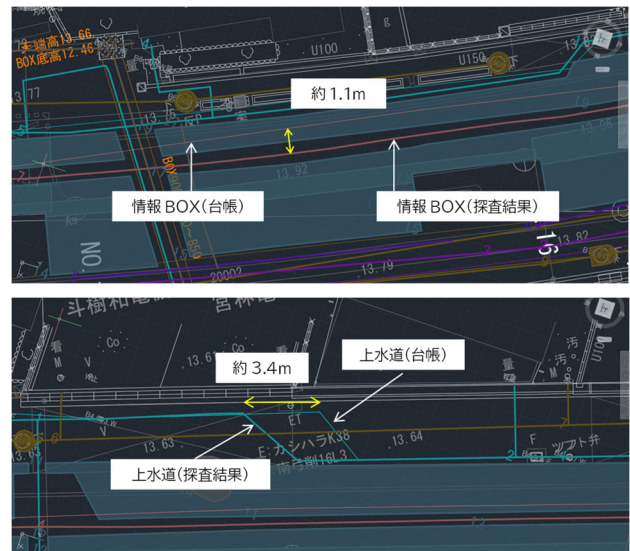


図-2 探査結果(既存埋設物台帳と現況の相違箇所)

(3) 活用効果の検証及び考察

a) 活用効果の検証

3Dレーダー探査結果に基づいて詳細設計を行ったことで、施工時に回避できる手戻りを集計し、効果として試算を行った。「台帳に基づいた設計ルート」と探査結果を照合し、干渉する箇所を抽出して手戻り箇所と想定した。予備設計のルートは、探査より前段階で作成しており、既設埋設物の位置は台帳情報を用いている。詳細設計図面ではないが、台帳記載の既設埋設物の位置を考慮してルートを設定していることを踏まえて、予備設計のルートを「台帳に基づいた設計」と仮定した。手戻り箇所に、工事中断などの手戻り所要日数を乗じて手戻り日数を算出（表-2）し、工事遅延日数および全体の工事に対する割合などを確認し、効果の検証を行った。

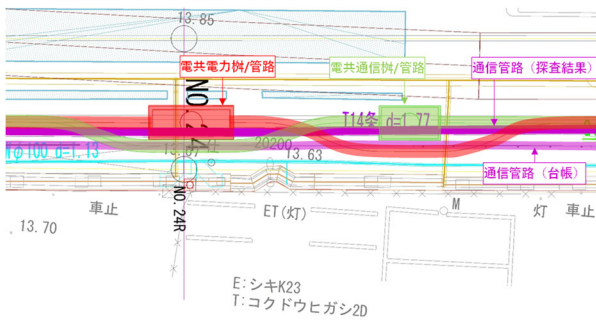


図3 台帳に基づいた設計と探査結果の干渉事例

台帳に基づいた設計で生じると想定される施工時の手戻り箇所は、特殊部付近で28箇所、管路部で31箇所確認された。手戻り所要日数はヒアリング等より設定し試算を行い、施工時の延べ手戻り日数は113日であった。従来通りの台帳に基づいた設計を行った場合、1日の当りの施工進捗を10mと仮定した場合の施工日数が135日、延べ手戻り日数113日を合算した248日程度要することになる。3Dレーダー探査を活用して詳細設計事前に、既設埋設物情報の精度向上を図ることで、延べ手戻り日数113日を回避できるため、従来手法による工事日数を46%削減できるという結果となった。

表2 手戻り日数の試算

予備設計	特殊部	特殊部	管路部	管路部
探査結果	既設管	残置管	既設管	残置管
干渉箇所数	25箇所	3箇所	20箇所※	11箇所
修正作業所要日数	5日/箇所	1日/箇所	3日/箇所	1日/箇所
平均施工数	1.5箇所/日	2.5箇所/日	2.5箇所/日	2.5箇所/日
手戻り所要日数	84日	2日	24日	4.4日
延べ手戻り日数	113日			

※干渉区間長が10m以上の箇所は、特殊部間を1箇所換算。
修正作業所要日数、平均施工数は既往文献を参考に設定。

b)考察

試算では従来手法と比較して、大きく工事日数を削減できることが示されたが、以下のような課題もある。

- ①試算方法の課題：エビデンスとなる手戻り所要日数が、手戻りの発生時期や場所によって異なると考えられる。
- ②非破壊調査以外の手法の検討：上記検証では地下埋設物探査のみを用いており、試掘を効果的に活用する方法についても検証は必要である。
- ③非破壊調査の精度を踏まえた検討：3Dレーダー探査は非破壊調査であり、環境条件によって探査の精度の限界がある。

取り組むべき課題はあるが、地下埋設物の「見える化」に貢献する手法であり、電線共同溝事業の円滑な推進に資する取り組みであり、継続して試行や活用効果の検証を実施していくことが重要である。

3. 既設埋設物情報の3Dモデル化と活用検討

今回業務では、埋設物の探査のみではなく地上レーザ一測量を行い、地上・地下統合3Dデータを作成した。

BIM/CIM活用が困難といわれる電線共同溝事業において、本事業において実践した活用内容について報告する。

(1) 既設埋設物3Dモデルの作成

3Dレーダー探査で解析した埋設物の線形を解析ソフトから出力し、点群データから抽出した絶対座標を有する道路面のサーフェスデータを用いて、地盤高基準のデータに変換した。このデータに、各占有企業の埋設管台帳や現地確認情報をもとに管径や条数・段数を与えて3Dモデルを作成した。深度が深いなどの理由で解析未検知の管については、視覚的に違いが分かるようにモデルの透過度を変更した。また、3Dモデルの各オブジェクトに対して、企業者情報や口径、条段数、施工年度、情報源の信頼性などの属性情報を付与した。既設埋設物3Dモデルと3Dレーザースキャナで取得した地上点群データを統合し、現地状況を再現したデジタルツインを作成した。

(2) 設計業務への活用

a)干渉チェック

詳細設計業務では、特殊樹などの配置検討を円滑に進めるために、既設埋設物3Dモデルを活用している。埋設物が輻輳する交差点付近について、2次元設計図面から3Dモデルの作成を行ったうえで、地下埋設物探査結果から作成した既設埋設物3Dモデルへ統合し、離隔や干渉のチェックを実施した。従来の2D図面においては一元的な干渉チェックを行うことが難しく、平面図・縦断面図・横断面図それぞれの確認が必要であったが、3Dモデルを活用することで視覚的に容易となった。

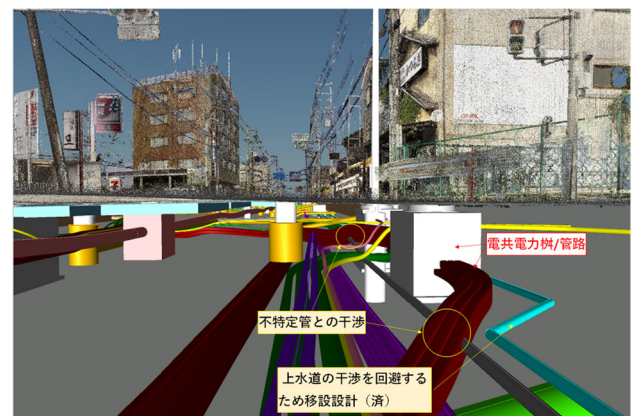


図4 3Dモデルを活用した干渉チェック

b)現地確認におけるAR可視化

事業関係者との特殊部設置位置等の現地確認時に、AR技術を活用した現地説明会を実施し、特殊部設置位置の確認や、連系設備立上周りの埋設物位置情報、横断水路の埋設状況等を確認した。電線共同溝設計や既設埋設物の3Dモデルの状況が現地で可視化されたことにより、占用企業者との協議を円滑に進めることができた。地上機器設置により歩道幅員が懸念される箇所について、地上機器と特殊柵、移設後の縁石をAR投影し、仮想状況を現地で確認した際、自転車や歩行者の動線との関係が見える化でき、地上機器設置位置の修正につなげることができた。



図-5 AR技術を用いた現地説明会

4. まとめ

本事業において実践したフロントローディングの取り組み及びBIM/CIM活用内容について紹介した。紹介した取り組みはいずれも課題は残されており、継続的な試行や検証を行っていく必要がある。今後も、活用効果を適切に確認しながら、生産性向上に資する技術の積極的な活用を推進していく。

謝辞： 本稿の執筆にあたり、参考資料の提供及び助言等を頂きました関係者の皆様に感謝の意を表します。

REFERENCES

- 1) 国土交通省：無電柱化推進計画について，2021
[MLIT, Utility Pole Removal Promotion Plan, 2021.]
- 2) 国土技術政策総合研究所：無電柱化事業における合意形成の進め方ガイド（案），2023
[NILIM, Guidelines for Building Consensus in Utility Pole Removal Projects, 2023.]
- 3) 金原紀雄：電線共同溝事業のスピードアップに向けた考察について，令和5年度近畿地方整備局研究発表会について，2023
[Norio Kanehara, Considerations for Accelerating Common Utility Duct Projects, FY2023 Kinki Regional Development Bureau Research Presentation Conference.]
- 4) 澤井・高田・小林：電線共同溝の詳細設計段階における既設埋設物位置の精度向上と3D設計ソフトを活用した設計精度向上に向けた取り組みについて，第68回土木計画学研究発表会
[Takashi Sawai, Satofumi Takata, Miyuu Kobayashi: Efforts to Improve the Accuracy of Locating Existing Buried Objects in the Detailed Design Phase of Common-Use Cable Tunnel and to Improve Design Accuracy Using 3D Design Software, The 68th Conference on Infrastructure Planning and Management]

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

FORMATING JAPANESE MANUSCRIPT FOR JOURNALS OF JSCE

Taro DOBOKU, Hanako YOTSUYA and John SMITH

One of the challenges in common utility duct projects is the rework that occurs during construction when existing underground utilities are found in locations different from those indicated on the records. Therefore, common utility duct construction projects are based on preliminary excavation to confirm existing conditions, followed by contract issuance premised on revised designs reflecting actual site conditions. As a result, the construction period typically takes around three years to complete. Therefore, common utility duct construction projects are based on preliminary excavation to confirm existing conditions, followed by contract issuance premised on revised designs reflecting actual site conditions. As a result, the construction period typically takes around three years to complete. This paper presents findings on the effectiveness of front-loading existing underground utility information, as well as considerations regarding the 3D modeling and utilization of such information.

3次元点群データとGISを活用した 歩道路面評価手法の検討

盛 祥平¹・富山 和也²・真田 拓磨³・吉田 昂³・森石 一志⁴

¹学生会員 北見工業大学大学院 工学研究科 (〒090-8507 北海道北見市公園町 165)

E-mail: m3255200150@std.kitami-it.ac.jp (Corresponding Author)

²正会員 北見工業大学教授 社会環境系 (〒090-8507 北海道北見市公園町 165)

³学生会員 北見工業大学大学院 工学研究科 (〒090-8507 北海道北見市公園町 165)

⁴正会員 大林道路株式会社 DXソリューション部 (〒101-8228 東京都千代田区神田猿樂町 2-8-8)

近年、多様な利用者の安全かつ快適な移動を可能とするため、人を中心とした歩行空間の維持管理に対する需要が高まっている。その一方で、地方公共団体における歩道路面の維持管理基準の明確化が急務となっている。そこで、本研究では、実道にて得られた3次元点群データを活用し、路面変状の位置や特徴を把握可能な多重光源陰影起伏図と、変状度合いを段彩にて表す差分集約コンター図を作成し、それらを地理情報システム(GIS)上で重ね合わせた路面評価手法を検討した。その結果、過去の道路管理瑕疵判決事例に類似した路面変状を視覚的に把握可能であることを示した。また、各種データをGIS上で一元管理することで、効率的な道路管理につながる可能性を見出した。

Key Words: three-dimensional point cloud, GIS, sidewalk, road surface evaluation, information and communication technology

1. はじめに

近年、我が国では、多様な利用者の安全かつ快適な移動を可能とするため、歩行空間の整備が求められている。2020(令和2)年には、誰もが安心して歩ける、快適で開かれた公共空間を構築するため、歩行者利便増進道路の指定制度が創設されており^{注1)}、その指定路線数は年々増加傾向にある^{注2)}。

一方、地方公共団体における歩道路面の維持管理においては、明確な管理基準が示されておらず、利用者からの通報や苦情による事後保全的整備が主である。また、歩道は車道と異なり、利用者動線の面的な広がりを考慮する必要がある。情報通信技術(Information and Communication Technology)を積極的に活用した効率的な点検手法の確立が今日の課題となっている^{注3)}。そこで、本研究では、地上型レーザスキャナ(Terrestrial Laser Scanner, 以下、TLS)から得られた3次元点群データと、地理空間情報システム(Geographic Information System, 以下、GIS)を組み合わせた歩道路面評価手法について検討する。

2. 地方公共団体へのヒアリング調査

歩道の維持管理に対する地方公共団体のニーズを把握するため、兵庫県明石市を対象にヒアリング調査を実施した。その結果、管理瑕疵につながる路面変状への対応が最優先事項であったことから、本研究ではまず、歩道を対象とした過去の瑕疵判決事例について調査した。ここで、国家賠償法2条における「瑕疵」とは、営造物が通常有すべき性状や設備を具備していなく、その安全性に欠陥があることを指す^{注3)}。道路管理瑕疵判例ハンドブック(編集:道路管理瑕疵研究会)を活用した瑕疵事例調査の結果、段差や窪みといった路面変状や、側溝(無蓋や蓋破損)やグレーチング間の隙間といった路上構造物に起因するものが多く見られた。特に、路面変状に関する瑕疵判決事例の全てにおいて、道路の移動等円滑化に関するガイドライン^{注4)}における歩車道境界部の高さ基準である、段差量20mm以上の箇所で瑕疵を伴う事故が起きていたことが明らかとなった。したがって、これらの事例に類似した、歩道部における路面変状箇所を効果的に特定することを本研究の目的とする。

3. 3次元点群データの取得

路面の状態を定量的かつ面的に捉えるため、兵庫県明

表-1 計測概要

計測時期: 2024 年 7 月	計測方法: 静的計測
使用機器	シニアカー: セリオ 遊歩スキップ neo
	TLS: RIEGL VZ-400i
点群計測密度: 50 点/100 cm ² 以上	TLS 計測間隔: 10 m

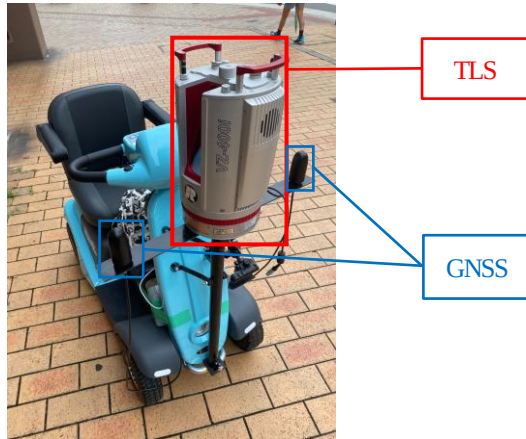


図-1 計測機器

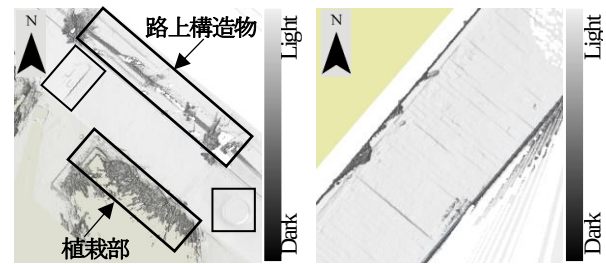
石市の実道にて、3次元点群データを取得した。計測概要を表-1に、計測機器を図-1に示す。計測方式は、TLSと全球測位衛星システム（Global Navigation Satellite System, 以下、GNSS）を搭載した電動アシスト付きシニアカー²⁾で移動し、計測点で停止する静的計測とした。なお、計測間隔は 10 m とした。点群密度に関しては、路面評価に影響を及ぼさないことを前提とし、「地上型レーザスキャナーを用いた出来形管理要領（舗装工事編）（案）」^{注5)}にて定められている、最大観測距離内での点群密度基準を十分に満たすように計測を行った。

4. 空間情報解析

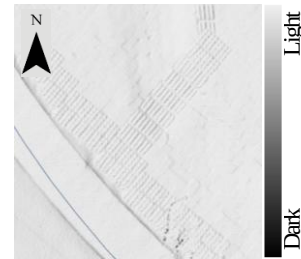
本研究では、前章で得られたデータについて、各計測点で取得した点群のレジストレーションおよびノイズ除去を事前処理として行った後、CloudCompareのセグメント機能を用いて歩道路面を抽出し解析・評価対象とする。以下に、空間情報解析手法の詳細を示す。

(1) 陰影起伏図による変状箇所の可視化

陰影起伏図は、路面に存在する変状の位置や形状を特定するために作成する。作成には、ArcGIS Pro（ESRI 社）を用いた。既往研究³⁾では、LiDAR（Light Detection and Ranging）より得られた点群データによる路面変状の特定において、3DモデルやDEM（Digital Elevation Model）と比較した結果、陰影起伏図が路面変状の特定に最も有効であることを明らかにしている。しかし、陰影起伏図

(a) 段差(左上)・マンホール
窪み(右下)

(b) 連続的な段差



(c) 視覚障害者誘導用ブロック

図-2 多重光源陰影起伏図の適用

- 手順 1. 解析対象歩道路面をグリッドに分割
↓
手順 2. 各グリッド内の平均 Z 値算出
↓
手順 3. 近傍グリッド間の標高差分の算出
↓
手順 4. 差分の合計（差分集約値）の算出
↓
（縦横断方向）
手順 5. 段彩表示のしきい値設定
↓
手順 6. 座標を再度付与し GIS にインポート

図-3 差分集約コンター図作成フロー

は太陽の方位角に依存するため、本研究では、多重光源による陰影起伏図⁴⁾による路面変状の特定を検討した。点群データに対し GIS 上で陰影起伏図を作成した例を図-2に示す。図-2(a)および(b)には段差や窪み、図-2(c)には視覚障害者誘導用ブロックを認識することが可能であるとわかる。また、図-2(a)の道路沿いには、路上構造物や植栽が存在することも確認することができる。以上より、本研究内では、多重光源陰影起伏図をベースマップとして採用した。

(2) 差分集約コンター図による変状度合いの可視化

前述した陰影起伏図では、変状の発生位置および特徴を特定できる一方で、その度合いを評価することが困難

表-2 差分集約コンター図の段彩設定基準

差分集約値(mm)の段彩設定	色	理由
100≦	色なし	路上構造物付近で3桁以上の差分集約値が大半を占め、路面評価に影響を及ぼさない、視認性の向上
最大値 30	赤色	実測値 19mm の段差箇所の最大差分集約値が 30.1 mm
中間値 29	黄色	中間値を最大値付近に設定する必要あり
最小値 0	青色	差分集約値は絶対値表示のため、最小値の考慮は不要
0	GIS に非表示	路面評価に影響なし、視認性の向上

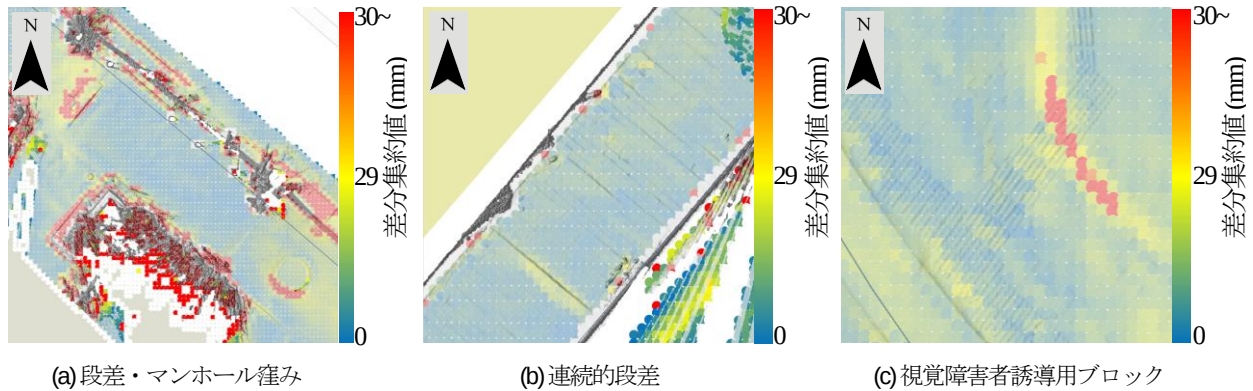


図-4 GISでの重ね合わせによる歩道路面評価

表-3 本手法による路面評価の可否

歩道点検	評価項目	評価基準	評価の可否	瑕疵判決事例の有無
ブロック舗装 アスファルト舗装	段差（路面）	絶対値 20mm 以上	○	有
	段差（施設・構造物）		○	有
	窪み		○	有
	隆起（根上がり）		○	*
	隆起（ひび割れ）		○	*
管理瑕疵の主原因となる路上構造物	側溝蓋（段差・突起）	絶対値 20mm 以上	○	有
	グレーチング（段差・突起）		○	有

*…本研究内の調査で瑕疵判決事例が存在しなかった路面変状

である。そこで、標高データに対して、近傍グリッド間における高さの差分絶対値を集約する、離散的標高変化量評価手法（以下、差分集約法）による変状度合いの評価について検討を行った。図-3に差分集約法によるコンター図（以下、差分集約コンター図）の作成フローを示す。なお、差分集約法の性質上、図-3の手順4で差分算出を行った後、座標を再度付与する必要がある。本研究では、Excel（Microsoft 社）を用いて座標の再付与を行った。また、表-2に段彩表示におけるしきい値の設定基準を示す。本研究では、算出された差分集約値と実段差量は異なるため、双方を考慮し、しきい値を設定した。ここで、差分集約法のデメリットとしては、計測データに含まれる植栽部や路上構造物も同時に色付けされてしまうことである。そこで、前節にて作成した、多重光源陰影起伏図と重ね合わせた路面評価を検討する。

5. GISを活用した歩道路面評価手法の検討

本章では、前述した差分集約コンター図を、GISにインポートし、多重光源陰影起伏図と重ね合わせた歩道路面評価手法を検討する。図-4にGISでの重ね合わせ結果の例を示す。図-4(a)の、段差およびマンホール部の窪みは、どちらも実測値20mm以上であり、差分集約コンター図の段彩表示においても、赤色で示されている。また、道路沿いに赤色で示された箇所は、陰影起伏図により、植栽部や路上構造物と確認できる。一方、図-4(b)の連続的な段差部には、実段差量20mm以上の箇所はなく、赤色で示された箇所は見られない。また、図-4(c)に示す視覚障害者誘導用ブロック上には、実段差量20mm以上の路面変状が生じている箇所があり、その箇所が赤色で示されていることが分かった。以上より、図-2(c)に示す陰影起伏図のみでは特定することが困難であった変状度合いの評価について、両者の重ね合わせによる可視化が有効であることがわかった。また、表-3に本手法による路面評価の可否を示す。表より、本手法では、瑕疵

判決事例の多かった、高さ方向に20mm以上の路面変状を特定可能である。また、本手法を異なる路面に適用した結果、根上がりやひび割れなどの代表的な路面変状に対しても同様の評価が可能であった。

6. おわりに

本研究では、歩道路面の維持管理において、道路管理瑕疵につながる路面変状の早期把握を目的とし、情報技術を活用した効率的かつ高精度な評価手法について検討した。本研究で得られた成果は以下の通りである。

- (1) 路面変状の位置や形状を把握可能な陰影起伏図に、変状度合いを段彩表示により可視化した差分集約コンター図をGIS上で重ね合わせることで、管理瑕疵につながる路面変状を把握可能であることを示した。
- (2) 陰影起伏図と差分集約コンター図の重ね合わせによる路面評価は、段差や窪みに加え、根上がりやひび割れなどの代表的な路面変状に対しても同様の評価が可能であり、汎用性の高い手法であることを示した。

本研究成果は、空間情報を活用した人中心の歩道整備に寄与するものと期待できる。今後は、路面評価における更なる効率化を図るため、GISへの点群データインポートから空間情報解析までの自動化について検討していく予定である。

謝辞：本研究はJSPS科研費23K4056の助成を受け実施したものである。また、本研究の実施にあたり、兵庫県明石市の協力を得た。ここに感謝の意を表する。

NOTES

- 注1) 国土交通省：歩行者利便増進道路 制度概要及び制度の流れ, <https://www.mlit.go.jp/road/hokomichi/pdf/g-aiyo.pdf>. (最終アクセス 2025 年 5 月)

- 注2) 国土交通省：人中心の道路空間の創出, <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001623771.pdf>. (最終アクセス 2025 年 5 月)
- 注3) 道路管理瑕疵研究会：「道路管理瑕疵判例ハンドブック」, p.3, 2022.
- 注4) 国土交通省：道路の移動円滑化に関するガイドライン, <https://www.mlit.go.jp/road/road/traffic/bf/kijun/pdf/all.pdf>. (最終アクセス 2025 年 5 月)
- 注5) 国土交通省：「地上型レーザスキャナーを用いた出来形管理要領(舗装工事編)(案)」, https://www.hmr.mlit.go.jp/gi-jyutu/i-Construction/youryou_kijun/11kisaikensa/11_3_reza_dekid-aka_hoso.pdf. (最終アクセス 2025 年 5 月)

REFERENCES

- 1) 富山和也, 幸谷宥毅, 鈴木啓祐, 山口雄希, 森石一志: Dual-tree 複素数ウェーブレットを適用した三次元点群に基づく歩行空間の路面特性評価, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.78, No.2, pp.1_152-I_163, 2023. [Tomiya, K., Kotani, Y., Suzuki, K., Yamaguchi, Y., and Moriishi, K.: Evaluation of Road Surface Properties on Pedestrian Zones based on Three-dimensional Point Clouds applied with Dual-Tree Complex Wavelet, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. E1 (Pavement Engineering)*, Vol.78, No.2, pp.1_152-I_163, 2023.]
- 2) 幸谷宥毅, 富山和也, 佐々木賢一郎, 西海隼人, 山口雄希, 森石一志: パーソナルモビリティの振動応答を考慮した三次元計測機器による路面評価精度の検証, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.78, No.2, pp.1_164-I_170, 2023. [Kotani, Y., Tomiyama, K., Sasaki, K., Nishigai, H., Yamaguchi, Y., and Moriishi, K.: Verification of Road Surface Evaluation Accuracy by 3D Measurement Equipment Considering Vibration Response of Personal Mobility, *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. E1 (Pavement Engineering)*, Vol.78, No.2, pp.1_164-I_170, 2023.]
- 3) N H Riyaz, K., and S Vasantha, K.: Terrestrial LiDAR derived 3D point cloud model, digital elevation model (DEM) and hillshade map for identification and evaluation of pavement distresses, *Results in Engineering*, Vol.23, pp.1-19, September 2024.
- 4) 鈴木敬子, 石川剛: 多重光源陰影と斜照法疑似陰影による地形表現に関わる研究: 武蔵野台地における例, 先端測量技術, Vol.109, pp.34-41, 2017. [Suzuki, K., and Ishikawa, T.: A Study on Terrain Visualization Using Multi-Light Source Shaded Relief and Oblique Illumination Pseudo-Shading: A case study on the Musashino Plateau, *Advanced Surveying Technology*, Vol.109, pp.34-41, 2017.]

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

ROAD SURFACE EVALUATION FOR SIDEWALK BY USE OF THREE-DIMENSIONAL POINT CLOUDS AND GIS

Shohei SAKAN, Kazuya TOMIYAMA, Takuma SANADA,
Subaru YOSHIDA and Kazushi MORIISHI

In recent years, demand for the human-centered maintenance of pedestrian spaces increases in ensuring safe and comfortable traveling for diverse road users. However, no inspection and maintenance standards of road surface maintenance for sidewalks have so far been established. This study examines a surface evaluation method that integrates novel visualization techniques based on three-dimensional point cloud data collected on in-service sidewalks. For this purpose, multi-directional hillshade maps are generated to identify the locations and characteristics of surface irregularities. Then, the maps are integrated with differential aggregated contour maps that express the degree of deterioration using color gradation in a geographic information system (GIS). The result shows the integrated map has an ability to identify surface deformations which lead administrative defects. The outcomes of this study will contribute to an efficient solution which centrally manage multiple datasets in a GIS.

BIM/CIM モデルの属性情報を活用した 盛土のリスク評価に関するシミュレーション

小林 純¹・阿部 喜生²・内池 聖享³

^{1,2} 正会員 (株)不動産テトラ 土木事業本部 技術部 開発課 (〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町 7-2)

E-mail: ¹ jun.kobayashi@fudotetra.co.jp (Corresponding Author), ³ yoshio.abe@fudotetra.co.jp

³ 正会員 (株)不動産テトラ 土木事業本部 工事部 土木工事 DX 推進課 (〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町 7-2)

E-mail: kiyotaka.uchiike@fudotetra.co.jp

2023 年度より国土交通省管轄工事において原則 BIM/CIM 適用が開始されている。2023 年度の BIM/CIM 活用工事では視覚的なモデルの外観に基づく工事関係者間の合意形成に重点が置かれていたが、BIM/CIM の本質は BIM/CIM モデルに付与された属性情報を工事プロセスの各段階で活用することにある。特に、維持管理段階での BIM/CIM における属性情報の活用方法は検討の余地がある。ここでは盛土工事を対象に、BIM/CIM モデルに付与された属性情報に基づき、維持管理段階におけるリスク評価に関するシミュレーションを実施した。本シミュレーションを応用することにより、従来の盛土の締固め管理では検知できないリスクを評価でき、BIM/CIM の属性情報が有効活用できることを見出した。

Key Words: Building/Construction Information Modeling/Management, Embankment Compaction, Risk Assessment Earthwork, Attribute Information, Over Compaction

1. はじめに

国土交通省は 2023 年度より小規模を除く全ての直轄工事を対象に、BIM/CIM 原則適用を開始している。BIM/CIM 活用工事は、モデル外観による視覚化の効果を期待する義務項目と高度なモデル活用により生産性向上等を目指す推奨項目に分類される。義務項目は 3 次元モデルの閲覧のみで実施できるため、これまで BIM/CIM に不慣れだった企業が取り組み易い内容となっている。また、発注者を対象に実施した BIM/CIM による効率化に関するアンケート結果¹⁾の一例を図-1 に示す。アンケート回答の多数が工事関係者間の合意形成に関するもので BIM/CIM モデルの視覚効果は認められるものの、属性情報の活用効果に関する回答が無く、BIM/CIM 活用の目的の一つである BIM/CIM モデルに付与された属性情報の利活用には至っていない。BIM/CIM は各建設プロセスの情報を 3 次元モデルに属性情報として登録して後工程に引継ぎ、活用することで各プロセスにおける作業の効率化が期待できる。

本稿では盛土工事を対象に、BIM/CIM モデルに属性情報として付与した盛土の施工データにより、維持管理段階で活用できるリスク評価に関するシミュレーションの内容を示すとともに、今後の展望について述べる。

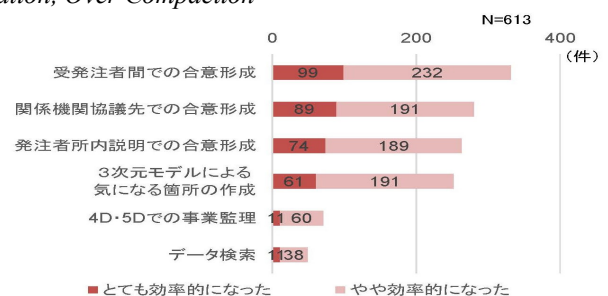


図-1 BIM/CIM による効率化の発注者アンケート結果

2. 盛土工事における締固め作業の実態

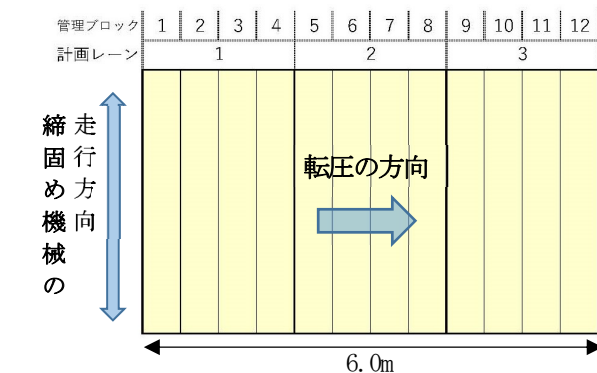
盛土工事では本施工前に試験施工を行い、盛土材料毎に締固め機械の機種、転圧回数等の施工仕様を決定する。本施工では各層および各施工範囲の締固め作業を行うが、規定転圧回数は複数回となることから締固め機械は各走行レーンを往復走行することになる(写真-1 参照)。



写真-1 盛土締固め転圧作業の様子

ここで想定転圧幅 2.0m の締固め機械を対象に、作業ヤードにおける走行レーンの割付け計画のイメージを図-2に示す。図-2 中の管理ブロック幅(50cm)は TS・GNSS を用いた盛土の締固め管理要領²⁾で規定されているブルドーザを除く締固め機械における管理ブロックサイズの基準値を参考にしている。パターン 1(ヤード幅 6.0m)の場合、走行レーンを 3 列で計画すればヤード範囲内の締固め作業を完了できるが、パターン 2(ヤード幅 7.0m)の場合、管理ブロック No. 13, 14 を転圧するため、4 列目の転圧作業が発生する。その際、3 列目と 4 列目に跨る管理ブロック No. 11, 12 は規定転圧回数の 2 倍の回数を転圧することになる。

[パターン 1] ヤード幅 6.0m の場合



[パターン 2] ヤード幅 7.0m の場合

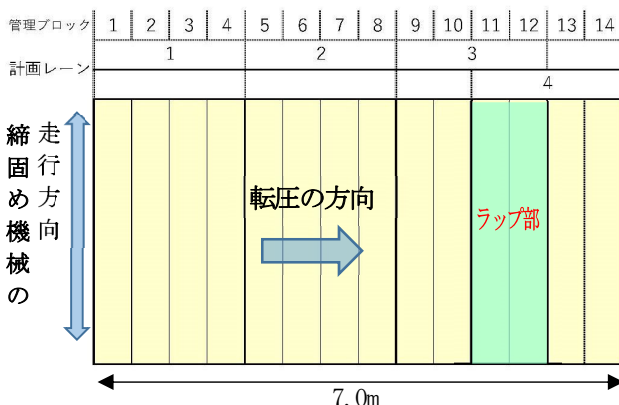


図-2 転圧走行レーンの割付け計画図

一方、パターン1を対象に実施工の実態を考慮した走行レーンの割付け図を図-3に示す。実施工では転圧不足箇所を無くすために隣接レーンとラップして走行することが一般的であり、ラップ幅が 30cm~50cm を想定すると管理ブロック 1 列分が GNSS による締固め管理上のラップ幅となる。ラップ部を考慮するとヤード幅が 6.0m の場合、当初計画の 3 列のレーンでは未転圧範囲が発生するため、4 列目の走行レーンが追加されることになる。

今回示した事例は走行レーン幅、管理ブロックの配置を簡易的なものとしたが、実際の施工では締固め幅、ヤード幅によってレーンの割付けは複雑化し、ラップ部が発生することは常態化している。ラップ部において規定転圧回数以上の転圧を行うと過転圧となり、盛土材料の性

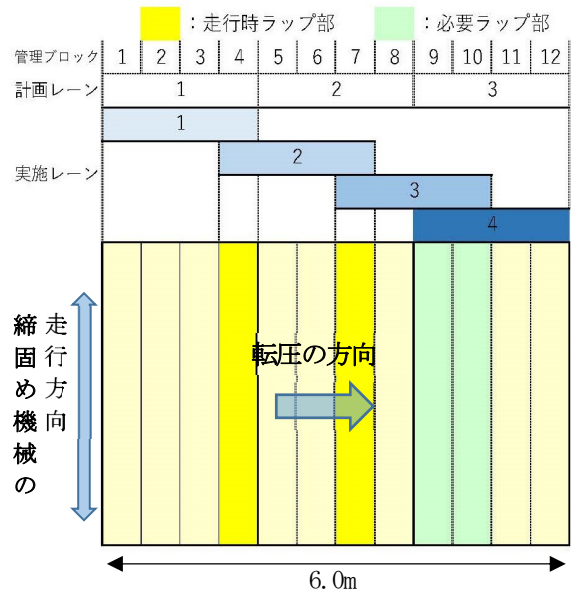


図-3 転圧走行レーンの割付け図(実施工時)

状によっては盛土内部に弱部を発生させる要因となる場合がある。例えば含水比の高い粘性土系の盛土材料の場合、過転圧状態では転圧箇所が泥濘化し、所定の品質が得られない。また、次層施工時には施工基盤下方の泥濘化した盛土層が基盤となることから、たとえ規程転圧回数で転圧したとしても次層以降での品質低下が懸念される。なお、TS・GNSS を用いた盛土の締固め管理の場合、本施工における盛土の品質は転圧回数のみで管理するため、過転圧による盛土の弱部を検出できない。そのため、盛土内部に未検出の弱部を残したまま維持管理段階へ盛土本体が引き継がれることが懸念される。

3. 盛土のリスク評価と BIM/CIM の活用

盛土の適用箇所は道路、鉄道、河川および海岸など多岐に渡る。また、盛土は土構造物であるため降雨および地震等の自然条件による外的要因の影響を受け、盛土崩壊時には周辺環境へ大きな影響を及ぼす。外的要因への耐荷性能は施工時の品質に依存するため、盛土の品質を決定する締固め管理は供用中の盛土を維持管理していく上で重要である。これまで数多くの盛土工事が行われてきたが、施工時の品質記録を共通データ環境に記録され始めたのは最近のことである。近年、気候変動による集中豪雨が頻発していることから、維持管理段階では担当者が施工時における盛土の品質記録から、機能低下による盛土の変形や崩壊に対するリスクを容易かつ迅速に評価できるシステムの構築、運用が必要と考える。

このような背景の中、盛土の BIM/CIM における属性情報を活用してリスク評価を行うことは、盛土の維持管理に対して有効であるものとする。施工した盛土を維持管理段階へ引き継ぐ際に、リスク評価に効果が期待できる施工情報の一例を以下に示す。

1) 過転圧箇所および過転圧の程度

前述したように盛土施工時にはラップ走行により、過転圧状態となる場合がある。規定転圧回数より多い転圧回数は試験施工で決定した締固めエネルギーの増分となるため盛土材料、過転圧の程度およびその分布を併せて評価することにより盛土のリスクを抽出できる。

2) 盛土材料および施工基盤の含水状態

盛土材料の含水比は締固め品質を左右する重要な要素であり、当該層の施工では定期的に含水比を管理する。一方、次層施工前の基盤に含水比の管理に関する規定はない。例えば、次層施工前の降雨により施工基盤に高含水比の範囲があると、転圧層が規定転圧回数で転圧されたとしても、所定の品質が得られない可能性があるため、天日乾燥等で含水比の低下を図っている。また、盛土工事では、施工基盤において品質低下の原因となる滞水の発生を未然に防止しながら施工を進めるが、転圧面全体における湿潤の程度を評価することは難しいため、含水比の増加がリスクを増大させる要因となり得る。

以上より過転圧の程度および施工基盤における降雨の範囲を BIM/CIM 盛土モデルの属性情報と連携して分析することで、盛土のリスク評価の一助になるものとする。

4. 盛土のリスク評価に関するシミュレーション

以下に、施工段階の BIM/CIM 盛土モデルに付与された属性情報を活用し、盛土のリスクを評価したシミュレーションの内容を示す。

1) シミュレーションのモデル断面

シミュレーションに適用する盛土モデルの断面図を図-4 に示す。モデル断面では各盛土材料の分布を示しており、盛土材料毎に土質分類、規定転圧回数を設定している。また、シミュレーションでは路体盛土の締固めを想定しており、1 層の仕上り層厚を 30cm とし、TS・GNSS を用いた盛土の締固め管理要領を参考に図-2,3 の管理ブロックサイズである幅 50cm で断面全体を分割している。モデル断面全体を管理ブロックサイズに分割することで、BIM/CIM モデルの属性情報を各管理ブロックに登録することができ、維持管理段階における属性情報の活用を視野に入れている。なお、今回のシミュレーションでは盛

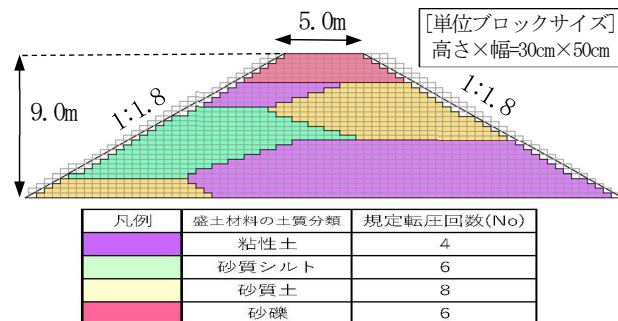


図-4 盛土モデルの断面図

土縦断方向と並行に締固め機械の走行を想定している。

2) 過転圧の評価指標

各盛土材料によって規定転圧回数が異なり、規定の品質が得られる締固めエネルギーが異なるため、過転圧を評価するための指標が必要となる。規定転圧回数を N_0 、実転圧回数を N として転圧回数比 n を $n=N/N_0$ と定義し、シミュレーションにおける過転圧の指標とする。転圧回数比 n は規定転圧回数によって正規化されているため、盛土材料によらず過転圧の程度を簡易に評価できる。

3) 過転圧のシミュレーション

実施工の転圧走行レーン計画(図-3)を考慮したシミュレーション結果を図-5 および図-6 に示す。図-5 では各管理ブロックにおける転圧回数 N 、図-6 では転圧回数比 n を表記しており、黒字の数値は規定転圧回数のブロック箇所、赤字の数値は過転圧のブロック箇所を示している。

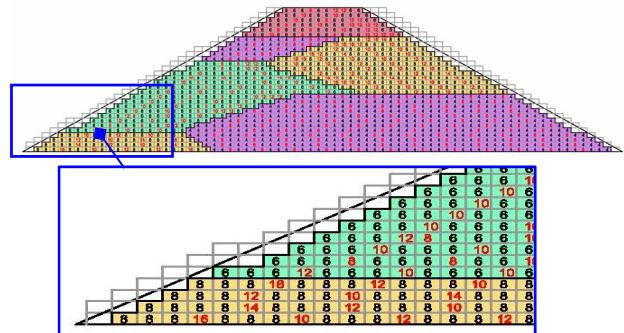


図-5 各管理ブロックの転圧回数(N)

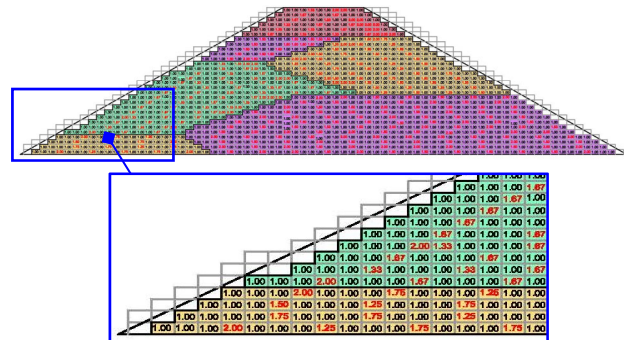


図-6 各管理ブロックの転圧回数比(n)

図-5,図-6 よりモデル断面全体で赤字の過転圧箇所が多く存在していることが分かる。なお、実転圧回数 N 、転圧回数比 n は ICT 施工の出力データと BIM/CIM モデルを連携させることで、属性情報に登録可能である。盛土の管理ブロック数は多大であり、個々の管理ブロックに属性情報を登録する作業量が膨大となってしまうため、各管理ブロックに属性情報登録作業を自動化していく必要がある。当社はこれまで管理ブロックサイズに応じた BIM/CIM 盛土モデルの自動生成および分割された各分割ブロックへの属性情報付与の自動化プログラムを開発しており³⁾、今回紹介するシミュレーションおよび実施工に当該プログラムが有効であるものとする。

4) 施工基盤における事前の降雨

次層施工前に降雨があった場合を考慮し、図-6 に降雨

により含水比が上昇した施工基盤における湿潤範囲のイメージを図-7に示す。今回のモデル断面で使用している盛土材料は透水性の砂礫と砂質土、不透水性の粘性土と砂質シルトに分類される。シミュレーションでは不透水性の粘性土、砂質シルトが分布している範囲で降雨後に含水比の上昇が想定される。

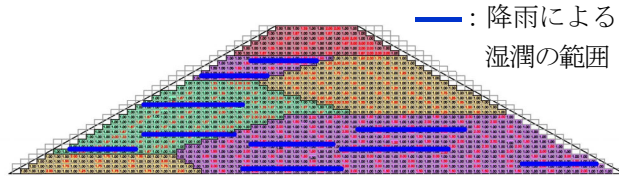


図-7 事前の降雨による湿潤範囲のイメージ

5) 過転圧と施工基盤の降雨を考慮したリスク評価

図-7を参考に、リスク評価を検討する代表箇所を図-8に示す。抽出箇所(a)では湿潤箇所下部が規定回数で転圧されているが、湿潤箇所上部が過転圧となっているため、湿潤箇所上部が弱部になる可能性がある。次に抽出箇所(b)では湿潤箇所下部が過転圧となっている。この場合、湿潤箇所下部の施工基盤が弱部となり、湿潤箇所上部を規定回数で転圧したとしても、湿潤箇所上部の締固め品質が低下する恐れがある。また、抽出箇所(c)では過転圧の範囲が多いが、盛土材料が砂礫のため過転圧による品質低下のリスクが低いと評価される。以上より、BIM/CIM盛土モデルの属性情報を活用することで盛土のリスク評価が可能であることが示唆された。

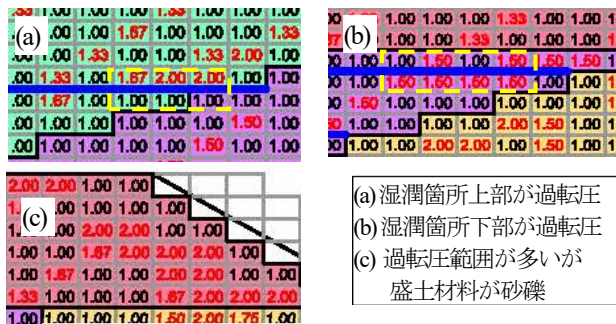


図-8 リスク評価の代表箇所(図-7より抽出)

5. 今後の展望

今回のシミュレーションを踏まえた今後の展望を以下に示す。

A SIMULATION ON A RISK ASSESSMENT OF AN EMBANKMENT UTILIZED ATTRIBUTE INFORMATIONS OF BIM/CIM MODELS

Jun KOBAYASHI, Yoshio ABE and Kiyotaka UCHIIKE

In FY2023, BIM/CIM-utilizing construction projects focused on reaching consensus among construction parties based on the visual appearance of the model, but the essence of BIM/CIM is to utilize attribute informations added to BIM/CIM models at each stages of the construction process. Here, we conducted a simulation of a risk assessment at the maintenance stage based on attribute informations added to BIM/CIM models for an embankment work. By applying this simulation, we could evaluate the risk that could not be detected by a conventional compaction management.

