

# 第4回 「i-Constructionの推進に関するシンポジウム」

## 発表論文集

令和4年（2022年）7月11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4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
①AI・ICT/コンクリート	1	コンクリート構造物の解体の高度化に向けた高出力レーザの活用に関する基礎的研究	亀田敏弘 [筑波大学]	1
	2	現場受入れコンクリートに対するAI/IOT活用全数管理手法の実装に向けて-PRISM2021による塩浜立体工事での試行状況-	直町聡子 [大成建設株式会社 技術センター]	5
	3	受入れコンクリートの性能を考慮したコンクリート構造物の施工履歴の評価システム -コンクリート構築工にIoT/AI技術を統合活用-	大友 健 [大成建設株式会社 土木技術部]	9
	4	クラウド型コンクリート品質管理システムを用いた「自動化/効率化」の調達～製造～運搬～現場受入れプロセスへの展開	渡邊高也 [大成建設株式会社 土木技術部]	13
②施工管理/システム開発	1	データ・システム連携基盤を考慮した切盛土工事のための施工管理システムの開発	松下文哉 [東京大学]	17
	2	データ・システム連携基盤を活用した施工管理システムの開発と協調領域への展開	山中孝文 [株式会社大林組 生産技術本部]	21
	3	AIやIoT技術を活用した山岳トンネル工事の現場管理システムの開発	額額善孝 [西松建設株式会社]	25
	4	建設機械搭載型レーザスキャナによる出来形管理システムの開発	加藤康弘 [前田道路株式会社 技術研究所]	29
	5	ダンプトラックの運搬数量に基づく切盛土工の出来高数量自動算出システムの開発	宮岡香苗 [東京大学]	33
	6	デジタルツインを活用したPC上部工におけるクラウド一元管理の取り組みについて	岩瀬真淑 [株式会社 I H I インフラ建設]	37
	7	次世代αシステムの開発（その1） -新しい盛土品質管理手法の構築-	稲川雄宣 [株式会社大林組 技術研究所]	41
	8	電線共同溝工事におけるモバイル端末による工事進捗管理システムの試行について	池田直輝 [大成ロテック株式会社 技術部]	45
③計測/新技術開発	1	既存道路構造物の簡易な3次元点群データ計測方法に関する研究	郭 栄珠 [国土交通省 国土技術政策総合研究所]	49
	2	画像計測による鉄筋配置に関する検査手法の確立に向けた取り組み	近藤隆行 [国土交通省 国土技術政策総合研究所]	53
	3	再帰反射ターゲットマーカを活用した高精度点群自動結合	山崎文敬 [株式会社イクシス]	57
	4	ハンドル型電動車いすを用いた三次元路面計測手法の開発	幸谷宥毅 [北見工業大学大学院]	61
	5	2D動画の姿勢推定と物体検知を用いた動作分類手法の構築	菊田隼矢 [東京大学大学院]	65
	6	遠隔臨場における3次元測量閲覧・共有プラットフォーム	岩田航司 [青木あすなる建設株式会社]	69
	7	油圧ショベルによる土砂情報を考慮した自動掘削に関する研究とその課題	谷島諒丞 [東京大学]	73
	8	斜面崩壊シミュレーションにおけるデータの自動構築に関する研究	佐々木理貴 [神戸大学大学院]	77
④システム開発/データ管理	1	3次元レーザースキャナを用いた配筋検査システムの性能確認とデバイス認証システム	石田 靖 [鉄建建設株式会社]	81
	2	首都高速道路のスマートインフラマネジメントシステムと今後の展望について	飯島悠介 [首都高速道路株式会社]	86
	3	インフラ分野のDX推進に向けたデータマネジメントの課題と改善案	木村 泰 [国土交通省 国土技術政策総合研究所]	90
⑤点検/維持管理	1	自己教師あり学習を用いた熱画像の解析によるコンクリートの浮き・剥離の自動検出	川野輪壮太 [東京大学大学院]	94
	2	橋梁点群の表面抽出と部材推定についての研究	稲富翔伍 [東京大学大学院]	98
	3	UAVを用いたレベル3飛行（目視外補助者無し飛行）による河道閉塞および砂防施設の点検・調査活用	北本 楽 [国土交通省 近畿地方整備局]	102
	4	福地ダム取水設備（コンクリート構造物）の水中ドローンを用いた劣化調査について	具志堅善郎 [内閣府 沖縄総合事務局]	106

第4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
⑥アプリ/ロボット/ 技術開発	1	温浴施設換気支援アプリの内製プロセス～共通フレーム2013に基づいたプロセス分析～	澁谷宏樹 [東京大学大学院]	111
	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（土工を革新するハードウェアと現場を俯瞰するセンサポッドシステムの紹介）	永谷圭司 [東京大学]	115
	3	次世代αシステムの開発（その2）－自走式散乱型RIロボットの開発－	松崎 晃 [株式会社大林組]	119
	4	橋梁上部工施工時に着目したUAVなどを用いた測量技術の開発	中本啓介 [株式会社駒井ハルテック]	123
⑦人材育成/教育	1	VRを活用した橋梁点検講習～インフラDXによる自治体支援～	藤本優子 [国土交通省 中国地方整備局]	127
	2	インフラ分野におけるDXの捉え方及び技術者の育成について	小松良行 [国土交通省 中部地方整備局]	131
	3	土木系高等教育機関におけるBIM/CIM・i-Construction教育に関する現状と教員の意識	島田智也 [国土交通省 北海道開発局]	135
⑧実施事例/活用事例	1	ICT施工小規模工事への展開～3次元設計データ活用の普及促進～	戸羽義幸 [国土交通省 関東地方整備局]	139
	2	広島デジフラ構想の取組について	岡崎太一 [広島県土木建築局]	143
	3	インフラ分野のDX推進に向けた異業種企業マッチング事業の課題の分析と方向性の検討	佐々木 正 [一般財団法人国土技術研究センター]	147
	4	地方中小規模建設会社の新技術受容に関する調査研究	篠本宏太 [宇都宮大学大学院]	151
	5	消波ブロック据付の生産性向上に向けた水中可視化と遠隔吊荷制御	天尾栄太 [株式会社本間組]	155
	6	大河津分水路新第二床固改築Ⅰ期 “OX（大河津DX）” でこれからの100年を造る	荻野 剛 [鹿島建設株式会社]	159
	7	インフラ分野におけるメタバースの活用	房前和朋 [国土交通省 九州地方整備局]	163
	8	DXを用いた災害対応の新たな取り組み	房前和朋 [国土交通省 九州地方整備局]	167
	9	ICTの積極活用による施工管理業務の高度化と生産性（効率）の向上	小西 豊 [東亜建設工業株式会社]	171
	10	ICT活用工事における生産性の向上について	岡田亮介 [株式会社増岡組]	175
	11	河川管理用CIMモデルの整備・活用の取り組み	森田真一 [株式会社パスコ]	179
	12	MRデバイス（ホロレンズ）を活用した業務効率化の検討	高橋陽平 [国土交通省 東北地方整備局]	183

# コンクリート構造物の解体の高度化に向けた 高出力レーザーの活用に関する 基礎的研究

亀田 敏弘<sup>1</sup>・村手 悠人<sup>2</sup>・川人 洋介<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 筑波大学准教授 システム情報系 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)  
東京大学 i-Construction システム学寄付講座 特任研究員 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)  
E-mail:kameda@kz.tsukuba.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 新明和工業株式会社 航空機事業部 (〒658-0027 兵庫県神戸市東灘区青木1-1-1)  
E-mail: murate.yuto.sw@alumni.tsukuba.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 (〒236-0001 神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25)  
E-mail: ykawahito@jamstec.go.jp

我が国では建設業に携わる人口の減少が予測されており、効率化による生産性向上を図る i-Construction の取り組みが進められている。高度経済成長期に建設されたコンクリート社会基盤構造物の維持管理・解体撤去の高度化は重要なテーマであり、都市部においては特に補修や解体撤去工事の際に騒音や粉塵が少ないことが求められるが、バンドソーなどの切断手法では、適切な対策に困難が生じることも多い。近年、技術進歩が著しい高出力レーザーを活用することで、数百 mm の厚さのコンクリートを低騒音かつ低粉塵で溶断できることが示されており、社会基盤構造物の補修や解体の自動化に寄与する可能性が考えられる。この技術の実用化のためにはレーザー照射の出力、速度、方向などを予測に基づいて制御することが求められるため、本研究では粒子法を用いて材料の溶断現象の数値シミュレーションによる再現を試みた。さらに、実用性を向上するために実験によって同定が必要なパラメータを少なくする工夫を行った。本研究の結果として、簡便な実験で計算パラメータを同定する手法を提案するとともに、高出力レーザーによるコンクリートの溶断速度を定量的にシミュレーションにおいて再現することが可能となった。

**Key Words :** concrete, laser cutting, particle method, numerical simulation

## 1. はじめに

我が国では建設後50年を超えたコンクリートの劣化が顕著になっており、解体のためのコンクリート切断技術の必要性が増加している。コンクリートの解体や補修方法については様々な手法があり、条件に応じて使い分けられているのが現状である。爆破解体などは解体効率の高いものの都市部など住宅密集地域では実施が困難である。また、建設業に従事する人口が減少しており、自動化に適した手法へのニーズが高まっている。

近年、数kWから100kWの産業用高強度レーザーが実用化され普及している。それに伴い、金属加工や溶接など様々な分野でレーザー光が用いられるようになってきている。このような技術発展に伴い、レーザーによるコンクリート溶断技術の研究が進められてる。杉田ら<sup>1</sup>はレーザーのコ

ンクリート切断への適用可能性を調べるために、出力5kWと20kWのCO<sub>2</sub>レーザーを用いてレーザー出力、切断速度、焦点位置、アシストガスの種類や圧力等をパラメータとして、各種コンクリートやモルタルの切断実験を行っている。この研究では出力を上げて真上から垂直にレーザーを当てる手法では切断できるコンクリート厚さに限界があると結論付けている。Juanら<sup>2</sup>はコンクリートをプラズマジェットで溶断した際の熱伝搬について、実験を行い測定した値とコンクリート内部の熱伝導に関する解析モデルを用いて得られた理論温度を比較することで、材料内部の熱伝導損失を推定している。呉屋ら<sup>3</sup>は、20kWを超える高出力ファイバーレーザーと超長焦点光学系を用いることで、最大板厚1200mm極厚コンクリートのレーザー溶断が可能であることを報告している。これらの先行研究の成果に基づき、我々は、独自にコンクリー

トの溶断実験を行い、1000mm程度のコンクリートの溶断を実験によって確認した(図-1)。

コンクリート構造物に対してレーザー溶断を実用的な手法とするためには、効率的なレーザー照射条件を定める必要があるが、異なる構造物に対する諸条件を実験的に同定するには多大な労力とコストが発生することが予想されるため現実的ではないと考え、我々はコンクリート材料がレーザーから受け取るエネルギー、コンクリートの物性を反映した力学に立脚した数値シミュレーションによって現象を予め予測することで、効率的なレーザー照射条件を定めるアプローチを選択した。本研究では、シミュレーション実行のために同定が必要なパラメータを簡便な実験によって定める方法を提案するとともに、溶断速度の定量的予測を実現した手法について述べる。



図-1 高出力レーザーによるコンクリートの溶断実験

## 2. シミュレーション手法

本研究で使用するアルゴリズムは非圧縮性流体のMPS (Moving Particle Semi-implicit) 法<sup>4,5</sup>を基に開発されたアルゴリズム<sup>6</sup>をコンクリート材料を扱うために改良を加えたものである。具体的には、レーザー照射によるエネルギーの授受に関して、仮想的な光粒子を用いて衝突によってエネルギーをコンクリート側の粒子に与えている。レーザーのエネルギー吸収率という概念を導入することで、吸収率のパラメータをレーザー溶断の進行速度とシミュレーション結果と比較することで簡便に決定できる利点がある。また、複合材料を粒子法で取り扱うため、物性パラメータには平均量であるコンクリートの物性を用いると共に、固体状態のコンクリートを粘性の極めて高い流体とした。既存のコンクリートの物性に関する研究<sup>7,8,9</sup>を参考として本研究で用いた値を表-1に示す。

表-1 計算に用いたコンクリートの物性パラメータ

Density [ton/mm <sup>3</sup> ]	2.41×10 <sup>-9</sup>
Melting point [°C]	1400
Boiling point [°C]	2977
Surface tension [N/mm]	7.5×10 <sup>-5</sup>
Kinematic viscosity (solid) [mm <sup>2</sup> /s]	186.61
Heat of melting [mJ/mm <sup>3</sup> ]	4317.35
Heat of evaporation [mJ/mm <sup>3</sup> ]	76551.0

## 3. 決定を要するパラメータ

レーザー光の照射によって、レーザー光の一部が吸収されて熱エネルギーに変化し、その他は反射される。レーザー光を光子として扱うことはスケールが物質の粒子と比較して非常に小さなものであるため、材料の挙動を予測する上で膨大な数の光子粒子を導入することは現実的ではない。そこで本研究では仮想的な光粒子を用いて、レーザー加工時にプラズマやブルームが発生しレーザー光が屈折・吸収される現象<sup>10</sup>を踏まえたレーザー照射のモデル化手法を採用した。

光粒子が反射する際のエネルギー変化の様子を図-2に示す。ここでA: 物質の吸収率、E<sub>i</sub>: 光粒子が持つエネルギー量、θ: 入射角である。エネルギー分布はガウス分布を仮定しており、以下の式(1)で表される<sup>11</sup>。

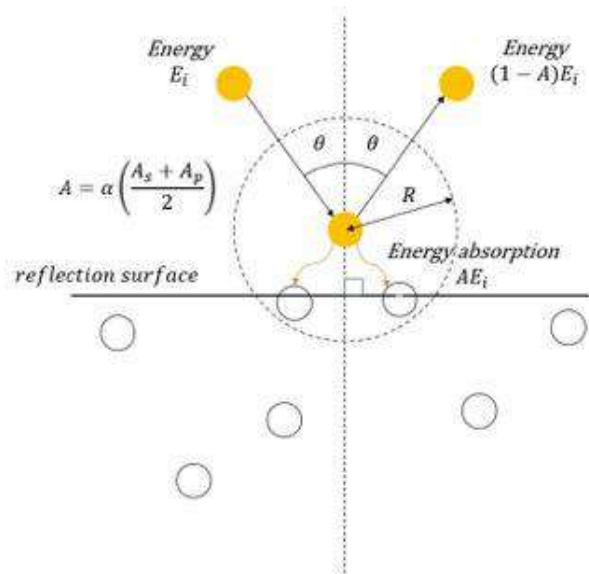


図-2 仮想的な光粒子によるエネルギー授受モデル

$$f(X) = C \exp\left(-\frac{X^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

ただしXは、x: レーザー照射中心からの距離、r: レーザー照射半径を用いて、X=x/rで定義される無次元量、C: 光粒子のエネルギーの合計値はレーザーが単位時間あたりに物体に与えるエネルギーと等しくなるよう設定した定数、σ<sup>2</sup>: レーザー照射中心からの無次元距離Xに関する分散である。

材料に衝突する際、光学の偏光特性と入射角度に応じて吸収率  $A$  が変化する。このモデルでは  $p$  偏光に対する吸収率  $A_p$  と  $s$  偏光に対する吸収率  $A_s$  を以下の式(2a), (2b)で表す<sup>1)</sup>。

$$A_p = \frac{4n \cos \theta}{(n^2 + k^2) \cos^2 \theta + 2n \cos \theta + 1} \quad (2a)$$

$$A_s = \frac{4n \cos \theta}{n^2 + k^2 + 2n \cos \theta + \cos^2 \theta} \quad (2b)$$

ただし  $n$ : 屈折率,  $k$ : 消衰係数である。数値計算では  $A_p$  と  $A_s$  の相加平均にパラメータ  $\alpha$  を乗じたものを吸収率  $A$  として用いている。この  $\alpha$  は実験的に同定する必要がある。本研究ではレーザ溶断速度がシミュレーションと実験との間で一致するよう  $\alpha$  を決定した。

#### 4. パラメータの同定

パラメータ同定のための供試体は100 mm × 100 mm × 150 mm の直方体形状の無筋コンクリートである。実験では供試体は図-3に示すように治具の上に設置してレーザを照射した。レーザ照射装置にはさくら工業株式会社(兵庫県姫路市)が保有する50 kW 出力ファーマーレーザ加工機を使用した。レーザヘッドは一般的な工業用ロボットアームの先端に取り付けられておりプリセットした方向に動かすことができる。レーザ照射中の様子はデジタルカメラを用いて59.94フレーム毎秒(FPS)の動画で記録し、溶断に要した時間は動画をコマ送りで再生し判断する。図-4はレーザ照射開始から80フレーム目の画像、図-5はレーザ照射開始から81フレーム目の様子である。80フレーム目ではレーザの貫通が確認できていないが、81フレーム目では図中の赤矢印で示すようにレーザが貫通し溶融したコンクリートが噴出している様子が確認できる。このことからこのフレーム間に貫通が発生したと判断される。動画は59.94 FPS で撮影されていたため、100 mm 厚のコンクリートの貫通に要した時間は1.335秒から1.351秒である。したがって、コンクリート溶融速度は74.02 mm/s から74.91 mm/s と求められる。

同定が必要なパラメータ  $\alpha$  を変化させて粒子法シミュレーションを行った結果を図-6に示す。シミュレーションで得られた溶融が進行する過程の断面のスナップショットを図-7に示す。本研究ではコンクリートの融点を1400 °C と設定しているため、画像中に両矢印で示す箇所がコンクリートが溶融している領域であり、赤の破線で示す領域に粒子の溶融が見られる。

実験で得られた平均的な溶融速度である74.5 mm/sは、シミュレーションでは  $\alpha=1/200 \sim 1/100$  程度と対応づけら

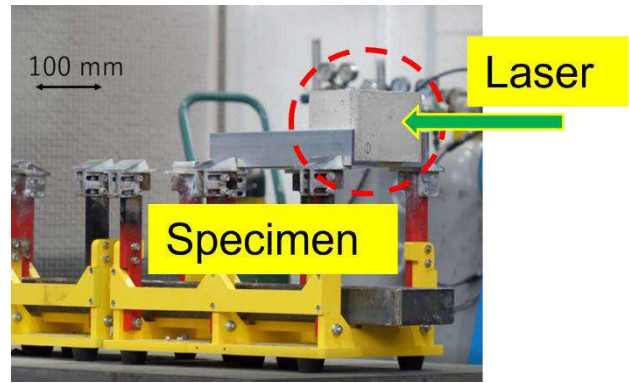


図-3 コンクリート供試体の設置状況



図-4 照射後 80 フレームの状況

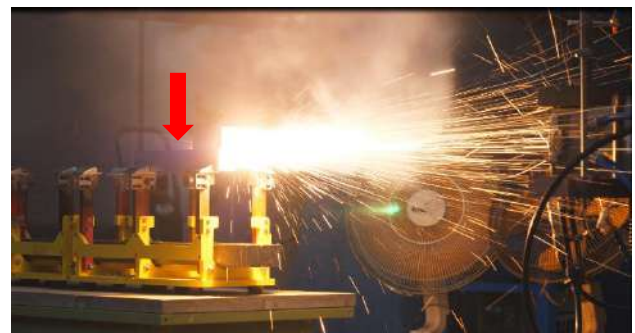


図-5 照射後 81 フレームの状況

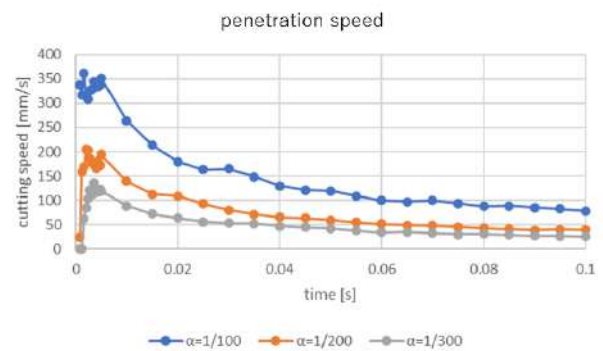


図-6  $\alpha$  を変化させた際の貫通速度の変化

れる結果となり、適切な実験とシミュレーションの比較条件を今後検討することにより、 $\alpha$ をより精度良く同定することができると考えられる。

## 5. おわりに

本研究では、粒子法をレーザーによるコンクリート溶断に適用して現象の予測を試みた。レーザー照射におけるエネルギー授受を仮想的な光粒子の導入でモデル化し、寄与するパラメータを実験によって同定する手法を示した。現段階では、単一のパラメータによる一般的な現象の再現の可否については未検証であり、また、パラメータを同定するための実験条件についても未検討である。これらを解決した上で、実際の構造物に応じて所用時間やエネルギーが最適となる照射条件を定めることで、コンクリート構造物の解体の高度化が実現すると考えている。

### 参考文献

- 1) K. Sugita, M. Mori, and T. Fujioka, "Application of CO2 Laser to Concrete Cutting," Concrete Journal, Japan, Vol.24 (9), pp.13-22, 1986
- 2) J. C. Chamorro, L. Prevosto, E. Cejas et al., "Plasma Cutting of Concrete: Heat Propagation and Molten Material Removal From the Kerf," IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE, Vol.47 (6), pp. 2859-2867, 2019
- 3) S. Goya, H. Mori, T. Okuda, Y. Fujiya, et al., "Development of Thick Concrete Cutting System Using High-Power Laser," Mitsubishi Heavy Industries technical review Vol.58 (1), pp. 1-8, 2021
- 4) S. Koshizuka, H. Tamako, and Y. Oka, "A particle method for incompressible Viscous Flow with Fluid Fragmentation," Computational Fluid Dynamics J.4, pp.29-46, 1995.
- 5) S. Koshizuka, and Y. Oka, "Moving-Particle Semi-implicit Method for Fragmentation of Incompressible Fluid," Nuclear Science and Engineering Vol.123 (3), pp.421-434, 1996.
- 6) I. Chimura, Y. Kawahito, H. Murakawa, "Clarification of Keyhole Formation in Laser Welding of stainless Steel with Particle Method and X-ray in-situ Observation," Journal of Japan Laser Processing Society, Vol.23 (2), pp. 145-152, 2016
- 7) K. Penttilä, "Molten corium and concrete thermodynamics and viscosity," RESEARCH REPORT VTT-R-01441-12.
- 8) MatWeb MATERIAL PROPERTY. DATA, "Corundum, Aluminum Oxide, Alumina, 99.9% Al2O3," Available: [http://www.matweb.com/search/datasheet\\_print.aspx?matguid=c8c56ad547ae4cfabad15977bfb537f1](http://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=c8c56ad547ae4cfabad15977bfb537f1).
- 9) Y. Izumi, and S. Iizuka, "Short Note on Measurements of Surface Tension of Some Molten Volcanic Rocks," Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers, 1970.
- 10) Y. Miyazuki, and S. Katayama, Power attenuation and focus shift of solid state laser beam caused by laser induced plume, Japan Welding Society Vol.32 (3), pp. 180-190, 2014.
- 11) K. Kinoshita, Y. Kawahito, and S. Katayama, et al., Visualization of Interaction between Fiber Laser Beam and Laser-Induced Plume, Japan Welding society, Vol.13 (1), pp. 41-47, 2006.

(2022.5.20 受付)

## APPLICATION OF HIGH POWER LASER TOWARD ADVANCED DEMOLITION OF INFRASTRUCTURE

Toshihiro KAMEDA, Yuto MURATE and Yosuke KAWAHITO

In Japan, the number of people involved in the construction industry is decreasing, therefore, "i-Construction" is led by Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, in order to improve productivity of construction field. Advanced maintenance, management, and demolition and removal of concrete infrastructures older than 50 years is an important theme, and especially in urban areas, less noise and dust are required during the work, however, conventional methods often present difficulties in providing appropriate countermeasure. In recent years, it has been shown that several hundred mm thick concrete can be cut with low noise and dust by utilizing high-power lasers, and this technology can contribute to the automation of repair and demolition of infrastructures. Toward the practical application of this technology, the variables such as laser output power, head speed, direction of laser irradiation must be controlled based on predictions, therefore, this study attempts to reproduce the melting phenomenon of concrete material by numerical simulation using the particle method. Furthermore, to make this technology more practical, we tried to reduce the number of parameters that need to be identified by experiments. As a result, we proposed a method to identify parameters by a simple experiment and to quantitatively reproduce the melting rate of concrete by a high-power laser in a numerical simulation.

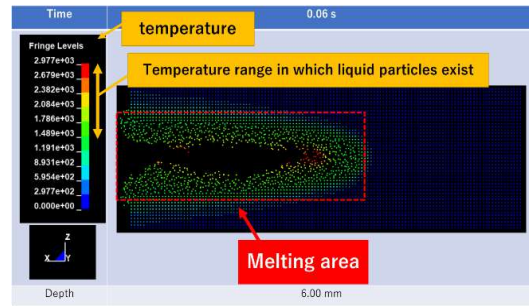


図-7 溶融シミュレーションのスナップショット

# 現場受入れコンクリートに対するAI/IoT活用全数管理手法の実装に向けて—PRISM2021による塩浜立体工事での試行状況—

直町 聡子<sup>1</sup>・大友 健<sup>2</sup>・畠山 峻一<sup>3</sup>・渡邊 高也<sup>4</sup>・伊藤 正寛<sup>5</sup>・石田 春昭<sup>6</sup>

<sup>1</sup>正会員 大成建設(株) 技術センター 社会基盤技術研究部 先端基盤研究室 (〒245-0045 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1) E-mail: nomstk00@pub.taisei.co.jp

<sup>2</sup>フェロー会員 大成建設(株) 土木本部 土木技術部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1) E-mail: takeshi.ootomo@sakura.taisei.co.jp

<sup>3</sup>正会員 大成建設(株) 土木本部 土木技術部 ダム技術室 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1) E-mail: htknsni00@pub.taisei.co.jp

<sup>4</sup>正会員 大成建設(株) 土木本部 土木技術部 ICT推進室 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1) E-mail: twata@ce.taisei.co.jp

<sup>5</sup>正会員 大成建設(株) 千葉支店 塩浜立体工事作業所 (〒272-0127 千葉県市川市塩浜3-15-5) E-mail: itumsh01@pub.taisei.co.jp

<sup>6</sup>国土交通省 関東地方整備局 首都国道事務所 (〒271-0072 千葉県松戸市竹ヶ花86) E-mail: ishida-h8312@mlit.go.jp

著者らは生コンクリートの現場受け入れ試験として長年行われてきたサンプリング試験を代替できる、画像解析とAIによるスランブ全数判定手法を開発し、様々なコンクリートに適用してきた。2021年度には「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」(PRISM)を活用して、スランブと単位水量の他、空気量・温度・圧縮強度の全数計測/推定の実装化についても検討し、関東地方整備局：R2国道357号塩浜立体山側下部工の実際のコンクリートの施工現場に適用し、実装に向けての課題を抽出した。本報では、この概要について紹介する。

**Key Words :** total amount quality, on-site acceptance test, AI / IoT technologies, concrete

## 1. はじめに

著者らは、生コンクリート供給者から施工者への納品と検査、監督者の施工検査について、これらのデータをすべて電子化し、クラウド上で製造・施工・監督の三者がリアルタイムに共有、立会も遠隔臨場を可能とすることで、生産性と施工品質を向上させることを「生コン情報の電子化」として、取組みを継続してきている。

2019～2020年度には、将来の維持管理段階にも有用とすべく「生コン車から荷卸しするコンクリート全数のスランブと単位水量を連続してモニタリングする機能」を追加し、幅広い種別のコンクリートについて、画像解析とAIを活用したスランブの全数計測管理手法を適用、従来のサンプル調査によるスランブ測定との代替性を評価し、さらにこの結果から全数調査時の管理基準の考え方を検討していた。この成果については、第2回、第3回の当シンポジウムにおいて報告している<sup>1)</sup>。またこの成果



図-1 コンクリートの現場受入れに全数検査を導入

を国交省が主催するコンクリート生産性向上検討協議会(第10回)に報告<sup>3)</sup>し、「試験や検査の合理化は、従来の方法を代替できる方法を複数考えていき、良い方法を使用するという方向性で進める」との議論をいただいた。コンクリート構築工の施工現場で行われる試験は、ス





図-2 PRISM2021塩浜立体（技術II）の実施内容

ランプ・単位水量の他にも空気量，温度，塩化物イオン量があり，また圧縮強度の試験体のサンプリングもなされる（図-1）．そこで2021年度のPRISMでは，図-2に示すように「AIによるスラブ推定のさらなる向上」と「空気量・圧縮強度・温度の全数計測技術の確立」について<sup>4)</sup>，関東地整の塩浜立体の躯体工事現場をはじめ，国土交通省直轄工事を含む多くの現場でデータを取得した（図-3）．本報告ではこの概要を紹介する．

## 2. データベースの取得内容とその評価

スラブおよび空気量の全数評価のためのデータベースの取得状況を図-4に示す．ここでスラブについては，生コンクリートの受入れ時にトラックアジテータのシュートを流下するコンクリートの動画画像を撮影し，この画像の解析から検出した流量・流速・シュート角度によりAIがシュート流下画像データベースに基づいて自動的にスラブ値を推定する計算式を算定して，スラブを判断する手法を使用している<sup>1)</sup>．

単位水量については，連続式RIコンクリート水分計（COARA）により測定した．これは，レディーミクストコンクリート単位水量測定要領（案）に記載され測定精度が確認されたものである．コンクリートの圧送管に，単位水量計と密度計が設置され，これらの計測値から，空気量を物理則により計算できるが，この時の空気量は，コンクリートが配管内で圧力を受けた状態での値である．そこで，本年度の試行では，コンクリートポンプ車に極東開発工業の保有するIoTポンプ車を使用し，ポンプ圧送に伴う管内圧力をリアルタイムに取得し，これを空気量の算定に利用するものとした．

そしてスラブに関するAI学習では，従来，図-5に示すようにスラブの規格範囲（塩浜立体の躯体コンクリートでは $12 \pm 2.5\text{cm}$ ）の上下限を超えるスラブについてのデータを取得していたが，空気量の大小についても規格範囲（ $4.5 \pm 1.5\%$ ）の上下限を設定して，中心配合

**プリズム2020実績**

(2019)天ヶ瀬・構築/スラブ15cm  
 ○中流動コン: スラブフロー50cm  
 ○一般躯体: スラブ12cm(普通強度)  
 ○トンネル覆工: スラブ15cm(貧配合)  
 OPC上部工: スラブ18cm(富配合)

**プリズム2021**

●スラブコンクリートDB追加  
 ●塩浜立体  
 ●特殊コンクリートでのデータ蓄積  
 <ダムコン SL8cm>  
 <高スラブ SL23cm>  
 <高流動コン SF65cm>  
 ●南摩ダム(単位水量低減コン)(水資源)  
 ●上曽トンネルの吹付コン(茨城県)  
 ●天ヶ瀬ダム(増粘剤系)  
 ●王子給水所(東京都)(粉体系)  
 ●直轄躯体工事でのデータ取得(順次実施)  
 ●津屋川10P橋脚 ●鹿児島東西道路(12cmおよび高流動)・・・

図-3 スラブ（フロー）数推定精度向上のためのデータ取得

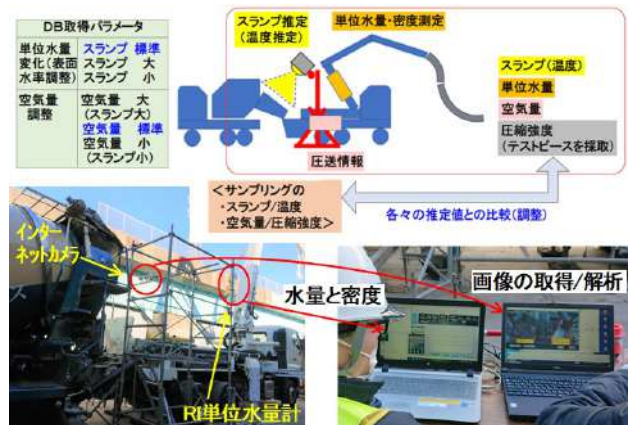


図-4 スラブ・空気量・圧縮強度に関するデータベース取得

種類 パラメータ	塩浜立体構築コンクリート		
	27-12-20N 標準	27-12-20N 標準	27-12-20N 標準
表面水率 設定の 相違による スラブ大小			
スラブ	10.5 cm	13.5 cm	18.0 cm
フロー(参考)	240 mm	260 mm	334 mm
空気量	3.9 %	4.1 %	4.5 %
温度	18.5 °C	17.5 °C	17 °C
単位水量差(配合表上)	-3.2	0.3	7.9
単位セメント(結合材量)(計量値)	313 kg/m <sup>3</sup>	312 kg/m <sup>3</sup>	313 kg/m <sup>3</sup>
推定水セメント(結合材)比	53.0	54.2	56.6
圧縮強度(測定値)	42.2 N/mm <sup>2</sup>	40.8 N/mm <sup>2</sup>	35.9 N/mm <sup>2</sup>
圧縮強度(実測値から算定)	44.0 N/mm <sup>2</sup>	41.7 N/mm <sup>2</sup>	37.6 N/mm <sup>2</sup>
測定空気量差4.5%に補正	42.4 N/mm <sup>2</sup>	40.0 N/mm <sup>2</sup>	35.9 N/mm <sup>2</sup>

種類 パラメータ	塩浜立体構築コンクリート		
	27-12-20N 標準	27-12-20N 標準	27-12-20N 標準
空気量の 相違 による スラブ大小			
スラブ	14.5 cm	13.5 cm	11.5 cm
フロー(参考)	285 mm	230 mm	248 mm
空気量	6.9 %	4.1 %	3.5 %
温度	17 °C	17.5 °C	18.5 °C

図-5 データベース取得時のコンクリート

を加えて5種類の流動性の異なるコンクリートのスラブについてのAI学習を行った．また空気量の異なるコンクリートでの単位水量値と密度値も計測した．ここでこの5種類のコンクリートについてはテストピースも取得しており，単位水量～水セメント比と空気量の異なる場合の圧縮強度についてのデータも取得している．

AI学習の結果を図-6に，AI学習より得られたスラブの推定精度を図-7に示す．空気量が変化してスラブが変化する場合についても水量が変化してスラブが変化

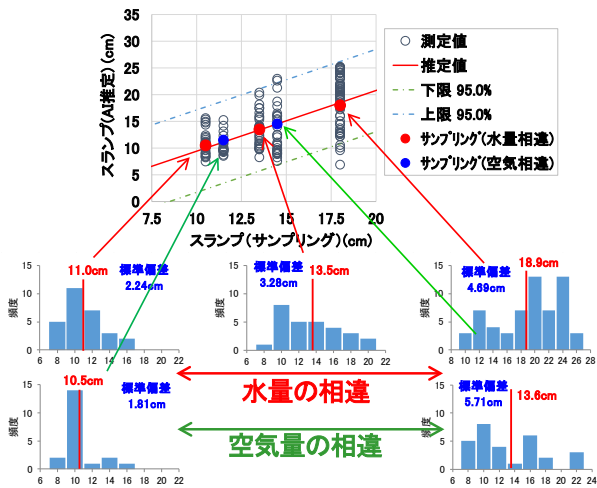


図-6 スランプに関するAI学習の結果（水量と空気量の差）

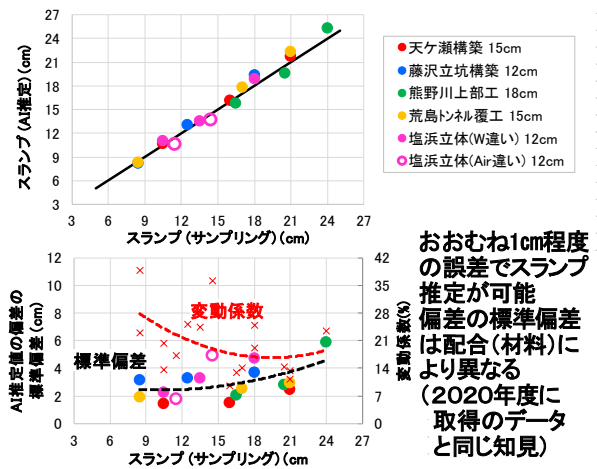


図-7 スランプ推定の精度(今までの実績との比較)

すると同様にスランプ値を評価できることが明らかとなった。推定の精度は、生コン車1台の推定スランプ値とサンプリング値の差は±1.0cm程度として学習できるが、図-6に示すように正規分布のばらつきがある。推定と実測の偏差の標準偏差は3cm程度であり、2020年度取得した様々な流動性のコンクリートに対する評価実績<sup>2)</sup>とほぼ同等である。

### 3. 実施工における全数計測状況

実施工におけるスランプの全数計測状況を図-8に、IoTポンプ車からのデータ取得状況と、この情報を活用して、配管内のリアルタイムの圧力値を推定した結果を図-9に示す。

スランプのAI推定による全数計測値は4打設回について示しているが、いずれの打設回においても、サンプリングのスランプ値をおおむね反映で来ているようである。実は、毎回の打設は、同じスランプ12cmの仕様ではあるが、データベース取得を行ったコンクリート（工場は

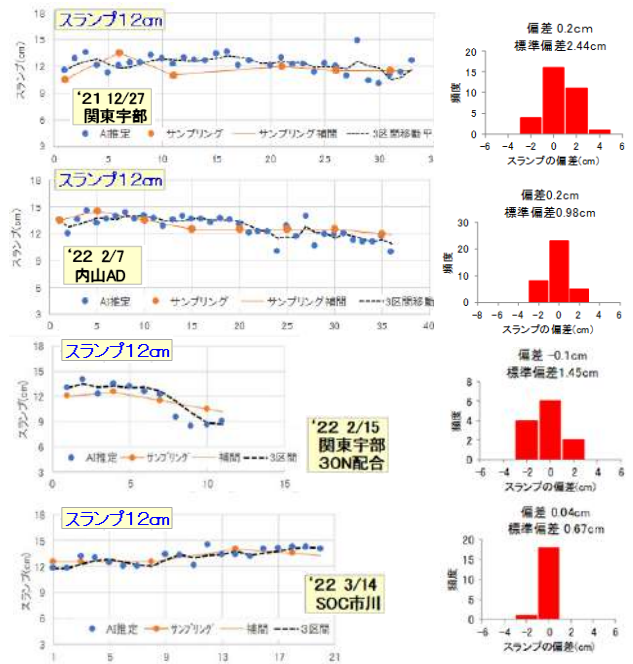


図-8 塩浜立体工事におけるスランプ全数計測結果

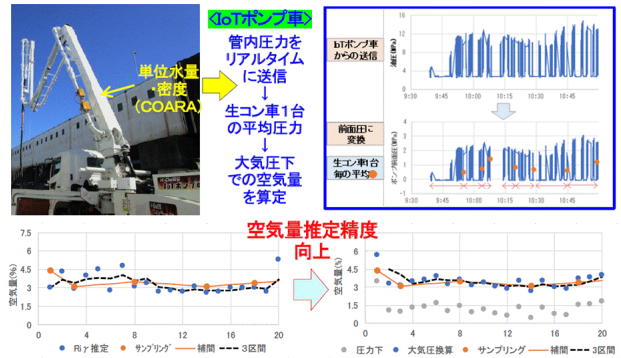


図-9 IoTポンプ車の圧送情報による空気量推定精度の向上

内山アドバンス浦安工場、配合は27-12-N-20）とは異なっているものがある。このことが各々の打設回のAI推定値の偏差(-0.1~0.2cmで差はほとんどない)、偏差の標準偏差(0.67~2.44cmで差があり平均で1.39cm)にどのように影響しているかは、今後取得画像の分析を行うことで検討していきたい。

空気量については、物理則に基づく平均的な係数による推定（PRISM2019追加にて検討<sup>2)</sup>）と比べて、リアルタイムの圧力情報を利用することによっての推定精度の向上が見られた。ただし、圧力状態によっては合わない時間帯もあることから、さらなる換算方法の改善を検討していきたい。なお、圧縮強度は水セメント比（セメント量を固定した状態で単位水量が直接反映）により変化することは当然であるが、空気量の大小にも影響を受ける。今回データベース測定では、空気量1%の増減について圧縮強度の4.8%の減増があることが明らかとなったため、これを反映して、図-10に示すように、it-Concrete

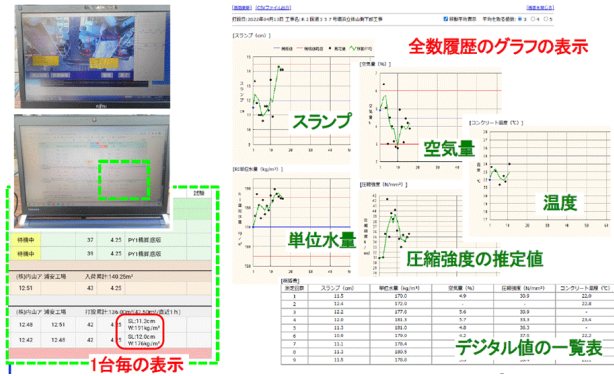


図-10 it-Concrete画面上への表示変化トレンドの表示例

の画面上で圧縮強度の推定値もリアルタイムに参照できるようにしている。

図-11は温度についての計測結果の一部である。温度自体が測定できることは当然であるが、今後計測データを増やしてこの精度について確認を行うとともに、it-Concreteの画面表示に的確に反映できるようにしたい。

#### 4. さいごに

現場受入れコンクリートに対するAI/IoT活用全数管理手法の実装化について、関東地整：「R2国道357号塩浜立体山側下部工事」での試行概要について紹介した。

PRISMの業務では、AIによるスランプ推定のさらなる向上を目的として、スランプコンクリート以外に高流動コンクリートや高スランプコンクリート（スランプ23cmの吹付けコンクリート）あるいはスランプ8cmで単位水量を抑制したダムにおける構築コンクリートなど様々なコンクリートへの適用性を検討しており、様々な難しさも経験しているところである。これらの問題点を踏まえて、様々なスランプ（フロー）の精度向上機能やシステム自体の自動化の試みも行っている。これらの成果については、第11回コンクリート工生産性向上検討協議会での公表資料<sup>9)</sup>を参照されたい。

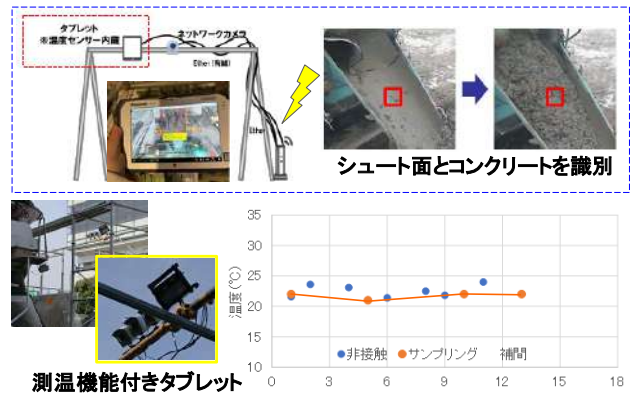


図-11 測温機能付きタブレットによるコンクリート温度の計測例

最後になりますが、本報告は、大成建設、成和コンサルタント、横浜国立大学、日本建設業連合会、パナソニックアドバンステクノロジー、ソイルアンドロックエンジニアリング、KYB、極東開発工業、エム・エス・ティー、パシフィックシステムからなるコンソーシアムによる調査業務の一部であることを付記いたします。また、PRISM試行に協力いただきました生コン供給者、施工・試験計測の関係者の皆様にお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 大友健ほか：クラウド型品質管理システムT-CIM/Concreteを利用したコンクリートの全数品質管理手法，第2回i-Constructionの推進に関するシンポジウム，2020.7.2
- 2) 大友健ほか：生コン車のシュートを流下するコンクリートの画像解析とAIによるスランプ評価手法—様々なコンクリートの実施工における全数管理事例—，第3回i-Constructionの推進に関するシンポジウム，2021.7.8
- 3) 国土交通省ホームページ：コンクリート生産性向上検討協議会（第10回），資料-3 サプライチェーンマネジメント等の検討，<https://www.mlit.go.jp/tcc/content/001387421.pdf>
- 4) 国土交通省ホームページ：試行内容（概要）の紹介 資料-2，技術II，No. 4，<https://www.mlit.go.jp/tcc/content/001447205.pdf>
- 5) 国土交通省ホームページ：コンクリート生産性向上検討協議会（第11回），資料4 サプライチェーンマネジメント等の検討(生コンクリートの全数測定による品質管理試験について)，<https://www.mlit.go.jp/tcc/content/001466601.pdf>

### Attempt to Implement of Total Amount Measuring Management Method Utilizing AI / IoT for Concrete Recieved at Construction Site

Satoko NAOMATCHI, Takeshi OHTOMO, Shun-ichi HATAKEYAMA, Takaya WATANABE, Shunsuke SATO, Masahiro ITO and Haruaki ISHIDA

The authors examined AI / IoT technologies that can replace the on-site acceptance test for concrete, as well as methods for measuring the total amount of air, temperature, and compressive strength, in addition to slump and unit water content. We applied it to the actual construction site and extracted the problems.