- (1) シミュレーションを2次元断面図から3次元モデルに拡張することで空間的なリスク評価が可能となる。また、盛土材料、転圧回数、施工基盤における事前の降雨量等を属性情報として登録したBIM/CIMモデルを使用したデジタルツインによる盛土施工における転圧時の走行シミュレーションを行い、AIによるリスク評価分析と併用することで、実施工前に維持管理段階のリスク評価に配慮した盛土締固めの施工計画を検討することができる。
- (2) デジタルツインのシミュレーション結果を締固め機械の自律走行技術と連携させることで、これまで発生していた隣接レーンのラップ幅を低減することにより、ラップ部による過転圧範囲を減少させることができ、維持管理段階における盛土のリスク低減を図ることができる。
- (3) 振動ローラによる締固めが可能な材料を使用している箇所では実施工で加速度応答法を適用することにより、弱部の範囲を検出し、施工結果をデジタルツインにフィードバックさせることでリスク評価の検証が期待できる。

6. まとめ

本稿ではBIM/CIMに登録された属性情報を活用した盛土のリスク評価に関するシミュレーションを行った。今回得られた知見を以下に示す。

- (1) 施工時におけるラップ走行の実態を考慮して過転圧および施工基盤の降雨状況による盛土のリスクを評価することで、BIM/CIMの属性情報が維持管理段階に有効活用できることを見出した。
- (2) 今回提示したシミュレーション手法をデジタルツインおよびAIと連携させることで、供用時における盛土のリスク評価を考慮した施工計画を検討できることが示唆された。

参考文献

- 1) 国土交通省：第13回BIM/CIM推進委員会(資料1:今後のBIM/CIMの進め方),pp.5,2025年2月
- 2) 国土交通省：TS・GNSSを用いた盛土の締固め管理要領,pp.21,2020年3月
- 3) 小林純他：ICT締固め管理とBIM/CIMに対応した盛土モデルの検討,土木学会第6回i-Construction推進に関するシンポジウム,⑤-1,2024

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

AIを活用した 河川の環境変化予測について

平田 元気¹

¹ 国土交通省近畿地方整備局 河川部 河川計画課（〒540-8586 大阪市中央区大手前 3-1-41）

これまで、ダム建設による下流河川への影響については、河床や水質及び冠水頻度の変化などについて横断面毎に検討を行い、主に経験則を基に評価が行われてきたが、より定量的かつ効率的な検討となるよう、大戸川ダム建設事業による環境影響評価において、AIを用いてダム下流河川における環境変化予測（植生変化予測）を試行した事例を報告する。

Key Words: ダム下流河川、環境変化予測、AI、効率化

1. 大戸川ダム建設事業の概要

大戸川ダムは、淀川水系淀川、宇治川及び大戸川に対する洪水被害の軽減を目的とし、淀川水系瀬田川の支川大戸川（滋賀県大津市上田上桐生町及び牧町地先）に建設する、堤高 67.5m、堤頂長 200.0m、洪水調節容量 21,900 千 m^3 の重力式コンクリートダムである（図-1、図-2）。ダム地点の基本高水流量 1,350 m^3/s に対し、280 m^3/s 一定量放流により、1,070 m^3/s の洪水調節を行う（図-3）。

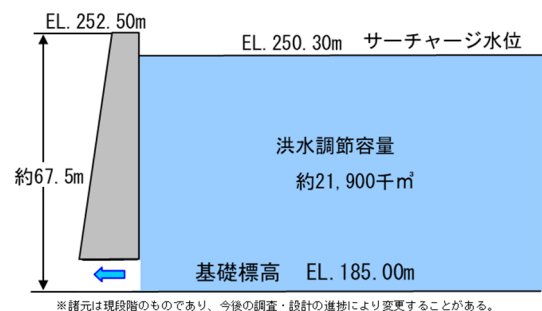


図-2 大戸川ダム貯水池容量配分図



図-1 大戸川ダム位置図

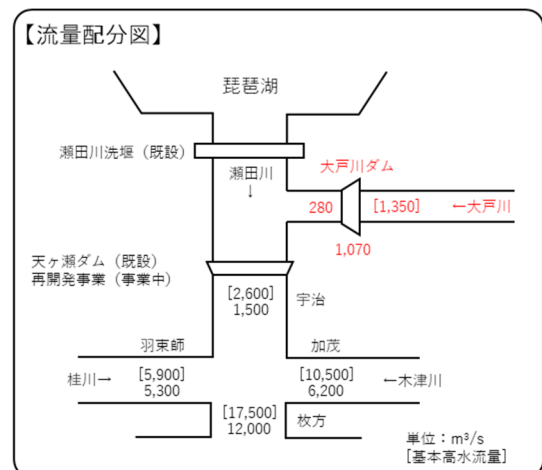


図-3 大戸川ダム流量配分図

当初は、多目的の貯留型ダムとして計画されたが、水需要など社会情勢の変化により、現在は洪水調節専用の流水型ダムとして事業を実施している。

2009(H21)年3月に策定された淀川水系河川整備計画で

は、「ダム本体工事については、中・上流部の河川改修の進捗状況とその影響を検証しながら実施時期を検討する」とされていたが、2021(R3)年8月の整備計画変更により、「環境影響をできる限り回避・低減するための環境調査を含め、必要な調査等を行ったうえで本体工事を実施する」とされたことを受け、2022(R4)年度より、ダム本体工事の実施に向けた調査設計を開始した。

現在はダムサイトの地質調査やダム本体設計、付替道路の調査設計、ダム事業の実施による環境への影響検討、ダム周辺整備や地域振興についての検討などを並行して実施しており、早期のダム本体工事着手と、2033(R15)年度の事業完了を目指している。

2. ダム本体工事の実施に向けた環境影響の検討

大戸川ダムは、法令等に基づく環境影響評価（法アセス）の対象事業ではないものの、過去から事業実施による環境への影響について自主的な検討（自主アセス）を行っており、1992(H4)年に「大戸川ダム建設事業の環境への影響について」を、2005(H17)年に「大戸川ダムにおける環境調査結果」を公表しているが、ダム本体工事の実施に向け、周辺環境の経年変化や貯留型ダムから流水型ダムへの計画変更を踏まえた環境への影響について再確認することとした。今回の自主アセスでは、ダム事業で一般的に行われている項目及び手法により環境への影響について検討を行うが、ダム下流河川における植生を対象に、AIを活用した評価を別途試行した。

3. AIを用いた植生変化予測の試行

通常、ダム下流の植生に対する予測は、ダム下流河川における冠水頻度の変化を踏まえ、特定横断面での植生横断面図上の水位変化を確認して予測を行ってきた。そのため、面的な変化を予測しがたく、樹林化等の大きな植生変化がどこで生じるか等、環境影響の全体像の把握は困難であった（図4）。

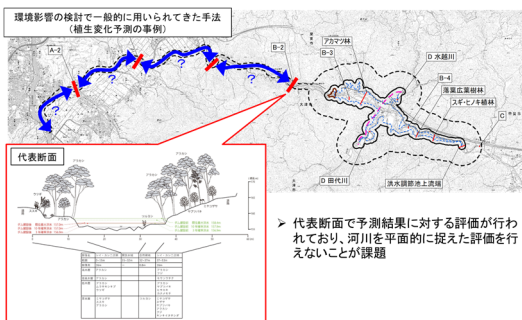


図4 従来の植生予測イメージ

大戸川ダムでは三次元データ（ALB 測量結果や、それを用いた流況解析結果）と AI（深層学習）を組み合わせることで、植生の変化の全体像を予測することを試みた。

(1) AIによる植生変化予測の概要

従来の植生予測モデルは、流速や水深といった少ない変数を用いて予測を試みるものや、多くの変数を用いた場合にも変数同士の相互作用を取り込めず、実際の植生分布の再現性に課題があった。

AIを用いた植生変化予測は、AIの一分野である深層学習（ディープラーニング）を用いたもので、説明変数と目的変数の間に中間層を設けることで、植生を決定づける複雑な関係も取り込めるようにしている（図-5）。

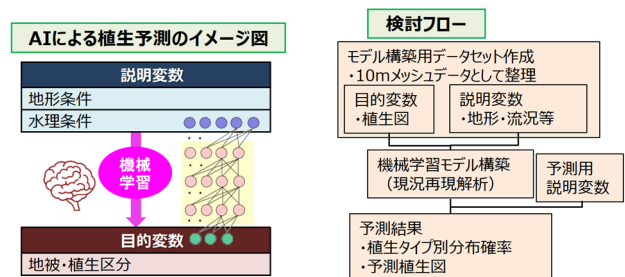


図-5 AIによる植生予測のイメージと検討フロー

(2) 説明変数および目的変数の設定

AI植生変化予測モデルの構築にあたり、目的変数として、現況の植生図の群落区分を大括りにした、予測モデル用植生区分を設定した（図-6及び表-1）。

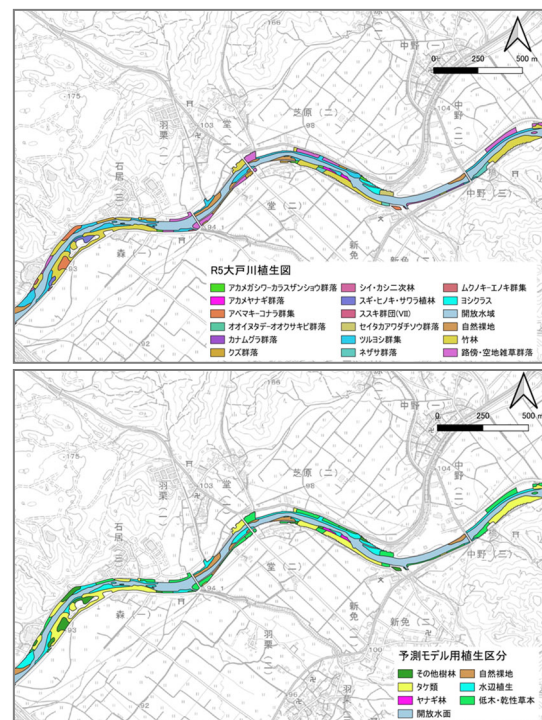


図6 上段：現況植生図，下段：予測モデル用植生図

表-1 目的変数（植生区分）

No	予測モデル用 植生区分	R5 大戸川植生図の群落区分
0	予測対象外	果樹園、残存・植栽樹林地、市街地、水田雑草群落、造成地、畑雑草群落
1	開放水面	開放水域
2	水辺植生	オオイヌタデ・オオクサキ群落、ツルヨシ群落、ヨシクラス
3	低木・ 乾性草本	オギ群落、カナムグラ群落、クズ群落、ススキ群団(VII)、セイタカ アワダチソウ群落、ネザサ群落、路傍・空地雑草群落
4	タケ類	竹林
5	ヤナギ林	アカメヤナギ群落、タチヤナギ群落
6	その他樹林	アカメガシワ・カラスザンショウ群落、アベマキ・コナラ群落、シイ・カン 二次林、スギ・ヒノキ・サワラ植林、ヒメコマツ・アカマツ群落、ムクノキ ・エノキ群落
7	自然裸地	自然裸地

また、説明変数は植生に影響を及ぼすと考えられる項目を設定した（表-2）。

表-2 説明変数（現況再現解析時）

項目	No	説明変数	備考
現況 再現	1	地盤高	LP 測量結果より作成 瀬田川合流点より 8k 付近より 下流側 R2 年度測量結果 上流側 R4 年度測量結果を使用。
	2	傾斜	地盤高データより算出
	3	平水流量時の水際からの距離 (m)	水際からの距離は、最寄りの水面との距離を指す。 水面からの比高は、最寄りの水面の水位と各メッシュの地盤高の差を指す。
	4	平水流量時の水面からの比高 (m)	平水流量時の水面は、平水流量（3m ³ /s）時の 平面二次元流況計算結果から求めた。
	5	平均年最大流量時流速	平均年最大流量（280 m ³ /s）時の流速および 水深を平面二次元流況計算により求めた。
	6	平均年最大流量時水深	280 m ³ /s 時に水没しない場所については流速・ 水深ともゼロとした。
	7	出水時の流速 ～平均年最大流量時の流速	出水時の流速・水深は稀すぎない出水として 最近 10 年間で 3 番目に大きい出水であった 445 m ³ /s 時の流速・水深を用いた。
	8	出水時の水深 ～平均年最大流量時の水深	その出水時と平均年最大流量（280 m ³ /s） 時の差をとった値。

(3) 構築したモデルによる現況再現解析

構築したモデルによる現況再現解析結果の例を図-6に示す。本モデルは、各植生タイプが分布する確率をメッシュごとに算出している。図-7に示した水辺植生やタケ類の例をみると、現状でそれぞれの植生が分布しているエリアは濃色（高確率）で、分布していないエリアはグレー（低確率）で、まばらに分布しているエリアは中間的な確率となっており、現状をよく再現していた。

なお、現状で水辺植生が成立していない場所についても、高い分布確率を示す場所があるが、これは説明変数とした地形や流況が水辺植生成立個所と似ているためである。したがって保全措置が求められる場合には、高い効果が期待できる場所と解釈できる。

また、各メッシュで最も分布確率が高い植生タイプになると判別した場合の現況植生（目的変数）との対比を見ると、植生タイプごとの再現率・適合率にモデルの特性が表れている（表-3、図-8）。

例えばタケ類について、再現率に対して適合率が高いことは、取りこぼしよりもハズレ（誤検知）が低いこと、つまり実際にはタケ類であるのにタケと判別しなかった場所はあるものの、モデルがタケと判別した場合は実際にタケである確率が高いことを意味している。様々な要因が複雑に関与する植生分布を完全に予測することは困

難であっても、モデルの特性を捉えることで、適切な利用が可能となると考えられる。

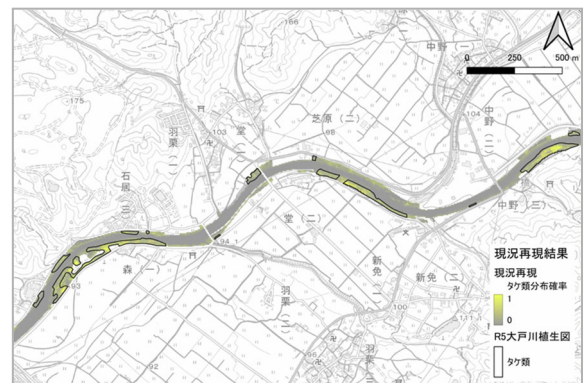
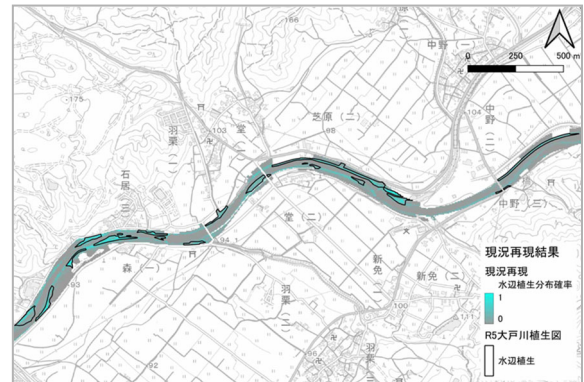


図-7 現況再現結果例（上：水辺植生，下：タケ類）

表-3 現況再現計算結果の再現率・適合率

再現実算 結果	開放 水面	水辺 植生	低木・ 乾性草本	タケ 類	ヤナ ギ林	その他 樹林	自然 裸地	計	再現 率
R5 植生図									
開放水面	36.69%	0.88%	0.43%	0.03%	0.01%	1.27%	0.72%	40.03%	91.7
水辺植生	2.52%	3.29%	1.45%	0.13%	0.01%	0.32%	0.39%	8.09%	40.6
低木・乾性草本	1.01%	0.82%	7.90%	0.48%	0.01%	2.35%	0.06%	12.64%	62.6
タケ類	0.79%	0.55%	3.24%	2.68%	0.00%	2.32%	0.04%	9.61%	27.9
ヤナギ林	0.17%	0.18%	0.14%	0.01%	0.05%	0.00%	0.01%	0.55%	8.9
その他樹林	1.66%	0.15%	1.23%	0.27%	0.01%	20.94%	0.01%	24.27%	86.3
自然裸地	1.85%	0.20%	0.24%	0.03%	0.00%	0.18%	2.30%	4.80%	47.8
計	44.70%	6.06%	14.62%	3.63%	0.08%	27.39%	3.52%	100.00%	
適合率	82.1	54.3	54.1	73.9	58.6	76.5	65.3		

※1. 表中の数字は、解析メッシュ数（34,245）に対する割合で合計 100%となる。そのうち黄色セルの合計がモデル全体の正解率 73.9%である。

※2. 再現率は植生図である区分となっているメッシュのうち再現計算もその区分と判別された割合（%）、適合率は再現計算である区分とされたメッシュのうち植生図でもその区分であった割合（%）。

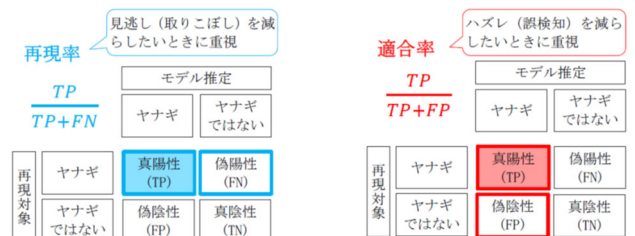


図-8 再現率及び適合率の考え方

(3) 構築したモデルによる予測の実施

構築したモデルによる予測は、予測条件としてダム完成後は地形が変わらず流況のみ変化する条件を与えるこ

とし、説明変数を再設定した。具体的には、説明変数（予測時）の項目は現況再現計算時と同じであるが、NO.7とNO.8については変数を変更した（表-4）。

(4) 予測結果の評価

現況の植生図と植生予測結果（分布確率）を比較すると、予測結果の全体的な傾向として、現在ある植生区分が成立している場所の予測結果は分布確率が高くなっていることから、大戸川ダム建設後も植生に大きな変化は起きない可能性が高いと考えられる（図-9）。

3. まとめ

試行の結果から、河川環境に対する影響の予測や評価はより検討のレベルが進化し、平面的な予測も実務レベルで十分可能であることが確認された。

今回用いた予測手法では、従来の横断面毎の評価とは異なり、下流河川全体での面的な将来予測が可能であることから、環境への影響予測・評価だけでなく、河道内樹木の繁茂予測など河川の維持管理においても活用できると考える。

一方、AIによる植生変化予測を行うためには、入力条件として対象範囲の面的な地形及び植生データ等が必要となる。現時点ではこれらのデータ取得には相応のコストを要するため、広域への適用にあたっては効率的なデータ取得が課題となる。

また、構築した予測モデルは統計的なモデルであるため、少数派の植生（本検討の場合ではヤナギ林）については正解率が低くなる。本検討で示したようなモデルの特性を把握したうえでの解釈・利用が重要となる。

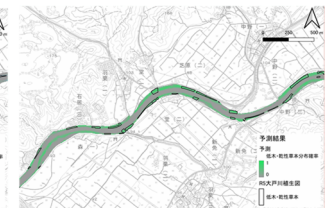
表-4 説明変数（予測時）

No	説明変数	備考
1	地盤高	LP 測量結果より作成 瀬田川合流点より 8k 付近より 下流側 R2 年度測量結果 上流側 R4 年度測量結果を使用。
2	傾斜	地盤高データより算出
3	平水流量時の水際からの距離 (m)	水際からの距離は、最寄りの水面との距離を指す。 水面からの比高は、最寄りの水面の水位と各メッシュの地盤高の差を指す。
4	平水流量時の水面からの比高 (m)	平水流量時の水面は、平水流量 (3m³/s) 時の平面二次元流況計算結果から求めた。
5	平均年最大流量時流速	平均年最大流量 (280 m³/s) 時の流速および水深を平面二次元流況計算により求めた。280 m³/s 時に水没しない場所に
6	平均年最大流量時水深	求めた。280 m³/s 時に水没しない場所に
7	出水時の流速 ～平均年最大流量時の流速	全てゼロとした。 ※ダム完成後の、流量ピークは 280 m³/s にカットされるとして、既往の平均年最大流量 (280 m³/s) 時の差をとった値。
8	出水時の水深 ～平均年最大流量時の水深	全てゼロとした。 ※ダム完成後の、流量ピークは 280 m³/s にカットされるとして、既往の平均年最大流量 (280 m³/s) 時の差をとった値。

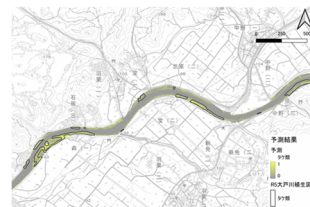
水辺植生



低木・乾性草本



タケ類



その他樹林

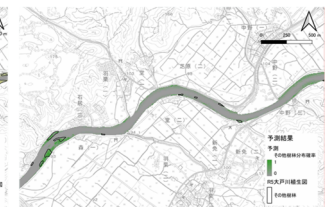


図-9 現況植生と予測結果の比較

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

Predicting environmental changes in rivers using AI

Motoki HIRATA

Until now, the impact of dam construction on downstream rivers has been evaluated by examining changes in the riverbed, water quality, and flooding frequency for each cross section, mainly based on empirical rules. However, in order to make the evaluation more quantitative and efficient, we tried to use AI to predict environmental changes. In this presentation, we report an example of predicting vegetation changes in the river downstream of a dam in an environmental impact assessment of the Daidogawa Dam construction project.

自律飛行型 UAV による 砂防施設点検計画作成

小池 利章¹

¹ 非会員 国土交通省 関東地方整備局 利根川水系砂防事務所（〒377-8566 群馬県渋川市渋川 121-1）

E-mail: koike-t8311@mlit.go.jp

従来の砂防施設点検では、目視確認を基本とした地上点検が実施されているが、近年、安全性や効率性の観点から無人航空機（UAV）の活用が期待されている。さらに、UAV 自律飛行技術を用いることで、点検者の経験に依らない撮影が可能となる。そこで、UAV を活用した砂防施設点検について、自律飛行を基本とした点検計画の立案から点検の実施、とりまとめ・評価までの一連作業を効率的かつ効果的に実施し、点検者の経験値に左右されにくい仕組みづくりを検討した。さらに、今後の UAV を活用した砂防施設点検の高度化に向けて、近年実用化が進められている最新の UAV 関連技術を用いた試行を実施し、有用性を確認した。

Key Words: *unmanned aerial vehicle, autonomous uav system, inspection planning, erosion control facilities, artificial intelligence*

1. はじめに

利根川水系砂防事務所では、流域面積 1,869km² と広大な直轄砂防事業区域を対象として、昭和 11 年の直轄砂防事業着手から現在まで約 300 基の砂防施設を整備している。これら砂防施設の機能・性能に影響する変状を確認するための砂防施設点検として、一定の時期・期間（年 1 回）に行う定期点検、豪雨や地震等の発生後の不定期に行う臨時点検を目視確認を基本とした地上点検により実施している。砂防施設は山間部の急峻・狭隘な箇所設置されている場合が多く、施設までのアクセスが悪いことや施設の高低差等により十分な近接点検ができない場合も多いことから、点検の際には時間を要し危険も伴う。さらに、同一溪流内に複数基の堰堤等が設置された箇所を点検する際には、点検作業量だけでなく、移動にかかる労力も大きくなる。

このため、地上からの調査よりも俯瞰的に概況を把握可能な無人航空機（以下、UAV）の活用が期待されており、「砂防関係施設点検要領（案）令和 4 年 3 月、国土交通省砂防部保全課」にも砂防施設点検への UAV 活用が明記されている。また、UAV 自律飛行を用いることで、経験が少ない操縦者でも熟練者と同様な撮影成果の質を確保できる。

本稿では、自律飛行を基本とした UAV による施設点

検計画を立案することを目的として実施した試行点検及びその成果、さらに、近年の UAV 関連技術の進展状況を鑑み、今後の高度化に向けた検証結果について報告する。

2. UAV 自律飛行点検における課題

UAV 自律飛行を用いた施設点検を計画するうえでの課題として、大きく以下の 2 点が挙げられる。

- ① 臨時点検時は定期点検業務の受託業者だけでなく災害協定業者や事務所職員など様々な対応者が施設点検を実施する可能性があることから、点検業者等が保有する一般的な UAV 機体で対応可能な点検計画とする必要がある。
- ② UAV 自律飛行を用いた撮影（外業）だけでなく、点検結果のとりまとめ・評価（内業）も含めた一連の点検作業を円滑に実施する必要がある。

3. 使用する UAV 機体の選定

使用する UAV 機体は、施設点検を遂行するために自律飛行機能等の必要性能を有していることに加えて、点

検業務を受託している業者や災害協定業者が事前に立案した飛行計画に基づく点検を緊急時においても実行可能であることが重要となる。

そこで、市場流通量および飛行実績の多い汎用機体のうち、DJI社のMatrice 300 RTK（中型機）とMavic 3 Enterprise（小型機）を使用機体として選定した（表-1）。

表-1 試行点検に使用した UAV 機体

機体	Matrice 300 RTK	Mavic 3 Enterprise
写真		
サイズ(mm)	810×670×430	347.5×283×107.7
重量	6.3 kg	0.895 kg
最大ズーム	約 20 倍	約 7 倍
特徴	- 高性能カメラ - GNSS2 機搭載 - RTK 測位対応	- 機動性が高い - 持ち運びが容易 - RTK 測位対応

4. UAV 自律飛行を用いた臨時点検手法の検討

(1) UAV 点検対象施設の選定

UAV を活用した点検は、上空からの確認が基本となり、施設周辺の植生繁茂状況や航空法等による制約により飛行・点検できない箇所があるため、事前の点検可否の確認が必要である。

そこで、UAV 点検の適用判断を行うために、既往砂防施設点検の情報等に基づき、施設周辺の視認性や電波障害となり得る障害物の有無、法規制状況等の制約条件を踏まえ、管内の点検対象 295 施設から、UAV を活用した施設点検が適用可能な施設として 270 施設を抽出した。さらに、臨時点検時に UAV を活用することで徒歩移動の省力化に伴う効率性向上や危険箇所の移動回避に伴う安全性向上などが期待される施設 188 施設を UAV 点検の適用性が高い施設として選定した。

(2) 飛行方法の設定

臨時点検を行うための UAV 飛行方法は、施設周辺状況を把握するための「俯瞰撮影」と既往変状箇所の進行状況を把握するための「近接撮影」の 2 種類とした。俯瞰撮影では施設を含めた広範囲を漏れなく効率的に撮影できるように、飛行ルートや飛行高度、定点位置からの撮影アングルを設定した（図-1）。近接撮影では、施設周辺の植生状況等を踏まえた近接飛行や搭載カメラのズーム機能を活用して、可能な限り変状を詳細に撮影するための飛行ルート及び撮影地点を設定した。

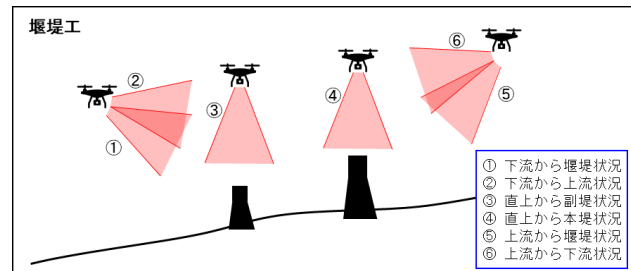


図-1 俯瞰撮影の設定アングル（堰堤工の例）

(3) 試行点検の実施

試行点検は、選定した適用性の高い施設のうち、1 フライトで複数施設の点検が可能な箇所から代表的な 10 箇所を実施した。なお、試行箇所は自律飛行による飛行精度を確認するため、使用可能な測位方法（RTK 測位・GNSS 単独測位）の違いも踏まえ選定した。さらに、GNSS 衛星の配置や捕捉数等の違いによる影響も確認するため、同一飛行ルートを異なる 2 時期（9 月・11 月）で試行し比較した。

試行点検の結果、使用した 2 機体ともに俯瞰撮影による臨時点検で確認すべき施設周辺を含めた広範囲の状況把握が可能であることが確認できた。近接撮影では、一般的に RTK 測位よりも測位精度が劣る GNSS 単独測位で飛行した箇所でも撮影精度にばらつきが見られたものの、概ね画角内に同一変状を捉えることができた（表-2）。

表-2 2 時期の自律飛行撮影結果の比較（亀裂の場合）

測位方法	従来点検（R4 撮影）	ミッションデータ	自律飛行(1 回目：9 月)	自律飛行(2 回目：11 月)
RTK 測位				
GNSS 単独測位				

しかしながら、RTK 測位より位置精度の劣る GNSS 単独測位での撮影は、撮影時の衛星捕捉状況により機体位置に生じるズレが大きく、特に高倍率ズームを使用すると撮影アングルを完全に再現することが難しい結果となった。そのため、最終の撮影計画は、測位方法に依存せず確実な撮影が行えるよう画角のズレにも対応可能なズーム倍率が異なる複数パターンでの撮影とした（図-2）。

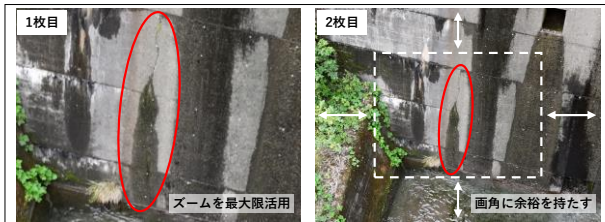


図-2 変状撮影時のズーム倍率設定例

(4) 試行点検による効率性と汎用性の検証

UAV 自律飛行による施設点検の効率性を確認するため、従来点検と UAV 点検での移動時間を含めた所要時間を比較した。その結果、1 フライトで点検する施設数が多いほど、移動・準備時間の削減により従来点検に比べ大きな効率化が図れることが確認できた（図-3）。

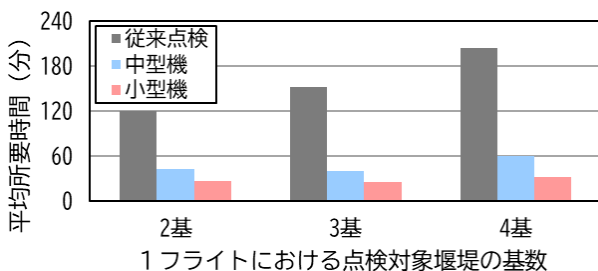


図-3 従来点検と UAV 点検における所要時間の比較

また、試行点検で作成したミッションデータを同機種の別機材に引き継ぎ自律飛行を行った結果、計画通りの撮影を行うことができ、計画時と異なる業者が臨時点検を行う場合でもデータの汎用性や互換性を確認できた。

5. 点検結果のとりまとめ効率化手法の検討

UAV 点検は、従来点検に比べ撮影枚数が多くなる傾向がある。また、従来点検のように点検者自らが現地に変状確認しないため、UAV で撮影した写真画像をもとに変状有無の確認を点検後に実施する必要がある。

そこで、変状確認の迅速化・効率化のために、AI 技術を用いた変状の自動抽出を試行した。対象とする変状は、管内における砂防施設点検で取り扱う変状のうち、画像解析による自動抽出に適していると考えられる「欠

損」と「亀裂」の2種類とした。構築した AI モデルは、物体検出手法の中でも様々な分野で広く活用されている「YOLO」モデルを用い、既往施設点検で撮影された損傷画像のうち判別可能な画像に選別し、データ拡張処理を行ったうえで教師データとして学習させた。

構築した AI モデルを用いて検証を行った結果、全体で 70% 程度の高い確率で変状を検出できた（表-4）。特に「玉石欠損」と「亀裂」は変状の見逃しも抑えられていることから、本 AI モデルは目視による変状確認の負担軽減を目的とした一次抽出作業としての活用が期待できると考えられる。

表-4 変状ごとの AI による自動抽出精度結果

検出対象	正解率	見逃し率	空振り率
欠損	36%	64%	9%
玉石欠損	100%	0%	0%
亀裂	89%	11%	0%
全体	69%	35%	7%

6. 最新技術を活用した点検高度化に向けた検討

(1) 噴火警戒レベル上昇時の点検手法検討

管内には、常時観測火山である浅間山、草津白根山及び日光白根山が位置しており、火山活動の活発化に伴う噴火警戒レベル上昇に応じて立入規制区域が設定されることになる。立入規制区域が設定された場合、区域内に設置された砂防施設へ地上からのアクセスが困難となる。

そこで、浅間山と草津白根山を対象として、近年実用化が進んでいる LTE 通信を用いた長距離飛行が可能な機体を用いて、立入規制区域外からの緊急点検を想定した概況把握のための実証試験を実施した。使用機体は片道 8km 程度の飛行となる浅間山では、高速で長距離飛行が可能な VTOL 型固定翼のエアロボウイング、狭隘な谷沿いに設置された施設上空を飛行する草津白根山では、機動性に優れる回転翼の ANAFIAi を選定した（表-5）。

表-5 実証試験に使用した UAV 機体

機体	エアロボウイング (エアロセンス社)	ANAFIAi (Parrot 社)
実施箇所	浅間山	草津白根山
写真		
形式	VTOL 型固定翼・中型機	回転翼・小型機
サイズ(mm)	2,130×1,200×450	320×440×118
重量	92kg	0.898kg
特徴	- 高速飛行により長距離飛行が可能 - カメラの付替可能	- 小型かつホバリング可能で機動性が高い - 持ち運びが容易

浅間山での実証試験では約 16.5km の総飛行距離を約 15 分間の飛行により、動画及び静止画（約 600 枚）を撮影した。撮影動画より、山麓から下流域を含めた広域の土砂移動状況や砂防施設周辺の概況が把握でき、緊急時の概況把握のための活用が可能であることが確認できた。さらに、撮影した垂直写真をもとに地図データ等への重ね合わせが可能なオルソ画像を作成することで、緊急時においても関係機関への詳細位置及び被災状況等の迅速な伝達が可能であることを確認した（図-4）。

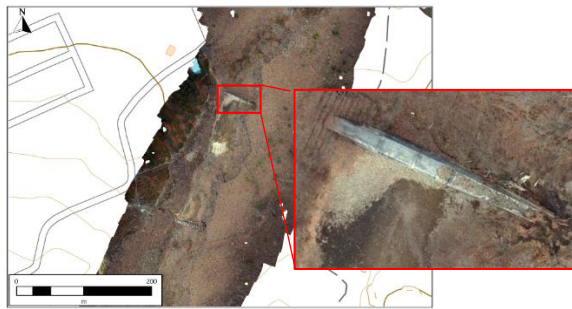


図-4 垂直撮影写真より作成したオルソ画像

また、草津白根山の実証試験では、約 6km の総飛行距離を約 20 分間の飛行により、動画及び静止画（約 400 枚）を撮影した。浅間山での実証試験と同様に撮影データより施設及び周辺状況の把握が可能であり、さらに回転翼機のホバリング機能により確認したい箇所の詳細把握も可能であることが確認できた。あわせて、施設周辺で撮影した静止画をもとに SfM 処理により三次元モデルを作成した。作成した三次元モデルと実寸の比較を行った結果、天端幅での誤差が 2 cm と高い精度であったことから、今後、災害前後の三次元モデルによる差分解析を行うことで地形変化量を迅速かつ定量的に把握可能であることが確認できた（図-5）。



図-5 撮影写真より作成した三次元モデル

(2) LTE 通信圏外における情報共有手法検討

緊急時には現場状況を迅速に関係者へ共有することが望まれるが、管内には携帯電話が使用できない LTE 通信圏外が多く存在し、発災後には設備故障等により通信障害が生じる場面も想定される。そこで、LTE 通信圏外エリアとの通信手段確保に向けて衛星通信サービス「Starlink」を活用した遠隔臨場試験を実施した。その結果、遠隔地においても遅延なくリアルタイムで点検状況を共有することができた。LTE 通信圏外におけるネットワークの確保は、今後、施工管理や安全管理、測位精度の確保など様々な用途においても活用が期待できる。

7. おわりに

本稿では、UAV 自律飛行を活用した砂防施設点検計画の立案に向けて実施した試行点検及びその成果と、今後の高度化に向けた検証結果についてとりまとめた。今後も本検討結果をもとに、UAV 自律飛行を活用した砂防施設点検計画の更新を行っていく。

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

INSPECTION PLANNING OF EROSION CONTROL FACILITIES UTILIZING AUTONOMOUS UAV SYSTEMS

Toshiaki KOIKE

Conventional inspections of erosion control facilities have primarily relied on visual assessments conducted by inspectors. In recent years, unmanned aerial vehicles (UAVs) have garnered increasing attention as a means of enhancing both safety and operational efficiency. Notably, UAVs equipped with autonomous flight capabilities enable standardized inspections that are less dependent on the experience and judgment of individual inspectors. This study proposes an inspection planning framework for erosion control facilities that leverages autonomous UAV systems to streamline the entire process—from initial planning through to data integration and reporting. In addition, the applicability of the latest related technologies was evaluated to verify their potential for advancing future inspection methodologies.

360 度画像を活用したインフラ点検情報管理システム：雨水排水管路事例研究

陳 瑜¹, 山根 達郎², 久保 栞³, 全 邦釘^{4*}

¹ 正会員 東京大学 大学院工学系研究科総合研究機構 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

E-mail: chen@i-con.t.u-tokyo.ac.jp

² 正会員 徳山工業高等専門学校 土木建築工学科 (〒745-8585 山口県周南市学園台)

E-mail: yamane@tokuyama.ac.jp

³ 正会員 香川大学 四国危機管理教育・研究・地域連携推進機構 (〒760-8521 香川県高松市幸町 1-1)

mail: kubo.shiori.a6@kagawa-u.ac.jp

⁴ 正会員 東京大学 大学院工学系研究科総合研究機構 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

E-mail: chun@g.ecc.u-tokyo.ac.jp (Corresponding Author)

地下雨水排水インフラの老朽化は都市資産管理において重大な課題となっており、損傷は多くの場合、致命的な事象が発生するまで発見されない。本論文では、360 度パノラマ画像と自動損傷検出を活用して雨水排水管路の状態評価の効率性と包括性を向上させる新しい点検情報管理システムを提案する。提案システムは、市販の 360 度カメラをロボットプラットフォームに搭載し、排水管内部の等距円筒パノラマ画像を取得し、専門的なフレームワークで処理する。このフレームワークでは、球面歪みの問題に対処するために等距円筒画像をキューブマップ表現に変換し、自動腐食検出のためにセマンティックセグメンテーションを適用し、処理されたキューブマップを損傷オーバーレイ情報を含むパノラマ可視化に再構築する。システムは Structure from Motion (SfM) 技術を統合して複数のカメラ位置間の空間的関係を確立し、視聴コンテキストを維持しながら雨水排水管路ネットワークを直感的に操作できるようにする。実装結果は、選択的な面処理によって偽陽性を最小限に抑えながら、腐食損傷の検出と可視化におけるシステムの有効性を示している。

Key Words: Maintenance, Infrastructure, Structure from Motion, Damage detection, Storm drain

1. はじめに

インフラストラクチャの老朽化は、特に経済成長期に急速に多くの土木インフラが建設された日本のような先進国において重大な問題となっている¹⁾。橋梁や高速道路などの可視構造物に注目が集まる一方、地下インフラ、特に雨水排水システムは、壊滅的な故障が発生するまで公共の目に触れることなく、同様に深刻な劣化問題に直面している。

2025 年 1 月に日本の都市部で発生した主要道路の陥没事故は、老朽化した雨水排水管路の未検出の損傷に直接起因するものであった。この事象は、地下排水インフラの効率的な点検・維持管理システムの緊急の必要性を浮き彫りにした。広大な雨水排水管路ネットワークが都市部の下に広がっているため、各管路区間の手動検査は時間とコストの両面で困難である²⁾。

近年、デジタルツイン技術がインフラ管理のための有望なアプローチとして台頭してきた。デジタルツインは、モニタリング、分析、シミュレーションなど様々な目的に使用できる物理的資産の仮想表現

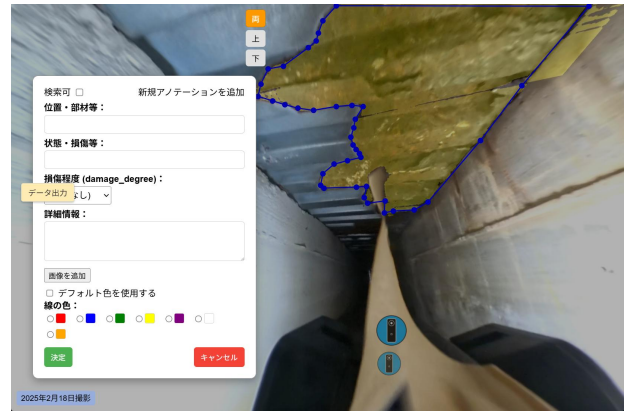
である。地下インフラのようなアクセスが制限された環境では、包括的な視覚データを取得することが困難なため、正確なデジタルツインの作成と維持には独自の課題がある。

従来の雨水排水管路点検は、限られた視野の画像を提供する CCTV カメラに依存しており、効率的な方法で管状態の完全な視覚情報を得ることが困難であった。また、これらの画像を表示するための従来のビューは基本的な表示機能に限定され、損傷位置、損傷タイプ、時間的な変化などの点検データを体系的に記録・管理する機能を欠いていた。

本研究では、山根ら³⁾が開発した点検情報管理システムを基に、本研究ではこのシステムを拡張し、自動腐食検出機能を新たに統合した。このシステムは 360 度カメラで取得した雨水排水管路内部のパノラマ画像を Structure from Motion (SfM) 技術により空間的に関連付け、様々な視点からのシームレスな閲覧を可能にする。本研究の主な貢献は、セマンティックセグメンテーションを用いた腐食の自動検出機能を導入し、その結果を元のパノラマ画像に投影す



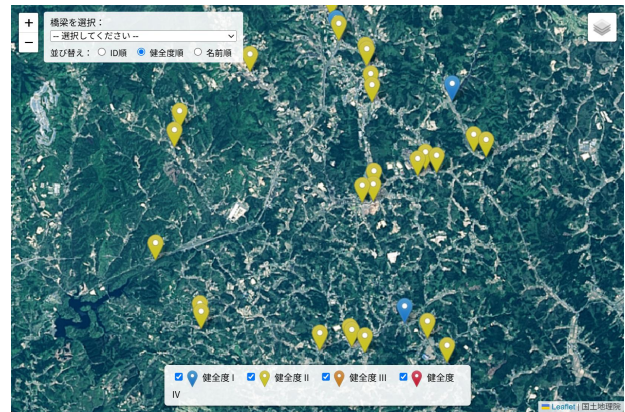
(a) 基本機能としての360度画像ビューア



(b) 損傷の可視化（手動アノテーション結果およびAI自動セグメンテーション結果）



(c) 損傷位置/タイプ検索



(d) マップ上の検索機能

図-1 点検情報管理システムの主な特徴

ることで直感的な損傷可視化を実現した点にある。

2. 点検情報管理システム

(1) 主要機能

点検情報管理システムの主な特徴を図1に示す。本システムは、元のコンセプトをより広範なインフラ点検の文脈に応用し、自動腐食検出機能と総合的な可視化機能を新たに追加している。図1(a)に示すように、従来のパノラマ画像ビューアと同様に、このシステムは雨水排水管内に配置された市販デバイスによって撮影された360度カメラ画像を表示できる。ユーザーは画像をドラッグして画面上の任意の方向で撮影内容を閲覧できる。また、システムインターフェースの左上隅には、現在表示されている画像の撮影位置と視線方向が全体マップ内に同時表示される。

さらに、システムは現在表示されている画像上に他のカメラ撮影座標を表すアイコンを表示する。ユーザーはこれらのアイコンをクリックして、それらのカメラ位置から撮影された画像に移動できる。カメラ位置間の三次元空間関係の直観的理解を促進するため、これらのアイコンは現在表示されている画像の撮影位置からの距離に応じて自動的に不透明度とサイズが調整される。

システムは、損傷を検出し可視化する機能も備えている。図1(c)に示すように、損傷情報はリスト化

され、ユーザーはこのリストから損傷を選択して、それらの損傷を撮影した画像に直接移動できる。

(2) 360度画像処理フレームワーク

提案されたフレームワークは、パノラマパノラマ画像を使用して雨水排水インフラの腐食を検出するための新しいアプローチを採用している。図2に示すように、この方法は主に4つの段階から構成されている。初期段階では、入力された等距円筒パノラマ画像がキューブマップ表現に変換され、球面画像に固有の歪み問題に効果的に対処する。この変換により、360度ビューを異なる方向の視点を表す6つの個別の面に分解することで、より正確な処理が可能となる。

第二段階では、特に重要なインフラ要素（前、後、上）を含む可能性が最も高いキューブマップ面に対してセマンティックセグメンテーションが適用され、検出精度を維持しながら計算効率を最適化する。セグメンテーションモデルは潜在的な腐食領域を特定し、対応するバイナリマスクを自動生成する。

第三段階では、検出された損傷領域を含む処理されたキューブマップ面を再構成されたパノラマビューに再結合する。この変換は、コンテキスト認識型検査評価に必要な包括的な360度視点を復元しながら、検出結果のすべての空間的整合性を保持する。

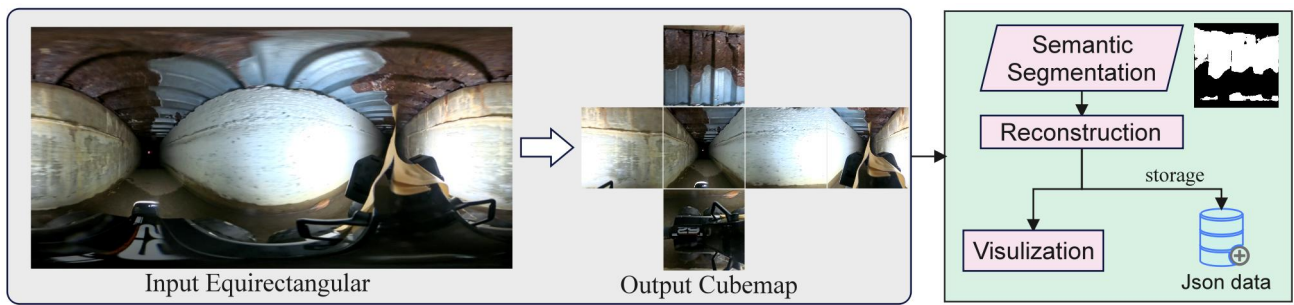


図-2 画像処理のフレームワーク

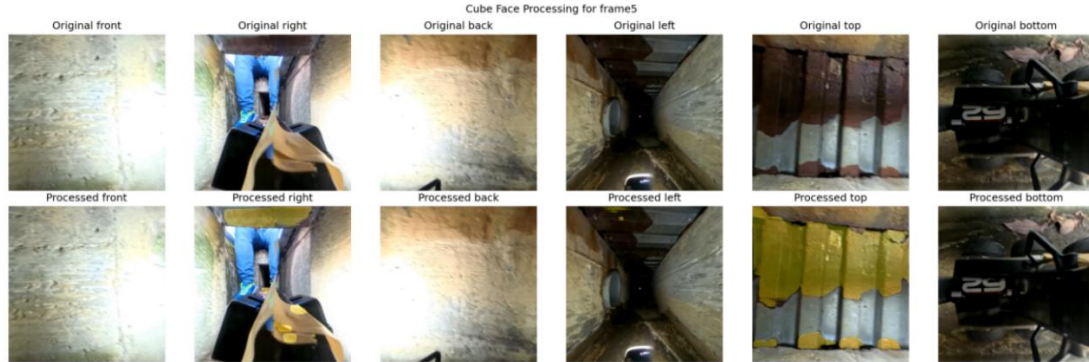


図-3 損傷検出結果

最後に、システムは処理されたパノラマ画像とリンクされた JSON メタデータを 360 度可視化インターフェースに統合する。このメタデータには、正確な位置座標、バウンディングボックスの寸法、分類属性など、検出された損傷に関する構造化情報が含まれている。

3. 雨水排水管における実装

(1) 腐食検出モデル

雨水排水インフラにおける腐食検出のために、Low-Rank Adaptation (LoRA) ⁴⁾ ファインチューニングを活用し、腐食特化した Segment Anything Model (SAM) ⁵⁾ アーキテクチャを実装した。一般的なセグメンテーションタスク用の基盤モデルとして開発された基本 SAM モデルは、そのビジョントランスフォーマーバックボーンを通じて複雑な視覚パターンを識別するための堅牢な機能を提供する。

このモデルを雨水排水管の腐食検出という特定の要件に適合させるため、モデルのパフォーマンスを維持しながらトレーニング可能なパラメータの数を大幅に削減するパラメータ効率の高いファインチューニング技術である LoRA を採用した。LoRA の実装により、SAM モデルのアテンションレイヤーにランク 512 の適応行列が導入され、モデルの一般的なセグメンテーション機能を保持しながら、腐食特性に関連する特徴表現の標的修正が可能となった。

(2) 損傷検出結果

検出結果は、雨水排水インフラにおける腐食識別に対する提案アプローチの有効性を実証している。図 3 に示すように、セグメンテーションモデルは高い精度で腐食領域を特定することに成功している。特に、広範な劣化が見られる上面と、構造的接合部

に局所的な損傷が現れる前後で効果的に検出を行っている。黄色のオーバーレイは、損傷した表面と無傷の表面の間に明確な境界を維持しながら、材料劣化の領域を正確に強調表示している。

キューブフェイスの選択的処理手法は、最も関連性の高い構造コンポーネント（左面、右面、上面）に計算リソースを集中させることで、検出性能を大幅に向上させる。このアプローチは処理効率を向上させるだけでなく、堆積物、滞留水、または検査機器の存在に起因する下面および前面で一般的に発生する偽陽性検出を大幅に削減する。

(3) 360 度損傷可視化

このフレームワークは、検出された腐食領域を図 4 に示すようなインタラクティブな 360 度可視化システムに統合している。この可視化インターフェースは、処理されたパノラマデータを没入型検査環境に変換し、インフラエンジニアが複数の角度から検出された損傷を徹底的に検査できる様々な視点（a-c）を提示する。システムは、視点間のスムーズな移行を通じて空間的コンテキストを保持しながら、すべてのビューポイントにわたって腐食領域（黄色で表示）の一貫したハイライトを維持する。

4. 結論

本研究は、山根らが開発した点検情報管理システムを基盤とし、老朽化した雨水排水インフラの状態評価のために自動腐食検出機能を新たに組み込んだ拡張システムを提案する。360 度パノラマ画像の基本機能に加え、セマンティックセグメンテーションによる自動損傷検出とインタラクティブな可視化技術を統合することで、地下インフラ維持管理のための機能強化されたソリューションを実現した。

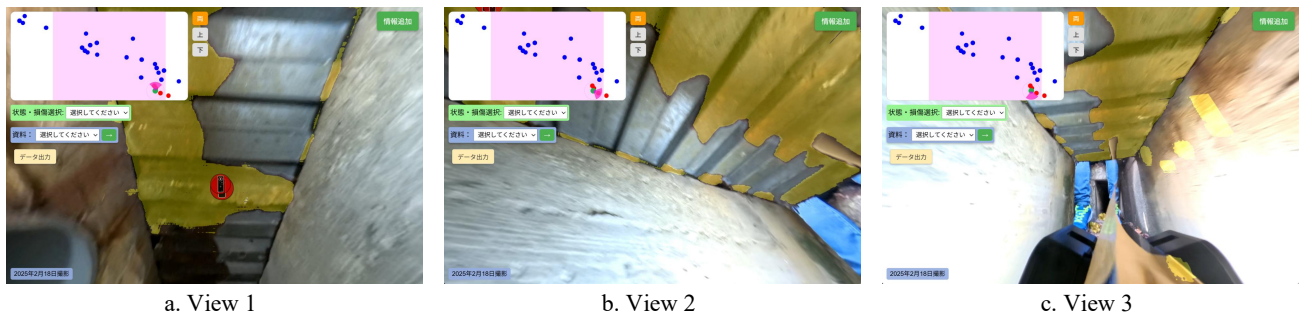


図-4 システム内の損傷を伴う 360 度の可視化

複数のカメラ位置間の空間的関係を確認するための Structure from Motion (SfM) の実装は、従来の線形 CCTV 検査アプローチからの大きな進歩を表している。この方法により、空間的コンテキストを維持しながら複雑な雨水排水管ネットワークを通じてシームレスなナビゲーションが可能となり、作業員が地下インフラの三次元環境を理解する能力が大幅に向上する。

山根らによる基礎システムの設計思想を継承しながら、本研究では特に自動腐食検出機能の実装に焦点を当て、360度画像技術とコンピュータビジョン技術を高度に融合させることで、地下インフラ検査の効率性と精度を向上させた。基盤システムが提供する包括的な視覚文書化と効率的なナビゲーション機能に、新たな自動損傷検出機能と体系的な情報管理を統合することにより、より効果的な維持管理計画の策定を支援し、重要な都市インフラ資産の長期的な持続可能性を強化する。

謝辞： 内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第3期「スマートインフラマネジメントシステムの構築」JPJ012187

（研究推進法人:土木研究所）で実施されている研究も含まれます。これらに謝意を表します。

REFERENCES

- 1) Chen, Y., Yamaguchi, T., Yamauchi, M., Ueno, K., Hayashi, G.: Study on the mechanism of load transferring of riveted joints with high strength bolts as frictional joints. Journal of Steel Construction engineering (in Japanese). 29, 1–14 (2022).
- 2) Heimbürger, J.: Japan and Natural Disasters: Prevention and Risk Management. Wiley (2018).
- 3) 山根達郎, 陳瑜, 久保菜, 浅野和香奈, 片山直道, 岩城一郎, 全邦釘. 360度カメラ画像を活用したインフラ構造物の点検情報管理システムの構築, AI・データサイエンス論文集, 2025.
- 4) Hu, E.J., Shen, Y., Wallis, P., Allen-Zhu, Z., Li, Y., Wang, S., Wang, L., Chen, W.: LoRA: Low-Rank Adaptation of Large Language Models, <http://arxiv.org/abs/2106.09685>, (2021).
- 5) Kirillov, A., Mintun, E., Ravi, N., Mao, H., Rolland, C., Gustafson, L., Xiao, T., Whitehead, S., Berg, A.C., Lo, W.-Y., Dollár, P., Girshick, R.: Segment Anything, <http://arxiv.org/abs/2304.02643>, (2023).

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

360-Degree Panoramic Infrastructure Inspection System in Storm Drains

Yu Chen, Tatsuro Yamane, Shiori Kubo, Pang-jo Chun

The deterioration of underground storm drain infrastructure poses a critical challenge for urban asset management, as damage often remains undetected until catastrophic failure occurs. This paper introduces a novel inspection information management system integrating 360-degree panoramic imaging with automated damage detection to enhance storm drain condition assessment. Our system utilizes commercially available 360-degree cameras mounted on robotic platforms to capture equirectangular images of drain interiors. These images undergo processing through a specialized framework that converts them to cubemap representations to address spherical distortion, applies semantic segmentation for corrosion detection, and reconstructs processed data into comprehensive visualizations with damage overlay information. By incorporating Structure from Motion (SfM) techniques, the system establishes spatial relationships between multiple camera positions, enabling intuitive navigation while maintaining contextual awareness. For damage detection, we implement a modified Segment Anything Model with Low-Rank Adaptation fine-tuning, specifically optimized for corrosion identification in storm drain environments. Field implementation demonstrates the system's effectiveness in detecting and visualizing damage while minimizing false positives through selective face processing. The system operates in both cloud-based and local environments, providing deployment flexibility without sacrificing functionality. This integrated approach contributes to digital twin development for infrastructure management and supports more efficient maintenance planning.

レーザ光を用いたカメラ位置姿勢推定における断面形状への依存性を考慮した構造光の実装

伊賀上 卓也¹・安 琪²・山下 淳³

¹正会員 東京大学大学院 工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

E-mail: igaue@robot.t.u-tokyo.ac.jp (Corresponding Author)

²非会員 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 (〒277-8563 千葉県柏市柏の葉 5-1-5)

³正会員 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 (〒277-8563 千葉県柏市柏の葉 5-1-5)

本研究では、全周レーザを用いたカメラの位置姿勢推定のための、位置姿勢推定精度のシミュレーション、及びそれを踏まえた構造光照射・撮影システムの構築を行う。トンネルをはじめとしたインフラ構造物の変形等を点検するためには、移動ロボットを用いた3次元計測を行うことが有用である。光切断法に基づく3次元計測装置は1台のカメラのみで3次元計測を行うことから、限られたセンサを搭載した移動ロボットに対し適用可能である。ところが、先行研究の全周レーザを用いたカメラの位置姿勢推定手法では、円筒形に近い構造物ではカメラ位置姿勢推定においてロール角の不定性が生じることが問題として挙げられていた。そこで、本研究ではロール角不定性が計測精度に及ぼす影響を解析し、それを踏まえ、UAVと4脚ロボットへ搭載可能な構造光を構築する。

Key Words: three-dimensional measurement, line-structured light method, mobile robot

1. 序論

社会インフラの一部として施工された土木構造物の定期的な点検を行うことが必要とされている。特に、トンネルにおいては施工中の人為的ミスによる施工不良¹⁾や使用中に生じる変形²⁾の恐れがあるが、これらの検知においては3次元形状の変化を観察することが一つの手段となる。その一方、少子高齢化が顕在化している日本では多くの構造物に限られた労働力で点検する必要性があり、移動ロボットの適用が望まれている。

移動ロボットには様々なものがあるが、UAV (unmanned aerial vehicle) や4脚ロボットは土砂や泥濘した箇所の多い土木構造物における利用に適している³⁾。また、UAVは高所の点検を行うことができる⁴⁾という点、4脚ロボットは可搬重量の高さや駆動時間の長さにおいてそれぞれに特有の有用性があり、両者を組み合わせた点検も試みられている⁵⁾。

現在の土木現場で多く用いられる3次元計測センサは、光の伝搬速度により距離計測を行うLiDARやレーザスキャナである。これらのセンサは多数の現場での3次元計測精度が保証されている一方、カメラを搭載した一般的な移動ロボットに対しては追加の可搬容量を要求する。したがって、より施工や通行を妨げない小型の移動ロボ

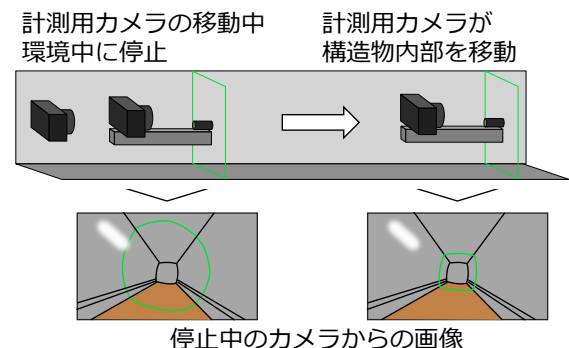


図1 レーザ照射光を利用したカメラ位置姿勢推定

ットを構築するために、一般的に標準搭載されているカメラのみから環境の色情報と3次元形状を取得できれば有用である。カメラのみを用いた3次元計測手法には、ステレオビジョン⁶⁾、多視点ステレオ⁷⁾、プロジェクタによる構造光を利用する手法⁸⁾、光切断法⁹⁾など様々な方式があるが、特に、光切断法(図1)ではプロジェクタのように大型の光源を用いることなく環境に対しパターン光を照射できるため、小型のUAVに対しても可搬である¹⁰⁾。そこで、本研究では光切断法を用いた3次元計測装置の構築を目指す。

大きな土木構造物を計測するためには1箇所に計測装置を据え付けるのではなく、ロボットを移動させながら

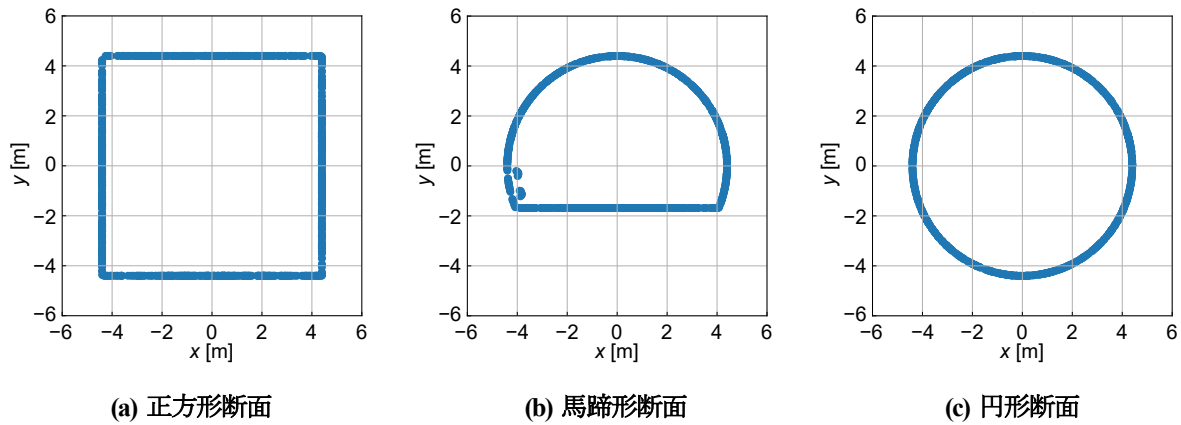


図2 作成した断面点群

3次元点群を複数地点で取得する。したがって、構造物全体の立体的な評価を行うためには、点群同士の座標系を統合する必要がある。環境に対するカメラの位置姿勢を推定するものが主流であるが、カメラにおいて撮像される輝度パターンであるテクスチャが乏しい単調な色をした構造物の計測においてはカメラが位置姿勢推定に失敗し、それに伴い構造物全体の3次元計測誤差が大きくなる。

先行研究では、位置姿勢推定を環境中のテクスチャや特徴的な形状を利用せず行うために、環境中に基準点となる可動式のカメラを設置した¹¹⁾。そして、図1のように2台のカメラを移動ロボットに搭載し交互に移動させることで、構造物全体の3次元計測を行った。この研究では複数の研究で利用されてきた全周レーザを用いた光切断法⁹⁾を用いた3次元計測が実装されたが、位置姿勢推定にレーザ光を活用すると、構造物によってはカメラ進行方向に対してロール方向の回転角度の推定に不定性を生じることが計測誤差の一因となっている。先行研究¹¹⁾ではトンネルや屋内廊下において実機による精度評価が行われたが、網羅的な真値との比較解析を行うことができず、ロール回転に関する評価を行うことができなかった。

以上から、本研究の目的を、レーザ光を用いた位置姿勢推定の誤差の定量的評価、及び、カメラ位置姿勢推定におけるロール角不定性のための構造光の実装とする。

2. 断面形状に応じた位置姿勢推定精度の検証

(1) シミュレーションの方法

シミュレーションでは実機で行うことができない網羅的な精度検証を行うことができると同時に、カメラの位置姿勢の真値を取得することが可能である。本項ではシミュレーションにおいて3パターンの断面を作成し、断面形状が3次元計測精度に及ぼす影響を真値と比較する。作成した断面点群を図2に示す。各断面形状に対し、 $[0, 2\pi]$ ラジアンからのランダムに1000角度を生成し、1断面あたり1000点の3次元点を作成した。馬蹄形断面

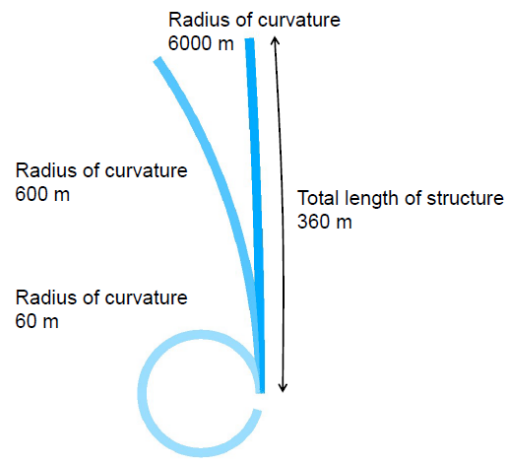


図3 作成した点群全体の曲率条件

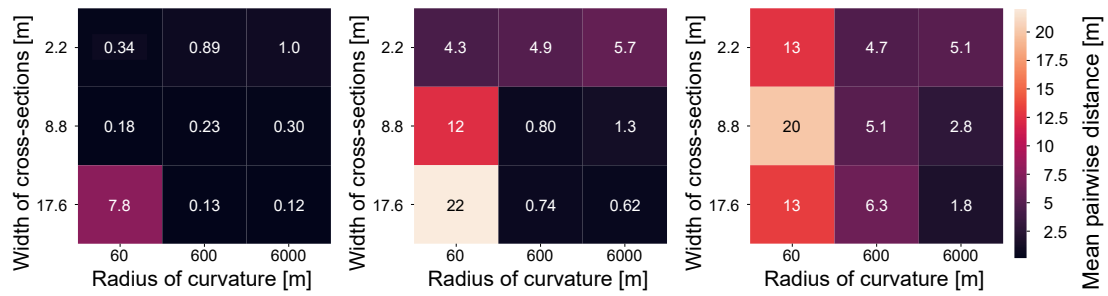
については実トンネルに近い状況の点群を生成することを目的とし、側面に配管を模擬した円を2箇所配置した。

生成された点群を上から見た様子を図3に示す。本研究では、360mにわたる点群の作成を、図2の各断面点群をトンネルの長手方向に繋げることで行った。また、検証のために、曲率半径を60, 600, 6000mと変化させ、断面の幅を2.2, 4.4, 17.6mと変化させた。断面形状、曲率半径、断面の幅のすべての組み合わせに対し検証した。

断面ごとに作成した点群を交互に移動する2台のカメラ座標系へと投影し、各カメラにおいて撮像される点群を取得した。カメラ同士の位置姿勢推定手法として、レーザ光点群のレジストレーション手法¹¹⁾を用いた。

(2) 結果

各3次元点における真値との3次元座標誤差を断面の幅と曲率半径を変更して算出した値を図4に示す。真値と計測結果の座標系は最小二乗法で一致させた。表示されている値は、点群作成における乱数シード値を5回変更して算出した平均値である。全体としての傾向では、計測断面の幅が小さくなればなるほど、誤差が大きくなった。これは、断面が小さくなるにつれ、姿勢が変化した時のカメラ平面上での点群の座標変化量が小さくなる事が反映された。また、点群の進行方向に対する曲率

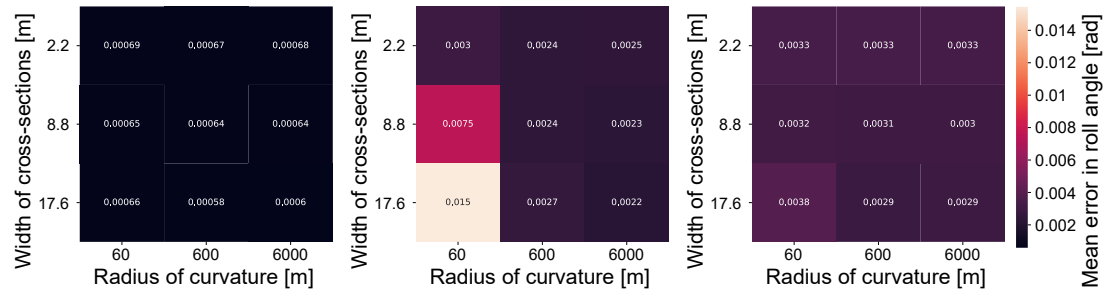


(a) 正方形断面

(b) 馬蹄形断面

(c) 円形断面

図4 真値点群とカメラ位置姿勢推定を行った3次元点群のユークリッド距離



(a) 正方形断面

(b) 馬蹄形断面

(c) 円形断面

図5 推定されたカメラ位置姿勢におけるz軸まわりの回転角度

半径が小さくなればなるほど誤差が大きくなった。直前の断面との位置姿勢推定の差異が大きい場合、最適化に基づく位置姿勢推定手法¹¹⁾では、初期値が遠いことで局所解に陥った可能性がある。

各カメラ位置姿勢におけるロール角誤差を断面の幅と曲率半径を変更して算出した値を図5に示す。表示されている値は、点群作成における乱数シード値を5回変更して算出した平均値である。ロール角誤差は全体としては円形断面の誤差が最も大きく、馬蹄形断面、正方形断面と続いた。

(3) 考察

今回生成した構造物の形状には長手方向に3次元的な並進の不定性があり、さらに、色の情報を含まなかった。この条件にもかかわらず、従来手法¹¹⁾のカメラ位置姿勢推定手法では、2台のカメラで撮像されるレーザ光の断面形状を利用することで、カメラの位置姿勢推定を可能とした。その一方、計測対象の断面形状が変化するとカメラ位置姿勢精度、及びそれによって生じる3次元計測精度は変化し、正方形の断面で最も精度が高くなった。これは、断面の頂点部分がロール角を補償する役割を果たしたことが理由として考えられる。位置姿勢推定の精度は断面の不定性の有無に応じて離散的に切り替わるものではなく、不定な要素の量によって連続的に変化するものであった。したがって、全周レーザを用いた光切断法におけるレーザ照射光に基づくカメラ位置姿勢推定においては、馬蹄形断面への適用においても、より特徴的な構造光を照射することが望ましい。

現実では長い距離のトンネル全域に対して実験データを取得することは困難であるが、本研究ではシミュレーションにより、この限界を克服した検証を行うことができた。今後の装置開発に対する精度検証においても同様の検証方法が有用であると考えられる。

3. ロール角の不定性を解消する装置の構築

全周レーザを単体で用いたレーザ光を利用した位置姿勢推定では、ロール角の不定性を生じたことで、直前の断面に位置姿勢の初期化を行った時の位置姿勢推定精度が低下した。既設の構造物の計測では計測対象の断面形状に頂点部分を作成することはできないため、追加のレーザ光を照射することが一つの解決方法である。

既存のシステムの枠組みで不定性の解消を行うために、ラインレーザを追加して構造光を構築することを検討した。構造光として、追加したレーザ光が障害物によってカメラに対する死角に照射されることを想定すると同時に、追加のレーザ光をカメラ位置姿勢におけるピッチ・ヨー角の推定にも活用するために、ラインレーザ光を1本のみ照射するのではなくカメラ座標系におけるxy軸方向においても設置した。ラインレーザの構築には、3Dプリンタにより作成した治具を用い、底面が直角三角形の三角柱ミラーをレーザ正面に配置した。これにより、1つのラインレーザモジュールから、相反する方向にラインレーザ光が照射されるよう設計した。このライン光を分割する構造を持つラインレーザモジュールを3つ配置した。

UAVと4脚ロボットに対して実装した例を図6に示す。



(a) UAVへ搭載した例



(b) 4脚ロボットへ搭載した例

図6 移動ロボットに搭載可能な構造光の照射・撮影システム

追加されたレーザ光は地面に対して水平垂直に照射されており、ロール角を同定するための情報を撮像される画像に追加することが可能となった。また、UAVと4脚ロボットの両方に対して可搬であることが示された。

5. 結論

カメラは多くのロボットに最低限必要とされるセンサであるため、カメラ単体の3次元計測手法は有用である。一方でカメラの位置姿勢推定をテクスチャの限定された環境で行うことは困難であるため、本研究ではレーザ光を用いた2台のカメラの位置姿勢推定手法を採用した。このシステムに生じるカメラ位置姿勢のロール角不定性をシミュレーションにより検証し、カメラ位置姿勢に生じるロール角不定性が3次元計測の精度を低下させることを明らかにした。そして、ラインレーザとミラーを組み合わせたレーザユニットを作成することで、UAVと4脚ロボットへと搭載可能な構造光の照射システムを実装した。

本研究では構造光の実装までを行ったが、構造光の複雑化に伴い、カメラ位置姿勢推定精度の低下が想定される。そのため、複雑化した構造光で高精度に位置姿勢推定を行う手法の構築が今後の課題として挙げられる。

謝辞：本研究の一部は、JSPS特別研究員奨励費24KJ0704の援助を受けた。

REFERENCES

- 1) K. Elbaz et al.: Geohazards induced by anthropic activities of geoconstruction: A review of recent failure cases, *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 9, No. 18, pp. 1–11, 2016.
- 2) T. Asakura and Y. Kojima: Tunnel maintenance in Japan, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 18, No. 2–3, pp. 161–169, 2003.
- 3) P. Kang et al.: State estimation and traversability map construction method of a quadruped robot on soft uneven terrain, *Journal of Field Robotics*, Vol. 40, No. 5, pp. 1130–1150, 2023.
- 4) Y. Hada et al.: Development of a bridge inspection support system using two-wheeled multicopter and 3D modeling technology, *Journal of Disaster Research*, Vol. 12, No. 3, pp. 593–606, 2017.
- 5) Björn et al.: Multimodality robotic systems: Integrated combined legged-aerial mobility for subterranean search-and-rescue, *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 154, p. 104134, 2022.
- 6) Y. Tang et al.: Seismic performance evaluation of recycled aggregate concrete-filled steel tubular columns with field strain detected via a novel mark-free vision method, *Structures*, Vol. 37, pp. 426–441, 2022.
- 7) R. Hartley and A. Zisserman: Multiple view geometry in computer vision, Cambridge university press, 2003.
- 8) J. Geng: Structured-light 3D surface imaging: A tutorial, *Advances in Optics and Photonics*, 2011.
- 9) H. Higuchi et al.: 3D measurement of large structure by multiple cameras and a ring laser, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 31, No. 2, pp. 251–262, 2019.
- 10) C. Wang et al.: A heterogeneous sensing system-based method for unmanned aerial vehicle indoor positioning, *Sensors*, Vol. 17, No. 8, p. 1842, 2017.
- 11) T. Igaue et al.: Cooperative 3D measurement of tunnel based on a line-structured light method with 2D–3D cross-section shape registration, *Journal of Field Robotics*, Vol. 40, No. 8, pp. 2042–2056, 2023.

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

Structured Light Implementation Using Laser Modules Considering Cross-Section Shapes in Camera Pose Estimation

Takuya IGAUE, Qi AN and Atsushi YAMASHITA

In this study, we construct a structured light system through simulations that validate the accuracy of camera pose estimation with an omnidirectional laser. 3D measurement systems using mobile robots are widely adopted for deformation inspection of infrastructures such as tunnels. Line-structured light method can be applied on relatively small mobile robots because it comprises a single camera for sensors. However, the previous method theoretically has pose estimation ambiguity in roll angles for cylindrical structures. This study analyzes the relationship between cross-section shapes and measurement accuracy and designs a more plausible structured light module mountable on UAVs and quadruped robots.

国道 249 号大川浜工区における 無人化施工

谷 征一¹・蔵多 正人²・木村 翔起³

^{1,2,3} 正会員 株式会社大林組（〒573-1153 大阪府枚方市招提大谷一丁目 1 番 1 号）

E-mail: tani.seiichi@obayashi.co.jp¹ kurata.masato@obayashi.co.jp² kimura.shoki@obayashi.co.jp³

本稿では、能登半島災害復旧工事における無人化施工の実績を報告する。最大深度 7 を計測したこの自然災害は、地割れや土砂崩れ、建物の倒壊、津波など甚大な被害を及ぼし、地域の風景や暮らしを一変させた。また、立て続けに発生した豪雨災害により、2 次災害のリスクが高まることから、弊社の開発技術である汎用遠隔操縦装置サロゲート®の採用を決めた。

Key Words: 無人化施工, 建機遠隔化, 災害復旧, 安全確保, 働き方改革, 多様な人材の活躍

1. 現場状況

最大深度 7 を計測した能登半島地震により、海底は大きく隆起し、家屋のほとんどが倒壊していた。また、後に発生した豪雨災害により、国道 249 号は一部通行止めとなり、地域住民のインフラに大きな影響を与えた。立て続けに発生した自然災害により、復旧工事はより難しいものとなり、安全かつ迅速な工事が必要であった。

(1) 復旧工事の必要性

地域住民が安心して生活できる環境を整えることは、復旧工事の重要な目的の 1 つであり、道路、橋、上下水道、電気などのインフラは住民の生活に直接影響を与えることから、1 日でも早い復旧が必要とされる。

また、観光地として知られていた能登半島は、観光業が地域経済の柱となっており、復旧工事を通じて観光施設の早期再開を目指すことは、地域経済の立て直しに直結する。さらに、復旧工事は持続可能な地域づくりに向けた第一歩でもあり、単なる復旧に留まらず、災害に強いインフラ設備や環境に配慮した設計を進めることで、未来の世代にとって住みやすい地域を築くことができ、地域の特性を活かした持続可能な発展を目指すことが求められる。

(2) 復旧工事の危険性

現場では、土砂崩れや倒木などが発生しやすく、作業環境も不安定であることから、事故や怪我のリスクが増加する。また、能登半島は自然災害の影響を受けやすい地域であることから、復旧工事中の新たな自然災害発生や、その他二次災害のリスクが高い環境である。

危険な作業環境下において、作業員を守る建機の運用技術として遠隔操縦技術を採用することにより、作業員は安全な環境から建機を操縦することが可能となる。

2. 汎用遠隔操縦装置「サロゲート®」の概要

(1) 汎用遠隔操縦装置 サロゲート®

これまでの遠隔操縦技術は作業員の安全確保には有益であるが、建設機械に対して煩雑な設置作業が必要であったり、設備の一部撤去など運転席内のスペース確保に時間がかかるケースが多いのが現実であった。

そこで、当社が開発した「汎用遠隔操縦装置サロゲート®」は、建設工事で一般的に利用されるバックホウなど建設機械を短時間で、改造することなく遠隔化することが可能であり、運転者を危険な作業環境から隔離して安全な環境で作業することができる。

(2) サロゲートの構成

サロゲートは建機本体を改造せずに、既存の操縦レバーおよびフットペダル部に後付けて駆動装置を装着する方式を採用しており、汎用性に優れている（図-1）。

また、各パーツのユニット化により、小型かつ軽量であるため輸送コストも削減でき、車両も限定することなく部材を届けることが可能である。



図-1 サロゲート設置状況

(3) 遠隔操縦と搭乗運転の容易な切替

サロゲートは工具を必要とせず、操作レバーアクチュエータのガイドレールと走行ペダルアクチュエータのピンを脱着するだけで、作業を行う場所の危険性や作業状況に応じて、搭乗操縦と遠隔操縦の切り替えが可能である（図-2）。

この機構により安全な場所での作業は搭乗運転で行い、危険な場所での作業は遠隔操縦に切り替えることで、生産性の低下を最小限に抑えることができる。

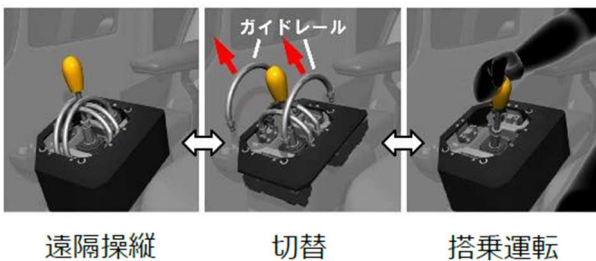


図-2 遠隔操縦搭乗運転切替

3. 建機無人化施工の概要

無人化施工における遠隔システムは、安全な環境で操縦可能な遠隔操縦室（遠隔操縦席）と、操作信号やカメラなどの映像データを伝送する無線機から構成される。また、施工環境や建機の作業状況や周囲の安全確認用に作業状況を確認する俯瞰カメラなどを必要に応じ追加し構成する。

(1) 対象重機

今回遠隔操縦した建機は日立建機のバックホウ(ZX200 0.8m³)（図-3）の1台とした。

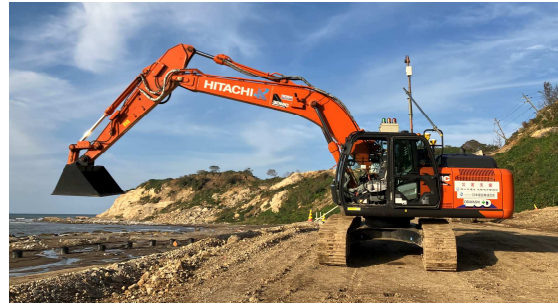


図-3 遠隔対象建機

(2) 無人化施工の操縦方式

遠隔施工には、オペレーターが遠隔操縦建機を直接目視しながら操縦する直接操縦方式（図-4）と、遠隔建機に取り付けたカメラ映像をモニターで見ながら操縦するモニター操縦方式（図-5）が存在する。

今回の施工では、施工エリアに立ち入ることは危険であり、遠隔操縦席から遠隔建機までの距離が約1kmであったことから、バックホウに取り付けた作用カメラの映像を遠隔操縦室のモニターで確認しながら操縦を行うモニター操縦方式を採用した。



図-4 直接操縦方式



図-5 モニター操縦方式

(3) 遠隔操縦室、各種カメラ

土砂崩れなどによる被害を受けない安全な位置に遠隔操縦室（図-6）（図-7）を設置した。また、建機に取り付けたカメラのみでは視界が狭く、視覚情報が限られることから、安全な位置に高所作業車を配置し、PTZ 対応可能な俯瞰カメラを2台設置した（図-8）。

俯瞰カメラは遠隔操縦席から操作することが可能であり、オペレーターが任意の位置を設定し、見渡せるようにすることで安心して操縦できる環境を構築した。



図-6 遠隔操縦室 外観



図-7 遠隔操縦室 内部



図-8 俯瞰カメラ用高所作業車配置状況

4. 通信環境の構築

(1) 通信環境の重要性

遠隔施工において、現場の施工場所や施工条件に適した通信環境を構築することが重要である。

通信機器や構成は過去の遠隔施工ノウハウから選定、計画し、特にデータ容量が大きく、遠隔操縦の要となる映像データを常に安定した状態を維持することが最重要課題となる。また、通信の堅牢性が低いと遠隔化された建機が予期しない動作をするなど、非常に危険な状態になる。

(2) 機器選定と設置

当該工事では、建機を見渡せる位置に遠隔操縦室を設置することが可能であったため、長距離無線アンテナにて遠隔操縦室とアンテナ中継点間を通信させた後、アンテナ中継点にて長距離無線から移動体に適した Wi-Fi に変換し、施工エリアの建機との通信を実施した（図-9）（図-10）。

長距離無線はアンテナ位置調整に時間を要するが一度位置決めできれば後の設定は不要であり、上り150Mbpsのスループットを確保できた。



図-9 通信距離関係図

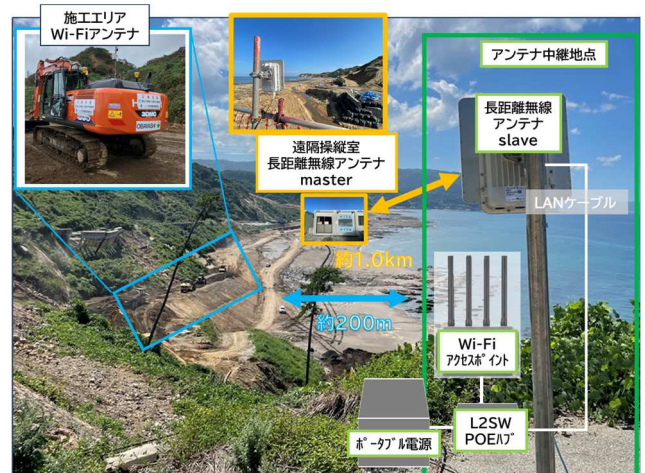


図-10 通信機器配置図

5. 実施結果

遠隔施工を実施したことにより、オペレーターや工事管理者からは下記の成果や期待が報告された。

(1) 安全性の向上

危険な現場から離れた場所で施工を行うことで、危険な環境や条件下でも安全に作業を続けることが可能であり、事故や怪我のリスクを軽減することが出来た。時間や場所に捉われない施工が可能となる。

(2) 省人化・コスト削減

異なる地域や国の現場でも対応することが可能である。今回は実施していないが、1人が複数の現場の建機を遠隔操縦することで、現場に常駐する作業員の数を減らすことができ、人件費の削減につながる。

無駄な移動や待機時間を減少させ、施工全体のコストを抑えることができる。

(3) 環境への配慮

リアルタイムでデータを収集して施工状況をモニタリングでき、遠隔就労とデータ戦略で、ムリ、ムダ、ムラを減らし、Co2 排出を削減することが可能である。

6. 今後の課題と対策

(1) 遠隔操縦における遠近感の把握

実際の3次元空間の深さや距離感を正確に把握することが困難であり、機械の操作が不正確になることにより、特に精度が求められる掘削などに影響を及ぼす可能性がある。

上記理由により、搭乗操縦と比較して作業効率の低下が確認された。

(2) 心理的なストレス

オペレーターは実際の現場を見られないことで心理的なストレスを引き起こす可能性があり、オペレーターが不安を感じることで、判断力が低下し、結果的に作業の効率や安全性にも影響を与えることが懸念される。

7. 今後の期待

建設業は社会資本整備や災害復旧など、日常生活を支える欠かせない存在（エッセンシャル・ワーカー）である。

無人化施工は安全な環境下での建機の操縦が可能であり、幅広い工事への適用が期待されるため、今後の課題で挙げた、遠隔施工の効率化やオペレータのストレス低減を図る研究開発の実施と ICT 技術の積極的な活用を図り、普及促進に貢献したい。

8. まとめ

本報文では建機遠隔化施工における安全性への有効性について記載した。また国土交通省は 2024 年より i-Construction 2.0 として建設現場のオートメーション化の実現に向け取り組んでいくとしている。

建機無人化施工を活用することにより、生産性向上（省人化）に加え、多様な人材が活躍できる場の創出や賃金水準や労働環境の改善にも応えることが可能であるとも考えている。

建機の無人化施工技術の導入と発展は、建設業界において新 3K に向けた労働環境の改善や労働力不足の解消に貢献することが期待される。

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

UNMANNED CONSTRUCTION WORK ON THE OKAWAHAMA SECTION OF NATIONAL ROUTE 249

Seiichi TANI, Masato KURATA and Shoki KIMURA

This paper reports on the results of unmanned construction in disaster recovery work on the Noto Peninsula. This natural disaster, which recorded a maximum seismic intensity of 7, caused enormous damage, including cracks in the ground, landslides, collapsed buildings, and tsunamis, completely changing the scenery and life of the region. In addition, because repeated heavy rain disasters increase the risk of secondary disasters, we decided to introduce our proprietary general-purpose remote control device, "Surrogate@."

ドローンの自動飛行による港湾施設の 災害後異常確認実証実験

井上 裕司¹・木俣 順¹・永峰 義寛¹・篠原 正治²・白神 英文³

¹正会員 中央復建コンサルタンツ株式会社（〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 4-11-10）
E-mail: inoue_y@cfk.co.jp kimata_j@cfk.co.jp nagamine_y@cfk.co.jp

²正会員 阪神国際港湾株式会社（〒651-0087 神戸市中央区御幸通 8-1-6）
E-mail: m-shinohara@hanshinport.co.jp

³非会員 阪神国際港湾株式会社（〒651-0087 神戸市中央区御幸通 8-1-6）
E-mail: h-shirakami@hanshinport.co.jp

港湾施設は物流の拠点として重要なインフラ施設であり、地震や台風などの自然災害が発生した際には速やかに異常の有無を確認して供用を再開する必要がある。本稿では、コンテナターミナルを対象に、自動飛行するドローンにより災害後の異常を確認できるかどうかについて実証実験を実施した。その結果、ドローンによる撮影画像は異常確認に十分な視認性を有しており、要する時間も徒歩による確認の 1/20 程度に低減できることが判明し、港湾施設における災害後の異常確認にドローンが有効であることを確認した。

Key Words: drone, automatic navigation, port facilities, disaster situation check, demonstration experiments

1. はじめに

ドローン（無人航空機，UAV）は「空の産業革命」とも呼ばれ、点検や物流など様々な分野での活用が期待されており¹⁾、海外の港湾施設では日常の管理・監視にすでに導入されている²⁾⁴⁾。

本稿では、前稿³⁾にて抽出したドローンの利活用場面のうち、災害発生時における災害後の異常確認を検証対象として、大阪港のコンテナターミナル上空において、ドローンを自動飛行させる実証実験を実施し、ドローンの自動飛行による災害後の異常確認における有効性を検証した。

証した。

2. ドローン飛行の許可・承認

ドローンは航空法により具体的な飛行ルールが定められており、ドローンの飛行形態はリスクに応じて表-1に示すⅠ，Ⅱ，Ⅲの3つのカテゴリーに分類されている。

阪神国際港湾（株）が管理する大阪港と神戸港はいずれも人口集中地区（DID）であり、この空域におけるドローン飛行はすべて「特定飛行」であるものの、コンテナターミナルとライナーバースは海上人命安全条約

表-1 ドローンの飛行カテゴリー

カテゴリー	飛行形態	許可・承認申請
Ⅲ	特定飛行のうち、無人航空機の飛行経路下において立入管理措置を講じないで行う飛行。（＝第三者の上空で特定飛行を行う）	必要
Ⅱ	特定飛行のうち、無人航空機の飛行経路下において立入管理措置を講じたうえで行う飛行。（＝第三者の上空を飛行しない）	第二種機体認証以上及び二等操縦者技能証明以上。 上記を有しない：必要 上記を有する：不要
Ⅰ	特定飛行に該当しない飛行。航空法上の飛行許可・承認手続きは不要。	不要

(SOLAS 条約) と国際船舶・港湾保全法に基づき一般の立ち入りが制限されている。そのため、これらの上空のドローン飛行はカテゴリーⅡに分類され、対地高度150m 未満の空域に、総重量が 25kg 未満の第二種機体認証以上のドローンを、二等操縦者技能証明以上の操縦者が操縦する場合は、航空法上の飛行許可・承認手続きが不要である。

3. 実証実験の内容

(1) 実験ケース

本稿におけるドローン飛行方法の分類を表-2 に示し、実証実験における飛行方法、高度・撮影ケースを表-3 に示す。

自動飛行とは、ドローンが予め設定したプログラムにしたがって自律的に飛行する方法である。港湾施設にて地震や台風などの災害が発生すると、まず敷地全体における飛散物や飛来物の有無など供用の支障となる異常を確認する必要がある。飛行経路（フライトプラン）を予め設定したドローンを自動飛行させれば対象範囲における異常の有無を上空から効率的に確認することができる。ドローンの撮影画像は飛行高度によって撮影範囲が変わるため、実証実験では飛行高度を 40m, 60m, 80m, 100m, 120m にしたケースでそれぞれ時速 7.2m にて飛行させて動画と静止画を撮影し、災害後の異常確認に適した飛行高度を検証した。なお、静止画撮影では未撮影箇所が生じさせないように、隣接画像と 10%程度ラップするように撮影間隔を 10 秒に設定した。

表-2 本稿におけるドローン飛行方法の分類

飛行方法	内容
自動飛行	ドローンが予め設定したプログラムにしたがって自律的に飛行する飛行。
目視飛行	操縦者がドローンを直接目視しながら操縦する飛行。
目視外飛行	操縦者がドローンを直接目視せず、ドローンからの撮影画像を見ながら操縦する飛行。

表-3 実験ケース

飛行方法	高度・撮影ケース
自動飛行	[飛行高度] 40m, 60m, 80m, 100m, 120m [撮影画像] 動画, 静止画

(2) 実験場所

実証実験は、阪神国際港湾（株）が管理する大阪港の C1～C4 コンテナターミナルにて実施した。C1～C4 コンテナターミナルの敷地全体（約 0.3km×1.4km=0.42km²）

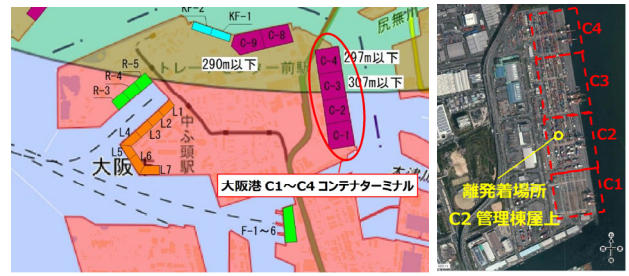


図-2 実験場所（大阪港 C1～C4 コンテナターミナル）

を撮影対象とし、C2 管理棟の屋上からドローンを離陸させて対象範囲の画像が網羅的に撮影できるように飛行させた。

(3) 使用したドローン

実証実験には DJI 社製の Phantom4 Pro を用いた。このドローンには 4K カメラが搭載されており、動画と静止画を撮影することができる。なお、Phantom4 Pro には、既存の衛星測位システム（GNSS）から得られる自己位置に、地上に設けた独自の基準局の補正位置情報を加味することによって自己位置の測位精度を上げる RTK（リアルタイムキネマティック）が搭載された RTK 搭載機もあるが、自動飛行の実証実験には RTK が搭載されていないドローンを用いた。

4. 実証実験の結果

(1) 飛行距離・飛行時間・バッテリー残

実証実験に用いたドローンに搭載されているカメラの視野角は 84° であり、飛行高度が高いほど広範囲の画像を撮影することができる。自動飛行の実証実験にて、撮影対象とした大阪港 C1～C4 コンテナターミナル全体の画像撮影に要した飛行距離と飛行時間、及びバッテリー残量を表-4 に示す。

これより飛行高度 60m 以上であれば、バッテリー残量を 50%程度、飛行時間を 15 分以内に抑制できることが判明した。表-4 には離発着場所からスタート地点までとゴール地点から離発着場所までの飛行距離と飛行時間が含まれていないが、これらを加味してもフル充電のバッテリーを用いれば、高度 60m 以上で自動飛行させる場合、余裕をもって帰還できることを確認できた。

表-4 自動飛行による飛行距離・飛行時間・バッテリー残

高度 (m)	飛行速度 (s/m)	飛行距離 (m)	飛行時間 (min)	バッテリー残 (%)
40m	7.2	11,080	26:10	22
60m	7.2	5,600	12:26	47
80m	7.2	4,500	10:59	53
100m	7.2	3,120	7:45	56
120m	7.2	2,910	6:58	63

表-5 異なる飛行高度からドローンの自動飛行にて撮影した動画のキャプチャ画像と静止画像

高度	動画キャプチャ	静止画	
		拡大率：1倍	拡大率 10倍
40m			
60m			
80m			
100m			
120m			

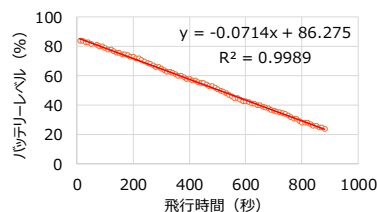
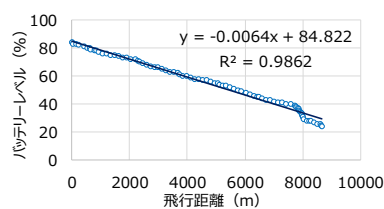


図-3 バッテリーレベルに対する飛行距離（左）と飛行時間（右）

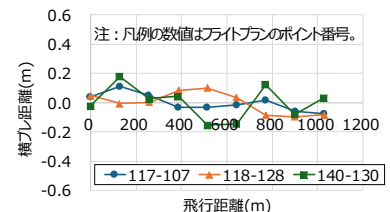


図-4 1kmの直進飛行で記録された横ブレ

(2) 撮影画像の視認性

飛行高度ケース別の撮影動画のキャプチャ画像と静止画像を表-5に示す。飛行高度が低いほど細部の視認性は向上する。一方、飛行高度が高いと撮影範囲が広くなり異常の有無を効率的に視認することができる。

また、動画では撮影対象を連続的に視認できるものの、Windowsの標準ソフトウェア（メディアプレーヤー）では画像を拡大することができない。一方、静止画では画像を1枚ずつしか視認できないものの、Windowsの標準ソフトウェアにて画像を拡大して視認することができる。

飛行高度別の撮影画像を比較した結果、高度100mの撮影動画からでも供用に支障するような異常は視認できること、動画と静止画を撮影すれば静止画を拡大させることでひび割れや段差などを確認できることから、災害

後の異常確認にドローンを用いる場合は、飛行高度を100mとし、動画と静止画の撮影飛行を各1回ずつ行えばよいとした。

(3) バッテリーに与える影響

実証実験で取得したデータを用いて、ドローンの飛行距離と飛行時間のどちらがバッテリーの消耗に影響を与えるのかを確認した。高度40mの動画撮影にて記録されたバッテリーレベル(%)に対する飛行距離と飛行時間の相関を図-3に示す。これによると飛行距離、飛行時間ともにバッテリーの消耗と強い相関があり、やや飛行時間との相関が高いことが分かった。これは、ホバリングなど距離は進まなくても時間が経過すれば電力を消費するということであると考えられる。

(4) ドローンの直進性

実証実験には、RTK が搭載されていないドローンを用いたため、飛行記録（フライトログ）から飛行するドローンの直進性を確認した。自動飛行による3回の1km直進飛行にて記録された横ブレを図4に示す。これより1kmの直進飛行にて発生した横ブレは最大でも0.2m程度であり、RTK が搭載されていないドローンでも災害後の異常確認に対しては大きな影響とならないことが確認された。なお、実証実験を実施した日の天候は晴れ、風速は3m/s未満の微風であった。

5. ドローンの自動飛行による異常確認の効果

現在は地震や台風などの災害が発生すると異常の有無を徒歩による目視により確認している。港湾施設にはコンテナや建屋などがあるため、徒歩による目視では視認できる範囲が限定される。一方、ドローンでは上空から俯瞰的に視認できるため、地上からは視認できないコンテナ上面や建屋屋上も含めて、異常の有無を効率的に確認することができる。

また、徒歩では歩行速度（約2～4km/h）でしか移動できないものの、空中を飛行するドローンは格段に速い速度（約20～30km/h）で移動できることに加えて、徒歩ではコンテナやクレーン等が設置されていない通路しか通れないものの、空中ドローンでは障害物がない限り任意の経路を飛行させることができる。さらに、災害後の状況を記録するためには、徒歩による目視では立ち止まって写真を撮影しなければならないが、ドローンでは動画や静止画にて敷地全体を連続的に自動撮影することができる。

大阪港 C1～C4 コンテナターミナルの敷地全体（約0.3km×1.4km=0.42km²）を徒歩とドローンにて異常確認

に要する時間を試算したところ、徒歩が4.7時間に対してドローンが0.25時間（=15分）となり、異常の有無確認に要する時間が1/20程度に低減できると試算された。

6. 今後の予定

今回の実証実験を通じて、自動飛行するドローンが災害後の異常確認に有効であることが確認された。そのため、今後、大阪港 C1～C4 コンテナターミナルを対象に、ドローンの自動飛行による異常確認を実装するために必要となる設計を進める予定である。

謝辞：実証実験では、大阪港 C1～C4 コンテナターミナルのターミナルオペレータ各社にご協力いただきました。また、ドローンの飛行では、株式会社ジオシステムにご協力いただきました。ここに深く感謝申し上げます。

REFERENCES

- 1) 首相官邸、空の産業革命に向けたロードマップ2022
- 2) Antwerp launches 'live feed' drone network, News09 May 2023 by WCN Editorial
- 3) HHLA Sky and Deutsche Telekom "campus network" drones, WorldCargo News
- 4) HHLA Sky wins German Innovation Award, News27 May 2022 by WCN Editorial, HHLA Sky has received a German Innovation Award for outstanding innovation performance in the special category "W2 Excellence in Business to Business - Aviation & Maritime Technologies"
- 5) 井上裕司・木俣順・永峰義寛・篠原正治・白神英文、阪神港における港湾事業の高度化・効率化のためのドローン利活用場面の検討、第6回 i-Construction の推進に関するシンポジウム、pp9-12, 2024

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

DEMONSTRATION EXPERIMENT USING AUTOMATED DRONE FLIGHT TO CONFIRM ABNORMALITIES AT PORT FACILITIES IN THE EVENT OF A DISASTER

Yuji INOUE, Jun KIMATA, Yoshihiro NAGAMINE, Masaharu SHINOHARA, Hidefumi SHIRAKAMI

Port facilities are important infrastructure facilities that serve as hubs for logistics, and when natural disasters such as earthquakes and typhoons occur, it is necessary to promptly check for abnormalities and resume operations. In this paper, a demonstration experiment was conducted at a container terminal to confirm abnormalities at the time of a disaster using an automatic drone. As a result, it was found that the time required to check for abnormalities by a drone was reduced to about 1/20 of the time required by a walking method, confirming the effectiveness of automated drones in checking for abnormalities at port facilities in the event of a disaster.