# 受入れコンクリートの性能を考慮したコンクリート構造物の施工履歴の評価システム—コンクリート構築工にIoT/AI技術を統合活用—

大友 健<sup>1</sup>・畠山 峻一<sup>2</sup>・片山 三郎<sup>3</sup>・佐藤 駿介<sup>4</sup>・長谷川 正人<sup>5</sup>・石田 春昭<sup>6</sup>

<sup>1</sup>フェロー会員 大成建設(株) 土木本部 土木技術部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1)  
E-mail: takeshi.ootomo@sakura.taisei.co.jp

<sup>2</sup>正会員 大成建設(株) 土木本部 土木技術部 ダム技術室 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1)  
E-mail: htksni00@pub.taisei.co.jp

<sup>3</sup>正会員 大成建設(株) 技術センター 生産技術開発部 スマート技術開発室 (〒245-0045 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1) E-mail: ktysbr00@pub.taisei.co.jp

<sup>4</sup>正会員 大成建設(株) 技術センター 社会基盤技術研究部 先端基盤研究室 (〒245-0045 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1) E-mail: stusns01@pub.taisei.co.jp

<sup>5</sup>正会員 大成建設(株) 千葉支店 塩浜立体工事作業所 (〒274-0127 千葉県市川市塩浜3-15-5)  
E-mail: m\_hasega@ce.taisei.co.jp

<sup>6</sup>国土交通省 関東地方整備局 首都国道事務所 (〒271-0072 千葉県松戸市竹ヶ花86)  
E-mail: ishida-h8312@mlit.go.jp

著者らは、コンクリート構築工において、電子化された生コン情報を活用して製造・施工・監督の三者がデータを共有することで、異なるセクター間でのデータをリアルタイムに交換して、製造～施工プロセスの生産性と品質を向上させ、かつ検査のプロセスも含めて、これら情報をCIMに統合することで、維持管理性を向上させるシステム化を検討している。2021年度の「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」(PRISM)の試行では、受入れ時の全数品質計測情報を反映させ、これに構造物施工の時刻歴と位置情報と統合させた評価システムを考案し、これら要素技術とその統合についてのさらなる検討を行った。本報ではこの概要について紹介する。

**Key Words :** toatal amount quality, history of concrete placement work, CIM model, concrete

## 1. はじめに

著者らは、生コンクリート供給者から施工者への納品と検査、監督者の施工検査について、これらのデータをすべて電子化し、クラウド上で製造・施工・監督の三者がリアルタイムに共有、立会も遠隔臨場を可能とすることで、現場打ちコンクリート工の生産性と施工品質を向上させることを「生コン情報の電子化」として、取組みを継続してきている。さらに、コンクリートの受入れ管理を全数化する試み、異なるセクター間で引き渡される情報を、施工に関する情報も含めて、最終的にCIMに統合することで、施工者のアカウントビリティーを明示し、将来的維持管理情報をするストレートラインを提唱してきた<sup>1)</sup>(図-1)。この要素技術としての全数品質情報の取得、打込み位置情報の取得と表示の要素技術の説明を図-2および図-3に示す(PRISM2019にて実施分)。この詳細は当シンポジウムの第2回にて報告している<sup>2)</sup>。

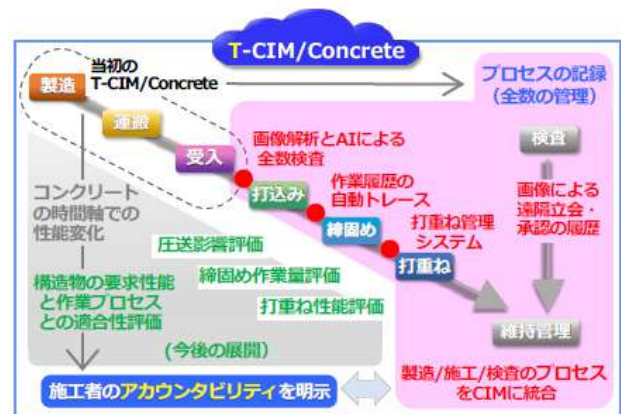


図-1 コンクリート構造物の維持管理に至るストレートライン

2021年度のPRISMの試行においては、さらなる「自動化/効率化」が望まれたことから(図-4)、

- ・全数取得の品質リアルタイム情報の施工への反映
- ・施工情報の自動取得と適切な打込み作業の評価

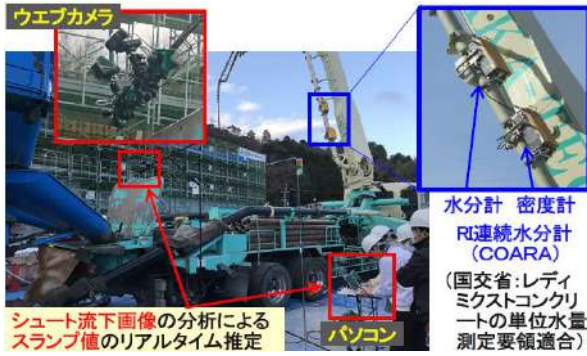


図2 スランプと単位水量の全数測定システム



図3 打込み位置の自動判定とCIM連携

コンソーシアム：大成建設㈱、成和コンサルタント㈱、横浜国立大学、(一社) No5 日本建設業連合会、パナソニックアドバンステクノロジー㈱、ソリアルンドロックエンジニアリング㈱、KYB㈱、極東開発工業㈱、エム・エス・ティー㈱  
 試行場所：R2国道357号塩浜立体山側下部工事

- ・過年度プリズムで試行した「クラウド型品質管理システム」と受入れコンクリートの「全数管理システム」について、無人化/リモートでの運用を目指します。
- ・打込み/締固め/打重ねの位置と作業量を自動把握、コンクリートの性状変化に合わせた適切作業をガイダンスし、現場作業時間を短縮して効率化を図ります。



図4 PRISM2021 塩浜立体 (技術 I/自動化・効率化) の概要

をテーマとして、実際の施工(関東地整:「R2国道357号塩浜立体山側下部工事」)においてデータを取得し<sup>4)</sup>、解析に供している所である。本報告ではこのシステムの概要を紹介する。

## 2. 全数取得の品質リアルタイム情報の施工への反映

「生コン情報の電子化」では、クラウド型品質管理システムにより生コン車1台毎に、製造から運搬、受入れまでの時刻歴が自動的に記録される。これに「全数管理システム」を適用すれば、受入れコンクリートのスランプと温度が定義される。コンクリートの性能(たとえばスランプの時刻歴変化、打重ね特性、図-6)をあらかじめ調べておけば、施工に要する時刻歴情報を付加することで、実際の打込みプロセスでの品質状態を定義でき、施工プロセスとその時のコンクリートの性能から、最適な施工のガイダンスが可能になると考えられる(図-5)。

図-7には、塩浜立体工事においてデータベース取得時に同時に取得したコンクリートのスランプの経時変化特性を示す。ここで、現着の時間、コンクリート温度と受入れ時のスランプから、その後のスランプの経時変化が定義できる。図-8は、実際の施工において、打込み終了までの経過時間とその時のスランプ値を示したものである。このように打込み箇所でのスランプが定義できれば、あ



図5 全数品質情報の施工の最適化への反映の概念図

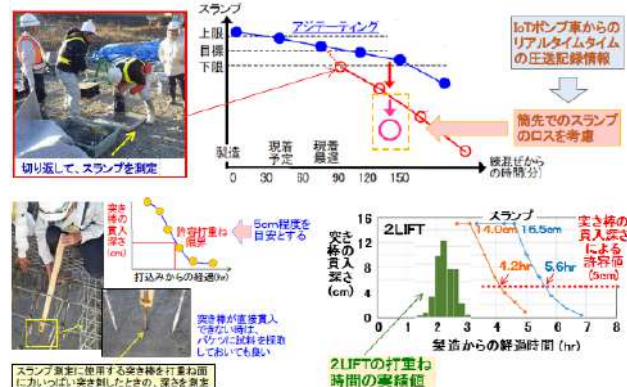


図6 スランプの経時変化特性と打重ね性能の取得方法

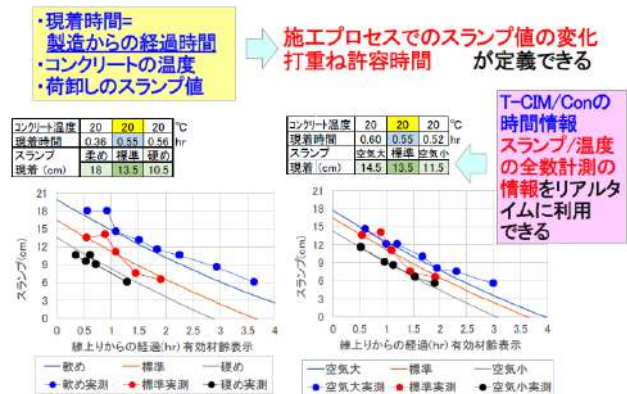


図7 スランプの時刻歴変化の特定方法

とどのぐらいの締固めを行えば適切か、の判定が可能となる。また、ここにデータを示していないが、図-6の下図に示すT式突き棒貫入試験により許容打重ね時間をあらかじめ測定しておき、it-Concreteの打重ね管理システ

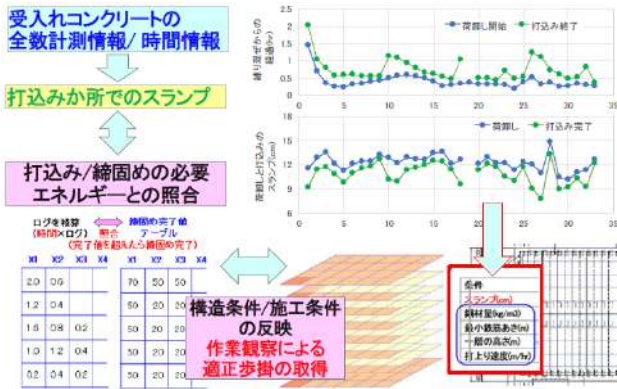


図-8 打込みのスランプと必要な打込みエネルギーとの照合

ムの運用<sup>2)</sup>により記録された施工ブロックの履歴時間と照合することで、打回しの余裕度が算定可能である。

### 3. 施工情報自動取得と適切な打込み作業の評価

PRISM2019の試行(図-3)では、締固め作業の位置情報をRFIDタグとRFIDリーダーにより取得していた。本年度、塩浜立体における試行では、作業の位置情報をより位置精度の高いGPSにより取得した。これは、この2年の間にGPSがよりポータブルで安価となったことによる。

また、他現場(中部地整：津屋川10P橋脚)における試行ではGPSを図-9に示すように作業員のヘルメット頂部に装着していたが、切梁直下など作業員が立ち入らない場所で欠測する傾向となったことから、塩浜立体の試行では、GPSを図-10に示すようにポンプマン・パイプマンの両肩に設置し、作業方向のベクトルを取得できるようにしている。これにより、打込み作業については位置と方向、締固め作業については実際の作業位置を、より精度よく記録できるものとなった(図-11)。

この作業の位置と時間を図-12に示すようにエレメント毎に積算することでエネルギー量を算定し、締固め完了を判定する仕組みを構築した。現在、打込み時点のスランプ値とエレメントの構造条件(配筋条件)、実際の施工における作業の観察結果を照合させ、この判定基準について検討を進めているところである。

今回の試行ではコンクリートの打込みに極東開発工業のIoTポンプ車を使用している<sup>3)</sup>。これにより打込みの位置情報とコンクリートの吐出情報もリアルタイムに得ることができるものとなっている。コンクリートの吐出範囲と吐出速度を定義することで、打込みそのもののエネルギーについても、締固めと同様に積算できるものと考え、取得データの分析を加えているところである。

### 4. 打込み経過の表示と3D-CIMとの連携

生コン車1台ごとの製造・運搬から施工の時刻履歴、

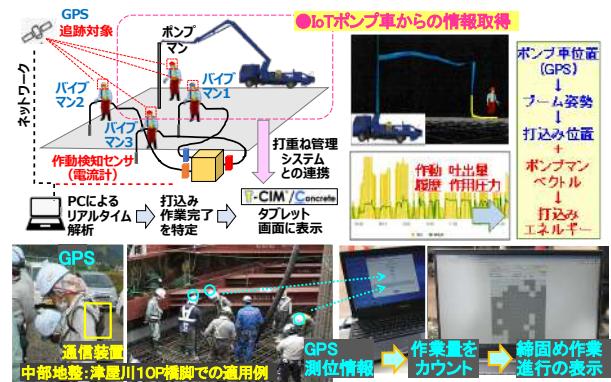


図-9 GPSとIoTポンプ車による打込み位置情報の取得



図-10 実施工における作業履歴の取得状況(塩浜立体での試行)



図-11 実施工における作業履歴の表示例

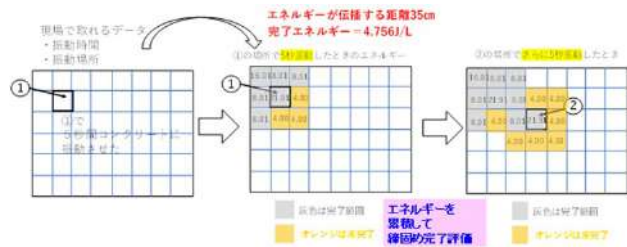


図-12 締固め作業の積算による締固め完了エネルギーの算定

打込み場所情報については、現在、it-Concrete打重ね管理システムに統合して表示するものとしている(図-14)。2に示したコンクリート自体の全数の管理情報、時刻歴依存の性状についても、また3に示した打込み・締固めの情報についてもこのシステムを経由して、蓄積・表示できる仕組みを構築中である。

現在は、あらかじめ指定した施工ブロック単位で表示

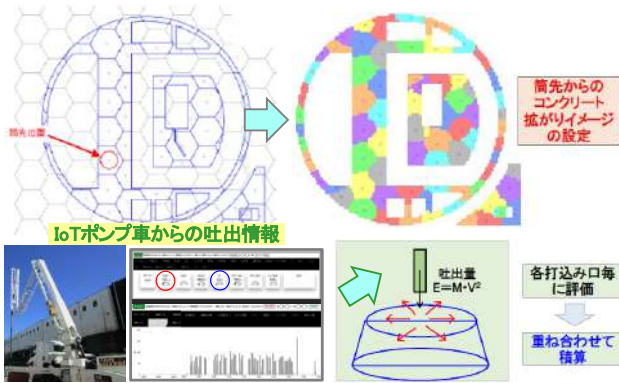


図-13 IoTポンプ車による施工の位置と吐出量の情報取得



図-14 実施工における作業履歴の表示例

できるものとなっており、打込み状況と連動したリアルタイム表示が可能なモデルとなっている。塩浜立体の3D-CIMモデルのイメージを図-15に示す。

今後、塩浜立体で取得した多くの打込み・締固めの情報を分析して、これら詳細の施工結果についても構造物の3D-CIMに統合して蓄積し、施工者のアカウントビリティを確保するとともに、将来の維持管理に適用できるようにすることを想定している。

## 5. さいごに

本報告は、大成建設、成和コンサルタント、横浜国立大学、日本建設業連合会、パナソニックアドバンステクノロジー、ソイルアンドロックエンジニアリング、KYB、極東開発工業、エム・エス・ティー、パシフィック

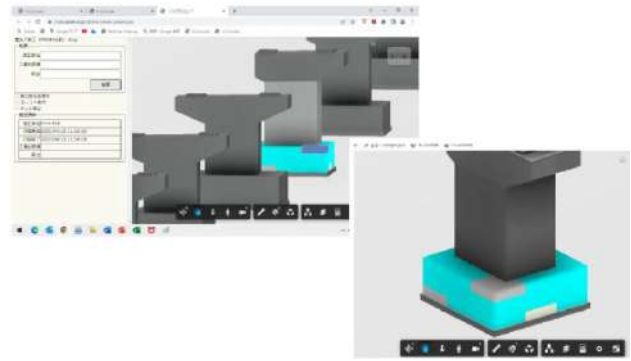


図-15 3D-CIMモデルによる表示（塩浜立体フーチング）

クシステムからなるコンソーシアムによる調査業務の一部です。いまだ解析途中の部分が多くありますが、機会を得て順次報告できるようにしたいと考えております。

ここに記載していない試行内容については、第11回コンクリート工生産性向上検討協議会での公表資料<sup>9</sup>を参照いただきたく存じます。

## 参考文献

- 1) 大友健, 前川宏一: 電子化した生コン情報をクラウド上で共有しCIMモデルと連携—製造・施工・検査の全数情報取得と活用の試み—, 土木学会誌, Vol.105, No.10, 2020.10
- 2) 大友健ほか: クラウド型品質管理システム T-CIM/Concrete を利用したコンクリートの全数品質管理手法, 第2回 i-Construction の推進に関するシンポジウム, 2020.7.2
- 3) 渡邊高也ほか: クラウド型品質管理システム T-CIM/Concrete を利用したコンクリートの打込み管理とCIMモデル連携, 第2回 i-Construction の推進に関するシンポジウム, 2020.7.2
- 4) 国土交通省ホームページ: 資料-2 試行内容 (概要) の紹介 技術 I No.5, <https://www.mlit.go.jp/tec/conent/001447205.pdf>
- 5) 渡邊高也ほか: 現場受入れコンクリートに対するAI/IoT活用全数管理手法の実装に向けて—PRISM2021による塩浜立体工事での試行状況—, 第4回 i-Construction の推進に関するシンポジウム, 2020.7
- 6) 国土交通省ホームページ: コンクリート生産性向上検討協議会 (第11回), 資料-3 および資料-4, [https://www.mlit.go.jp/tec/tec\\_tk\\_000092.html](https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000092.html)

## Evaluation System of Construction History of Concrete Structures Considering the Performance of Concrete Received at Construction Sites

Takeshi OHTOMO, Shun-ichi HATAKEYAMA, Saburo KATAYAMA, Shunsuke SATO, Masato HASEGAWA and Haruaki ISHIDA

The authors devised a method to measure the quality of the total amount of concrete received at the construction site in the concrete construction work, integrate it with the time history and position information related to the concrete placement work, and displayed the results on CIM model.

# クラウド型コンクリート品質管理システムを用いた「自動化/効率化」の調達～製造～運搬～現場受入れプロセスへの展開

渡邊 高也<sup>1</sup>・千葉 勇也<sup>2</sup>・大岡 晃<sup>3</sup>・橋口 稔秀<sup>4</sup>・大友 健<sup>5</sup>・畠山 峻一<sup>6</sup>

<sup>1</sup>正会員 大成建設(株) 土木本部 土木技術部 ICT推進室 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1)  
E-mail: twata@ce.taisei.co.jp

<sup>2</sup>大成建設(株) 土木本部 土木技術部 ICT推進室 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1)  
E-mail: tb-yuy00@pub.taisei.co.jp

<sup>3</sup>正会員 大成建設(株) 国際支店 土木部 積算室 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1)  
E-mail: ooka@ce.taisei.co.jp

<sup>4</sup>成和コンサルタント(株) 土木設計部 設計推進部 (〒163-0606 東京都新宿区西早稲田2-18-23)  
E-mail: toshi@seiwac.co.jp

<sup>5</sup>フェロー会員 大成建設(株) 土木本部 土木技術部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1)  
E-mail: takeshi.ootomo@sakura.taisei.co.jp

<sup>6</sup>正会員 大成建設(株) 土木本部 土木技術部 ダム技術室 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1)  
E-mail: htksni00@pub.taisei.co.jp

著者らは、従来紙ベース管理であった生コンクリート供給者から施工者への納品と検査、監督者の施工検査について、これらのデータをすべて電子化し、クラウド上で製造・施工・監督の三者がリアルタイムに共有することで、生産性と施工品質を向上させることを「生コン情報の電子化」とし取組みを継続している。2021年度には「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」(PRISM)を活用し、これをコンクリートの調達のプロセスまで拡大、製造に加えて運搬・現場受け入れについてもさらなる自動化を進める取組みを行った。本報では、この概要について紹介する。

**Key Words :** cloud sharing type QC system, procurement of concrete, automation efficiency

## 1. はじめに

著者らは、従来、紙ベース管理であり立会を伴うサンプル調査であった生コンクリート供給者から施工者への納品と検査、監督者の施工検査について、これらのデータをすべて電子化し、クラウド上で製造・施工・監督の三者がリアルタイムに共有することで、生産性と施工品質を向上させることを「生コン情報の電子化」として取組みを行っている(図-1)。この実績と効果については第1回の当シンポにおいて報告したり<sup>1)</sup>。また、国土交通省の主催するコンクリート工生産性向上検討協議会に報告していたが、「施工者側のメリットは確認されたが、供給者のメリットが確認できなかったため、引き続き、供給者側における生産性向上に資する工夫が必要」との議論をいただいていた<sup>2)</sup>。そこで、2020年度のPRISMでは「生コン情報電子化の社会実装と供給者メリットの向上」をテーマとし、社会実装を推進する上で必要なシス

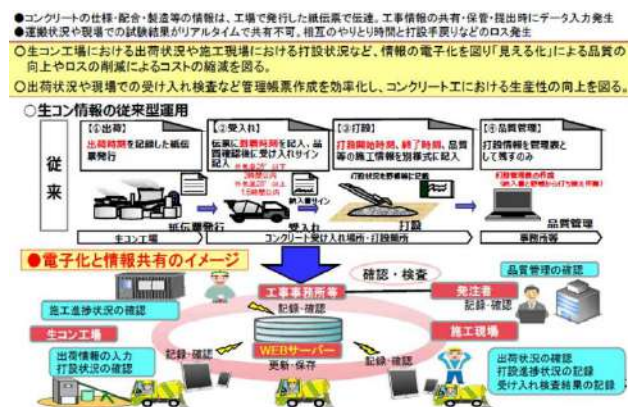


図-1 生コン情報の電子化と情報共有のイメージ

テムの確立および課題点の整理と解決方法の検討してきた。この内容は、第3回の当シンポで報告している<sup>3)</sup>。

2021年度は、この社会実装の展開をコンクリートの調達のプロセスまで拡大し、製造に加えて、運搬・現場受け入れについてもさらなる自動化を進める取組みを行った。



2. 生コン情報電子化のベースシステムと社会実装の上の課題点と解決方法

(1) 生コン情報電子化のベースシステム

図-2および図-3に、「生コン情報の電子化」のベースシステムとなるクラウド型コンクリート品質管理システムの概要を示す。このシステムはWebブラウザによる表示として利用するため、パソコン/タブレット/スマートフォンを問わず、コンクリートの施工に関わる誰もが利用することが可能であり、製造～運搬～打込みの進捗状況をクラウド上で、リアルタイムに供給・施工・監督の三者で共有することができる。また、施工後の日報等の帳票や品質管理のグラフなどについても、クラウドデータの直接のダウンロードにより任意の書式での表示・出力が可能である。

2018年度PRISMの試行では、電子化を試行する工事を指定し、この工事にコンクリートを納入する工場に電子化システムを導入して試行を行い、このとき工場では現場用画面で情報を共有するものとしていた。これに対して2020年度以降は、生コン協組単位で複数の生コン工場・複数の施工現場に並行して適用できる体制とした。

この実装化を図るにあたっては、このクラウド型品質管理システムを”it-Concrete”としてNETIS化<sup>4)</sup>、また品質管理システムに加えてクラウドについても、PRISMコンソーシアムの構成員である成和コンサルタントが設置・運用を行うことで、PRISMの枠外でも、建築・土木に関わらず第三者利用を常時可能な状態にすることにした。これにより2021年4月以降もクラウド型品質管理システムを提供できる体制を確立した。ただし、クラウドの維持・管理のための課金が必要となるが、現時点でこれは施工者側が負担するものとしている。

なお、社会実装の上で、利用するクラウド型品質管理プログラムは限定しておらず共通サーバからの生コン情報データの取得も可能としている。

(2) 社会実装を進める上での問題点とその解決方法

「生コン情報電子化」の社会実装を進めるための課題点として、2019年度PRISMの検討において4つの観点を示していた。これを図-4の①～④に示す。(1)に示したクラウドとシステムの構築は課題②に対応するものである。

現状においても、生コン伝票の利用を電子データとして活用することはできるが、この場合でもJIS A 5308のレディーミクストコンクリートの規格は紙管理で定められていることから、現時点では電子と紙の二重管理にならざるを得ない問題点があった(項目①)。

これに対しては、図-5に示すように、コンクリート生産性向上検討協議会下に「電子媒体化WG」が設置され課題解決の方向性を議論、令和5年度のJIS改正に向け令



図-2 生コン情報のクラウドへの自動取得



図-3 生コン情報の共有化のための管理画面

① JIS対応下でのペーパーレス化の可能性  
 ② システム運用組織と運用上の費用負担  
 ③ 国交省以外の民間土木・建築工事での適用の拡大  
 ④ 納品書・受領書機能・運搬者への作業指示書の代替え方法

<2018～20年度>  
 ・日建連を通して品管システムを無償提供  
 ・コンソーシアム費用でクラウドを運用  
 ・日建連/コンソーシアム管理下で運用(限られた工場・現場での適用)

<2021年度以降>  
 クラウドの設置と品質管理システム運用を成和コンサルタントに移管 <it-Concrete>  
 ⇒ プリズム枠外で、建築・土木に関わらず第三者利用を常時可能 NETISを取得  
 ⇒ 2021/4以降もクラウド型品質管理システムを提供できる体制  
 ただし、クラウドの維持・管理のため施工者に課金

<他システムへのクラウドからの伝票情報の提供も可能>  
 it-Concreteのシステムの使用には限定しない(同様に課金)

図-4 社会実装を進める上の課題点とその解決方法

R3 i-Constructionの主な取り組みより (R3.4.1)  
 2.2 現場打ちコンクリートの品質確認の効率化のためのJIS規格の改訂

○現場打ちコンクリートの品質管理試験では、画像解析やAI活用等デジタル技術が多く活用されているが、試験結果伝票はJISによる紙伝票の提出が求められることが多い  
 ○画像解析やAI等を用いた品質管理試験の伝票をデジタル処理可能とするためのJIS改訂に向け、令和3年度中に改定案を整理し、4年度の改訂を目指す。

●IT技術の活用によるサプライチェーンと品質管理の効率化

協議会下に2つのWGを設置(R4.2月以降開催)

<生コン電子化媒体WG>  
 ・JIS改正原案の提示(電子化ルート)の活用方法  
 ・社会実装の推進のためのガイドラインの策定

<IoT活用試験の管理基準検討WG>  
 ・従来試験に代わるAI/IoTシステムを活用するための品質管理基準/検査要領の策定  
 ・受発注者間で合意形成方法の検討

図-5 コンクリート生産性向上検討協議会下に設置のWG

和4年度に立ち上がる「JIS A5308 改正原案作成委員会」に上記WGより検討内容を報告し、改正案を提示、これによって「ペーパーレスも可能」を実現する方向性を検討するものとしている<sup>5)</sup>。



図-6 工場専用のタブレット画面および提出書類の電子化機能

(3) さらなる供給者メリットの付与の検討

市場に供給される生コンクリートの6割、首都圏圏では9割が民間・建築向けである。生コン電子化の推進には「国交省以外の民間土木・建築工事での適用の拡大」

(課題③) が欠かせないことから、前述WGにおいては、社会実装推進のガイドライン策定も行うものとしている。

供給者メリットについては、まず、生コン工場での電子化システムの導入では、通常の出荷を行うだけで、「レディーミクストコンクリート納品書（いわゆる生コン伝票）に記載の情報」がクラウドに自動転送されることを前提とし、これを「工場連携」と称している（図-2）。また2020年度には、この出荷時の負担低減に加え、現場管理用の画面に変えて「供給側専用の管理画面」を新たに設計し提供できるようにした。また従来紙ベースの書類である生コン工場から現場への提出書類を電子化し、クラウドから提供できる機能も付加した（図-6）。

図-4に課題④として示しているが、生コンの伝票はJIS上で必要な書類であると同時に、生コン車1台毎の納品書と受領書の役割を果たしているため商法上で紙での受け渡しと一定期間の保管が必要なものとなっている。また、生コンの製造業者と輸送業者は一般的に異なることもあり、この伝票が生コン運搬車の運転手さんへの作業指示書（〇m<sup>3</sup>の〇-〇-〇-〇の商品を〇時〇分までに〇〇の現場に納品せよの意味）となっているため、この代替えについても考慮する必要があった。

そこで、2021年度のPRISMでは、図-7に示すように、電子サインを行った伝票をPDFとして随時参照・保管できる機能、および生コン車の運転手さんが保有する携帯電話に輸送情報をリアルタイムに送信する機能を作成した。この機能はGPSによる生コン運搬車の位置表示機能<sup>3)</sup>とも連動するようにしている。

PRISMでは、施工側として日本建設業連合会、供給側として全国生コンクリート工業組合連合会の委員からなる生コン電子化ワーキングを組織し、このWGから、東京地区、神奈川、湘南、千葉西部の各々の生コンクリート協同組合に依頼し、日建連所属会社の各施工現場にコンクリートを納入する工場に協力をもとめ、おおむね45



図-7 電子納品書保管/参照機能および輸送伝票の電子化機能



図-8 生コン運搬車の自動識別による現着/荷卸し自動入力機能

工場の協力を得ながら2021年度以降も試行を継続し、供給者の皆さまのご意見をヒアリングしている途上である。

(4) 施工側での施工管理の自動化

建築工事を含めた施工側での社会実装を進めるためには、コンクリートの受入れ側での管理を自動化することも有効と考え、現場への生コン車の到着、荷卸しの開始/終了について、従来は、現場の担当者あるいはその代行者のタブレットへの手入力によっていたものを、現場内に到着した生コン運搬車を複数カメラで撮影し、画像の解析によって、生コン到着・待機・打込み開始/終了を自動的に判別し、品質管理システムへの入力を自動化できるものとした。この手法の概念を図-8に示す。

3. クラウド型品質管理システムの海外工事への適用とサプライコントロール機能の追加

コンクリート構築工のプロセスそのものは海外工事も同様であり、クラウド型品質管理システムを運用するためには通信手段さえあれば特別な資源を要しないことから、生産性の向上を目的として、本システムをフィリピン南北通勤鉄道事業(CP01工区)工事にも適用している。

工事規模が大きいことは海外工事に共通する特性であり、CP01工区でも延長21 km分の高架の橋脚・桁と6か所の駅舎・車両基地を同時的に施工する必要があった。このため、限られた生コン工場の製造と運搬の能力下で、

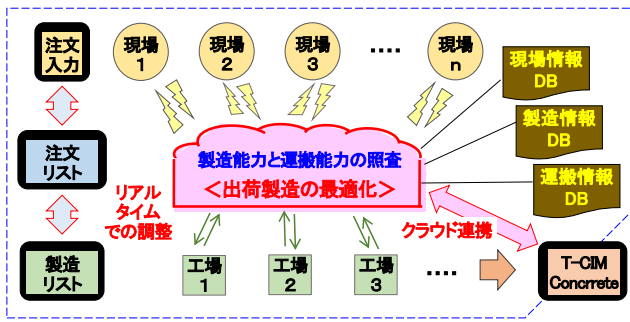


図-9 サプライコントロール機能の概要

多数の施工サイトへの納入を計画する必要があった。そこで、当日の現場準備状況をリアルタイムに反映しながら、予定を調整し、この結果にもとづき製造・運搬作業の最適化を行ない、この結果を多くの工区の担当者間で共有することを目的として、前出のクラウド型の品質管理システムに、出荷オーダー機能、製造/運搬スケジュール調整機能と、これを反映させた製造順序指示機能を追加したものである（図-9）。

このシステムの付加により、現場での突然の予定のキャンセルや変更をリアルタイムに把握することで、製造と運搬の空き時間を削減し、現場からのリクエストに対して管理者がプライオリティーをもってコンクリートの供給を割り当てることで、コンクリート待ちによる現場施工のロスタイムも最小とすることが期待できる。また各工場における出荷作業の合理化も図ることができる。

実際にこのシステムを使用しながら（図-10、図-11）、ローカルエンジニアの意見も取り入れて、さらに使いやすいサプライマネジメントシステムの確立およびそのさらなる展開を目指しているところである。

#### 4. おわりに

「生コン情報の電子化」の社会実装を進めるにあたっては、コンクリート生産性向上検討協議会でのご議論をはじめ、PRISMに関連した見学会や技術公表において、様々なご意見をいただいております。この中から本年度は自動化についてのご要望について検討した。2021年度の関東地整：塩浜立体工事におけるPRISMの試行取得成



図-10 サプライコントロールシステムを用いた出荷状況



図-11 施工現場での出荷/運搬情報の参照状況

果については、未だ解析中であるが、実装化に向けての整備を早急に進めていきたいと考えている。

#### 参考文献

- 1) 村田直樹ほか：「生コン情報の電子化」の試行について(H30 建設現場におけるPRISM試行の報告)，第1回 i-Construction の推進に関するシンポジウム，2019.7.30
- 2) 国土交通省ホームページ：コンクリート生産性向上検討協議会（第8回），議事要旨，2019.3，[https://www.mlit.go.jp/tec/tec\\_fk\\_000056.html](https://www.mlit.go.jp/tec/tec_fk_000056.html)
- 3) 渡邊高也ほか：「生コン情報の電子化」の社会実装の取組み，第3回 i-Construction の推進に関するシンポジウム，2021.7.8
- 4) 国土交通省 新技術情報提供システム：KT-200152-A コンクリート品質管理システム it-Concrete，<https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubsearch/details?regNo=KT-200152%20>
- 5) 国土交通省ホームページ：コンクリート生産性向上検討協議会（第11回），資料3 サプライマネジメントの検討（生コンクリート情報，帳票類の電子化について），2022.3，<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001466602.pdf>

Expanding to the Process of Procurement-Manufacturing-Transportation-on-site Acceptance of Concrete of Cloud Sharing QC System with Automation Efficiency

Takaya WATANABE, Yuya CHIBA, Akira OHOKA, Toshihide HASHIGUCHI, Takeshi OHTOMO and Shun-ichi HATAKEYAMA

The authors are developing a system for sharing data on ready-mixed concrete in real time on the cloud by construction and supervision personnel. This was expanded to the concrete procurement process, and in addition to manufacturing, further automation was promoted for transportation and on-site acceptance.

# データ・システム連携基盤を考慮した切盛土工事のための施工管理システムの開発

松下 文哉<sup>1</sup>・小澤 一雅<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 東京大学大学院共同研究員 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: matsushita@i-con.t.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup>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 (同上)

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

本研究では、データ・システム連携基盤を組み込んだ施工管理システムのユースケースとして切盛土工事の出来形管理を対象にシステムアーキテクチャを検討し、そのプロトタイプシステムを開発するとともに、データ・システム連携基盤の有効性を検証する方法を提示した。

**Key Words :** data & system collaborative platform, application programming interface, metadata

## 1. はじめに

国土交通省が推進するi-Constructionの中核技術として位置づけられるBIM/CIM (Building Information Modeling/Construction Information Management) では、プロダクトモデルの標準化の取組として、IFC (Industry Foundation Classes) の開発が進んでいる。このようなモデルの標準化により、異なるソフトウェア間でデータの交換・連携が可能となる。ユーザは設計から維持管理に至る建設生産プロセスにおいて引き継がれるプロダクトモデルのファイルフォーマットを気にすることなく自身の業務に適したソフトウェアを選定し利用可能となる。

一方、標準化されたプロダクトモデルが存在しない場合は、図-1左図に示す通り、ソフトウェア間でプロダクトモデルを交換・連携するためには、データ変換プログラム (コンバータープログラム) をソフトウェアが $n$ 個 (図中の例では $n=8$ ) ある場合は $n(n-1)/2$ 個 (図中の例では28個) 開発する必要がある。一方、標準化されたプロダクトモデルがある場合はコンバータープログラムを $n$ 個 (図中の例では8個) のみ開発すればよく、ソフトウェアベンダーの負担も軽減され、開発者側にとっても現実的なアプローチになっていることが知られている<sup>1)</sup>。

また、API (Application Programming Interface) により、あるソフトウェアやサービスの機能の一部を別のソフトウェアやサービスで利用することが可能となってきた<sup>2)</sup>。例えば、CADシステムやBIMソフトを手掛けるAutodesk

社<sup>3)</sup>は、2015年にAutodesk Forge<sup>4)</sup>を発表し、Autodeskのシステムやソフトウェアの機能をAPI経由で利用可能とするサービスを開始している。

一方で、API提供者とAPI利用者で1対1の関係でシステム連携を行うと、プロダクトモデルと同様の図-1左図に示す問題が生じる。この問題を解消するためには、システム間の連携を可能とするシステム連携基盤と各システムから出力された情報を他システムでの利用を可能とするデータ連携基盤の開発が求められる。ここでは、データ連携、システム連携の両方の機能を包含した基盤をデータ・システム連携基盤と呼称する。

以上の背景を踏まえて、本研究の目的はデータ・システム連携基盤を組み込んだ施工管理システムのユースケースとして切盛土工事の出来形管理を対象に、システム

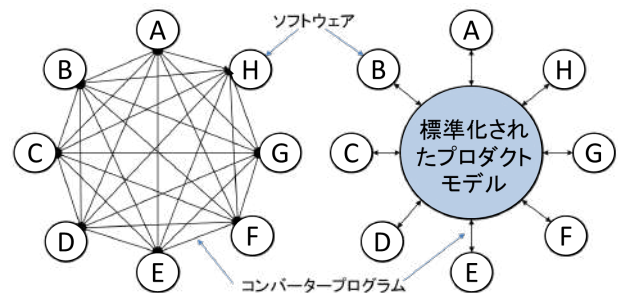


図-1 標準化の有無によるデータの交換・連携の変化

(左：標準化なし，右：標準化あり)

(図は参考文献1を参考に筆者が作成)

アーキテクチャを検討し、そのプロトタイプシステムを開発するとともに、データ・システム連携基盤の有効性を検証する方法を提示することとした。

また、開発するデータ・システム連携基盤は建設産業全体の共通プラットフォームとして活用・運用されることでより有用性、利便性の向上が期待されるため、協調領域に位置付けられる基盤と捉えられる<sup>9)</sup>。このため、この基盤の実現に向けては建設産業界において、システム設計、開発、運用、拡張のための議論が求められる。

## 2. データ・システム連携基盤を組み込んだ施工管理システム

### (1) 建設施工管理の特徴と解決すべき課題

まず建設施工管理の特徴とシステム構築にあたっての課題(表-1)、課題を解決するために必要なシステム特性(表-2)、さらにこれを担保するために必要な技術的対応方針(表-3)をまとめる。例えば、建設施工管理の特徴として「サプライチェーンは現場ごとに可変」が挙げられ、これによって生じるシステム構築上の課題はサプライチェーンが固定化されていないため、すべてのサプライヤーが「課題①：特定の商用システムを利用することは困難」である。さらに元請、専門工事会社、リース会社、メーカーなど様々な会社が必要な機能を検討し実装可能であることが望まれるため、「課題②：一組織で必要な機能決定が困難」といった課題が生じる。また課題①に対しては複数のクラウドシステムで動作可能な「可搬性」の担保が求められ、課題②に対しては、様々な企業が機能を拡張することが可能な「拡張性」の担保が求められる。

表-1 建設施工管理の特徴とシステム構築上の課題

建設施工管理の特徴	システム構築上の課題
サプライチェーンは現場ごとに可変	課題①：特定の商用システムの利用は困難 課題②：一組織で必要な機能の決定が困難
単品生産・施工方法は施工計画によって現場ごとに決定	課題③：必要な機能が多種多様 課題④：その開発者も多種多様になり得る
現場のセンシングが必要	課題⑤：デバイスからのデータ収集方法の検討
施工管理に必要な解析や可視化は一定のリアルタイム性が必要	課題⑥：データへのアクセス性や検索性能の担保

表-2 課題に対して基盤に求められるシステム特性

課題	システム特性
課題①	可搬性
課題②, 課題③, 課題④	拡張性, テスト容易性
課題⑤	接続性
課題⑥	判別性

表-3 システム特性と各特性を担保するための技術的対応方針

システム特性	技術的対応策案
可搬性	・複数のクラウドシステムで動作可能な仕組みの構築
拡張性	・機能を徹底的にコンポーネント化し簡単に交換可能な仕組みの構築 ・各機能を連携するAPIの開発
テスト容易性	・新たなコンポーネントを接続した際に正しく動作することが確認可能な仕組みの構築
接続性	・測器やIoTデバイスからデータを収集するための収集基盤の構築
判別性	・様々なコンポーネントでデータの判別が可能なメタデータの設計と管理するための仕組みの構築

次に、表-3に示した拡張性、テスト容易性、接続性、判別性に対する技術的対応方針に基づき検討したシステムアーキテクチャを図-2に示す。アーキテクチャは、「データ・システム連携層」、「解析・処理サービス層」、「施工情報収集サービス層」の3種類のレイヤーに分けた。また解析・処理サービス層においては、Web ApplicationやClient Applicationの連携を想定し、連携する機能をコンポーネントと表現している。次に、施工情報収集サービス層では測器やIoTデバイスとの連携を想定し、各測器やIoT機器をコンポーネントと表現している。各コンポーネントは「拡張性」を担保するためにデータ層とAPI連携するアーキテクチャとした。

また、サービスを「解析・処理サービス」(青)と「施工情報収集サービス」(緑)の2種類に分類した理由は「接続性」を考慮したためである。これは各サービスによってAPIの作り込み方が異なるためである。施工情報収集サービスの各コンポーネントとの連携は通信プロトコルとしてMQTT(Message Queue Telemetry Transport)を介したAPI連携が想定され、解析・処理サービスの各コンポーネントとの連携は通信プロトコルとしてHTTP(HyperText Transfer Protocol)を介したAPI連携が想定される。

さらに、「テスト容易性」を担保するために、テスト基盤を有するシステムアーキテクチャとした。テスト基盤では、各コンポーネントがデータ・システム連携層とAPI連携する際に、その機能を認証する仕組みを有する。例えば点群測量では点群密度や処理アルゴリズムが発注

者側の要求事項として規定されている<sup>9)</sup>。このため、点群処理関連のサービスがAPI連携されるときには、その機能が要求事項を満足しているか確認する必要がある。テスト基盤の役割は、この確認作業を事前に用意した評価用の点群データを用いて、バッチ処理を自動的に実行し、機能確認を自動化することにある。

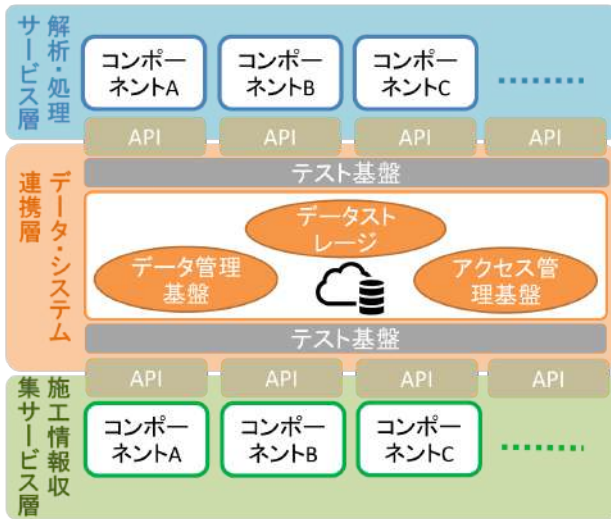


図2 システムアーキテクチャ

次に、データ・システム連携層では物理的なデータを保持するためのデータストレージを有する。またこのデータを各コンポーネントで相互に利用可能とするためにデータの「判別性」を担保する必要がある。このためデータ管理基盤を有し、この管理基盤内にメタデータの管理機構とメタデータ用のデータベースを配置する。また各データは、発注者、元請、サプライヤーによってアクセスする範囲が異なるため、アクセス権限を管理するための企業情報、ユーザー情報を識別するアクセス管理基盤を有する。

さらに、このシステムアーキテクチャのうち協調領域に含まれる範囲は、データ・システム連携層に含まれる各基盤やAPIであり、各種サービスは競争領域に含まれる。この範囲を協調領域と捉えることによって、例えば解析・処理サービスの開発者は、データを収集するデバイス間とのAPIを個別に開発する必要がなくなり、開発コストを下げる事が可能となる。さらに各種サービスのうち、例えば「設計モデルの可視化」、「大規模点群データの可視化」などといった工種に依存しない、汎用性が高い機能については協調領域に分類することも考え得る。これらのサービスを協調領域に分類することは、同一機能の2重開発を防止することにつながる。なお、各種サービスのうち、どの範囲を協調領域として位置づけるかについては、ソフトウェア開発の市場構築に関するさらなる議論が必要になる。

### 3. 切盛土工の出来形管理を対象としたプロトタイプの開発

表-2に示す通り、対象とする課題の数が多い拡張性とテスト容易性のうち、まず拡張性に着目し、ICT土工の出来形検査を対象（表-4）にプロトタイプを開発し、図-2に示すシステムアーキテクチャの実現可能性を確認する。また、プロトタイプはWebアプリケーションとして実装し、Webブラウザのみで必要な機能へアクセス可能とした。なお、クラウドシステムはAWS<sup>9)</sup>を活用した。

出来形検査を実施するためには、まず現場から点群データを収集する必要がある。このため、施工情報収集サービスとして、Leica RTC360<sup>10)</sup>を選定し、点群情報を自動的にクラウドストレージへアップロード可能なAPIを開発した（表-5）。次に、検査に必要な機能を実装するため、ここでは解析・処理サービスとして表-5に示す機能を実装した。機能のコンポーネント化はDocker<sup>11)</sup>を用い、APIはRestful APIとして実装した。

図-3にプロトタイプของผู้ーザーインターフェースを示す。この図の通り切盛土工を対象とした出来形管理システムを実装でき、受注者側では「点群情報を解析処理し出来形確認に必要なヒートマップを生成」「ワークフローを通じて発注者に検査依頼」、発注者側では「検査受付」「施工誤差の要求水準に対する確認」といった出来形管理に必要な機能が実行可能であることを確認した。

表-4 プロトタイプ開発時に対象とした範囲

項目	対象の内容
システム特性	拡張性
工種	ICT土工事（掘削工，盛土工）
検査項目	点群測量を活用した出来形管理

表-5 コンポーネントとして実装した機能

レイヤー名	機能名
解析・処理サービス	大規模点群データの可視化
	設計モデルの可視化・検査項目別の分類
	土工事の出来形確認用の点群処理
	出来形情報の可視化 ワークフロー
施工情報収集サービス	点群測量（測器名：RTC360）



図3 プロトタイプของผู้ーザーインターフェース

#### 4. データ・システム連携基盤の有効性の検証方法

有効性の検証は考慮したシステム特性とユースケースに対し、対象範囲を設定したうえで、検証項目を具体的に設定する必要がある。プロトタイプの開発で対象とした拡張性に対する有効性の検証方法について検討する。なお、拡張性はコンポーネントを用途に応じて追加、交換可能とする特性であるため、検証においてはプロトタイプで対象としたコンポーネント以外のものが利用可能か確認する必要がある。

対象範囲の設定は、解析・処理、施工情報収集サービス層の各々に対し必要だが、ここでは、後者に対する対象範囲を検討する。また、出来形管理をユースケースとした場合、対象範囲を規定する項目はメーカー、計測機器、計測方法が挙げられる。表-6にプロトタイプでの対象と、各項目に対して想定される他のコンポーネントをまとめる。さらに、表-7に各項目に対する検証内容をまとめる。

例えば計測機器は、様々なデバイスが提案されている(表-6)。また、計測した出来形情報の精度は発注者の要求水準を満たす必要があり、これに必要な精度確認が各デバイス毎に求められている<sup>12)</sup>。このため、異なるデバイスが接続された際には、デバイスの精度が担保されているか確認する必要がある(表-7)。

表-6 対象範囲を規定する項目とその具体例

項目	プロトタイプでの対象	想定される他のコンポーネント
メーカー	Leica	他社の点群測量機
計測機器	地上型レーザスキャナ	空中写真測量、地上移動体搭載型レーザスキャナ
計測方法	点群情報	Total Station, 重機の刃先

表-7 検証内容

項目	検証内容
メーカーが異なる場合	異なるファイルフォーマットに対応可能か
計測機器が異なる場合	異なるデバイスの精度検証方法に対応可能か
計測方法が異なる場合	異なるデータの識別が可能か

#### 5. 結論と今後の取り組み

本研究では、データ・システム連携基盤を組み込んだ施工管理システムのユースケースとして切盛土工事の出来形管理を対象にシステムアーキテクチャを検討し、そのプロトタイプシステムを開発するとともに、データ・システム連携基盤の有効性を検証する方法を提示した。

本研究では拡張性のみ考慮したが、表-3に示した他のシステム特性についても検討し、データ・システム連携基盤としての実装を進めることが求められる。また、考慮した各システム特性について、その有効性を検証する必要がある。

さらにシステムアーキテクチャの検討についても、表-1に示した建設施工管理の特徴について、切盛土工以外の工種に対しても具体的な検討が必要である。トレードオフとなるシステム特性への対応方法や実装時の技術選定などにあたっては情報系の専門家との十分な議論も必要となる。

#### 参考文献

- 1) 矢吹信喜:CIM入門, pp.90-93, 理工図書, 2016.
- 2) 佐々木隆仁:APIエコノミー, 日経BP社, 2018.
- 3) Autodesk:<https://www.autodesk.com/>
- 4) Autodesk forge:<https://forge.autodesk.com/>
- 5) 小澤一雅:設立経緯と趣旨, 「i-Construction システム学」寄付講座 協調領域検討会 設立記念シンポジウム, 2022.
- 6) 萩谷昌己:情報システム, p41, 丸善出版, 2016.
- 7) Mark Ricahrds, Neal Ford:ソフトウェアアーキテクチャの基礎, pp.60-62, オライリージャパン, 2022.
- 8) 国土交通省:3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案), pp40(2)-pp43(2), 2022.
- 9) Amazon Web Services: <https://aws.amazon.com/jp/>
- 10) Leica RTC360: <https://leica-geosystems.com/ja-jp/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360>
- 11) Docker: <https://www.docker.com/>
- 12) 国土交通省:空中写真測量(無人航空機を用いた出来形管理)の監督・検査要領, 2022年3月.