雲仙・普賢岳 警戒区域内の維持管理の取り組みについて ～無人化施工とドローンによる砂防設備点検～

岩田 和宙¹・吉田 英明²・吉田 信也³

¹ 非会員 九州地方整備局 長崎河川国道事務所 砂防課 (〒855-0866 長崎県島原市下川尻町 7 番地 4)

E-mail: iwata-k8911@mlit.go.jp

² 非会員 九州地方整備局 長崎河川国道事務所 砂防課 (〒855-0866 長崎県島原市下川尻町 7 番地 4)

E-mail: yoshida-h8911@mlit.go.jp

³ 非会員 九州地方整備局 長崎河川国道事務所 砂防課 (〒855-0866 長崎県島原市下川尻町 7 番地 4)

E-mail: yoshida-s8910@mlit.go.jp

雲仙・普賢岳では、1990 年 11 月の噴火に伴い長期にわたって土砂災害を引き起こし、島原市を中心に甚大な被害をもたらした。1993 年、砂防設備の整備等を目的とした「雲仙・普賢岳直轄砂防事業」に着手した。その後、2021 年にはすべての直轄砂防事業が完了し、現在は直轄砂防管理として事業を行っている。水無川流域においては、災害対策基本法に基づく「警戒区域」が設定され、点検や工事を実施する上では多くの制約がある。ここでは、警戒区域内の補修工事の取組みと砂防設備点検について報告する。

Key Words: Volcanic eruption disaster, Unmanned construction, i-Construction, Sabo dam, maintenance, Unmanned Aerial Vehicle

1. はじめに

雲仙・普賢岳では、1990 年 11 月の噴火に伴い広域かつ長期にわたって土砂災害を引き起こし、島原市を中心に甚大な被害をもたらした。そのため 1993 年 4 月、砂防設備の整備等を目的とした「雲仙・普賢岳直轄砂防事業」

に着手した。その後、2021 年 3 月にはすべての直轄砂防事業が完了し、現在は直轄砂防管理として事業を行っている。水無川流域においては、災害対策基本法に基づく「警戒区域」が設定され、砂防設備点検や工事を実施する上では多くの制約がある(図-1)。

2. 無人化施工の技術の変遷

活発な噴火活動に伴い、土石流、火砕流が頻発する状況において、作業員の安全を確保しつつ、火砕流堆積物を撤去することが大きな課題であった。そこで 1993 年度より民間企業から掘削、運搬できる技術を公募した。

導入当初は除石工事のみであったが、土木、機械、通信技術等の技術開発が進み砂防堰堤等を建設した。現在も無人化施工にて除石や構造物の補修を行っている。

3. 把持装置の開発

砂防設備の建設後、度重なる土石流により砂防設備の損傷が確認されている。砂防設備補修や災害発生時の対



図-1 水無川流域と警戒区域

応として無人化施工にて、コンクリートブロックを用いた堰堤補修工事等を施工する場合がある。ブロック設置を行う場合は、バックホウのアタッチメント交換による把持装置が必要になるが、全国的に台数が少なく、ブロックの規格が異なると使用できないなど、課題があることから国土交通省九州技術事務所にて 2006 年度に製作し、動作確認を行いながら調整を行った。平型ブロックを対象とした、センターホール挿入型の把持装置は把持したブロックの落下・ズレは確認されず、良好な作業が実施できることを検証できた（図-2）。



図-2 把持装置（センターホール挿入型）

4. 把持装置を用いた無人化施工

(1) 工事概要

2024 年度施工の背割堤の前面保護(洗堀防止対策)工事を紹介する。この工事は 2 t 平型ブロックを L=172m, 3 段を背割堤前面に設置するものである(図-3)。なお、当該箇所は警戒区域内のため無人化施工である。

無人化による施工にあたり、ブロック据付箇所の位置出しは、無人にて測量及びマーキングが可能な無人測量機(図-4)を用いることにした。無人測量機は GPS アンテナを搭載したマーキング装置をバックホウに装着し、現地目標点にマーキングする機械である。

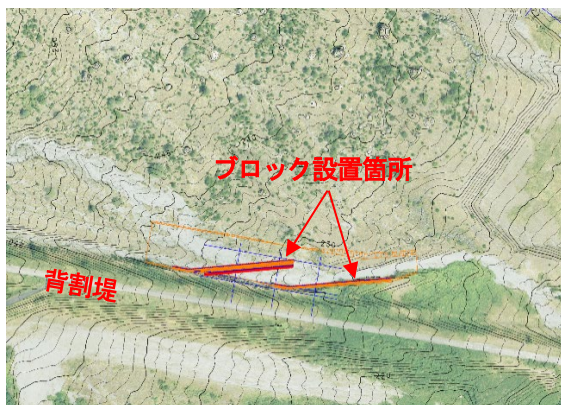


図-3 施工箇所の航空写真



図-4 無人測量機

(2) 施工方法

無人化施工は、カメラ車や車載カメラの映像を見ながら施工を行う。今回の施工は 2 t 平型ブロックをクローラダンプ 10-11t 級に積み設置箇所まで運搬し把持装置付きバックホウ 1.4m³ にて荷下ろし、施工ヤード内にブロックを移動した。マーキング箇所にブロックを 1 段・2 段と階層毎に設置した(図-5)。



図-5 マーキング及びブロック設置状況

(3) 施工上の課題

ブロックのセンターホールに挿入型把持装置を誘導するのは、バックホウ搭載の車載カメラを見ながらの作業となり、慣れるまでに時間を要した。今後スムーズにブロックのセンターホールに誘導可能な補助システムが必要である。

(4) 今後の予定

水無川流域の砂防設備の多くは、河床部の浸食も大きく、床固工の健全度が低下している箇所も存在している。引き続き、無人化での施工を行うとともに、作業の効率化・省力化の検討を行っていく。

5. 雲仙・普賢岳における設備点検

(1) 砂防設備の点検について

砂防施設の健全度等を把握するための施設点検が実施されている。砂防設備点検における全般の課題として、砂防設備に近づくことが困難な現場が多く、危険な現場

も多い。また、複数基の砂防設備を点検する際には、点検作業量はもちろん、移動に掛かる労力も大きく、効率的な点検が必要である。

(2) 雲仙・普賢岳における設備点検概要

「雲仙・普賢岳（水無川）砂防設備点検計画」に基づき、平常時においては、砂防設備等の顕著な状況変化の把握等を目的に行う「巡視」を年2回（梅雨期後および台風期後）と、砂防設備及び砂防設備に直接影響を与える周辺の状況について点検を実施し、砂防設備の健全度評価を行う「定期点検」を5年に1回（5グループに分けて毎年1グループずつ）実施している。

水無川流域の点検対象施設は、砂防堰堤や床固工、導流堤など、計65基ある。その内28基は警戒区域内にある(表1)。水無川流域の砂防設備はL=約300m以上の堰堤が6基あり、最大でL=約900mと長大な施設が多く、これらを安全かつ効率的な施設点検を行うためには、UAVの活用が必要不可欠である。

表-1 水無川流域の点検対象施設数

種類	警戒区域内	警戒区域外
砂防堰堤	2基	4基
床固工	25基	—
導流堤	—	33基
背割堤	1基	—
計	28基	37基

6. UAVを活用した施設点検

(1) UAV 自律飛行の検討

施設点検を安全かつ効率的に実施するため、UAV 自律飛行（レベル2飛行）による定期点検、巡視、臨時点検を検討した。

UAV を活用した施設点検を実装するため、飛行ルート、動画・静止画等の撮影方法、精度検証方法、法令に関する事前申請の抽出など、点検に要する飛行計画の立案を実施し、2022年に実証実験を行った。

「巡視」「点検」のそれぞれの目的に適した、手法を適用することとした。巡視は砂防設備等の顕著な状況変化の把握等を目的に行うため、設備の概況把握、土砂移動等流域の概況を効率的に把握しやすい「動画撮影」を適用した。定期点検は砂防設備の健全度評価を行う必要があるため、砂防設備に対して等距離・等高度で飛行を行い、損傷の有無および規模を網羅的に画像データに記録できる「写真撮影」を実施することとした(図-6)。

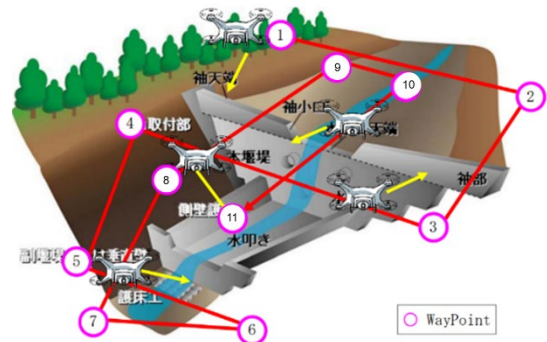


図-6 撮影実施のイメージ

(2) UAVを活用した点検の手引き（案）作成

実証実験結果を踏まえ、水無川流域の砂防設備点検において、UAVを活用するため「UAVを活用した点検の手引き（案）」（以下「手引き」という）を2022年に作成した。UAVを安全に飛行させるため、航空法をはじめとする関係法令について、簡潔に分かりやすくまとめ、手引きに記載した。また水無川流域周辺には人口集中地区（DID地区）や自然公園（国立公園）等があり、必要な手続きを記載し、国土数値情報より引用し、「UAV運用時に配慮すべき法指定等状況図（図-7）」も作成した。

また、離発着地点の状況や、各撮影方法の留意点、飛行経路を蓄積し、引き継ぐことで、毎年度、正確かつ効率的な点検を行うように図った(図-8)

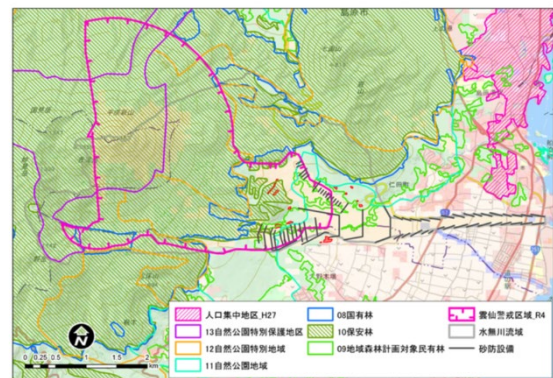


図-7 UAV運用時に配慮すべき法指定等状況図

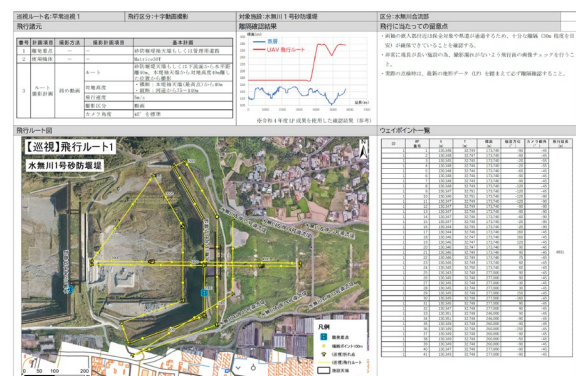


図-8 飛行計画図

(3) UAV を活用した点検結果（事例紹介）

2023 年度より、管内砂防設備 35 基を対象に UAV を活用した点検及び巡視を本格導入した。従来の目視による点検と比較しても、同等の精度で損傷規模の把握を行うことができた。例として、赤松谷川 1 号堰堤においては、本堤の欠損(図-9)などの規模を UAV による撮影結果により把握することができた。

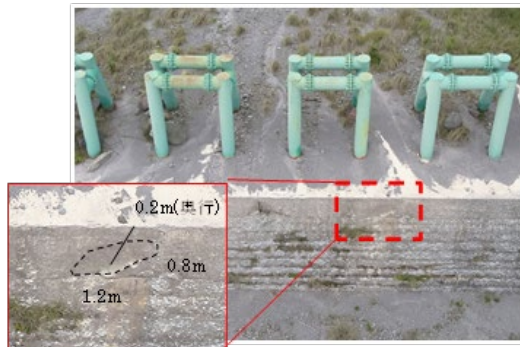


図-9 堰堤一部欠損箇所

(4) UAV を活用した点検の有用性

a) 精度

損傷規模の定量把握を行うため、堰堤袖部にマーキング(1300mm×960mm)及び識別標(550mm×1020mm)設置を

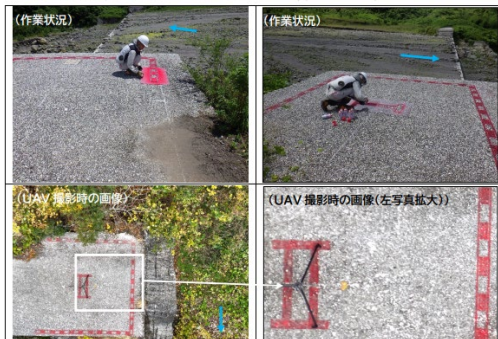


図-10 マーキング及び識別標設置状況

行った(図-10)。識別標に写し込んだ写真と同様の距離と高度から施設を網羅的に撮影することで、すべての損傷の規模と位置を正確に把握することができた。

b) 安全性

これまで自治体より特別な許可を得て立入していた警戒区域の立入を無くすることができた。

堰堤の高低差約 15m ある水通し部を目視で確認していたが、UAV を活用することで、高所での作業が必要なくなった。

c) 効率性

UAV 巡視においては、目視点検の半分程度の作業時間で済むが、定期点検では、写真とりまとめに時間を要し、全体的な時間は目視とほぼ同等であった。

d) コスト

コストについては、巡視と定期点検で従来の目視巡視・点検と UAV を活用した巡視では同等程度であった。UAV 機材の導入費用や点検等の維持管理費用などの「機材コスト」を要する。

7. UAV を活用した点検の課題と今後の予定

UAV の活用により、現地作業は作業員の移動や確認・記録が短縮されることで、UAV 巡視では目視巡視の 1/3 程度まで作業時間が短縮できた。水無川の砂防設備等は長大であり、今回 5 設備の点検で約 2,000 枚以上撮影し、写真整理・判別に時間を要した。UAV 撮影画像には EXIF 情報(写真の撮影日時や位置情報等)が付与されており、2024 年度はこれを活用し整理・判別の効率化に取り組み、2025 年度から巡視においては、警戒区域外を含む全区間で UAV を活用し効率化を図る。

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

Maintenance and management efforts within the Unzen-Fugen mountain alert zone: Unmanned construction and drone-based erosion control equipment inspection

Kazumichi IWATA, Hideaki YOSHIDA, Shinya YOSHIDA

The eruption of Mount Unzen in November 1990 caused long-term landslides, resulting in extensive damage mainly in Shimabara City. In 1993, the "Unzen Mount Fugen Direct Erosion Control Project" was launched with the aim of developing erosion control facilities. All direct erosion control projects were completed in 2021, and the project is now being carried out under direct erosion control management. In the Mizunashigawa River basin, "alert zones" have been established under the Basic Act on Disaster Management, and there are many restrictions on carrying out inspections and construction work. Here, we report on repair work efforts within the alert zones and erosion control facility inspections.

令和6年能登半島地震における 自動走行技術の適用とその評価

飛鳥馬 翼¹・天下井 哲生²・二村 峻太³

¹正会員 (株)熊谷組 土木事業本部 (〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1)

E-mail: tsubasa.asuma@ku.kumagaigumi.co.jp (Corresponding Author)

²正会員 (株)熊谷組 土木事業本部 (〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1)

E-mail: tetsuo.amagai@ku.kumagaigumi.co.jp

³正会員 (株)熊谷組 土木事業本部 (〒162-8557 東京都新宿区津久戸町 2-1)

E-mail: ryota.futamura@ku.kumagaigumi.co.jp

令和6年能登半島地震により甚大な被害を受けた逢坂トンネル坑口の復旧工事において、安全性と施工継続性を確保するため、無人化施工および自動走行技術を夜間作業に導入した。本稿では、狭隘な施工条件下での施工エリア分離運用、ネットワーク対応型無人化施工システム、自動走行システムといった複数技術の統合的運用を紹介し、その有効性を評価する。特に、1名のオペレータによる3台の機械制御と、夜間作業を通じて省人化と施工精度の両立を実現した点は、今後の災害対応工事における有効な参考事例となる。

Key Words: Unmanned construction, autonomous driving, the 2024 Noto Peninsula Earthquake, labor-saving, safety

1. はじめに

令和6年1月1日16時10分、石川県能登地方を震源とするマグニチュード7.6の大地震が発生し、最大震度7を記録した。この地震は広範囲にわたる地盤災害や構造物被害を引き起こし、地域社会に甚大な影響を及ぼした。特に、珠洲市に位置する逢坂トンネルでは、斜面崩壊によって坑口が完全に閉塞し、国道249号の交通機能が喪失する深刻な事態となった。

緊急的な対応として図-1に示すように海側に緊急復旧道路を造成する対策が取られ、応急対応としては健全性が確認されたトンネル本体の利用を前提に、崩積土砂の迅速な排除と、再崩壊防止のための斜面安定化対策が求められた。

本稿では、災害現場の排土工について施工の効率化と安全性の向上を目的として遠隔操作と自動走行技術を夜間に導入した無人化施工の事例とその評価について報告する。また、本稿で取り上げる無人化施工および自動走行技術の導入は、国土交通省が令和6年4月に公表した



図-1 地震直後の逢坂トンネル坑口

「i-Construction 2.0 ～建設現場のオートメーション化～」における重点項目、すなわち施工のオートメーション化の推進と省人化の実現に資するものである。

2. 現場条件と施工体制

本工事の工事概要を表-1に示す。対象となる頭部排土工エリアは二次災害リスクが比較的低く、初動段階では有人施工により排土作業が進められていた。

一方で、冬季の能登地域では降雪・降雨による作業中断が多く、施工日数が限られる。また、震災の影響で宿泊施設や交通インフラが損壊し、作業員の確保が困難な状況にあった。このような課題を受け、省人化と施工の継続性を確保するために自動施工の導入が検討された。

自動施工を導入するにあたり、安全な施工環境の確保は不可欠である。国土交通省が策定した「自動施工における安全ルール」²⁾では、有人建設機械の施工エリアと自動建設機械の施工エリアを明確に分離し、自動施工エリアには有人建設機械や人の立入りを禁止することが求められている。しかし、施工エリアの工事用道路は極めて狭隘で、作業空間が限定されていた。このため、有人施工と自動施工を同一時間帯・同一エリア内で同時に運用することは現実的に困難であった。この制約と安全ルールを踏まえ、本工事では昼間に有人施工、夜間に自動施工を行う時間的分離運用を採用した。これにより、安全性を確保しつつ、省人化と作業時間の拡張を両立する施工体制が構築された。

3. 技術概要

本工事における自動施工として3つの中核技術を導入した。

(1) ネットワーク対応型無人化施工システム

ネットワーク対応型無人化施工システムとは、無人化施工で必要とされる遠隔操作信号・カメラ映像信号・各種センサ信号をIoT化することにより、1つのネットワーク(LAN)上で無人化施工機械群を一元管理するシステムである。本システムは、接続機器の多重化、ネットワークの拡張性、遠隔操作の長距離化を可能にし、熊本地震の災害復旧の一環である阿蘇大橋地区斜面防災対策工事³⁾にも導入された。

無人化設備図を図-2に示す。土砂運搬ルートは全長約400mであり、それをカバーするように無線局やカメラの配置を行い、すべて1つのネットワークで接続されている。

夜間の自動施工には、遠隔操作式0.8m³バックホウ1台と、自動走行式11t積不整地運搬車2台を投入した。無人化設備として暗視仕様のネットワークカメラを活用

表-1 工事概要

工事名	令和6年能登半島地震 国道249号啓開作業その2
発注者	国土交通省 北陸地方整備局
工期	令和6年2月7日～令和7年3月31日
工事概要	仮設備工事 : 1式 頭部排土工 : 58,000m ³ 工事用道路工 : 1,200m 護岸工 (パワフルユニット設置工) : 8,350袋 舗装工 : 6,000m ² 転落防止柵工 : 1,200m



図-2 無人化設備図

することで最低限の照明で施工を可能にし、安全性と作業精度を確保した。遠隔操作室はこれまでの災害現場で活用され、迅速な災害対応を可能とする移動式遠隔操作室を導入した。この遠隔操作室は、モニタなどの機材を設置した状態で10tトラック等に積載して移動できるため、災害現場搬入後からわずか3日で遠隔操作による作業に着手可能である。

(2) 自動走行システム⁴⁾

本システムは仮想レール方式(図-3)を採用しており、始めに遠隔操作室から遠隔操作を行い、GNSSやIMUにより遠隔操作した時の走行した経路を制御PCに記憶させる「教示運転」を実施する。そして自動走行時には、その走行経路を基に追従して走行する。

本システムは地形変化に応じて経路の再登録が可能であり、狭隘地や離合困難箇所においても高精度な位置制

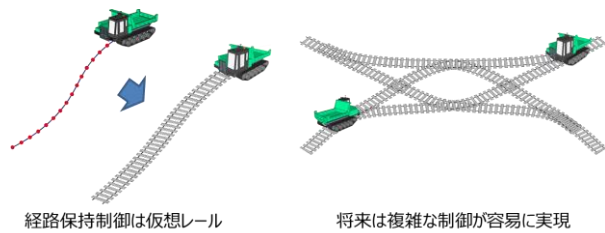


図-3 仮想レール方式

御により安定した自動走行を実現する。複雑な現場条件下でも柔軟に対応可能な点が特長である。

(3) 運行管理システム⁵⁾

本システムの概念図を図-4に示す。本システムは、実際の車両位置に基づいた仮想フィールド上で制御される。交通管理サーバが仮想フィールドをグリッドで離散化し、グリッド内に属性や走行指示等の情報を格納する。フィールド上を走行する車両は、グリッド内の情報を読み取り、車両自身が判断し走行する。本システムは車両が主体となり、交通管理サーバに問合せを行うことで走行可否を決定する。交通管理サーバから個々に指令を出さないことから、サーバの計算時間を減らし、分散処理を可能にしている。

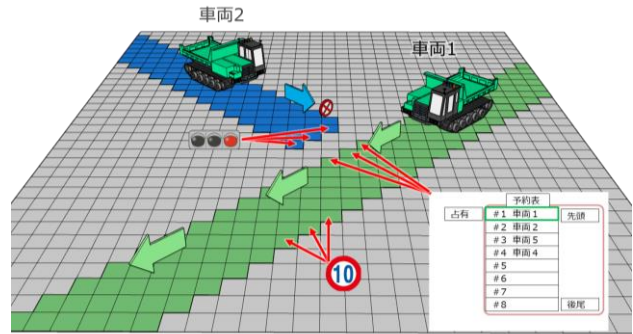


図-4 運行管理システム



図-5 自動施工状況

4. 自動施工の実施と評価

(1) 夜間作業における自動施工(無人化施工)

自動施工状況を図-5に示す。夜間作業において従来の有人施工では、作業員が車両に搭乗し、照明設備のみでの限定的な視界下での作業となっていた。一方、自動施工では暗視カメラを活用することで、最低限の照明下でも現場の状況を広範囲に把握でき、より確実に安全な施工が可能となった。

また、不整地運搬車に自動走行システムを導入したことで、1名のオペレータが建設機械3台を同時に制御することが可能となり、省人化が実現した。

(2) 導入効果

3章で述べたように、土砂運搬ルートは全長約400mである。夜間の自動施工による1サイクルは約23分であり、対する昼間の有人施工では約12分であった。表面的な生産性は低下したが、夜間に1名で完結できる運用により、人的資源の有効活用が可能となった。特に、震災後の宿泊施設不足により作業員の確保が困難であった能登地域において、この省人化効果は大きな利点となっ

た。

また、夜間作業においても昼間と同様に8時間の作業時間を確保したが、自動走行システムによって遠隔操作の時間を大幅に削減したことで、オペレータの負担は軽減され、長時間作業が可能となった。

(3) 技術的工夫

2章で述べたように、施工エリアの工事用道路は極めて狭隘であったため、自動走行時の車両同士の離合場所の設定には大きな困難が伴った。そこで、本工事の現場条件に合わせて、車両間安全距離を1m以上に設定することにした。この設定に基づき、教示運転された経路を使用してシミュレーションを行い、車両同士が接触しないような運行管理ができる経路となるように、オペレータが教示運転を繰り返し実施した。この結果、安全距離1m以上を確保しつつ、高精度かつ安定した自動走行が実現され、図-6に示すように狭隘な現場条件下でも安全な運行管理が可能となった。この取組みは、狭隘な現場条件下における自動走行技術の有効性を示すものであり、今後の施工現場における自動化の可能性を広げるものである。

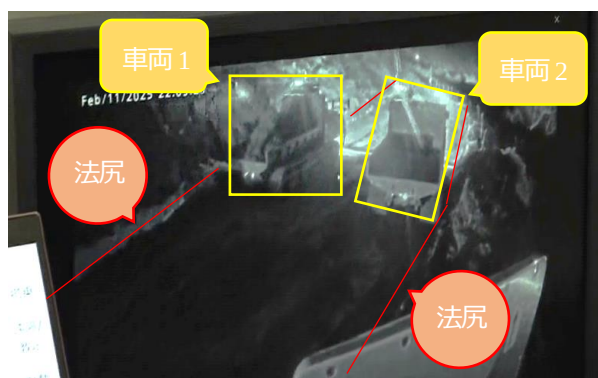


図-6 離合状況

5. おわりに

本稿では、令和6年能登半島地震による逢坂トンネル災害復旧工事を対象に、自動施工の導入経緯、運用体制、効果を報告する。夜間施工では、省人化と安全性を両立する体制を構築し、十分な施工効率を確保できた点は、無人化施工普及に資する有意な事例である。また、自動走行技術は、国土交通省「i-Construction 2.0～建設現場のオートメーション化～」の方針と整合し、現場適用可能な水準に達しつつあることを確認した。

今後は、これら技術の汎用化・標準化を進め、ICT施工の高度化とともに、国土強靱化や災害対応力の向上に資する技術開発を推進する。

謝辞：現場導入をさせていただいた発注者の国土交通省北陸地方整備局能登復興事務所とその他関係者の方々に深くお礼申し上げます。

REFERENCES

- 1) 国土交通省：i-Construction 2.0～建設現場のオートメーション化～，国土交通省 HP，[https://www.mlit](https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001738240.pdf)

.go.jp/tec/constplan/content/001738240.pdf (2025年5月16日参照)，2024。[Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT): *i-Construction 2.0: Automation of Construction Sites*, MLIT website, <https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001738240.pdf> (Accessed May 16, 2025), 2024.]

- 2) 国土交通省 大臣官房 参事官(イノベーション)グループ：自動施工における安全ルール，国土交通省 HP，<https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001885762.pdf> (2025年5月12日参照)，2025。[Counselor, Minister's Secretariat, MLIT): *Safety Guidelines for Automated Construction*, MLIT website, <https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001885762.pdf> (Accessed May 12, 2025), 2025.]
- 3) 飛鳥馬翼，中出剛，北原成郎，天下井哲生：阿蘇大橋地区崩壊斜面の応急対策から恒久対策までの取り組み，土木施工，Vol.62，No.6，pp.104-107，2021。[Asuma T, Nakade T, Kitahara S, Amagai T: *Efforts from Emergency Response to Permanent Measures for the Collapsed Slope in the Aso Bridge Area*, Journal of Civil Engineering, Vol.62, No.6, pp.104-107, 2021.]
- 4) 飛鳥馬翼・北原成郎・畑本浩伸：AI制御による不整地運搬車の自動走行技術に関する研究－AIによる運行管理システムの評価－，第20回建設ロボットシンポジウム論文集，2022。[Asuma T, Kitahara S, Hatamoto H: *A study on the Automatic Traveling Technology of Crawler Carriers with Artificial Intelligence (AI) Control -- Evaluation of the Operation Management System with Artificial Intelligence (AI) --*, Proceedings of the 20th Symposium on Construction Robotics in Japan, 2022.]
- 5) 飛鳥馬翼・畑本浩伸・北原成郎：交通管理システムを適用した自動走行技術のF/S，令和5年度土木学会全国大会，VI-11，建設ロボット(2)，2023。[Asuma T, Kitahara S, Hatamoto H: *Feasibility Study of Autonomous Driving Technology with Applied Traffic Management System*, Japan Society of Civil Engineers 2023 Annual Meeting, VI-11, Session: Construction Robotics (2), 2023.]

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

Application and Evaluation of Automated Construction Technologies in the 2024 Noto Peninsula Earthquake

Tsubasa ASUMA, Tetsuo AMAGAI and Ryota FUTAMURA

In the disaster recovery construction at the Hosaka Tunnel portal, which sustained severe damage from the 2024 Noto Peninsula Earthquake, unmanned construction and autonomous driving technologies were introduced for nighttime operations to ensure safety and continuity of work. This paper presents the integrated use of several technologies—including spatially separated work zones under constrained site conditions, Network Style Unmanned Construction System, and an autonomous driving system—and evaluates their effectiveness. In particular, the achievement of labor-saving and construction accuracy through the control of three machines by a single operator during nighttime operations provides a valuable case study for future disaster response projects.

災害復旧現場における ICT 搭載型高所無人掘削機による遠隔操作での初施工

山沖 呼対・黒石 和俊・近藤 真

四国地方整備局 土佐国道事務所 高知国道維持出張所（〒780-8065 高知県高知市朝倉南針木戊1363-1）

E-mail:yamaoki-a88fz@mlit.go.jp

E-mail:kuroishi-k8810@mlit.go.jp

四国地方整備局 土佐国道事務所 道路保全課（〒780-0055 高知県高知市江陽町2-2）

E-mail: kondou-m8812@mlit.go.jp

令和4年7月に発生した台風4号により高知県高岡郡中土佐町久礼で国道法面の表層崩壊が発生した。この災害により一般国道56号47k 200付近が通行止めとなり、応急対策として崩土除去及び仮設防護柵を設置することで災害発生から5日後には終日片側交互通行規制が可能となった。

ここでは、その後の法面災害復旧工事にあたり、全国初の ICT 搭載型高所作業無人掘削機による遠隔施工や ICT 出来形管理技術を使って生産性向上・工期短縮に努めた事例を紹介する。

Key Words: 災害復旧, ICT搭載型高所無人掘削機, ICT法面工, スタンドドライブ(SD)工法

1. はじめに

当被災箇所には分布する地形は、中生代白亜紀の泥岩優勢砂岩泥岩互層であり、大局的な地質構造は、走向についてはN55～80° E、傾斜角については35～55° Wの西傾斜である。岩質は一部砂岩優勢層もあるが、ほとんどが泥岩優勢層の混在岩層を呈しており、亀裂の発達した硬質の砂岩層と薄層状に層理が発達した泥岩層で特徴づけられる。泥質岩については、その周辺を埋めるように黒色を呈して取り囲んでいる。その泥質岩の一部は著しくせん断破壊され亀裂が発達し、手で圧力を加えると砕けてしまう程度の脆弱な状態になっている。そのため、泥岩優勢層での砂岩塊は潜在亀裂が発達しており、掘削による応力解放により亀裂が開口してブロック状となり、小崩壊が発生することが多い地域である。



図-1 被災箇所の位置図

2. 被災概要

被災箇所：高知県高岡郡中土佐町久礼

一般国道56号47k 200付近

被災日時：令和4年7月5日（火） 0時頃

被災事象：令和4年台風4号による法面表層崩壊
(崩壊高44m 崩壊勾配1:1)

被災時雨量：24時間雨量414mm・時間最大61mm

時系列：令和4年7月5日0時10分～ 全面通行止め

令和4年7月8日～ TEC-FORCEドローン隊調査

令和4年7月10日11時00分～ 片側交互通行

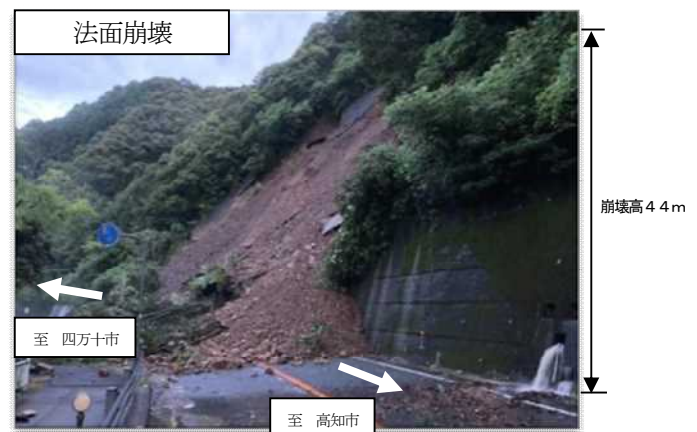


写真-1 被災状況



写真-2 崩土によるストンガード損壊状況

3. 災害復旧工事概要

工期：令和5年3月8日～令和6年3月29日

崩土除去 N=2,180m³ 法面整形工 A=2,210m²
 吹付法砕工 A=2,160m² 鉄筋挿入工 N=1,054本
 落石防護柵工 L=50m

(1) 災害復旧工事の流れ



a) 事前調査

現地は応急的に崩土を除去したものの、なおかつ不安定な崩壊土砂が堆積しており、近接目視による調査・確認は困難かつ危険であったことからドローンを活用した詳細調査を行い、高所から法面崩壊箇所の全体把握を行った。(写真-3) また、地上レーザースキャナにて法面崩壊箇所の3次元データの取得を行った。(図-2)

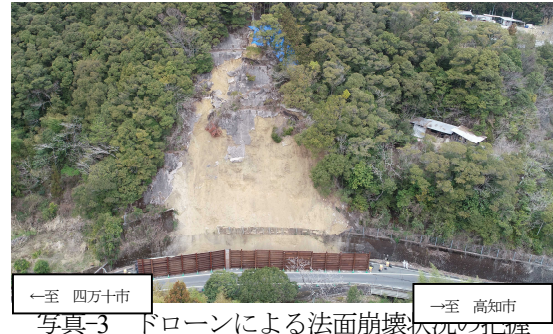


写真-3 ドローンによる法面崩壊状況の把握

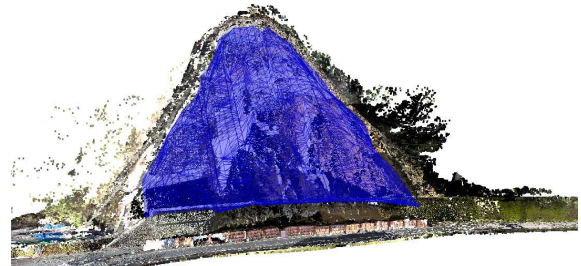


図-2 地上レーザースキャナによる3次元データ取得

b) 崩土除去・法面整形工

計画当初は有人の高所法面掘削機（バックホウ 0.28m³）の施工を予定していたが、被災箇所は、路面から44mの高さから崩壊しており、かつ勾配（1：1）の急傾斜であるため、有人のバックホウ施工を断念せざるを得なかった。より安全に施工することを主眼に検討した結果、ICT搭載型SCM工法（セーフティクライマー工法）を採用することに至った。

【有人の高所法面掘削機とICT搭載型SCM工法の比較】

「有人の高所法面掘削機」

（長所）

- ・一般的に用いられており、資機材の調達が比較的容易かつ、安価に施工が可能。

（短所）

- ・大きな転石の除去時に周辺の地山の抜け落ち等により、墜落、落下事故の危険がある。
- ・測量や丁張りの設置を行う必要がある。
- ・人力による作業量が多く、長期工程となる。
（必要延べ作業員約240名・必要工程約40日）

「ICT搭載型SCM工法」

(長所)

- ・出来形を3次元データにより管理できるため、丁張り設置等の作業が軽減され、作業手戻りが生じにくく、人力による作業が減少し、工期の短縮が可能である。

(必要延べ作業員約200名・必要工程約25日)

- ・オペレーターは離れたところからラジコン操作ができるため安全である。(写真-4)

(短所)

- ・SCM用建機が特殊機械であり調達が容易でないこと、またICT施工機械の調達費、システム導入費が高価であり、施工費が高額となる。(約4.8割増)

SCM工法は多くの事例があるが、遠隔でのICT搭載型としては、全国で初めての試みであった。

施工手順としては、掘削→法面整形→残土積込→土砂運搬である。掘削は、リモコン操作による高所無人掘削機「ケンファイター」(0.16m³・1台)を導入した。まず掘削機械にワイヤーを設置し、法面上部にある立木へアンカー設置を行い、ウインチにて巻上げ緊張状態にして法面上に機械を固定する。そして掘削機械を施工範囲外でリモコンにて操縦し掘削する。(図-3)掘削機はMC(マシンコントロール)機能を有しており基本的に精度の高い掘削、整形が可能であったが法面整形において、転石・根株等で深掘りになった箇所については人力にて整形を行った。掘削した残土は斜面下端道路部へ落とした後、0.25m³級バックホウにてダンプトラックに積み搬出した。

ICT搭載型SCM工法を採用することで危険な高所でのオペレーターによる崩土除去や法面整形作業、急斜面での人力による丁張りの設置等が不要となり、頂部から切り崩し、整形、段跳(だんばね)、既設モルタル取壊しなどの作業を安全・迅速・経済的に行うことが可能となった。また、都度の出来形管理・測量を必要としないため、測量作業の労力・時間の削減など、生産性向上に繋がった。

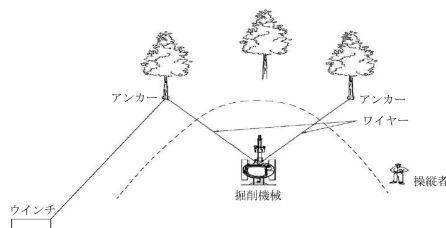


図-3 掘削機の配置図 (イメージ)



写真-4 崩土除去・法面整形施工状況

c) 吹付法砕工

切り土法面に連続梁を形成すると共に枠内は、現地の地質に合わせモルタル吹付とし、施工後の風化及び、雨水による浸食を防止して表層崩壊の抑制を行い斜面全体の安定を図った。

施工は広範囲となるため、安全面に配慮しながら作業内容に応じて複数のパーティーを編成することで作業日数の短縮に努めた。

また、「ICT法面工」を併用して施工を行うことで、法枠の配置計画、数量の算出や出来形管理など、細々とした作業が簡略化でき作業員の負担軽減に繋がった。

d) 鉄筋挿入工

吹付法枠の交点に2～5mの補強鉄筋を挿入し法枠と一体化させることで、さらに表層崩壊の抑制効果を高めた。

鉄筋挿入工は、工期短縮を目的に足場設置が不要なSD(スタンドドライブ)工法を採用した。SD工法とは、独自のワイヤリングで削孔機を移動しながら削孔する無足場ロックボルト工法である。削孔中は粉塵の飛散防止を目的にシート養生を行う外、粉塵の軽減対策として専用のSDミストポンプを併用し、粉塵の発生を最小限に抑えて施工を行った。



写真-5 鉄筋挿入施工状況

e) ICT出来形計測

施工後の出来形計測は地上レーザースキャナにより行う予定であったが、計測面積が広く、かつ急傾斜であるため、複数箇所からの測定を行わないとデータが採取出来ない問題が生じた。そのため、ドローンによる計測を併用することで、必要範囲のデータ取得が可能となった。(図-4)

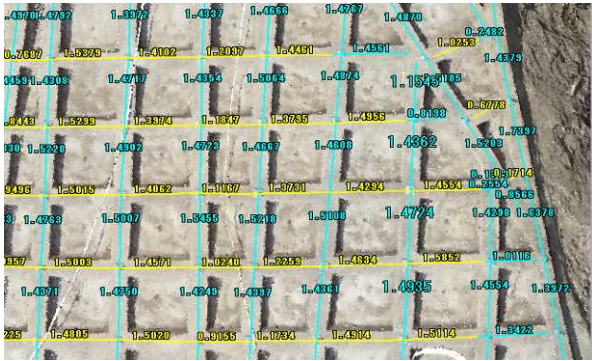


図-4 ICTによる法枠の梁延長出来形計測

また、ICT土工及びICT法面工を行う場合、通常の管理メッシュは50cm以内であるが、急勾配の箇所においては高低差が大きくなり管理値内に収まらないおそれがあったため、メッシュ幅を10cm以内とするなど事前に管理方法の検討、確認が必要であった点などが挙げられる。



写真-6 完成した国道法面の状況

4. まとめ

(1) 結果

本工事は、災害復旧のため早期完成が求められていたが、崩壊規模が大きいこと、現道沿いで作業スペースが限られていたことなど作業条件の制約がとて多い箇所であった。このため、各工程においてICTの導入を検討、活用することで、安全かつ効率性の高い工法を採用することができ、従来工法に比べ大幅に省力化、工期短縮を図った上で、無事故で工事を終了することができた。

これらの結果、最も重要視されていた早期開通の目標も達成することが出来た。(概算約40日短縮)

特に苦労した点は、施工性を向上するためには、パーティー数を増やすことが要求されるが、限られた作業空間の中で、進捗状況を考慮せずパーティー数を増やすと上下作業が発生するなど工程が複雑化し、安全管理の面でリスクが高まるため、上下作業が発生しないよう作業計画を立案し、施工順序に常に気配りをしながら施工する必要があった。

(2) 今後の課題

少子高齢化が進む現代において、建設分野でも生産性向上は避けられない課題である。国土交通省でも、建設現場における生産性向上、魅力ある建設分野とするために「i-Construction」の取り組みを進めている。

ICT施工は様々な工事で普及してきており、労働力の削減や工期短縮とメリットも多い一方で、施工条件によっては施工費が高くなってしまいう課題もある。そのため、現地条件に応じた適切な施工方法・機械を採用し、より効果的・効率的な施工を行い、生産性の向上に繋げていく必要がある。

参考文献

- 1) 四国地方整備局：令和4年度 高知・佐川管内防災測量設計業務成果
- 2) 四国地方整備局：令和4～5年度 国道56号中土佐町久礼災害復旧工事成果
- 3) セーフティークライマー協会：技術資料
- 4) スタンドドライブ工法研究会：技術資料

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

THE FIRST CONSTRUCTION USING REMOTE OPERATION OF AN ICT-EQUIPPED HIGH-ALTITUDE UNMANNED EXCAVATION MACHINE AT A DISASTER RECOVERY SITE

Aatsu YAMAOKI, Kazutoshi KUROISHI and Makoto KONDO

In July 2022, a landslide occurred on the surface of the road in Kure, Nakatos Town, Takaoka District, Kochi Prefecture due to Typhoon No. 4. Here, we will introduce a case study where, during the subsequent restoration works for slope disaster recovery, the use of the first ICT-equipped high-altitude unmanned excavation machine in the country for remote construction and ICT construction management technology was implemented to improve productivity and shorten construction periods.

¹筑波大学 システム情報系 (〒305- 8573 つくば市天王台1-1-1)
E-mail: nagatani@cs.tsukuba.ac.jp



図3 河道閉塞環境における緊急調査技術の開発

本稿では、この中でも特に、2024 年度に実施した「河道閉塞緊急調査」ならびに、「河道閉塞応急復旧作業」のシステムインテグレーションに関する研究開発について紹介する。

2. 河道閉塞緊急調査のシステムインテグレーション

河道閉塞緊急調査では、現場の迅速な状況把握が重要となる。ここで必要な情報としては、画像だけではなく、閉塞部の水位や地形形状の変化、地盤強度などがある。しかしながら、対象とする環境は通常山間部に存在し、これらのデータを、人手で容易に取得することができない。そこで、本プロジェクトでは、ドローン技術を中心とした各種データの収集技術の開発を行うと共に、取得したデータを災害対応チームに提供するための、プラットフォームを開発することとした。緊急調査全体のシステムを図 3 に示し、以下に、2024 年度における「河道閉塞緊急調査のシステムインテグレーション」の主要な成果について紹介する。

提案するシステムは、ドローン空撮で取得する画像/三次元地形情報収集技術³⁾ (国際航業株式会社が担当)、ドローンによる遠隔設置による湛水部の水位/水深調査技術 (東京大学が担当)⁴⁾、ドローンによる遠隔設置による地形変位調査技術 (千葉工大が担当)⁵⁾、河道閉塞崩壊部リスク評価 (東京大学/理化学研究所が担当)⁶⁾ により構成される。ここで取得されたデータや評価結果は、情報共有プラットフォームに集約する。2024 年度には、これらのシステムのインテグレーションを実施すると共に、このシステム検証を行うため、2024 年 10 月、中越の芋川にて、ドローン空撮試験や、ドローンによるセンサデバイスの配備ならびにデータ取得の実験を実施した。この実験において、特に、湛水部の水位/水深調査デバイスについて、400m 以上離れた離着陸地点からのドローンによるデバイスの自動運搬、着水/アンカーによる固定、データ送信という一連の試験に成功し、Technical Readiness Level 5 (TRL5: 模擬的な環境下にて、技術・システムの基本的な機能・性能が実証された状態) をクリアした。図 4 に、ドローンをを用いた配備実験の概要、ドローンの概観、着水の様子を記す。このフ



図4 ドローン離着陸地点 (上)、 デバイスを吊り下げたドローン概観 (下左)、 着水直前のデバイス (下右)

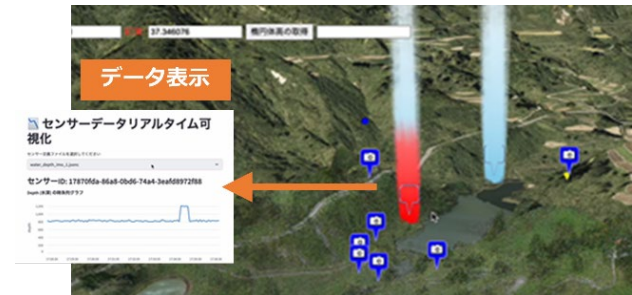


図5 情報共有プラットフォームの運用イメージ (水位センサデータの時系列変化)

ィールド実験により、水深データの遠隔取得を可能とすることが確認できた。なお、このデバイス以外についても、地形情報や画像情報に関し、ドローンを活用することで、遠隔からデータ取得を行うことが可能となることを確認することができた。

このフィールド試験で得られたデータは、情報共有プラットフォームに集約し、データの可視化を行った。このデータの可視化には、CESIUM (Cesium GS, Inc. が提供する 3D 地図プラットフォーム、国土交通省の PLATEAU: 日本全国の都市デジタルツイン実現プロジェクトにも採用) を利用することとした。集約したデータの表示例を図 5 に記す。この例では、実験を行った中越芋川の三次元地形上に、前述した水位センサから得たデータの時系列を可視化したものが示されている。なお、ここでは、水位データのみ紹介しているが、このプラットフォームは、ドローンで取得した画像データや三次元地形データも、同一のプラットフォーム上で可視化できる機能を有する。

また、ドローン空撮で取得した画像情報を分析し、AI を用いて対象とする河道閉塞崩壊部の崩壊リスク評価 (生じ得る二次災害と、その生じやすさを定性的に出

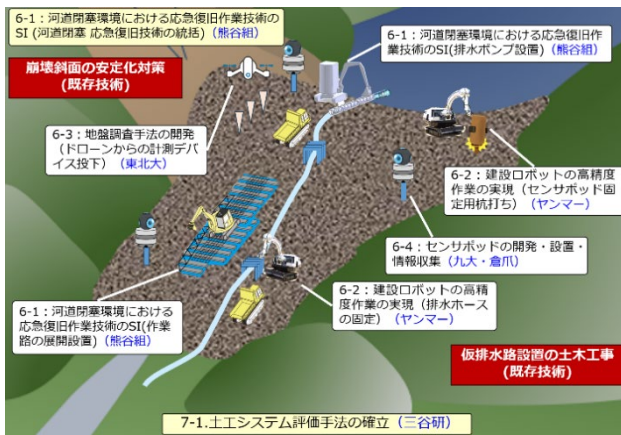


図6 河道閉塞環境における応急復旧技術の開発

力)を行うシステムも開発し、情報共有プラットフォームに統合した。一般に、AIを活用するシステムは、学習データが大量に必要となるが、本プロジェクトで対象とする斜面崩壊については、学習するためのデータが大量には存在しない。そのため、従来のLLM (Large Language Model) やVQA (Visual Question and Answering) を用いたシステムでは、斜面崩壊リスクに関する適切な評価を行うことが困難であるという問題があった。そこで、本研究プロジェクトでは、AIの学習に適した「斜面崩壊リスクに関するデータセット」を新たに作成すると共に、少ない学習データから専門知を効率よく学習し、斜面崩壊リスクを評価するシステムを新たに構築した。詳細は、参考文献⑩に譲るが、このシステムを、過去に斜面崩壊を起こした写真に適用したところ、災害種別や原因の同定ならびに将来リスクについて、従来手法と比較し高い性能を有することが判明した。

3. 河道閉塞の応急復旧のシステムインテグレーション

河道閉塞の応急復旧では、重機を用いた作業が必須であるが、対象とする環境は通常山間部に存在するため、大型の重機は運搬が困難である。そこで、本プロジェクトでは、ヘリコプターで運搬可能な複数の小型建設ロボット（3t未満）を活用し、排水ポンプ設置作業を中心とする河道閉塞応急復旧システムの実現を目指すこととした。応急復旧のシステムインテグレーションについて図6に示し、2024年度における「河道閉塞応急復旧作業のシステムインテグレーション」の主要な成果について、以下に紹介する。

河道閉塞災害においては、斜面崩壊によって堆積した閉塞領域（天然ダム）が河川の越流によって崩壊することで、大きな土石流を起こす可能性があるため、上流の水を下流に流す緊急工事が必要となる。そこで、本プロジェクトでは、上流から下流への水の移動を実現するための排水ポンプ設置に関するシステムインテグレーションを行うこととした。なお、河道閉塞は、山岳地帯で発生することが多いが、重機を運搬する一般的なヘリコプターには重量制限（3t）が存在する。これまでの重機の運搬は、分解可能な重機を分解して運搬し、現地で組み立てるという工夫が行われてきた。しかしながら、迅



図7 電動重機による杭型センサポッドの設置

速な対応が必要となる中で、この組み立ての作業には、長時間（2～3日程度）かかるという課題が存在する。そこで、本プロジェクトでは、分解せずにヘリコプターで運搬可能なサイズ（3t未満）の複数台建設ロボットシステムを用いた河道閉塞災害対応機器を開発することとした。これにより、数名の監督者（作業員0人）のみによる応急復旧作業が迅速に実施可能となると期待できる。

まず、応急復旧の準備について説明する。対象となる河道閉塞環境では、応急復旧の作業に伴う環境変化や突発的な環境変化の可能性があるため、環境情報をリアルタイムに把握する必要がある。そこで、本研究開発テーマでは、杭型データ収集センサ（センサポッド）を開発する⁷⁾と共に、これを設置するため、微細な作業を行うことが可能な遠隔操縦型の建設ロボットを開発した。図7は、模擬環境において、建設ロボットにより杭型センサポッドを模擬地面に挿入する様子を示している。

次に、排水ポンプを設置するシステムについて紹介する。3t未満の小型重機は、分解せずに運搬が可能であるため、迅速な対応が可能となるが、そのサイズが小さいため、排水ポンプの水中投入作業においては、アームの長さが足りなくなるかもしれない、という問題が生ずる。そこで、本プロジェクトでは、軽量フレームを用いた水中ポンプの投入システムを開発した⁸⁾。図8に、水中ポンプを搭載したフレームに2段の延長フレームを継ぎ足し、左フレームを把持して押すことで、右側のポンプを水中に投入するといった、一連の動作を示す。このシステムは、熊谷組の技術研究所が有するフィールドの模擬河道閉塞盛土において、遠隔操縦による動作確認が行われ、その有用性が確認できた。なお、これらのツールやポンプを運搬するためのクローラキャリアダンプの走行には、一部、自動走行が用いられた。

4. まとめと今後の展開

本プロジェクトは、ムーンショット型研究開発目標3において、自然災害環境に代表される多様な環境におけるインフラ構築を実現することを目指し、研究開発を進めてきた。2025年の目標は、模擬自然災害環境にてこれを実現することである。そこで、本プロジェクトでは、それまでにシステム統合を完了し、2025年の夏に



図8 小型油圧ショベルによる排水ポンプの設置動作

は、九州大学内の河道閉塞模擬環境においてデモンストレーションを実現する。これにより、本研究開発テーマで統合する緊急調査システムの Technical Readiness Level 5（模擬的な環境下において、技術・システムの

基本的な機能・性能が実証された状態）を達成することを目指す。

謝辞 本研究は、JST【ムーンショット型研究開発事業】グラント番号【JPMJMS2032】の支援を受けたものです。

参考文献

- 1) 「ムーンショット型研究開発制度」内閣府, <https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/index.html>, (閲覧日 2025.5.20)
- 2) 「多様な環境に適応しインフラ構築を革新する協働 AI ロボット」, <https://moonshot-cafe-project.org/> (閲覧日 2025.5.20)
- 3) 島田徹, 永谷圭司, 谷島諒丞, 金崎裕之, 皆川淳, 永田直己, 金井啓通, 羽田靖史, 藤井浩光, "自然災害対策に活用する遠隔調査システムの開発", 検査技術, April, 2023. Vol. 28(4), pp. 58-63, 2023.
- 4) 谷島諒丞, 永谷圭司, "天然ダム調査のための UAV で運搬可能な小型水深計測デバイスの評価", In 第 25 回 公益社団法人 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2024), pp. 1889-1890, 2024.
- 5) 浅生俊希, 茂松勇毅, 葛西柊摩, 中村亮, 安藤波音, 永谷圭司, 藤井浩光, "災害現場における地形監視のための設置誤差と計測密度を考慮したセンサ配置最適化", In 第 25 回 公益社団法人 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2024), pp. 1891-1896, 2024.
- 6) AREEROB, Kittitouch, et al. "Multimodal artificial intelligence approaches using large language models for expert-level landslide image analysis." Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2025.
- 7) Ryuichi Maeda, Tomoya Kouno, et. al, "Sensor Pods and ROS2-TMS for Construction for Cyber-Physical System at Earthwork Sites," Environmental Science, Engineering, Computer Science, pp.58-63, 2024.
- 8) Kubota Y, Furukawa A, Kitahara S, Amagai T, Asuma T, Hatamoto H and Nagatani K, "Development and Performance Validation for Ground Protection Mats of Construction Machinery on Soft Ground", In 2024 IEEE International Symposium on Safety Security Rescue Robotics (SSRR), 2024.

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

Collaborative AI robots for adaptation of diverse environments and innovation of infrastructure construction (System Integration for Emergency Inspection and Restoration of River Blockages)

Keiji NAGATANI

Since December 2020, the author has served as the project manager of a R&D initiative aimed at creating collaborative AI robots capable of flexibly responding to unexpected situations and continuing operations in challenging environments such as disaster sites. Starting in 2024, the project has focused on integrating previously developed robotic technologies to enable rapid response and provisional restoration following natural disasters. Specifically, we have been working on system integration for emergency inspections and temporary restoration tasks related to river blockages. To support this effort, we also established a dedicated research area on "technologies for river blockage response," with the aim of building a more adaptable collaborative AI robot system. This paper introduces the integration of robotic systems to support emergency inspections and provisional restoration in response to river blockages.

BIM/CIM 活用業務・工事成果品の効果的な活用に向けた管理ファイル案

鈴木 淳史¹・西村 徹²

¹ 非会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）

E-mail: suzuki-a2ua@mlit.go.jp

² 正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）

E-mail: nishimura-t92ta@mlit.go.jp

国土交通省の工事業務等で納品する電子成果品について、電子納品・保管管理システムにおいて BIM/CIM に関するファイルを検索、利用するため、BIM/CIM フォルダの管理ファイルの規定（案）を検討した。フォルダ構成の観点では、PHOTO フォルダと同様に、フォルダ直下の管理ファイルで、サブフォルダを含め、ファイルの検索、利活用を行うこととした。検索、利活用の対象となる項目については、3次元モデル作成引継書シートの項目と、他フォルダの管理ファイルの共通的な項目を参考に40項目を選定した。これらを整備することで、過去の3次元モデルの成果品の発見が容易になり、Data-Sharing 実施の効率化、手戻りの防止、生産性向上につながる。また、同じ種類の3次元モデルを検索することができると、過去の事例を参考にして作成ができ、3次元モデルの普及拡大が期待される。

Key Words: BIM/CIM, Management files, the Electronic Delivery service for the delivery of electronic files, CDE (Common Data Environment), Data Sharing

1. はじめに

国土交通省においては、建設現場の生産性向上を図るため、BIM/CIM を推進している。令和5年度には、BIM/CIM 原則適用の取組が開始され、原則すべての詳細設計業務、工事においては、形状データの視覚化による効果を目的に、3次元モデルの作成、活用を行うこととされた。また、令和6年度には、従来の基準要領類を整理するとともに、業務・工事における BIM/CIM の適用方法を示す BIM/CIM 取扱要領¹⁾が制定された。

BIM/CIM の成果品については、「BIM/CIM モデル等電子納品要領（案）及び同解説 令和2年3月制定、令和4年3月改定」²⁾において、BIM/CIM フォルダに3次元モデル等を電子成果品として納品する場合の仕様を定めた。これらの内容については、令和5年3月に工事完成図書の電子納品等要領³⁾と土木設計業務等の電子納品要領⁴⁾に統合された。

電子納品については、電子納品・保管管理システムを構築し、土木設計業務や工事完成図書の電子成果品を格納している。電子成果品の納品と合わせて、受注者は管

理ファイルを作成、納品している。管理ファイルは各電子成果品の管理に用いるので、XML にて記述される。具体的には、電子納品保管・管理システムにおいて管理ファイルに入力された情報を検索でき、電子成果品の再利用に寄与している。管理ファイルの規定は、成果品を格納するフォルダ毎に定められ、土木設計業務等の電子納品要領³⁾や工事完成図書の電子納品等要領⁴⁾に記載されている。

一方、BIM/CIM の電子成果品を格納する BIM/CIM フォルダについては管理ファイルの規定が定められていない。このため、電子納品・保管管理システムにおいて、BIM/CIM の成果品の検索ができず、利用や情報共有が困難となっている。このことから、電子納品保管・管理システムにて、BIM/CIM 成果品について検索を可能とし、DS (Data-Sharing) を進めるための管理ファイル規定案を検討、作成したことから、本稿で報告する。

2. BIM/CIM の電子成果品

(1)電子納品・保管管理システム

BIM/CIMの電子成果品は電子納品・保管管理システムからダウンロード可能になっている。電子納品・保管管理システムは、土木分野、電気通信設備分野、機械設備工事分野を対象に、これらの設計業務や工事完成図書の電子成果品を格納している。合わせて受注者は電子成果受注者の管理ファイルを納品している。この管理ファイルの一部の項目を利用して、電子納品保管・管理システムに格納されている成果品を検索することが可能となっており、電子成果品の再利用に寄与している（図-1）。管理ファイルの規定は、成果品を格納するフォルダ毎に定められ、土木設計業務等の電子納品要領や工事完成図書の電子納品等要領等に記載されている。

図-1 電子納品保管・管理システムにおける検索機能

(2)BIM/CIM の電子成果品の管理ファイルの規定

電子納品要領では、設計業務、工事で作成される3次元モデルや、BIM/CIM 実施計画書等の BIM/CIM の電子成果品を、BIM/CIM フォルダに格納するように定められ、フォルダ構成は図-2 の通りとなっている。一方で、同要領では BIM/CIM フォルダ内のいずれのフォルダにおいても管理ファイルは格納しないこととなっており、管理ファイルがないことから、電子納品保管・管理システムにおいて、BIM/CIM フォルダの格納データの一覧確認や検索が困難となっている。これを踏まえ、同システムにおける検索性の向上のため、また、データシェアリングの実施を容易にするために BIM/CIM フォルダの管理ファイルの規定を検討した。

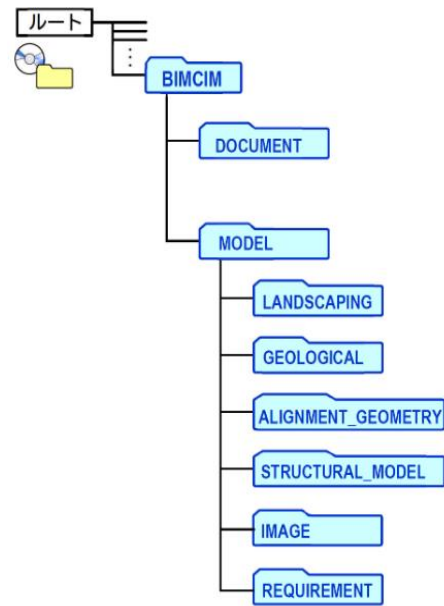


図-2 BIM/CIM の電子成果品のフォルダ構成

3. 管理ファイルの規定案

(1) フォルダ構成からの検討（管理ファイル格納場所）

現状の要領等において、BIM/CIM フォルダのフォルダ構成が定められていることから、現行のフォルダ構成を維持した状態で活用できる管理ファイルとなるよう、既存の他フォルダについて、フォルダ構成と管理ファイルの構成を調査した（表1）。調査結果を参考に、BIM/CIM フォルダにおける管理ファイルの格納場所を検討した。

表-1 電子成果品の既存フォルダのフォルダ構成

	フォルダ名	①	②	③	④
業務	REPORT	○	○	○	
	OPENREP	○	○		
	REGISTER（業務）	○		○	
	DRAWING	○	○		
	SURVEY	○			○
工事	DRAWINGS	○	○		
	DRAWINGF	○	○		
	REGISTER（工事）	○	○	○	
	OTHS	○		○	
	PLAN	○		○	
	MEET	○		○	
共通	PHOTO	○			○
	BORING	○			○
	BIMCIM	※			○

①：管理用 XML、DTD ○：格納データ有

②：直下のデータ（PDF、画像、図面等） ○：検討中

③：ORG フォルダ

④：ORG 以外のフォルダ

現行の BIM/CIM フォルダは、ORG 以外のフォルダがあり、直下のデータ、ORG フォルダがない。これは、「SURVEY」、「PHOTO」、「BORING」フォルダと同じフォルダ構成である。さらに「SURVEY」フォルダは、各サブフォルダに管理ファイルを格納、「BORING」フォルダは、直下の管理ファイルと一部サブフォルダに管理ファイルを格納、「PHOTO」フォルダは一つの管理ファイルでサブフォルダ内の情報を含め、ファイルを検索、利活用できるようになっている。

令和5年度のBIM/CIM活用業務、適用工事の成果品の一部を確認したところ、「BIM/CIM」フォルダ全体のファイル数は最大 300 程度、各サブフォルダに格納されているファイル数は最大 200 程度であった。一方、ひとつの管理ファイルでフォルダ内の検索等が可能となっている「PHOTO」フォルダに格納されているファイル数は最大 2,000 程度であった。以上より、ひとつの管理ファイルで 2,000 程度のファイルを検索等できること、BIM/CIM フォルダのファイル数はそれ以下にとどまることから、BIM/CIM フォルダにおいては、フォルダ直下の管理ファイルで、サブフォルダを含め、ファイルの検索、利活用を行うこととする（図-3）。

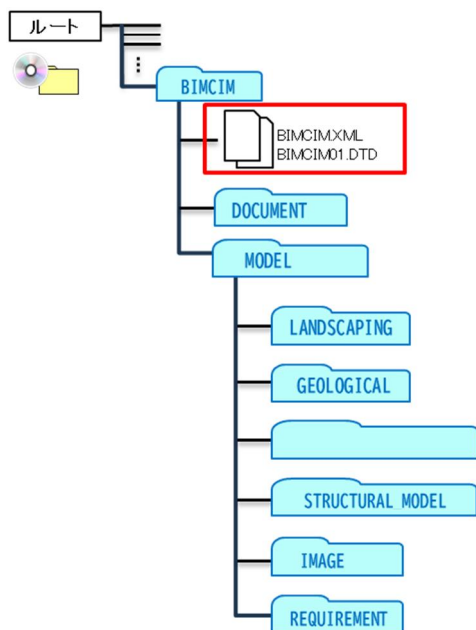


図-3 BIM/CIM フォルダの管理ファイルのフォルダ構成（案）

(2) 管理項目の検討

管理ファイルにおいて検索、利活用の対象とする項目（以下、「管理項目」という。）の選定については、各建設段階毎に引き継ぐために作成することになっている「3次元モデル作成引継書シート」の項目と、既存の他フォルダの管理ファイルの項目を参考にして検討を行った。

a) 3次元モデル作成引継書シート

3次元モデル作成引継書シートは、データシェアリングの観点でBIM/CIMの3次元モデルで引き継ぐべき情報をまとめたものであり、納品する成果物となっている（図-4）。これらの項目を管理項目にすることにより、電子納品保管・管理システム上で3次元モデルの工事間、業務間で比較するような検索や、過去の同じ種類のモデルを参考にすることが期待できる。

整備局・事務所名		
事業名等		
段階 ※1	測量	地質・土質調査
記入日(年月日)		
基本情報		
業務・工事名		
工期		
発注者	担当課	
	職員	
受注者	会社名	
	技術者	
座標参照系		
使用した基準点	点名	
	成果ID	
	等級	
	調製年月日(成果表)	
	X座標値(m)	
	Y座標値(m)	
	標高(m)	
	補正計算	
使用した基準点	点名	
	成果ID	
	等級	
	調製年月日(成果表)	
	X座標値(m)	
	Y座標値(m)	
	標高(m)	
	補正計算	
モデル作成・更新の目的(想定した活用策、導入効果など)		
モデル作成・更新の工種(樋門・樋管、道路土工、橋梁下部工など)		
モデル作成・更新の範囲(キロポスト、工区名、構造物名など)		

図-4 3次元モデル作成引継書シート（抜粋）

b) 既存の他フォルダの管理ファイル

BIM/CIM フォルダに格納されるファイルの性質に最も近いと考えられる「DRAWING」フォルダ等の管理ファイルを参考に必要な項目を抽出した。また、電子納品要領等に記載されている「データ表現」、「文字数」、「記入者」、「必要度」についても既存の管理ファイルを参考に設定した。

c) BIM/CIM フォルダの管理項目（案）

管理項目として設定した 40 項目のうち、34 項目が 3次元モデル作成引継書シートの項目、その他書類情報等の 6 項目は他フォルダの管理ファイルを参考に共通的な項目とした（表-3）。

なお、3次元モデル作成引継書シートに項目のない「施設名称」については、構造物モデルを引き継いだ際や成果品貸与時等に、電子納品保管・管理システムにて、施設単位で関連性のある成果品を網羅的に抽出することが、少しでも可能となるよう設定した。

表-3 BIM/CIM フォルダの管理ファイルの管理項目 (案)

分類	項目名
基礎情報	事業名, 業務・工事名, 工期 (着手, 完了 (●)), 発注者 (担当課, 職員), 受注者 (会社名, 技術者), 座標参照系, 使用した基準点 (点名, 成果 ID, 等級, 調整年月日, X座標値, Y座標値, 標高), モデル作成・更新の目的, 工種, 範囲
モデル情報	モデル格納サブフォルダ名 (●), モデル, データの種類, 新規・更新・未更新, 格納フォルダ名, 作成ソフトウェア, アドオンツール等, ファイル形式, 単位, ワイヤフレーム・ソリッド・サーフェス, 詳細度, モデル形式, 施設名称 (構造物のみ) (●), モデルファイル名, 義務項目・推奨項目の別, 活用内容, モデル概要
書類情報	書類格納サブフォルダ名 (●), 種類ファイル名 (●)
その他	属性, 次工程への引き継ぎ事項, 利用上の制約, 留意点等
ソフトウェア メーカー用 TAG	ソフトウェアメーカーが利用する (●)

●: 3次元モデル作成引継書シートに含まれない項目

4. まとめ

電子成果品の BIM/CIM フォルダについて, 管理ファイルの規定がないことから, フォルダ構成と管理項目の観点で検討を行った。これらの管理ファイルの規定が整備されることにより, 事業名, モデルの作成, 更新の範囲, 施設名称等にて電子納品保管・管理システムで3次元モデル (過去の成果品) の発見が容易になり, DS 実

施の効率化, 手戻りの防止, 生産性向上につながる。また, 同じ種類のモデルを検索することができると, 過去の事例を参考にして, モデルの形状構築, 属性情報への情報入力することが可能になる。3次元モデル作成が容易になると, 利用拡大や普及につながることを期待される。

今後は, 建設生産・管理システムにおけるデータマネジメントのあり方等の検討状況, 電子納品保管・管理システムの利用状況, 機能改良状況等を踏まえ, 引き続き検討を行って参りたい。

謝辞: 管理ファイルの規定案の検討のため, 調査への回答, 意見交換を行ってくださった建設情報共有システム協会 (CISSA) の皆様に, 心より謝意を表します。

REFERENCES

- 1) 国土交通省: BIM/CIM 取扱要領, 2025. [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: *BIM/CIM Toriatsukaiyoryo*, 2025.]
- 2) 国土交通省: BIM/CIM モデル等電子納品要領 (案) 及び同解説, 2020, 2022 改定. [Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism: *BIM/CIM model tou Denshinohinyoryo(an)-oyobi-Dokaisetsu*, 2020, 2022 revised.]
- 3) 国土交通省: 土木設計業務等の電子納品要領, 2001, 2024 改定. [*Procedures for Electronic Delivery of Civil Engineering Design Work*, 2001, 2024 revised.]
- 4) 国土交通省: 工事完成図書の電子納品等要領, 2001, 2024 改定. [*Procedures for Electronic Delivery of Documents Upon Completion of Works*, 2001, 2024 revised.]

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

DRAFT OF MANAGEMENT FILES FOR EFFECTIVE USE OF ELECTRONIC DELIVERY OF DESIGN WORK AND DOCUMENTS ON CONSTRUCTION WORKS

Atsunori SUZUKI and Toru NISHIMURA

The draft of management files for effective use of electronic delivery of design work and of construction work is examined. About the contexture of folders containing electronic delivery of these works, the management files arranged just below BIM/CIM folder are possible to search and to use BIM/CIM files. The 40 objects of search and use are composed of ones of forms for succession of 3D models and ones of management files of other folders. These managements files make possible to search works of 3D models easily, to do data sharing effectively, to prevent rework and to increase productivity. By referring to past 3D models, it is easy to make 3D models and 3D models are expected to be spread.

河川法許可審査の自動化のための 審査基準のデジタル化

矢本 貴俊¹・小澤 一雅²

¹ 正会員 東京大学大学院学術専門職員 工学系研究科総合研究機構 i-Construction システム学寄付講座

(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

E-mail: yamamoto@i-con.t.u-tokyo.ac.jp

² フェロー会員 政策研究大学院大学 教授 (〒106-8677 東京都港区六本木 7-22-1)

E-mail: k-ozawa@grips.ac.jp

河川法許可申請については、申請者にとっての利便性向上や審査者にとっての負担軽減が課題である。行政機関の許認可業務における BIM を活用した効率化に関しては、先行事例として建築分野の確認申請が挙げられ、機械的な処理による法適合判定を行う取組がある。本研究では、BIM の活用による河川法許可審査の自動化において重要な審査基準のデジタル化を目的として検討を行った。

Key Words: River Law, BIM/CIM, Automated Checking, Digitalization of Regulation, e-Law

1. はじめに

昨今の急速な ICT 技術の革新と発展に伴い、建設分野において計画から設計・施工・維持管理までのプロセスに BIM/CIM（以下、まとめて「BIM」と記す）の活用が一層の広がりを見せている。

行政機関の許認可業務における BIM の活用に関しては、建築分野における確認申請（以下、「確認申請」）が先行している。BIM 先進国の 1 つと称されるシンガポールでは、2015 年より 5,000m²以上の建物に対する確認申請における BIM モデルの提出が義務化された¹⁾。また、規制当局の審査プロセスの合理化のため、AMC(Automated Model Checker)の開発も進められており、可能な限り多くの規制項目に対して AMC を適用することとしている²⁾。シンガポール建築建設局(BCA)によると、AMC の対象は主として「決定論的ルール（建物の要素や空間の幾何学的、空間的側面により一義的に判定が可能な項目）」であり、複雑な要件や定量化できない要件については、引き続き手動で審査することとしている³⁾。また、日本も確認申請への BIM の活用を推進しており、BIM モデルから出力した整合性の高い図面を利用することで、図面間の整合の確認を行う「整合性確認」の効率化が可能な「BIM 図面審査」を 2026 年より開始する³⁾。さらに、BIM ビューア機能を活用して審査に必要な情報を自動的に表

示させることにより審査作業の更なる効率化を図る「BIM データ審査」を 2029 年春頃に開始予定としている³⁾。BIM データ審査では、可能な項目については、記載されるべき事項が漏れなく記載されているかを確認する作業（明示事項審査）の自動化も含まれるが、審査（主として法適合審査）は原則として視認によるものとしている⁴⁾。Building SMART International の技術報告によると、確認審査における自動建築基準法審査（ACC: Automated Code Checking）の実現のためには、必ずしも数学的に正規化されていない自然言語による法的記述を機械可判コード（e-Law）に変換することの必要性を示唆しているところである⁵⁾。

河川法許可申請については、従来の紙をベースとした実務が主流となっており、申請者にとっての利便性向上、審査者にとっての負担軽減が課題となっていることから、著者らはこれまでに河川法許可申請及び審査に関するワークフローの分析や課題点の抽出を行い、協議工程では申請者と審査者双方の事務手続き（やりとり）の効率化、審査工程では電子情報を用いた審査作業の省力化等が課題として挙げられ、対策の 1 つとして BIM の活用可能性について示唆したところである⁶⁾。

本稿では、BIM の活用による河川法許可審査の自動化において重要な審査基準のデジタル化に関して検討を行ったため、報告する。

2. 審査基準のデジタル化に向けた予備的検討

行政機関の許認可に関する審査業務の電子化に関してはいくつかの段階があり、確認申請において様々報告されているが、建築研究所は「1. Manual Checking without IFC」「2. Manual Checking with IFC」「3. Hybrid」「3+. Automated Code Checking(ACC)」の4段階に整理している⁷⁾。第2段階までは従来の審査の定義や在り方を踏襲するものであるが、第3段階以降はこれまでの定義や在り方から逸脱した業務変革(DX)をもたらすものであり、積極的に目指すべき将来像の1つと言える。一方で、ACCの実現にあたっては機械可判コード(e-Law)の作成、つまり、審査基準をデジタル化することが必要である。審査基準が自然言語により記述されている場合、従来の審査の定義や在り方から離れ、審査基準を再定義する等の必要性も生じる。

本稿では、審査基準のデジタル化に向けた予備的な検討として、河川法許可の審査基準の分類を行うとともに、デジタル化が可能と思われる基準については、機械的な処理による適合判定(以下、「自動判定」という)を行うために必要な情報の抽出を行った。

(1) 河川法許可の審査基準の概要

河川法許可に関する審査基準は河川法に基づく複数の政令・省令・通達(以下、「法令等」)により規定される。また、満足「すべき」項目だけでなく、河川管理や工学的な観点から満足することが「望ましい」項目について法令等の解説に記述されている場合もある(表-1)。審査担当者は審査業務にあたってこれらの審査基準を網羅的かつ正確に理解する必要があることから、審査業務には多くの知識と高い技量が求められる。国土交通省は、審査業務を効率的に進めることを目的に審査基準を1つの文書に集約した「チェックリスト」を平成23年に作成・周知⁸⁾。現在は都道府県を含めた全国の河川管理者(審査者)がこれを活用して審査業務を行っている。なお、チェックリストは公表資料であることから、運用上は事前に申請者の手元に渡し、申請者は審査基準を予め留意した上で設計を進めることになる。

(2) 審査基準の分類の考え方

BIMは3次元の「形状情報」とすると同時に、室等の名称や面積、材料・部材の仕様等の「属性情報」を併せ持つ⁹⁾。このため、「形状の重ね合わせ」「情報の有無」「数値の大小」等観点においてはBIMに内包される情報を駆使することによる機械的な処理に適している。構造物の要素や空間の幾何学的側面により一義的に判定が可能な審査基準(以下、「機械的判定が可能な審査基準」という)については、大きな変更を伴うことなく審査基

表-1 河川法許可の審査基準が定められた法令等。

※対象構造物によっては、下記に加えて別途定められた法令等を遵守する必要がある。

審査基準が定められた法令等	種別
工作物設置許可基準	通達
解説・工作物設置許可基準	解説
河川管理施設等構造令	政令
河川管理施設等構造令施行規則	省令
河川管理施設等構造令及び同施行規則の施行について	通達
河川管理施設等構造令及び同施行規則の運用について	通達
改定解説・河川管理施設等構造令	解説
建設省河川砂防技術基準(案)同解説	解説
堤内地の堤脚付近に設置する工作物の設置について	通達
河川敷地の占用許可について(準則)	通達

準のデジタル化が可能であることが期待できる。一方で、審査基準が自然言語により記述され、一義的に判定が不可能な審査基準(以下、「意味内容の判定が必要な審査基準」という)については、審査基準をデジタル化するために再定義(詳細化)する必要性が生じる等、多くの労力を要することが予想される。

本稿では、河川法許可審査基準を「機械的判定が可能な審査基準」または「意味内容の判定が必要な審査基準」に分類を行った。なお、対象構造物によって審査基準の内容が異なるため、一例として「橋梁(約90項目)」を対象とした。

分類の考え方として、例えば、「堤体内に橋脚を設置していないこと」という審査基準は形状の重ね合わせの観点における前者の一例である。従来は審査者が2次元適に描画されたイメージ(2次元図面)を判読することにより適合判定を行っているが、堤防の形状データ及び設計物の形状データを重ね合わせることで、橋脚が堤体の内外いずれに該当するかが機械的に判定できる。

また、「河積阻害率は5%以内か(新幹線及び高速自動車国道等は7%以内か)」という審査基準は数値の大小の観点における前者の一例である。河積阻害率は図-1に示す数式により定義され、従来は申請者が手計算により算出し、審査者が検算及び適合判定を行っているが、審査者の所有する河川に関するデータと申請者の所有する設計物に関するデータを組み合わせることで、空間の幾何学的な要素に基づき機械的に算出することが可能である。

一方で、「環境に配慮した護岸となっているか」という審査基準は自然言語により記述されるものであり、後者の一例である。「環境に配慮した護岸」の定義は一義的に定まるものではなく、実務においては生態・景観・地域特性・社会情勢、あるいは費用対効果等を勘案して適合判定が行われる。

理論上は自動判定が可能であっても、現実の審査業務に適用するためには、審査基準のデジタル化を行った上で、自動判定に必要なデータの整備が不可欠である。例えば、河川管理者が所有する河道や堤防の断面形状に関するデータは、従来は実測による水準測量に基づく2次元的な描画が主流であったが、近年は点群測量データを活用した三次元管内図の整備が進められる¹⁰⁾等、今後はBIMをはじめとする河川の空間や施設等の3次元データの活用の促進が期待される。このため、機械的判定が可能な審査基準に関しては、自動判定を行うために必要となるデータの抽出も併せて行った。

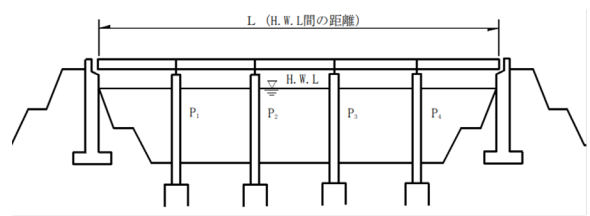
(3) 結果と考察

橋梁を例にした審査基準の分類結果を表-2に示す。

約半数の審査基準については、機械的判定が可能な審査基準と分類され、比較的容易に審査基準のデジタル化が可能であることが期待される。これらの審査基準は、審査担当者の知識や経験等によって適合判定の内容に差異が生じにくい基準であると言えるが、審査の実務においては、申請書に添付された数十から数百枚に及ぶ2次元図面の中から適合判定に必要な情報の抽出作業、必要に応じて加工を加えて組織内協議に用いる説明資料に転記する作業等、審査担当者による比較的単純な反復作業に負担を要している側面がある。また、比較的容易に算定・適合判定が可能であるがゆえに、認識のずれや計算条件の設定ミスを防ぎ、他の審査基準に対する検討も含めた設計全体に関わる手戻りを回避することが重要である。この類の審査基準に対して自動判定を行うケースが確認申請におけるシンガポールの事例に近い。自動判定を行う場合、審査者による比較的単純な反復作業の負担軽減や手戻りリスクの軽減に寄与できることが期待される。

また、自動判定を行うために必要なデータの抽出を行った結果を表-3に示す。適合判定に必要なデータは審査基準毎に異なるものの、大きくは河川管理者が所有する河川空間や施設の3次元データや河川計画・維持管理に関する諸元データ、申請者が作成する設計物（護岸等の付帯設備を含む）の3次元データに分けられる。

残る約半数の審査基準については、意味内容の判定が必要な審査基準として分類された。これらの審査基準の適合条件が一義的に定まらない理由として、用語の定義が詳細に定められておらず複数通りの解釈が想定されるもの、特定事項に対する具体的な評価や対策の提示を求め適合条件の自由度が高いもの、数値シミュレーションによる分布特性から適合判定を行うもの等が挙げられ、1つの審査基準にこれらの特徴が複数該当する場合もある。これらの審査基準は審査担当者の知識や経験等によっても判断が分かれる局面があり、人事異動等によって審査担当者が変わることによって適合判定に変更が生じ



$$\text{河積阻害率}(\%) = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) / L \times 100$$

L: H.W.L. の水面及び堤防（左右岸）との交点間の距離

- 河積阻害率の算定に必要なデータ：
- ・堤防の形状データ
 - ・河川諸元データ（H.W.L.の高さ）
 - ・設計物の形状データ

図-1 河積阻害率に関する審査基準

表-2 審査基準の分類結果

機械的判定が可能な審査基準	46
意味内容の判定が必要な審査基準	47
計	93

※対象構造物が橋梁の場合

表-3 自動判定を行うために必要なデータ

河川管理者（審査者）が所有するデータ
・河川空間や施設の3次元データ
・河川計画や維持管理に関する諸元データ （計画高水位や計画高水流量等）
申請者が所有（作成）するデータ
・設計物（護岸等の付帯設備も含む）の3次元データ
※機械的判定が可能な審査基準に限る

るリスクがあることから、議論の前提条件、過去の協議歴、合意できている範囲や内容を当事者間で効果的に共有することが重要である。この類の審査基準に対しては、日本における確認申請においては、BIMビューア機能を活用することで適合判定に必要な情報を自動で表示させ、適合判定作業の効率化のアプローチを取っているところであるが、審査基準を詳細に定義してデジタル化することも含めて、複数の判断基準を考慮してに検討を進める必要がある。

(4) 今後の課題

審査基準の分類にあたっては、関連法令や技術資料等による考え方にに基づき分類を行ったが、今後は審査実務を担う担当者へのヒアリング調査を行うなどして判断基準を更に具体化する必要がある。このため、本調査は予備的な検討として位置付けた。

河川に関する3次元データは近年整備が進められつつあるが、許認可を含む河川分野の実務においては2次元図面を用いる手法が一般的である。BIMを業務プロセスに組み込むにあたっては、各種データの連携方策や3次

元的な手法の適用に伴う負荷が省力化の要素を上回らないことに留意して検討を行う必要があり、今後の課題である。

3. 結論及び今後の展望

本稿では、BIM の活用による河川法許可審査の自動化において重要な審査基準のデジタル化に向けた予備的な検討を行った。

橋梁に関する審査基準の分類を行った結果、約半数は比較的容易にデジタル化が可能と分類され、機械的な処理による判定（自動判定）を行うことにより、主に審査者による比較的単純な反復作業の省力化に寄与できることが期待される結果となった。

一方で、残りの半数は適合条件が一義的に定まらないことから、デジタル化のためには審査基準の再定義（詳細化）の必要性があり、審査の自動化にあたっては構造物の要素や空間の幾何学的側面に基づく機械的な処理による判定だけでなく、複数の判断基準を考慮する必要があることが示唆された。

今後は、機械的な処理による判定が可能と思われる審査基準に対してはデジタル化の検討を進めるとともに、意味内容の判定が必要な審査基準のデジタル化の手法についても検討する必要がある。複数の判断基準を用いて判定するプロセスや判定に必要な情報について調査を行う予定である。

REFERENCES

- 1) シンガポール建築建設局（BCA）発表資料：Deadlines For Projects Requiring Mandatory BIM e-Submission For Regulatory Approval, 15 Apr 2015
- 2) シンガポール CORENET-X 公式 HP：
<<https://support.corenet.gov.sg/hc/en-us>>
- 3) 国土交通省住宅局発表資料：2024 年 7 月，
<<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/content/001757621.pdf>>
- 4) 建築確認における BIM 活用推進協議会：令和 5 年度検討成果報告会資料，P.32，2024 年 7 月 4 日
- 5) Building SMART International, Regulatory Room WG1 e-submission guideline: e-submission common guidelines for introduce BIM to building process, Technical Report No. RR-2020-1015-TR, P.17, Aug 2020.
- 6) 矢本貴俊，小澤一雅：河川法許可申請及び審査に関するワークフロー分析，2024 年 7 月 23 日，第 6 回「i-Construction の推進に関するシンポジウム」。
- 7) 武藤正樹（国立研究開発法人建築研究所）：日本初 BIM，国際標準化へ～BIM に関する国際標準化団体に認められた我が国の取組～，P.7，2020 年 6 月
<<https://www.kenken.go.jp/japanese/information/information/press/2020/6.pdf>>
- 8) 国土交通省水管理・国土保全局：許可工作物技術審査の手引き～チェックリスト～，平成 23 年 5 月
<https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guide-line/kasen/pdf/kyokakousakubutu_tebiki.pdf>
- 9) 建築確認における BIM 活用推進協議会：令和 5 年度検討報告書，P.161，令和 6 年 3 月
- 10) 国土交通省水管理・国土保全局：河川管理用三次元データ活用マニュアル（案），令和 2 年 2 月
<https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guide-line/kasen/pdf/3jigen_manual.pdf>

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

DIGITALIZATION OF REGULATION FOR AUTOMATED CHECKING IN PERMISSION OF RIVER LAW

Takatoshi YAMOTO, Kazumasa OZAWA

Submission for the permission of river law has several issue, such as convenience for applicant and load for regulatory agency. With regard to improvement of efficiency by utilizing BIM in government permission work, a pioneering case is automated code checking in application for building permission. In this study, we conducted a survey of digitalization of regulation in river law which is important for automated checking by utilizing BIM.

3次元計測技術を用いた 出来形管理要領(案)の改定について

桐井 健一¹・吉永 弘志²・矢野 祥吾³・杉谷 康弘⁴

^{2,4}正会員(^{1,3}非会員) 国土交通省 国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

E-mail: nil-actd@ki.mlit.go.jp

建設現場の生産性を向上させ、魅力ある建設現場の実現を目指す国土交通省のi-Constructionにおいては、ICT（情報通信技術）の全面的な活用を推進するため、3次元計測技術に対応した出来形管理基準、監督・検査要領、および出来形管理要領を整備している。2023年度の直轄工事では公告件数の87%で実施されるに至っているが、都道府県・政令市では23%（土工）となっており、中小企業には、まだ十分に普及していない。その解決策の一つが、出来形管理要領を分かり易くすることと考え、要領の簡素化を行った。また、提出書類の簡素化等、出来形管理要領の改定を行ったので、そのポイントを報告するものである。

Key Words : i-Construction, information and communication technology, three dimensional measurement technology, as-built form management

1. はじめに

(1) ICT施工とは

建設現場の生産性を向上させ、魅力ある建設現場の実現を目指す国土交通省のi-Constructionは、土木構造物等の設計、施工、検査、および維持管理でのICTの活用による生産性向上・働き方改革を目指している。ICTを全面的に活用する「ICT活用工事」（図-1）では、①3次元起工測量、②施工用の3次元設計データの作成、③ICT建機を用いた施工、④3次元出来形管理、および⑤3次元データの納品を行う。

(2) ICT施工に対応した出来形管理の基準類の整備

土木工事の監督、および検査は会計法に基づく政令（予算決算及び会計令）により契約担当官等が行うこととされ、実務的な要領は通達、通知等で定められている。情報化施工^aの技術のうち、一般化して定着を図る必要のあるものについては、直轄工事において使用を原則化

する旨が通達¹され、その後 3次元計測技術に対応した出来形管理基準、監督・検査要領、および出来形管理要領（「3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）²⁾」）が整備されている。これらの基準類の整備として、平成28年度に土工ではじめられたICT施工を皮切りに、舗装工、浚渫工、地盤改良工、構造物工等へと拡大³⁾、さらに、令和元年度からは産学官関係者で構成される「ICT導入協議会」に属する関係団体を介して「新たなICTまたは新たな工種の出来形管理手法」等の提案を募集、民間提案を反映した基準類の策定・改定が進められている。

(3) ICT施工を更に普及させるための課題

令和6年度については、下記の課題認識の元、出来形管理要領の改定を行った。

- ① 中小企業への普及のため、出来形管理要領を分かり易い構成・内容とする。
- ② 受注者の作業を省力化するため、書類の簡素化を図る。
- ③ 工事成果物である3次元データを有効活用するため、電子成果品に管理ファイルを追加する。

2. 出来形管理要領の簡素化

(1) 構成の改良

平成28年度にICT土工の要領を作成し、その後、随時工種を追加してきた。要領の構成としては、工種の追加に合わせ、工種毎の編で構成してきた。また、各工種について

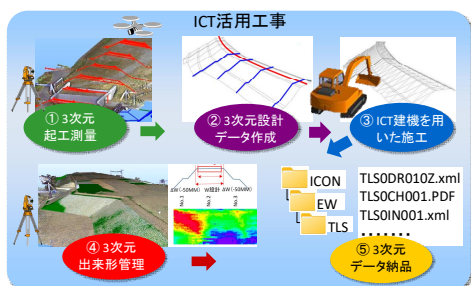


図-1 ICTを全面的に活用した工事の流れ

^a情報通信技術（ICT）を工事の施工等に活用し、従来の施工技術と比べ、高い生産性と施工品質を実現する施工システム

も新しい計測技術を適時追加してきている。(図-2)

工種	技術
■ 土工 ■ 舗装工 ■ 路面切削工 ■ 河川浚渫工 ■ 護岸工 ■ 表層安定処理等・固結工（中層混合処理） ■ 固結工（スラリー攪拌工）・パーチカルドレン工 ■ 法面工 ■ トンネル工 ■ 基礎工（矢板工・既製杭工・場所打工・鋼管矢板基礎工） ■ 擁壁工 ■ 構造物工（橋脚・橋台） ■ 土工（1,000m3未満）・床堀工・小規模土工・法面整形工 ■ 構造物工（橋梁架設・床版） ■ 付帯道路施設工等 ■ 電線共同溝工 ■ コンクリート堰堤工	● 空中写真測量（UAV） ● 地上型レーザースキャナー（TLS） ● 地上移動体搭載型レーザースキャナー（地上移動搭載型LS） ● 無人航空機搭載型レーザースキャナー（UAVレーザ） ● TS（ノンプリズム方式） ● TS等光波方式 ● RTK-GNSS ● 施工履歴データ ● 地上写真測量 ● 音響測深機器 ● モバイル端末を用いた3次元計測技術

図-2 3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）の工種と計測技術

その結果、令和6年度版では、17工種で構成され、1,400頁余りの分量に達していた。そのため、全体の理解をすることは容易ではなく、知りたい情報を迅速に見つけたり、工種毎の違いを把握したりすることも困難となっていた。そのため、構成を「総括表」、「3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）」、「技術概要集」、「参考資料」に分けるとともに、使い勝手や分かりやすさに留意して再編成を行った。(図-3)

(2) 総括表

総括表は、各工種に対する適用範囲（起工測量、出来形管理など）、適用技術を表形式にしたものであり、一目でそれらを確認することができる。総括表はPDFで作成されており、適用可能な事項については、表中の印をクリックすることで、リンクしている説明箇所を参照することができる。

(3) 3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）

要領本体は、実施においての全工種に共通的な内容や原則的な内容にできるだけ絞り込んだ内容としている。「本編」、「別紙1 実施事項」、「別紙2 計測性能及び精度管理」で構成されている。工種別の整理ではなく、実施事項ごとに共通内容を集約し、工種別の内容を追記記載するようにしている。別紙2では、各工種の「測定精度と計測密度」、「精度確認方法」を一覧表に整理し、工種毎に違いが理解しやすくなっている。なお、要領本体は、450頁程度にスリムされている。

(4) 技術概要集

技術概要集は、3次元計測技術16技術について、技術の仕組み、計測方法を解説したものである。イラストを多く使用することで、初めて見る人でも理解しやすい内容となっている。

(5) 参考資料

参考資料は、「3次元設計データ作成チェックシート」、「精度確認、出来形算出ガイド」で構成され、提出する様式等を掲載している。

(6) 使い方ガイド

新しくなった出来形管理要領の使い方を理解してもらうために、使い方ガイドも合わせて公表している。要領の構成の理解や、リンク機能を使うための設定などを解説している。新しく始める方だけでなく、従来の要領構成に慣れている方が混乱しないように配慮したものである。

3. 書類の簡素化

(1) デジタル技術（AR等）を用いた出来形立会確認

AR（拡張現実）等を活用することにより、出来形管理図表の作成・提出が不要となる技術について、現地調査を実施し、適用可能であることを確認した。(図-4)

AR等を活用することで、現地の映像上にヒートマップを重ね合わせてタブレット等に画面表示することができ、ヒートマップと現地との整合性を迅速に確認することができる。このデジタル技術を活用した立会確認を、従来の紙面の出来形管理資料を用いた立会確認に代えることができるように要領を改定した。デジタル技術を活用した立会確認を実施した場合は、出来形管理資料の電子納品成果物に代えて、「ヒートマップ（出来形）をデジタル技術（AR等）を用いて工事完成箇所へ投影するために必要なデータセットおよびそのビューアーファイル」を電子納品することができるようにした。土工、舗装工、河川浚渫工において適用可能となっている。

(2) 精度確認試験報告様式の簡素化

事前精度確認試験結果を提出する際の記入様式の簡素化を行った。旧様式では、2枚が必要で、実施時の写真を貼り付けなければならない箇所も多かった。これをスリム化し1枚の様式とし、写真の貼り付けは不要とした。

4. 電子成果品の管理ファイルの作成

工事完成図書の電子成果品のうちICT活用工事の3次元データ納品の作成要領は出来形管理要領で定められている。現行の出来形管理要領ではフォルダ名とファイル名で工種・計測技術及びデータの種別が示されており、電子納品時のチェックや納品後の閲覧には活用しづらい。一方、工事の完成図・打ち合わせ簿等では、DTDとXMLからなる管理ファイルで電子納品の内容を示すことで、電子納品時のチェックや納品後の閲覧を行えるようにしている。そこで、3次元データ納品でもそれらが行えるようにするための管理ファイルを作成するルールを検討した。令和6年度は、管理ファイル作成要領の原案と管理ファイルの作成事例を作成し、全国の工事受注担当者（業団体）、ソフトウェア関係者、および工事発注担当者にアンケートを行い、管理ファイル作成要領の不明確な点、実務対応の課題等について意見聴取を行った。まだ改定には至っていないが、今後、更に検討を進めていく予定である。

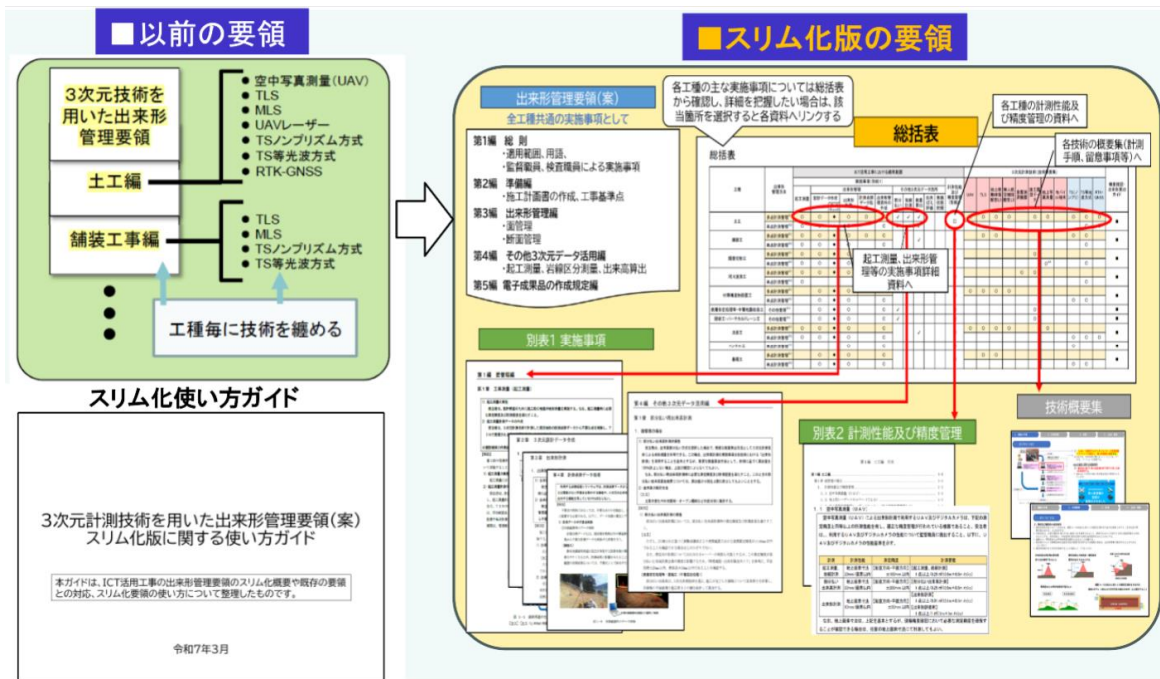


図3 出来形管理要領のスリム化

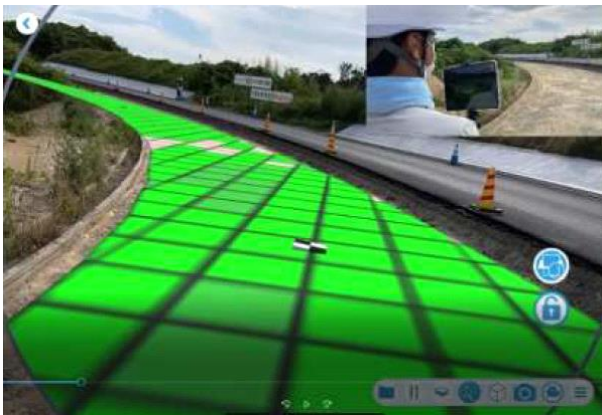


図4 ARを活用した出来形管理

5. その他の出来形管理要領・基準類の改定

(1) 施工履歴データを用いたサンドコンパクションパイル工の出来形管理

ICT施工の工種拡大に伴い、「軟弱地盤処理工 サンドコンパクションパイル工 (SCP工)」の出来形管理要領を新設した。杭打機の施工履歴データを用い、杭芯位置、杭径、打込み長の出来形管理を行えるようにしている。従来は100本につき1箇所4本の杭径を図-5のように掘り返して計測する必要があったが、投入する砂の体積を計測し、杭径に換算することで出来形管理ができるようにした。これにより、掘り起こし・埋戻し・転圧作業が省略され、作業の効率化が図られる。なお、杭100本につき1箇所の抜き取り確認から、施工履歴データを用いた全数管理となっている。(図-6)



図-5 従来の掘り起こしでの出来形管理 (サンドコンパクションパイル工)

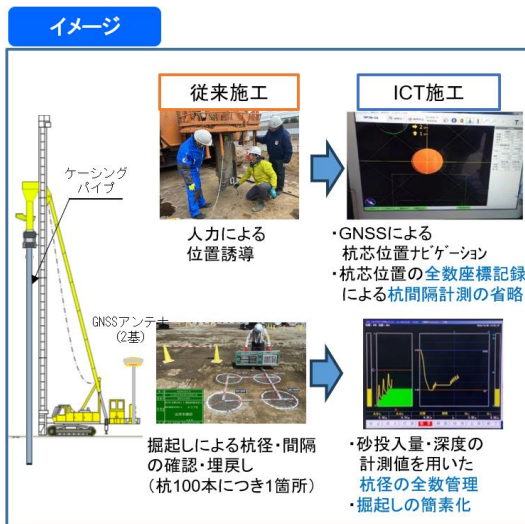


図6 サンドコンパクションパイル工改定概要

(2) 出来形管理の監督・検査要領の統合

現在の出来形管理の監督・検査要領については、各計測技術毎の要領及び一つの要領で複数の工種を記載している要領が混在していた。そのため、出来形管理要領と体系を合わせる構成に改定した。

6. 出来形管理要領に関する質問対応

出来形管理要領に関する実務者の疑問や意見に広く耳を傾けるため、質問を電子メールで受け付け回答している。また、代表的な質疑応答はQ&A集としてホームページに掲載している。近年、工種の拡大と計測技術の多様化により、質問数が増加傾向にある。（図-7）

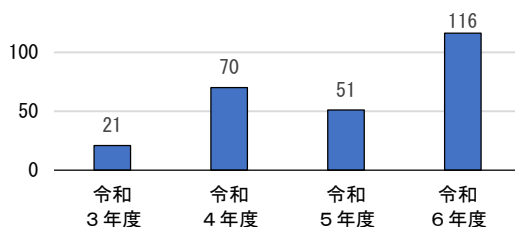


図-7 質問対応件数の推移

質問のなかには、出来形管理要領のわかりにくさに起因するものが多いため、毎年改定で対応しているところではあるが、十分ではない。現在、事前精度確認試験等の作業の目的について解説することでわかりやすくする工夫を検討している。質問については、重要度（土木構造物、後工程への影響度等）、生産性、経済性、出来形管理要領の記載事項のわかりやすさ、種別（計測方法、精度管理等）等の観点で分類整理している。優先度を考慮して今後の出来形管理要領の改定等に反映させる予定である。

質問への対応は計測の品質向上、研究室の技術力向上、および現場ニーズの把握につながると考えている。

7. まとめ

3次元計測技術等のICTは小規模な工事などでも活用されるようになってきている。今後も民間提案による工種拡大、電子納品成果物の利活用の促進、質問対応、および3次元計測技術の検証により、ICTの活用が拡大し、全ての建設現場において生産性と魅力が向上することを目指す。

参考文献

- 1) 「情報化施工技術の使用原則化について」（国官技第291号、国総公第133号、平成25年3月15日）
- 2) 要領関係等（ICTの全面的な活用）
https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/sosei_constplan_tk_00051.html (参照日 2025.05.09)
- 3) ICT導入協議会
https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/sosei_constplan_tk_00052.html (参照日 2025.05.09)

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

REVISION OF THE AS-BUILT FORM MANAGEMENT GUIDELINES(DRAFT) UTILIZING THREE-DIMENSIONAL MEASUREMENT TECHNOLOGY

Kenichi KIRII, Hiroshi YOSHINAGA, Shogo YANO, Yasuhiro SUGITANI

The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism's i-Construction aims to improve the productivity of construction sites and create attractive construction sites, and to promote the full use of ICT (information and communication technology), it has established a standard for work-in-progress management, supervision and inspection guidelines, and work-in-progress management guidelines that correspond to 3D measurement technology. In direct construction works in fiscal 2023, 87% of the announced works are implemented, but in prefectures and designated cities, it is only 23% (earthworks), and it is not yet fully adopted by small and medium-sized enterprises. One solution to this problem is to make the work-in-progress management guidelines easier to understand, so we simplified the guidelines. In addition, we have revised the work-in-progress management guidelines, such as simplifying the documents to be submitted, and we will report on the key points.