(2022.5.20 受付)

## DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION MANAGEMENT SYSTEM FOR EARTHWORK CONSIDERING DATA & SYSTEM COLLABORATIVE PLATFORM AT CONSTRUCTION STAGE

Fumiya MATSUSHITA and Kazumasa OZAWA

In this research, as a use case of a construction management system that incorporates the data & system collaborative platform, a system architecture for the as-build control system of earthwork are discussed. In addition, developing the prototype and the method of verification test is proposed.

# データ・システム連携基盤を活用した 施工管理システムの開発と協調領域への展開

山中 孝文<sup>1</sup>・湯淺 知英<sup>2</sup>・小澤 一雅<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社大林組 土木本部生産技術本部 先端技術企画部 (〒108-8502 東京都港区港南2-15-2)  
E-mail:yamanaka.takafumi@obayashi.co.jp

<sup>2</sup>正会員 株式会社大林組 土木本部生産技術本部 先端技術企画部 (〒108-8502 東京都港区港南2-15-2)  
E-mail:yuasa.tomohide@obayashi.co.jp

<sup>3</sup>フェロー会員 東京大学大学院特任教授 工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)  
E-mail: ozawa@i-con.t.u-tokyo.ac.jp

データ取得層、連携基盤層、アプリケーション層の3層で構成される「データ・システム連携基盤を活用した施工管理システム」を開発している。施工管理で扱われる各種データを集約・統合管理し、複数のアプリケーションで横断的に利用することにより、働き方改革に有効な手段となり得る。施工フェーズにおいては、各社共通の課題があると考えられるため、将来的に協調領域として検討する必要があるものについても論じた。

**Key Words :** CPS, Digital Twin, i-Construction, Unity, Cooperative Area

## 1. はじめに

建設業では、2025年までに生産性を2割向上させるi-Constructionの推進や、2024年に適用される改正労働基準法による時間外労働の上限規制などに対応するため、働き方改革が進められている。そのためには、建設生産プロセスを変革することが重要になる。筆者らは、CPS (Cyber Physical System) と呼ばれる実空間と仮想空間を相互に関連させ、リアルタイムに現場状況を把握・分析するシステムを建設現場で実現することが有効な手段と考えている。

CPSを活用した施工管理を行うには、建設現場で取り扱う多様なデータの集約および統合管理、それらのデータを横断的に利用して施工管理に役立てられるアプリケーション (以下、アプリと省略) の開発が求められる。しかし、一般的にアプリとそのデータは、それぞれ個別に直結し、統合的に管理されていない。そのため、データを横断的に扱うアプリの開発が進まない上に、開発効率の飛躍的な向上を実現することは難しい現状にある。例えば、「BIM/CIMモデルや点群データの3D描写アプリ」と「人や建設機械の位置管理アプリ」はそれぞれで完結しているが、「人や建設機械の位置をBIM/CIMモデルを含む3D空間で描写・管理する」ということは簡単

に実行できない。また、実行するためには、大量のデータを処理し、データ間の連携を構築する必要があり、個別のアプリで対応するには、負担が大きい割に得られる効果が限定的という課題がある。

本稿は、前述の課題を解決するために、筆者らが開発している「データ・システム連携基盤」を活用した施工管理システム (以下、CPS施工管理システムと省略)、また協調領域への展開に向けて検討している内容について報告する。

## 2. CPS施工管理システムの全体図

CPS施工管理システムは、図-1の通り、3つの役割を持つ層で構成される。各層の特長と機能を下記に示す。

### (1) データ取得層

本設構造物や仮設構造物 (足場、支保工など) のBIM/CIMモデルといった「設計情報」、建設現場周辺の点群データや地形、建物といった「環境情報」、GNSSや屋内位置測位による人や建設機械の位置・動線情報といった「作業員・重機情報」を取得する。

なお、データは静的なものから動的なものまで、鮮度はさまざま、動画のような大容量ファイルからテキスト





図-1 CPS 施工管理システム全体図

トファイルに至るまで多種多様である。

## (2) 連携基盤層

データ取得層で収集したデータをクラウドに集約して保管するとともに、Webフロントエンドを通じてデータやアカウントの管理、セキュリティ対策などを行う。また、データ取得層やアプリケーション層とは主にAPI (Application Programming Interface) によるデータ連携を行う。ここでは、これらの機能を有する基盤のことを「データ・システム連携基盤」とする。

## (3) アプリケーション層

データ・システム連携基盤と連携する各種アプリである。連携基盤層に収集したデータを共通データとして各アプリで利用できる。また、連携基盤層を介することで、アプリ間でもデータの相互利用が可能になる。

## 3. 連携基盤層の開発

連携基盤層を設ける効果の一例として、アプリ開発者はデータの取得や処理方法に関する負担が減り、アプリ開発自体にリソースを集中できるほか、扱うデータの分散や重複を避けつつ多数のアプリを迅速に開発・実装できる点があげられる。

また、これらの機能をクラウドコンピューティング (以下、クラウドと省略) 上で展開することにより、利用者の増加やシステム拡張にも柔軟に対応できる。今回は国内シェアが最も多いAWS (Amazon Web Services) を採用した。

連携基盤層の構成要素について、下記に示す。

### (1) AWS環境

データ保存機能として、プロジェクトやアカウントなどの管理データ、点群データや作業員・重機データを格納するストレージをもつ。また、利用する会社ごとにテナントを分けることで、他社のデータにアクセスできない仕様とした。

運用機能としてサービス正常性の監視、不正アクセス防止、通信暗号化 (HTTPS)、保存データ暗号化、アカウントに対する認証・認可機能 (ワンタイムパスワードによる多要素認証を含む)、操作ログやアクセスログなどの監査ログ取得を有する。また、運用サービスとして脆弱性対応、障害対応、計画メンテナンスを提供する。

### (2) Webフロントエンド

Webブラウザからアクセスし、ユーザーが直接操作する部分である。プロジェクトやユーザーアカウント、権限、点群データや作業員・重機データなどの登録や管理といった機能をもつ。ユーザーの権限によって、アクセス可能な作業を設定できる。

## 4. アプリケーション層の開発

アプリ開発はユーザーの課題解決に直結するため、重要な部分である。本開発の対象は、設計から維持管理までのうち、施工フェーズとする。ユーザーは、施工管理を行う元請職員や協力会社職長とする。

現在搭載しているアプリ、実施中のニーズ探索について、下記に示す。

### (1) 3Dビューワ

Unity Technologiesの「Unity Reflect」をベースに開発した。それにより、BIM/CIMモデルや点群データ、作業員や重機の動線データなど形式の異なる3次元データを簡単に統合表示・管理でき、大容量かつ広域なデータでも軽快に操作できるようになった (図-2)。

また、BIM/CIMモデルの属性情報については、Unity Reflectに取り込む際、Unityが配布しているAutodeskのRevitやNavisworks用のプラグインを使用するため、保持可能である。

### (2) 位置情報可視化

位置情報の代表的な取得方法にGNSS (全球測位衛星システム) がある。しかし、地下や橋梁路下など頭上

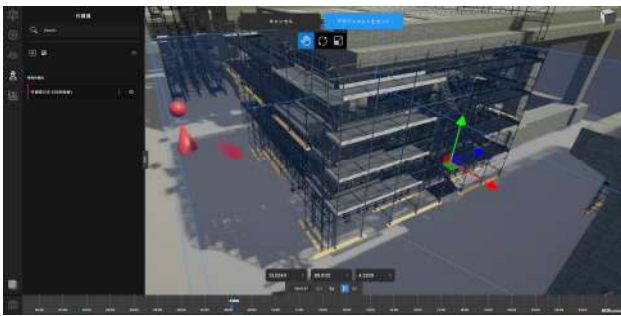


図-2 3Dビューワでの表示

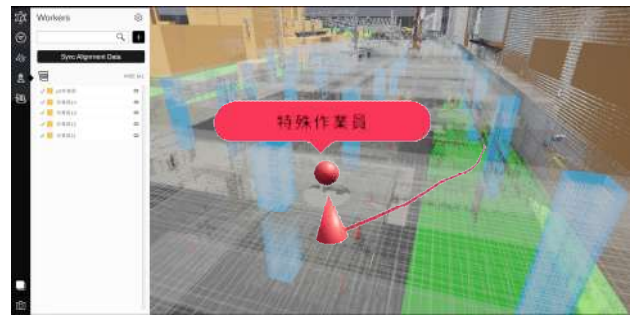


図-3 作業員の動線データ可視化

覆われた空間ではGNSSの信号受信が困難なため、屋内で位置情報を取得する技術が必要になる。屋内測位技術は複数あるが、現場内に複数の送受信機や通信設備の設置、日々変わる現場の状況に応じた機材の再設置、機材の価格や維持費、取得する位置情報の精度などの観点で課題が多い。筆者らは、カメラ画像から自己位置を推定する技術であるVisual SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)技術に着目した。市販の小型単眼カメラをヘルメットに装着し、その映像から自己位置を推定した座標を取得することで、3Dビューワ上に動線データとして表示させた(図-3)。

(3) ニーズの探索

大林組にて、現場職員300名程度にアンケート調査を実施し、現場業務の中で、特に改善要望が高い業務群を6種類選定した。表-1に、6種類の業務群とアプリ開発を行う際に必要なデータの一例を示す。アプリ開発は、各社のニーズに基づいて行うため、技術を競い合う競争領域が主である。しかし、表-1に示す業務群とその発端となる課題は、各社共通な部分もあるため、アプリ開発は各社が連携しあう協調領域として実施可能だと考える。

表-1 現場業務のうち、改善要望が高い業務群

	改善要望が高い業務群	必要なデータ(例)
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・工事進捗率および原価の把握</li> <li>・協力会社の日報管理や整理</li> <li>・工程表の作成</li> <li>・工数整理表の集計</li> </ul>	設計情報 環境情報 作業員情報
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・資機材注文、在庫管理</li> <li>・材料納入伝票の整理</li> </ul>	設計情報 材料情報
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>・施工計画書の作成</li> <li>・足場や山留、型枠支保工などの仮設計画</li> <li>・施工図面の作成</li> </ul>	設計情報 環境情報 地質情報
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>・工事写真の撮影や整理</li> <li>・発注者立合いの対応</li> <li>・各種パトロール時の資料作成</li> </ul>	環境情報 作業員情報 重機情報
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンクリート打設計画書の作成</li> <li>・生コンの現場受け入れ試験</li> <li>・生コンの単位水量試験</li> </ul>	設計情報 環境情報 材料情報
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>・作業手順書のチェック</li> <li>・安全看板や掲示物の作成、更新</li> <li>・重機や工器具、仮設物の日常点検簿</li> </ul>	設計情報 環境情報 作業員情報 重機情報

全体がデータ・システム連携基盤を共通の「道具」として利用し、各社の開発リソースがアプリ層の開発・活用フェーズに集中できる環境を早期に実現することが重要である。一方で、各社がデータ・システム連携基盤を独自開発した場合には、データ取得層やアプリ層との連携は、各社で異なる仕様を作成し、開発・保守をする必要があるため、建設業界や開発ベンダー全体で考えると非効率である。

協調領域とするにあたり、複数社での利用を想定すると、3章(1)に示した機能が重要になる。ただし、各社の社内環境での利用やセキュリティなどはそれぞれのルールが存在するため、現状を把握し、対策を検討することが必要になる。

なお、データ・システム連携基盤の運営管理者が特定のゼネコンでは、公平性や汎用性が確保できない上に、保守の能力、体制確保が不十分になる懸念があるため、

5. 協調領域に向けた検討

各社共通の課題に対する解決策になり得るものについては、開発競争やシステム乱立、建設業界内での重複投資を抑制することが、建設生産プロセスのイノベーション実現には必要だと考えている。

そのため、各社で連携しあう協調領域としての可能性を検討しているものについて、下記に示す。

(1) データ・システム連携基盤

データ・システム連携基盤の大部分は、各社共通の機能が実装された協調領域になると考えている。データ・システム連携基盤と連携したアプリが実装されて、現場で運用されることにより、はじめて生産性向上に資する業務改善や働き方改革が実現できる。つまり、建設業界

第三者的立場のSIerに運営全般を委託するといった検討が今後必要である。

## (2) 建設アプリ開発のエコシステム

前述の通り、建設業界の「働き方改革」と「生産性向上」のためには、有用なアプリが開発され、現場で運用されることが重要である。建設会社が本来考えるべきことは、アプリ開発で解決する現状の課題だけではなく、建設生産プロセス自体を改めて考え直してイノベーションを起こすことである。同時に、建設系アプリについて、開発ベンダーが市場の中で自発的に開発を進める状態、言い換えれば、「建設アプリ開発のエコシステム」を創出することが必要である。

現状、エコシステムが成熟していない原因は、MVP (Minimum Viable Product : ユーザーに価値を提供できる最小限のプロダクト) 作成までに時間を要すること、またマーケットへのチャネルが解放されておらずユーザーテスト (プロダクトをユーザーが使ってくれるか見極めるテスト) を実施しづらい環境であることなどと考える。

これらの課題を解決するには、データ・システム連携基盤を協調領域としてアプリ開発を行える環境を作ることのほかに、アプリ開発のエコシステムを支える新たな組織も考える必要がある。現状は、建設会社が主体となり、社内R/D (研究開発) 予算に頼ったアプリ開発が中心となっている。それを、建設会社内のニーズ調査や現況分析をもとに、開発ベンダーが主体となってVC (Venture Capital) を含む投資家からの資金調達をもとにアプリ開発を行い、その収益を原資に更なるR/Dを行うという開発サイクルが回る市場を実現すべきと考える。

海外の事例をあげると、フランスの大手VINCI (ヴァンシ) の「LEONARD」と呼ばれるコワーキングスペース、スウェーデンの大手SKANSKAの「DigiHub」というイノベーションハブを設立している。これらはいずれも、技術開発だけでなく、物理的に拠点組織を設置し、エコシステムを創出する取り組みと考えられる。

なお、海外事例は1社、あるいは1つのグループ会社を中心であるが、協調領域を目指す場合には、複数の企業

が集える組織として構築する必要があると考える。

## 6. おわりに

CPS施工管理システムについては、今後、各種データ同士の紐づけ、空間的な統合 (座標系の整備など)、時間的な統合 (時系列情報の付与) が必要になる。例えば、現状はBIM/CIMモデルが3次元情報しか持っていない状態のため、時系列をもつデータと連携するには時系列情報を付与して4次元情報に拡張する必要がある。

また、協調領域に向けた取り組みについては、東京大学大学院工学系研究科「i-Constructionシステム学」寄付講座のほか、日建連の協調領域活動などを通じて、CPS施工管理システムの有用性検証や協調領域のあり方を検討するとともに、発注者・受注者、土木・建築・ロボティクス、他業界などから幅広く意見をいただき、建設業界全体の大幅な生産性向上の早期実現に寄与していきたいと考えている。

なお、この研究は、東京大学大学院工学系研究科「i-Constructionシステム学」寄付講座のもと、東京大学と大林組の共同研究により実施した成果である。

## 参考文献

- 1) 湯浅知英, 小澤一雅 : 土木躯体工事における CPS を活用した施工管理システムの開発, 第 2 回「i-Construction の推進に関するシンポジウム」, 2020
- 2) 湯浅知英, 小澤一雅 : CPS を活用した施工管理のためのオープンプラットフォームの構築, 第 3 回「i-Construction の推進に関するシンポジウム」, 2021
- 3) 元村重紀, 湯浅知英, 小澤一雅: CPS を活用した施工管理のためのオープンプラットフォームの実装, 土木施工 1 月号 (VOL. 63 No. 1), pp82-85, 2022
- 4) 小澤一雅 : 「i-Construction システム学」, 技報堂出版, 2021
- 5) LEONARD: <https://leonard.vinci.com/en/we-are-leonard-en/>
- 6) Autodesk (Redshift) : Construction Giant Skanska Sweden Has Big Plans to Go Completely Digital by 2023,

(2022.5.20 受付)

## CONSTRUCTION MANAGEMENT SYSTEM UTILIZING “DATA AND SYSTEM LINKAGE PLATFORM” AND DEPLOYMENT TO COOPERATIVE AREA

Takafumi YAMANAKA, Tomohide YUASA and Kazumasa OZAWA

Construction management system utilizing “Data and System Linkage Platform” consists of 3 layers: data acquisition layer, linkage platform layer, application layer. By managing of various data and using between applications of construction management, it will be a useful tools for work style reform. In the construction phase, we also mention a system that is considered as a cooperative area.

# AIやIoT技術を活用した山岳トンネル工事の 現場管理システムの開発

瀨 善孝<sup>1</sup>・林 浩一郎<sup>2</sup>・佐藤 博晃<sup>3</sup>・梶谷 和志<sup>4</sup>  
・丸田 哲郎<sup>5</sup>・岩角 仁夫<sup>6</sup>・門田 和之<sup>7</sup>

<sup>1</sup>正会員 西松建設株式会社 技術研究所 (〒105-0001 東京都港区虎ノ門2-2-1)  
E-mail:yoshitaka\_mitsui@nishimatsu.co.jp

<sup>2</sup>株式会社sMedio (〒104-0033 東京都中央区新川2-3-1)

<sup>3</sup>MODE, Inc. (〒103-0006 東京都中央区日本橋富沢町9-4)

<sup>4</sup>菅機械工業株式会社 (〒101-0042 東京都千代田区神田東松下町12)

<sup>5</sup>泰興物産株式会社 (〒190-0022 東京都立川市錦町6-18-1)

<sup>6</sup>西松建設株式会社 西日本支社 越前下山出張所 (〒912-0205 福井県大野市朝日35-7-18)

<sup>7</sup>近畿地方整備局 福井河川国道事務所 大野監督官詰所 (〒912-0085 福井県大野市新庄13-8-3)

近年では人口減少に伴う働き手不足や技術伝承の難化をはじめとした労働に関する課題が増えてきており、山岳トンネル工事では切羽作業を主な対象として技術開発が行われている。一方、現場管理業務には目視確認や手動で行われている作業が多く、生産性向上の余地があると考えられる。そのため、AIやIoT技術を用いてトンネル現場の管理業務を無人化するための『AIトンネル現場管理システム』を開発し、施工現場で試行した。その結果、各要素技術の成果や課題を見出すことができた。今後は、本システムの継続的な改良を行うとともに、AIやIoT技術を重機の自動制御にも活用することで、山岳トンネルの自動化・無人化施工に関する開発も進めていく。

**Key Words :** AI, Excavation Cycle, Ventilation Equipment, Water Pump, Productivity Improvement

## 1. はじめに

近年では人口減少に伴う働き手不足や技術伝承の難化をはじめとした労働に関する課題が増えてきており、山岳トンネル工事においては切羽作業を主な対象として労働生産性を向上させるための技術開発が行われている<sup>1)</sup>。しかし、切羽作業に直結しない現場管理業務には目視確認や手動で行われている作業が多く、労働生産性に関して以下の課題がある。

### (1) 掘削サイクルの把握・改善

穿孔・装薬、発破、ずり搬出等の日々の一連の作業進捗(掘削サイクル)を把握して施工上の課題の抽出や改善を行い、作業に要する時間を短縮することで労働生産性の向上が見込まれるが、施工状況を常に記録するために人員を確保することは困難である。

### (2) 換気設備の風量の調節

送風機や集じん機の換気風量は粉じん発生量に応じて

調節されることが理想的であるが、切羽作業中の細やかな調節は困難であるため、粉じん発生量が少ない時間帯も含めて常に大風量に設定され続ける事例が見られる。粉じんの除去と使用電力量の抑制を両立させるために、換気設備の稼働の最適化が求められる。

### (3) 水中ポンプの管理

湧水を排出するための水中ポンプが故障等の理由で停止して水槽が氾濫することにより、坑内冠水に伴う作業効率の低下や近隣の濁水の流出等が懸念されるため、一般に水中ポンプの稼働状況は巡視により確認されている。働き方改革のためには、稼働状況の無人管理が求められる。

以上の背景より、AIやIoT技術を用いて現場管理業務を無人化するための『AIトンネル現場管理システム』を開発した。本論文では、システムの概要や施工現場での試行結果について述べる。

## 2. システムの概要

『AIトンネル現場管理システム』は、AIやIoT技術を活用した以下の要素技術により構成されており、これまでに人手を要していた作業の無人化を目的としている(図-1)。

### (1) AI切羽作業自動判定システム

本システムは切羽近傍の映像を基に切羽作業の工種をAIで判定するものであり、昼夜問わず連続的かつ自動的に施工状況を記録することが可能である<sup>3)</sup>。集積された工種や映像のデータから日々の施工状況を把握して、掘削サイクルの分析や課題の抽出を行うことにより、作業の効率化を図ることが可能である。

切羽近傍のネットワークカメラで取得された映像は坑内ネットワークを通じて工種判定用PCまで送信され、映像中の重機の種類や動きを基にして、事前に登録された工種の中から最も可能性(尤度)の高いものがリアルタイムに出力される。工種の判定結果はモニタ(図-2)や電子掲示板に表示されるとともに、エネルギーマネジメントシステムによる換気設備の風量の制御に用いられる。

### (2) エネルギーマネジメントシステム(N-TEMS)

本システムは送風機や集じん機の風量を自動制御する

ものであり、必要な換気風量を確保しながら換気設備の過度な出力を防ぐことにより、使用電力量の削減を図ることが可能である<sup>4)</sup>。

送風機や集じん機には制御盤が設置されており、各分電盤や一号柱の電力量計で計測された各設備や施工現場全体の使用電力量、集じん機の筒先の粉塵計で計測された粉じん濃度、AIで判定された工種が自動的に集積される。これらのデータを基に、制御フローに従って、換気風量が小、中、大の3段階で自動的に調節される。また、制御盤にはタッチパネルやボタンが設けられており、換気設備の制御状況の確認や、手動による換気が可能である(図-3)。

### (3) 坑内設備監視システム(Newt)

本システムでは、水中ポンプ等の坑内設備の稼働状況をIoT電力センサで常時監視することによって、無人管理を行うことが可能である<sup>5)</sup>。設備の稼働状況確認のための巡視が削減されるとともに、設備の停止時には迅速な復旧対応が可能となる。

監視対象である設備の分電盤や制御盤には、カレントトランスや無線装置が一体となった無給電・無線電力センサが設置される(図-4)。設備の稼働時には電線周囲に発生する漏れ磁束を利用して発電が行われ、発生させた電気を利用して設備の電流値や電圧等のデータが無線送信される。一方、設備の停止時には発電が行われない



図-1 『AIトンネル現場管理システム』の概要



図-2 モニタに表示されるリアルタイム映像と工種判定結果の例



図-3 集じん機に設置された制御盤のタッチパネル



図-4 無給電・無線電力センサ

ため、データの取得や送信が途切れる。一定時間を超えてデータ送信が確認されなかった場合やデータ送信が復旧した場合には、通知メールが関係者に送信される。

(1)~(3)の各要素技術で得られたデータはクラウドへ集積され、ポータルサイトで閲覧することが可能である。サイトには各要素技術の代表的なデータが表示され、現場の状況をリアルタイムに確認することが可能である(図-5)。また、サイトから各要素技術のページへアクセスすることで、より詳細なデータを閲覧することも可能である。

### 3. 試行結果

当社施工中の山岳トンネル現場で本システムを適用し、以下の結果が得られた。

#### (1) AIによる切羽作業の工種判定

事前に取得した映像を用いて、「穿孔・装薬」、「発

破」、「ずり搬出」、「吹付け」、「ロックボルト」の5種類の工種の中から判定結果を出力するAIを構築し、運用した。切羽作業中にAIで判定された工種の結果と実際の作業内容の比較を表-1に示す。表中の対角成分はAIの判定結果が正解であった時間、非対角成分は不正解であった時間である。正解が全体を占める割合(正解率)が約98%であることから、AIが工種を高精度に判定できており、掘削サイクルの分析に用いるのに十分な精度であることがわかる。ただし、重機の入れ替えや休工等の時間帯においても、事前に登録した工種の中から判定結果が出力されるため、今後は切羽作業以外の判定も可能なAIを構築することが課題であると考えられる。

#### (2) 換気設備の制御

エネルギーマネジメントシステムの導入前後の1週間の使用電力量の比較を表-2に示す。システムの導入前には送風機や集じん機が大風量で稼働し続けていたのに対し、導入後には風量が最適に調節されたことで換気設備の使用電力量が約40%削減され、施工現場全体の使用電力量が約10%削減された。



図-5 ポータルサイト

表-1 AIの工種判定結果と実際の作業内容の比較(表中の単位は秒)

	AIの工種判定結果					
	穿孔・装薬	発破	ずり搬出	吹付け	ロックボルト	
実際の作業内容	穿孔・装薬	59,501	0	452	0	310
	発破	0	3,933	496	0	0
	ずり搬出	0	30	40,917	0	0
	吹付け	0	0	1,393	104,091	0
	ロックボルト	2,146	0	73	31	17,188

正解率: 97.9%  
(正解 225,630 ÷ 合計230,561)

表-2 換気設備の自動制御による1週間の使用電力量の削減効果

設備	使用電力量(kWh)	
	導入前	導入後
送風機	10,149	4,677
集じん機	3,719	2,659
換気設備 合計(A)	13,868	7,336
換気設備以外(B)	116,702	110,057
施工現場全体(A+B)	130,569	117,393

-47.1%

-10.1%

### (3) 水中ポンプの監視

坑内外の主要な4箇所の水槽に配置されている11台の水中ポンプを対象に、IoT電力センサを用いて稼働状況を監視した。ポンプの停止や復旧の状況を通知メールで確認することができ(図-6)、水槽の氾濫は起こらなかった。

今回の試行現場では、1箇所の水槽に複数の水中ポンプが配置されており、水槽内の水位に応じて各ポンプが間欠式で稼働していた。そのため、ポンプの停止時に通知メールが送信された際には、ポンプの故障と間欠運転のどちらが原因かを職員が判断した上で対処する必要があった。今回はポンプ単位で稼働状況を監視していたが、今後は水槽単位で稼働状況を確認可能にすることが課題である。



図-6 通知メールの例

## 4. おわりに

AIやIoT技術を用いて山岳トンネルの現場管理業務を無人化するための『AIトンネル現場管理システム』を開発して、施工現場へ適用した。今後は本システムを他現場にも導入し、実適用を通してシステムの継続的な改良を行う。また、AIやIoT技術を重機の自動制御にも積極的に活用していくことにより、山岳トンネルの自動化・無人化施工に関する開発も進めていく。

**謝辞：**本試行は国土交通省の令和3年度「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」の一環として「大野油坂道路荒島第2トンネル下山区工事」施工現場で行ったものであり、「官民研究開発投資拡大プログラム」の予算を活用しました。また、監督員、現場の皆様、協力業者をはじめとした多くの方々にご協力を賜りました。御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 三井善孝, 山本悟, 塚田純一, 小林雅彦: 山岳トンネルにおける「移動式発破防護バルーン」の開発と適用, 第28回トンネル工学研究発表会, 報告I-05, 2018.
- 2) 山本悟, 三井善孝, 高橋将史: 切羽掘削形状モニタリングシステムの開発, 第74回土木学会年次学術講演会, VI-281, 2019.
- 3) 三井善孝, 山本悟, 園田香織: 山岳トンネルにおける掘削サイクル判定システムの開発, 第74回土木学会年次学術講演会, VI-744, 2019.
- 4) 山本悟, 鍛崎広和, 桑原陽平: 山岳トンネル工事におけるエネルギーマネジメントシステムの開発, 西松建設技報, Vol.42, No.15, 2019.
- 5) 山本悟, 丸田哲郎: 水中ポンプ監視システムの開発, 第76回土木学会年次学術講演会, VI-900, 2021.

(2022.?.? 受付)

## DEVELOPMENT OF MANAGEMENT SYSTEM FOR MOUNTAIN TUNNEL CONSTRUCTION SITE USING AI AND IoT TECHNOLOGIES

Yoshitaka KOKETSU, Koichiro HAYASHI, Hiroaki SATO, Kazushi KAJIYA, Tetsuro MARUTA, Yoshio IWASUMI and Kazuyuki MONTA

In recent years, technology development is being carried out mainly for face work in mountain tunnels to solve labor-related issues such as labor shortage and difficulty in technology transfer due to declining population. On the other hand, it is assumed that labor productivity of site management work should be improved because there is still a lot of work that is visually confirmed and manually performed. In this study, "AI Tunnel Construction Site Management System" using AI and IoT technologies was developed to automate the management work in the tunnel construction site, and several results and issues of each elemental technology were obtained in the field application. Authors will continue to improve this system and utilize AI and IoT technologies for the automatic control of heavy machinery to promote the development of automated and unmanned construction of mountain tunnels.

# 建設機械搭載型レーザスキャナによる 出来形管理システムの開発

加藤 康弘<sup>1</sup>・今井 龍一<sup>2</sup>・平 謙二<sup>3</sup>・中村 健二<sup>4</sup>・塚田 義典<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 前田道路株式会社（〒300-4111 茨城県土浦市大畑 208）

E-mail: yasuihiro\_katou@maedaroad.co.jp

<sup>2</sup>正会員 法政大学教授 デザイン工学部（〒162-0843 新宿区市谷田町二丁目 33）

E-mail: ryuichi.imai.73@hosei.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 三菱電機エンジニアリング株式会社（〒247-0065 神奈川県鎌倉市上町屋 228）

E-mail: taira.kenji@ma.mec.co.jp

<sup>4</sup>正会員 大阪経済大学教授 情報社会学部（〒533-8533 大阪市東淀川区大隅二丁目 2-8）

E-mail: k-nakamu@osaka-ue.ac.jp

<sup>5</sup>正会員 摂南大学准教授 経営学部（〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8）

E-mail: yoshinori.tsukada@kjo.setsunan.ac.jp

ICT舗装工では起工測量や表層の面管理にレーザスキャナ等が用いられているが、表層以外の中間工程では費用対効果等の観点からレーザスキャナを用いた面管理が行われていない。そこで面管理の効率化を目的に、舗装用建設機械に搭載して計測できるレーザスキャナ、取得した3次元データをリアルタイムに処理できるソフトウェア、およびクラウドによる情報共有が行えるシステムの開発に取り組んだ。

試作機による検証および現場試験を重ね、路床から表層までの全ての路面に対して面管理が可能な建設機械搭載型出来形管理システムを開発した。

**Key Words :** kinematic laser scanner, 3D measurement system, 3D data acquisition, point cloud processing software, construction management

## 1. はじめに

舗装は材料を変えながら何層も積み重ねて構築する道路構造物であり、層毎に出来形管理などの施工管理を行い必要に応じて発注者の現地臨場が行われる。国土交通省のICT舗装工の面管理による出来形管理では高性能・高価な地上設置型のレーザスキャナ（以下、LS）や地上移動体搭載型LSが用いられているが、これらによる計測や解析には時間や費用がかかるため路盤工などの中間工程では積極的に実施されていない。次工程に速やかに移行したい中間工程の面管理は従来の出来形管理と同程度の所要時間で行え、その結果はインターネットで発注者と共有して遠隔臨場ができれば、舗装工の生産性や品質管理の劇的な向上が期待できる。

筆者らは舗装工の各層の仕上げ作業に用いる建設機械にLSを搭載して面管理による出来形判定をリアルタイムに行えるシステム（以下、本技術）の開発に2017年か

ら取り組んでいる<sup>1)2)</sup>。本報は、本技術の開発過程について報告するものである。

## 2. 本技術の開発プロセスおよび仕様の検討

本技術の開発プロセスを図-1に示す。

計測装置は以下の性能・仕様を有することを目標とし、機器の構成を検討した。この仕様は、当時（2017年度）に規定された要領<sup>3)</sup>を踏まえて設定した。

- ・舗装工の路床工と路盤工の出来形計測が対象



図-1 本技術の開発プロセス



- ・測定範囲内の鉛直方向の計測精度は±10mm以内
- ・建設機械に搭載して計測可能な計測装置
- ・高価な装置を使用しない機器構成

### 3. 実現性の検討

#### (1) 試作機の構成および計測方法

設定した仕様を満たす計測装置を検討し、表-1に示す小型LSを試作した。試作機に内蔵したGNSSおよびIMUで自己位置および自己姿勢を計測するとともに、試作機を自動追尾式トータルステーション（以下、TS）で測位することで仕様で定めた計測精度の確保を図った。

ラインスキャン方式である試作機を走行方向に対して横断形状を計測するよう配向し、建設機械の後方に取付け高さ1.2mで固定した。計測速度は要領<sup>3)</sup>の点群密度を満足するよう2.5km/hを標準とした。

#### (2) 計測結果および考察

前田道路テクノセンター構内のアスファルト路面にて計測実験を実施した。計測状況を図-2に示す。

##### a) 試作機の計測範囲および点密度

ある地点における横断形状の測定結果（1ライン）を図-3に示す。図の縦軸の高さは相対高さである。図から試作機は横断方向（幅員）に4m以上の範囲で計測できていること、この範囲内では横断方向に4mm以内の間隔で点群が得られていることを確認した。

##### b) 鉛直方向の計測精度

ICT舗装工の面管理では、対象範囲を一定間隔のメッシュ状に区切り、メッシュ毎に3次元計測した点群の代表点（最頻値や平均値など）を求める。図-4は、この手

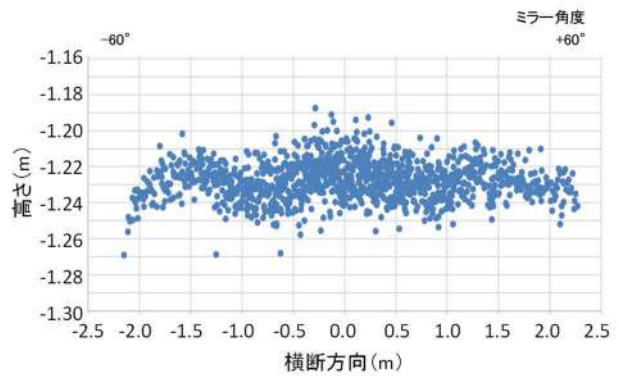


図-3 1ライン計測における横断形状の測定例

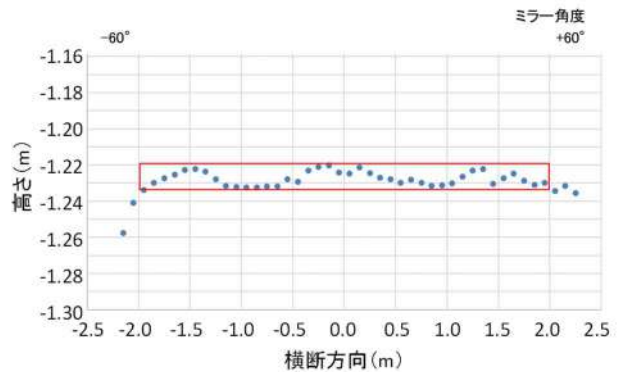


図-4 10cm間隔で点群データを処理した横断形状

法に準じて1測線を横断方向に10cm間隔で区切り、スパン毎に点群の高さの標準偏差を算出し、1σの範囲内にある点群を平均化する方法で点群処理したものである。

この結果から、計測範囲内では鉛直方向に12mm程度の範囲（±6mm程度）で点群が得られており、設定した仕様を満足することが分かった。

表-1 試作したLSの仕様

項目	仕様
測定範囲	横断方向：装置直下を中心とした4m 縦断方向：80m（TSの追尾性能による）
計測精度	鉛直方向：±10mm以下（1σ）
内蔵機能	汎用的なGNSSおよびIMU
寸法（mm）	W110×H121×D224



図-2 試作機による計測状況

### 4. 現場試験

本技術の実現性が確認できたため、データ解析作業の効率化や遠隔現場対応を含めたシステム全体の機能向上を図り、現場において試験を行った。実施した現場は、東北地方整備局福島河川国道事務所発注の「富沢地区舗装工事」と「掛田トンネル外舗装工事」である。

#### (1) 計測システムの構成および計測方法

試験で用いたシステムの構成は図-5に示すように、建設機械に搭載できるLS（以下、建機搭載型LS）、パソコン、TS、Wi-Fiシステム、クラウドシステムである。

舗装の中間工程では施工完了後速やかに次工程へ移行したいため、面管理であっても従来の出来形管理と同程度の所要時間で行えることが望ましい。そこで本技術は、出来形判定や遠隔との情報共有を計測後60分以内に行う

ことを目標とした。本技術の計測プロセスを以下に示す。

a) 3次元点群データの取得

路床や路盤の仕上げ作業で使用したタイヤローラに建機搭載型LSを搭載し、TSで建機搭載型LSを測位しながら機械を走行させ、3次元点群データを計測する。

b) 取得データを現場で点群処理して出来形判定

取得データをパソコンに送信し、専用ソフトにより座標変換やノイズ処理、密度調整等を行う。処理したデータと3次元設計データとの較差（単位面積における高低差）を示したヒートマップ（出来形分布図）を表示する。

c) 計測後60分以内にクラウド上で結果を確認

データをクラウドシステムにアップロードし、WEBブラウザにより判定結果を60分以内に遠隔地と共有する。

(2) 計測結果

路床工および路盤工の仕上げ後に、選定区間内を走行しながら各種データを計測し、計測結果を評価するとともに各プロセスの所要時間を計測した。

a) 3次元点群データの取得

計測状況を図-6に示す。路床面の計測範囲はL=71m、W=4mであり、これに要する計測時間は事前準備を除いて5分程度であった。取得した点群データ数は0.01m<sup>2</sup>あたり平均165点であり、要領<sup>3)</sup>で規定されている0.01m<sup>2</sup>あたり1点以上のデータが得られたことを確認した。

b) 取得データを現場で点群処理して出来形判定

現場において取得データを0.01m<sup>2</sup>あたり1点となるように点群処理を行った。所要時間は15分程度であった。

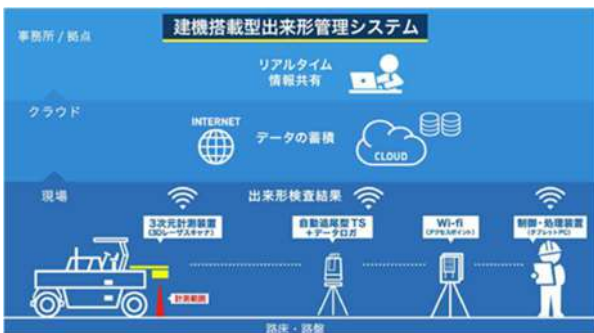


図5 建設機械搭載型出来形管理システムの構成



図6 路盤面の計測状況

点群処理したデータと3次元設計データとの標高較差のヒートマップを図-7に示す。点群処理後からヒートマップの表示までの所要時間は5分程度であった。

c) 計測後60分以内にクラウド上で結果を確認

出来形評価用データをクラウドシステムにアップロードし、WEBブラウザ上で可視化させた。データのアップロードから可視化までの所要時間は10分程度であった。

以上のことから、表-2に示すように、計測後からWEBブラウザで結果を確認できるまでの所要時間は30分であり、目標とする60分以内を満足した。

(3) 考察

a) 本技術の計測性能

本技術の計測性能について、要領<sup>3)</sup>で規定されている精度確認試験結果を整理したものが表-3である。ここで、検査面は鉛直方向の測定精度を、検証点は平面方向の測定精度をそれぞれ検証するものである。

この表から本技術は開発当初に設定した仕様および要領<sup>3)</sup>を満足する計測性能を有していることが分かる。

b) 出来形管理の効率化

本技術の現場導入の効果として、路床工4,320m<sup>2</sup>を対象に面管理を行った場合の、従来技術（地上型LS、移動体搭載型LS）と本技術との所要時間を比較したものが図-8である。

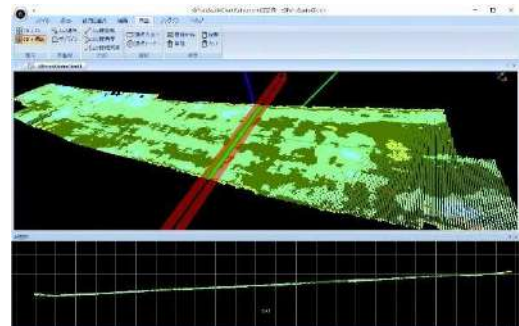


図-7 ヒートマップ表示

表-2 計測終了からデータ共有までの所要時間

項目	所要時間(分)
取得したデータの点群処理	15
処理したデータによる出来形判定	5
出来形判定をクラウド上で共有	10
合計（目標 60分以内）	30

表-3 本技術の精度確認試験結果（路盤表面）

対象	項目	判定基準	検査結果	可否
検査面	点密度	100点以上	100点	合格
	平均高さ	±10mm以下	-1.9mm	合格
（最大：3.3mm, 最小：-7.9mm, σ：6.0mm）				
検証点	距離誤差	20mm以下	12.8mm	合格

計測からデータ解析に要する時間が地上型LSでは約2日、移動体搭載型LSでは約1日であるのに対し、本技術は約5時間であった。このことから本技術は面管理の効率化を図ることができる技術であることが確認できた。

c) 遠隔臨場による効率化

本技術の現場導入の効果として、WEBブラウザを使った遠隔臨場について検討した。その結果、発注者は現場移動の時間が削減でき、受注者は現場臨場のための書類作成や検測作業員の配置が不要となることから、受発注者共に効率化が見込めることが分かった。

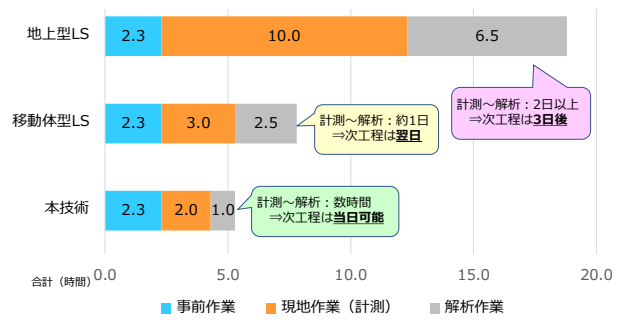


図-8 各計測技術による所要時間の比較

5. 現場試験を踏まえた機能向上 (表層対応)

当初設定した仕様を満足することが確認できたことから、本技術の更なる機能向上として、要領<sup>3)</sup>に示されたアスファルト舗装 (鉛直方向の計測精度が±4mm) に対応するために装置の計測性能の向上に取り組み、図-9に示すように別の現場で試験を行った。

その結果、本技術は路床から表層までの全ての路面に対して要領を満足する性能を有することを確認した。



図-9 アスファルト舗装面の計測状況

6. まとめ

建機搭載型LSによる出来形管理システムについて開発の過程や導入効果について報告を行った。

本技術はリアルタイムな出来形管理や遠隔臨場などICT舗装工の面管理の生産性向上を図る技術であり、汎用化に向けて複数の現場で試験を重ねる予定である。また、本技術で取得した舗装各層の3次元データは施工段階のCIMデータとして維持管理段階のCIMに活用することができる。このCIM活用方法については別途報告する。

プロジェクト」に2年連続 (2020年度, 2021年度) 採択され、実用化を図れた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 加藤康弘, 今井龍一, 平謙二: 土工・舗装工事の出来形管理のための建設機械搭載型計測装置の開発に関する取組み, 第 33 回日本道路会議, 日本道路協会, 2019.
- 2) 加藤康弘, 今井龍一, 平謙二, 中村健二, 塚田義典: 建設機械搭載型レーザスキャナによる遠隔臨場リアルタイム出来形管理システム, 第 34 回日本道路会議, 日本道路協会, 2021.
- 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), 第3編 舗装工編, 2021.

謝辞: 本技術は国土交通省の「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプ

(2022. 5. 20 受付)

DEVELOPMENT OF 3D LASER SCANNER SYSTEM MOUNTED ON A CONSTRUCTION MACHINERY FOR CONSTRUCTION MANAGEMENT

Yasuhiro KATO, Ryuichi IMAI, Kenji TAIRA, Kenji NAKAMURA and Yoshinori TSUKADA

This study aims to develop a 3D laser scanner system mounted on a construction machinery, such as static pneumatic tire roller. 3D laser scanner system consists of laser scanner, IMU, GNSS antenna, and other equipment.

This system enables the acquisition of 3D point cloud data of road contours, point cloud processing within one hour, share and represent point cloud data using cloud system. The data acquired by this system is used for construction management at the road construction stage.

# ダンプトラックの運搬数量に基づく 切盛土工の出来高数量自動算出システムの開発

宮岡 香苗<sup>1</sup>・小澤 一雅<sup>2</sup>・宮下 裕貴<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 東京大学大学院共同研究員 工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷七丁目3-1)

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

<sup>2</sup>フェロー会員 東京大学大学院特任教授 工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷七丁目3-1)

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

<sup>3</sup>清水建設株式会社 技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島三丁目4-17)

E-mail:y-miyashita@shimz.co.jp

建設現場における生産性向上の実現に向けては、現場においてセンサー等で取得した情報を活用して施工管理プロセスの自動化を図ることが有効である。取得した施工情報の関係者間での共有・流通を図る上では、情報の耐改竄性の確保が肝要であり、ブロックチェーンとスマートコントラクトを用いた施工管理を実現するシステムの開発が進められている。本研究では、この基盤システムに連携することを想定し、ダンプトラックに搭載したセンサーから取得した情報を基に出来高数量を自動算出するシステムを開発し、開発したシステムによる業務時間削減の効果を確認することができた。

**Key Words :** *Process Automation, Quantity for cut and fill works, Blockchain, Smart Contract*

## 1. 背景と目的

近年、国土交通省の i-Constuction の政策のもと、各種センサーを用いて建設現場の情報を取得し、施工管理に活用する取り組みが進められている<sup>1)</sup>。建設現場の生産性向上の実現には、これらのデジタル情報を活用して施工管理プロセスの自動化を図ることが有効である。

取得した施工情報を関係者で共有・流通する過程では情報の改竄リスクがあるため、情報の耐改竄性の確保が肝要である。この課題に対しては、松下らがブロックチェーンとスマートコントラクトを用いて発注者・元請会社間の出来形検査を実現するシステムを開発している<sup>2)</sup>。ブロックチェーンは、保存情報の耐改竄性を担保する技術であり、スマートコントラクトは、ブロックチェーン上の情報を用いて契約に基づく取引を自動履行する仕組みである<sup>3)</sup>。以上より、ブロックチェーンとスマートコントラクトを実装したシステム（以下、ブロックチェーンの基盤システム）を活用することで、現場で取得した施工情報の耐改竄性を担保した上で、契約情報に基づいた施工管理プロセスの自動履行が可能となる。

本研究では、この基盤システムと連携することを前提に、切盛土工の出来高管理に着目し、センサーで取得し

た情報から出来高数量を自動的に算出するシステムを開発した。その生産性向上に関する効果を試算するとともに、システムの汎用性の確保に向けた検討を行う。

## 2. 研究の対象範囲

切盛土工の出来高数量は、発注者の出来高検査、土配計画、支払いなど、様々な目的に利用し、目的に応じて情報の取得・処理方法が異なる。例として、発注者の出来高検査用の数量をレーザースキャナーにより計測する場合、使用する機器、ソフトウェアの要件やデータ処理方法が国土交通省の要領において規定されている<sup>4)</sup>。本研究では、出来高数量の中でも元請会社からサプライヤーへの支払いに利用する数量を対象とする。

切盛土工のサプライチェーンの例を図-1に示す。一次請負業者は切盛土工全般の施工管理を担当し、二次請負業者は盛土や転圧、土運搬などの実作業を担当する。表-1に元請会社と一次請負業者の切盛土工の契約項目の例を示す。現場の施工条件（土質、土運搬の有無等）に応じて契約項目が異なるが、本研究では、場内で切土・運搬・盛土の一連の作業を行う契約項目を対象とする。

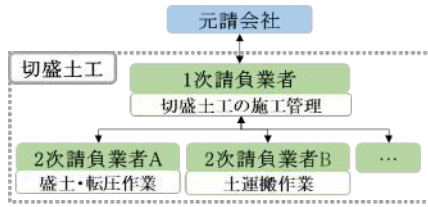


図-1 切盛土工のサプライチェーン

表-1 元請会社・一次請負業者の切盛土工の契約例

項目・仕様・寸法	数量 単価	金額	4月〇日	5月〇日
			出来高累計	出来高累計
01 切盛土工A 土砂（表土）〇〇部	m3			
	5,000		1,000	2,000
	1,000	5,000,000	1,000,000	2,000,000
02 切盛土工B 軟岩 〇〇部	m3			
	5,000		1,000	2,000
	1,200	6,000,000	1,200,000	24,000,000

### 3. 従来の出来高数量算出プロセス

従来の元請会社から一次請負業者への支払いにおける出来高数量算出プロセスを図-2に示す。出来高数量は、ダンプトラックの運搬回数を基に算出している。作業当日、元請会社は施工管理システムにダンプトラックの稼働台数を記録する。作業中は、ダンプトラックのオペレータが切土・盛土の位置と運搬回数を、運搬記録表に手書きで記録する。作業終了後、一次請負業者は運搬記録表を収集し、当日の実績をエクセルシートに入力する。毎月の出来高査定時には、一次請負会社は契約項目毎に当月の総運搬回数を集計し、元請会社に提出する。元請会社は施工管理システムに登録した稼働台数と集計台数の整合性の確認および集計台数に契約項目間で重複が無いことを確認し、出来高数量を決定する。

このプロセスにおける課題として、記録表、集計表の作成および確認作業は、元請会社・サプライヤーの双方にとって負担となっている。また、運搬実績の記録をダ

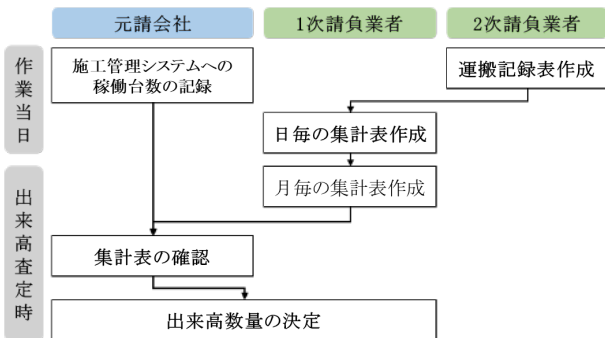


図-2 従来の支払いにおける出来高数量算出プロセス

ンプトラックのオペレータの手作業に頼るため、記入ミスや記録漏れが発生する可能性がある。

### 4. 開発した出来高数量自動算出システム

本研究において開発した出来高数量自動算出システムの構成とフローを図-3に示す。

#### (1) システム・機器構成

本システムは、ダンプトラック搭載のセンサー、エッジコンピュータ、クラウドサーバーで構成される。センサーにはGNSSと3D LiDARの2種のセンサーを使用する。3D LiDARについては、Livox社の Horizon LiDAR<sup>5)</sup>を使用した。

#### (2) 出来高数量自動算出のフロー

##### a) センサーによるデータ取得

GNSSと3D LiDARは各ダンプトラックの運転席上部に設置し、位置情報と点群データを取得してエッジコンピュータに送信する。尚、3D LiDARはダンプトラックの荷台の範囲の点群データを取得する。

##### b) エッジコンピュータでのデータ処理

エッジコンピュータの機能は、センサーからのデータ収集と、点群データを用いたダンプトラックの作業状態判定である。本システムではダンプトラックの作業状態として、carry（土を積んでいる状態）、dump up（土を降ろしている状態）、empty（空荷の状態）の3種類を設定した。作業状態の判定においては、あらかじめ各作業状態における荷台の点群データの教師データを収集し、AIモデルを構築した。3D LiDARで取得した点群データからAIモデルを用いて0.1秒毎にダンプトラックの作業状態を判定し、作業状態が変化するタイミングで、表-2に示すデータ項目を送信する。

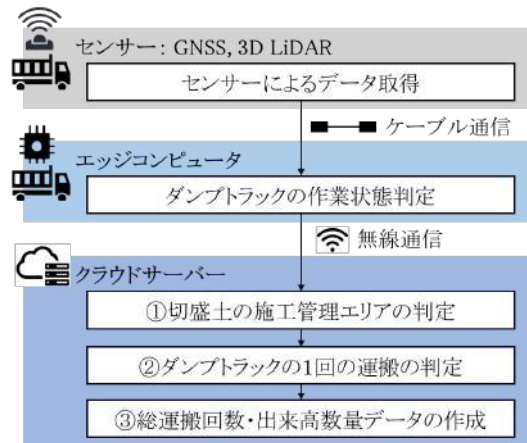


図-3 出来高数量自動算出システムの構成とフロー

c) クラウドサーバーでのデータ処理

クラウドサーバーでは、複数のダンプトラックから取得したデータを統合し、出来高数量算出に向けたデータ処理を行う。

①切盛土の施工管理エリアの判定

切盛土工の施工管理においては、場内を平面的に分割した施工管理エリアを設定する。センサーから取得した位置情報（座標値）を、クラウドサーバーに保存した施工管理エリアのマップと照合することで、各運搬における切盛土の施工管理エリアを判定する。

②ダンプトラックの1回の運搬の判定

ダンプトラックの作業状態がcarry→dump up→emptyと変化すると、切土場から盛土場への1回の運搬が行われたことになる。これを利用して、各ダンプトラックの時系列データから1回の運搬を判定する。

③総運搬回数・出来高数量データの作成

運搬回数を算出する期間をシステムのユーザーインターフェース上で指定して、②で作成したデータを基に、指定した期間のダンプトラックの総運搬回数および出来高数量を算出する。出来高数量は、一回の運搬当たりの運搬数量（10積み目のダンプトラックの場合 6.0m3）をあらかじめ設定して、総運搬回数に乗じることで算出する。本ステップで作成したデータ例を表-3に示す。

5. ブロックチェーンの基盤システムの活用

開発した出来形数量自動算出システムとブロックチェーンの基盤システムを連携した出来高管理の全体像を図-4に示す。ブロックチェーンの基盤システム側では、ま

表-2 クラウドサーバーへ送信するセンサー取得データの項目

データ項目	変数名	データ例
車両ID	device_ID	Dump1
時刻	timestamp	2022-05-01_12:00:00
位置 (X座標)	X	-5012.9176
位置 (Y座標)	Y	-83426.1653
標高	height	145.00
作業状態	dumpstate	Cary

表-3 総運搬回数・運搬数量データ

データ項目	変数名	データ例
作業期間 (開始)	day_start	2022-05-01
作業期間 (終了)	day_end	2022-05-31
切土エリア	Area_carry	E5
切土高さ	Height_carry	40.05
盛土エリア	Area_dumpup	C6
総運搬回数(回)	carry_count	40
出来高数量(m3)	carry_volume	240

ず契約情報（契約ID、契約項目名称、単位、単価、契約数量等）をスマートコントラクトに入力する。出来高数量自動算出システムからは、表-3に示したデータをブロックチェーンの基盤システム側に送信する。この情報はデータストレージに保存され、改竄できないものとなる。契約項目と出来高数量の紐づけを行うために、ブロックチェーンの基盤システム側に、契約項目と施工管理エリア・切土高さの対応を示したデータを用意する（表-4）。これと表-3で示したデータを照合することで、契約項目毎の出来高数量を算出し、スマートコントラクトに入力する。

以上より、開発したシステムとブロックチェーンの基盤システムを連携することで、施工情報を元請会社とサブライヤーで信頼できるものとして保存し、契約に基づく出来高数量の算出を行うことが可能となる。

6. 出来高数量の自動算出により得られる効果

現場へのヒアリングを通じて、図-2に示した従来の出来高数量算出プロセスにおける作業時間を試算した。その結果を表-5に示す。

今回開発したシステムを現場に導入するにあたっては、GNSS局の設定、センサーの設置、クラウドサーバー利用環境の構築等の準備作業に、1日程度要する。また、ダンプトラックの作業状態判定に使用する荷台の点群データの教師データを現場で取得する必要があるが、この作業には半日程度を要する。一方でシステム導入後は、

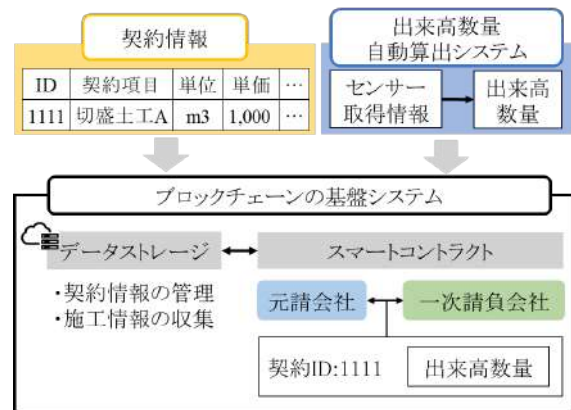


図-4 ブロックチェーンの基盤システムと連携した全体像

表-4 契約項目と施工管理エリア・切土高さの対応表

契約項目	契約項目ID	切土エリア	切土標高	盛土エリア
切盛土工A 土砂(表土) 〇〇部	1111	E5	50.00~80.00	C6
		E6	50.00~80.00	C7
		...	...	...

表5 従来の出来高数量算出プロセスにおける所要時間

作業内容		実施者	作業所要時間 (10台あたり)
作業 当日	施工管理システム登録	元請会社	5分
	運搬記録表作成	二次請負業者	50分
	日毎の集計表作成	一次請負業者	15分
	計(1日当たり) A	—	1時間10分
出来高 査定時	月毎の集計表作成	一次請負業者	1時間
	集計表の確認	元請会社	30分
	計(1か月あたり) B	—	1時間30分
累計(1か月あたり) (A×20日+B)			<b>24時間30分</b>

運搬数量の算出期間を指定するユーザーインターフェース上での操作を除いて自動的に処理を行うことが可能であり、大幅な業務時間の削減を図ることができる。尚、費用については、初期費用としてダンプトラック1台あたり約35万円（センサー、センサーの設置治具、エッジコンピュータを含む）を要し、導入後は、クラウドサーバーの利用料（月約2万円）が発生する。初期費用については、センサーの種類や設置治具の検討を進めることで、今後削減を図ることが可能であると考えられる。

## 7. 汎用施工管理システムの構築に向けて

建設現場の生産性向上の実現に向けては、システムの汎用性の確保が必要である。今回使用した3D LiDARはLivox社のHorizon LiDARであるが、3D LiDARは様々なメーカーが提供している。また、カメラで取得した画像データをAIで分析し、車両の位置や稼働状況を認識するシステムも開発されており<sup>9)</sup>、GNSS、LiDAR以外の方法で取得した情報も出来高管理に活用可能である。よって、現場の施工条件や予算に応じて、様々なデータの取得方法を選択できることが望ましい。さらに、開発したシステムでは出来高管理を対象としたが、出来形・品質管理といった他の施工管理業務の履行も必須である。これについても、レーザースキャナーで取得した点群データを用いた出来形管理や、GNSSと加速度センサーを用いた

盛土の転圧管理が進められている<sup>7)</sup>。

以上を踏まえると、現場から取得した情報とブロックチェーンの基盤システムを連携した施工管理プロセスの自動履行の汎用化を考える上では、ブロックチェーンの基盤システムに保存する施工情報を体系的に整理する必要がある。この実現には、データ名称やデータ整理方法の統一化、コード化を図ることが必要であり、既存の建設情報分類体系を参考に検討を進めていきたい。

## 8. おわりに

本研究では、ブロックチェーンの基盤システムと連携することを前提に、センサーからの取得情報を基に元請会社とサプライヤーの支払いにおける出来高数量の自動算出を行うシステムを開発した。開発したシステムにより、元請会社・サプライヤーの業務時間の削減が可能であることを確認することができた。今後は、汎用施工管理システムの構築に向けて、現場から取得する施工情報の体系化について検討を進める。

### 参考文献

- 1) 国土交通省：i-Construction の推進， pp.6,  
<http://www.mlit.go.jp/common/001149595.pdf>
- 2) 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， 2021.
- 3) IBM：<https://www.ibm.com/jp-ja/topics/smart-contracts>
- 4) 国土交通省：地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理の監督・検査要領（土工編）（案），  
<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/content/001340122.pdf>, 2022
- 5) LIVOX HORIZON：<https://www.livoxtech.com>
- 6) LANDLOG ホームページ：<https://www.landlog.jp/>
- 7) 国土交通省：i-Construction～建設現場の生産性向上の取り組みについて～， pp.3,  
<https://www.mlit.go.jp/common/001118342.pdf>

(2022.5.20 受付)

## DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC MEASUREMENT SYSTEM FOR CUT AND FILL WORKS BASED ON THE QUANTITY HAULED BY DUMP TRUCKS

Kanae MIYAOKA, Kazumasa OZAWA and Yuuki MIYASHITA

In order to improve productivity at construction sites, it is effective to automate the construction management process by utilizing information acquired by sensors and other devices on construction site. In this study, we developed a system that automatically measures the quantity of workpiece based on information obtained from sensors mounted on dump trucks, which is applied to the contract between a main contractor and a sub-contractor for efficient measurement and smooth payment.

# デジタルツインを活用したPC上部工におけるクラウド一元管理の取り組みについて

岩瀬 真淑<sup>1</sup>・若林 良幸<sup>2</sup>・長岐 貞行<sup>3</sup>

<sup>1</sup>株式会社IHIインフラ建設 橋梁事業部 (〒135-0016 東京都江東区東陽7丁目1-1)  
E-mail:iwase7031@ihi-g.com

<sup>2</sup>正会員 株式会社IHIインフラ建設 開発部 (〒135-0016 東京都江東区東陽7丁目1-1)  
E-mail:wakabayashi8366@ihi-g.com

<sup>3</sup>国土交通省 東北地方整備局 秋田河川国道事務所 (〒015-0013 秋田県由利本庄市石脇字田尻野18)  
E-mail:nagaki-s82ac@mlit.go.jp

近年、建設現場では労働生産性の向上や品質管理の効率化・高度化を目的として、BIM/CIMの活用が進められている。また、IoTなどの活用によりフィジカル空間の情報をリアルタイムでサイバー空間に送り、サイバー空間内にフィジカル空間の環境を再現するデジタルツインが注目されている。さらに、仮想モデルを現実世界に可視化できるMR技術など、デジタル技術の効果的な活用が進められている。しかし、これら各技術のシステムは、システム間でのデータ連携ができておらず、施工や品質管理に応じた個別での最適なデジタル化に留まっている。本試行では、現場計測機器、施工・品質情報および現場進捗をクラウドにて一元管理できる4DBIM/CIMシステムを構築し、「現場見える化」による労働生産性向上を目的として取り組んだ。

**Key Words :** Digital-Twin, BIM/CIM Cloud, 4DCIM Model, Uniform Management, Multi-device

## 1. はじめに

近年、我が国の建設現場での熟練技術者の減少や高齢化、若手労働者の減少による将来の担い手不足による現場力低下が問題となっている。これに対し、労働生産性の向上や品質管理の効率化・高度化を目的として活用が進められているBIM/CIMは、問題を解決する手段として有効である。さらに、現場での実施工を重ね合わせた可視化など、デジタル技術の効果的な活用が進められている。

しかし、これら技術のシステムは、システム間でのデータ連携ができておらず、施工や品質管理に応じた個別での最適なデジタル化に留まっている。

建設現場では、2025年度までに20%の労働生産性向上を目的とした「i-Construction」が推進されている。この目的を達成するためには、工事全体での労働生産性を向上すべく、各システムの連携強化が必要である。

今回、PC2径間連続ラーメン箱桁橋の架設工事において、現場計測機器(ライブカメラ・気象センサ・人員センサ)、施工管理記録(品質管理・出来形管理)および現場

進捗のシステムを連携する4DBIM/CIMクラウドを構築し、「現場見える化」による労働生産性向上への取り組み内容について報告する。



図-1 BIM/CIMクラウドによるシステムの連携



## 2. 適用工事概要

適用した工事は、国土交通省東北地方整備局発注の国道7号大砂川橋上部工工事であり、橋長99mのPC2径間連続ラーメン箱桁橋の新設工事である(図-2)。

箱桁橋の構築は、移動作業車を用いた張出架設工法で行う。移動作業車の中では、型枠・鉄筋組立等を施工ブロック毎に繰り返し行うサイクル施工となるため、作業時間や労働人員の縮減は労働生産性の向上に直結する。計画通り現場進捗しているか確認するには現場臨場が必須であり、日々のその移動に多くの時間を要している。そこで、3DBIM/CIMモデルに時間軸を追加したBIM/CIMモデル(以下、4DCIMモデル)に現場に設置したライブカメラの現場映像、気象計・人員センサによる現場工程を連携させたクラウドシステムを構築することで「現場見える化」を図り、いつでもどこでも現場の状況把握を可能としたほか、これらのクラウド情報は、工事関係者間でリアルタイムに情報を共有した。

## 3. BIM/CIMクラウドによる一元管理

### (1) 4DCIMモデルの作成

設計図書CADデータの読み込みより3Dモデルを自動作図する専用プログラムを活用し、モデルに時間軸を追加して4DCIMモデルを作成した。その作成過程においては、各工種に要する時間を設定し、従来は手入力にて実施していた。モデル作成時における生産性向上の観点から、自動4D計画機能を新たにカスタマイズし、従来と比較し4DCIMモデル作成工数の33%縮減を達成した。

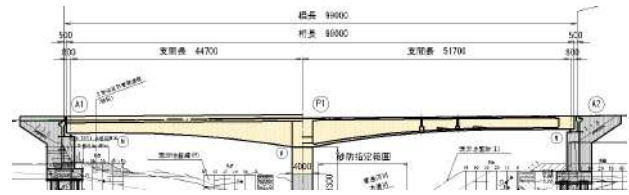
現場施工においては、本モデルを用いた工程シミュレーションを作業計画にて活用し、施工計画の迅速な合意形成を図るとともに、施工前における部材干渉チェック等が可能となり工程遅延の防止に寄与した(図-3)。

### (2) 現場計測機器のクラウド連携による見える化

本現場は、日本海側に近い秋田県にかほ市に位置し、積雪寒冷地に加え、一日の内に天候が目まぐるしく変化する環境特性があった。そのため、現場状況を的確に把握するとともに、気象の変化等に留意する必要がある。

それら現場状況把握の手段として、ライブカメラ、風向風速計、雨量計を設置した。従来では、各計測機器毎に設定したシステムにて、管理ページへアクセスし、計測機器毎の情報収集を行っており、多くの時間を要した。

そこで、BIM/CIMクラウドへ現場計測機器の情報を紐付けて、ワンクリックのみで各情報の見える化を可能とした(図-4)。これにより、現場状況をリアルタイムで把握できるとともに、異常気象時、モデルを共有し、現場に即した対応協議を関係者間で即時可能とした。

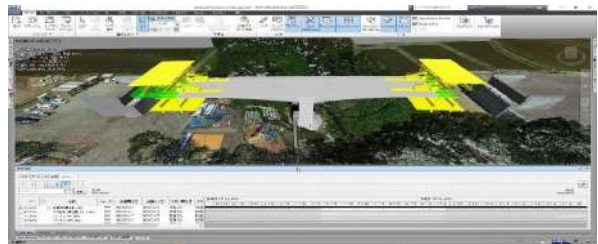


(a) 構造一般図

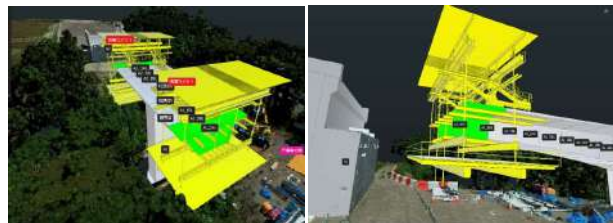


(b) 施工状況

図-2 国道7号 大砂川橋の概要



(a) 4D計画機能より自動作成した4DCIMモデル



(b) 工程シミュレーションによる事前干渉チェック

図-3 4DCIMモデルの構築



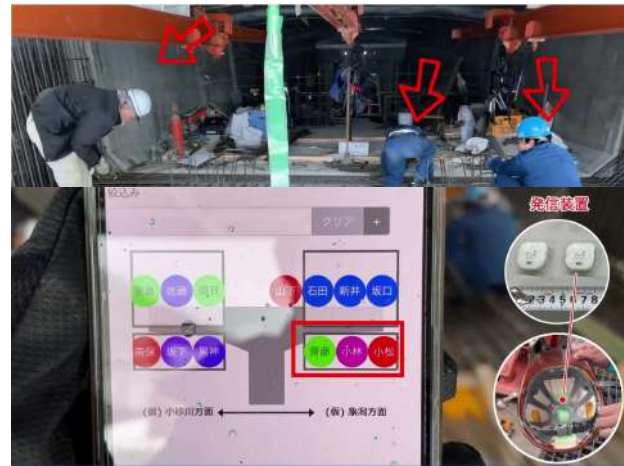
図-4 計測機器とBIM/CIMクラウドの連携

(3) 作業員情報のクラウド連携による見える化

箱桁橋の構築に使用する移動作業車の中では、型枠工や鉄筋工、PC工といった様々な工種の作業員が混在して働いている。移動作業車は、起終点および上下床版の計4か所が主な作業箇所となり、サイクル施工に合わせ混在しないように作業を進める。各工種の作業進捗は、サイクル工程に直接影響するため、作業進捗の把握は非常に重要となる。

今回、各工種の作業員がどのエリアで作業しているかをリアルタイムで可視化するため、ビーコンセンサを活用した。発信機は保護帽の内側に取り付け、日常作業に支障の無いよう工夫をした。受信機は、上述の作業箇所4か所に設置し、発信機からの電波が混在しないよう調整を行った。これらのデータは、BIM/CIMクラウドと連携させることで見える化し、現場へ赴くことなく作業の進捗管理を実現することができた。作業進捗の遅れを察知した場合、作業員の増員や配置換えにより、工程遅延を防止できる(図-5)。

これらの実績データは、クラウド基盤に蓄積され、生産能力・投入量を集約・管理することで、日々の最適なリソース計画が可能となる。これにより、コスト情報の基本となる作業工種における歩掛り原価の自動算出や工事計画の最適な立案への活用も期待できる。



(a) ビーコン発信機および検知状況



(b) 事務所内での作業進捗確認

図-5 作業員情報とBIM/CIMクラウドの連携

(4) 施工情報のクラウド連携による見える化

日々の現場管理において、施工イベント毎に品質管理や出来形管理の帳票を作成する。これらの帳票は、工事完了後、BIM/CIMモデルに属性として付与し、供用後の維持管理に利用させるのが通例である。

今回、それら品質管理および出来形管理の帳票をBIM/CIMクラウドと連携させ、4DCIMモデルの色表示を該当するステータスに合わせて更新させることで、視覚的な工事進捗の見える化を実現した(図-6)。

張出施工のサイクル施工における進捗は、型枠・鉄筋組立、コンクリート打設、PC緊張の4つのステータスに区分し、進捗毎に作成した帳票をBIM/CIMクラウドの専用フォルダにアップロードする。その後、自動判定ボタンのワンクリックにて、4DCIMモデルの色表示をステータスに合わせて更新させる仕組みである。また、フォルダ格納後の更新忘れを防止するため、進捗の判定処理を毎晩自動にて実施することで、翌朝には最新の4DCIMモデルの確認をできる仕様とした。

日々の現場管理においては、安全・品質・工程・原価の管理と多忙を極める。その中、週休2日制を含む働き方改革の実現には、現場作業の省力化と店社との分業が必要となる。現場進捗の見える化により、クラウド上の資料が現場事務所と店社での共有が図れ、働き方改革への貢献が期待される。



(a) 調書とのステータス判定



(b) 4DCIMモデルの色表示

図-6 施工進捗とBIM/CIMクラウドの連携

#### 4. おわりに

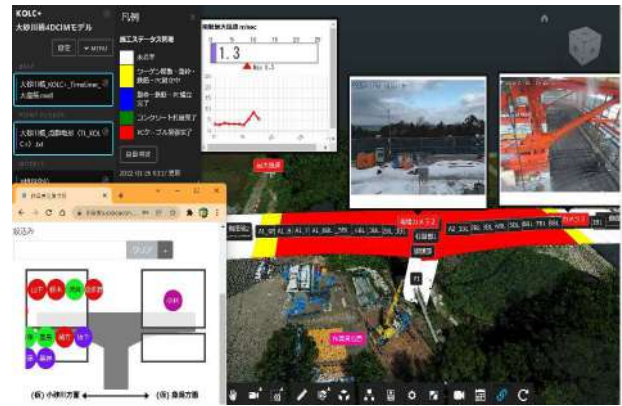
建設現場でのBIM/CIM活用における労働生産性の向上を目的に、独立したシステムの情報を連携させたBIM/CIMクラウドとして、4DCIMモデルにライブカメラ・気象計データなどの現場計測機器、作業員情報および施工情報共有による現場進捗を構築、1画面の統合表示による一元管理の「現場見える化」を実現した(図-7)。

このBIM/CIMクラウドは、ウェブブラウザを有するマルチデバイス(PC・タブレット・スマートフォン等)でアクセス可能なほか、工事進捗にともないデータ保存量が増加した時においても快適にアクセスできる。そのため、場所を問わず最新の工事進捗や施工情報を工事関係者でリアルタイムに共有できることから、BIM/CIMクラウドを見ながら、関係者間での遠隔臨場やリモート会議への活用もでき、現場への移動時間の大きな縮減が可能となり、その効果は大きい。

今回得られた施工情報を属性情報として4DCIMモデルに付与することで、将来の維持管理へ活用できる他、工程管理や作業員情報の記録は、同種の工事における施工計画への参考になるとともに、そのデータ分析・活用によりさらに高度な施工計画への活用が期待できる。

弊社はこれまで、建設現場でのBIM/CIM技術を活用して、張出架設における移動作業車を対象とした建設機械の4D施工システムや配筋検査システム、MR技術やAI・画像解析技術を用いたコンクリート打設システムを開発しており、BIM/CIMクラウドにこれらの技術を取り込むことで、更なる高精度・高品質な施工の実現かつ労働生産性の向上が図れると期待している。

**謝辞：**本報告は、PRISM予算を活用し、国土交通省「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」で、IHIインフラ建設・オフィスケイワン・コルク・千代田測器でコンソー



(a)BIM/CIMクラウドの一元管理



(b)BIM/CIMクラウドの関係者間での共有

図-7 BIM/CIMクラウドの一元管理・共有

シアムを結成し実証を行った試行業務です。最後に、本試行の実施にあたり、ご指導、ご協力を頂いた東北地方整備局の関係者の方々ならびにコンソーシアムメンバーに深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 若林良幸, 赤松輝雄, 中村定明, 小林崇: BIM/CIMとICTを活用した橋梁施工 - 建設DXに向けた技術 -, プレストレストコンクリート工学会, プレストレストコンクリート, Vol.64, No.2, pp.75-80, 2022.3.

(2022.5. 受付)

## CLOUD BASED DATA MANAGEMENT FOR CONSTRUCTION OF PRESTRESSED CONCRETE SUPERSTRUCTURE USING DIGITAL TWIN

Masayoshi IWASE, Yoshiyuki WAKABAYASHI and Sadayuki NAGAKI

In recent years, BIM/CIM has been used on construction sites to improve labor productivity and to advance quality control efficiency. A digital twin, a virtual model to accurately reflect a physical object from real time data by using IoT, has attracted much attention. In addition, mixed-reality technology has been applied to bridge construction to visualize the virtual model in the real world. However, these technology systems have not been efficiently linked together and effects by the digital transformation are limited to each stage of the construction work or quality control. The 4D BIM/CIM cloud based data management system was established to integrate the data from the measurement sensors, quality information, and site progress.

# 次世代 $\alpha$ システムの開発（その1） —新しい盛土品質管理手法の構築—

稲川 雄宣<sup>1</sup>・古屋 弘<sup>2</sup>・松崎 晃<sup>3</sup>・石黒 健<sup>4</sup>・平田 昌史<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社大林組 (〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)

E-mail: inagawa.yusen@obayashi.co.jp

<sup>2</sup>正会員 株式会社大林組 (〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)

E-mail: furuya.hiroshi@obayashi.co.jp

<sup>3</sup>正会員 株式会社大林組 (〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)

E-mail: matsuzaki.kou@obayashi.co.jp

<sup>4</sup>前田建設工業株式会社 (〒302-0021 茨城県取手市寺田5270)

E-mail: isigurot@jcity.maeda.co.jp

<sup>5</sup>前田建設工業株式会社 (〒302-0021 茨城県取手市寺田5270)

E-mail: hirata.m@jcity.maeda.co.jp

1998年に開発された加速度応答法を用いた品質管理技術をベースに新しい機能を追加しシステム化した次世代 $\alpha$ システムを開発した。本システムは $\alpha$ システム本体のグレードアップを図るとともに、3Dスキャナーによる地表面形状計測・自走式散乱型RIによる含水比計測を実施して、データから複合的に高精度な品質管理が行えるシステムとなっている。また、データはクラウドに送信、一元管理するとともに各種分析が可能となっており、これらのデータをweb上で工事管理者、発注者、設計者（コンサルタント）が遠隔かつリアルタイムに確認することができる。今回開発したシステム導入により、締固め品質管理の飛躍的な質的向上がもたらされる可能性を示すことができた。

**Key Words :** roller acceleration, roller compaction tests, 3D laser scanner, mobile type scattering RI

## 1. はじめに

1998年に開発された「 $\alpha$ システム」は、振動ローラーに設置した加速度センサーにより取得した加速度応答値を解析し、「乱れ率」という指標を算定する。この「乱れ率」は、振動ローラーの転圧により盛土が締固められた場合、地盤の剛性が増加することにより加速度応答値の周波数特性が変化することを利用した指標である。また、この「乱れ率」から剛性評価式（藤山・建山式）を用いて地盤変形係数に変換することも可能である。

今回開発したシステムは上記の加速度応答法を用いた品質管理技術をベースに、新しく地表面形状と含水比計測データを追加し、複合的かつ高精度な評価が行えるシステムとなっている。すなわち、現在推進されている土工事のICT施工のうちTS（トータルステーション）・GNSS（全球測位衛星システム）を用いた転圧管理システムをさらに拡張し、工法規定による管理だけ

でなく締固め品質を施工面全面で把握することが可能となるシステムである。本報告では、道路盛土の実施工現場での実験結果を通して、本システムによる新しい盛土品質管理手法の有用性を検証した結果について述べる。

## 2. 次世代 $\alpha$ システム

### (1) 次世代 $\alpha$ システムの特長

次世代 $\alpha$ システムは以下の特長を有している。

#### ①品質管理精度の向上

1998年に開発した現行 $\alpha$ システムのOSと物理的な構成を変更し性能向上を図っている。これにより、計測のサンプリング数も2倍となり、より詳細な面的品質管理が可能となっている。さらに、本体のコンパクト化・堅牢化を図っている。

#### ②高精度GNSSの内蔵

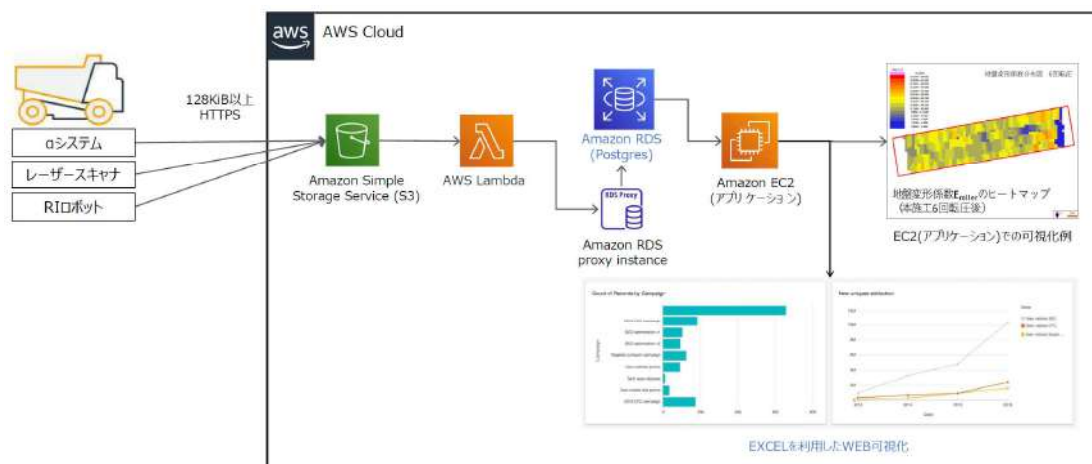


図-2.1 次世代αシステム構成

αシステム内部に高精度GNSSのモジュールを内蔵し、別途GNSSのシステムとの連携が不要となるだけでなく、時刻同期の問題も解決している。また、本システムは転圧回数管理、軌跡管理、剛性評価等の全てをオールインワンで実施可能となっている。なお、高精度GNSSはVRS (仮想基準点)を用いて補正するとともに、2周波のRTK (Real-Time Kinematic)を採用しているため、精度は約±2cmとなる。

### ③レーザースキャナおよび自走式散乱型RIを用いた複合的品质管理

レーザースキャナと自走式散乱型RI (Radio Isotope)を評価システムに新たに加えている。レーザースキャナで撒きだし前後および転圧回数ごとに施工面で連続計測することにより、撒きだし厚や沈下量の収斂性、転圧による地盤の圧縮率を確認することが可能となり、加速度応答法による評価と合わせて複合的な品質管理が可能となっている。一方、自走式散乱型RIについては転圧後の含水比を調査する。αシステムは材料や締固め密度が同じでも含水比が異なると加速度応答値(乱れ率)が変動する。乱れ率の小さい原因が締固め不足と含水比の違いのいずれであるかを本システムで照査することが可能となっている。なお、自走式散乱型RIの機構については、(その2)で詳述する。

### (2) 次世代αシステムのクラウドシステム構成

次世代αシステムのクラウドシステム構成を図-2.1に示す。次世代αシステムや3Dスキャナ、自走式散乱型RIのデータはクラウドに送信し一元管理(DB保存)され、ヒートマップ、統計分析、転圧収斂分析、相関分析を自動で行い、図化や出力が可能となっている。また、このシステムによりリアルタイムに施工品質を確認できるため、工事管理者のみならず発注者や

設計者(コンサルタント)も遠隔確認することが可能となっている。

## 3. 道路盛土実施現場における機能検証

以下では、本システムの現場実証実験結果の概要を示し、3Dスキャナおよび自走式散乱型RIの計測結果について述べる。

### (1) 現場実証実験の概要

実験は、2022年1月~2月に(株)大林組が施工中の滋賀県大津市の新名神大石龍門建設工事にて実施した。本施工に先立ち試験盛土は、路体材料(試験盛土①)、粗粒材料(試験盛土②)の2種類の材料で実施した。試験盛土は、次世代αシステムの各機器の試運転と精度検証(既往手法との比較)、2種類の異なる土に対する締固め特性データの取得、およびクラウドシステムの稼働確認を目的として実施した。

本施工では次世代αシステムのデータを取得し、クラウドシステムのDBに格納、分析機能等を確認した。本施工終了後には従来手法による物性確認を実施する事で、次世代αシステムにより取得したデータの精度確認および現場品質管理業務の生産性向上の度合いを現地確認した。

### (2) 3Dスキャナ計測結果

本施工で計測された3Dレーザースキャナのデータを用いて、以下を算出した。

- ①撒き出し厚 = 撒き出し後標高 - 基盤標高
  - ②転圧時沈下量 = 転圧後標高 - 撒き出し後標高
  - ③圧縮率 = 転圧時沈下量(②) / 撒き出し厚(①)
- 上式により算出した撒き出し厚、沈下量、圧縮率のヒートマップを図-3.1に示す。沈下量と圧縮率は一例とし

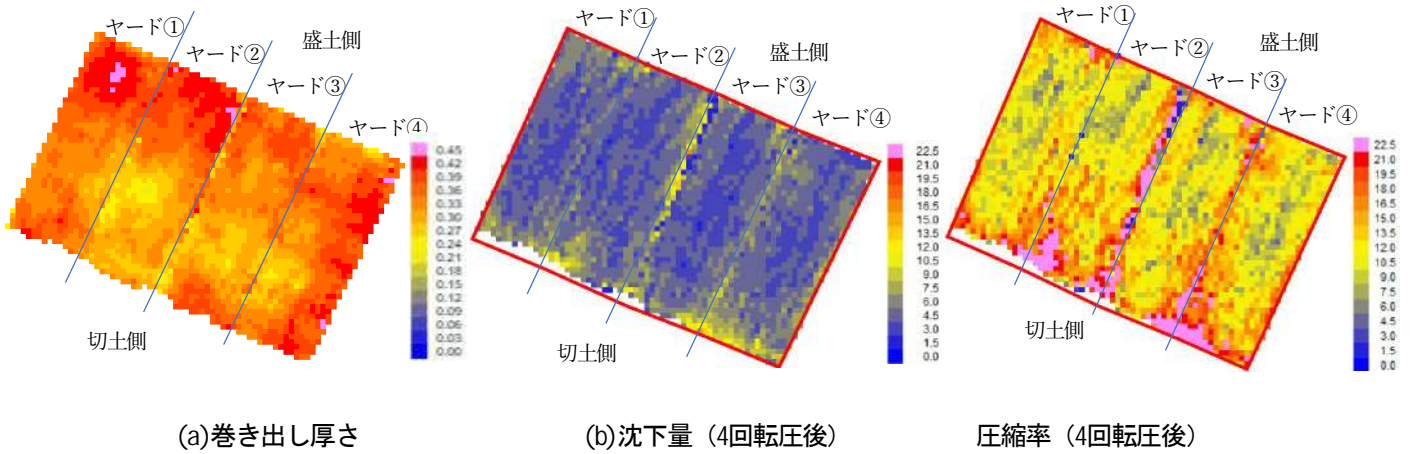


図-3.1 3Dスキャナーのヒートマップ

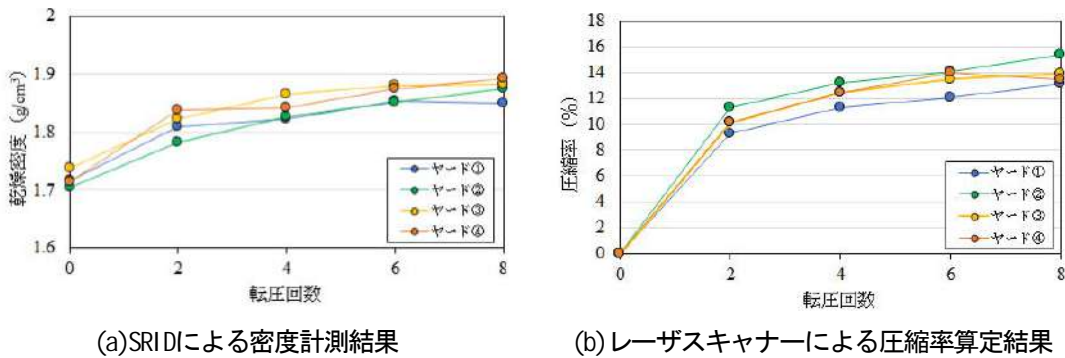


図-3.2 密度増加収斂性とレーザーสキャナー圧縮率の収斂性比較

て4回転後(本現場の規定回転回数)を示している。図-3.1の撒き出し厚分布については、今回試験工事であった事もあり、GNSSブルドーザーを用いた撒き出しではなく簡易杭を周囲に設置して目分量にて撒き出しを行った。そのため、撒き出し厚には面的なばらつきが生じており、ヤード①~④のヤード境もヒートマップ上で確認する事ができる。図-3.1の沈下量ヒートマップにも、同じようなヤード境界が確認でき、境界部の段差が一部確認できる。また圧縮率ヒートマップでは、各ヤード共、切土地山付近で圧縮率が相対的に大きくなっている。これは基盤剛性が高いため、転圧時のサンドイッチ効果が高まり、転圧時の圧縮率が大きくなったものと理解できる。このように、3Dレーザースキャナの計測結果から撒きだし厚などの施工状況や転圧時沈下・圧縮率などの締固め情報の面的な評価が可能となる。

また、図-3.2に転圧回数ごとのSRIDによる乾燥密度計測結果と3Dレーザースキャナ計測結果から算定した圧縮率を示す。両者は同様の収斂傾向を示しており、レーザースキャナー計測結果による圧縮率の収斂性を用いた密度管理の可能性を示唆している。

(3) 自走式散乱型RIによる計測結果

図-3.3に自走式散乱型RIによる本体施工ヤード全面の含水比分布を示す。使用した盛土材料の含水比分布や不均一性を面的に把握可能であり、その他の計測データと比較する事より、複合的な品質管理が可能となる。

図-3.4に本クラウドシステムにて作成された含水比のヒストグラムを示す。本施工エリアで約11000カ所の含水比を計測しており、施工した盛土材料の含水比平均値や分布形状が速やかに確認できる。

図-3.5には、相関分析機能を用いた一例としてαシステムの地盤変形係数Erollerと自走式散乱型RIの含水比の関係をヤード別にプロットを変えて示す。自走式散乱型RIは最終回転8回後に走行させたので、8回転後の比較である。①~④の各施工ヤードで横軸の含水比は大きくは変わらないが縦軸の地盤変形係数Erollerはヤード①から④に向けて徐々に剛性の高い箇所が増える傾向にあり、表-1の実測乾燥密度の傾向と整合する。

このように、本システムにより習得された諸指標同士の間接性を吟味する事で、基盤条件・材料変動・施工条件(天候等)などの現場条件を加味した緻密な締固め品質管理が可能となる。この事は、次世代αシステムの導入により従来の離散的かつ事後的な品質管理に対して

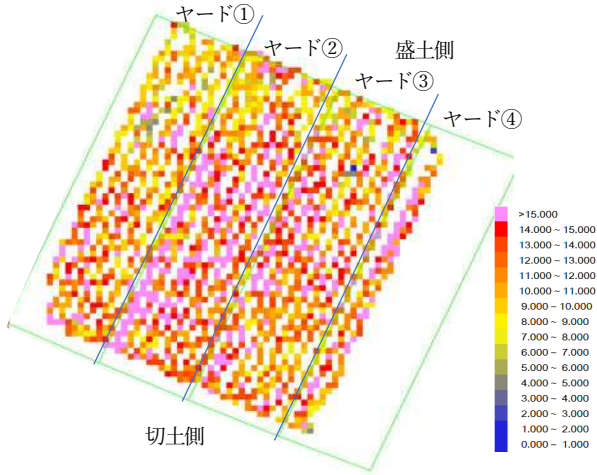


図-3.3 含水比ヒートマップ

現場品質管理業務の生産性向上だけでなく、締固め品質管理の飛躍的な質的向上がもたらされる可能性を示唆している。

おわりに

本報告では次世代αシステムの新たな機能について述べるとともに、現場実証実験で得られた計測データの一例を示した。その結果、新たな機能追加により次世代αシステムが高精度かつ複合的に盛土品質管理を行えることが確認できた。今後、引き続き現場での実証実験を行いながら、新たな機能を有効に使用するスキームについて検証するとともに、より精度の高い盛土品質管理システムの構築に向けて、開発を進めていく所存である。

謝辞：本実験は、PRISM予算を活用し、国土交通省の「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」にて実施している。本発表にご協力頂いた関係者各位に感謝する。(2022.5. 受付)

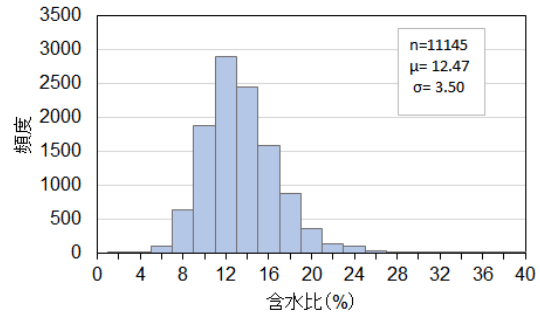


図-3.4 含水比ヒストグラム

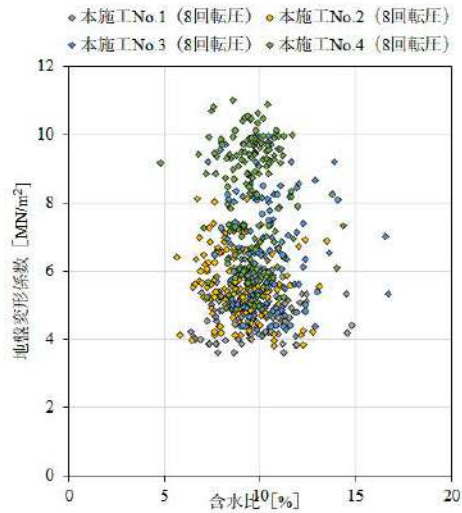


図-3.5 本施工のαシステムの地盤変形係数  $E_{roller}$  と自走式ロボット含水比の相関図

表-1 本施工各ヤード盛土の乾燥密度

	No.1	No.2	No.3	No.4
平均値	1.850	1.874	1.883	1.892
最小値	1.777	1.816	1.823	1.816
最大値	1.902	1.917	1.923	1.942

DEVELOPMENT OF Advanced α SYSTEM (Part 1)  
-A NEW METHOD FOR QUALITY CONTROL IN FILED SOIL COMPACTION-

Yusen INAGAWA, Hiroshi FURUYA, Ko MATSUZAKI, Takeshi ISHIGURO and Masafumi HIRATA

Based on the filed quality control technology using the acceleration response of vibration roller called α system developed in 1998, advanced α system has been developed by adding several newest filed measurement methods ,3D scanner and self-propelled scanning-type RI robot. 3D scanner can measure the shape of ground surface before and during compaction and can evaluate the spreading depth of embankment , displacement of compacted ground and compressive strain after field compaction. RI robot can measure the distribution of water content in compacted ground which can support the understanding of field compaction. Advanced α system integrates these indices on the cloud data processing system , accumulates them in data base and offers various analytical results on web so that several kinds of users can utilize filed compaction data. Advanced α system can achieve not only the productivity improvement but also the breakthrough in filed quality control.