海岸工事（人工リーフ改良）における ICT技術の活用について

藤井 久忠¹・岸岡 正樹²・大井 哲哉³

¹ 非会員 共和土木株式会社 土木部船舶課（〒938-0001 富山県黒部市荒俣 1600 番地）
E-mail: h_fujii@t-kyowa.co.jp

² 非会員 共和土木株式会社 土木部土木課（〒938-0001 富山県黒部市荒俣 1600 番地）
E-mail: kishioka@t-kyowa.co.jp

³ 非会員 国土交通省北陸地方整備局黒部河川事務所（〒938-0801 富山県黒部市天神新 173 番地）
E-mail: ooi-t84s6@mlit.go.jp

本工事は富山湾特有の「寄り回り波」により被災した富山県下新川海岸朝日町東草野地先の既設人工リーフ改良工事である。海上作業は気象・海象の影響を大きく受けるため、施工時期が例年 5 月～9 月と限られる地域である。施工に先立ち現場海域を測量した結果、予想していなかった支障物（既設本体ブロックや岩石の散乱、沖側の堆砂）の撤去が必要となることが判明した。作業工程が増えることで今年度の完工ができない可能性が生じたため、当該年度より本格運用となった ICT 施工による現場管理手法を用いて海上作業の効率化を図り、工期短縮を図った取組みについて報告する。

Key Words: Improvement of artificial reefs, Efficiency improvement of offshore operations, Shortening of construction period

1. はじめに

（1）工事内容と現場の問題点

人工リーフは、波の勢いを弱め、越波の減少や背後に砂を貯えて侵食を防ぐことを目的とし、景観に配慮して堤体を海面下にとどめた施設であり、汀線から離れた沖側に汀線にはほぼ平行に設置される施設。

本工事は「寄り回り波」により被災した既設人工リーフ全体延長 160m のうち約半分 L=86m を改良する工事である。



写真-1 完成時

海岸工事は作業の主体が海上、海中となることから風や波の影響を大きく受ける。また、河川の出水期

には土砂の流出による濁りが発生し、現場作業（潜水）が不可能となる。今回施工の改良工事では新設工事と比較してブロックや岩石の撤去など段取り替えが多岐にわたるため、限られた施工期間の中で海象状況、施工プロセス、起工測量で判明した支障条件を合わせて工程確保が困難であることが懸念された。



写真-2 潜水作業の様子

（2）既設人工リーフの現状把握

海中の状況把握のための起工測量では、従来の潜水士による横断測量に代えて安全性が高く（測量船の喫水深）省力化が図れる UAV グリーンレーザを用いた 3 次元測量を導入した。

測量の結果、陸側は既設ブロックや岩石が広範囲に飛散、沖側は既設ブロックが堆砂により埋まっていることが判明した。

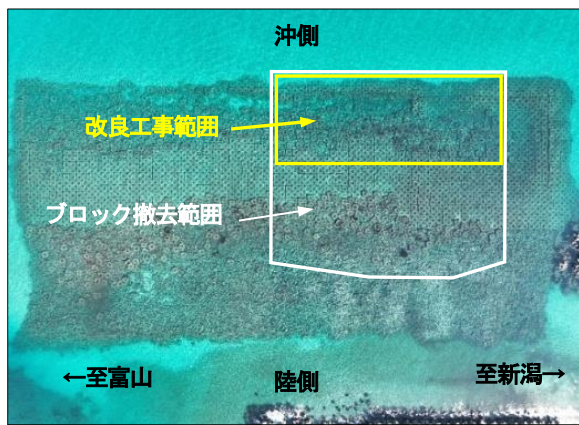


写真-3 UAV画像（工事開始前）

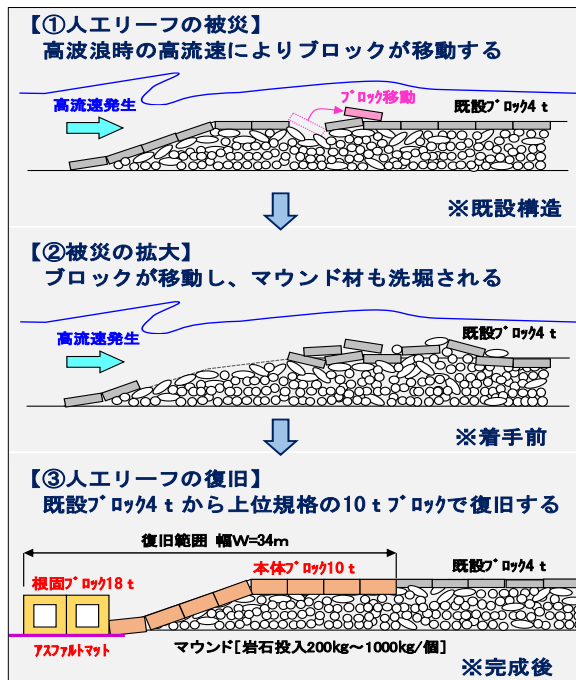


図-1 人工リーフの被災メカニズムと改良対策

2. 現場での工期短縮に向けた取り組み

(1) ICT施工の導入

- ・ICT建設機械「ブロック据付支援システム」
- ・3次元出来形管理手法による段階確認

海上起重機作業全般（ブロック撤去、据付、捨石投入等）を対象に、ICT建設機械（マシンガイダンス機能）を有する「ブロック据付支援システム」の搭載を行った。

海上測量は、起工測量をUAVグリーンレーザ、出来型管理をナローマルチビームにより実施した。

これらを活用し、3次元出来形管理「面管理を新規導入」により実施を行った。

① ICT建設機械「ブロック据付支援システム」

本システムは、クレーン先端と船体にGNSSアンテナを配置し、無線LANを介してPC画面上にリアルタイムで目的物の位置情報を表示できる。

起重機船に「ブロック据付支援システム」を搭載し（起重機船各所に3台のPC端末を配置）ブーム先端位置と船体位置を相互に確認しながらマシンガイダンスにより操作を行い、支障物撤去から本体ブロック据付までの全工程を実施（管理）した。



図-2 ブロック据付支援システムの概要

モニター画面（写真-4）は既設ブロック撤去や浚渫の状況である。船体位置がモニター表示され、目的物に対して自船の配置位置をボンテン（目印）なしで確認できることが有用なところである。

また、目的物の位置情報をcm単位で把握できるため高精度にクレーン作業を行え、捨石投入や浚渫など、作業に伴って濁りが発生する場合においても従来のボンテンを用いることなく高精度なバケット誘導を行うことができる。

従来、船体配置におけるウインチロープの操作は熟練船員が行い、ボンテンを目印に2名の誘導合図で目測配置を行っていたが、本システム（座標管理）により若手船員が一人で船体配置を行うことができるようになった。

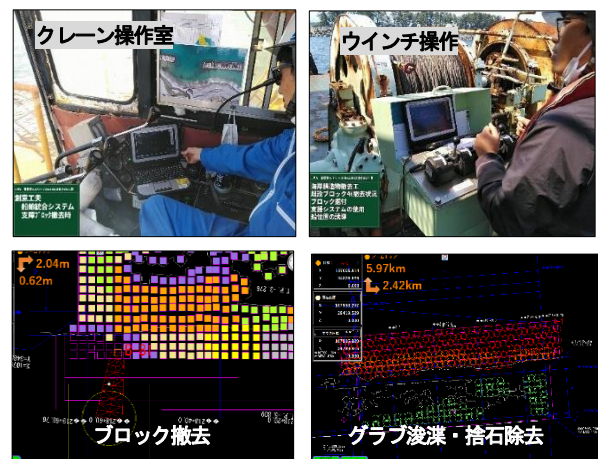


写真-4 ブロック据付支援システム使用状況

システムの導入により、海上起重機作業の効率が大幅に向上し、マウンド設置完了時点で「20日間の工程短縮」を図ることができた。

加えて、従来のボンテン設置における海中測量作業の削減により潜水作業を軽減できることで、安全性向上にも繋がった。

② 3次元出来形管理手法による段階確認

既設人工リーフは水深の浅いT.P.-2.0mに設置されている。そのため起重機船作業は(図-3)に示すように喫水深を確保しながら施工する必要があり、陸側から沖側に向けた段階施工(1次施工～3次施工)を実施している。

従来は、捨石マウンド施工完了後に潜水土の計測により段階確認を行っていたが、今回は3次元データを基に机上での段階確認が可能となったことで、天候や濁りに左右されず、任意側線も確認できるようになり工期短縮、精度向上に大きく寄与した。

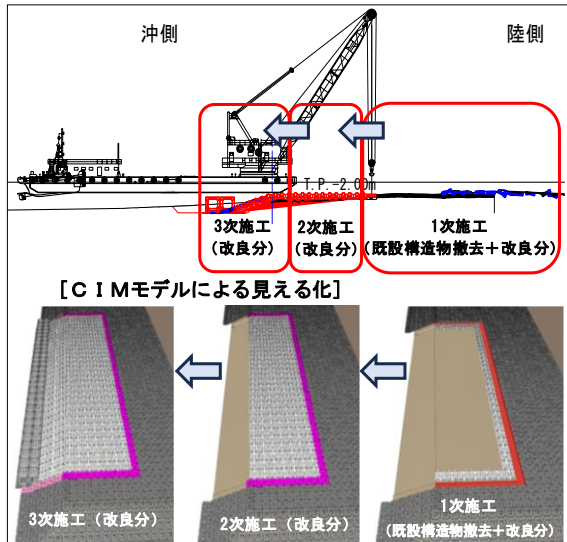


図-3 起重機船喫水を考慮した段階施工（イメージ）

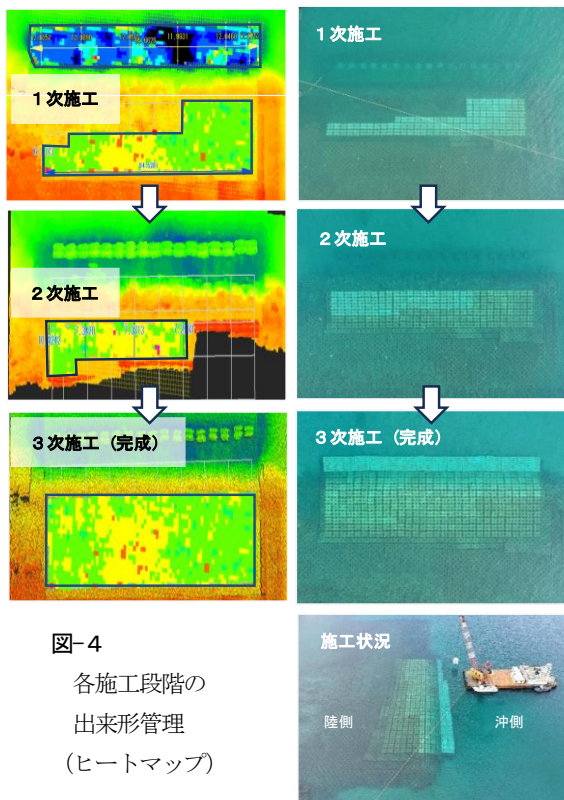
図-4
各施工段階の
出来形管理
(ヒートマップ)

写真-5 段階施工

従来手法の出来形測量(水中写真主体の出来形管理)では段階確認までに日数を要し、工程に大きく影響を与えていたが、3次元による出来形管理手法(面管理による評価)に変更(図-5)したことにより、海中測量作業が省力化され、かつ安全性向上と工程短縮を実現した。

結果、従来手法と比較し、出来形測定から段階確認までの所要日数を3日間短縮でき、「12日間」(3日間/回×4回)の工程短縮となった。

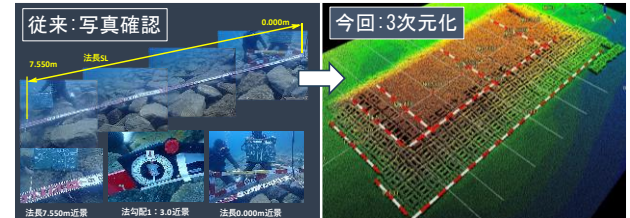


図-5 出来形管理（従来 vs 今回）

3次元による出来形管理手法により、従来不可視部であった水中部の出来形が「可視化」された。

複雑な地形を点群化により、XYZの位置情報を正確に把握することができ、短時間に高精度な施工図の作成や数量算出が可能となった。

(2) 仮設積出基地の新設

当初使用予定であったブロック積出基地は、他工事(4件)でも使用すること、当該工事の施工現場との海上運搬距離が6kmと遠いことから、現場で発生する支障物(既設ブロック、既設岩石、浚渫土)を陸揚げし、仮置きするスペースと時間が課題に挙がった。また、一連の作業を従来工法により施工した場合、工程が30日間伸びることが判明したため、海上運搬距離の短縮、積出基地の混雑解消を図る必要に迫られた。



写真-6 仮設積出基地使用状況

今回、施工現場から海上運搬距離が2kmの場所に支障物の陸揚げから新設本体ブロック積出しまで活用できる仮設積出基地設置を提案(写真-6)した。

仮設積出基地は鋼矢板構造にて支障物（既設ブロック、浚渫土、岩石）を陸揚げできる規模（延長50m）とし、基地に至る工事用道路（盛土、敷鉄板）をあわせて設置。

これにより海上運搬距離を減じて起重機船の日当り作業時間を増加させることが可能となった。結果、支障物撤去作業において6日間の工程を短縮。他の海岸事業全体の工程遅延防止にも寄与した。

3. ICT施工導入の効果

限られた施工期間の中で起工測量により判明した追加要素のクリア。あわせて作業の安全化や省力化を実現するために「ICT施工」と「仮設積出基地の設置」の提案を行った。

その結果（図-6）の通り、38日間の工程短縮を実現でき、工期内に工事を完了させることができた。

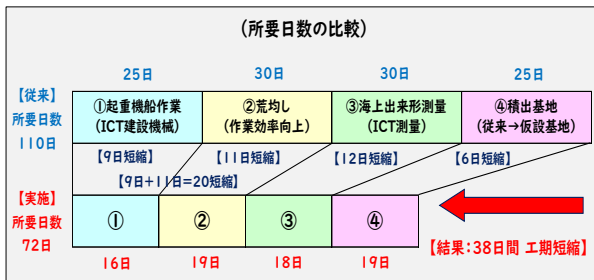


図-6 取組み結果より得られた工程短縮日数

海上工事では海象条件に左右されるところが大きく、従来手法においては、潜水士による測量や捨石マウンド施工、濁りの無い時を見計らった段階確認等に多くの時間を費やしていた。

今回、ICT建設機械の導入による潜水作業の軽減や高精度な施工、UAVグリーンレーザおよびナローマルチビーム測量による海中部の「可視化」により段階確認方法を改善。

これらにより、限られた施工可能日を有効に活用でき、大幅な工程短縮を図ることができた。

あわせて、これら作業にかかる人員の削減や作業の安全性向上にも繋がった。

海上工事における「ICT施工」は、完全週休2日（週休2日適正工期）に繋がる可能性があるものとして有用な技術であることを再認識できた。

今後も生産性の向上が期待できる技術を進んで提案し、現場に活かしていこうと考える。

謝辞：本工事の施工にあたり、国土交通省北陸地方整備局黒部河川事務所の皆様をはじめ協力業者の皆様のご指導、ご支援に感謝申し上げます。

参考文献：

- 1) 全国海岸協会：海岸 2024-60 巻 P27-31
- 2) 国土交通省：音響測深機器を用いた出来形管理の監修・検査要領（河川浚渫工事編）（案）2023年3月
- 3) 国土交通省：3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）2023年3月
- 4) 国土交通省港湾局：3次元データを用いた港湾工事数量算出容量（基礎工編）2021年3月
- 5) 国土交通省：ブロック据付支援システム～船舶統合管理システム

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

Utilization of ICT in Coastal Construction (Artificial Reef Improvement)

HisatadaFUJII, MasakiKISIOKA, TetsuyaOOI

This construction project involves the improvement of an existing artificial reef off the coast of Higashikusano in Asahi town, located along the Shimo-Niikawa coast of Toyama Prefecture, which was damaged by the “Yorimawari waves” characteristic of Toyama bay. Operations at the sea are heavily affected by weather and sea conditions, construction is typically limited to the period from May to September each year. Prior to construction, a survey of the site sea area revealed that unexpected obstructions, including scattered existing structure blocks, rocks, and sediment accumulation, on the offshore side, which needed to be removed. Because the number of work steps had increased, there was a possibility that the work would not be completed within the deadline. Therefore, starting from the relevant fiscal year, on-site management methods using ICT construction were fully implemented to improve the efficiency of offshore work and shorten construction periods. This paper reports on initiative.

鋼橋の設計データ連携と3Dモデル活用による 手戻りゼロを目指した取り組み

保田 敬一¹・亀井 透匡²

¹正会員 オフィスケイワン株式会社 代表取締役（〒550-0013 大阪市西区新町一丁目10-2）
E-mail: yasuda.keiichi@office-k1.co.jp

²正会員 オフィスケイワン株式会社 技術開発部（〒550-0013 大阪市西区新町一丁目10-2）
E-mail: kamei.yukimasa@office-k1.co.jp

2023年4月より国土交通省発注業務・工事においてBIM/CIM活用を原則適用¹⁾となった。また2024年4月には「i-Construction2.0～建設現場のオートメーション化～」を策定²⁾し、2040年度までに生産性を1.5倍向上させる目標を公表した。鋼橋においては設計データを工場製作にデータ連携するプロセス横断の取り組みが進められている一方で、図面不整合による部材の再製作や手戻りによるロスが一定数で発生している。本稿では鋼橋のデータ連携を活用した3Dモデリングの生産性向上と、3Dモデルを用いたフロントローディング技術による手戻りゼロを目指した取り組みについて報告する。

Key Words : Steel bridge, Data Linkage, Design information attribute file, BIM/CIM, Front Loading

1. はじめに

従来の設計図面は、平面・断面・側面の3方向から見た3面図で構成され、人が頭の中でそれらを3次元に組み立てる情報として描かれている。3面図は設計意図や計算書との突合せチェックが比較的容易である一方で、コンピュータに機械的に解釈させるのは容易ではない。これまで鋼橋の設計業務の成果は2次元図面で描かれるため、工事発注後に工場製作のための自動原寸システムに設計図面の情報を人が読み取って手入力を行っていた（図-1）。またコンサルが作成したBIM/CIMモデルは構造の理解を助ける効果はあるものの、後工程に連携するデータとしての活用は困難であった。

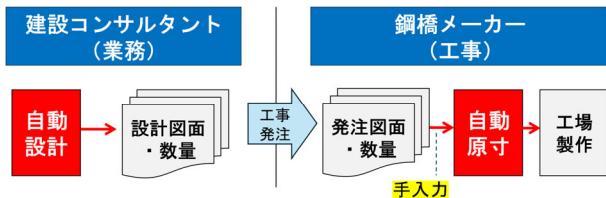


図-1 従来の鋼橋設計業務・工事発注の流れ

鋼橋は、交差条件や周辺条件などにより線形が決定し、縦断・横断勾配が変化するため、路面形状に追随する主構造や付属物が複雑な構造物となる場合が多い。これまで3Dモデル作成は、1つ1つのコマンド操作の積み重ね

の上で作成されるため、2次元図面のように完成後に一括チェックすることが難しい。ベンダー各社より鋼橋の3Dモデル作成の専用システムがリリースされているものの、多くの部材で構成される鋼橋の数値入力作業は相当な時間を要するために、干涉チェックに必要な詳細度300～400の3Dモデリングの生産性に課題があった。

そこで、鋼橋の建設生産プロセスにおける機械判読可能な設計データ連携構築の取り組みと、3Dモデリング生産性向上およびフロントローディングを支援するシステム開発について紹介する。

2. 鋼橋の設計データ連携の取り組み

(1) 設計情報属性ファイルとは

鋼橋における自動設計データを後工程で活用・推進するために、2023年4月一般社団法人建設コンサルタンツ協会および一般社団法人日本橋梁建設協会との間で「橋梁技術のデータ連携実装に向けた共同宣言」³⁾が公表された。具体的には日本橋梁建設協会が設計側の「自動設計システム」から施工側の「自動原寸システム」へのデータ連携を目指した「設計属性情報ファイル」フォーマットを策定して、それぞれのシステムに入出力機能の実装が各ベンダーにて進められることとなった（図-2）。

(2) 試行工事での成果と課題

この取り組みを受けて2023年度にデータ連携の試行が3橋で実施され少数鉄桁橋における原寸作業の効率化が検証された。現時点で設計データ連携による工数削減効果は10%弱と僅かであったが、試行で判明した課題について解決を図ることで30%程度の削減効果が期待できることが報告された。2024年度はすべての鉄桁橋工事で受注者希望型としてデータ連携の試行が継続されている。また2026年度には箱桁橋の試行も予定されている。

5 設計情報属性ファイルによるデータ連携

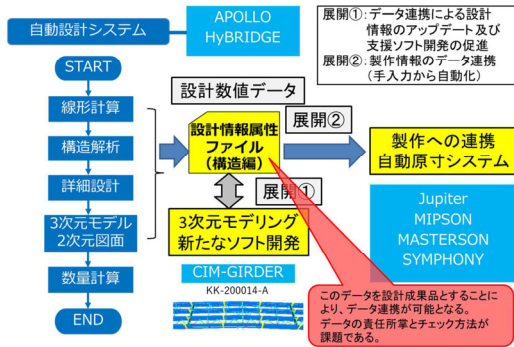


図2 鋼橋データ連携のフロー（出典：橋建協）

3. データ連携を利用した鋼橋3Dモデリング

「設計情報属性ファイル」を鋼橋の3Dモデリングに活用した開発システムについて述べる。

(1) 鋼橋CIMシステムへ入出力機能追加

数値入力により鋼橋の3Dモデリングが可能な本システムに鉄桁橋の「設計情報属性ファイル」の入出力機能を実装することで、これまで設計図面を人が読み取って手作業で数値入力していた従来作業を不要とした。箱桁橋のデータ連携は2026年春ごろの実装計画としている。補強材や吊金具など自動設計対象外の部材情報は追加入力して主構造の3Dモデルを完成させる。また橋梁点検のための作業用通路（検査路）を構成する部材ピッチの自動入力機能の実装により、鉄桁橋の付属物を含めた3Dモデル作成時間の平均50%削減を実現した（図-3）。

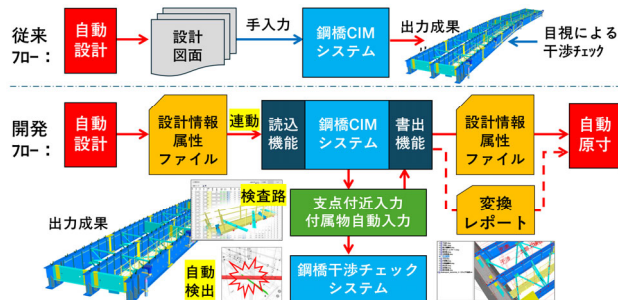


図3 鋼橋3Dモデリングの新旧フロー

(2) 鋼橋干渉チェックシステム

鋼橋の支点上付近は部材が密集することが多く複数枚で描かれる2次元図面では図面間の不整合を把握しにくい。一方で3Dモデルはあらゆる角度から部材どうしの位置関係を確認できるものの、人為的作業のため不整合の見逃しの懸念がある。そこで鋼橋特有の部材同士の衝突や施工誤差を考慮した近接箇所を自動検出してレポートに一括出力することができるシステムを開発した（図-4）。これまでも3Dモデルのレビューソフトウェアを用いた部材名指定による干渉チェックは可能であったが「主桁ウェブvs排水管」などの組合せや判定量を手作業で指定しており、付属物が多い橋梁では20以上の組合せ作業が必要であった。本システムにより干渉チェック作業に人為的なケアレスミスがなくなり、設計品質の向上とともに不具合箇所の早期発見が可能となった。

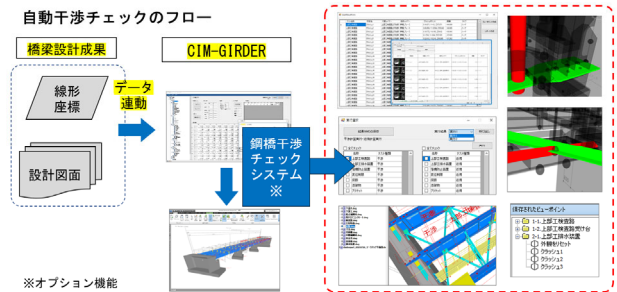


図4 鋼橋干渉チェックシステム

(3) 設計図面作成システム

3Dモデルを後工程の自動原寸システムや施工シミュレーションに活用するには「3Dモデルの正確性」が重要となる。3Dモデルからチェック用の2次元図面の切り出し作業には多大な時間を要していた。そこで3Dモデルから2次元図面を自動で出力できる本システムの開発により、3Dモデルの確からしめのチェック作業にかかる作業時間を約40%削減するとともに、3Dモデルに一致した設計図面の作成支援が可能となった（図-5）。

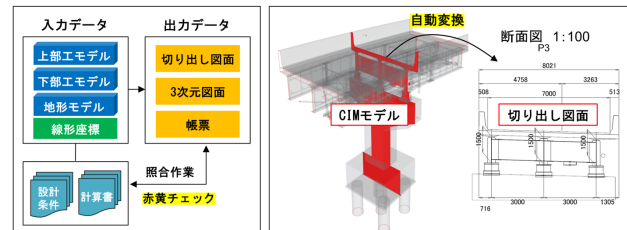


図5 設計図面作成システムフロー

4. 3Dを活用した手戻り防止システムの開発

鋼橋においては工場製作した部材が現場に輸送されて架設途中に不具合が発覚した場合、再製作によるロスコストの発生や大幅な工程遅延の恐れがある。フロントロ

ーディングとは、設計や製作、施工の全体工程において初期段階に負荷をかけて前倒しで作業をすることで、工事途中の手戻りを防止し確実な工程の進捗を目指す取り組みである。鋼橋の設計・製作・施工における工程と開発したフロントローディングシステムを図-6に示し、順に紹介する。

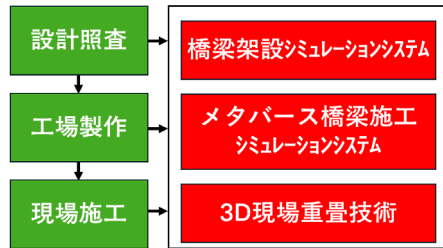


図-6 開発したフロントローディング技術

(1) 橋梁架設シミュレーションシステム

鋼橋の代表的な架設工法であるクレーンベント架設では従来橋梁と施工ヤードの平面図を用いてクレーン配置や作業半径の確認、部材重量とクレーン姿勢で変化する定格荷重の安全照査、断面図でのブーム干渉確認などを熟練技術者が照査していた。今回鋼橋の3Dモデルを活用してクレーンの起伏・旋回・伸縮の基本動作と、地組みした橋梁部材の吊上げから架設完了までの吊荷姿勢を専用の操作パネルでキーフレームに保存・再生が可能なシステムを開発した。定格荷重の安全率やクレーン脚部にかかる支持反力の算出、レポート出力機能を実装した。これにより、吊荷の過負荷や地盤の支持力不足によるクレーンの転倒リスクを可視化し、若手技術者でもより安全な施工計画の作成が可能となった(図-7)。

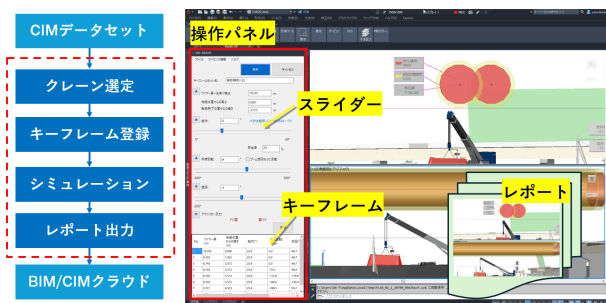


図-7 橋梁架設シミュレーションシステムフロー

(2) メタバース橋梁施工シミュレーションシステム

VRとはVirtual Reality (バーチャル・リアリティ) の略で、グラフィック処理技術の向上により圧倒的な没入感が得られる特徴がある。コンシューマー向け製品がリリースされた2016年ごろから建設業界での活用が進んだ。従前は高価なVR向けのハイスペックパソコンが必要であったが、近年はパソコン不要で可搬性の優れたヘッドセットがリリースされている。

鋼構造の工場製作において、部材が密集した狭隘部の

溶接施工には入念な事前検討が行われる。従来は発泡スチロールで実寸大のモックアップを作成して、施工前に「溶接部が目視可能であるか？」などの施工性を検証していた。その代替手法として、狭隘部の3DモデルをVRデータに変換して、仮想空間で溶接施工シミュレーションが可能なシステムを開発した(図-8)。頭部に装着したヘッドセットや身体に装着したトラッカーセンサーと3Dモデルが干渉した場合は、警告音でプレイヤーに知らせる機能がある。離れた地域にいる職員同士がインターネット経由でVR空間上に集合し「作業者アバター」の姿勢を操作して施工検討が可能な機能も実装している。VR上でアバターに施工させることで、より客観的に施工性の良し悪しを判断することが可能となった(図-9)。

従来のモックアップによる検証 VR技術による溶接施工性の検証



図-8 メタバース橋梁施工シミュレーションシステム



図-9 メタバース機能と動的干渉チェック機能

(3) MR技術による3Dモデル重畳システム

MRとはMixed Reality (ミックスド・リアリティ) の略で、現実世界に仮想モデルを同一空間上に映し出す技術である。2017年、頭部装着型のMRデバイスが市販され建設現場での利用が進んだ。

鋼桁部材は工場で事前に組み立てて部材同士の取り合いを確認する仮組立て検査を行う。付属物の3Dモデルを市販のMR重畳システムに変換して仮組立てした鋼桁に投影することで、鋼桁出荷前に付属物との干渉や不具合を確認することが可能となった(図-10)。

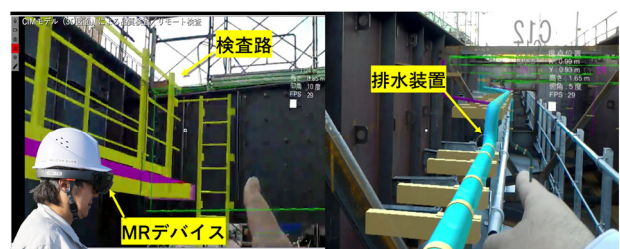


図-10 3D重畳システムによる付属物検査

また、直轄工事において橋梁の路面雨水を処理する排水管は別発注の床版工事で施工される。鋼桁架設完了後に排水管の3Dモデルを現地に重畳して床版工事で不具

合がないように、下部工検査路の切欠きとの位置関係を照査して問題がないことを確認できた（図-11）。

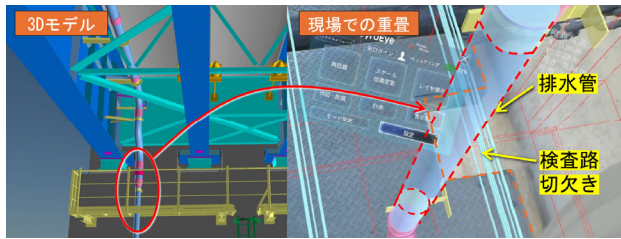


図-11 3D重量システムによる排水管位置のチェック

一方、MRデバイスを装着し目の前に投影された配筋図面を見ながら鉄筋を配置していく作業に活用した事例を図-12に示す。従来は配筋図面から鉄筋ピッチを読み取って、型枠の底面にマーキング作業をしてから配筋作業をする必要があった。本システムを用いることで配筋図を読み取ることが不要となり、品質向上に加え、配筋作業の生産性を約20%向上させる成果が得られた。



図-12 3D重量システムによる床版配筋施工

5. おわりに

鋼橋設計の連携データ「設計情報属性ファイル」活用によって3Dモデリング時間を50%削減し、設計照査の早い段階で干渉チェックが可能となった。また3Dモデルを用いたフロントローディングシステムの開発により、クレーン架設や溶接シミュレーション作業を従来より前倒しで実施できて生産性も30~50%向上した（図-13）。

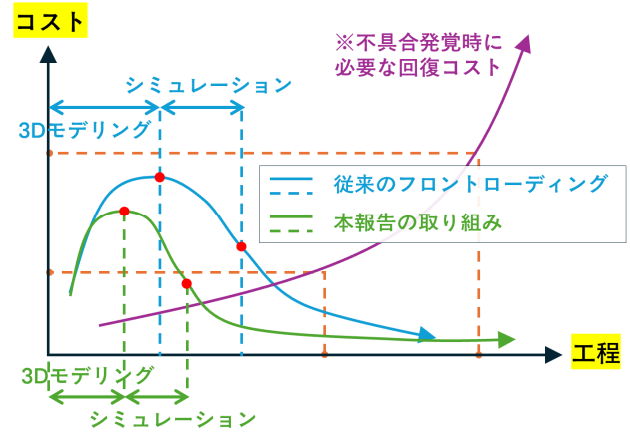


図-13 フロントローディングの比較

将来の担い手世代に魅力的な橋梁業界を残していくためには、現役世代の経験値をパラメータとして残して自動化し、技術者はシステムが提示した複数案からの決定・高度な判断をし、安全管理に十分な時間を割けることが重要である。開発システムが計算過程もアウトプットすることでブラックボックス化しない工夫や、設計・施工・維持管理などのプロセスを横断するための協調領域と、健全な競争領域のすみ分けも必要と考える。

鋼橋の設計データ連携による3Dモデリング作業のさらなる生産性向上と、3Dモデルを活用したデジタルによる「施工のハーサル」技術開発により、図面不整合を起因とする手戻りゼロを目指すとともに、鋼橋におけるi-Construction2.0の目標達成に貢献していく。

参考文献

- 1) 国土交通省 令和5年度 BIM/CIM 原則適用について <https://www.mlit.go.jp/tec/content/001510002.pdf> 2023年1月
- 2) 国土交通省「i-Construction 2.0」を策定しました https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_001085.html 2024年4月
- 3) 橋梁技術のデータ連携実装に向けた共同宣言 <https://www.jasbc.or.jp/news/10011/> 2023年3月

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

Toward Zero Rework in Steel Bridge Construction: Integrating Design Data and 3D Modeling Technologies

Keiichi YASUDA, Yukimasa KAMEI

Since April 2023, the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) has mandated the use of BIM/CIM for all public works projects. In April 2024, MLIT introduced i-Construction 2.0, aiming to improve productivity by 1.5 times by FY2040 through the automation of construction processes.

In the field of steel bridge construction, cross-process integration is being promoted to link design data with fabrication systems. However, issues such as rework and component remanufacturing due to drawing inconsistencies still remain. This paper presents a series of initiatives to enhance 3D modeling productivity through design data linkage, and to achieve zero rework by applying front-loading techniques based on accurate 3D models. These efforts contribute to advancing digital construction technologies and realizing the goals of i-Construction 2.0.

有向非巡回グラフに基づくタスク分解を活用した i-Construction ロボット用データセットの構築

王 永東¹・肖 潤澤¹・ルイ笠原 純ユネス¹・永谷 圭司^{1,2}・山下 淳³・浅間 一⁴

¹ 東京大学大学院 工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)

E-mail: wangyongdong@robot.t.u-tokyo.ac.jp (Corresponding Author)

² 筑波大学大学院 システム情報系 (〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

E-mail: nagatani@cs.tsukuba.ac.jp

³ 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 (〒277-8563 千葉県柏市柏の葉 5-1-5)

E-mail: yamashita@robot.t.u-tokyo.ac.jp

⁴ 東京大学国際高等研究所 東京カレッジ (〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1)

E-mail: asama@robot.t.u-tokyo.ac.jp

本稿では、i-Construction 現場における多ロボット協調作業を対象に、有向非巡回グラフ (DAG) で依存関係を符号化したデータセット “dart_llm_tasks” と、その作成を支援する DART-LLM アノテーションツールを構築したので報告する。既存データセットは料理や家庭内操作に偏在し、建設ロボット固有の複雑なタスク依存性を記述できないという課題があった。提案データセットは 102 件のタスクを 3 段階の難易度で整理し、原子的動作ノードと依存エッジを JSON 形式で定義することで、LLM によるタスク分解とロボット割当ての学習を可能とする。併せて公開した注釈ツールは NetworkX/PyGraphviz に基づく DAG 可視化・編集機能と Hugging Face 連携読込を備えた。本稿では、データセットおよびアノテーションツールの設計・実装について報告する。

Key Words: Dataset, Task Decomposition, i-Construction, Directed acyclic graph, Large Language Models, Multi-Robot Coordination

1. はじめに

i-Construction とは、ロボット、AI、IoT などの情報技術を建設現場に導入し、生産性や安全性の向上を図る取り組みである [1]。本稿では、有向非巡回グラフ (Directed Acyclic Graph; DAG) によるタスク分解を活用した i-Construction 建設ロボット向けデータセット構築について述べる。

近年、大規模言語モデル (Large Language Models; LLM) をロボット制御に応用する研究が急速に進展しており、タスクプランニングをシーケンス予測問題として定式化した Decision Transformer [2]、多様なモダリティを横断してタスクを学習する Gato [3]、LLM とロボット技能をマッチングする PaLM-SayCan [4]、フィードバック統合による閉ループで計画する Inner Monologue [5]、視覚・言語・行動を統合した RT-2 [6]、多モーダル世界モデルの PaLM-E [7] などが報告されている。一方、多ロボット協調では LLM2Swarm [8]、LiP-LLM [9]、RoCo [10]、SMART-LLM [11] などが提案されているものの、サブタスク間の依存関係を明示した上でエンドツーエンドかつリアルタイムに実行可能な枠組みは依然限定的であり、掘削・搬

送・整地を並行実行する i-Construction 現場では、依存関係を符号化したタスク分解と協調制御が不可欠である [12]。しかし既存のロボット命令データセットは料理動画解析用 COIN [13] や家庭内操作データセット ALFRED [14] など特定領域に偏在し、建設現場向けの依存関係付きデータセットは存在しない。

そこで本研究では、LLM が生成する JSON 形式の分解関数を通じて DAG 構造を符号化し、複数ロボットの協調を実現するデータセット “dart_llm_tasks” を構築した^{注1}。加えて、Hugging Face リポジトリ Yongdong-Wang/dart_llm_tasks と連携し、NetworkX および PyGraphviz による DAG 可視化・編集機能を備えた DART-LLM アノテーションツールを GitHub 上で公開した^{注2}。本ツールは JSON/JSONL の読み書き、依存関係の可視化・編集、リアルタイムレイアウト更新などの機能を備えており、建設ロボットタスクの DAG ベースアノテーション作業を支援することができる。

2. データセット設計方針と概要

(1) タスクレベル

本データセット設計方針と概要本データセットでは、建設現場における典型的な多ロボット協調作業を想定し、タスクの難易度や依存関係の複雑さに応じて三段階のレベル（Level 1-3）に分類した。この三段階設計は、異なるレベルごとに LLM が発揮できるタスク分解・協調制御能力を段階的に評価することを目的としている。Level 1 は基本操作タスクを対象とし、単一または少数ステップのロボット操作で構成され、依存関係が単純または無依存である。Level 2 は中程度の複雑さの協調タスクを含み、複数ステップの順次実行が必要で、線形の依存関係を持つ（例：掘削→積載→搬送→投棄）。Level 3 では、複数のロボットチームが並行して作業を行い、複雑な依存ネットワークと並列・直列実行の組み合わせを含む高複雑度の多段階タスクを扱う。

(2) DAG フォーマット設計

各タスクは、一連の関連指示関数（instruction functions）をリスト構造として符号化し、その依存関係（dependencies）により DAG を構成する。各指示関数は、「name」（動作タイプ）、「robot_ids」または「robot_type」（対象ロボット指定）、「dependencies」（先行タスク名のリスト）、「object_keywords」（操作対象）を属性として持つ。形式的には、各タスク要素がノードとなり、dependencies によって定義される先行関係が有向エッジとなる構造 $G=(V, E)$ [15] を形成する。この設計により、複数ロボット間の正確な実行順序保証と、依存関係に基づく並列動作の自動判別を可能とした。リスト形式での表現はデータの直観的理解を促進し、依存関係の追跡が容易になっている。

(3) JSON スキーマ

図 1 に示すように、データセットの各タスクは複数の属性フィールドを持つ JSON オブジェクトの形式で記述されている。このスキーマでは、各タスク指示（Task Info）とそれに対応する自然言語テキスト（Task Text）、および実行タスク群（Task Output）が定義されている。task は特定の作業名を表し、instruction_function には実行に必要な情報が含まれる。関数名（name）は動作タイプを、robot_ids または robot_type は対象ロボットを、dependencies はタスク間の依存関係を、object_keywords は作業対象を指定する。「ID」フィールドのフォーマット「dart_llm-L{level}-T{number}」により、タスクのレベル（難易度）、番号が一目で識別可能となっている。このスキーマデータの整合性と機械可読性を担保しつつ、ツール側での自動ロード・バリデーションを容易にしている。

```
{
  "ID": "dart_llm-L1-T001", // Task-
  "text": "Move Excavator 1...", // specific ID (includes level, serial number)
  "Instruction in natural language": "Move Excavator 1...",
  "output": {
    "tasks": [
      {
        "task": "move_excavator_and_dump_to_puddle", // Task name
        "instruction_function": {
          "name": "target_area_for_specific_robots", // Function name
          "robot_ids": ["robot_excavator_01", "robot_dump_truck_01"], // Array of specified robot IDs
          "dependencies": [], // Prerequisite task(s)
          "object_keywords": ["puddle1"] // Keywords for target objects
        }
      },
      // (Multiple tasks may be included)
      {
        "task": "avoid_puddle_all_robots",
        "instruction_function": {
          "name": "avoid_areas_for_all_robots",
          "robot_type": ["dump_truck", "excavator"], // Robot type specification
          "dependencies": [
            "move_excavator_and_dump_to_puddle",
            "avoid_puddle_all_robots"
          ]
        }
      }
    ]
  }
}
```

図-1 dart_llm_tasks データセットのタスク記述例（JSON 形式）

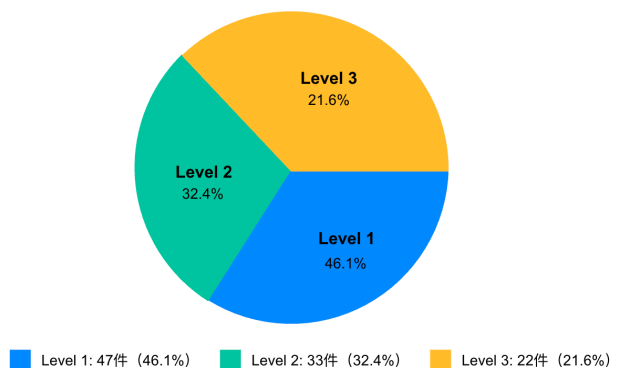


図-2 データセットのタスク分布（合計:102件）

(4) データセットの統計全タスク数・レベル別分布

本データセットは合計102件のタスクで構成されており、図 2 に示すように、難易度別の内訳は Level 1 が 47 件（46.1%）、Level 2 が 33 件（32.4%）、Level 3 が 22 件（21.6%）である。

3. DART-LLM アノテーションツールの詳細

(1) システム構成と実装環境

図 3 に提案したツールの操作画面を示す。本ツールは Python 3.10 上で開発され、軽量の Web インターフェースを提供する Gradio [16] をフロントエンドに採用している。操作画面は左-右二分割レイアウトは編集／可視化の両面を同時に確認できる。バックエンドでは

NetworkX [17] および PyGraphviz [18] を用い、DAG の修正・描画・保存の実行は可能とした。また、Hugging Face Datasets API を介してリモートリポジトリから直接データを読み込む機能を備え、ローカルの JSON/JSONL データも編集が可能である。

(2) データ入出力機能

注釈対象データは JSON/JSONL 形式で管理され、各タスクオブジェクトは「Task Info」「Task Text」「Task Output」フィールドを有する。ツール起動時に指定パスまたはリポジトリ URL から一括読み込みを行い、内部メモリに展開する。編集後は「Save」操作により、タスク単位のステータスや修正済み出力を反映した新規ファイルとして一括エクスポートできる。保存時にスキーマ整合性を検証し、不整合があればエラーメッセージで表示する。

(3) DAG 可視化・レイアウト更新機能

各タスクの依存関係は NetworkX でグラフ構造として構築され、PyGraphviz によるレイアウトエンジンを経て描画される。画面右ペインではツリー状に展開されたノード/エッジが表示される。ノード配置は力学モデルに基づき自動再配置され、編集後に“Updated” ボタンを押すことでレイアウトが更新される。

(4) アノテーションインターフェース

画面左ペインは「Task Text」「Task Output」の二領域から構成される。「Task Text」では元指示文を参照し、「Task Output」では LLM 生成によるサブタスク分解結果を編集できる。上下に配置した“Previous”/“Next”ボタンによりタスク間をシームレスに切り替えられ、中央の“Update”ボタンで編集内容を内部モデルへ反映する。

(5) ステータス管理とエクスポート

タスクの「Task Text」と「Task Output」を修正した後、“Update” ボタンを押すとデータを保存され、ステータスは“Updated dart_llm-L{level}-T{number}”が表示される。最終的な注釈作業完了後、“Save” ボタンで全データをまとめて JSON 出力し、後続のモデル学習や評価パイプラインに読み込ませられることが可能である。

4. おわりに

本稿では、DAG による依存関係符号化を用いた多ロボット協調タスクのデータセット“dart_llm_tasks”およびそのアノテーションを支援する DART-LLM アノテーションツールの設計・実装を示した。102 件のタスク 3 レベルに系統的に分類・符号化し、NetworkX/PyGraphviz

DART-LLM Annotation Tool

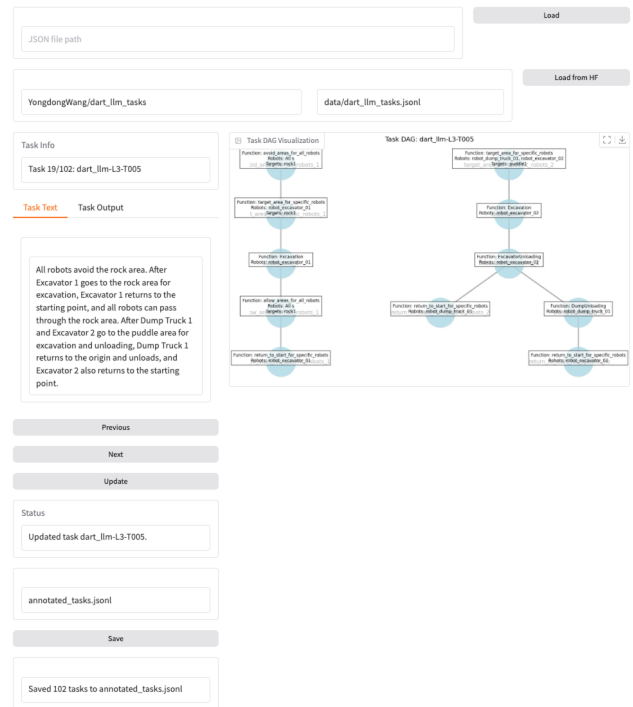


図-3 DART-LLM アノテーションツールの操作画面

によるリアルタイム可視化・編集機能を備えたツールを導入した。今後は、データセット規模およびロボット機種の拡張、多言語対応、実機およびシミュレータを横断したベンチマーク評価の実施、DAG 駆動型プランナとの連携による自動生成性能の定量的検証を進め、i-Construction 現場への応用可能性をさらに高めていく予定である。

謝辞：本研究は、JST [ムーンショット型研究開発事業] グラント番号[JPMJMS2032]の支援を受けたものです。

NOTES

注1) https://huggingface.co/datasets/Yongdong-Wang/dart_llm_tasks

注2) <https://github.com/wydy0817/dart-llm-annotation>

REFERENCES

- 1) 山下淳, ルイ笠原純ユネス, Pathak, S., 小松廉, 筑紫彰太, 浅間一, 谷島諒丞, 濱崎峻資, 永谷圭司, 小澤一雅: ロボット・AI・センサ情報処理技術を活用した i-Construction の推進, 第2回 i-Construction の推進に関するシンポジウム発表論文集, Vol. 6-1, pp. 1-4, 2020.
- 2) Chen, L., Lu, K., Rajeswaran, A., Lee, K., Grover, A., Lasakin, M., Abbeel, P., Srinivas, A., and Mordatch, I.: Decision transformer: Reinforcement learning via sequence modeling, Adv. Neural Inf. Process. Syst., Vol. 34, pp. 15084-15097, 2021.
- 3) Reed, S., Zolna, K., Parisotto, E., Gómez Colmenarejo, S., Novikov, A., Barth-Maron, G., Giménez, M., Sulsky, Y.,

- Kay, J., Springenberg, J. T., Eccles, T., Bruce, J., Razavi, A., Edwards, A., Heess, N., Chen, Y., Hadsell, R., Vinyals, O., Bordbar, M., and de Freitas, N.: A Generalist Agent, *Trans. Mach. Learn. Res.*, 2022.
- 4) Brohan, A., Chebotar, Y., Finn, C., Hausman, K., Herzog, A., Ho, D., Ibarz, J., Irpan, A., Jang, E., Julian, R., et al.: Do as I Can, Not as I Say: Grounding Language in Robotic Affordances, *Proc. Conf. Robot Learn. (CoRL)*, pp. 287–318, 2023.
 - 5) Huang, W., Xia, F., Xiao, T., Chan, H., Liang, J., Florence, P., Zeng, A., Tompson, J., Mordatch, I., Chebotar, Y., Sermanet, P., Jackson, T., Brown, N., Luu, L., Levine, S., Hausman, K., and Ichter, B.: Inner Monologue: Embodied Reasoning through Planning with Language Models, *Proc. 6th Annu. Conf. Robot Learn. (CoRL)*, pp. 1769–1782, 2023.
 - 6) Zitkovich, B., Yu, T., Xu, S., Xu, P., Xiao, T., Xia, F., Wu, J., Wohlhart, P., Welker, S., Wahid, A., Vuong, Q., Vanhoucke, V., Tran, H., Soricut, R., Singh, A., Singh, J., Sermanet, P., Sanketi, P. R., Salazar, G., Ryoo, M. S., Reymann, K., Rao, K., Pertsch, K., Mordatch, I., Michalewski, H., Lu, Y., Levine, S., Lee, L., Lee, T.-W. E., Leal, I., Kuang, Y., Kalashnikov, D., Julian, R., Joshi, N. J., Irpan, A., Ichter, B., Hsu, J., Herzog, A., Hausman, K., Gopalakrishnan, K., Fu, C., Florence, P., Finn, C., Dubey, K. A., Driess, D., Ding, T., Choromanski, K. M., Chen, X., Chebotar, Y., Carbajal, J., Brown, N., Brohan, A., Arenas, M. G., and Han, K.: RT-2: Vision-Language-Action Models Transfer Web Knowledge to Robotic Control, *Proc. 7th Annu. Conf. Robot Learn. (CoRL)*, pp. 2165–2183, 2023.
 - 7) Driess, D., Xia, F., Sajjadi, M. S. M., Lynch, C., Chowdhery, A., Ichter, B., Wahid, A., Tompson, J., Vuong, Q., Yu, T., Huang, W., Chebotar, Y., Sermanet, P., Duckworth, D., Levine, S., Vanhoucke, V., Hausman, K., Toussaint, M., Greff, K., Zeng, A., Mordatch, I., and Florence, P.: PaLM-E: an embodied multimodal language model, *Proc. 40th Int. Conf. Mach. Learn. (ICML)*, Art. 340, 2023.
 - 8) Strobel, V., Dorigo, M., and Fritz, M.: LLM2Swarm: robot swarms that responsively reason, plan, and collaborate through LLMs, *arXiv preprint arXiv:2410.11387*, 2024.
 - 9) Obata, K., Aoki, T., Horii, T., Taniguchi, T., and Nagai, T.: LiP-LLM: Integrating Linear Programming and dependency graph with Large Language Models for multi-robot task planning, *IEEE Robot. Autom. Lett.*, 2024.
 - 10) Mandi, Z., Jain, S., and Song, S.: RoCo: Dialectic Multi-Robot Collaboration with Large Language Models, *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom. (ICRA)*, pp. 286–299, 2024.
 - 11) Kannan, S. S., Venkatesh, V. L. N., and Min, B.-C.: SMART-LLM: Smart Multi-Agent Robot Task Planning using Large Language Models, *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst. (IROS)*, pp. 12140–12147, 2024.
 - 12) Nagatani, K., Abe, M., Osuka, K., Chun, P. J., Okatani, T., Nishio, M., and Asama, H.: Innovative technologies for infrastructure construction and maintenance through collaborative robots based on an open design approach, *Adv. Robot.*, Vol. 35, No. 11, pp. 715–722, 2021.
 - 13) Tang, Y., Ding, D., Rao, Y., Zheng, Y., Zhang, D., Zhao, L., Lu, J., and Zhou, J.: COIN: A Large-Scale Dataset for Comprehensive Instructional Video Analysis, *Proc. IEEE/CVF Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. (CVPR)*, pp. 1207–1216, 2019.
 - 14) Shridhar, M., Thomason, J., Gordon, D., Bisk, Y., Han, W., Mottaghi, R., Zettlemoyer, L., and Fox, D.: ALFRED: A Benchmark for Interpreting Grounded Instructions for Everyday Tasks, *Proc. IEEE/CVF Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. (CVPR)*, pp. 10740–10749, 2020.
 - 15) Diestel, R.: *Graph Theory*, 4th electronic edn., corrected reprint, 2012.
 - 16) Abid, A., Abdalla, A., Abid, A., Khan, D., Alfozan, A., and Zou, J. Y.: Gradio: Hassle-Free Sharing and Testing of ML Models in the Wild, *CoRR*, abs/1906.02569, 2019.
 - 17) Hagberg, A., Swart, P. J., and Schult, D. A.: *Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX*, Los Alamos Natl. Lab., Los Alamos, NM, Tech. Rep., 2008.
 - 18) PyGraphviz: Available at <https://pygraphviz.github.io/>.