# 電線共同溝工事におけるモバイル端末による 工事進捗管理システムの試行について

中井 哲士<sup>1</sup>・小林 翔太郎<sup>2</sup>  
水谷 司<sup>5</sup>・山田 敏広<sup>3</sup>・宗宮 優一<sup>6</sup>・池田 直輝<sup>4</sup>

<sup>1</sup>非会員 国土交通省 近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 和歌山国道維持出張所

(〒640-8306 和歌山県和歌山市出島33)

E-mail:nakai-s86xf@mlit.go.jp

<sup>2</sup>非会員 大成ロテック株式会社 (〒160-6112 東京都新宿区西新宿8-17-1)

E-mail:Shotaro\_kobayashi@taiseirotec.co.jp

<sup>3,4</sup>正会員 大成ロテック株式会社 (〒160-6112 東京都新宿区西新宿8-17-1)

<sup>3</sup>E-mail:toshihiro\_yamada@taiseirotec.co.jp

<sup>4</sup>E-mail:naoki\_ikeda@taiseirotec.co.jp

<sup>5</sup>正会員 国立大学法人 東京大学 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

E-mail: mizu-t@iis.u-tokyo.ac.jp

<sup>6</sup>非会員 株式会社エム・ソフト (〒110-0015 東京都台東区東上野2-18-10)

<sup>1</sup>E-mail:soumiya\_yic@msoft.co.jp

国土交通省が推進する情報通信技術を用いた工事は、中規模以上の工事において普及しつつあるが、3次元データの活用や費用などの観点から小規模工事の普及が課題となっている。特に、小規模土工においては、施工の特性上、簡易な計測によるデータの取得が求められるとともに、2023年度から開始されるBIM/CIMモデルの活用工事におけるデータの利活用も検討する必要がある。

本論は、小規模工事の活用を目的としたモバイル端末による簡易なデータ取得と、取得したデータをBIM/CIMモデルに重畳し工事の進捗管理を可能としたシステムの開発と試行の結果をまとめている。

**Key Words :** ICT, LiDAR, BIM/CIM Model, Mobile device, small-scale construction,

## 1. はじめに

国土交通省は、2016年から情報通信技術（以下、ICT）を活用したICT活用工事の基準案を制定し、建設業における生産性の向上への取り組みを推進している。ICT活用工事の対象工種は、拡大しつつあるが、3次元データの活用、計測に伴う工程調整、高額なコスト、膨大なデータ容量の取り扱いなどの懸念事項もある。ICTは、中規模以上の工事に多く適用される一方で、小規模工事における普及は課題とされている。また、土工においては、2022年度から小規模工事へのICTを活用した出来形管理が追加され、ICTの活用が認められた<sup>1)</sup>。

我々は、モバイル端末による工事進捗管理システム（以下、本システム）を、小規模工事におけるICTの普及を目的とし、工事の進捗管理や遠隔臨場、さらには2023年度から国土交通省の発注工事に適用されるBIM/CIMモデルの活用工事への利用も含めて開発に取り組んだ。

本論は、近畿地方整備局和歌山河川国道事務所発注の電線共同溝工事において、掘削工、管路工に重点を置き本システムを試行した結果をまとめている。なお本システムは、国土交通省が公示する「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」において実施している。

## 2. システムの概要

### (1) 計測の方法

本システムは、Light Detection and Ranging（以下、LiDAR）機能を搭載したモバイル端末と、拡張現実（Augmented Reality：以下、AR）を活用したマーカーを使用する（図-1）。LiDARは、レーザー光により対象物の形状や距離を計測するリモートセンシング技術であり、近年では、自動運転技術や運転支援システムへの活用、カメラ画像の機能拡張のためにモバイル端末への搭載も増えている。ARは、現実の空間に仮想の物体を重ね合



わせ、表示させる技術であり、本システムではマーカールの中心に原点を表す3軸を表示させる（図-2）。



図-1 モバイル端末（左）とARマーカール（右）

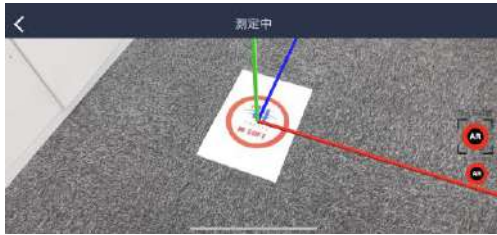


図-2 ARを活用した3軸の表示

本システムのフローを図-3に示す。計測は、新たに開発したARアプリを用いて、計測対象範囲を、歩行しながら計測を行う。

取得されるデータは、計測対象の空間情報（X座標、Y座標、Z座標）であり、計測直後に点群データとメッシュデータとしてアプリ画面上で確認することができる（図-4）。また、計測データはローカル座標のため、計測時に使用する評定点の座標を入力することにより、位置情報を付与させる。最後に、モバイル端末にて、クラウド上にデータをアップロードする（図-5）。

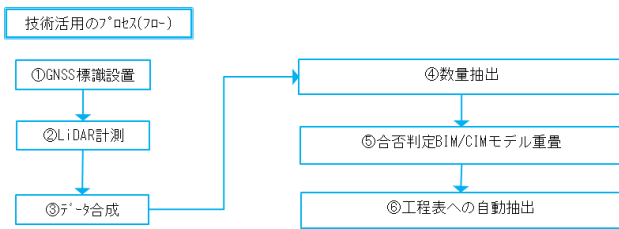


図-3 本システムのフロー



図-4 計測データの確認画面（計測直後）



図-5 計測データのアップロード画面

3次元座標を付与した評定点を、起点部と終点部に1基ずつ設置し、計測画面上に映り込ませることで、取得したデータに位置情報を紐づける（図-6）。計測データは、モバイル端末上からクラウドにアップすることで、データの共有が可能となる。共有されたデータは、数量の抽出、BIM/CIMモデルの重畳表示が可能となり、施工実績として反映させた工程表に出力される。



図-6 ARアプリを用いた評定点の抽出

### 3. 現場における試行

本システムの試行は、近畿地方整備局和歌山河川国道事務所発注の「国道24号栗栖地区管路敷設他工事」における電線共同溝工事の車道管路部、特殊部にて実施した。計測は、掘削工から仮舗装までの工種を対象とし、各工種の施工後に計測を行った。掘削側面の直下のデータは、計測画面から不可視部分になるため、片側ずつ計測し、各データを合成する方法とした（図-7）。

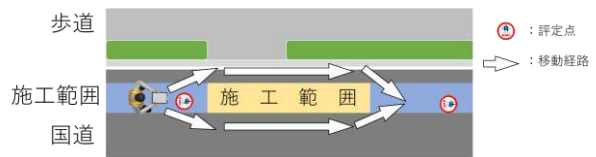


図-7 計測の概要図

評定点は、道路規制の広さや、他の作業への影響を考慮し、トータルステーションにて座標を付与することが困難であることから、衛星測位システム（GNSS）を用いて座標を取得する対空標識を用いた。

現場は夜間施工のため、LiDAR機能の特性上、取得されるデータの精度は計測面の照度に影響することから、事前に照度の確認を行い、80~100Luxを確保できるように投光器等を配備した（図-8）。



図-8 現場と計測の状況

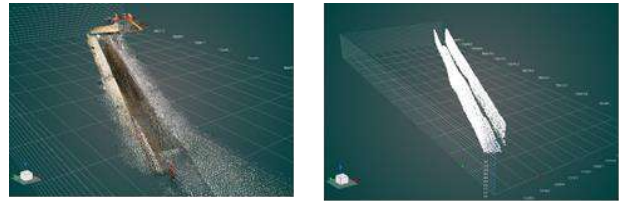


図-10 LiDARで取得したデータ (左)  
アルゴリズムにより自動で抽出されたデータ (右)

#### 4. 結果と考察

##### (1) 計測に要する時間について

計測は、歩行により行うため、作業に要する時間は30mの区間において、片側30秒程度であった。また、取得したデータはアプリ上で即時に確認することができることから、未取得の範囲をその場で確認することができるため、手戻りの時間を最小限にすることができた。

計測は、必要とされる範囲のみを計測できることから、取得された点群データの容量は5MB程度であり、一つの取得データをクラウドにアップロードするまでに要する時間は2~3分程度であった。計測からデータの保存までは、準備時間を含めても5分以内で行えることから、次工程への影響は少ないと考えられる。しかし、評定点の設置箇所は、車両の通行や、作業の妨げにならない箇所を選定する必要がある。

##### (2) Civil3Dによるデータ処理

計測したデータの拡張子を変換後、Civil 3D上でデータを読み込み、事前に作成した設計BIM/CIMモデルと重畳させる(図-9)。これにより、工事の進捗が目視で把握できるほか、設計通りの施工されているかを確認することが可能であった。

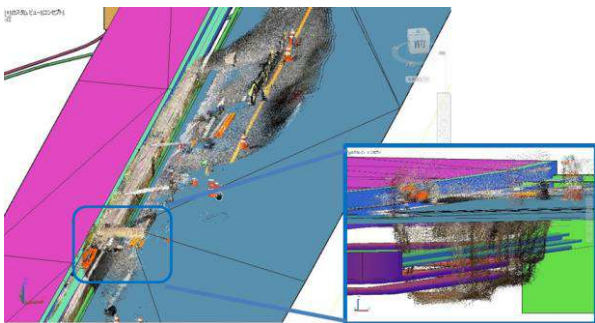


図-9 BIM/CIMモデルとの重畳表示

施工数量は、LiDARで取得された点群データと、アルゴリズムを用いて自動で実績を抽出した点群データを活用した(図-10)。LiDARで取得された点群データについては、施工の起点部と終点部をCivil3Dの画面上で選択する。選択した2点間の距離を施工実績として抽出する(図-11)。

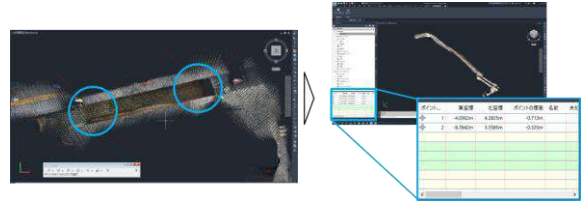


図-11 施工実績の抽出

抽出された施工実績は、プラグインを読み込み出力される工程表に反映されることで工事の進捗管理を行うことが可能となる(図-12)。また、工程表には進捗率や施工予定なども追記できるため、施工の遅れや、工程調整の検討資料としても活用も可能である(図-13)。



図-12 Civil 3Dへのプラグインの読み込み

	3													
	3/14	3/15	3/16	3/17	3/18	3/19	3/20	3/21	3/22	3/23	3/24	3/25	3/	
緑字: 予定														
赤字: 実績	0.00	10.1	19.2	23.3	32.5	38.4	52.4	48.8	60.0					
	10	25	30	40	50	60	70	80	90	100				
	17.9	31.3	42.6	54.8										

図-13 工程表に反映された実績の数値(延長)

##### (3) 出来形評価によるデータの検証

今回の試行で取得した掘削面の計測データについて、LiDARで取得した場合と、自動で抽出した場合とで出来形評価を行った(図-14)。出来形評価項目は標高較差で、規格値はICT土工の規格を採用した。面的に評価した結果は、表-1の通りどちらも規格を満足したことから、ICT土工への適用も可能であると考えられる。

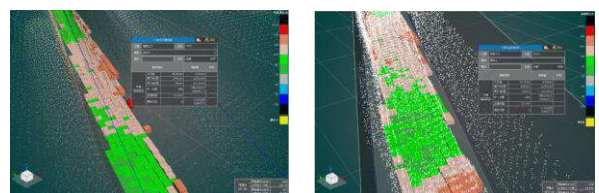


図-14 評価結果(左: LiDAR, 右: アルゴリズム)

表-1 出来形評価の結果

		LiDAR (mm)	解析アルゴリズム (mm)	規格値 (mm)
平場 標高較差	平均値	48.4	43.7	±50
	最大値(差)	149	125	±150
	最小値(差)	-34	-20	±150

#### (4) 遠隔臨場への適用

本システムは、モバイル端末を使用するため、オンラインで遠隔地との画面共有を可能とした。撮影することで、施工状況の把握、掘削深さ、掘削幅の確認などを遠隔臨場で行うことが可能であった。

#### (5) その他の有効的な活用方法

##### a) 埋設物の施工のエビデンスとしての利用

埋設物の施工時を、工種ごとに計測することで、施工のエビデンス情報とすることが可能である(図-15)。埋設物の位置は座標によって記録されることから、地中の埋め戻し後も正確に埋設位置を確認することができる。

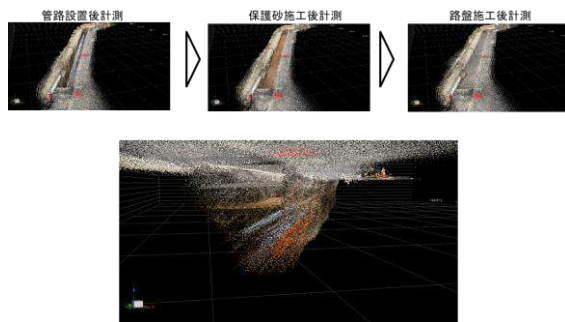


図-15 埋設物のエビデンスデータ

##### b) 災害時の状況把握への活用

本システムは、撮影することで簡単に計測できることから、災害時の状況把握や崩土の土量把握などへの活用も可能と考えられる(図-16)。

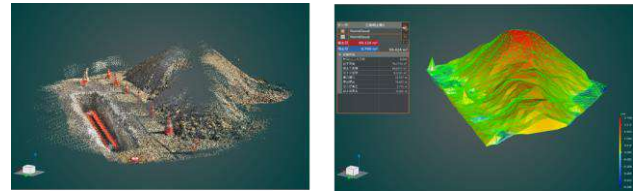


図-16 災害時を想定した土量の算出

## 5. まとめ

電線共同溝工事の試行により、本システムの小規模土工においては、区間やブロック分け、工種別にすることで、活用の有効性を確認することができた。今後は、さらに利便性のある機能の追加、ハード面の開発等を進めていきたい。

**謝辞：**最後に、本試行のために現場環境をご提供していただいた近畿地方整備局和歌山河川国道事務所関係者の皆様に、御礼を申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省, 3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案), 2022.3

(2022.?. 受付)

## TRIAL OF PROGRESS OF CONSTRUCTION MANAGEMENT SYSTEM USING MOBIL DEVICE AT UTILITY TUNNEL

Satoshi NAKAI, Syotaro KOBAYASHI,  
Tsukasa MIZUTANI, Toshihiro YAMADA, Yuichi SOMIYA, Naoki IKEDA

Construction using information and communication technology promoted by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism is becoming widespread in medium-sized and larger construction, but the spread of small-scale construction is an issue from the viewpoint of utilization of 3D data and costs. It is. In particular, in small-scale earthwork, it is necessary to acquire data by simple measurement due to the characteristics of construction, and it is also necessary to consider the utilization of data in the utilization construction of the BIM / CIM model that will start in 2023.

This paper summarizes the results of simple data acquisition using a mobile terminal for the purpose of utilizing small-scale construction, and the development and trial results of a system that enables progress management of construction by superimposing the acquired data on a BIM / CIM model.

# 既存道路構造物の簡易な3次元点群データ計測方法に関する研究

郭 栄珠<sup>1</sup>・西村 徹<sup>1</sup>

<sup>1</sup>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: kwak-y92rw@mlit.go.jp nishimura-t92ta@mlit.go.jp

<sup>1</sup>Member of JSCE, National Institute for Land and Infrastructure Management (NILIM), Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT).

国土交通省では、建設生産プロセス全体での生産性向上を実現するため、3次元データ及び3次元モデルを用いて各工程の建設情報を生成・管理する BIM/CIMを導入し、BIM/CIM要素技術の開発、普及および活用に取り組んでいる。本研究では、効果的なインフラ維持管理への活用に向けて、既存道路構造物を対象に3次元点群データの計測方法の調査・比較検討結果を紹介する。本検討の結果、簡易かつ迅速に現場計測が可能な遠隔計測手法の特徴と課題を明らかにした。

**Key Words :** *infrastructure maintenance, 3-Dimension model, BIM/CIM*

## 1. はじめに

国土交通省では、建設生産プロセス全体での生産性向上を実現するため、3次元データ及び3次元モデルを用いて各工程の建設情報を生成・管理する Building/Construction Information Modeling, Management (以下、「BIM/CIM」という。)を導入し、BIM/CIM要素技術の開発、普及および活用に取り組んでいる<sup>1)</sup>。

国土技術政策総合研究所(以下、「国総研」という。)では、BIM/CIMを活用したインフラの建設及び戦略的な維持管理・更新の効率化を目指した取り組みについて基準類の整備や技術的な検討を行っている<sup>2)</sup>。インフラの維持管理で必要となる3次元データ(点群データを含む)をはじめ、3次元モデルを基盤とし点検結果等の属性情報を記録する一元管理・統合管理システムの新たな取り組みを検討してきた<sup>3)</sup>。

インフラの老朽化対策及び長寿命化対策を含む維持管理現場でのニーズに対応するために、現場計測から迅速に既存構造物の3次元モデル化を実施できるBIM/CIMの一連プロセスを提供可能な要素技術の開発が必要である。

### (1) 道路インフラ維持管理のニーズ

国管理の道路施設(道路橋梁、道路トンネル、大型カルバート、道路土工構造物、歩道橋、舗装、付属物)は

定期点検要領(平成31年2月、国土交通省 道路局)等に則って管理されている。

本研究では、道路管理者が定期点検調書に記録している情報をもとに、新技術によって業務効率化が期待されるインフラ維持管理でのBIM/CIMに反映するため、以下の道路管理者のニーズに対するメリットが大きい新技術を検討した。

- (a) 導入及び運用時の負担
- (b) データの後続利用

### (2) 研究の目的

国総研の過年度研究では、橋梁の3次元モデルを用いて点検結果を管理する場合、主部材単位または点検項目に則った最小単位(橋梁では横桁単位)で3次元モデルを分割し、点検結果と紐付ける方法を検討した<sup>3)</sup>。本研究は、3次元モデル作成の基となる点群データについて、設計図や完成図等の図面がない既存道路構造物を対象に、遠隔計測技術のうち無人航空機を活用して、遠隔計測が困難な現場(橋梁の桁下等)でも迅速な計測が可能な手法を検討した。その結果、簡易かつ迅速に現場計測が可能な遠隔計測手法の特徴課題を明らかにすることを目的としている。

2. 既存道路構造物の計測対象

計測対象は、表-1に示したように国道20号上にある鋼鈹桁橋を選定した。橋長は約120m，3径間，幅員約12.5mの斜橋の道路橋である。図-1に示すように，安全確保のため道路・歩道上空は飛行しない飛行ルートを選定したうえ，4つの角度(地面に対して0°，30°，60°，90°)から空撮・計測を行った。橋梁部の位置精度評価を行うため標定点を橋梁上面に10ヶ所設置した。

表-1 計測対象

橋梁名	笹子川橋(国道20号)
所在地	山梨県大月市笹子町 KP105km
緯度・経度	北緯: 35° 36' 16.9992" 東経: 138° 49' 57.0000"
平面直角座標系	8系(X: -43802.9293, Y: 30125.3593) Xが緯度方向(南北 マイナスは南), Yが経度方向(東西)
橋長・橋幅	橋長: 120.5m 3径間, 橋幅: 約 12.5m
管理者名	関東地方整備局
管理事務所名	甲府河川国道事務所
架設年度	1980
形式	鋼鈹桁橋

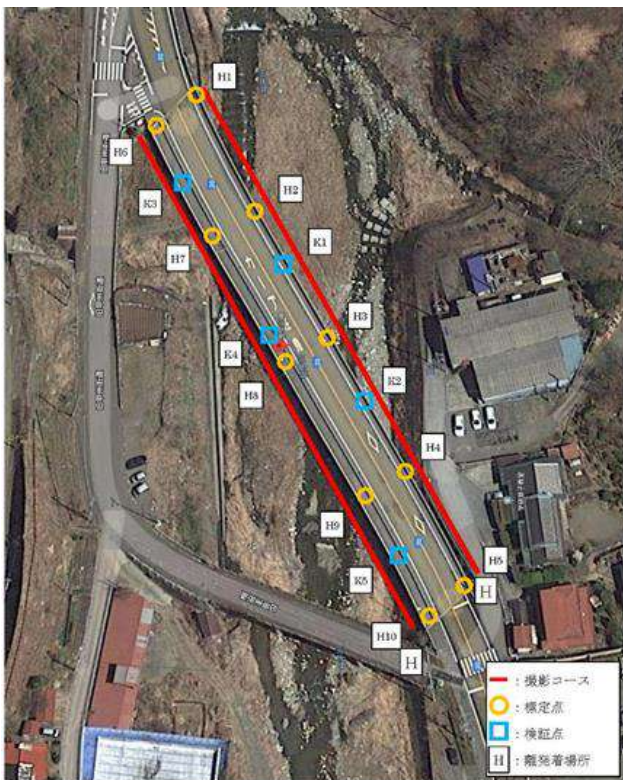


図-1 笹子川橋の飛行計画の概略図

3. 既存道路構造物の遠隔計測方法

現地計測は，「UAVを用いた公共測量マニュアル」<sup>4)</sup>「無人航空機搭載型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領(土工編)」<sup>5)</sup>に準じて計測を行った。

(1) 無人航空機搭載型デジタルカメラによる遠隔計測

安価で空撮が可能な手法の観点から，従来の無人航空機(Unmanned Aerial Vehicle: UAV)によるデジタルカメラ搭載型計測システムを採択した。表-2に，本研究で使用したデジタルカメラAPS-Cの計測機器の仕様を示す。

表-2 DJI INSPIRE2機体に搭載されたデジタルカメラの仕様

センサー	APS-C 有効画素数: 24MP
レンズ	視野角: 83°，16 mm/24 mm (35 mm 判換算)，f2.8~f16 オートフォーカス(1m~∞)
動画 最大ビットレート	100Mbps

(2) 無人航空機搭載型LiDARによる遠隔計測

新技術を評価する観点から，位置情報GNSSが受信できない現場(橋梁の桁下等)等でも計測可能な無人航空機-3次元LiDAR計測システムによる計測を試行した(以下，「UAV-LiDAR Zenmuse L1」という)。

UAV-LiDAR Zenmuse L1 (Livox社)は，デジタルカメラも搭載して物体の色を検出しつつLiDARと組み合わせて色付き点群データを直接取得できる3次元高精度計測機器である。表-3に，本研究で新たに採用したUAV-LiDAR Zenmuse L1の計測機器の詳細な仕様を示す。

表-3 DJI INSPIRE2機体に搭載されたZenmuse L1の仕様

測定距離	450m @反射率 80%, 0klx 190m @反射率 10%, 100klx
点数	シングルリターン: 最大 240,000 ポイント/秒 マルチリターン: 最大 480,000 ポイント/秒
システム精度	水平: 10 cm @ 50m 垂直: 5 cm @ 50m
レンジ精度	3 cm @ 100 m
FOV	非反復走査: 70.4° 水平 × 77.2° 垂直 反復走査: 70.4° 水平 × 4.5° 垂直



(3) 車載写真レーザ測量システムによる遠隔計測

多様なBIM/CIMの3次元データとの整合性を確認し，標定点を使わずに計測精度を確保する観点から，車載写真レーザ測量システム(Mobile Mapping System車両に各種のセンサーを取り付け，移動しながら情報を収集するシステム(以下，「MMS」という))による道路計測データを使用した。国土交通省が保有しているMMSで計測した点群データはLAS形式のポイントファイルであり，対象範囲の容量は19.2MBと565,884点群数である。

#### 4. 維持管理現場への活用に向けた3次元点群データの生成

デジタルカメラAPS-CとUAV-LiDAR Zenmuse L1で計測した点群データ（LAS形式）を生成し、それぞれ橋梁部の位置精度を国土交通省が保有しているMMSで計測した点群データを用いて道路・橋梁部位置の基準として比較評価した。

##### (1) 点群データの計測精度の比較

検証点の誤差は、標定点の位置座標差の補正後には全てXY平面座標較差±0.2m、Z標高差±0.3mの許容値内であり、インフラ維持管理に活用可能であることが確認できた。図-2と図-3はそれぞれ計測・変換した3次元点群データの位置精度を比較した一覧表である。

- (a) デジタルカメラAPS-C計測：撮影した写真からSfM処理で生成した3次元点群データ（容量：1.8GB）とMMSで計測した3次元点群データの評定点10箇所の位置を比較し精度確認を行った。検証位置は、橋梁の両側と中心の3箇所とし、橋梁断面から水平方向と高さ方向について検証を行った。
- (b) UAV-LiDAR Zenmuse L1計測：生成した3次元点群データ（容量：0.55GB）とMMSで計測した3次元点群データを上記(a)と同様に評定点位置を比較し精度確認を行った。

##### (2) 橋梁部の切り出し

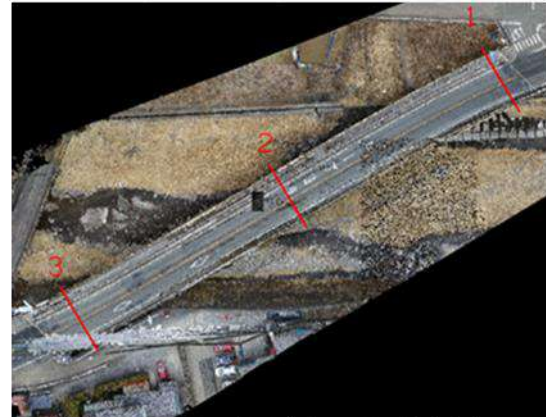
自動分類が困難な主部材単位または点検項目に則った最小単位から維持管理で活用可能な3次元モデルを作成するため、橋梁部の点群データを上部構造（道路面及び桁、容量：110MB）と下部構造（橋脚、容量：10MB）に切り出して点群データの主部材の特徴が参照できるよう分割を行った（図-3）。しかし、計測が一部分できなかった下部構造（橋脚）は手動で補完しつつ完成度を向上させた。

##### (3) 維持管理現場への活用に向けた3次元データ計測の課題

上記の精度比較を踏まえ、今回更新した3次元形状計測の現場適用性及び3次元点群データの計測精度を向上するための課題を以下に示す。

- (a) デジタルカメラAPS-C計測：SfM処理を行う際に写真上の明瞭な位置で手動でタイポイントを作成しズレを解消したが長時間の作業が生じた。ズレを軽減する対策は橋の側面にも標定点を設置、又、設置できない時は明瞭な位置をあらかじめ選定す

標定点	dx (m)	dy (m)	dz (m)
H1	0.012	0.002	0.029
H2	-0.010	-0.008	-0.030
H3	-0.005	0.001	-0.006
H4	-0.017	-0.008	0.006
H5	-0.004	0.011	0.022
H6	0.002	0.008	0.004
H7	-0.003	-0.001	-0.025
H8	-0.013	0.010	-0.014
H9	-0.017	-0.004	0.010
H10	-0.007	0.012	0.022



測線番号	水平 (m)	高さ(m)
1	0.041	0.086
2	0.030	0.077
3	0.056	0.042

図-2 デジタルカメラ APS-C計測から SfMより生成した点群データ及び精度比較（L=120.5m, W=12.5m）

標定点	dx (m)	dy (m)	dz (m)
H1	-0.005	-0.002	-0.052
H2	0.009	-0.01	0.044
H3	-0.003	0.009	0.032
H4	-0.006	0.008	0.008
H5	-0.006	-0.003	-0.014
H6	-0.007	-0.002	-0.069
H7	-0.002	-0.009	-0.005
H8	-0.013	0.016	-0.011
H9	-0.009	0.003	-0.029
H10	-0.006	-0.002	-0.030

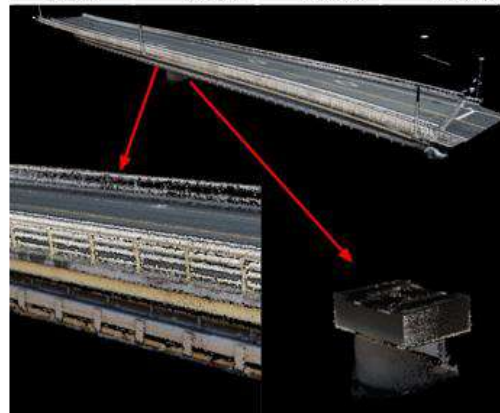


図-3 UAV-LiDAR Zenmuse L1 計測から生成した点群データ及び精度比較（上部構造と下部構造の分割例）

るなど標定点の配置や橋梁との撮影距離について注意する必要がある。

- (b) UAV-LiDAR Zenmuse L1計測：植生が障害物となり、LiDARによる計測が困難であったことや、LiDARセンサーの角度が固定されていることによって、上部構造の下面の複雑な部分や橋脚の一部の計測ができなかった。

#### (4) 3次元維持管理データ作成に向けた適用性

一般的な3次元設計データや3次元モデルの活用にあたっては、2次元図面（設計図書）等からソリッドモデルで立体の形状を表現する方法と、遠隔センサー等を用いた現場計測等の成果を用いる方法で3次元形状を作成する必要がある。

本研究では、点検記録を付与可能な既存構造物の3次元データを効率的かつ簡便に作成する観点から、基となる点群データの維持管理現場での活用性・適用性を検討した。既存技術と比べて汎用的かつ効果の高い遠隔計測の手法を用いてBIM/CIMへの活用と適用性を具体化した。UAV-LiDAR Zenmuse L1計測による点群データは、標定点が無くても基準となる既存のBIM/CIMデータ（MMSで計測した点群データ等）を活用することで、点群データのマッチング・合成によって位置精度（平面座標較差10cm）を向上できることを確認した。図-4に示すように、点群データの合成や重ね合わせることによって、定期点検時に写真や2次元図面等の点検結果を作成するのではなく、合成した点群データに直接に記録・修正するなどBIM/CIMでの活用が期待できる。



図-4 MMSとZenmuse L1で計測した点群データの合成・重ね合わせ

## 5. まとめ

BIM/CIMの施工管理段階において、UAV-LiDARを用いた出来形管理や成果品の品質確認は検討しているが、インフラ維持管理段階においてUAV-LiDAR等を用いた遠隔計測手法の検討はまだ不十分である。その一環として、取得した点群データの利活用による効果的なインフラ維持管理への活用に向けて、既存道路構造物を対象に標定点を使わずに計測精度を確保可能な3次元点群データの計測方法を比較検討した。

本検討を踏まえ、今後の課題としてLiDARによる計測が困難な場面と、上部構造の下面の複雑な部分や下部構造（橋脚）の狭い空間等のUAV-LiDAR等による計測が一部分できない場面については引き続き計測方法やデータ補完方法を検討する必要がある。

### 参考文献

- 1) 国土交通省大臣官房技術調査課：CIM 導入ガイドライン（案）第1編 共通編，2020
- 2) 川野浩平，青山憲明，寺口敏生，関谷浩孝：維持管理段階に適した CIM モデルの情報連携プラットフォームの開発，土木学会論文集 F3S（土木情報学），土木学会，Vol.73, No.2, pp.134-140, 2018.
- 3) 郭 栄珠，井上 直，池田 裕二，SLAM技術による既存構造物の簡易な3次元モデル作成方法に関する研究，第2回i-Constructionの推進に関するシンポジウム I-5-5, 2020.
- 4) 国土交通省 国土地理院，UAV を用いた公共測量マニュアル(案) 平成29年3月31日改正
- 5) 国土交通省，無人航空機搭載型レーザー scanner を用いた出来形管理要領（土工編）（案），令和4年3月改正

(2022.5. 受付)

## RESEARCH ON A EFFICIENT MEASUREMENT METHOD OF 3D POINT CLOUD DATA FOR ROAD INFRASTRUCTURES

Young-Joo KWAK and Toru NISHIMURA

In this study, the results of a comparative measurement methods were introduced on 3D point cloud data for effective road-infrastructure maintenance. As a result of this study, we clarified the characteristics and challenges of the remote measurement method that enables simple and quick on-site measurement.

# 画像計測による鉄筋配置に関する 検査手法の確立に向けた取り組み

近藤 隆行<sup>1</sup>・市村 靖光<sup>2</sup>・長谷川 雄一<sup>3</sup>

<sup>1</sup>非会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所（〒305-0804 茨城県つくば市旭町1番地）  
E-mail:kondou-t8312@mlit.go.jp

<sup>2</sup>E-mail:ichimura-y92pi@mlit.go.jp

<sup>3</sup>国土交通省 大臣官房技術調査課（〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3）  
E-mail:hasegawa-y2js@mlit.go.jp

土木工事のコンクリート工の生産性向上を目的として、鉄筋コンクリート構造物の施工時に行う段階確認を画像計測で代替する技術が複数の民間企業により開発されつつある。本稿は、この技術の運用に向け、有用性や課題等を整理するため、16の実工事を対象に、画像計測と従来手法との計測誤差、画像計測による生産性向上の効果及び画像計測技術の運用上の課題等について調査を行った結果を報告する。

**Key Words :** reinforcement inspection, image measurement, productivity improvement

## 1. はじめに

国土交通省では産学官連携によるi-Constructionの取り組みを進め、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指しており、土木工事のコンクリート工においても、設計・施工等に係る様々な段階での生産性向上策が検討されている。

この一環として、鉄筋組み立てが仕様どおりに行われているか、具体的には配筋間隔、鉄筋径、かぶり厚、継ぎ手長等が設計通りの仕様になっているかを受発注者で確認する段階確認での活用を想定して、画像計測により鉄筋配置等を計測する技術（以下、「画像計測技術」という。）（写真）が複数の民間企業により開発されており、それぞれ建設業者、計測機器メーカー等でコンソーシアムを構成し、研究開発を進めている。段階確認については、工事受注者から「配筋検査での事前準備（発注者が計測するための鉄筋へのマーカー設置、調書作成等）や発注者が計測している状況の写真撮影等で多大な手間と時間を要している」という意見が根強く、これらの効率化が求められている。このため、国土交通省の直轄工事で、画像計測技術を従来手法の代替として使用できるように、実施方法等を定めたガイドラインを作成することを目的に調査・検討を行っており、本報では、令和3年度に実施した試行工事の結果について報告する。

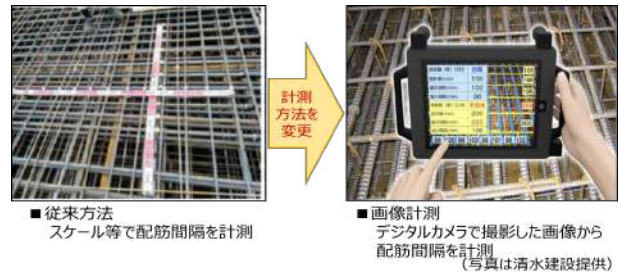


写真 従来方法と画像計測の比較

## 2. 試行工事の概要

試行工事は、図-1に工種別内訳を示す全国の16の国土交通省発注工事で実施した。いずれも、鉄筋コンクリート構造物（場所打ち）の鉄筋工の施工途中段階において、段階確認、立会又は技術検査を行う工種であり、いわゆる遠隔臨場が可能な通信環境を有する工事である。

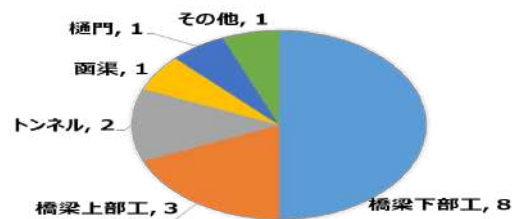


図-1 試行工事の工種別内訳



試行に先立ち、「デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測に関する試行要領(案)」を作成し、計測方法等の統一を図り、以下a)~d)の調査を行った。

- a) 配筋間隔の試験計測：画像計測とスケール等による実測を行い、較差を評価した。なお、国土交通省出来形管理基準及び規格値(案)では、設計値との施工誤差の許容値について、一般構造物は10スパン程度の平均値で鉄筋径以内、床版工は20mm以内と定めており、本試行での目標値としてそれぞれ、鉄筋径の30%以内、5mmと設定した。
- b) 鉄筋径：画像判定と実確認を行った。なお、各研究コンソーシアムが開発した技術では、かぶり厚等の計測についても開発が行われているが、本試行では、これまでの実験等で一定の精度が確認できている配筋間隔を必須計測項目とし、鉄筋径等は任意計測項目としている。
- c) 生産性向上効果：従来計測と画像計測それぞれに要した時間と人工を計測し、比較した。
- d) アンケート調査：試行工事の発注者、受注者、画像計測技術開発者を対象に本技術の有用性や課題を把握した。

### 3. 試行工事での計測結果

試行工事の結果について、以下、項目別に示す。

#### a) 計測較差及び施工誤差

従来計測を真値とみなし画像計測との較差について、図-2に一般構造物分(許容値±鉄筋径φ)を、図-3に床版工分(許容値±20mm)を、それぞれの許容値の単位に整理して示す。いずれもおおよそ正規分布形をしているが、標準偏差については、一般構造物では直径の10%(基準上の許容施工誤差の10%)、床版は2mm(基準上の許容施工誤差の10%)であったが、分布としてはそれぞれ計測目標値範囲いっぱい広がっている。

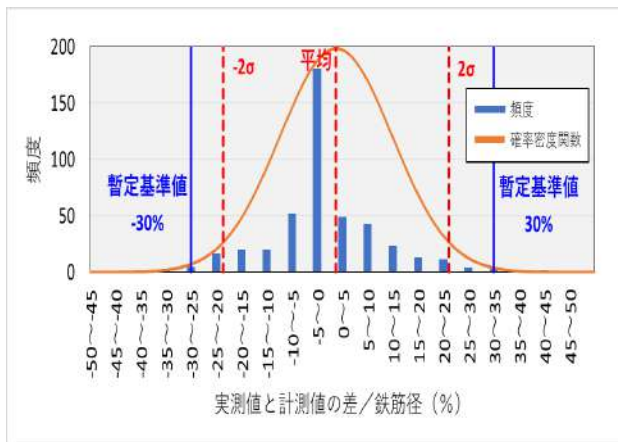


図-2 配筋間隔の計測較差(一般構造物)

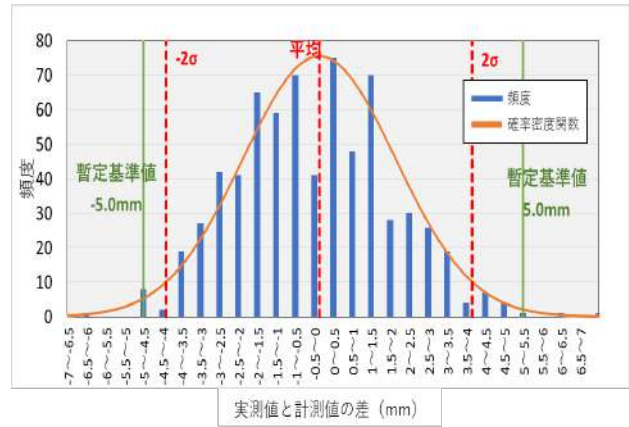


図-3 配筋間隔の計測較差(床版工)