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

CONSTRUCTION OF A DATASET FOR I-CONSTRUCTION ROBOTS USING DIRECTED ACYCLIC GRAPH-BASED TASK DECOMPOSITION

Yongdong WANG, Runze XIAO, Jun Younes Louhi KASAHARA, Keiji NAGATANI,
Atsushi YAMASHITA and Hajime ASAMA

In this paper, we present the development of “dart_llm_tasks,” an dataset for multi-robot coordination in i-Construction scenarios, in which task dependencies are encoded using Directed Acyclic Graphs (DAGs). Existing datasets are biased toward cooking and household manipulation and cannot represent the complex dependency structures of construction-robot tasks. Our dataset comprises 102 tasks organized into three difficulty levels, with atomic action nodes and dependency edges defined in JSON, enabling LLM-based task decomposition and robot assignment learning. We also introduce the DART-LLM Annotation Tool, which provides real-time DAG visualization and editing via NetworkX/PyGraphviz and seamless loading from the Hugging Face repository. This paper reports on the design and implementation of the dataset and annotation tool.

DXデータセンターにおける3次元モデル等の利用実態

—DXデータセンターにおける3次元データ利用環境の官民連携整備に関する共同研究を通じて—

光谷 友樹¹・西村 徹²

^{1,2,3} 正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 社会資本マネジメント研究センター
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

¹ E-mail:mitsutani-y2az@mlit.go.jp

² E-mail:nishimura-t92ta@mlit.go.jp

国土技術政策総合研究所では、BIM/CIMの3次元モデル等の3次元データを保管し、受発注者が測量・調査・設計・施工・維持管理の建設事業プロセスや災害対応等において3次元データを円滑に利用する方法や情報基盤を検討する実証研究システムとしてDXデータセンターを構築し、運用を開始した。この取り組みの一環として、官民連携の共同研究を通して3次元データを扱うソフトウェアをDXデータセンターに搭載し、国土交通省の工事・業務において受発注者が3次元データの閲覧、作成、編集、受け渡し等に利用する実証実験を行った。これらを通じてDXデータセンターの利用状況、効果、課題等を把握した。

Key Words : DX data center, 3D data, public-private partnership, common data environment

1. はじめに

国土交通省では、建設産業の生産性向上を実現するために、インフラ分野のDX（デジタル・トランスフォーメーション）を推進している¹⁾。この一環として、例えば、令和5年度から小規模なものを除く直轄土木業務・工事にBIM/CIMが原則適用された。BIM/CIMの3次元モデル等の3次元データを測量・調査・設計・施工・維持管理の建設事業プロセスや災害対応等で活用するためには、受発注者が3次元データの閲覧、作成、編集、受け渡し等を遠隔で行い、大容量のデータを円滑に共有できるシステムが必要である。

そこで、国土技術政策総合研究所では、3次元データを保管し、受発注者が3次元データを円滑に利用する方法や情報基盤を検討する実証研究システムとして、DXデータセンターを構築し、令和4年度に運用を開始した²⁾。また、官民連携の共同研究を通して3次元データを扱うソフトウェアをDXデータセンターに搭載し、国土交通省の工事・業務で受発注者が3次元データの閲覧、作成、編集、受け渡し等に利用する実証実験を行った³⁾。

本稿では、共同研究及び実証実験等を通じて把握したDXデータセンターの利用状況等を報告する。

2. DXデータセンターの機能と共同研究の概要

(1) DXデータセンターのシステム構成・主な機能

DXデータセンターのシステムは、大別して、国土交通省職員が利用できる発注者側の領域と、国土交通省職員と国土交通省の工事・業務の受注者が利用できる受注者側の領域によって構成される。

DXデータセンターには、主に、仮想PCサーバー、国土交通省職員や受注者が使用する共有ストレージ（作業領域）、アーカイブストレージの3つの機能がある。DXデータセンターの利用者は、DXデータセンターの中

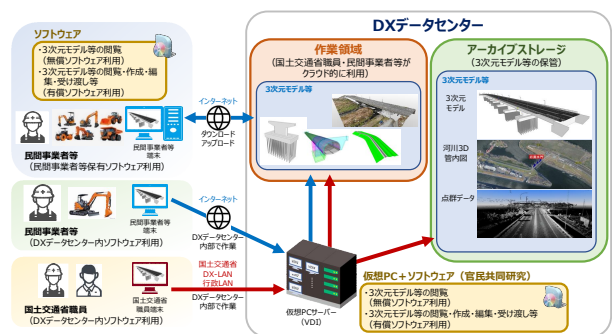


図-1 DXデータセンターの概要

で仮想PCのソフトウェアを使い、作業領域にある3次元データを閲覧、編集、情報共有等を行うことが可能となる。なお、国土交通省の工事・業務の受注者がDXデータセンターを利用するためには、工事・業務の契約後に国土交通省職員が工事・業務に関する情報をDXデータセンターのシステムに登録し、DXデータセンターから発行されるIDとパスワードを使用する必要がある。

(2) 共同研究の概要

3次元データを閲覧する一般的な方法として、手元のPCに閲覧用の無償ソフトウェアを搭載して閲覧する方法がある。しかし、データサイズの大きい3次元データを円滑に処理できる高性能PCを準備する必要があり、3次元データの利用促進の障壁となる可能性がある。

そこで、DXデータセンターでは、仮想デスクトップ（VDI: Virtual Desktop Infrastructure）の技術を導入している。利用者は、手元のPCからDXデータセンターにアクセスして仮想PCサーバー上の仮想PCを遠隔で操作し、仮想PCに搭載されている無償ソフトウェアを利用することによって3次元データの閲覧が可能である（図-2参照）。

一般に、3次元データの作成、編集、受け渡し等を行うためには、有償ソフトウェアを利用する必要がある。国土技術政策総合研究所では、国土交通省職員や国土交通省の工事・業務の受注者がDXデータセンターにおいて市販の有償ソフトウェアを利用し、3次元データの作

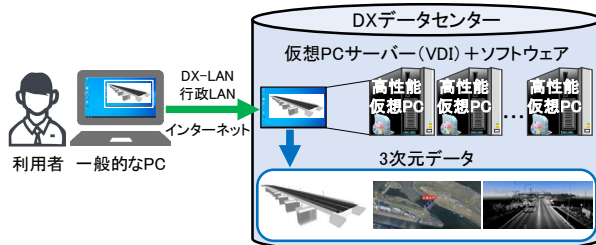


図-2 仮想PCの概略

表-1 有償ソフトウェア一覧

ソフトウェア名	
オートデスク Autodesk AEC Collection	三英技研 STRAXcube
川田テクノシステム V-nasClair	建設システム INNOSiTEシリーズ
フォーラムエイト UC-1 BIM/CIMツール	日本建設情報総合センター JACIC/レーム
福井コンピュータ TREND-CORE, TREND-POINT	パスコ TerraExplorer Plus, Pro
ESRIジャパン ArcGIS Pro	ビーシステム ScanSurveyZ
アイサンテクノロジー WingEarth	Box Japan Box

成、編集、受け渡し等を行える環境を整備するために、「DXデータセンターにおける3次元データ利用環境の官民連携整備に関する共同研究」を実施した。共同研究には、12者が参加し、BIM/CIMの3次元モデル、河川3D管内図、点群データ等の作成、編集等を行う有償ソフトウェアや、外部のクラウドストレージを利用して3次元データ等の受け渡し等を行う有償ソフトウェア（表-1参照）をDXデータセンターに搭載した。

共同研究では、国土交通省職員や国土交通省の工事・業務の受注者が3次元データの作成、編集、受け渡し等を行う有償ソフトウェアを利用目的に応じて選択し、利用量等に応じてソフトウェア提供者に料金を支払うビジネスモデルの妥当性等を検証した。この検証のため、17のモニター事務所とその受注者を選定し実証実験を実施した。

3. DXデータセンターの利用状況

前述のDXデータセンターの各機能の利用状況は、各機能のモニタリング、利用者へのアンケートやヒアリングにより把握した。

(1) 利用者数の推移

DXデータセンターは、発注者が業務・工事の受注者にアカウントを発行することで利用可能となる。また、アカウントは工期により利用可能な期間が設定されている。このDXデータセンターを利用可能な受注者のアカウントの令和4年12月から令和7年2月までの月別の推移は図-3に示す。

(2) 仮想PCの利用状況

図4及び図-5は令和4年12月から令和7年2月までの発注者及び受注者の仮想PCの接続時間と接続回数の月別の推移を整理したものである。

発注者については、1回あたりの平均利用時間が増加傾向にあった。このことから、単純なファイル等の確認等に加えて、ソフトウェアを利用した3次元モデルの閲

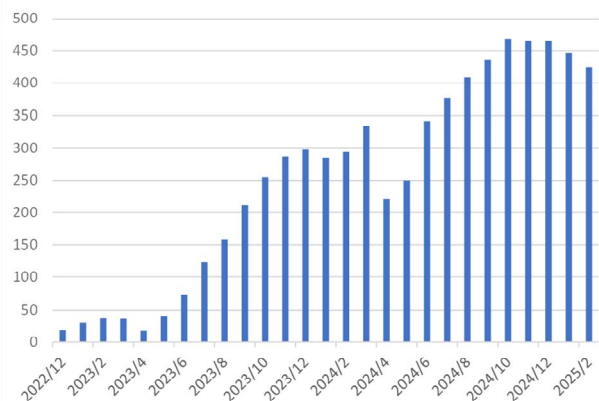


図-3 有効アカウント数の推移

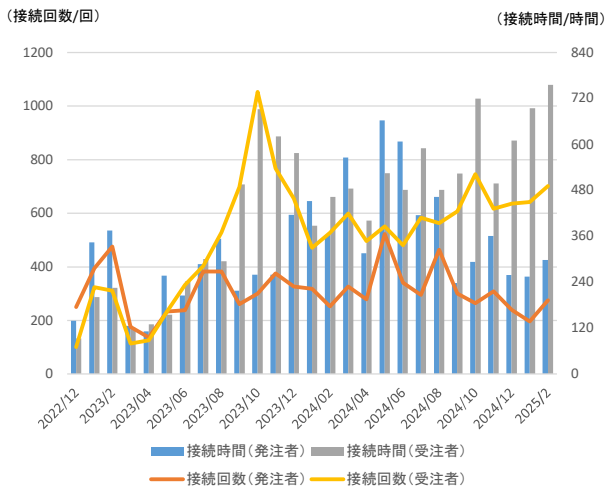


図-4 仮想PCの利用状況（接続回数・時間）

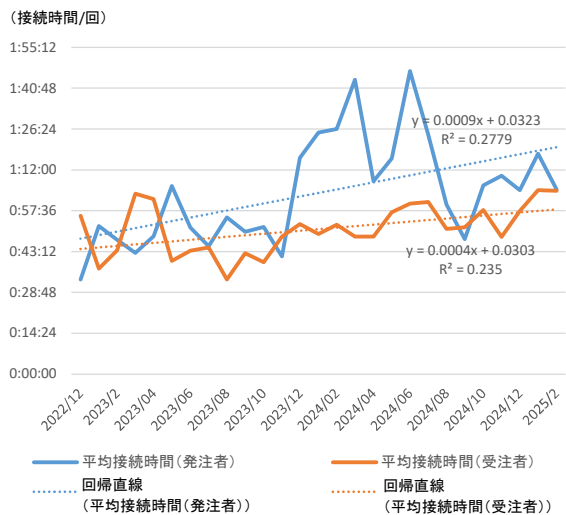


図-5 仮想PCの平均接続時間の推移

覧等の利用が増加したことが推察される。一方、受注者については、接続回数、接続時間は増加傾向にあったものの、1回あたりの平均接続時間は発注者に比べて少なく、概ね同じような値で推移していた。接続時間の分布を確認すると、受注者は短時間の利用が発注者と比較して多くなっており、これは発注者とは異なり、随時新規の利用者が仮想PCを利用し始める影響もあるものと推察される。

(3) 各機能の利用状況

具体的利用状況を把握するために、令和6年7月時点でアカウントが発行されている受注者、及びその受注者アカウントを発行した発注者に対してアンケート調査を実施した。なお、主なアンケート調査項目は以下のとおりである。

- ・回答者の属性等
- ・DXデータセンターの利用状況（頻度、理由）
- ・利用環境

- ・今後の利用に関する意向
- ・DXデータセンターの課題等

アンケートの回答は約220アカウントからあり、具体的にDXデータセンターを利用したとの回答は約150アカウントであった。それらの回答の各機能の利用実績を図-6、利用頻度を図-7に示す。仮想PCの利用は約6割であった。利用頻度は月に1度程度のとの回答が最も多く、利用用途として作業領域を利用するためとの回答が約半数、無償ソフトウェアを利用するためとの回答が約3割であった。アンケートでは利用したソフトウェアも確認しており、具体的に利用したソフトウェアの状況は表-2のとおりであり、無償ソフトウェアの利用が多い傾向にあることを把握した。

その他、作業領域の利用が多く約6割であった。利用頻度は月に1度程度のとの回答が最も多く、利用場面については受発注者間での情報共有との回答が多くあった。一方で、作業領域を利用していない者としては、受発注者間に大容量ファイル転送システム、情報共有システム（ASP）との回答があった。

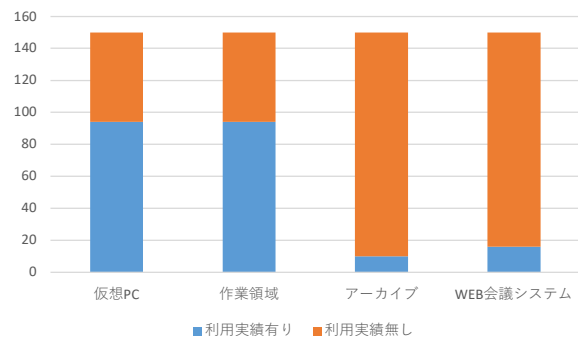


図-6 各機能の利用実績

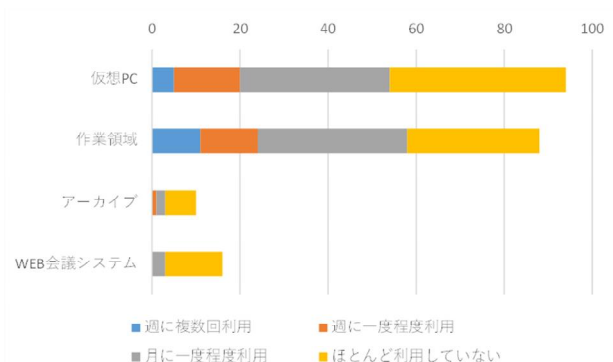


図-7 各機能の利用頻度

表-2 ソフトウェアの利用状況

ソフトウェアの種別	回答数
無償	54
有償	34

※複数回答あり

5. 利用実態のまとめ

把握したDXデータセンターの各機能に対する利用状況を整理した結果を表-3に示す。

表-3 DXデータセンターの利用状況の概略

機能	発注者	受注者	主な利用場面
作業領域	○	○	受発注者、受注者間の情報共有
仮想PC（無償ソフトウェア）	△	△	3次元モデルの閲覧
仮想PC（有償ソフトウェア）	×	△	3次元モデルの編集
アーカイブ	×	×	資料の検索
WEB会議システム	×	×	受発注者間の打合せ

○：利用 △：利用が限定的 ×：ほとんど利用されず

発注者の利用において主に利用された機能は作業領域であった。受発注者間の情報共有に活用されており、これは大容量のファイルを扱える点が他のサービスと比較して利便性が高かったものと推察される。また、複数の受注者間での情報共有に使われる例もあり、プロジェクトのマネジメントに有効に活用されたことが確認できた。一方で、仮想PCは利用が少ない状況であった。発注者職員においては、自ら3次元モデル等を作成・編集する機会は少なく、概ね利用は閲覧に限られることが明らかとなった。他方、受注者における利用も多くはなかった。これはBIM/CIMが原則適用されたこともあり、作成・編集においては自社内で環境を準備しているためと推察される。

アーカイブ機能は、他地整のデータを検索する際に便利であったとの意見があったものの利用は少ない状況であった。これは、同様の機能が電子納品保管管理システム等の他のシステムで提供されており、この機能を代替

できていることが主な原因と推察される。

WEB会議システムは他の会議で十分との意見があったことから、3次元モデルをベースとした会議のニーズが高くなかったことが明らかとなった。一方で、3次元モデルの確認等に利用している例がありWEBブラウザを利用した閲覧のニーズはあるものと考えられる。

4. おわりに

共同研究及び実証実験をつうじて、実証研究システムとして構築したDXデータセンターの利用状況、効果、課題を把握した。今後、これらの結果を踏まえ、3次元データ等を円滑に利用する共通データ環境のあり方を検討していく予定である。

謝辞：本稿は、国土技術政策総合研究所とオートデスク株式会社、川田テクノシステム株式会社、株式会社フォーラムエイト、福井コンピュータ株式会社、ESRIジャパン株式会社、アイサンテクノロジー株式会社、株式会社三英技研、株式会社建設システム、一般財団法人日本建設情報総合センター、株式会社パスコ、株式会社ビーシステム、株式会社Box Japanの共同研究「DXデータセンターにおける3次元データ利用環境の官民連携整備に関する共同研究」の成果の一部を含むものである。実証実験やヒアリングの実施においては、事務所および受注者の協力を得た。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 国土交通省：インフラ分野のDXアクションプラン
<https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001474380.pdf>
- 2) DXデータセンターポータルサイト：
<https://dxportal.nilim.go.jp/exonym>
- 3) 国土技術政策総合研究所：記者発表資料，令和4年1月31日，4月26日，令和5年1月18日，3月30日
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/kisya/index.html>

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

AN ANALYSIS OF THE ACTUAL USASGE OF 3D MODELS VIA DX DATA CENTER

Yuki MITSUTANI, and Toru NISHIMURA

The National Institute for Land and Infrastructure Management developed and subsequently started to operate the DX Data Center, that was aimed to provide 3D data storage and sharing environment for both contractees and contractors during the entire process of infrastructure and disaster management. A public-private partnership collaborative research project was launched to install several software packages to view, create, edit and share 3D data on the DX Data Center. Additionally, a demonstration experiment was conducted to evaluated the 3D data storage and sharing environment in the DX Data Center through the survey, design, construction and management works of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. This paper clarifies the actual usage of DX Data Center as well as its effects and challenges.

関東地方整備局における i-Construction2.0の取組

小澤 直樹¹・田村 匡弘²・古平 崇³

¹非会員 国土交通省 関東地方整備局 企画部 建設情報・施工高度化技術調整官
(〒330-9724 埼玉県さいたま市中央区新都心2番地1 さいたま新都心合同庁舎2号館)

E-mail: ozawa-n8310@mlit.go.jp

²非会員 国土交通省 関東地方整備局 企画部 施工企画課長

E-mail: tamura-m8312@mlit.go.jp

³非会員 国土交通省 関東地方整備局 企画部 施工企画課 課長補佐

E-mail: kodaira-t8310@mlit.go.jp

2016年4月に取り組みを開始したi-Constructionは、2025年度までに建設現場の生産性を2割向上させることを目標に進められてきた。開始から9年が経過した現在、その取り組みをさらに加速させるため、2024年4月に「i-Construction2.0 ～建設現場のオートメーション化～」が策定された。

本報告では、関東地方整備局におけるi-Construction2.0の具体的な取り組みについて紹介する。

Key Words : Kanto Regional Development Bureau, ICT Construction, ICT Construction StageII, i-Construction2.0, Automatic Construction, Remote Construction

1. はじめに

国土交通省では、建設現場の生産性向上、魅力ある建設現場の創出、そして働き方改革を目指し、2019年度より「i-Construction」に取り組んできた。この取り組みを加速させるため、2024年4月には「i-Construction2.0 ～建設現場のオートメーション化～」が策定された。

i-Construction2.0では、2040年度までに建設現場の省人化を少なくとも3割、すなわち生産性を1.5倍に向上させることを目標としている。その実現に向けて、建設現場で働く一人ひとりがより高い価値を生み出し、少ない人数でも安全かつ快適な環境で働ける、生産性の高い現場の構築を目指し、建設現場のオートメーション化に取り組んでいくものである。

2. i-Construction2.0の概要

i-Construction2.0では、建設現場のオートメーション化を実現するために、「施工のオートメーション化」「データ連携のオートメーション化」「施工管理のオートメーション化」の3本の柱を軸とする。それぞれの取組の概要及び今後のロードマップは以下のとおりである。

(1) 施工のオートメーション化

建設現場のデジタル化・見える化を進めることで、作業効率の向上を図る。加えて、現場取得データを建設機械へリアルタイムにフィードバックするなど、双方向のデータ活用を通じた施工の自動化により、施工プロセス最適化や、省人化・省力化による生産性向上が期待される。



図-1 施工のオートメーション化に向けたロードマップ^{a)}

(2) データ連携のオートメーション化

3Dデータの活用をはじめとしたBIM/CIMの導入により、デジタルデータの有効活用を最大限に図り、書類の削減や施工管理の高度化、検査業務の効率化により、建設プロセス全体のスマート化と業務負担の軽減が期待される。

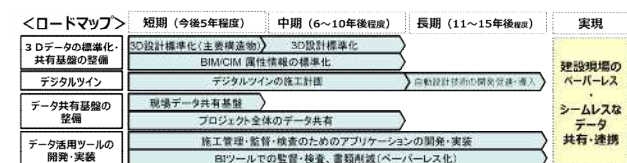


図-2 データ連携のオートメーション化に向けたロードマップ^{a)}

(3) 施工管理のオートメーション化

オートメーション化が進んだとしても、建設現場における人の介在は不可欠であり、働き方改革の推進が重要となる。プレキャスト部材の活用や、施工管理・監督・検査などのリモート化を図ることで、現場作業の省力化を実現する。これにより、建設現場のリモート化・オフサイト化を推進し、安全性と効率性の両立を目指す。



図-3 施工管理のオートメーション化に向けたロードマップ¹⁾

3. ICT施工Stage II の概要

i-Construction2.0の施策の一つである「施工のオートメーション化」を推進するうえで、施工データの活用は不可欠であり、その重要性はロードマップにも明示されている。

建設現場における建設機械の位置情報、稼働状況、施工履歴などのさまざまな情報（施工データ）をリアルタイムで集約・活用することにより、現場のデジタル化・見える化を進めるとともに、資機材の最適配置や作業工程の見直しを通じて、作業の効率化とさらなる省人化を目指す。これまで工種単位で効率化を図っていたICT施工の取組を、現場全体の最適化へと拡張する新たなステージとして、「ICT施工Stage II」が掲げられた。

さらに、令和6年度からはICT施工Stage IIの普及促進を目的として、効果を検証する試行工事が実施されている。併せて、施工データプラットフォームの構築に向けた必要なデータの確認も行われている。

4. i-Construction2.0の取り組み

i-Construction2.0における3分野において、それぞれの自動化・効率化に向けた取り組みが進められている。

本報告では、これら3分野のうち、とくに「施工のオートメーション化」に焦点を当て、その具体的な取組状況について紹介する。

(1) 施工のオートメーション化の取り組み

施工のオートメーション化に向けた取り組みとしては、堤防の除草作業における遠隔施工から、先進的な技術を活用した自動施工まで、幅広い技術の試行を進めている。

これらの試行を通じて、安全性の確保、省力化、作業効率の向上といった効果が期待されており、将来的な本格導入に向けた検証が行われている。

a) 遠隔施工

① 遠隔操作草刈り機による遠隔操作除草

堤防における除草作業では、作業員の負担軽減、安全性の向上、さらには作業日数の短縮を目的として、遠隔操作草刈り機による除草作業を実施している。



写真-1 遠隔操作草刈り機の遠隔施工状況

② セーフティクライマーによる掘削の遠隔施工

山間部などの急傾斜地における法面掘削作業では、従来の重機による搭乗操作では作業員の安全確保が難しい場面もある。こうした現場において、作業員の安全性の向上および作業期間の短縮を目的に、セーフティクライマーを用いた掘削の遠隔施工を試行している。



写真-2 セーフティクライマーの遠隔施工状況

③ 遠隔操作式バックホウによる遠隔施工

堤防施工においては、重機操作員の作業環境の改善や安全性の向上を目的として、バックホウの遠隔操作による施工を試行している。

バックホウの遠隔操作は、専用の遠隔操作機だけでなく、既存の重機に後付け可能な遠隔操作装置を活用することでも実現が可能である。これにより、導入の柔軟性が高まり、様々な現場条件に応じた対応が可能となる。



写真-3 バックホウの遠隔施工状況

b) 自動施工

① 無人キャリアダンプによる自動運搬

掘削現場において発生する土砂の運搬作業に対し、無人キャリアダンプを活用した自動運搬を試行している。

無人キャリアダンプは、あらかじめ設定された運搬経

路に従って自動走行し、目的地での土砂排出作業も自動で行う。さらに、運搬経路内の障害物を検知して回避する機能も備えており、安全性にも十分に配慮されている。このような自動化の導入により、運搬作業の省人化や作業員の安全確保、運搬効率の向上が期待される。



写真-4 無人キャリアダンプ自動運搬状況

②自動バックホウによる土砂の自動積込

掘削現場で発生した土砂の積込作業については、自動バックホウを活用した自動積込を試行している。

この自動バックホウには3Dスキャナーが搭載されており、積込対象となる集積土砂の形状や、ダンプトラックの位置及び集積状態をリアルタイムで把握しながら自動で作業を行う。さらに、積込土砂量の自動計測機能も備えており、過積載の防止にも寄与している。

こうした自動化技術により、作業の安全性と効率性の向上が図られ、施工のさらなる省力化が期待される。



写真-5 自動バックホウ積込状況

(2)データ連携のオートメーション化の取り組み

2015年度から全工事に適用されている情報共有システムに加え、2023年度より原則化されたBIM/CIMの適用により、建設現場におけるデータ連携のオートメーション化に向けた基盤は着実に拡大している。

2024年度には、ICT施工においてAR技術を用いた出来形管理の試行を実施し、この成果を踏まえ、2025年度からは実施要領に反映された。



写真-6 AR技術を用いた出来形管理（イメージ）¹⁾

(3)施工管理のオートメーション化の取り組み

施工管理のオートメーション化の取り組みのひとつとして、「遠隔臨場」が2022年度より発注規模1億円以上のすべての工事において実施されている（1億円未満の工事についても、必要に応じて実施）。

遠隔臨場では、情報共有システムに付加可能な機能を利用することができ、設計変更協議、段階確認、立会確認など、さまざまな場面で活用されている。これにより、現地への移動が不要となることで業務の効率化が図られ、現場作業の省力化や働き方改革の推進にも寄与している。

一方で、現場の条件によっては通信環境が不安定な場合もあり、こうした課題に対応するためにはネットワークインフラの整備も不可欠である。今後も技術・環境の両面から、継続的な取り組みを進めていく。



写真-7 遠隔臨場による段階確認状況

5. ICT施工StageⅡの取り組み

ICT施工StageⅡに相当する、施工現場の効率化（見える化）を実現する技術は、NETIS（新技術情報提供システム）にも多数掲載されており、施工者による独自の取り組みとして、関東地方整備局管内では2018年度以降、さまざまな工事で活用されている（NETIS施工実績）。

20243月には、「データ活用による現場マネジメントに関する実施要領（案）」が策定され、2024年度からは、この要領に基づいた試行工事が全国で実施されている。関東地方整備局においても、現在3件の工事でその効果検証を行っているところである。

さらに、検証対象外の工事においても、2024年度末時点で5件の工事においてICT施工StageⅡ相当技術が活用されており、合計8件の工事において施工現場の効率化を図る取り組みが進められている。



写真-8 車両運行管理システム画面

6. 活用の効果

i-Construction2.0（施工のオートメーション化）及びICT施工StageⅡに取り組んでいる工事関係者（発注者、受注者）に対し、活用の効果についてヒアリングを実施した。

(1) i-Construction2.0 施工のオートメーション化

- a) 発注者意見
 - ・ 接触事故の心配がなく安全性が向上した
 - ・ 工事規模によってはコスト面での課題が残る
- b) 受注者意見
 - ・ 安全性向上及び作業環境の改善を図ることができた
 - ・ 遠隔化技術を利用した働き方改革を推進及びアピールし、若手・女性などの雇用促進に活かしたい
 - ・ 遠隔重機と操作室までの通信環境(高速通信)の整備が必要
 - ・ 実績を重ね技術革新及び低価格化のサポートが必要

(2) ICT施工StageⅡ

- a) 発注者意見
 - ・ 現場管理の効率化出来た
- b) 受注者意見
 - ・ ダンプの運行状況のリアルタイムの把握により、運搬土量の管理や安全管理が効率化できた
 - ・ 運転手が絶えず見られているという意識を持つことから、安全意識の向上に繋がる
 - ・ 現場設置カメラを用い、安全教育訓練で理解度向上。また、広範囲の現場における現場状況把握にも有効活用できた

施工のオートメーション化に関する取り組みについては、多くの関係者から「安全性の向上が図られた」との意見が寄せられた。これは、従来の建設業に抱かれていた「3K（きつい・汚い・危険）」のうち、「危険」に対するイメージを払拭するうえで非常に効果的な変化である。

るといえる。また、本論文内で紹介した各種取組事例の写真からも、PC画面を活用した管理や操作、IoT技術の積極的な導入などが確認でき、建設現場におけるデジタル化の進展を明確に示している。遠隔施工をはじめとする先進的な施工手法は、作業環境の改善に寄与するとともに、これまでの建設業にはなかった新たな魅力や可能性を提示する契機となっている。

一方で、導入に際しては費用面での課題も指摘されており、特に中小規模の事業者にとっては大きな負担となる場合もある。ただし、こうした課題は建設業に限ったものではなく、他産業でも共通する問題であり、今後は、実績の蓄積や技術革新を通じて、機器やシステムの低価格化と導入のハードル低下が期待される。

7. おわりに

現在、関東地方整備局において実施されているi-Construction2.0（施工のオートメーション化）およびICT施工StageⅡの取り組みは、受注者による企業努力によって推進されているのが実情である。

これらの取り組みをさらに加速させ、建設現場の生産性向上を一層進めていくためには、多くの試行工事において活用効果の検証を重ね、その成果をもとに先進的な施工技術の基準化・標準化を図ることが不可欠である。

今後は、試行工事で得られた効果の水平展開（他現場への展開）を積極的にを行い、先進技術の普及・拡大に努めることで、建設現場の安全性向上、省力化、快適な作業環境の実現に寄与していく所存である。

謝辞： i-Construction2.0（施工のオートメーション化）及びICT施工StageⅡの取り組みに対し積極的に取り組まれ、建設現場における生産性向上に取り組んでいる皆様に、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 第20回ICT導入協議会資料（国土交通省）

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

I-CONSTRUCTION 2.0 INITIATIVES AT THE KANTO REGIONAL DEVELOPMENT BUREAU

Naoki OZAWA, Masahiro TAMURA, Takashi KODAIRA

i-Construction, which began in April 2016, has been progressing with the goal of improving productivity at construction sites by 20% by fiscal year 2025. Now, nine years after its launch, "i-Construction 2.0: Automation of Construction Sites" was formulated in April 2024 to further accelerate the initiative.

This report introduces the specific i-Construction 2.0 initiatives being undertaken by the Kanto Regional Development Bureau.

国総研におけるDXリテラシー向上の取組 (プロジェクトDX) について

大城 温¹

¹正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 企画部 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地)

E-mail: oshiro-n2r7@mlit.go.jp

国土技術政策総合研究所(国総研)では、デジタル・トランスフォーメーション(DX)を推進し研究活動や業務遂行を効率化するため、職員のDXリテラシーやDXスキル向上を目的とした人材育成(通称「プロジェクトDX」)に取り組んでいる。プロジェクトDXの実施にあたり、人材育成の対象者の範囲及び目標とするスキルを設定したうえで人材育成プログラムを作成した。作成したプログラムに基づき、全職員のDXリテラシー向上を目指す「全員研修」、及び中核的DX人材のスキル向上を目指す「選抜チーム研修」の2種類の研修を実施した。本稿では、作成した人材育成プログラム及び実施した2種類の研修について報告する。

Key Words: Digital Transforamtion, DX, Capacity Development, Digital Literacy, Digital Skill, Re-skilling

1. プロジェクトDXの背景と目的

近年、多様なデジタル技術の革新が急速に進んでおり、「デジタル・トランスフォーメーション(以下「DX」という)」の推進の重要性が指摘されている^{注1)}。総務省^{注2)}によれば、DXは「デジタル技術の活用による新たな商品・サービスの提供、新たなビジネスモデルの開発を通して、社会制度や組織文化なども変革していくような取組」を指す概念とされている。

国土交通省では、「インフラ分野のDX推進本部」を令和2年に設置するとともに、インフラ分野のDX推進のための取組及び具体的な工程等を取りまとめた「インフラ分野のDXアクションプラン(第1版)」^{注3)}を令和4年に、第2版^{注4)}を令和5年に策定し、分野網羅的かつ組織横断的な取組を推進している。

国土技術政策総合研究所(以下「国総研」という)においても、分野横断的な研究組織「インフラDX研究推進本部」を令和3年に設置し、インフラ分野のDXに関する研究・開発等の推進、DX関連技術の普及を図っている。DXの推進による研究活動及び業務(事務・作業等を含む)の効率化に貢献する人材育成を目的として、DXリテラシー及びDXスキル向上の取組「プロジェクトDX」を令和6年度から開始したところである。

2. プロジェクトDX人材育成プログラムの策定

プロジェクトDXを開始するにあたり、はじめに所内の運営体制を構築し、次に人材育成の対象者及び目標とするスキルを設定し、それぞれのスキルに応じた学習項目を選定するという手順で人材育成プログラム(主として、研修のカリキュラム及び実施計画)を策定した。詳細は以下の(1)~(5)のとおりである。

(1) 運営体制

DXに関する人材育成にあたって、専門的かつ学術的な経験及び知見に基づいて指導・助言を行う「イノベーション研究連携戦略官(非常勤)」として、DXに関する有識者(大学教授及び助教の計2名)が就任した。また、事務局は企画部及び社会資本マネジメント研究センターの職員8名が務めており、合計10名のチームが中心となってプロジェクトDXの運営にあたっている。

(2) 人材育成の対象者

DXの推進により、研究・開発だけでなく文書作成、決裁、連絡、報告、会議など事務作業を含めた様々な業務の効率化が期待できることから、人材育成の対象者は研究部門の職員だけでなく管理部門の職員や非常勤職員も含め、国総研に所属する全職員とした。

ただし、職員のレベルは多様であることから、全職員を対象とした基礎レベルの研修（以下「全体研修」という）と、DX 推進の中核的人材を対象とした応用レベルの研修（以下「選抜チーム研修」という）の2種類の研修を計画した。

(3) 目標とするスキル

2種類の研修に対して、以下の a)、b)のとおり目標とするスキルを設定した。

a) 全体研修

情報処理技術者試験の「ITパスポート試験」に合格できるレベルを想定しており、以下のとおり目標を設定した。

- ・DXを自分事として捉えられる
- ・デジタル技術や情報システムに関する業務・研究の内容が理解できる
- ・デジタル技術や情報システムに関する業務仕様書が書ける

b) 選抜チーム研修

情報処理技術者試験の高度な知識・技能の試験区分やデータサイエンティスト検定等に合格できるレベルを想定しており、以下のとおり目標を設定した。

- ・DXに関する研究・業務の中心的役割を果たせる
- ・DXについて指導・助言ができる

(4) 目標に対応した学習項目

(3)で設定した目標スキルに対応した研修カリキュラムおよび実施計画を策定するにあたり、国総研の研究者に求められるDXスキルを特定する必要がある。そこで、宮原³⁾が「ブルーム・タキソノミー」²⁾に基づき構造化した、国総研の研究者に求められる技術力のマトリックスから、プロジェクトDXの2種類の研修において対象とする知識をそれぞれ特定した（図-1）。

また、2種類の研修における学習項目については、「デジタルスキル標準」⁴⁾を参考に選定した。「デジタルスキル標準」は、「DXリテラシー標準」と「DX推進スキル標準」の2つの標準で構成され、前者はすべてのビジネスパーソンに向けた指針及びそれに応じた学習項目例を定義し、後者はDXを推進する人材の役割（ロール）及び必要なスキルを定義している⁴⁾。

プロジェクトDXにおける2種類の研修に対して、全体研修は「DXリテラシー標準」に相当し、選抜チーム研修は「DX推進スキル標準」に相当するものであることから、それぞれの標準を参考に研修対象とする学習項目やスキル項目を選定することとした。

(5) 研修のカリキュラム及び実施計画

(1)～(4)の検討に基づき、全体研修及び選抜チーム研

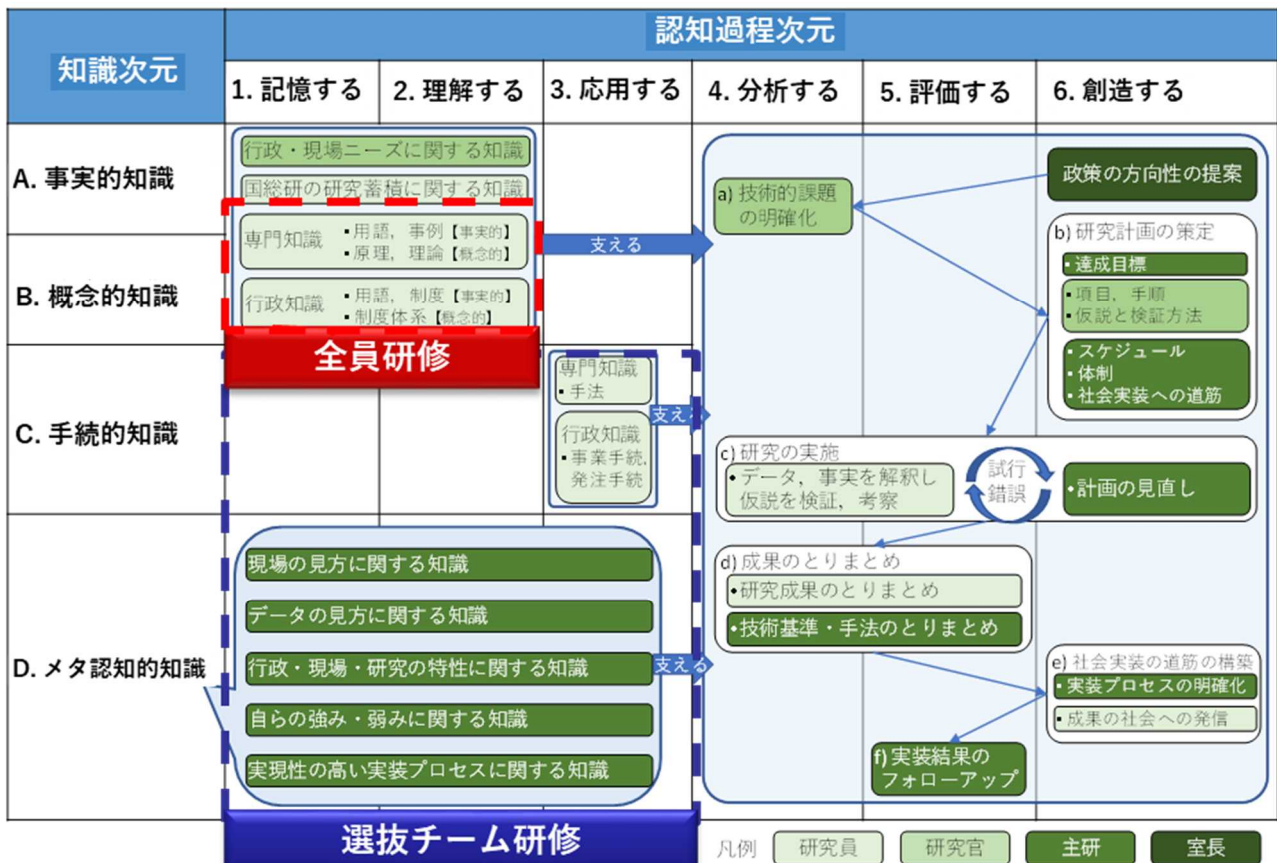


図-1 国総研の研究者に求められる技術力²⁾とプロジェクトDX研修における学習項目との対応関係

修のカリキュラム及び実施計画を策定した（表-1）。

表-1 プロジェクト DX の研修概要

	全員研修	選抜チーム研修
研修対象	国総研職員・交流研究員全員 (非常勤職員含む)	各部・センターから各1,2名 (総務部・企画部含む)
目標スキル	- DXを自分事として捉えられる - DXに関する業務・研究の内容が理解できる - DXに関する業務仕様書が書ける	- DXに関する研究・業務の中心的役割を果たせる - DXについて国総研内や地整に対して指導・助言ができる
研修内容	- 講演会 - 実演会（技術デモ） - 現場見学会 - 座学（eラーニング）	- アクティブ・ラーニング - 対面（+Web）での討議形式（年5回）
研修方法	- 講演会等は対面（+Web）で実施 - 資料や動画はイントラ等で参加者以外にも共有 - eラーニングは、動画+教材による自習	- 研修者から携わっている研究（業務）の課題について話題提供 - 各参加者からDXによる改善案等を提案し議論
学習項目	①データに関する知識 - 分析手法 - 読み取り方 - 入力や整備の手法 ②デジタル技術に関する知識 - AI - クラウド - ハードウェア・ソフトウェア - ネットワーク ③DXに関する政策・制度・法令・計画等に関する知識 - 政府全体の政策等 - 国土交通省の政策等 - 国総研の取組等 - 著作権 - サイバーセキュリティ - 個人情報保護	DX推進による研究・業務の改善・効率化 等

3. プロジェクト DX 人材育成の実施概要

(1) 全員研修

a) eラーニング

研修のカリキュラムに基づき、イノベーション研究連携戦略官が研修動画及びテキストを作成した。国総研職員がいつでも受講できるように作成したコンテンツによるeラーニングサイトを構築した（図-2）。



図-2 eラーニングサイト

b) 講演会

「DX が社会を変える ～インフラ分野 DX 推進の Before/After～」と題して、DX の取組の意義や効果について、イノベーション研究連携戦略官を講師とするキックオフ講演会（対面・オンライン併用）を開催した（図-3）。講演会の資料や動画はイントラネットで配信し、当日参加できなかった職員も視聴できるように配慮した。

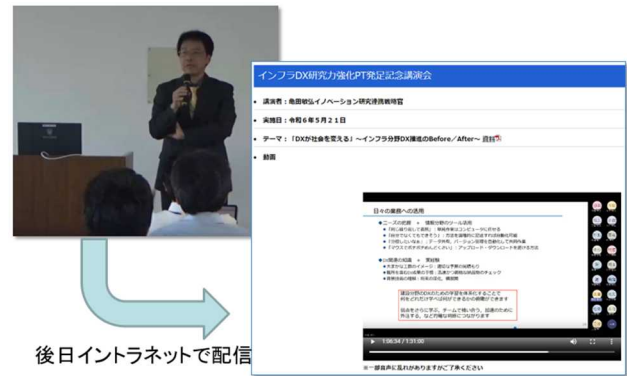


図-3 キックオフ講演会及びイントラでの配信

c) 講習会（技術デモ）

内閣府宇宙開発戦略推進事務局の協力により、GNSS（全球測位衛星システム）を活用した新技術について、開発企業の協力を得て、国総研構内でデモンストレーションを実施した（図-4）。



図-4 技術デモの様子

(2) 選抜チーム研修

総務部、企画部も含む各部・センターから代表者1名（希望に応じ2名）を選抜し計17名、計5回の研修を実施した。

研修参加者が所属する部・センターで抱える業務上の課題のうち、特にDXを活用して解決を目指したいテーマと対応方針についてプレゼンし、その発表内容について研修員間で討議を行い討議終了時に戦略官から助言をウケる形式で実施している（3～4テーマ/回、計4回、2時間/回）。

また、締めくくりとなる5回目の研修では国総研内の

DX 推進のためのアイデアについてグループディスカッションを行い提案した（図-5）。



図-5 グループディスカッションの様子

4. おわりに

プロジェクト DX の取組は、まだ始まったばかりであり手探りで進めているところであるが、DX 人材育成はどの組織においても喫緊の課題であることから、産官学の連携・情報共有を図りながら、引き続き取組を進めてまいりたい。

NOTES

- 注1) 経済産業省：デジタルガバナンス・コード 3.0, 2024 年 9 月 19 日改訂, p.2, https://www.meti.go.jp/policy/it_policy/investment/dgc/dgc3.0.pdf
- 注2) 総務省：令和 3 年版 情報通信白書, 第 1 部第 2 節 2 (1), p.79, <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/white-paper/ja/r03/html/nd112210.html>
- 注3) 国土交通省：インフラ分野の DX アクションプラン (第 1 版), 2022 年 3 月, <https://www.mlit.go.jp/tcc/content/001474432.pdf>
- 注4) 国土交通省：インフラ分野の DX アクションプラン (第 2 版), 2024 年 8 月, <https://www.mlit.go.jp/tcc/content/001633173.pdf>

REFERENCES

- 1) 宮原史：国総研の研究者に求められる技術力の構造化の試み, 土木技術資料, 65 巻 8 号, pp.38-43, 2023.
- 2) Anderson, L., Krathwohl, D., Airasian, P., Cruikshank, K., Mayer, R., Pintrich, P., Rath, J., & Wittrock, M. : A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's Taxonomy of education objectives. Longman, 2001.
- 3) 石井英真：「改訂版タキソノミー」によるブルーム・タキソノミーの再構築ー知識と認知過程の二次元構成の検討を中心にー, 日本教育方法学会紀要「教育方法学研究」第 28 巻、2002.
- 4) (独) 情報処理推進機構、経済産業省：「デジタルスキル標準 ver.1.1」, 2023 年 8 月.