計測較差が大きくなっている計測の要因を考察するため、①鉄筋径別(図-4)、②使用技術別(図-5)、③計測時の光の状態別(図-6)に分けて、箱ひげ図として整理した。いずれも、ばらつきが際だって大きい要因は見当たらない。鉄筋径別では比較的太めの鉄筋で分布が集中している傾向に、使用技術によりばらつきに若干差がある傾向に、光の状態としては日差しが強い場合にばらつきが小さくなる傾向にあることが確認できる。ただし、サンプル数に違いがあることから、引き続き検証が必要であるものと思われる。

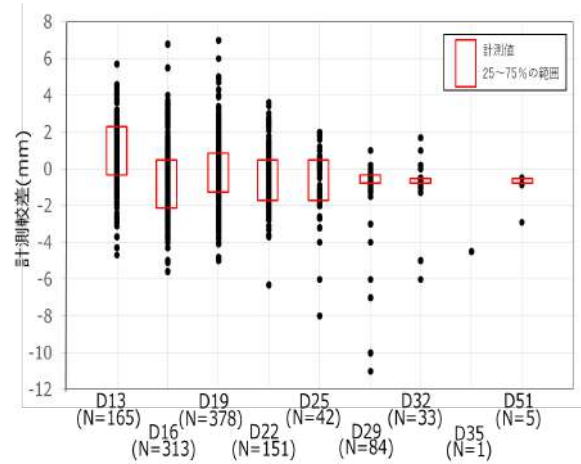


図-4 鉄筋径別の計測較差

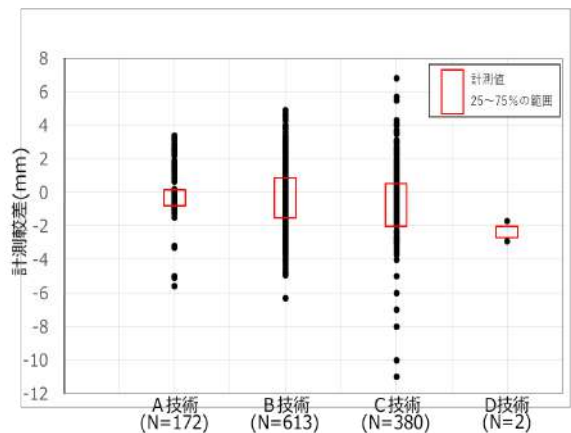


図-5 使用技術別の計測較差

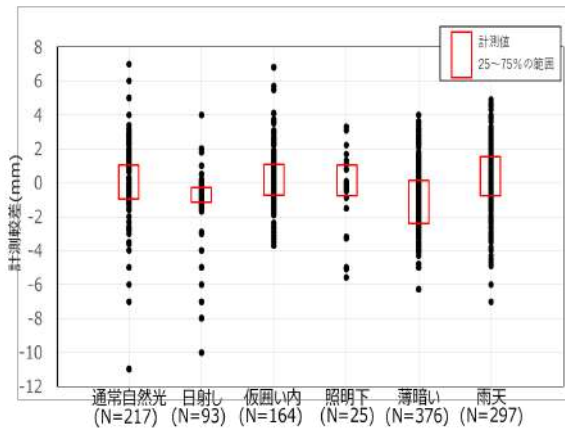


図-6 光の状態別の計測較差

次に、これらの計測較差について、従来のスケール計測を真値と仮定して計測誤差であると見なした場合、計測誤差が許容値の判断にどのように影響を与えるかについて考察する。

設計値とスケールによる計測値の差を「施工誤差」と定義し、一般構造物を図-7に、床版を図-8に整理して示す。本試行工事においては、一般構造物の標準偏差は11%であり許容値である鉄筋直径の±100%よりはるかに狭い±15%の範囲におよそ分布している。また、床版については、標準偏差は7.6mmで分布は許容値である±20mmより狭い±15mmの範囲におおよそ収まっている。なお、床版についての一部の計測については、許容値を超えるものが存在するが、重ね継手の配置の都合上、設計値との差が生じてしまうため、受発注者間で確認・協議して品質への影響がないことを確認した旨の但し書きが記載されていた。仮に、前述した標準偏差の計測誤差が生じると仮定すると、本試行工事に関しては、一般構造物については許容値の判定に全く影響はないが、許容値が厳しい床版については、わずかではあるが判定がかわる可能性がある。今後、検証データを増やし、現計測技術との生起確率も考慮して検討を重ねる必要がある。

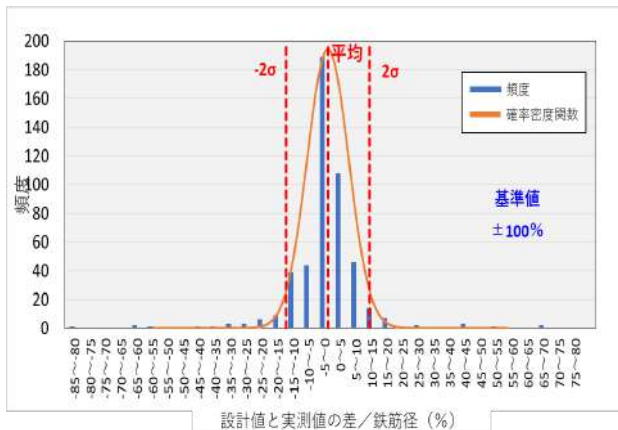


図-7 配筋間隔の施工誤差（一般構造物）

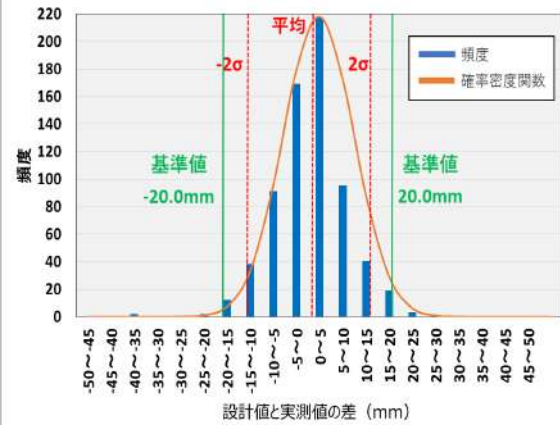


図-8 配筋間隔の施工誤差（床版工）

なお、計測較差と施工誤差の相関関係については、図-9に示すとおり、両者に相関関係はなく、独立して発生することを確認している。

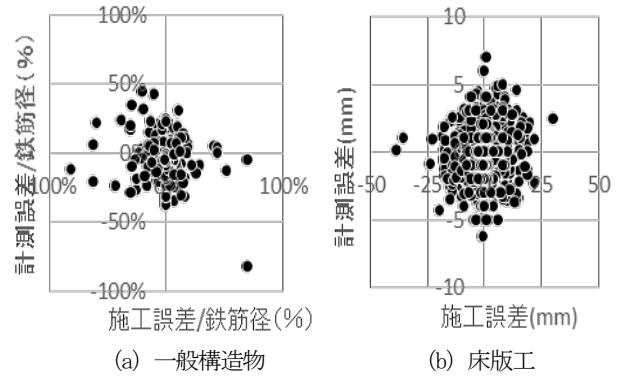


図-9 計測較差と施工誤差の関係

b) 鉄筋径の判定結果

鉄筋径の判定正解率を使用技術別に図-10に示す。こちらについては、使用技術により判定正解率に差があることがわかった。ただし、サンプル数に差があることや計測対象とした鉄筋径に偏りがあることから、引き続き検証が必要である。

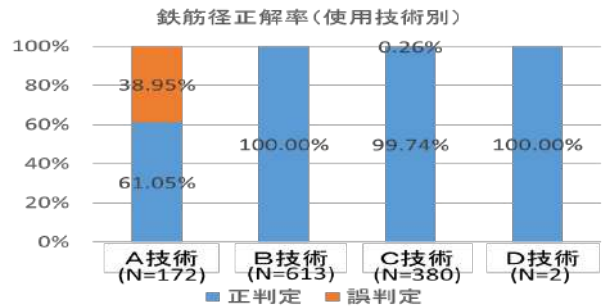


図-10 鉄筋径判定正解率（使用技術別）

c) 生産性向上効果

従来方法と画像計測のそれぞれの計測作業に要した延べ人工を比較し、生産性向上効果の程度を確認した。

試行工事全16工事で、従来方法に比べて作業量が削減できており、生産性が向上していることが確認できた。構造物別に結果の一例を図-11に示す。樋門新設等工事では36%の削減となったほか、橋梁下部工事とトンネル工事では効果が大きく、従来方法の約1/3の作業量で計測できる結果となった。例示した以外の試行工事についても概ね同程度の削減結果となっていた。

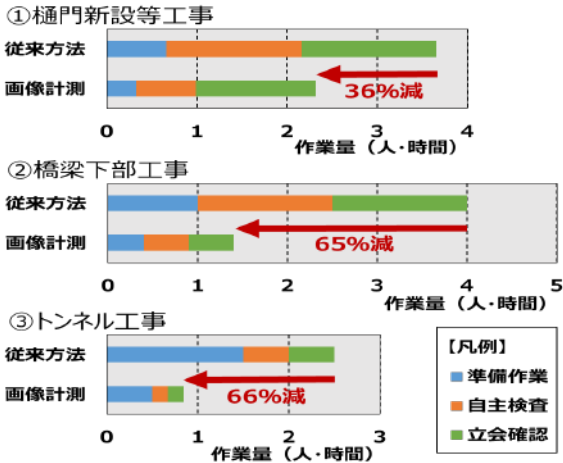


図-11 生産性向上評価 (作業量の比較)

d) アンケート調査結果

主な意見等について、表-1に示す。

表-1 アンケート調査結果

機能面の課題	計測範囲が狭い
	強い順光により鉄筋の認識に不具合
配筋間隔以外の状況	ラップ長等は画像上で手動読み取りが必要
	かぶり計測は狭い箇所が多く画像撮影が困難 かぶり計測では計測治具の工夫が必要
データの信頼性	データ改ざん防止方法・基準が必要
	データ取り間違い防止の対応が必要
遠隔臨場	信憑性証明のため目盛り付きスケールで表示など工夫が必要
生産性向上	省人化・省力化が図れる
	1人での計測作業が可能
波及効果	計測作業軽減により安全性が向上
	人工、時間の削減により休暇取得が増加

アンケート結果から、本技術により生産性向上や働き方改革につながるということが確認できた一方で、ユーザーからの期待が大きいかぶり厚の計測については、現手法では困難や計測治具の工夫が必要という意見、計測データの取り違いや改ざん防止が必要であるとの課題が把握できた。

4. まとめ

今回の試行工事により、計測作業の大幅削減による生産性向上効果は十分に得られることが確認できた。一方で、現場条件により配筋間隔の計測誤差が大きくなっていくこと、許容値の範囲が厳しい床版工の配筋間隔や鉄筋径では一定の誤判定リスクが存在すること、かぶり厚等の項目は現状では計測が難しい状況であることがわかった。

試行工事で把握した課題の解決や計測項目の追加について更なる検証を行うため、引き続き試行工事による検証を予定しており、配筋間隔以外の計測項目（鉄筋径、かぶり厚等）について、重点的に検証を行う予定である。

謝辞：試行工事でのデータ取得、並びにアンケート調査に御協力頂いた各地方整備局等、事務所、並びに各建設会社及び技術開発者の皆さまに、心より謝意を表します。

参考文献

- 国土交通省：デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測の試行要領（案），令和3年7月
- 市村靖光，鈴木宏幸，関健太郎：画像による配筋間隔計測技術の現場実装の試み，土木技術資料 Vol. 63 No. 6，2021年6月
- 吉武謙二，藤井彰，吉田直樹，有田真一：三眼カメラによる配筋の確認，土木技術資料 Vol. 63 No. 6，2021年6月

(2022. 5. 27 受付)

REINFORCING BAR PLACEMENT BY DIAGNOSTIC IMAGING EFFORTS TO ESTABLISH INSPECTION METHODS

Takayuki KONDOU, Yasumitsu ICHIMURA and Yuuichi HASEGAWA

For the purpose of improving the productivity of civil engineering concrete workers, a technique is being developed by several private companies to replace the stage confirmation performed at the time of construction of reinforced concrete structures with image measurement. In this paper, in order to sort out the usefulness and issues for the operation of this technology, the measurement error between image measurement and the conventional method, the effect of improving productivity by image measurement, and the image measurement technology are targeted for 16 actual works. We report the results of the investigation on the operational issues of.

# 再帰反射ターゲットマーカを活用した 高精度点群自動結合

山崎 文敬<sup>1</sup> 前田 幸祐<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社イクシス (〒212-0032神奈川県川崎市幸区新川崎7-7)

E-mail:yamasaki@ixs.co.jp

<sup>2</sup> 株式会社イクシス (〒212-0032神奈川県川崎市幸区新川崎7-7)

E-mail: maeda@ixs.co.jp

国土交通省が推進するi-ConstructionにおいてBIM/CIMの活用が進むなか、効率的に現場の地形測量や出来形計測、出来高算出を行う手法が求められてきており、またロボット等を活用した自動的なデータ収集も進み、地上型レーザスキャナ技術の活用が期待されている。本稿ではTLSで取得した点群の結合作業において、高精度に自動結合できる技術としてTLSのレーザー光の特性に着目し、ターゲットマーカを再帰反射材で作成することで容易に点群からターゲットマーカを検出しその中心点の検出でき、さらにIDを付与することで自動で点群を結合できるだけでなく、公共座標を付与することができる手法を提案する。

**Key Words :** BIM/CIM, TLS, Automatically combination the point clouds, Target marker

## 1. はじめに

国土交通省が推進するi-Construction<sup>1)</sup>は、今後生産年齢人口が減少していくなかで建設現場における生産性を向上させ魅力ある建設現場を目指すICTの全面的な活用の導入を目指しており、同省では2023年までに小規模を除く全ての公共工事にBIM/CIM<sup>2)</sup>を原則適用することを決定している。

i-Constructionの推進によって高効率、高精度に施工を実現することが可能となり、また施工管理データの連続的な取得により施工管理の観点から従来以上の品質管理が期待できる。施工管理者側の観点からも、施工管理データの取得によりトレーサビリティが確保され、データ管理の簡略化や、書類作成による負荷の低減にもつながると考えられる。

特に近年、トータルステーション(以下TS)だけでなく面的な広範囲の計測を可能とする地上型レーザスキャナ技術(以下TLS)などの利用が進み、地形測量だけでなく出来形計測や出来高算出なども実現できてきている。

TLSは面的に広範囲の計測を点群として取得し任意の位置間の距離を計測したり、過去の点群と比較することで出来高を確認するなどのメリットが多い一方、特定の計測ポイントを指定するのが困難であったり、取得データの計測密度のバラつきなどの留意点にも注意が必要である。

本稿では上記留意点を考慮し、高精度に特定の計測ポイントを指定できるターゲットマーカを使い、高精度に複数の点群を結合する手法を提案する。

## 2. 再帰反射素材を使用したターゲットマーカ

従来の地形測量や後方交会では、基準点上にターゲット(プリズム)を配置しTSを利用して測距している。

一方、TLSを利用して広範囲な3次元点群データを生成するにはエリア全体の点群を取得できるようにTLSを複数個所に設置し、それぞれの地点にて計測してオフラインで点群を合成する必要がある。この時結合する2つの点群内から共通の計測ポイントを複数点抽出し点群を結合する必要があるが、ターゲットマーカの中心点に必ずしもビームが当たるとは限らず近傍の点を選択せざるおえない。また複雑な点の集合体の中から1点を抽出する作業のため作業員の負担も多く時間もかかる。

そのため本研究開発ではTLSのレーザー光の特性とTLSの測距アルゴリズムを逆にとり、自動で点群内のターゲットマーカの中心点を検出する手法を開発した。

TLSは測定対象物にレーザー光線を照射し、レーザーが帰ってくるまでの時間を測定し距離に換算しつつ、同時に照射角度から対象物の座標値を算出することで、面的に広範囲の点群を取得できる。その際、図-1や図-2のようにターゲットマーカを再帰反射材にてパターンを形成すると、廃棄反射材部分への入射レーザー光と反射レ

レーザー光の位相が揃うためTLSでは正しく測距できず図3のようにエラーとなる。



図-1 再帰反射材を用いたターゲットマーカ

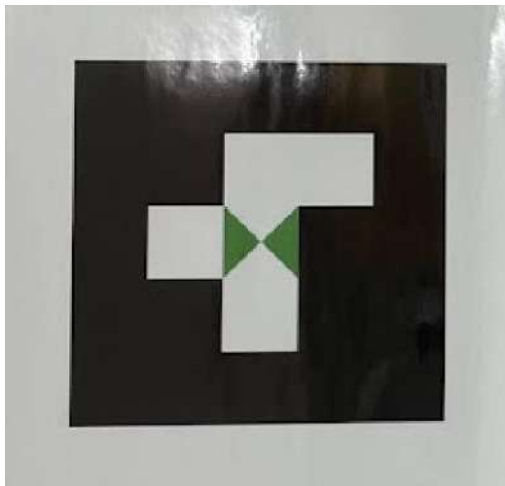


図-2 再帰反射材を用いたターゲットマーカ

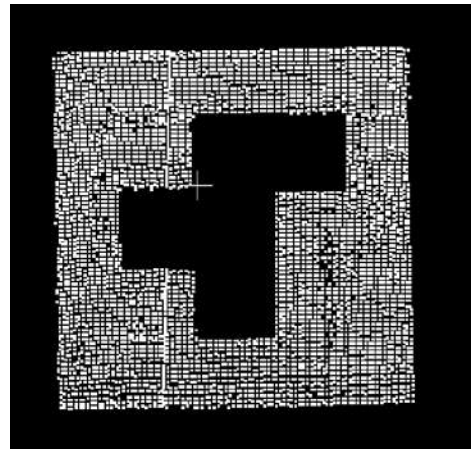


図-3 再帰反射材をTLSで計測した点群

このデータのエラーマップを作成することにより広範囲な点群データから容易にターゲットマーカを検出することが可能となる。

この時、再帰反射材の貼り付けパターンを組み替えることにより図4のように個別のターゲットIDを付与することも可能となる。

併せて再帰反射材でのパターン中央に高反射強度材での中心パターン（十字）等を埋め込むことでターゲットマーカ内のパターンを検出する点群が取得できる。この点の集合からハフ変換等を用いて2本の直線を検出しその交点を算出することにより、高精度にターゲットマーカの中心点を自動検出できる。

この手法により点群内に映り込んだ複数のターゲットマーカの中心点を求め、他方の点群の同じIDを持つ中心点とをマッチングすることにより自動的に点群同士を高精度に結合できる。

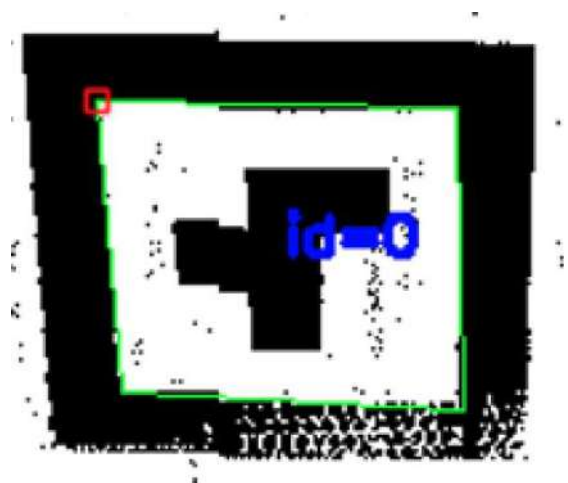


図4 再帰反射材の貼り付けパターンによるID付与

### 3. ターゲット中心位置精度検証

本研究開発では図-5に示すライカジオシステム社製 TLS RTC360<sup>3)</sup>を使用した。RTC360の緒言を表-1に示す。



図-5 ライカジオシステム社製TLS RTC360

表-1 ライカジオシステム社製TLS RTC360の緒言

寸法	120 x 240 x 230 [mm]
重量	5.35 [kg]
スキャン範囲	360° (水平)/300° (鉛直)
測定範囲	0.5 ~ 130 [m]
スキャンスピード	最大2,000,000点/秒
精度	測角精度 18” 距離精度 1.0mm + 10 ppm 3D 座標精度 1.9 mm @ 10 m 2.9 mm @ 20 m 5.3 mm @ 40 m
レンジノイズ	0.4 mm @ 10 m 0.5 mm @ 20 m

図-6のとおり施工現場で精度検証を実施する。実験は2つの点群を結合した際の各点の既知点座標が公共座標の差異を求める。

実験方法は既知点が写り込んでいる2つの点群を、一つの既知点を用いて結合し、もう一つの既知点の誤差を求め、かつ公共座標との誤差を算出する。



図-6 実証実験現場での様子

施工現場にて図-7に示すようにターゲットマーカおよびRTC360を設置する。

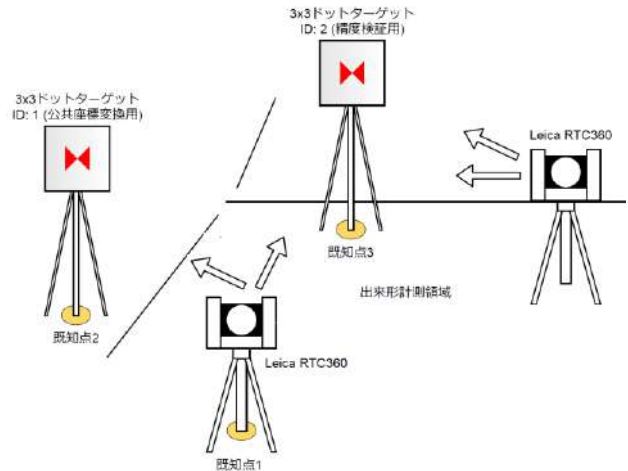


図-7 既知点設置したRTC360およびターゲットマーカ

既知点1にRTC360を設置して作動させ、ターゲットマーカID=1およびID=2が写り込むように点群Aを取得する。続いてターゲットマーカID=1およびID=2が写り込む任意の場所でRTC360を設置して作動させ、点群Bを取得する。

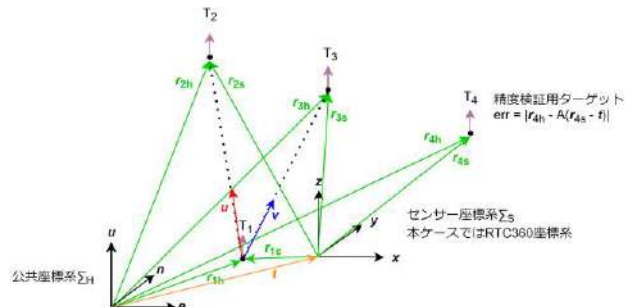


図-8 各点の座標計算方法

まず点群Aの座標系は既知点1と既知点2の公共座標を指定することで世界測地系となる。その上で点群Aと点群Bは最低一つのターゲットマーカで結合する。

結合後の点群において、ID=2のターゲットマーカの座標を算出し、既知点3の座標と当該公共座標との差異を算出する。

### 4. ターゲット中心位置精度検証

本手法により施工現場で取得した2つの点群の結合を実施した。その結果、開発したターゲットマーカがRTC360に正対していなかったことによる精度の低下や、若干の風の影響でターゲットマーカが動くなど、安定した計測が出来なかった理由などにより各軸80mm程度の誤差が出てしまった。

## 5. おわりに

本研究開発では面的な広範囲の計測を可能とするTLSの利用が進む中、地形測量だけでなく出来形計測や出来高算出などへも適用の可能性が増してきたため、従来のTSとプリズムを活用した地形測量や後方交会をTLSでも高精度に実現できる手法を検討し、複数の点群を自動結合し、各点の座標に公共座標を付与する手法を開発した。

本稿では、様々な要因により期待する精度を出すことができなかったが今後、現場での運用も含め、再度精度検証を行っていきたいと考えている。今後、本手法を確立することにより、例えばロボット等を活用した自動点群取得および点群自動結合など、一連の自動化システムへと発展させていきたいと考えている。

**謝辞**：本研究を実施するにあたり、東京大学大学院工学系研究科研究員の松下文哉氏に施工現場のご提供など多大なるご協力を頂きました。ここに深謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ, <https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/index.html>
- 2) 国土交通省ホームページ, [https://www.mlit.go.jp/tec/tec\\_tk\\_000037.html](https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000037.html)
- 3) ライカジオシステム社ホームページ, <https://leica-geosystems.com/ja-jp/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360>

(2022.5. 受付)

## High-Precision Point-Cloud Automatic Combination Utilizing the Retroreflective Target Marker

Fuminori YAMASAKI and Kosuke Maeda

As the use of BIM / CIM progresses in i-Construction, there is a requirement for a method for efficiency performing on-site topographic survey, intermediate measurements and volume calculations. In addition, automatic data collection using robots and TLS has started. In this paper, we propose a method that can automatically combine points acquired by TLS with high accuracy. With this technology, we propose a method that can detect a target marker from a point cloud and detect its center point, and can not only automatically combine the point clouds by assigning an ID, but also assign public coordinates.

# ハンドル型電動車いすを用いた 三次元路面計測手法の開発

幸谷 宥毅<sup>1</sup>・富山 和也<sup>2</sup>・山口 雄希<sup>3</sup>・森石 一志<sup>3</sup>

<sup>1</sup>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 番地)  
E-mail: yuki.kotani.research@gmail.com

<sup>2</sup>正会員 北見工業大学准教授 工学部社会環境系 (〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地)  
E-mail: tomiyama@mail.kitami-it.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 大林道路株式会社 技術部 (〒204-0011 東京都清瀬市下清戸 4-640)

現在、MaaSに関する取組みや道路交通関連法規の改正に代表されるように、利用者を中心とした歩行空間整備に対する重要性が高まっている。一方、歩行空間の路面評価は、目視や利用者からの通報による主観的な手法を除くと、車道で用いられている路面性状自動測定装置の適用が困難なため、効率的な調査技術が必要となっている。また、現在、地上型レーザースキャナ (TLS) を用いたICT舗装工の出来形管理は計測延長が長くなると盛り替え回数が多くなるため、誰もが簡単に計測できる計測手法の開発が必要となっている。本研究ではTLSとハンドル型電動車いすを組み合わせることで、歩行空間など自動車の進入が難しい場所や、舗装工事の出来形管理において適用可能な、効率的な三次元路面計測手法について開発を行った。

**Key Words :** road surface, pedestrian space, four-wheel mobility scooter, point cloud, ICT

## 1. はじめに

近年、「高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律（通称、バリアフリー法）」<sup>1)</sup>の改正や「Mobility as a Service（通称、MaaS）」に関する取組み<sup>2)</sup>、「道路法」<sup>3)</sup>の改正による歩行者利便増進道路制度の創設に代表されるように、誰もが安心して快適に利用できる歩行空間の整備がますます重要となっている。既往研究<sup>4)</sup>では、道路管理者へのヒアリング調査から地方都市においても「バリアフリーおよび防災の観点から歩道の路面性状調査を行いたい」との需要が確認されており、今後歩行空間整備における路面評価需要はさらに高まるものと予想される。一方、歩道を含めた歩行空間では、路面性状自動測定装置の適用が困難であり、目視や利用者からの通報による主観的な手法を除くと、車道で用いられている手法が流用できず、効果的かつ効率的な路面調査技術が必要となっている。

ここで、歩行空間では、道路標示により車両通行部がほぼ同一である車道と異なり、利用者が通行する場所は同一ではないため、車道と比較して歩行空間では三次元路面計測技術の重要性は高い。また、一般に車道の路面評価で多く用いられている国際ラフネス指数（以下、

IRI）は、路面凹凸に対する自動車の上下振動モデルに基づき算出されるため、歩行空間の路面評価では自動車と異なる歩行空間利用者に考慮した評価指標の開発も必要であるとも考えられる。

現在、i-Constructionにより「地上型レーザースキャナを用いた出来形管理の監督・検査要領（舗装工事編）」<sup>5)</sup>に代表されるように、地上型レーザースキャナ（Terrestrial Laser Scanner, 以下、「TLS」とする）をはじめとしたICT機器を用いた出来形管理が行われている。TLSは縦横断方向の計測が同時に行えることで出来形管理に必要な時間を短縮できる利点がある一方、計測延長が長くなると機種によっては重量のあるTLSの盛り替えが複数回必要になるという課題があり、更なる効率的な計測方法の開発が必要である。

以上の背景から本研究では、歩行空間など自動車の進入が困難な箇所における新たな路面調査手法や舗装工事の出来形管理における既存機器を組み合わせた効率的な計測手法の開発を目的に、歩道走行に特化したパーソナルモビリティの代表であるハンドル型電動車いす（以下、「電動車いす」とする）とTLSを組み合わせた三次元計測手法について検討を行う。

特に本研究では、TLSと全球測位衛星システム



(Global Navigation Satellite System, 以下, 「GNSS」とする)を組み合わせることで, 点群に地理座標を付与することができる三次元計測方法<sup>9)</sup>の活用について検討した。

## 2. 装置概要

先行研究<sup>8)</sup>においては電動車いす本体の傾斜がある箇所にボルトで平板を締め付ける構造をとったため, 完全に支柱を固定できず, 風やTLSの回転に起因する振動の影響により点群が波打つ現象が確認された。また, 先行研究での計測装置では, ハンドル後部にTLSを設置したため, 点群内にハンドルが写りこみ, 路面評価に利用できない箇所が多数みられていた。そこで, 本研究では上述の問題点を改善するために治具の改良を行った。新たに作成した治具は, 今後, 実道での走行や計測を考慮し, 「道路交通法施行規則」<sup>10)</sup>に準じ, ハンドル型電動車いすに取り付けた状態で, 長さ 1.2m, 幅 0.7m, 高さ 1.2m に収まるよう作製した。図-1 に示すように治具の構造は路面と水平状態で電動車いすに TLS およびリアルタイムキネマティック (以下, 「RTK」とする) 方式で高精度に位置情報を得ることが可能な GNSS 受信機 (iシステムリサーチ製) の器具を搭載し, TLS の機械中心から左右に各 0.25m 離れた箇所に GNSS の移動局アンテナを設置した。図-2 に示すように移動局アンテナは足元に設置した Rover で制御されている。また, 予め, 敷地内に設けた基準点上に図-3 に示すように固定局を設置した。なお, 北海道北見市で実施した事前試験において, 固定局から約 15km 離れた箇所においても RTK-GNSS の Fix 解が得られていることを確認している。



図-1 装置概要



図-2 Rover



図-3 固定局

## 3. 試験ヤード

計測は図-4に示す全長32m, 幅4mの試験ヤードで実施した。試験ヤードは, 図-4に示すように表層に土系の材料を使用した舗装を2種類施工し, そのうち1種類を長さ20m (以下, 土系舗装1), もう1種類を4m (以下, 土系舗装2) とした。また比較舗装として, 表層に密粒度アスファルト混合物を使用した舗装 (以下, 密粒度舗装) を8m施工した。試験ヤードには予め中央には1本の全長32mの測線を設け, マルチロードプロファイラ (Multi Road Profiler, 以下, 「MRP」とする) を用いて, 路面プロファイルを計測した。路面プロファイルのサンプリング間隔は0.1 mとした。

## 4. 測定方法

点群の計測は, 装置を組み立て後に, 電動車いすで任意の箇所へ移動し停止させる。停止後に, 各装置を起動し, 点群および位置座標の計測を実施する。計測完了後に次の計測位置まで移動させ, 停止させたのちに計測する Stop & Go の作業を繰り返した。図-5 に計測手順を示す。また, 異なる方向から点群を取得することで凹凸を正確に把握するため, 図-6 に示すように中央に設けた測線から左右に 0.75m 離れた場所を走行し, 図中の青丸が示す計 6 地点から点群を取得した。

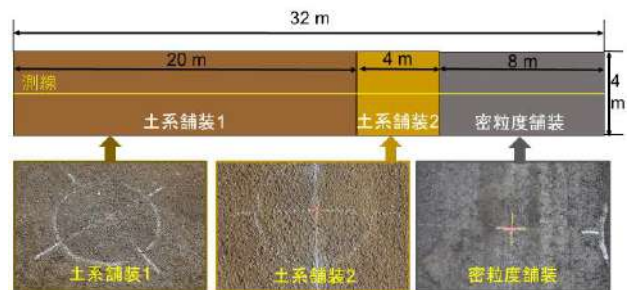


図-4 試験ヤード

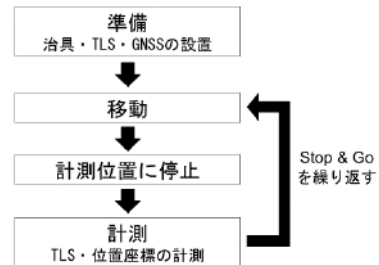


図-5 計測手順

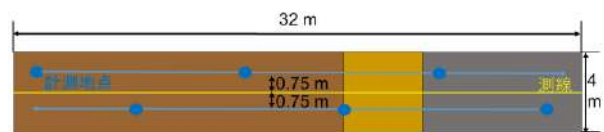


図-6 計測位置

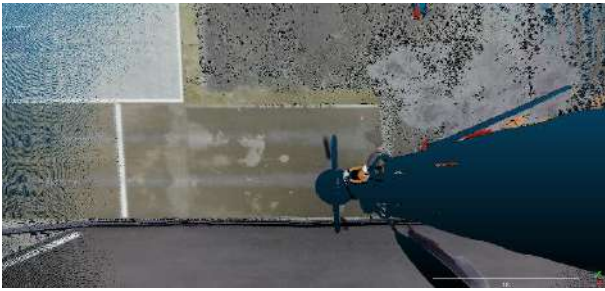


図-7 点群の一例

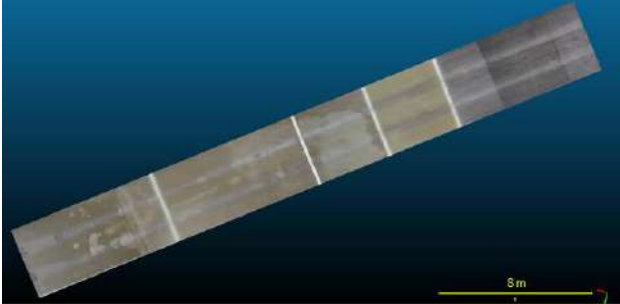


図-8 合成した点群

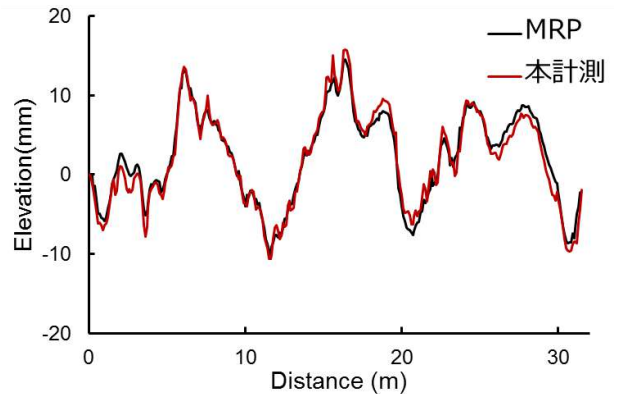
### 5. 計測結果

図-7 に本計測装置で計測した点群の一例を示す。図より、計測人員やアンテナ部分が点群に映りこんでしまう箇所がみられる。そのため、不要な箇所は、路面以外のデータが含まれている後方や計測地点から離れた点密度が低い箇所と合わせ、トリミング処理で除去した。それぞれ6箇所計測した点群を合成した点群を図-8に示す。図-8の点群は計測時に計測した位置座標の付与が可能である。なお、図-8において試験ヤード以外の点群はトリミング処理で取り除いている。

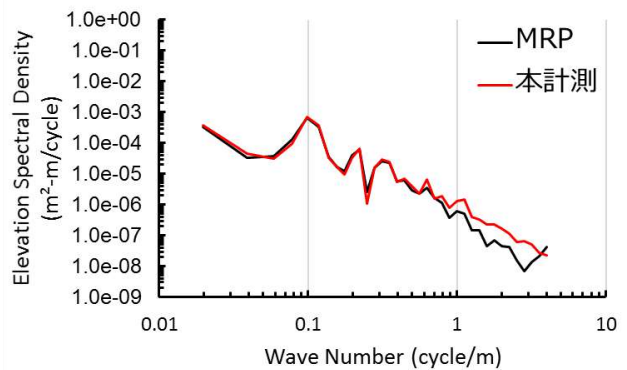
### 6. 装置の計測精度の検証と考察

装置の計測精度を確認するために点群から路面プロフィールを抽出して、MRPの路面プロフィールと比較した。それぞれの路面プロフィールは路面特性分類<sup>11)</sup>においてラフネスより短い波長領域を考慮し、勾配成分を除去するためにカットオフ波長50mのハイパスフィルタ処理をしている。

図-9(a)にそれぞれの路面プロフィール、図-9(b)にそれぞれの路面プロフィールのパワースペクトル密度関数 (Power Spectral Density, 以下、「PSD」とする)を示す。図-9(a)よりMRPと本装置の点群から抽出した路面プロフィールでは大きくても数mm程度の誤差であり、ほぼ同一の結果が得られた。図-9(b)より、PSDの結果はWave Numberが0.02~0.5 (cycle/m)すなわち波長2~50mではほぼ同一の結果が得られた。一方、Wave Numberが0.5 (cycle/m)以上の値、すなわち波長2mよりも小さい波長で



(a) 路面プロフィールの比較



(b) PSDの比較

図-9 精度の比較

表-1 プロファイル一致度とIRIの相対誤差

	プロフィール一致度	IRIの相対誤差
本計測	93.2%	5.1%

は異なる結果を示した。これは、点群合成時に発生した僅かなズレやレーザー機器の特性であるノイズの影響を受けたことによるものと考えられる。

表-1に相互相関関数を応用して算出したプロフィール一致度<sup>12)</sup>とIRIの相対誤差を示す。プロフィール一致度は100%に近いほど基準プロフィールに対するプロフィールの一致度が高く、IRIの相対誤差は0%に近いほど基準プロフィールに対するプロフィールから算出されたIRIの差が小さく精度が高いことを示す。MRPを基準プロフィールとしたときの本装置の点群から抽出した路面プロフィールのプロフィール一致度は93.2%、IRIの相対誤差は5.1%が得られた。既往研究<sup>13)</sup>より、クラス1プロフィールから得られた基準プロフィールの一致度は90% (全波長領域) および80% (波長1.6~50m) 以上かつIRI誤差5%以下を目標とすることが提案されている。本計測で得られたプロフィールは、IRIの誤差は提案値と比較して0.1%上回ったもののプロフィールの一致度は90%以上を達成しており、高い精度を有しているといえる。

## 7. まとめ

本研究では、歩行空間など自動車が走行しない道路や現在、舗装工事で普及が進められているICT舗装工の出来形管理における新たな路面調査手法の開発を目的にハンドル型電動車いすとTLSとGNSSを組み合わせた三次元計測手法について開発した。特に、先行研究<sup>89)</sup>の課題を解決することで、本計測手法はMRPを基準に、プロフィール精度93.2%およびIRIの相対誤差は5.1%を得られており、高い精度を有している。

本計測手法は計測移動を繰り返すStop & Goの単純な作業であるため誰もが簡単にワンマン計測が可能で、従来のTLS計測において必要であった盛り替え作業時の時間短縮や負担軽減に寄与することが期待される。また、本計測手法は基準点や参照点がなくても点群に直接高精度な位置座標を付与することも可能である。

本研究は、既存機器を組み合わせることで路面調査の効率化に寄与し、誰もが安心して利用できる利用者目線における道路空間整備のための新たな評価手法とし研究をすすめている。

## 参考文献

- 1) e-Gov ポータル：高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律（平成十八年法律第九十一号）、<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=418AC0000000091>（最終アクセス日 2022年5月18日）
- 2) 内閣府：令和2年交通安全白書、MaaS（Mobility as a Service）について、[https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r02kou\\_haku/zenbun/genkyo/topics/topic\\_08.html](https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r02kou_haku/zenbun/genkyo/topics/topic_08.html)、（最終アクセス日 2022年5月18日）
- 3) e-Gov ポータル：道路法（昭和二十七年法律第百八十号）、<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=327AC1000000180>（最終アクセス日 2022年5月18日）
- 4) 富山和也、川村彰、三上修一：道東における舗装路面の管理実態とモバイルプロフィロメータ(MPM)の地域実装、平成29年度土木学会北海道支部論文報告集、第74号、E-30、2018。
- 5) 国土交通省：地上型レーザーキャナーを用いた出来形管理の監督・検査要領（舗装工事編）（案）、令和4年3月、<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/content/001475938.pdf>（最終アクセス日 2022年5月18日）
- 6) 森石一志、富山和也、西川啓一、山口雄希：三次元計測機器を用いた路面管理の運用効率化、土木学会論文集 E1（舗装工学）、Vol76, No.2, p. I\_169-I\_177, 2020。
- 7) 森石一志、富山和也：ICT舗装工における点群データ取得の効率化と適用範囲拡大について、土木学会論文集 E1（舗装工学）、Vol75, No.2, p. I\_77-I\_85, 2019。
- 8) 幸谷宥毅、富山和也、山口雄希、森石一志、板垣智哉：パーソナルモビリティを活用した三次元点群計測の効率化、令和2年度土木学会北海道支部論文報告集、第77号、E-12、2021。
- 9) 幸谷宥毅、富山和也、山口雄希、森石一志、板垣智哉：歩行空間で運用可能なパーソナルモビリティを活用した三次元点群計測システムの開発、土木学会関西支部2021年度年次学術講演会、V-23、2021。
- 10) e-Gov ポータル：道路交通法施行規則（昭和三十五年総理府令第六十号）、<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=335M50000002060>（最終アクセス日 2022年5月18日）
- 11) PIARC: Optimization of Surface Characteristics, Technical Committee Report On Surface Characteristics--PIARC Xviii World Road Congress, Brussels, Belgium, 1987
- 12) S. M. Karamihas and T. D. Gillespie: Development of Cross Correlation for Objective Comparison of Profiles, The University of Michigan Transportation Research Institute, 2002.
- 13) 富山和也、川村彰、江口利幸、寺田剛、渡邊一弘：平坦性評価に要する低速プロフィールの測定精度とその検証に関する視点と方法、土木学会論文集 E1（舗装工学）、Vol. 72, No.3, pp.I\_27-I\_35, 2016。

(2022.5. 受付)

## DEVELOPMENT OF A THREE-DIMENSIONAL ROAD SURFACE MEASUREMENT METHOD USING A HANDLE-TYPE FOUR-WHEEL MOBILITY SCOOTER

Yuki KOTANI, Kazuya TOMIYAMA, Yuki YAMAGUCHI and Kazushi MORIISHI

Currently, as represented by MaaS related efforts and law revisions, the importance of user centered pedestrian space development is increasing. On the other hand, the road surface evaluation of the pedestrian space requires an efficient survey technique because it is difficult to apply the equipment used on the road, except for the subjective method by visual inspection or notification from the user. In the management of ICT pavement work using Terrestrial Laser Scanner (TLS), the number of measurements increases as the measurement extension becomes longer. Therefore, it is necessary to develop a measurement method that anyone can easily measure. The purpose of this research developed an efficient three-dimensional road surface measurement method for management of places where cars cannot enter and pavement work by combining TLS and a Handle-Type Four-Wheel Mobility Scooter.