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

NILIM'S EFFORTS TO IMPROVE DX LITERACY

Nodoka OSHIRO

National Institute for Land and Infrastructure Management (NILIM) has launched capacity development (called "Project DX") aimed at improving DX literacy and DX skills of researchers and administrative staffs in order to promote DX and improve the efficiency of research activities and business operations. In implementing Project DX, a capacity development program was created after determining the scope of people to be trained and the target skills. Based on the program, two types of training were implemented: "Training for all" aimed at improving the DX literacy of all staff, and "Training for core personnel" aimed at improving the skills of core DX personnel. This paper reports on the capacity development program that was created and the two types of training that were implemented.

3DWebGISを活用した観測データリアルタイム モニタリングシステムの開発

藤原 圭哉¹・織茂 奈津美²・小倉 睦²・村上 千晶³・黒川 雅裕^{1,4}
藤村 善安³

¹日本工営株式会社 中央研究所 デジタル基盤推進センター（〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4）
E-mail: a8351@n-koei.co.jp

²日本工営株式会社 中央研究所 技術開発センター（〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2304）

³日本工営株式会社 中央研究所 先端研究センター（〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2304）

⁴日本工営株式会社 地盤環境事業部 地質部（〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4）

i-Constructionの取り組みにより、BIM/CIMデータや点群データなどの3次元データの整備が進み、また各種IoT機器の技術が日進月歩で進化している。とくに大規模なインフラ事業においては、各種IoT機器を用いた長期間の環境モニタリングが実施されており、事業途中で新たに高性能な計測機器が導入されることもある。異なる種類やメーカーの観測機器を導入しても、柔軟にデータ連携でき、事業全体を一元的にモニタリングできるシステムがあれば、中長期・大規模なプロジェクトにおいても円滑に最新技術を導入することが可能である。本研究では、荒川第二・三調節池をフィールドとして、オープンソースの3D WebGISをコアに、多種多様な通信型のモニタリング機器の設置位置やリアルタイムの観測結果を一元的に把握できるシステムを開発した。他の現場でも現場のニーズに応じて、水位計以外の観測機器や地下水・河道シミュレーション結果との連携等カスタマイズしながら展開することができる。

Key Words : i-Construction, BIM/CIM, 3DWebGIS, Increased productivity, Open Source Software

1. はじめに

近年i-Constructionの取り組みにより、BIM/CIMデータや点群データなどの3次元データの整備が進み、また各種IoT機器の技術が日進月歩で進化している。

水位観測においては、従来定期的に水位計のログを回収する必要があるため、データ回収に人手がかかるほか、現場以外でイレギュラー発生を把握する方法がないため、イレギュラー発生に時間が掛かるという課題があった。しかし、近年各社が通信型の水位計を開発しており、現場に行かずともデータの把握がシステム上で可能となった。とくに大規模なインフラ事業においては、各種IoT機器を用いた長期間の環境モニタリングが実施されており、事業途中で新たに高性能な計測機器が導入されることもある。

一方で、各社の開発する通信型水位計は、表-1に示す通り様々な通信方式、防水・防塵性能、電源形式が乱立しており、またデータ配信先のシステムが、観測機器ベンダーの独自クラウドに紐づいている状況がある。そのため、観測機器を追加する際に、一度導入した通信型水

位計より優れた新型の水位計が活用できるようになって、クラウドシステムの混在を避けるために、当初採用した水位計及び紐づいたクラウド型システムを活用することとなり、新機種導入の障壁になる場合がある。

表-1 各社観測機器スペック例

検討項目	A社	B社	C社	D社
製品名	〇〇 水位計	△△ 水位計	×× 水位計	■ 水位計
通信方式	3G, 4G	3G, 4G	3G, 4G	4G, 5G, 衛星
防水・防塵		IP67	IP65	IP68
電源	専用バッテ リ交換可	内臓バッテ リ交換不可	乾電池 で動作	乾電池で 動作
他クラウド連携	〇	不可	不可	〇

※その他の通信方式として、省電力無線及びwifi、電源方式としてAC電源やソーラー方式がある。

2. 課題を踏まえたシステムの提案

課題を踏まえ、解決するための方策として、以下の機能を具備したシステムを解決案として提案した。

方針1：複数メーカーの機種が扱える仕組みとし、既存製品よりも優れた製品が出た際に、あるいは事業の途中で観測地点が新たに追加となった際に、その時点で優れた機種を選べる仕組みとする。

方針2：データの一元管理に加え、昨今の3Dデータの整備状況を踏まえ、BIM/CIMデータ及び点群データが搭載可能でブラウザ上で確認できるビューワー(3DWebGIS)を具備し、任意の箇所地質境界・地下水面のサーフェスを断面抽出し確認可能な仕組みとする。

既存の製品では、EARTHBRAIN社がLandlog Viewerを開発しているほか、ESRI社のArcGIS Onlineを活用してアプリケーションを開発した事例が多く見受けられるが、本取り組みでは、カスタマイズの自由度の高さ及び将来の他フィールドへの展開を勘案して、オープンソースの3DWebGIS (Cesium) をコアとした独自システムの開発を実施した。

3. 適用フィールド及び開発したシステムの概要

(1) 適用フィールド

筆者らは荒川第二・三調節池事業をフィールドとして、システムを試行した。本事業は、令和元年台風の荒川流域の洪水被害を踏まえ、荒川の治水安全度向上のための抜本的対策として、埼玉県さいたま市、川越市、上尾市

の荒川左岸の広大な高水敷を調節池化するものである。事業の概要を図-1に示す。



図-1 荒川第二・三調節池事業の概要

(2) 開発概要

多種多様な通信型のモニタリング機器の設置位置やリアルタイムの観測結果を一元的に把握できるシステムを開発した。本システムはAWS上で構築されており、荒川調節池工事事務所のホームページ上りで公開されているBIM/CIMモデルも活用しながら、ブラウザ上で3D的にリアルタイムの水位を確認できる。また、地下水面と地表面を重ね合わせて任意の断面でも状況を確認することができる。ユーザー管理機能により他の現場にも展開可能な仕組みとなっているため、他の現場でも現場のニーズに応じて、水位計以外の観測機器や地下水・河道シミュレーション結果との連携等カスタマイズしながら展開することができる。開発したシステムの概要及び機能一覧、連携・搭載データ一覧、観測機器情報をそれぞれ図-2、表-2、表-3、表-4に示す。



図-2 開発したシステムの概要

表-2 開発したシステムの機能概要

No.	機能	概要
1	データ収集機能	地下水位計のデータを収集
2	ログイン機能	ユーザー名とPWで認証
3	地図表示機能	3D地図上でセンサー位置と諸元情報・収集情報確認
4	一覧表示機能	センサーの諸元情報を一覧で確認
5	縦断面図作成機能	任意線分で地形・地下水面・センサー位置縦断面図作成
6	グラフ表示機能	センサーの時間水位を時系列グラフ表示
7	CSV出力機能	センサー水位・電圧・温度の時系列データを出力
8	アラート通知機能	センサーがユーザーが設定した閾値を下回るor上回った場合にユーザー側にアラートメールを発信する。 例：バッテリー残量, 水位
9	ユーザー管理機能	複数フィールドで活用可能なユーザーおよびアカウントの権限の設定

表-3 連携データ一覧

No.	機能	概要
1	水位計情報	地下水位計のデータを収集
2	BIM/CIMデータ	荒川調節池工事事務所のHP上で公開されているBIM/CIMデータを活用
3	3D地形データ	基盤地図情報DEMデータ（公開データ）を活用
4	基盤地図	国土地理院にて公開されているAPIを活用（航空写真・標準地図・淡色地図）
5	表層地質図データ	シームレス地質図 ²⁾ のWebAPI（公開データ）を活用
6	地質境界サーフェスデータ	地質境界や地下水面等のサーフェスデータを活用
7	衛星画像データ	Sentinel-2データ ³⁾ （公開データ）を活用

表-4 観測機器情報

No.	機能	データ例及び備考
1	観測井名	例：No.X
2	項目名	例：水位、電源電圧
3	座標	緯度経度系（EPSG：4326）
4	通信機ID	例：XXX0000
5	距離標	例：●k
6	ストレーナー情報	上端および下端深度
7	設置地域	例：〇〇地区
8	登録日	yyyy/mm/dd

9	更新日	yyyy/mm/dd
10	既往最低水位	アラート発出等にも活用
11	地盤高	(単位:T.P.m)
12	中間深度	(単位:T.P.m)
13	センサー設置標高	(単位:T.P.m)
14	データ時刻	yyyy/mm/dd mm:ss
15	水位	(単位:T.P.m)
16	電圧	(単位:V)
17	温度	(単位:℃)

4. システムを開発した効果

まず従来からある非通信型の水位計に対する、通信型水位計導入の効果として、リアルタイムで水位を把握できるようになり、また頻繁なデータ回収作業を行う場合に比べて観測コストも低減することが可能となった。またアラート機能の活用により、水位やバッテリー電圧が任意に設定した閾値を下回った場合にアラートメールが発出されるようになり、データ確認作業の効率化がはかれた。

インテグラル水位計 (S/N: 120057) の水位が警報値を下回りました。

観測地点：R1-2-W15_L44.0k

観測井：R1-2-W15-1

設定閾値: 7.1m 水位: 6.8216m

下回った時刻：Tue Mar 25 2025 11:00:00 GMT+0900 (Japan Standard Time)

図-3 アラートメールの一例

次に、本システムの利用に特徴的なこととして、BIM/CIMデータも搭載できることから、地下部も含めた施設配置と地下水位の状況を容易に三次元的に把握できるようになり、事業監理の高度化に寄与する。荒川調節池工事事務所はi-Constructionモデル事務所であり、様々な設計成果、工事成果がBIM/CIMデータ及び点群データで蓄積されている。本システムの利用は、BIM/CIMデータの施工管理・環境モニタリングへの有効な活用例と考えられる。背景地図を随時更新される衛星画像にした場合には、工事進捗との関係も把握しやすくなる。

また、荒川調節池工事は、工事期間10年以上におよぶ長期事業であり、通信型水位計によるモニタリング開始後に、実際に観測地点を追加する機会があった。その際、複数メーカーの機種に対応している本システムの利用により、当初設置機器のメーカーにとらわれず、水位計選定の各時点における最適な機種の選定が可能となり、効果的なモニタリングに寄与した。

5. おわりに

今後、システムの利便性向上のために、以下の観点で追加改良を行い、更なる生産性向上へ資する取り組みに繋げる。

(1) 工事データへの対応

事業の進捗に伴い、種々の工事が輻輳し、蓄積されるデータも膨大となってくる。システム上で工事箇所の情報把握（工事位置、期間、進捗状況）及び気づいたことをメモに残すような機能を具備することにより、事業監理の立場からより有用なシステムになると考えられる。

(2) 地下モニタリングシステムとしての活用

2025年1月28日に発生した八潮市の道路陥没⁹⁾を契機に、地下埋設物の管理の重要性がより一層高まっている。河道内に限らず、トンネル・地下調節池などで施工中ないし完成後の維持管理で各種観測機器にて継続的なモニタリングを実施している現場は多数存在している。次々と新しい通信型観測機器が出てくることを踏まえ、いち早く現場の状況に最適な機器を導入する環境を本システムを通して準備し、事業監理の最適化につながる取り組みとして行きたい。

(3) デジタルツインの活用

近年デジタルツインの研究が盛んになっている。Liらは、河川流域におけるデジタルツインを「現実空間、特に流域全体の特性に関する情報がリアルタイムモニタリングでサイバー空間にも蓄積されビッグデータとなり、データ駆動的にシミュレーションモデルや AI モデルが動作して今後の状況の予測、早期段階での警告、それらの結果及び実態を仮想空間上に表現し、推論結果を反映

した最適化・意思決定の方策（特に洪水制御）を土木技術者・河川管理者に提示するデジタルモデルを取り扱うもの」と定義しており、日本においても研究開発が進められているところ⁹⁾である。地下水の分野においても、シミュレーションソフト等と連携し、出力結果を本システム上で可視化することで、今後の状況予測を踏まえた意思決定の高度化に繋げることができる。

謝辞：荒川調節池工事事務所に多大なご協力をお願いした。関係各位に心より御礼申し上げます。

REFERENCES

- 1) 荒川調節池工事事務所 HP:
<https://www.ktr.mlit.go.jp/araike/kensetsudx/bimcim.htm>
- 2) シームレス地質図：<https://gbank.gsj.jp/seamless/>
- 3) Sentinel-2: <https://sentinels.copernicus.eu/copernicus/sentinel-2>
- 4) 八潮市内での道路陥没事故への対応について:
https://www.city.yashio.lg.jp/shisei/machizukuri/dousuiro_kyouryou/kannbotujiko/sisetu/dou-rokanbotu_taiou.html
- 5) Li, Wenzheng and Z. Yifeng: Concept, Key Technologies and Challenges of Digital Twin Riverbasin, 2022 IEEE 12th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC), Beijing, China, pp. 117-122, 2022.
- 6) 藤原圭哉, 佐藤誠, 山下千智, 黒田直樹, 亀田敏弘: 3D データと河床変動解析を活用した河川分野におけるデジタルツインの実現に向けての提案, AI・データサイエンス論文集, 5 巻 1 号, pp126-133, 2024. [Fujiiwara, K., Sato, M., Yamashita, K., Kuroda, N. and Kameda, T.: Proposal for the implementation of digital twins in the river domain using 3D data and riverbed fluctuation analysis, *Artificial Intelligence and Data Science*, Vol.5, pp. 126-133, 2024.]

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

DEVELOPMENT OF A REAL-TIME MONITORING SYSTEM USING 3D WEBGIS

Keiya FUJIWARA, Natsumi ORIMO, Mutsumi OGURA, Chiaki MURAKAMI,
Masahiro KUROKAWA, and Yoshiyasu FUJIMURA

With the initiatives of i-Construction, the development of 3D data such as BIM/CIM data and point cloud data has progressed, and the technology of various IoT devices is evolving rapidly. Especially in large-scale infrastructure projects, long-term environmental monitoring using various IoT devices is being conducted, and new high-performance measurement devices may be introduced during the project. If there is a system that can flexibly integrate data even when different types or manufacturers of observation devices are introduced, and can monitor the entire project centrally, it will be possible to smoothly introduce the latest technology even in medium- to long-term large-scale projects. In this study, we developed a system that can centrally grasp the installation positions and real-time observation results of various communication-type monitoring devices, using the Arakawa No. 2 and No. 3 regulating ponds as the field and open-source 3D WebGIS as the core. This system can be customized and deployed according to the needs of other sites, linking with observation devices other than water level gauges and groundwater/river channel simulation results.

関門航路の浚渫革命

～リアルタイム測量が拓く先進的^{みちしるべ}道標～

石橋 敬¹・平川 雅之²・福田 孝浩³・竹内 桃花⁴

¹株式会社白海 代表取締役 (〒808-0021 福岡県北九州市若松区響町 3-1-33)

E-mail: shirakai@orange.ocn.ne.jp (Corresponding Author)

²株式会社白海 技術部部长 (〒808-0021 福岡県北九州市若松区響町 3-1-33)

³株式会社白海 工事部課長 (〒808-0021 福岡県北九州市若松区響町 3-1-33)

⁴株式会社白海 技術部主任 (〒808-0021 福岡県北九州市若松区響町 3-1-33)

東アジア・日本・北米等の主要港湾間を結ぶ物流の結節点として、また東アジア等と西日本経済圏を結ぶ国際航路として、日本の産業・経済を支える関門航路。現在、水深-14m化に向けた整備が進められている。しかし、最も狭隘な早瀬瀬戸地区では潮流が最大 10 ノットにまで達するため、浚渫工事における出来形の確保が困難であり、手直し掘削が多発する。そのため、手直し掘削箇所を特定するための自主出来形測量が必要である。本稿では「自動出来形測量・遠隔管理システム」という新技術を活用することで、上記作業において省人化・省力化を実現し、生産性・安全性の向上および施工の効率化・高度化を達成した施工管理方法について、問題解決の道標を考察・とりまとめた。

Key Words: dredging, narrow multibeam sonar, multibeam sonar survey, underwater visualization, automated as-built survey, remote management system

1. はじめに（背景）

(1) 関門航路の概要^{注1)}

関門航路は、関門海峡を縦貫する全長約 50km、航路幅 500～2,200m、概ね航路水深-13m の、狭くて細長い水路である。響灘海域と周防灘海域で生じる潮位差により、関門海峡で最も狭隘な早瀬瀬戸地区では約 10 ノット（1 ノットは時速 1.852km）にも達する潮流が発生することから、我が国有数の海上交通の難所である。

現在本航路においては、大型船舶の輸送効率化および通航船舶の安全性向上に資するため、水深-14m 化に向けた整備が進んでいる。この整備により、運行時間の短縮・燃料費削減、輸送量増加、海難事故の減少の効果が得られることから、我が国の国際競争力・国民生活の質の向上のために極めて重要なプロジェクトである。

(2) 関門航路における浚渫工事の特性

整備においては浚渫工事を行うが、本航路のような急潮流域での浚渫工事では、潮流により海中でグラブバケットが流動し、掘削箇所のズレが生じることで掘り残し



図-1 海中でのグラブバケットの流動による掘削箇所のズレ

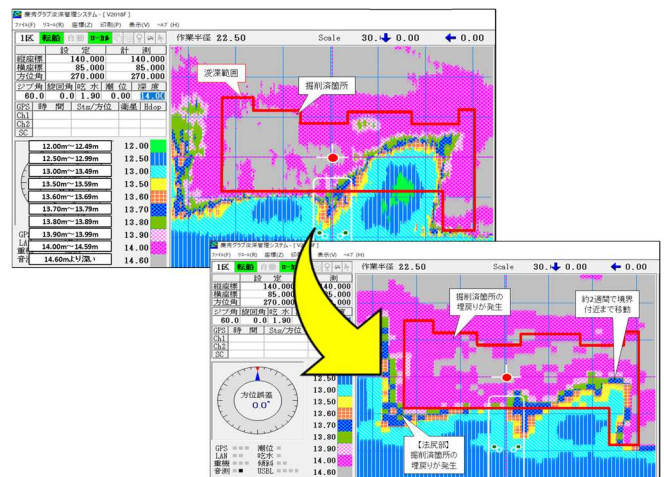


図-2 サンドウェーブによる掘削済箇所の埋め戻り

が発生する。また、潮流の影響で発生する海底地形の波状変化現象（サンドウェーブ）により掘削箇所への埋め戻りが発生する。以上の事象により、他海域に比べより多くの手直し掘削を必要とする。

2. 新技術活用を経緯

(1) 課題

前項に記載した手直し掘削を行うためには、まずは掘り残し・埋め戻り箇所を特定する必要があるため、工事期間中複数回に分けて自主出来形測量を実施する。従来弊社の場合は、浚渫作業を中断し作業船団を待避→測量船を投入→マルチビームソナー（扇状 図-3 参照）による測量→測量結果のデータ化という手順で、浚渫 5 日につき 1 回の頻度で自主出来形測量を行っていた。しかし、広域の測量とデータ化には多大な時間と労力を要するため、リアルタイムで出来形の把握ができず、掘り残し・埋め戻り箇所の特定制が遅れ、特定制した時点では既に現在の掘削箇所から遠く離れた海域となってしまう。このような状況では、浚渫船団の後日再投入、手直し掘削が必要となり、作業の非効率化と膨大な追加費用の発生を招いていた。



図-3 従来のマルチビームソナー測量イメージ

(2) 検討・解決手法

上記課題を解決するために、「自動出来形測量・遠隔管理システム」を開発するに至った。

開発にあたり、まずは測量方法についての検討を行った。従来は、浚渫作業の中断や測量船の別途投入が、非効率化と膨大な追加費用を発生させていたことから、浚渫作業と同時に並行して測量を実施する必要があると考え、浚渫船にマルチビームソナーを搭載することとした。マルチビームソナーによる3次元測量は最近の主流となってきたが、浚渫船への装備は業界初と認識している。

ここで懸念点として挙げられたのは、浚渫作業によって発生する泡や濁り等の影響による測量精度の低下であ

った。対策として、マルチビームソナーの取付け位置を、船底中央・船首より15mの位置とした。これにより、濁り等が収まった状況下での測量が可能となった。

次に、浚渫船に取り付けるマルチビームソナーの機器選定を行った。手直し掘削箇所の特定制を即時に行うためには、浚渫作業と並行して測量を行うことに加え、測量とデータ化に要する時間の短縮が重要である。しかし、従来のマルチビームソナーによる測量は、図-3のような扇状で測線での測量が主であり、この測量手法では、広域の測量とデータ化には多大な時間と労力を要する。そこで、「NORBIT（ノルウェー）社製 Nordredge ISTXh360」を選定した。（表-1 参照）

表-1 リアルタイム自動出来形測量装置

型式	Nordredge ISTXh360
開発会社	NORBIT
開発会社国	ノルウェー
測深周波数	400KHz
測深範囲	0.2～275m
送受波器形状	カーブドアレイ
動揺補正装置	PosMV OceanMaster

本装置は、512本の高精度ビームを使用して広範囲な海底を円形に測量でき、水深10mのケースでは直径80m、面積5,024㎡測量可能である。（図-4 参照）このような広域の正確な測量と、本装置に付随する個性的なノイズ除去システムを組み合わせることで、データ化までの一連の作業の効率化を実現した。なお、常時自動で出来形を計測し、ノイズ除去を行っているため、1シフト毎の手直し掘削判断をそのリアルタイム出来形を基に行えることは、浚渫作業と同時に詳細な測量データを有効活用できることであり、浚渫作業の効率化の根拠となり得る。



図-4 本技術における測量イメージ

さらに、取得した3次元出来形測量データは、本社側PCからの遠隔操作により、いつでも、どこでも、誰でも確認・操作できるシステムを構築した。

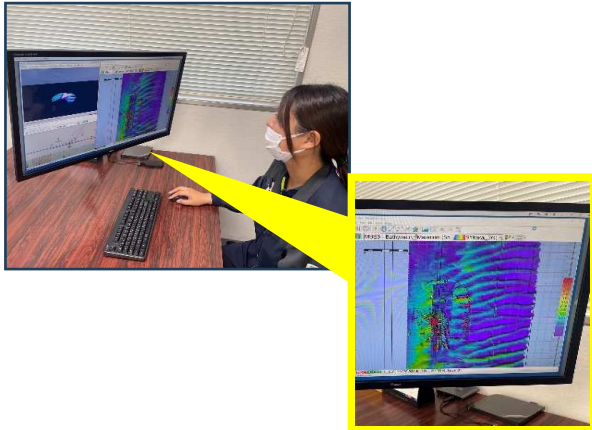


図5 遠隔操作画面イメージ

3. 活用効果・検証

(1) 活用現場の概要

「工事名：令和5年度関門航路(大瀬戸～早鞆瀬戸地区)航路(-14m)浚渫工事」にて本技術を実際に活用し、得られた結果を紹介する。なお、1日当たり8時間稼働で各作業の所要日数を比較検討した結果である。従来の自主出来形測量は浚渫実働5日当たり1回実施していたこと、また本工事の浚渫作業日数が20日であった実績を考慮し比較している。

(2) 生産性向上

以下に述べる効果により、生産性が向上した。

a) 工程短縮

当現場にて本システムを活用した結果、掘進直後16箇所の掘り残しを特定した。直ちに浚渫船団を再セットし、速やかな手直し掘削を行った。手直し掘削に要した時間は合計1日(所要0.5時間×16箇所=8時間)である。浚渫作業と並行して測量とデータ化を行うため、別途測量にかかる所要時間はデータ化まで含めて0日であり、20日(浚渫実働19日+手直し掘削1日)工程で完成した。

従来技術では、本工事の場合4回の自主出来形測量が必要であるため、自主出来形測量2日(所要4時間×4回)・浚渫船団再セット手直し掘削4日(所要2時間×16箇所)・4回目測量のデータ化1日で計7日を要し、浚渫実働19日を加え26日工程となる。よって、本技術と比較して6日(約23%)の工程短縮ができた。

浚渫作業と並行して測量とデータ化を行えること、さらにリアルタイム出来形の把握が即時に可能となり手直し掘削の判断が迅速に行えることで、工程の大幅な効率化、作業効率の向上、施工精度の向上を実現することができた。

b) 人員削減

従来技術では、測量作業の実施においては専門の測量作業員を配置する必要があり、測量後のデータ化においても人員と時間を要する。1回の測量につきマルチビーム測量24時間(3人×8時間)・データ化8時間(1人×8時間)で計32時間を要し、本工事の場合は自主出来形測量回数4回であるため、計128時間(4回×32時間)の所要時間が発生する。

本技術では、浚渫作業と並行して常時測量とデータ化を行うため、別途測量船の投入が不要となり、測量作業員の手配やデータ化作業に関わる人員配置を省略できた。測量作業とリアルタイム出来形データ化に関する人員配置の観点からは、従来技術と比較して作業人員を100%削減できた。

c) 費用削減

グラブ浚渫船(30m³級)は、例えば作業がないケースでも、船舶燃料・経費、人件費として1日当たり約300万円の費用が発生する。また測量船によるマルチビーム測量は、測量船・測量機器・船員・測量員の費用が1回当たり約90万円必要となる。本工事では、浚渫船拘束を6日間、測量船測量を4回削減できたことで、約2,160万円の費用削減を達成できた。

本システムの活用には初期投資はかかるものの、中長期的には費用削減となる。a)工程短縮と、b)人員削減の効果は、経済的效果も顕著であった。

d) 施工の効率化・高度化

水中での測深データには、気泡の混入による異常値、濁りによる信号減衰や機器の電氣的なノイズ、類似機器の音響干渉等の様々なノイズが含まれるが、瞬時にノイズ除去が可能となったため、データ化にかかる時間が大幅に削減された。さらに、日々の浚渫出来形は1時間程度でデータ化が可能である。これにより、浚渫予定・浚渫箇所の海底地盤高を翌日の掘削計画に反映できるため、さらなる効率化が図れる。これらのデータは、オンラインで工事事務所・本社はもとより発注者も常時把握可能であり、確実な進捗・出来形管理を実現できた。現場臨場の頻度も低減し、省人化にも繋がっている。

(3) 安全性向上

以下に述べる効果により、安全性が向上した。

a) 作業形態の変革

前項で述べた通り、自主出来形測量を実施する際は、別途測量船の投入を必要としていたため、限られた海域内で複数の船舶が作業を行う必要があり、船舶同士の接触事故のリスクが常に存在していた。

本システムの導入により、これらの潜在的な事故リスク

を大幅に低減できた。

b) 人員配置の最適化

浚渫船による一元的な施工管理体制の確立により、専門の測量作業員を配置する必要がなくなったため、現場への短期的な入場者数を大幅に削減することが可能となった。新規入場者の事故リスクは特に高い傾向にあり、この建設現場全体における重要な安全課題の解決に直接的に寄与している。

4. 今後

(1) 期待される効果

本技術の有効性は、本稿で紹介したような、関門航路をはじめとする急潮流域における浚渫工事での活用のみに限まらない。例えば、過剰掘削の状況を即座に把握することができると、設定水深の修正を含む適切な調整や法面部における過剰掘削の防止となり、余掘土量の低減に大きく寄与する。また、現在日本全国の3D都市モデルの整備・活用・オープンデータ化（デジタルツイン化）が進んでいる中で、本技術にて取得したデータは、港湾分野におけるデジタルツインを推進できると想定している。さらに、AIやIoTセンサー等の他技術と融合させることで、海底地盤状況の変化における分析や、浚渫時期の提言など、施工以外の分野での活用も期待できると考えている。

(2) 今後の予定

現在、本技術の「新技術情報提供システム(NETIS)」への

登録を進めている。本技術活用を場を広げることで、業界の技術水準向上に寄与するとともに、本稿にて紹介した課題だけではなく、業界が直面する様々な課題解決を図りたい。現場研修会等において、本技術を積極的に紹介し、担い手確保とともに、本技術の波及に努めたい。

5. おわりに

今回「自動出来形測量・遠隔管理システム」の活用によって、関門航路での浚渫工事における課題解決の道標を確立した。さらに前項で述べた通り、本技術活用の場合・有効性は多大な可能性を秘めており、様々な課題を解決する道標になり得ると確信している。本技術は i-Construction2.0 にて示されている「施工のオートメーション化」の具現化であり、建設産業のDX推進に寄与するものである。今後も技術革新を続け、より安全で効率的な施工管理手法の確立を目指す。いずれオートメーション化が実現した先には、月に作業船を持っていくという野望を抱いている。

謝辞：最後に、九州地方整備局関門航路事務所をはじめ、ご指導いただいた関係者皆様に深く謝礼申し上げます。

NOTES

注1) 平成25年度第2回事業評価監視委員会資料「関門航路 開発保全航路整備事業」。

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

DREDGING REVOLUTION OF THE KANMON PASSAGE ADVANCED GUIDEPOSTS OPENED UP BY REAL-TIME SURVEYING

Kei ISHIBASHI , Masayuki HIRAKAWA , Takahiro FUKUDA , Momoka TAKEUCHI

The Kanmon Passage supports Japan's industry and economy as a key logistics hub, connecting major ports in East Asia, Japan, North America, and beyond. It also serves as an international sea route linking East Asia with the Western Japan economic zone. Currently, dredging work is underway to deepen the waterway to a depth of -14 meters. However, in the narrowest section—Hayatomo Seto—tidal currents can reach speeds of up to 10 knots, making it extremely difficult to maintain the designed dredged profile during excavation. As a result, frequent re-dredging is required. To accurately identify areas requiring rework, independent as-built surveys are essential. This paper examines construction management methods that utilize a new technology known as the "automated as-built surveying and remote management system." This system has enabled significant reduction in labor and manpower, improved productivity and safety, and enhanced the overall efficiency and sophistication of dredging operations. We summarize the key approaches that served as guideposts for solving these challenges.

電力消費量削減により脱炭素社会を目指して —交通流検知によるトンネル照明設備の制御—

田尻 貴大¹

¹ 近畿地方整備局 企画部 情報通信技術課（〒540-8586 大阪府大阪市中央区大手前 3-1-41）

E-mail: tajiri-t86mk@mlit.go.jp

中部縦貫自動車道大野油坂道路下山トンネルに設置したトンネル照明設備の入口照明においては、野外の照度による調光制御に加え、交通流検知により、より細かい調光制御を行っており、電力消費量のより一層の削減を目指している。今回、システム概要、運用開始後に収集した稼働状況データの検証結果、結果による考察及び今後の展望について報告する。

Key Words: tunnel lighting, dimming control, carbon neutrality, vehicle detection,

1. はじめに

トンネル照明は「道路照明施設設置基準・同解説」¹⁾に基づき、設計速度や交通量、野外輝度等の諸条件によって、その施設規模等を定めている。また、同基準ではトンネル照明の運用に関して、「トンネル照明は、交通の安全に配慮のうえ、効率的かつ経済的に運用するものとする。」としており、入口部照明については一般的に野外の明るさに応じて路面輝度を2段階または4段階で調光制御している。

2023年10月28日に供用開始した中部縦貫自動車道大野油坂道路下山トンネルでは、上述の一般的な照明の運用に加えて、当該トンネルにおける車両の通行状況をセンサにより検知し、車両無通行時の電力を削減するシステムを導入した（図-1）。

本システムは僅少交通量のトンネルでより効果が高くなるものと想定され、車両通行時には必要な照明の運

用を図りながら、車両無通行時において電力を合理的に削減することによって、脱炭素社会の実現に貢献することが期待できる。

2. 照明制御システムの概要

(1) 照明設備の概要

中部縦貫自動車道大野油坂道路は対面2車線の自動車専用道路である。そのうち下山トンネルは延長416m、設計速度60 k m/h、上下線を剛性防護柵で分離した構造のトンネルであり、照明の設備容量は約3.8kVA（基本照明0.7kVA、入口照明2.9kVA、坑外灯0.2kVA）である。

基本照明は一般的な千鳥配列であるが、入口照明については片側車線照明方式を採用しているのが設備上の特徴である。

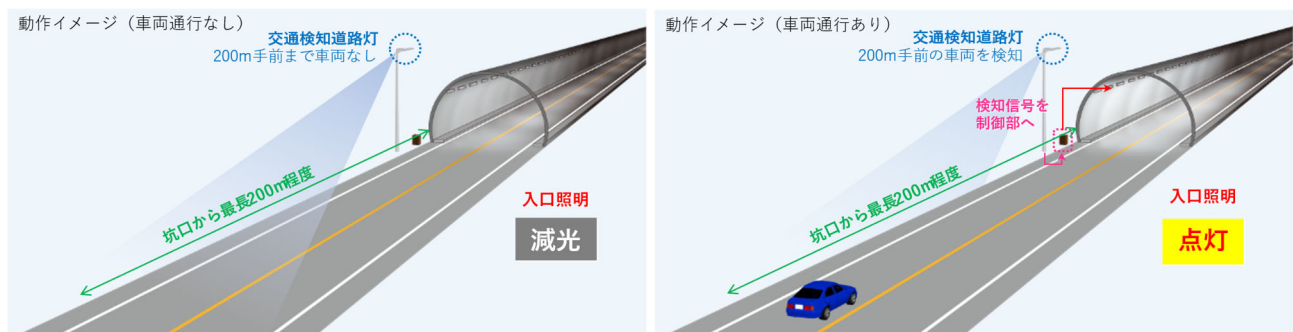


図-1 システムの動作イメージ

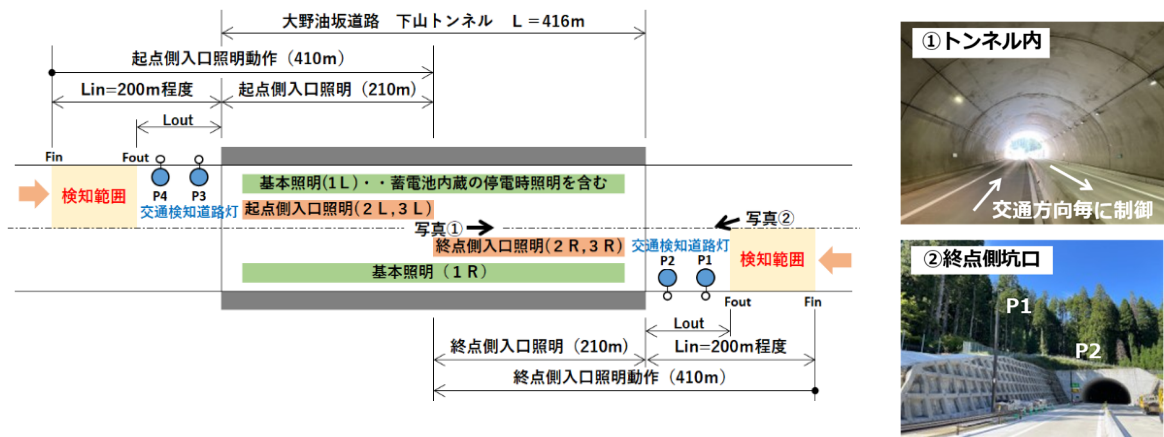


図-2 制御システムの概要

(2) 制御システムの概要

制御システムの概要を図-2に示す。車両検知による制御は入口照明のみを対象としており、交通方向毎に独立した制御系統を有している。

センシングは画像処理センサを実装した交通検知道路
灯（坑外灯）を各坑口に2基ずつ配置し、照明分電盤内
に実装した入口照明制御ユニットで、センサから得た2
つの車両検知信号を論理和で処理し調光出力している。

車両検知位置は坑口より概ね200m手前の明かり部に設定し、通過車両が画像からフレームアウトするまでの間、検知ONを保持している。

車両検知終了は検知ONの解除地点（フレームアウト地点）からのタイマー動作とし、入口照明区間を通過するまでの所要時間に、一定の余裕時間を加味した設定としている。

トンネル照明の制御動作は表-1に示すように、野外の明るさに連動した入口照明4段+基本照明2段の点灯モードを基本とし、これに車両検知の有無を掛け合わせた動作として、車両が無いときには入口照明を25%調光（曇天2に相当）で点灯する省エネ運用としている。

況に依存するものと考えられ、野外が明るい（晴天1点灯）ほど、車両通行の有無が消費電力の差（比）に影響し、高い省エネ効果を得ることができる。同様に、交通量が少ないほど省エネ運用の時間が長くなるので省エネ効果が高くなる。即ち、

$$\text{省エネ効果[Wh]} = \text{消費電力差[W]} \cdot \text{省エネ運用時間[h]}$$

と説明することができる.

本システムの省エネ効果が、どの程度の効果があるのか、具体的数値を示し評価することを目的として稼働状況のデータを収集することとした。

(2) 稼働状況データの収集

稼働状況データの収集は、2023年11月11日（土）から2023年12月10日（日）の1か月間に亘り、下山トンネル終点側の照明分電盤にて、仮設カメラによる車両通行状況の期間連続撮影及び入口照明制御ユニットのPLC（プログラマブル・ロジック・コントローラ）ログ記録を実施した（図-3）。

表-1 トンネル照明の制御動作

灯具種別	入口照明灯具					基本照明灯具		
	晴天1	晴天2	曇天1	曇天2	昼間以下	昼間以上	夜間	
自動調光装置の点灯モード	← 野外の明るさ（照度）に連動 →							
ON照度（Lx）	20,000	10,000	4,000	2,000	200	200	—	
OFF照度（Lx）	10,000	5,000	2,000	1,000	100	100	—	
交通 検知	「車両有り」：通常運用	100%	75%	50%	25%	消灯	100%	63%
	↑ 交差流で変動 ↓ 「車両無し」：省エネ運用	25%				消灯	100%	63%

3. 稼働状況データの収集と解析

(1) データ収集の目的

本システム導入による省エネ効果は天候状況と交通状



図-3 仮設カメラ映像(上段), 仮設状況(下段左), 分電盤内部(下段右)

収集したデータは交通量、車両検知信号ログ及び照明モードログであり、これらのデータを車両検知精度の確認と省エネ効果の検証に利用した（表-2）。

表-2 収集データ及び検証項目

収集データ	内容
交通量	実交通映像より上下線両方向の交通量を目視観測し、時間交通量をカウント
車両検知信号	車両を検知した時刻データ
照明モード	照明モードが変化した時刻データ

検証項目	内容
車両検知精度	車両通過とモニター点灯の同時目視観測により、終点側における車両検知状況を4分類（表-4）に整理
省エネ効果検証	車両検知信号ログと照明モードログを突き合わせて、本システムの有無における双方の電力量を1時間単位で試算

(3) 車両検知精度（不検知率）とフェールセーフ機能

上述のとおり、車両検知精度の確認には実交通映像を用いて車両通過とモニター点灯の同時目視観測により、終点側における車両検知状況を次の4分類で整理した（表-3）。

表-3 車両検知状況の分類

分類	内容
正検知	車両が通過した際に正しく検知している
過検知	ヘッドライトの影響などで、車両が映像内に入る前の検知
誤検知	車両以外（反対側車線を走行するトラックや黄バト等、小動物、画像ノイズ等）の検知
不検知	車両が通行しているにも関わらず検知しない

入口照明制御時間帯に相当する昼間10時間（7時～17時）における車両検知精度の解析結果を表-4に示す。

データ収集期間中の不検知率は0.85%であった。不検知は全て降雪時（11月18日及び12月1日）に発生しており、いずれも荒天により点灯モードが曇天2以下で推移していたことに加え、画像処理のフェールセーフ機能である“視界不良検知”の信号も送出されていた。

フェールセーフ機能の動作中は車両検知状況の4分類に関わらず強制的に通常運用に切り替わるので、曇天2以下での運用を確認している。なお、上述の降雪時を除く不検知率は0.00%であった。

過検知及び誤検知は降雪時以外においても発生している。これらは降雨そのものや降雨による濡れた路面の反射等が原因であるが、本システムにおいては安全側に動作する事象でもあるので現段階では許容範囲であると認識している。しかしながら、これらが少なくなるよう、検知パラメータの調整等による改善を検討したい。

表-4 車両検知状況のまとめ

日付	曜日	天候	交通量 (-)	正検知		過検知		誤検知		不検知		不検知率 P1,P2平均
				P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	
11/11	土		1,090	1,090	1,090	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/12	日	雨	826	826	826	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/13	月		616	616	616	0	0	1	0	0	0	0.000%
11/14	火		639	639	639	0	0	1	1	0	0	0.000%
11/15	水		672	672	672	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/16	木		688	688	688	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/17	金	雨	613	613	613	1	0	2	3	0	0	0.000%
11/18	土	雪	554	443	431	3	8	55	46	111	123	21.119%
11/19	日		680	680	680	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/20	月	雨	620	620	620	0	0	7	3	0	0	0.000%
11/21	火		747	747	747	0	0	0	1	0	0	0.000%
11/22	水		831	831	831	0	0	1	1	0	0	0.000%
11/23	木		1,329	1,329	1,329	0	0	0	1	0	0	0.000%
11/24	金	雨	818	818	818	1	2	8	10	0	0	0.000%
11/25	土		783	783	783	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/26	日		1,046	1,046	1,046	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/27	月	雨	716	716	716	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/28	火	雨	541	541	541	0	0	1	1	0	0	0.000%
11/29	水	雨	509	509	509	0	0	0	0	0	0	0.000%
11/30	木	雨	470	470	470	0	0	1	1	0	0	0.000%
12/1	金	雪	455	412	399	4	4	29	50超	43	56	10.879%
12/2	土											
12/3	日											
12/4	月		546	546	546	0	1	1	6	0	0	0.000%
12/5	火		493	493	493	0	0	1	1	0	0	0.000%
12/6	水		694	694	694	0	0	0	1	0	0	0.000%
12/7	木	雨	486	486	486	3	2	6	8	0	0	0.000%
12/8	金		593	593	593	0	0	0	0	0	0	0.000%
12/9	土		795	795	795	0	0	0	0	0	0	0.000%
12/10	日		704	704	704	0	0	0	0	0	0	0.000%
合計			19,554	19,400	19,375	12	17	114	84	154	179	0.851%
降雪日(11/18,12/1)を除く			18,545	18,545	18,545	5	5	30	38	0	0	0.000%

4. 省エネ効果の検証

(1) 電力量のシミュレーション手法

a) 単位電力

各調光モードにおける消費電力は、各灯具の定格値を採用した。車両無通行時は昼間の野外照度に関わらず、曇天2に相当する25%調光としている（表-5）。

表-5 各点灯モードにおける消費電力

回路名称	各点灯モードにおける消費電力 (W)					
自動調光装置動作	晴天1	晴天2	曇天1	曇天2	昼間	夜間
ON 照度 (Lx)	20,000	10,000	4,000	2,000	200	-
OFF 照度 (Lx)	10,000	5,000	2,000	1,000	100	-
基本照明	754.3	754.3	754.3	754.3	754.3	559.8
起点側入口照明	1,403.2	1,045.9	705.8	372.4		
終点側入口照明	1,403.2	1,045.9	705.8	372.4		
合計	3,560.7	2,846.1	2,166.0	1,499.1	754.3	559.8

初期光束補正機能あり（点灯初期の値）

b) 点灯時間

車両無通行時も含む各調光モードの点灯時間は、ログデータに基づく実測値によるものとする。

c) 電力量の算出

各調光モードにおける単位電力と点灯時間との積で表し、時間単位で求める。これらは、本システムを導入した場合と従来通りの場合と双方について計算し、併せて両者の比較で省エネ率を算出するものとする。

(2) 省エネ効果の検証

検証期間中は、入口照明が点灯する昼間 10 時間交通量 (7-17 時) が平均 1,712 台/10h であり、入口照明の電力削減率は期間平均で 25.9%であった。日別では 1 日当たりの電力削減率は最大で 40.4%、最小で 0.0%であった。

電力削減率が0.0%となった2日間はいずれも天候が悪く、終日曇天2で推移したことが要因である。

一例として電力削減率が期間平均値に近い11月11日(土)の検証結果を図-4に示す。

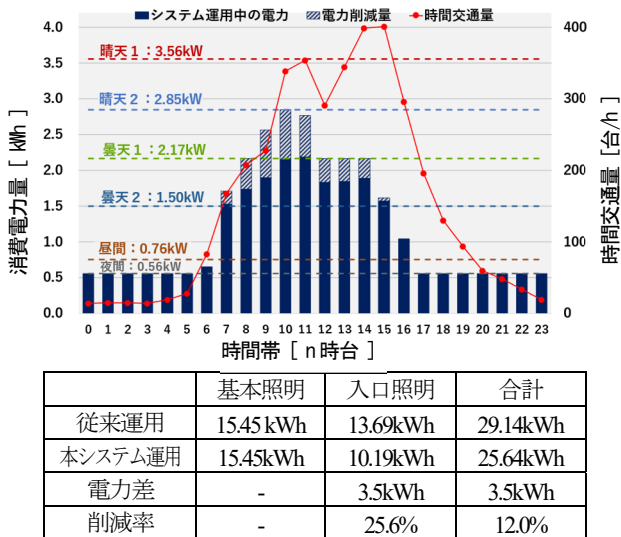


図-4 電力削減率が検証期間平均値 (25.9%) に近い11月11日の検証データ

5. 考察

電力削減率の結果は上述のとおりであるが、交通量データを元にして時間交通量と無通行時間比率 (省エネ運転の時間的比率) との関係性を求めた。

これによれば、時間交通量が少ないほど無通行時間比率は高くなり、時間交通量を与えれば無通行時間比率を求めることができる。

図-5 は検証期間のみのデータではあるが、他のトンネ

ルでも同様にデータを収集することにより、省エネ効果を予測できる可能性を高めていくことが有効と考える

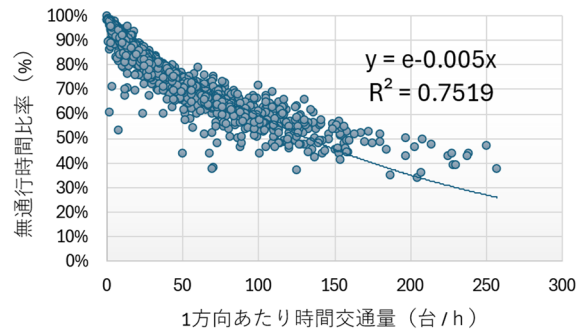


図-5 時間交通量と無通行時間比率との関係

6. 今後の展望

検証の結果は昼間10時間交通量が1,712台/10hで入口照明の電力削減率は25.9%であった。

また、交通状況を連続的に観測したことによって時間交通量と無通行時間比率との関係を定量的に把握することができた。今後、同様の照明制御システムを導入する際の参考データとして活用できれば幸いである。

現在、近畿地方整備局が管理する道路では、電気使用量の約7割を道路照明が占めている状況である。このため、従来の高圧ナトリウム灯などよりも消費電力が大幅に削減できるLED灯に転換することにより、CO2排出量の削減を推進しているところであるが、本技術のようなセンサー照明の新技術導入による更なる削減も進めていき、脱炭素社会の実現を目指していきたいと考えている。

REFERENCES

- 1) 日本道路協会：道路照明施設設置基準・同解説 pp. 75-77, 92, 2007. [Japan Road Association: *Standards for the Installation of Road Lighting Facilities and Commentary*, pp. 75-77, 92, 2007.]

(Received May 16, 2025)

(Accepted May 16, 2025)

AIMING FOR A DECARBONIZED SOCIETY THROUGH REDUCTION OF ELECTRIC POWER CONSUMPTION —CONTROL OF TUNNEL LIGHTING EQUIPMENT BASED ON TRAFFIC FLOW DETECTION—

Takahiro TAJIRI

At the threshold zone & transition zone of the tunnel lighting equipment installed in the Shimoyama Tunnel on the Chubu-Jukan Expressway Ono-Aburasaka Road, in addition to dimming control based on outdoor brightness, more precise dimming control is performed based on traffic flow detection, with the aim of further reducing power consumption. This report covers an overview of the system, results of verifying data on the operational situation collected after the start of operations, discussion based on those results, and future prospects.