# 2D 動画の姿勢推定と物体検知を用いた 動作分類手法の構築

菊田 隼矢<sup>1</sup>・全 邦釘<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 非会員 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: toshi123ut@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 東京大学大学院特任准教授 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: chun@i-con.t.u-tokyo.ac.jp (Corresponding Author)

建設業の生産性を向上させる取り組みの 1 つとして、カメラ映像から自動で作業の内容を確認することには意義があり、労働生産性の正確な測定や工程管理に役立てることができる。本稿ではその試みの礎となる、建設現場での動作分類について研究を行った。本研究では、姿勢推定と物体検知という 2 つの画像処理技術を使い、姿勢情報に加え建設現場に設置されている資機材と人の近接性情報を抽出しこれらを利用して動作分類を実行するという、動画背景に依存しない汎用的アプローチを提案した。LSTM や CNN, XGBoost のモデルを用いたが、近接性情報があることによって、使用したどのモデルにおいても 7.0%~8.5%ほど Average Recall が向上し、またそれらの手法のアンサンブル手法においては、最高で 57.3% という既存手法と比較しても高い Top-1 Accuracy を記録することができた。

**Key Words:** Action Recognition, Pose Estimation, Object Detection, Computer Vision

## 1. 序論

土木建設業界では、低い労働生産性を先端技術によって向上させる取り組みが近年進められてきている。

このような取り組みにおいては、建設現場において記録、蓄積される様々なデジタルデータ（ビッグデータ）をどう利活用していくかが課題であり、その最たる例は、建設現場のカメラ映像である。AI を活用してカメラ映像から自動で作業の内容を確認し、現場の動的な情報を抽出して人が利用しやすい形で情報を提供することができれば、施工管理に大いに役立つことは間違いない。

本稿ではその取り組みに不可欠な要素技術として、特に、新規建設工事の現場における動作分類（カメラに写っている作業員の動作を分類すること）を題材として扱う。この動作分類は現場での作業内容把握の自動化に役立つ技術であり、映像中の作業員を同定する技術や作業強度を計算する技術と組み合わせれば、作業員ごとの労働量や労働生産性、疲労度など、人力によるチェックでは判断することのできなかつた指標についても計算することができるようになると期待できる。

## 2. 先行研究

### (1) 動作分類手法について

動作分類手法としては、2015 年頃までハンドクラフト特徴量を用いた手法が主であったが、近年ではディープラーニングによる動作分類手法がメジャーになってきている。動画の RGB データから動作分類する手法としては Two-Stream Convolutional Networks や、3D<sup>[1]</sup>に代表される 3D Convolutional Networks があり、これらをベースにしたモデルが高精度を記録している。最近では、深度データや姿勢推定によって得られたスケルトンデータを利用した Spatial Temporal Graph Convolutional Networks(ST-GCN)<sup>[2]</sup> のような動作分類も注目を集めている。

### (2) 建設現場における動作分類

一般的な動作分類タスクについての研究は(1)でまとめた通りだが、Construction の分野における動作分類の研究はそれほど多くはない。

Yang らは、建設現場において Dense Trajectories を用いた 11 種類の動作分類を実行している<sup>[3]</sup>。石岡らは、日本独自の建設現場の動作分類データセットを作成したのち、

IBDをベースとするTwoStream3D-ConvolutionalNetworksによって9種の動作に対して分類を実行した<sup>4)</sup>。

映像に写っている建設現場の機材や資材を利用するというアプローチも考えられており、特定の資材が特定の動作と結びついていることを利用する。Kimらは、建設作業員が手に持った道具の検出を生かした動作分類を実行した<sup>5)</sup>。また、Yangは、建設現場のSemantic Segmentationによって資機材の存在状況を抽出し、資材と動作を結びつける確率マップによってDense Trajectoriesの動作分類精度を向上させている<sup>6)</sup>。

しかし、これまでの研究において姿勢情報に着目した建設現場での動作分類はあまり行われてこなかった。また、資機材をコンテキストとして読み込んで利用する場合に、その物体の存在だけでなく人との近接性を利用するというアプローチも考えられてこなかった。

そこで、本研究では、姿勢情報による建設現場の動作分類に、近接性特徴を加える手法の開発を行い、高い精度が得られることを確認した。

### 3. データセットの構築

データセットに使用するのは、国土交通省国土技術政策総合研究所より提供された樋門新設工事の現場で得られた291時間分のフルHD動画データである。

動画は人の写っていない領域やフレームをカットしたのち、本論文における動画分類の動画単位である30フレームごとに分割し、86554個のビデオクリップを得た。それらに対してMediaPipe Pose<sup>7)</sup>というライブラリを使い姿勢推定を実行した。なお、姿勢推定のデータは特徴点の座標値と信頼度によって構成される。ビデオクリップに対する姿勢推定の様子を図-1に示す。

このようにして推定が実行できたら、推定が正しく実行されている動画に対しアノテーションを付与した。分類する動作は12種類とし、作業前に動作を厳密に定義したのち、作業後に追加で確認を行なった。

今回の実験では、そもそものデータ数を増やすのに加え、動作間でのデータ数の不均衡を解消するために、左右反転、重心反転、逆再生によるオーグメンテーションを実行した。これらのオーグメンテーションによって動作ごとのレコード数は最大で8倍になり、全体のデータ数は26991個となった。

## 4. 手法

### (1) 姿勢情報のみによる分類

まずは、得られた姿勢推定データのみを用いて動作分



図-1 動画への姿勢推定の様子

類を実行するモデルを作成した。ここでは4つの手法を考える。

1つ目の手法は、LSTMネットワークである。以下では他のLSTM手法との区別のために標準LSTMと呼称する。2つ目の手法はXGBoostである。3つ目の手法は関節座標(Coordinates)とその動き(Motion)を並べた配列に対してCNNを使う手法である。4つ目の手法は、関節座標から計算された幾何学特徴を用いたLSTM手法(以下改良LSTMと呼ぶ)である。この手法では関節の相対位置(RP)、関節間の距離(JJD)、関節とエッジとの距離(JLD)を算出してLSTMへのインプットとした。

### (2) 姿勢情報と近接性情報による分類

次に、今回の目的である建設現場で分類精度を向上させるための方法として、関節位置情報に加え、YOLOv5<sup>8)</sup>によって物体検知を行うことで、現場に置かれている資材や機材、建機などとの近接性を特徴量として用いるモデルを考える。提案手法の概念図は図-2に示した。

近接性を表現する方法については、以下の3つの手法を考える。1つ目の手法では、姿勢の重心と資機材の重心との距離を計算する。2つ目の手法では、姿勢の重心と物体検出のバウンディングボックスの各頂点との距離を計算する。3つ目の手法では、作業員を囲んだバウンディングボックスと物体検出のバウンディングボックスとのIoU(Intersection of Union)を計算する。この値が1に近いほどバウンディングボックス同士の重なりが大きく、まったく重なっていない場合は0となる。以上のように近接性を計算するが、それだけでなくバウンディングボックスの面積、物体検出の信頼度についても特徴量として用いた。

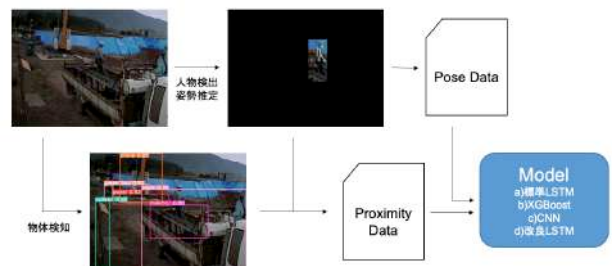


図-2 提案手法の概念図

なお、ここまで考えてきた動作分類モデルの主な評価指標は Average Recall とする。

(3) 既存手法による分類

本研究では、提案手法との比較のために既存の動作分類手法による分類も考える。ここで使用するのは、IBD, ST-GCN の2つである。

これらのモデルでは学習させるべきパラメータが膨大であるため、大規模なデータセットで事前学習済みのモデルを、用意したデータでファインチューニングした。

5. 結果と考察

(1) 姿勢情報のみによる分類

標準 LSTM, XGBoost, CNN, 改良 LSTM による分類の評価指標は表-1 のようになった。Recall を見ると、最も精度が良いのは改良 LSTM であり、次に CNN, 標準 LSTM, XGBoost となる。XGBoost の精度が低いのは、他モデルとは違い、空間的特徴と比較して時間的な変化の特徴を効率的に読み込むことが難しかったためだと考えられる。改良 LSTM では Climb, Pick, Transport, Tie などの動作が他モデルと比較してよく分類できており、時間的な動きの特徴を効果的に読み込めている。

(2) 姿勢情報と近接性情報による分類

近接性を加えた場合の各モデルの評価指標を表-2 に示す。近接性の計算方法やフュージョン方法等は複数試しており、表-2 に示しているのはその中で最高精度が出たものである。

近接性を加えることによって、標準 LSTM では 74%, XGBoost では 8.5%, CNN では、7.8%, 改良 LSTM では 7.0%精度が向上した。特に改良 LSTM は今までで最も高精度なモデルとなっており、Climb や Nail, Tie の Recall が大幅に向上した。近接性の計算手法ごとに精度を比較すると、どの計算手法でも大きく差がないことがわかっ

表-1 姿勢情報を用いた各モデルの評価指標

	Val Mlogloss	Accuracy	Average Recall
標準LSTM	1.6457	0.4368	0.4312
XGBoost	1.7305	0.4257	0.4147
CNN	1.6164	0.4549	0.4387
改良LSTM	1.5380	0.4705	0.4654

表-2 姿勢・近接性情報を用いた各モデルの評価指標

	Val Mlogloss	Accuracy	Average Recall
標準LSTM	1.5096	0.5119	0.5056
XGBoost	1.4732	0.5106	0.4999
CNN	1.4671	0.5271	0.5164
改良LSTM	1.3827	0.5425	0.5351

た。

図-3には、改良 LSTMにおいて近接性を加えたことで分類がどう変化したかの1例を示している。姿勢情報のみだとしゃがんでいる Crouching の動作と分類されていた動画であるが、近接性情報、ここでは lumber plate (木材) が近くに配置されていることによって、釘を打つ Nail の動作と正しく分類されるようになっている。

以上4つのモデルを考えてきたが、ここではこれらのモデルをアンサンブルすることを考える。アンサンブル比率はバリデーションデータを用いて決定した。アンサンブルモデルでは Accuracy 0.5732, Average Recall 0.5602, Average Precision 0.6019 となった。Top4-Accuracy は 0.9100 となっている。アンサンブルモデルの Confusion Matrix を図-4 に示す。

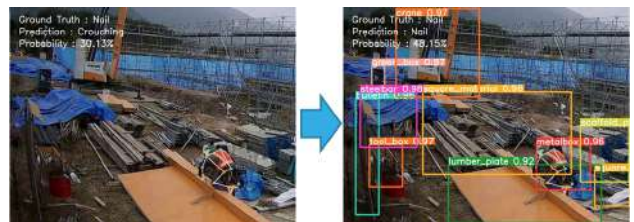


図-3 近接性情報による分類の変化

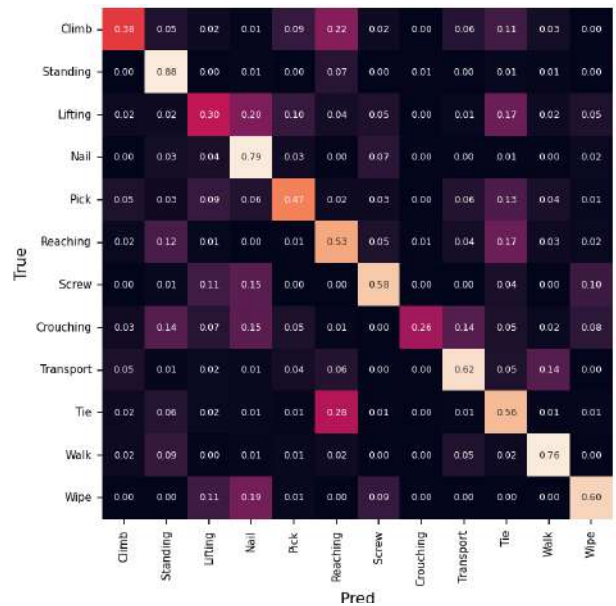


図-4 アンサンブルモデルの Confusion Matrix

(3) 既存手法による分類

IBD と ST-GCN による分類の評価指標を表-3 に示す。どちらのモデルも、評価指標は本研究で提案したアンサンブルモデルに及ばないという結果となった。IBD では Climb や Nail の動作においてアンサンブルモデルの Recall を上回ったが、Climb ではトラックによじ登る、Nail では広い木材の板に釘を打ち込むなど、背景を見て動作クラスを予測しやすいためだと考えられる。ST-GCN で精

表-3 3DとST-GCNの評価指標

	Accuracy	Average Precision	Average Recall
3D	0.6055	0.4690	0.4683
ST-GCN	0.2798	0.3354	0.2628

度が低くなったのは、画像中での人物の姿勢の小ささや2D姿勢推定の精度の低さが原因として考えられる。いずれにせよ、提案手法の性能が既存手法を上回り、提案手法での姿勢データの扱い方の妥当性や他手法への優位性を示すことができた。

## 6. 結論

本研究では、建設現場において観測される12クラスの動作を含んだ新たな動作分類データセットを作成した。このデータセットに対し、姿勢推定と物体検知という2つの画像処理技術を使い、姿勢の幾何学的特徴や建設現場に設置されている資材や建機と人との近接性情報を抽出し、これらの特徴量を利用して動作分類するという新たなアプローチを提案した。動画の背景や明るさなどの作業現場固有の情報に依存しない、どの現場でも利用できる汎用的なモデルとなっている。これらの情報をもとに動作分類をすることによって、アンサンブル手法においては最高で56.0%という、既存手法と比較しても高いAverage Recallを記録することができた。近接性情報を加えるというアプローチによって、使用したどのモデルにおいても加える前と比べて7.0%~8.5%ほどAverage

Recallが向上し、特にNailやTieなどの資機材の有無に依存する動作の検出率が大きく増加した。

## REFERENCES

- 1) Carreira, J., Zisserman, A.: Quo Vadis, Action Recognition? A New Model and the Kinetics Dataset, Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2017.
- 2) Yan, S., Xiong, Y., Lin, D.: Spatial Temporal Graph Convolutional Networks for Skeleton-Based Action Recognition, Eurasip Journal on Image and Video Processing, 2019.
- 3) Yang, J., Shi, Z., Wu, Z.: Vision-based action recognition of construction workers using dense trajectories,” Advanced Engineering Informatics, 2016.
- 4) Ishioka, H., Weng, X., Man, Y., Kitani, K.: Single Camera Worker Detection, Tracking and Action Recognition in Construction Site, Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2020, 2020.
- 5) Kim, Y. J., Caldas, H. C.: Vision-based action recognition in the internal construction site using interactions between worker actions and construction objects, ISARC 2013, 2013.
- 6) Yang, J.: ENHANCING ACTION RECOGNITION OF CONSTRUCTION WORKERS USING DATA-DRIVEN SCENE PARSING, Journal of Civil Engineering and Management, 2018.
- 7) Bazarevsky, V., Grishchenko, I., Raveendran, K., Zhu, T., Zhang, F., Grundmann, M.: BlazePose: On-device Real-time Body Pose tracking, CVPR Workshop on Computer Vision for Augmented and Virtual Reality, 2020.
- 8) Jocher, G.: YOLOv5 in pytorch, <https://github.com/ultralytics/yolov5> (閲覧日 2022.2.13)

(Received May 20, 2022)

## DEVELOPING A METHOD FOR ACTION CLASSIFICATION ON CONSTRUCTION SITES USING 2D POSE ESTIMATION AND OBJECT DETECTION

Toshiya KIKUTA, Pang-jo CHUN

As one of the efforts to improve productivity in the construction industry, it is meaningful to automatically check the contents of work from videos, which can be used for accurate measurement of labor productivity and process control. In this paper, we studied action classification at construction sites as a cornerstone of such efforts. In this study, we proposed a method that uses two image processing techniques, pose estimation and object detection, to extract proximity information between people and equipment installed at a construction site in addition to pose information, and perform action classification using these information. This method is a generalizable approach that does not depend on the background variation or brightness. We used LSTM, CNN, and XGBoost models, and found that the presence of proximity information improved the Average Recall by 7.0% to 8.5% for all the models used, and the ensemble method of these methods recorded the highest Top-1 Accuracy of 57.3%, which is higher than existing methods.

# 遠隔臨場における3次元測量 閲覧・共有プラットフォーム

岩田 航司<sup>1</sup>・青山 裕之<sup>2</sup>・三谷 幸一<sup>3</sup>・中根 祐樹<sup>4</sup>・中原 淳乃介<sup>5</sup>・  
石原 裕次<sup>6</sup>・荒川 裕也<sup>7</sup>

<sup>1</sup>正会員 青木あすなる建設株式会社 建設技術本部(〒101-0053東京都千代田区神田美土代町1番地)

E-mail: KoujiIwata@aaconst.co.jp

<sup>2,3,4,5</sup>非会員 青木あすなる建設株式会社 犀川牛牧樋門作業所(〒501-0224岐阜県瑞穂市稲里690-3)

E-mail: <sup>2</sup>HiroyukiAoyama@aaconst.co.jp, <sup>3</sup>kouichi.mitani@aaconst.co.jp

<sup>4</sup>yuki.nakane@aaconst.co.jp, <sup>5</sup>junosuke.nakahara@aaconst.co.jp

<sup>6</sup>非会員 株式会社建設システム 大手建設ソリューション事業部(〒101-0041東京都千代田区神田須田町1-3-9)

E-mail: yu-ishihara@kentem.co.jp

<sup>7</sup>非会員 株式会社建設システム マーケティング部(〒420-0031静岡市葵区呉服町1-30)

E-mail: yu-arakawa@kentem.co.jp

青木あすなる建設(株)と(株)建設システムは、「3次元測量データ閲覧・共有プラットフォーム」を開発、試行した。

このシステムでは3次元測量における立会検査を遠隔地から実施可能である。現場でウェアラブル端末を用いて出来形計測を行い、その座標や実測値等のデータをクラウドにアップロードすることで、遠隔地からでもPC・タブレットからリアルタイムに計測値を平面、横断、3次元で確認できる。これにより課題だった計測結果の視認性向上、検査職員の移動、現場の待ち時間の削減が可能になるため、省力化、生産性の向上が図れる。

このシステムが内閣府の「PRISM」予算を活用した国土交通省の2021年度「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」に採択され、本稿ではその取組内容を報告する。

**Key Words** : *three-dimensional survey, remote location, labor saving, productivity improvement*

## 1. はじめに

3次元データを活用したICT建機による施工が普及し、土工事における測量業務が大幅に省力化された。その中でも断面変化点や構造物の測量等は丁張の設置、墨だし作業が必要で、当社では種々の3次元測量システムを試行し、省力化を図ってきた。

一方で、遠隔臨場による品質証明や立会の普及により3次元測量の端末をウェアラブルカメラで確認する事例が増えてきたが、端末が光って見えにくいなど、視認性が課題となっていた。

そのため、3次元測量端末の計測結果を直接遠隔のパソコン等に表示するプラットフォームを東北の現場で試験導入し、検証を重ねた。さらに、本技術が内閣府のPRISM予算を活用した国土交通省の2021年度「建設現場

の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」(以下、革新的技術プロジェクト(PRISM)という)に採択され、点群データの表示や管理表の表示等、更なる改良、試行を重ねた。

本稿ではこの革新的技術プロジェクト(PRISM)の取組みを報告する。

## 2. システムの概要

同システムは、3次元測量モバイル端末「快速ナビ」で計測した出来形計測データをクラウドへ転送し、リアルタイムにWebシステム「KENTEM-CONNECT」上で検査結果を表示する。それと同時に、計測箇所(プリズム位置)を3次元設計モデル(3D、平面、横断)と重ね合



わせ、測量検査の位置情報を正確に表現する。

また、遠隔臨場システム「SiteLive」とも連携し、双方を同一画面で表示することで、効率的に測量検査を実施できる（図-1）。

### 使用するソフトウェア・システム

- ・ KENTEM-CONNECT :  
3次元測量データ閲覧・共有プラットフォーム
- ・ 遠隔臨場SiteLive : 遠隔臨場システム
- ・ Sitech3D : 3次元設計データ作成
- ・ 快速ナビ : TS出来形計測
- ・ KSDataBank : クラウドサーバ
- ・ SITE-Scope : 点群データ編集
- ・ TRENDPOINTver.9 : 点群データ編集



図-1 システム概要

### 3. 諸規程・要領の改訂

「3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）」<sup>1)</sup>、「地上型レーザスキャナーを用いた出来形管理の監督・検査要領（土工編）」<sup>2)</sup>では、トータルステーション等を用いた検査は実地で行うよう明記されており、遠隔臨場が対象となっていない。本試行により遠隔からWebを活用した測量検査、立会いを可能にし、早期の社会実装を目指すために革新的技術プロジェクト（PRISM）で規程・要領の改訂を提案した。

### 4. 測量用3次元設計データの作成

3次元設計データは「平成30年度犀川遊水地五六川牛牧排水樋門整備工事」における築堤盛土について作成した（図-2）。作成に当たっては、国土交通省の設計及び工事において電子納品成果として定められた「3次元設計データ交換標準（案）」に準拠した。土工の3次元座

標値とTINデータを含み、高さ、幅、法長等の設計値を求めることができる。

本工事はICT土工の対象でMCMG用のデータ（LandXML）を作成したが、TS出来形の遠隔臨場を検証するため、別途、線形情報（中心線形・縦断・横断形状）、管理項目（幅員や法長など）を含む3次元データも作成した。

MCMG用のデータは面情報であり、TS出来形用の線形情報、管理項目が不足しているためである。

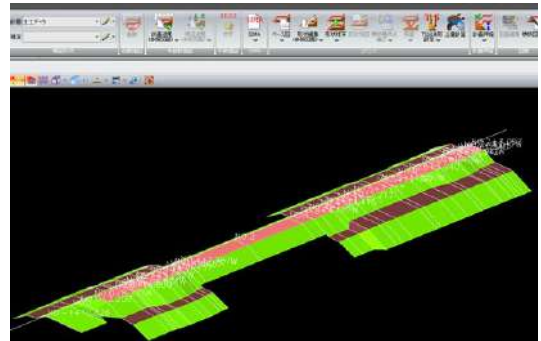


図-2 築堤盛土3次元データ

### 5. 遠隔臨場データの取得

#### (1) 自動追尾式トータルステーションによる測量

土工の3次元測量は自動追尾型トータルステーション（杭ナビLS-150）を用いて管理断面の各基準点を測定し、標高、幅、法長を算出した（図-3）。



図-3 測量状況

#### (2) 遠隔臨場用カメラでの現地映像

スマートフォン（iPhone）で撮影した現地映像データを遠隔臨場システムに転送した（図-4）。



図-4 遠隔臨場側画面

### (3) 地上型レーザースキャナによる点群測量

点群データを3次元測量データ閲覧・共有プラットフォームに表示するため、地上型レーザースキャナ（トプコン GLS-20000）で出来形を計測した。点群は（X,Y,Z）の3次元座標の他、受光感度、RGBの色情報を含む。

## 6. 遠隔臨場による出来形管理

トータルステーション（TS）による出来形管理、ICT土工におけるレーザースキャナによる出来形管理を検証した。

### (1) TS出来形

#### a) 作業所内の検査

自動追尾型TSにより現場職員がTS出来形計測を行い、計測データを3次元測量データ閲覧・共有プラットフォームにアップロードする。また、現場代理人、監理技術者のPCで現地と通信することにより事務所から検査状況が確認できる。検査時はプリズム位置が画面上でリアルタイムに移動する（図-5プリズム）。TS出来形の管理項目である標高、幅、法長を検査し、その計測位置、結果をプラットフォーム上に保存する（図-5計測済み）。



図-5 TS 出来形画面

#### b) 品質証明員による検査

社内の品質証明員が遠隔地からWEBで現地映像を確認しながら3次元測量データ閲覧・共有プラットフォーム上で計測結果を確認する。本試行では東京在住の品質証明員が検査を実施した。a)作業所内の検査箇所を検査し、差異を確認する。

#### c) 監督職員による検査

出来形の測量検査、立会いは検査監督職員がWEBで現地映像を確認しながら3次元測量データ閲覧・共有プラットフォーム上で計測結果を確認する。a)またはb)を検査し、差異を確認する。

### (2) レーザースキャナによる出来形

ICT土工のヒートマップ出来形の実地検査を遠隔で実施するため、取得した点群データを用いて3次元測量データ閲覧・共有プラットフォーム上にヒートマップを表示させ、現地での計測がヒートマップ同様規格値内に収まっているか確認した（図-6）。フローはTS出来形と同様である。

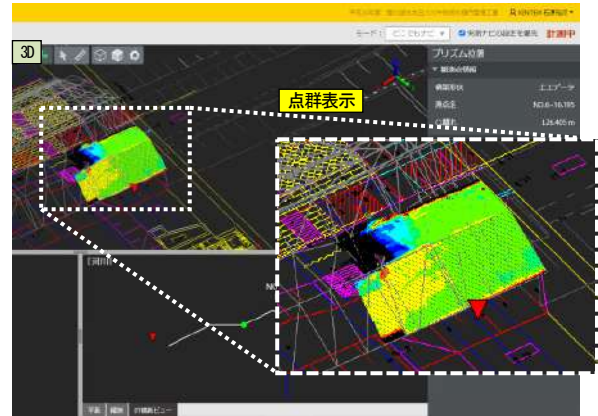


図-6 点群表示

## 7. 導入効果

### (1) 測量端末の視認性向上

現状の遠隔立会検査ではウェアラブルカメラで測量端末の画面を確認しているが、反射等により画面が確認できないなどの課題があった。本試行で測量端末に表示されているデータを直接Webブラウザで表示可能となったため、計測結果をはっきりと確認することが出来た。

プリズムの位置が3次元モデル、平面、横断上にわかりやすく表現され、ウェアラブルカメラの映像も加わり、測点や測定項目の信憑性も確保出来た。

### (2) 移動時間の縮減

遠隔臨場により移動が不要になった。

- ・検査（揖斐川第二出張所）⇔現場（岐阜）：30分縮減
- ・品質証明（東京本社）⇔現場（岐阜）：7時間縮減

### (3) 検査中の待ち時間縮減

従来は検査時にメジャー、測量機の準備等で計20分程の待ち時間が生じていたが、3次元測量データ閲覧・共有プラットフォームにより5分程に縮減できた。

### (4) 作業人員の縮減に関する効果

従来の現地立会に要する人員は最低3人（計測係2人、記録係1人）であったが、本試行では2人（計測係兼記録係1人、撮影係1人）で1人縮減された。さらに、自動追

尾型TSにカメラを搭載、またはカメラを前掛型にすることで現地での計測・カメラ保持が1人で行え、人員が2人縮減された(図-7)。



図-7 カメラ保持方法

#### (5) 品質の確保・向上に関する効果

##### a) 設計データの照査

遠隔地の管理部門が、現地のウェアラブルカメラ画像だけでなく、3Dデータ、平面、横断の計測状況を総合的に確認する事で、設計データの照査が可能になった。

##### b) 計測漏れの防止

従来のカメラのみの遠隔臨場では計測箇所を都度帳票に記載し、確認漏れが生じる可能性があった。

本試行では計測済み箇所が3次元測量データ閲覧・共有プラットフォームに黄色丸印でマーキングされるため、計測箇所が同一画面で可視化でき計測漏れを防止できた。

### 8. 試行における課題

#### (1) 通信環境

インターネット通信環境が必須で、遠隔臨場の音声、画像通信、3Dモデル・点群データなど通信量が多く必要となるため、読込時間が多くかかったり、通信が不

安定になる時がある。システム改良や5G等の高速通信の普及に期待する。

#### (2) 操作性の向上

KENTEM-CONNECT, 遠隔臨場システムなど、複数ソフト操作の煩雑さ、起動までの準備等、操作性の向上を今後改良する必要がある。

### 9. 今後の展開

今後はクラウド上で出来形管理図表データを閲覧可能にし、ペーパーレス化を図っていく。また、ICT土工以外でもTS出来形管理が可能な様々な工種への適用を図ることで、作業現場の生産性向上に寄与していきたいと考える。

**謝辞:** 本取り組みにあたり、国土交通省の大臣官房技術調査課、中部地方整備局の技術管理課、木曾川上流河川事務所、揖斐川第二出張所、並びに(□社)全日本建設技術協会主催の現場見学会に参加いただいた各地方自治体の皆さまから格別のご助言、ご指導をいただき、心より謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省:「3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)」, pp.2-44, 令和4年3月
- 2) 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の監督・検査要領(土工編)」, pp.8, 平成29年3月

(?)

### 3D survey in remote presence Browsing platform

Koji Iwata, Hiroyuki Aoyama, Koichi Mitani, Yuki Nakane, Junnosuke Nakahara,  
Yuji Ishihara, Yuya Arakawa

Asunaro Aoki Construction Co., Ltd. and KENSETSU SYSTEM Co., Ltd. have developed and tried a "3dimensional survey data viewing and sharing platform" system. With this system, witness inspections in 3D surveying can be performed from a remote location. By measuring the finished product on site using a wearable terminal and uploading data such as coordinates and measured values to the cloud, the measured values can be confirmed in real time from a PC / tablet even from a remote location in two dimensions. This makes it possible to improve the visibility of measurement results, reduce the inspection staff movemet, and the waiting time at the site, so that labor saving and productivity can be improved.

This system utilizes the Cabinet Office's "PRISM" budget, and reports on the contents of the 2021 "Project on the introduction and utilization of innovative technologies to dramatically improve the productivity of construction sites" by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism.

# 油圧ショベルによる土砂情報を考慮した 自動掘削に関する研究とその課題

谷島 諒丞<sup>1</sup>・永谷 圭司<sup>1</sup>

<sup>1</sup>非会員 東京大学特任助教 工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)  
E-mail:yajima@i-con.t.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 東京大学特任教授 工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)  
E-mail:keiji@i-con.t.u-tokyo.ac.jp

油圧ショベルによる掘削の自動化に関する研究開発が進められているが、多くの場合、掘削対象の土砂の情報を考慮せずに、あるいは、既知と仮定し、掘削を行っている。このため、土砂の情報が分からない場合や事前の想定と異なる場合に、作業効率が低下する可能性がある。そこで、我々の研究グループでは、掘削対象の土砂の情報を考慮することによって効率的な油圧ショベルの自動掘削を実現することを目的として研究を進めてきた。本稿では、これまでの研究の概要と明らかになった課題をまとめる。

**Key Words :** Excavator, Autonomous excavation, Bulking factor, Trajectory Generation

## 1. 緒言

建設業では、近年、生産性の向上や人手不足の解消、労働環境の改善が課題となっている。これらの課題を解決する方法の一つとして、建設機械の自動化が挙げられる。

建設現場で使用される建設機械には様々な種類があるが、この中でも油圧ショベルは最もよく使用される建設機械の一つである。この油圧ショベルは、汎用性が高い一方で、操作には習熟した高い技能が求められ、油圧ショベルによる各種作業の作業効率は、操縦者の熟練度に大きく依存する。従って、熟練作業者が減少する状況において、生産性を向上させる、あるいは、低下させないためには、油圧ショベルの自動化が必要であると言える。

油圧ショベルの作業の中で掘削作業に注目すると、自動化に関する研究開発は、これまで数多く進められてきた<sup>1)2)3)</sup>。しかし、従来研究では、多くの場合、例えば硬さのような掘削対象の土砂に関する情報は考慮していない、あるいは、既知であると仮定している。このため、土砂の情報が分からない場合や事前の想定と異なる場合、実際の土砂の状態によらず、同じ動作を実行してしまい、作業効率が低下するということにつながると考えられる。

そこで、我々の研究グループでは、掘削対象の土砂の情報を考慮することによって効率的な油圧ショベルの自動掘削を実現することを目的として研究を進めてきた。

本稿では、これまでの研究について概要をまとめて紹介すると共に、そこから明らかになった課題をまとめる。

## 2. 土砂情報を考慮した自動掘削

本研究では、大きく分けて以下のような3つのプロセスで、掘削対象の土砂の情報を考慮した自動掘削を実現している。

- ① 土砂情報の推定
- ② 掘削軌道の生成
- ③ 自動掘削

まず、①土砂情報の推定で、掘削対象の土砂の状態を把握する。具体的には、掘削前後の土砂の土量変化率から土砂の相対密度を推定する。

次に、②掘削軌道の生成で、推定した土砂の情報に対して最適な掘削軌道を生成する。具体的には、各相対密度の土砂に対して、ある指標が最小あるいは最大になるような掘削軌道を表すパラメータの値の組合せを求める。本研究では、これまでに指標として、掘削時のエネルギー効率と土砂のこぼれの2つを設定し、最適な掘削軌道を確認している。

最後に、③自動掘削で、推定した土砂情報に対応する最適な掘削軌道に沿って掘削を行うことで、効率良く掘削することができる。

3章, 4章では, それぞれの詳細について述べる.

### 3. 土量変化率を用いた相対密度の推定

土砂は, 掘削すると圧縮が緩和されて膨らみ, 体積が元より大きくなる. その変化の度合いは, 元の土砂が十分に締め固まっているほど大きくなる傾向がある. そこで, 本研究では, この掘削した土砂の膨らみ方の違いから掘削対象の土砂の締め固め度合い, つまり, 土量変化率から土砂の相対密度を土砂情報として推定することとした.

まず, 土量変化率を求めるためには, 掘削前後の土砂の体積が必要であるが, これは, 三次元点群を用いて取得する. まず, 掘削エリアと放土エリアを設定し, それぞれで三次元点群を取得する. 掘削と放土を行い, それぞれで再度三次元点群を取得する. 掘削・放土前後の点群が得られるので, これらの差から土砂の体積を得ることができる. 図-1に表すように, 元の地面より減少した部分が掘削前の土砂の体積 $V_{before}$ , 元の地面より盛り上がった部分が掘削後の土砂の体積 $V_{after}$ である. これらを用いることで, 土量変化率 $k$ は以下のような式で表すことができる.

$$k = \frac{V_{after}}{V_{before}}$$

本研究で, 実験を行う際には, Intel社製RealSense Depth Camera D435iを用いて三次元点群を取得した.

次に, この得られた土量変化率を用いて相対密度を推定することになるが, これには, 土量変化率と相対密度の間を知ることが必要である. この関係は, 土砂のシミュレーションが可能な動力学シミュレータ内で土砂の相対密度を変えながら掘削を行い, 土量変化率を計算することで求めた. 本研究では, シミュレータとして, CM Labs社製Vortex Studioを使用した.

以上より, 土砂情報として相対密度を求めることができる. 詳細については, 別紙<sup>4)</sup>にて報告している.

### 4. エネルギー効率/土砂のこぼれに着目した最適掘削軌道の生成

前章の手法により, 土砂情報として土量変化率を求めることができる. 得られた相対密度に対して, ある指標が最小あるいは最大になるような最適な掘削軌道を生成し, それに沿って掘削することにより, 土砂の状態に合わせて効率よく掘削することができる.

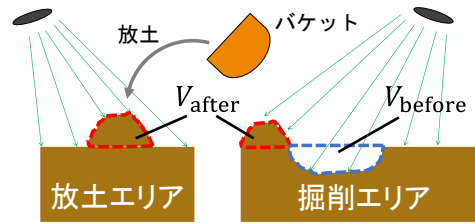


図-1 掘削前後の土砂の体積の計測

#### (1) 基本的な最適掘削軌道生成の流れ

基本的な掘削軌道生成の流れは下記の通りである.

- ① 指標の設定
- ② 掘削軌道 (のパラメータ) の設定
- ③ 最適掘削軌道の探索

まず, ①指標の設定では, 何が最適になる掘削軌道を生成するのかが決定し, 目的関数を設定する. 本研究では, これまでにエネルギー効率と土砂のこぼれの2つを指標として掘削軌道の生成を行った. それぞれの詳細については次節以降で説明する.

次に, ②掘削軌道の設定では, 掘削軌道をいくつかのパラメータで表す. 掘削軌道は, 一般的にはよく図-2のような3つのパラメータで表される. いくつかのパラメータで表すことができればよいので, この掘削軌道でなくても使用できる.

最後に, ③最適掘削軌道の探索では, ある相対密度の土砂に対して, ①の指標が最小あるいは最大になるような②の掘削軌道を表すパラメータの値の組合せを探索する. ただし, これを掘削時にその場で探索することは現実的ではないと考えられる. 実用上は, 想定される各土砂に対して, 事前に探索を行い最適なパラメータの値の組合せを見つけておき, 掘削時に推定した相対密度に応じてそれら呼び出すのが, 現実的な手法である. 本研究でも, 事前に, 前述の動力学シミュレータVortex Studioを用いて探索を行い, 実験の際には, それらの中から適切なものを選択して掘削を行った. なお, 最適なパラメータの値の組合せが見つければよいので, 探索手法は問わないが, 本研究では, 遺伝的アルゴリズムを用いた.

#### (2) エネルギー効率に着目した最適掘削軌道

指標としてエネルギー効率に着目し, 最も効率の良い掘削軌道を生成する場合には, 目的関数を以下のように設定した.

$$f = \frac{M_d}{E}$$

ここで,  $f$ はエネルギー効率,  $M_d$ は掘削土量,  $E$ は掘削時の消費エネルギーである.  $f$ が大きいほど, 少ないエネルギーでより多くの土砂を掘削できることを意味する.

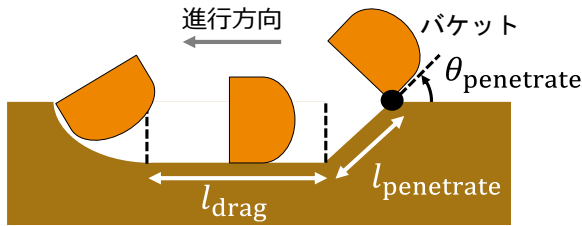


図2 一般的な掘削軌道とパラメータ

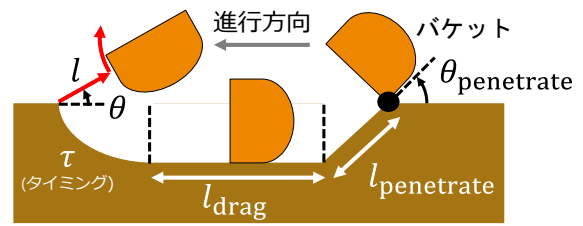


図4 Back motionがある掘削軌道とパラメータ



図3 実機実験の様子

各相対密度の土砂において、この目的関数が最大になるように、前述の図-2の3つのパラメータで表される一般的な掘削軌道を最適化した場合、土砂の相対密度によって挿入や横引きの距離が異なる軌道が得られる。

詳細については、別紙<sup>9)</sup>にて報告している。また、ここでは割愛するが、実機実験（図-3）の結果、得られた最適な掘削軌道を用いて掘削することで、エネルギー効率が上昇することが確認できている。

### (3) 土砂のこぼれに着目した最適掘削軌道

指標として土砂のこぼれに着目し、最も掘削時に土砂をこぼさない掘削軌道を生成する場合には、目的関数を以下のように設定した。

$$R = \frac{S}{V}$$

ここで、 $R$ はこぼれ率、 $S$ は動作中にこぼれた土砂の体積、 $V$ は放土した土砂の体積である。 $R$ が小さいほど、土砂のこぼれが少ないことを意味する。

また、この研究では、より土砂のこぼれを減らすために、掘削軌道にも工夫を行った。土砂のこぼれは掘削動作の最後のすくい時に土砂を外にかき出すことによってより多く発生することから、このかき出しを防止することを意図して、図-4のようにすくいの途中でバケットを戻すような動作（以下、Back motionと呼ぶ）を加えた。この掘削軌道は、一般的な掘削軌道を表す3つのパラメータに、Back motionの長さ、傾き、タイミングの3つのパラメータを加えた合計6つのパラメータで表される。

各相対密度の土砂において、こぼれ率 $R$ が最小になるように、この掘削軌道を最適化した場合、土砂の相対密度によって異なる最適な掘削軌道が得られており、また、

Back motionによって（Back motionの長さがゼロでないことによって）こぼれが低減できることが分かった。

詳細については、別紙<sup>9)</sup>にて報告している。これについても、実機実験の結果、得られた最適な掘削軌道を用いて掘削することで、掘削時の土砂のこぼれが低減できることが確認できている。また、掘削後の動作を工夫することで、油圧ショベルを旋回させた時の土砂のこぼれも低減できることが分かっている。

## 5. これまでの研究を通して明らかになった課題

前述の手法を用いることで、土砂情報を考慮した自動掘削が実現でき、一定の成果が得られた。一方で、これまでの研究を通して課題も明らかになった。本章では、明らかになった課題やLessons Learnedをまとめる。

(a) 一度掘削しないと土砂情報を推定できない：現在の手法では、相対密度推定のために余計に掘削する必要がある。また、相対密度推定を行う土砂とその後に最適な掘削軌道で掘削を行う土砂は、ごく近傍で同じ相対密度であるという仮定が置かれており、リアルタイムに土砂情報を得られているわけではない。従って、掘削せずに、あるいは、掘削し始めた瞬間に、土砂情報が分かるような推定手法が必要である。

(b) シミュレータへの依存度が高い：土砂情報の推定においても、最適掘削軌道の探索においても、シミュレータに依存する部分が多い。これは解析的に解くことが難しいからであるが、シミュレータと実環境が一致しているということが前提になっているため、この前提が崩れると正しい結果が得られない。シミュレータの依存度を減らした手法やシミュレータ内のパラメータを実環境と一致するように容易に調整できる手法が必要である。

(c) 相対密度が高い（十分に締め固まっている）場合の推定が困難：これは上述の(b)にも関連するシミュレータと実環境の差に起因する問題である。土砂が十分に締め固まっている場合、実環境では掘削した土砂が完全には崩れずにブロック状になるが、シミュレータでは土砂が完全に崩れる。このため、実環境ではブロック状の土砂が積み重なり、内部に大きな空隙ができて、土量変化率がシミュレータの場合より大きくなり、推定できな

くなっていると考えられる。これについても、シミュレータに依存しない手法やこのような挙動も再現できるより現実に近いシミュレータが必要である。

(d) 相対密度しかわからない：現状はシミュレータ内の土砂の挙動を再現するパラメータの一つが相対密度であるため、これに合わせて土量変化率から相対密度を推定している。しかし、現実には、含水比等、他にも掘削に影響を与える様々な土砂情報がある。土量変化率も含め複数のセンシングデータを組み合わせることで、土砂情報推定を高度化することが必要である。

(e) 生成される掘削軌道が限られる：上述のように掘削軌道をいくつかのパラメータで表し、その値を最適化しているため、無制限にどのような掘削軌道でも生成できるわけではない。このため、そのパラメータで表すことができる掘削軌道の中では最適な掘削軌道が生成されるが、そのパラメータでは表すことができない掘削軌道と比較したときに最適な掘削軌道かどうかはわからない。本当に最適な掘削軌道を見つけるためには、より複雑で自由な掘削軌道を生成できる手法が必要である。

(f) 目的関数以外に制約条件を適切に設定する必要がある場合がある：前章で述べた土砂のこぼれに着目した最適掘削軌道は、そのまま探索を行うと、「掘削をしなければ、土砂をこぼさない」というような解が得られた。そこで、放土した土砂の体積に下限を設定することで、適切な解が得られるようにしている。また、現実的には困難、あるいは、危険な動作ができないように、ショベルが傾かない、バケットの底は刃先の軌跡よりも常に上にある等の制約条件も設定している。

## 6. 結言

本研究では、掘削対象の土砂の情報を考慮することによって効率的な油圧ショベルの自動掘削を実現することを目的として、土砂情報を推定する手法と推定した土砂情報に対して最適な掘削軌道を生成する手法を開発した。土砂情報の推定では、掘削前後の土砂の三次元点群から

土量変化率を計算し、さらにそこから土砂の相対密度を推定する。最適掘削軌道の生成では、推定した相対密度の土砂に対して、ある指標が最小または最大になる掘削軌道を表すパラメータの値の組合せを求める。また、本稿では、研究を通して明らかになった課題等をまとめた。

今後は、前章の課題の解決を進める。特に、土砂情報推定の高度化や高精度化は、その後の掘削軌道生成や掘削にも影響を与えるので、重要であると考えている。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 JP20H02109 ならびに、JST 【ムーンショット型研究開発事業】 グランド番号【JPMJMS2032】の支援を受けたものです。

## 参考文献

- 1) Stentz, A., Bares J., Singh S. and Rowe P.: A Robotic Excavator for Autonomous Truck Loading, *Autonomous Robots*, vol. 7, no. 2, 1999.
- 2) Yoo, S., Park, C-G., You, S-H. and Lim, B. A Dynamics-based Optimal Trajectory Generation for Controlling an Automated Excavator, *Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, vol. 224, 2009.
- 3) 山元弘, 茂木正晴, 大槻崇, 柳沢雄二, 野末晃, 山口崇, 油田信一: 動作計画と制御に3次元情報を用いた自律油圧ショベルプロトタイプの開発, 計測自動制御学会論文集, vol. 48, no. 8, 2012.
- 4) 勝間慎弥, 谷島諒丞, 濱崎峻資, 全邦釘, 永谷圭司, 山内元貴, 橋本毅, 山下淳, 浅間一: 土質に応じた動作生成が可能な自動掘削のための3次元計測情報を用いた土質推定, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020 講演論文集, 2A2-A11, 2020.
- 5) Katsuma, S., Yajima, R., Hamasaki, S., Chun, P., Nagatani, L., Yamauchi, G., Hashimoto, T., Yamashita, A., Asama, H.: Excavation Path Generation for Autonomous Excavator Considering Bulking Factor of Soil, *Proc. of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 2020.
- 6) 桂知弘, 谷島諒丞, 濱崎峻資, 永谷圭司, 山下淳, 浅間一: 油圧ショベルによるこぼれに着目した自動掘削軌道の生成, 第 39 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2G4-06, 2021.

(2012.5. 受付)

## A Study on Autonomous Excavation with Excavator Considering Soil Information and Related Issues Ryosuke YAJIMA and SMITH

Although research on autonomous excavation is in progress, excavation is performed without considering the soil information to be excavated, or with assumptions that the information is known. This may reduce the efficiency of excavation when soil information is not known or when it differs from assumptions in advance. Thus, our group has been studying to realize efficient autonomous excavation by considering the soil information. This paper summarizes the overview of the research and the revealed issues.

# 斜面崩壊シミュレーションにおけるデータの自動構築に関する研究

佐々木 理貴<sup>1</sup>・大石 哲<sup>2</sup>

<sup>1</sup>神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail:220t118t@stu.kobe-u.ac.jp

<sup>2</sup>神戸大学都市安全研究センター (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1)

E-mail:tetsu@phoenix.kobe-u.ac.jp

数値シミュレーションを行うためには、必要なデータを集めてシミュレーション用の入力ファイルに変換する必要がある。しかし、情報源のデータ形式や入力データのフォーマットは統一されておらず、シミュレーションの実行には情報源に合わせてデータを変換し、入力すべきデータフォーマットに合わせた統合が必要となる。そのためにシミュレーションにかかる工数が増え、必要なデータを集めたとしても迅速にシミュレーションを実行することができない。そこでデータの変換や統合を自動的に行う「データの自動構築」を導入することで、シミュレーション実行の工数を削減することが可能となる。

本研究では「データの自動構築」を行い、その実用性を示すことを目的とする。また土石流災害を対象とした斜面崩壊シミュレーションを実行し、再現性の確認を行う。

**Key Words** : *automatic data construction, mudslide, DPP, simulation, data conversion and integration*

## 1. 序論

### (1) 研究背景

令和3年7月熱海市伊豆山土石流の事例を含め、近年大規模な土砂災害が頻繁に起こっている。また令和2年7月豪雨では37府県で961件の土砂災害をもたらし、過去最大クラスの広域災害となった<sup>1)</sup>。故に土砂災害について考えることは非常に重要である。

土砂災害に対応するためには、迅速な斜面崩壊シミュレーションの実行が不可欠である。しかしシミュレーションを行うためには、異なる形式のデータを統合する必要があり、必要なデータを集めたとしても即座にシミュレーションを実行することができない。そこでデータの読み込みや変換、統合を自動で行うシステムを確立することで、災害時などの緊急時であっても即座にシミュレーションを実行することが可能となる。異なる形式を持つデータ間において、データの変換や統合を自動で行い、迅速なシミュレーションの実行に必要な情報を集めることをデータの自動構築という。データの自動構築を実行することで、迅速なシミュレーションを行い、災害時の被害状況の把握や具体的な対策の立案が可能となる。

### (2) 研究の目的

インフラデータの統合には、データの読み込み、媒介データへの変換、解析モデル構築という3つの機能が必要である。大谷<sup>2)</sup>が開発したデータ処理プラットフォーム(DPP)を利用することで、Takeyama et al.(2021)<sup>3)</sup>は、ボーリングデータの読み込み、材料パラメータの決定、地盤グリッドモデルの構築を行う仕組みを開発した。

本研究ではTakeyama et al.(2021)<sup>3)</sup>をもとにSPHを用いた斜面崩壊シミュレーション用の入力データである地盤粒子モデルを自動構築することで、データ自動構築の実用性を示すことを目的とする。また構築した地盤粒子モデルを用いて、斜面崩壊シミュレーションを実施し、土砂災害事例の再現を行う。

## 2. データの自動構築における基本手順

本章では地盤データの自動構築に関する手順について、Takeyama et al.(2021)<sup>3)</sup>を参考に説明する。

### (1) ボーリングデータの読み込み

ボーリングデータは一般財団法人国土盤情報センタ



一<sup>4)</sup>における国土地盤情報データベースからダウンロードする。ボーリングデータは DPP を用いることで読み込みが行われる。地盤のグリッドモデルにおける地盤データの出力範囲は、読み込んだボーリングデータにより決定される。地盤データの出力範囲は読み込んだすべてのボーリングデータが収まり、かつ最小の矩形範囲が選択される。

## (2) DEMデータの読み込み

DEM データは国土地理院<sup>5)</sup>の基盤地図情報ダウンロードサービスからダウンロードしたものを用いる。DEM データを読み込むことで地盤グリッドモデルに地表面形状を与える。

## (3) 材料パラメータの決定

地盤のグリッドモデルを構築するにはN値だけでなく、有効内部摩擦角や透水係数のような材料パラメータの値が必要である。このような材料パラメータの情報はボーリングデータには含まれない。そこで本研究では Takeyama et al. (2021)<sup>3)</sup>に倣い、材料パラメータを ParameterMap と呼ばれる CSV ファイルを DPP で読み込むことで決定した。ParameterMap を用いて、N値と土質区分から単位体積重量と20%粒径を決定した。

## (4) 地盤グリッドモデルの構築

地盤グリッドモデルの構築はDPPを用いて、読み込んだボーリングデータやDEMデータ、決定した材料パラメータをすべて変換、統合することで行う。地盤グリッドモデルはParticles形式やCSVファイルで出力することが可能である。地盤グリッドモデルは格子点で構成されているが、本研究では格子を自由に移動可能な粒子として扱うため、格子点のことを粒子、格子点間隔を粒子間間隔として説明する。

## 3. 北海道勇払郡厚真町におけるデータ自動構築の適用

本章では、実地盤において適切な地盤グリッドモデルを構築することを目的としている。そのため出力の負担を考慮し、粒子間間隔は10mで行った。

### (1) 北海道勇払郡厚真町の地盤グリッドモデル構築

北海道勇払郡厚真町は平成30年に発生した胆振東部地震により、多数の大規模な土砂災害が起きた地域である<sup>6)</sup>。北海道勇払郡厚真町の周辺地図を図-1に示す。



図-1 北海道勇払郡厚真町の周辺地図

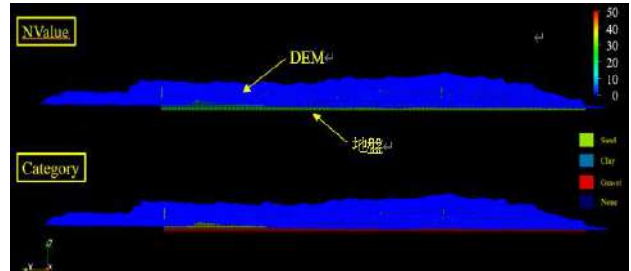


図-2 北海道勇払郡厚真町における地盤グリッドモデルの見取り図

図-1に示す箇所以外にもこの地域周辺では多数の土砂災害が発生している。本研究では、図-1に示す矩形で囲まれる領域を地盤グリッドモデルの出力範囲として定めた。構築した厚真町の地盤グリッドモデルを図-2に示す。地盤のグリッドモデルはN値による出力とCategoryによる出力の2つの出力方法を用いている。N値は、0から50の間で色分けされている。Categoryは、砂、粘土、礫の3種類の土質区分で示されている。なおDEMデータにはN値やCategoryの情報が含まれない。またGoogle Earthを用いた地表面形状の目視による確認やボーリングデータを用いたN値や土質区分の照査を行ったところ、地盤グリッドモデルはおおよそ実地盤の情報を反映できていることが分かった。以上より、北海道勇払郡厚真町における地盤グリッドモデルは適切な出力が行えたと言える。

### (2) 北海道勇払郡厚真町におけるデータの自動構築に関するまとめ

本章の結果より、データの自動構築を行うことで、実地盤に対して地盤グリッドモデルの構築が可能であると分かった。Takeyama et al(2021)<sup>3)</sup>より、地盤グリッドモデルデータの自動構築に関する方法論が提案されたので、それを利用して、斜面崩壊が発生した位置の実地盤のデータを自動構築した。斜面崩壊が発生するような急峻な斜面が含まれた位置で地盤グリッドモデルの適切な出力が可能であると判明した点は、データの自動構築の実用性を示すうえで重要な結果となった。

#### 4. 斜面崩壊シミュレーション

##### (1) 斜面崩壊シミュレーションに適用する地盤粒子モデル自動生成手法

本節では斜面崩壊シミュレーションの入力になる地盤粒子モデル自動生成手法について説明する。地盤粒子モデルは、前節の地盤グリッドモデルを用いて粒子間間隔を1mに設定したものを粒子法シミュレーションに適合するC++の構造体形式で出力するものである。ただし本研究では地盤グリッドモデルの地表面高さだけを用いて、それ以外のパラメータは一律で与えた。斜面崩壊シミュレーションにおける地盤粒子モデルの作成範囲を図-3に示す。図-3に示す範囲において、作成した地盤粒子モデルを図-4に各々E1, E2, E3として示す。

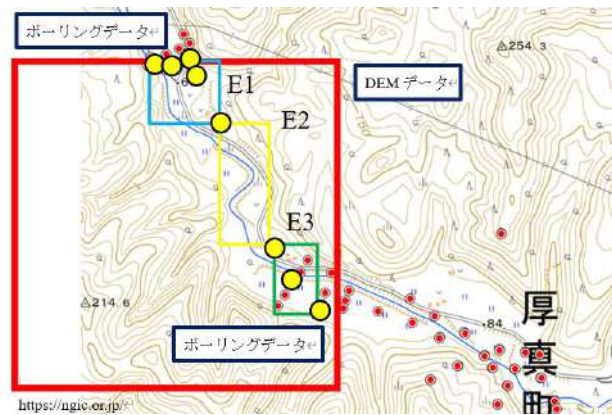


図-3 斜面崩壊シミュレーションにおける地盤グリッドモデルの適用範囲

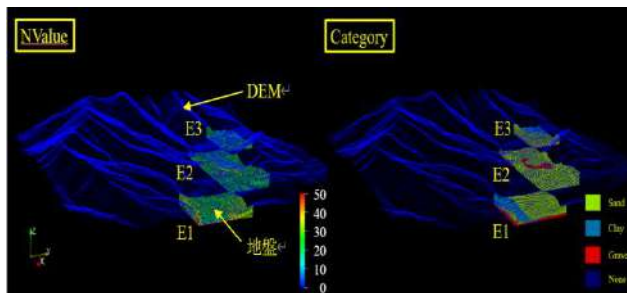


図-4 斜面崩壊シミュレーションに用いる北海道勇払郡厚真町における地盤グリッドモデルの見取り図

##### (2) SPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)法による斜面崩壊シミュレーション

作成した地盤粒子モデルを用いて、SPH法による斜面崩壊シミュレーションを行った。SPH法とは粒子法の一つであり、連続体を有限個の粒子によって表し、連続体の挙動を粒子の運動によって計算する方法である<sup>7)</sup>。

##### (3) DEMデータを用いた斜面崩壊シミュレーション

###### a) 実行方法

SPH法による斜面崩壊シミュレーションは、野中(2020)<sup>8)</sup>や平田(2022)<sup>9)</sup>を参考にして行った。

斜面崩壊シミュレーションにおける計算は東京大学情報基盤センターのOakforest-PACSスーパーコンピュータシステムを利用した。本シミュレーションでは43ノード、473プロセスに設定し、並列計算を行った。ここでノード毎の粒子数を同一にするためにノード数とプロセス数は地盤粒子数の約数である。斜面崩壊シミュレーションの計算時間間隔は1/10000秒であり、10000ステップ、1秒間の計算を行った。今回、10000ステップ行うのにかかった計算資源消費時間は9分であった。

###### b) 実行結果

斜面崩壊シミュレーションの実行結果を図-5および図-6に示す。図-5は計算実行前、図-6は計算終了後の結果である。図-5および図-6はより鮮明な粒子の動きを確認するため、図-4における構図を拡大したものである。図-5において、確認できた尾根を基準とし、それを図-6に当てはめた。図-5と図-6は比率や位置に関して互に対応しているため、比較は可能である。比較すると、図-5では見られなかった領域が図-6で見られた。図-6の上部に示した水色の領域が計算終了後にのみ可視化できた領域である。

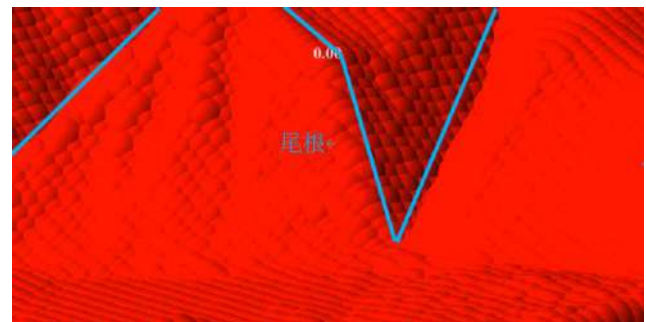


図-5 0ステップにおける斜面崩壊シミュレーションの実行結果

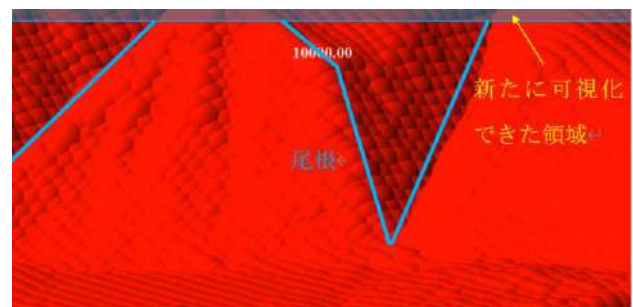


図-6 10000ステップにおける斜面崩壊シミュレーションの実行結果

水色で示す領域の分、沈み込むように粒子が移動したと分かった。したがって本シミュレーションの実行結果として、地盤データにおける粒子全体が沈み込むような動きをしていたことを確認した。

### c) 斜面崩壊シミュレーションにおける考察

北海道勇払郡厚真町において、斜面崩壊シミュレーションを実行すると粒子全体が沈み込むように動いた。しかし国土交通省砂防部による平成 30 年の土砂災害<sup>9)</sup>で報告されているような大規模な斜面崩壊や多数の土砂崩壊は確認できなかった。本結果の原因として、DEM データを用いた SPH 法による斜面崩壊シミュレーションでは、地盤データが様な砂地盤に置き換えられるため、正確な地盤データを反映できなかったことが考えられる。

## 5. 結論および考察

3節で北海道勇払郡厚真町における粒子間間隔 10m の地盤グリッドモデルを構築することで実地盤を対象としたデータの自動構築の実用性を検証した。その結果、実地盤における地盤グリッドモデルの適切な出力が可能であると判明した。これはデータの自動構築の実用性を示すうえで非常に重要な結果となった。

4節では SPH 法による斜面崩壊シミュレーションについて取り上げた。本研究では DEM データを用いた斜面崩壊シミュレーションを行った。斜面崩壊シミュレーションの実行結果として、土砂全体が沈み込むような現象を確認した。しかし国土交通省砂防部による平成三十年の土砂災害<sup>9)</sup>で報告されているような大規模な斜面崩壊や多数の土砂崩壊は確認できず、土砂災害事例の再現はできなかった。

したがって本研究の課題は、データの自動構築を用いた斜面崩壊シミュレーションの再現性を確認することである。DEMデータのみを用いて斜面崩壊シミュレーションを実行する場合、N値やCategoryの情報がシミュレ

ーションに反映されないため、実際の土砂災害現象を再現できない可能性がある。そこで今後は地盤グリッドモデル (DEMデータと地盤データ) を用いた斜面崩壊シミュレーションを行い、土砂災害事例の再現を行う。

### 参考文献

- 1) 国土交通省：令和 2 年の土砂災害発生件数は平均の約 1.2 倍  
[https://www.mlit.go.jp/report/press/sabo02\\_hh\\_000113.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/sabo02_hh_000113.html) (参照日 2022 年 2 月 3 日)
- 2) 大谷英之、記述形式の自動変換に基づく異種データ連携における型定義の自動化に関する研究、地理情報システム学会講演論文集(CD-ROM) 28 巻 F5-4, 2019.
- 3) T.Takeyama,H.O-Tani,S.Oishi,M.Hori and A.Iizuka:Automatic Construction of Three-Dimensional Ground Model by Data Processing,*IEEE/ASME TRANSACTIONSON MECHATRONICS*,vol.26,No.6,pp.2881-2887,2021.
- 4) 一般財団法人 国土地盤情報センター：国土地盤情報データベース 一般公開  
<https://publicweb.ngic.or.jp/public/publicweb.php> (参照日 2022 年 2 月 3 日)
- 5) 国土地理院：基盤地図情報 ダウンロードサービス  
<https://fgd.gsi.go.jp/download/mapGis.php?tab=dem> (参照日 2022 年 2 月 3 日)
- 6) 国土交通省砂防部：平成三十年の土砂災害, pp.7, 2018.  
[https://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/h30dosha/h30dosha\\_sai.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/h30dosha/h30dosha_sai.pdf) (参照日 2022 年 2 月 3 日)
- 7) 平田紗椰：FDPS を用いた土/水連成数値モデルの開発に関する研究, 神戸大学工学部卒業論文, pp.1-44, 2020.
- 8) 野中沙樹：SPH シミュレーションによる斜面崩壊の定量的評価に関する研究, 神戸大学大学院工学研究科修士論文, pp.1-47, 2020.
- 9) 平田紗椰：大規模粒子法を用いた実斜面崩壊シミュレーションに関する研究, 神戸大学大学院工学研究科修士論文, pp.1-56, 2022.

(? 受付)

## STUDY ON AUTOMATIC DATA CONSTRUCTION FOR MUDSLIDE DISASTER SIMULATION

Riki SASAKI and Satoru OISHI

In order to conduct numerical simulations, we need to collect the infrastructure data for the simulation. However, the data format of such infrastructure data is currently not unified, and data conversion is necessary. Thus, even if the necessary infrastructure data is collected, it cannot be simulated immediately.

Therefore, by introducing “automatic data construction” that automatically performs data conversion and integration, simulations can be performed immediately. This makes it possible to immediately conduct simulations, even in urgent situations such as disasters, to accurately assess the situation and formulate specific countermeasures against disasters.

The purpose of this study is to perform “automatic data construction” and to confirm its significance. The results will be verified by slope failure simulations for mudslides.

# 3次元レーザースキャナを用いた配筋検査システムの性能確認とデバイス認証システム

石田 靖<sup>1</sup>・小澤 一雅<sup>2</sup>・松岡 茂<sup>3</sup>・長尾 達児<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 正会員 鉄建建設(株) 土木本部i-Con推進部 (〒101-8366 東京都千代田区神田三崎町2-1-3)  
E-mail:yasushi-ishida@tekken.co.jp

<sup>2</sup> フェロー会員 東京大学大学院工学系研究科 特任教授 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)  
E-mail:ozawa@i-con.t.u-tokyo.ac.jp

<sup>3</sup> 正会員 鉄建建設(株) 土木本部 (〒101-8366 東京都千代田区神田三崎町2-1-3)  
E-mail:shigeru-matsuoka@tekken.co.jp

<sup>4</sup> 正会員 鉄建建設(株) 土木本部 (〒101-8366 東京都千代田区神田三崎町2-1-3)  
E-mail:tatsuji-nagao@tekken.co.jp

従来、土木工事における鉄筋検査は、施工管理を行う建設会社の職員や監督員にとってかなりの労力が必要であった。また遠隔地の現場が多い地域においては、各監督員の施工現場までの移動時間が長くなると同時に、施工会社にとっては、コンクリートを打設するまでのタイミングを図りながら、立会検査のスケジュールを確保する等の調整作業を行わなければならなかった。これまで、デジタルカメラで撮影した画像等を用いた鉄筋出来形計測システムが開発され、受発注者の作業効率化を図る試みがなされている。

本稿では、鉄建建設(株)が開発した3次元レーザースキャナを用いた配筋検査システムの性能確認の結果とデジタルデータを活用した鉄筋出来形計測に用いるデバイス等の認証システムの概要を記述する。

**Key Words :** *verification system, bar arrangement inspection system, performance confirmation test, three-dimensional scanner*

## 1. はじめに

鉄建建設(株)が開発した配筋検査システムは、構造物全体の配筋状況を3次元レーザースキャナ（以下、3Dスキャナとする）で点群データとして取得し、鉄筋検査の省力化を図るとともに、これを3次元CADモデルに変換し、構造物のBIM/CIMモデルの属性データとして維持管理へ引き継ぐことで、欠陥発生時に原因特定の判断材料のひとつとして活用を図り、効率的なインフラメンテナンスの一助となる。

本稿では、この3Dスキャナを用いた鉄筋検査システムの性能確認試験の結果とこれを鉄筋出来形計測に適用する際のデバイス認証システムの概要について紹介する。この研究は、2020年12月より「東京大学i-Constructionシステム学寄付講座」と鉄建建設(株)との共同研究により実施されたものである。

## 2. 3Dスキャナを用いた配筋検査システムの概要

3Dスキャナで得られた点群データから直接的に、鉄筋径や鉄筋間隔などの正確な数値化は行えない。そこで点群処理ソフト「InfiPoints」に搭載されている、点群から3次元CADモデルを生成する機能を改良し、点群データから鉄筋径の判別と配筋状況をCADモデル化するシステムを構築した。これにより鉄筋情報の取得・計測が可能となった。1カ所からの計測では、スキャナ側から見て前面の鉄筋に隠れてしまう部分が発生し、配筋状況全体の点群が取得できないため、複数の方向からスキャンを実施することで、配筋全体の点群データを取得する。（図-1）この点群データを「InfiPoints」へ取り込み点群データの合成を行い余分な、点群の除去を行った後、鉄筋だけの情報を残し、鉄筋検査範囲を指定し、データの取り込みを行う。（図-2）

データ取り込み後、鉄筋の抽出に必要な点群を切り出

し、計測を行う配筋面毎に編集を行い、鉄筋のCADモデル化を実行する。(図-3) この際、点群情報から、設定済みの各鉄筋径に合わせてモデル化される。

3Dモデル化された鉄筋については、一定区間の点群データから直円柱を抽出しながら、近似できる場合(軸が一致している)には、その直円柱を延長しモデルを作成するものである。ただし、点群データが写っていない(もしくは密度が小さい)場合は、直円柱として表示しないルールとしている。

モデル化された鉄筋に対して、計測したい範囲を指示して計算を実行する。(図-4) (図-5) 選択範囲に対する各鉄筋の本数、間隔(最大、最小、平均)と重ね継手長さが算出される。(図-6)

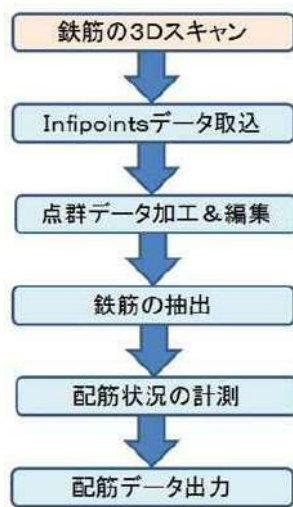


図-1 システム概要図

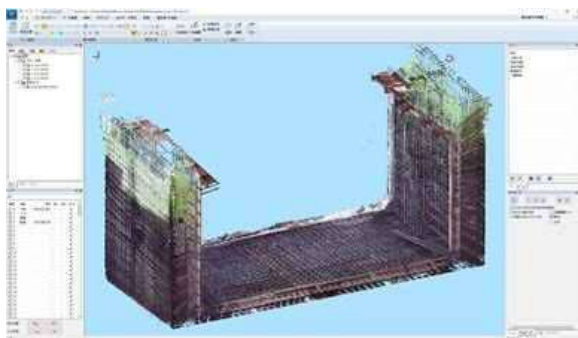


図-2 点群データ取得(PC主桁内部)

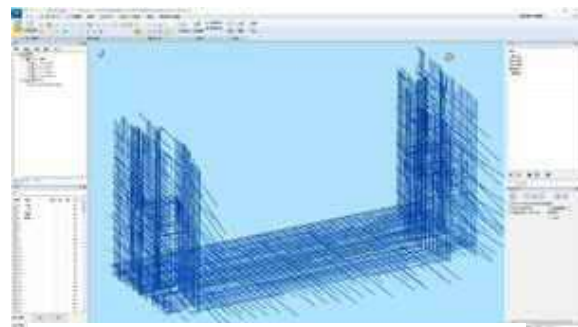


図-3 点群データから鉄筋モデル化

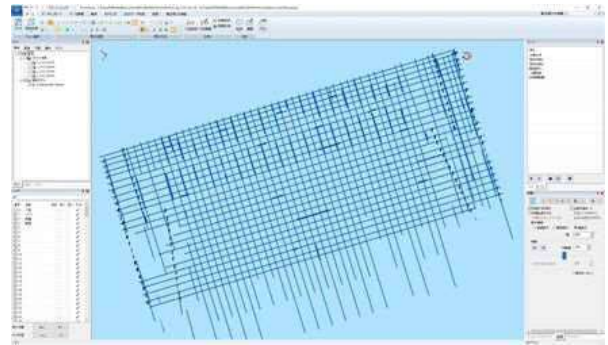


図-4 鉄筋抽出(下床版上筋)

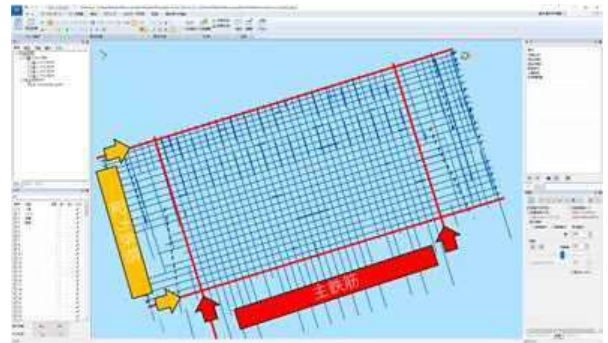


図-5 配筋計測範囲の選択



図-6 計算結果サンプル

### 3. 性能確認試験

#### (1) 3Dモデル化された鉄筋との整合性の検証

本システムの肝となる部分は、3Dモデル化された鉄筋が実際の鉄筋と合致していることが証明されていなければならないことである。そこで当社技術センターに設置しているボックスカルバート供試体を用いて、検証試験を実施した。(写真-1)

検証試験は、以下の要領にて行った。

- ① ローカル座標を定めるため、鉄筋近辺に基準点を設置。
- ② 主筋・配力筋それぞれ1本ごとに500mm間隔でマーキング。(写真-2)

- ③トータルステーションにより、マーキング箇所を測量し座標化。(写真-3)
- ④基準点を用いて、レーザースキャナによる3次元測量。(2方向からの合成) (写真-4)
- ⑤「InfiPoints」による座標データを持った鉄筋モデルの作成。
- ⑥マーキング箇所の座標値と3Dモデル化された鉄筋(座標データが付与)との比較検証。

以下に主鉄筋(D22)結果を表す。(表-1)  
 なお、表の1~52は鉄筋の本数、A~Gの点は500mm間隔でマーキングされた座標点を表している。  
 整合性の検証は、3Dモデル化された鉄筋1本ごとに対して平均値および標準偏差 $\sigma$ を求め、平均値 $\pm 2\sigma$ (要素の約95%が含まれる範囲)が鉄筋径の $\pm \phi$ に収まるかを検証した。(図-7)

図-7より全体平均値=2.2mm、全体平均+ $2\sigma$ =8.39mm、全体平均- $2\sigma$ =-3.99mmの結果が得られた。この結果より、3Dモデル化された鉄筋が実際の鉄筋径の中で収まっていることが証明されたと考える



写真-1 ボックスカルバート供試体



写真-3 トータルステーション測量状況



写真-2 マーキング状況



写真-4 レーザースキャナによる計測状況

表-1 配筋モデルと座標点との乖離(主筋D22) (単位: mm)

	1	2	3	50	51	52	平均
A	4	1	5	1	-5	1	2.1
B	4	1	-1	5	-1	3	2.1
C	2	2	-1	7	6	1	2.1
D	2	8	0	7	10	4	2.6
E	4	4	2	6	8	4	2.7
F	8	2	2	3	4	1	2.4
G	6	0	4	6	-3	6	1.5
平均	4.3	2.6	1.6	5.0	2.7	2.9	2.2

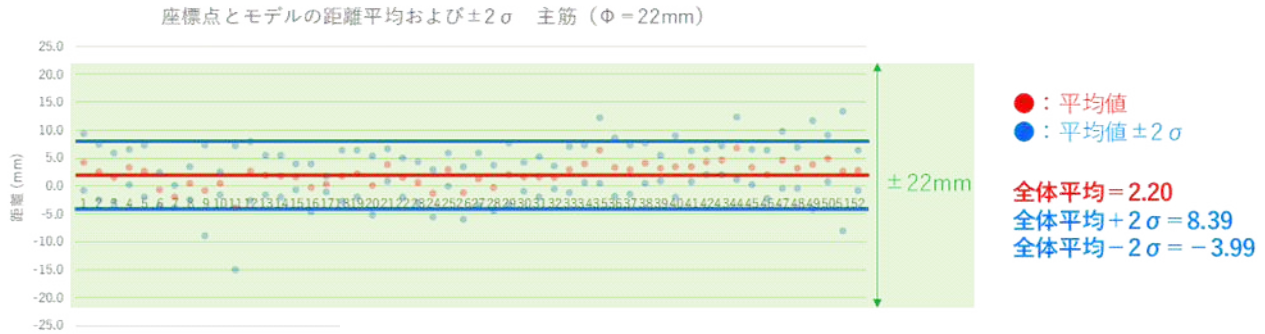


図-7 鉄筋1本ごとの正規分布（主筋D22）

(2) 鉄筋間隔のシステム計測値の整合性検証

本システムで計測される鉄筋間隔の値と実際の値との整合性の検証を行った。(1)での検証方法と同じく鉄筋1本ごとに座標値から得られた計算値とシステムから得られた計算値での比較検証を行った。

国交省の管理基準より鉄筋平均間隔の規格値は、 $\pm \phi$ （鉄筋径）である。これを（計測値－設計値）/鉄筋径で表すと鉄筋平均間隔の規格値は $\pm 100\%$ に置き換えられる。座標計算値およびシステム計測値から求められる計測誤差を正規分布曲線によりグラフ化し、1m間隔でのばらつきを比較検証した結果を示す。（図-8）

このグラフから、中央値付近の値に関しては問題ないが分散値が大きく異なる結果となった。このグラフだけで判断するとシステムを介することにより有利に鉄筋モデルを作成しているとも捉えかねない。

そこで、1ピッチごとの長さの平均値とシステム値との比較を行ったところ、大きな差が無いことが判明した。（表-2）

また、1ピッチごとの長さだけを見てもばらつきが大きいこともわかる。図-9での分散値に影響を与えているもので、これは鉄筋組立作業に起因している局部的な鉄筋の歪みが影響していると思われる。

4. デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測のための要領（案）とデバイス認証システム

国土交通省では、ICT活用工種の拡大にあわせて、基準類の策定を適宜行っている。鉄筋出来形計測に関しても令和3年7月に、「デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測の試行要領（案）」が策定され、その有効性等を確認するため試行が開始されている。デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測の目的は、受発注者の作業効率化であり、現在、その適用範囲は、デジタルカメラ等を用いた画像解析データから配筋間隔を計測する技術に限定されている。

筆者らは、東京大学i-Constructionシステム学寄付講座の共同研究において、3Dスキャナーを用いた配筋検査システムにより受発注者の検査業務の効率化を図るため、この試行要領（案）の適用範囲の拡大を目指している。そのためには、配筋間隔を計測するためのデバイスや得られたデータから鉄筋間隔を算出するアルゴリズム（ソフトウェア）の精度や信頼性を認証するシステムを構築することが重要となる。さらに、構造物の配筋結果全体を3Dモデルとして保存し、BIM/CIMモデルの属性データとして維持管理へ引き継ぐことで、欠陥発生時に原因特定の原因材料のひとつとして活用を図り、効率的なインフラメンテナンスの一助とすることも目標としている。

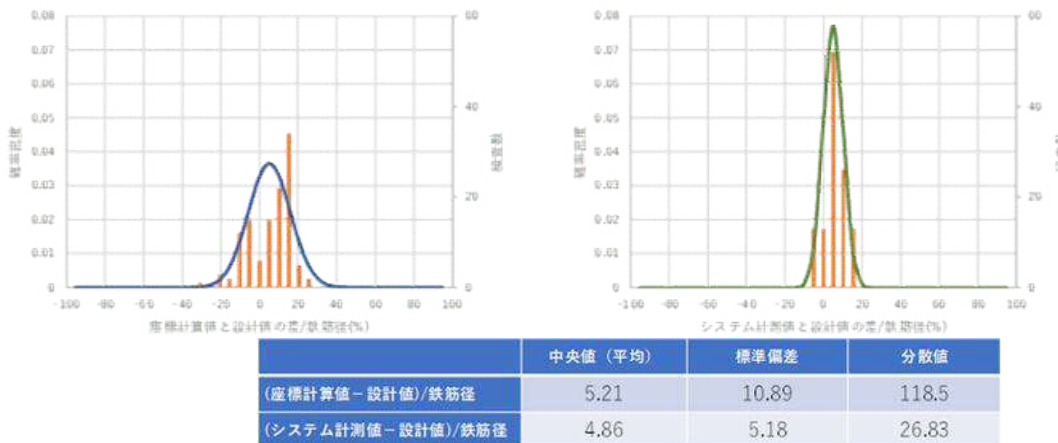


図-8 座標計算値とシステム計測値との比較

表-2 システム測定値と実測値の差 (配力筋D16)

(単位: mm)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	251	251	254	254	236	253	262	241	252	253	250	250
B	243	261	253	252	241	252	255	249	252	252	249	252
C	240	264	253	253	238	254	252	254	253	248	250	252
D	239	264	252	253	240	253	250	258	250	251	251	252
E	236	263	259	247	243	254	249	257	251	253	248	254
F	235	257	266	245	248	250	250	253	257	250	253	247
G	236	254	265	240	250	250	252	254	255	249	255	246
H	237	252	262	248	251	245	256	252	257	251	251	244
I	241	248	251	254	257	245	252	249	256	252	249	248
J	246	248	246	249	267	240	254	248	255	248	251	249
K	248	248	247	244	269	238	259	245	251	250	248	260
L	254	241	245	247	265	238	257	247	248	253	245	257
M	251	238	247	252	261	236	252	254	238	261	241	257
①平均	243	253	254	249	251	247	254	251	252	252	249	251
②システム値	244	253	252	248	252	247	255	251	251	252	250	250
①-②	-1	0	2	1	-1	0	-1	0	1	0	-1	1

## 【参考文献】

## 5.おわりに

画像解析や3Dスキャナを用いた配筋検査システムでは、多段配筋については前面の鉄筋に隠れる背面の鉄筋の情報が十分に得られず、3Dモデル化する際に欠損範囲が大きくなる場合がある。このため、鉄筋組立作業の中で、適切なタイミングでのデータ採取が必要となる。しかし、現存する3Dスキャナは、測定時間が数分から十数分を要する。そのため、現状では測定の度に鉄筋の組立作業を長時間中断しなくてはならない。今後は、測定時間の短い3Dスキャナの開発が望まれる。

- 1) 石田靖ら：ICT技術を用いた新しい配筋検査基準とデバイス認証システムの開発,第3回「i-Constructionの推進に関するシンポジウム」,土木学会建設マネジメント委員会,2021.7
- 2) 石田靖：トレーサビリティの確保を可能とした鉄筋検査システムの開発,土木施工 VOL.62, No.7, 2021.7 (投稿中)
- 3) 国土交通省：土木工事施工管理基準及び規格値(案), 2021.3
- 4) 国土交通省：デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測の試行要領(案), 2021.7

### Confirmation of Performance of Bar Arrangement Inspection System utilizing Three-Dimensional Laser Scanner and Construction of Verification System of Device Therefor

Yasushi ISHIDA, Kazumasa OZAWA, Shigeru MATSUOKA  
and Tatsuji NAGAO

Conventionally, bar arrangement inspection in civil engineering works requires much effort by the workers of the construction company that implements construction and management on site and/or a supervisor dispatched from the employer.

In this paper, results of confirmation of performance by a bar arrangement inspection system using three-dimensional laser scanner, which was developed by Tekken Corporation, and an overview of a verification system for a device used for measurement of the bar arrangement utilizing the digital data will be discussed.



# 首都高速道路のスマートインフラマネジメントシステムと今後の展望について

飯島 悠介<sup>1</sup>・長田 隆信<sup>2</sup>・神田 信也<sup>3</sup>

<sup>1</sup>東京大学大学院 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: [ijijima@i-con.t.u-tokyo.ac.jp](mailto:ijijima@i-con.t.u-tokyo.ac.jp)

<sup>2</sup>正会員 首都高速道路株式会社 技術部 (〒100-8930 東京都千代田区霞が関一丁目4-1)

E-mail: [t.osada85@shutoko.jp](mailto:t.osada85@shutoko.jp)

<sup>3</sup>正会員 首都高速道路株式会社 技術部 (〒100-8930 東京都千代田区霞が関一丁目4-1)

E-mail: [s.kanda76@shutoko.jp](mailto:s.kanda76@shutoko.jp)

近年、インフラメンテナンスの分野においても、ICT、AIなどを活用した維持管理の効率化、高度化の取り組みが進められている。特に、i-Constructionでは、調査・設計から施工、維持管理のあらゆるフェーズでICTを導入することにより、生産性の向上を目指している。このため、各フェーズの各種データをシームレスに統合し、一元管理するデータプラットフォームの構築が求められている。

本論文では、首都高速道路で実装しているスマートインフラマネジメントシステム (i-DREAMs®) について述べる。また、i-DREAMs®の活用状況や業務分析をもとにした更なる機能拡張へ向けた展望について述べる。

**Key Words :** data platform, ICT, image analysis, AI, CIM

## 1. はじめに

近年、ICT (情報通信技術) やAI (人工知能)、ネットワーク技術等の進歩に伴い、インフラ分野においても、デジタル技術を活用し、生産性の向上や新たな価値を創出する、いわゆるデジタルトランスフォーメーション (DX) の取り組みが進められている。

一方、高度経済成長期以降に集中的に整備された社会インフラの高齢化が急速に進むなか、維持管理を行う財源の確保に加え、生産年齢人口の減少に伴う技術者の不足が懸念されている。

このような社会環境の変化と課題に対応するため、首都高速道路では、最新のデジタル技術等を積極的に活用し、維持管理の生産性の向上を図ることで持続可能なインフラを実現するスマートインフラマネジメントシステム (i-DREAMs®: intelligence-Dynamic Revolution for Asset Management system) を開発し、2017年より運用している。そのデータプラットフォームでは、これまで個別に管理していたデータベースを一元管理するとともに、交通運用に係るデータの取り込みや総合防災情報システムへの拡張等、より多くの必要な情報を集約できるように改良を加えてきている。

本稿では、システム開発の背景となった首都高速道路における維持管理上の課題からシステムの内容を紹介する。さらに、i-DREAMsの活用状況や業務分析をもとにした更なる機能拡張へ向けた今後の開発目標について述べる。

## 2. 維持管理における主な課題

首都高速道路は、都市内の限られた立地条件で建設されているため、高架橋やトンネル等の構造物の比率が95%と高く、土工が主体の道路と比べると、よりきめ細やかな維持管理が必要となっている。

構造物の維持管理としては、点検を定期的に行い、事故や第三者被害につながるような重大な損傷が発見された場合は直ちに緊急工事を行うなど、損傷の程度に応じて対応を行い、“安全・安心の確保”と“円滑・快適な道路サービスの提供”に努めている。構造物の維持管理における主な課題を以下に示す。

### (1) 多種に及ぶ膨大な施設の適切な管理

約12,000径間の橋梁、約350種類29万個の施設物を管理しており、対象物に応じた適切な管理が必要である。

(2) 近接施設との立体的条件を踏まえた管理

都市内の厳しい立地条件で建設されているため、図-1に示すように一般道や鉄道、河川と近接しており、現場確認を行うだけでも非常に手間を要する。

(3) 限られた資源で確実かつ効率的な維持管理

構造物の高齢化に伴い発見される損傷数が増大しているなか、限られた人材・予算で確実かつ効率的な維持管理を実施することが必要である。

(4) 重大な損傷の早期発見と迅速な対応

事故や第三者被害につながる可能性がある損傷の早期発見と迅速な対応が必要である。

上記に示す課題を解決するために、i-DREAMsを開発・改良しながら、グループ会社を含めた首都高グループ全体で運用しているところである。



図-1 高架下の近接施設

3. スマートインフラマネジメントシステム (i-DREAMs®)

i-DREAMsは、調査・設計段階から、施工、維持管理段階の各プロセスにおける各種データ（属性情報）をシームレスにつなげ、統合・一元管理することにより、効率的な道路維持管理を実現するシステムである。そのデ

ータプラットフォームでは図-2に示すように、現実空間からBIM/CIMやICT・ロボットを活用した技術等を通して、構造物の維持管理に係るデータ、交通オペレーションに係るデータ、防災に係るデータ、周辺や環境状況に係るデータを効率的に収集し、位置情報をもとに統合される。これらのデータを、目的や用途に応じて2次元と3次元空間を使い分けながら、時系列で確認することで、点検や補修の実施状況、劣化や損傷の進行度の検証など、構造物の管理状況の「見える化」が図られる。このようなメンテナンスサイクルのスパイラルアップにより、高度なインフラのマネジメントが実現される。

以下に、利用者である首都高グループの多種多様なニーズへ応えるために構築している2次元空間（GIS）と3次元空間（点群）を活用したプラットフォームについて紹介する。

(1) 2次元空間プラットフォーム（GIS）

GISをベースとしたプラットフォームでは、俯瞰的な把握に適しているため、管理している構造物単位で属性情報を付与している。具体的には、橋梁の径間単位等でポリゴンを作成し、構造の基本諸元から点検補修履歴、図面、設計計算書に至るまでを属性情報として関連付けている。したがって、図-3に示すように、GISの地図上で確認したい位置をクリックするだけで、これらの情報を瞬時に閲覧できる。更に、任意の条件で首都高速道路全線を検索・抽出し、一覧表からマップの作成までをシステム上の簡単な操作で行える。

これにより、資料収集の時間は、従来の台帳単位で検索していた時と比べ90%程度短縮でき、総合的な構造物の診断・評価を迅速に行うことが可能となった。



図-2 データプラットフォーム概念図

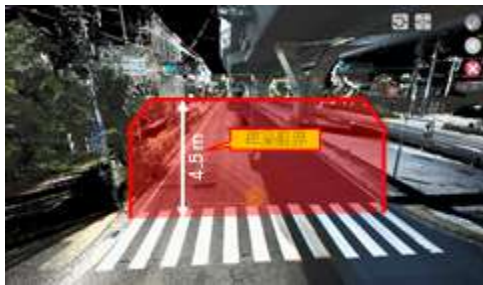


図-3 2次元空間プラットフォーム (GIS)

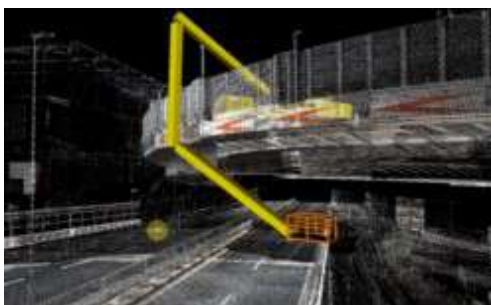
(2) 3次元空間プラットフォーム (点群)

厳しい立地条件下で建設されている構造物は複雑で、周辺施設と近接しているため、現場確認を行うだけでも非常に手間を要している。このような輻輳した現場で構造物をきめ細かく効率的に管理するには、周辺施設も取り込んだ3次元空間のプラットフォームが有効となる。

そこで、首都高速道路では3次元点群データを全路線で取得し、維持管理への活用を開始した。このデジタルツインにより、実現場と同じ条件で図4に示すような寸法計測から施工シミュレーション等をシステム上で行えるようになった。



寸法計測 (建築限界の確認)



施工シミュレーション (橋梁点検車)  
図-4 3次元空間プラットフォーム (点群)

4. ICTツールとの連携

i-Construction に代表されるように、インフラの建設や維持管理の現場において、生産性の向上を目的にICT等を活用した取り組みが盛んに行われている。

首都高速道路の巡回点検においても、5年前からフルハイビジョンのカメラ点検システムを導入し、効率的な道路空間状況の把握に寄与している。こうしたICTツールやセンシング技術を用いて、現場の有用な情報をシステムに吸い上げることができれば、データ収集の迅速化とともに、労力を要していたデータ更新作業が効率化される。

図-5に現場におけるICTツールとシステムの連携イメージを、図-6に地図と連携した映像確認システムを示す。位置 (x, y, z) と日時 (t) を共通キーとすることで、前述のプラットフォームにデータを容易に取り込むことができる。これにより、道路空間の細部までの正確な情報を迅速に把握でき、マネジメントの高度化に寄与する。

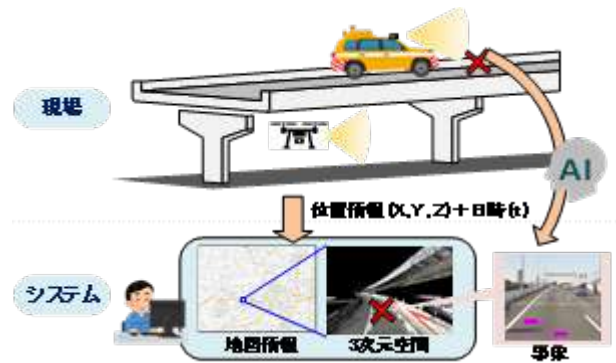


図-5 ICTツールとの連携イメージ



図-6 地図と連携した映像確認システム

5. i-DREAMs®の更なる拡張に向けて

i-DREAMsは2017年の運用開始以来、機能を追加しながら社内の業務効率化・高度化に寄与してきたところである。しかしながら、社内業務の全てをデジタル化するには至っておらず、i-DREAMsの利用状況も部門ごとで偏りが見られるのが現状である。そのため、i-DREAMsの利用が定着してきた現段階で、改めて社内の業務フローを分析し、業務上必要なデータの取得方法や利用状況

を整理することによって、i-DREAMsに必要な追加機能の検討をしたいと考える。

具体的には、道路の管理を担う部門だけでなく、建設を担う部門に対しても、現在の業務におけるi-DREAMsの利用状況や、どのようなデータを利用して業務を遂行しているかの聞き取り調査を開始したところである。さらに、本社やグループ会社にも同様の聞き取り調査を行う予定である。その結果をもとに、「構造物の設計」や「渋滞対策」などの業務ごとに取り扱うデータや作業の流れを見える化したフローを作成したいと考えている。作成されたフローから、デジタル化できていない作業のやルーティーンとして時間を要している作業など、業務改善の候補を抽出し、i-DREAMsの活用による改善を検討したいと考える。

将来的には、IoTやAIの進化により、フィジカル空間（現実空間）から膨大なリアルタイム情報がサイバー空間（仮想空間）へ更に集積されることになる。こうしたデータをシステム上で効率的に分析し、その結果を現実

のインフラ管理へフィードバックするにはデジタルツインが有効となる。現時点におけるデジタルツイン構想を図-7に示す。デジタル化した首都高速道路ネットワークをサイバー空間に構築し、調査から施工、維持管理、交通運用及び危機管理に至る様々なフェーズで活用することで、効率的かつ合理的な道路管理を実現し、働き方の改善を推進していく予定である。加えて、MaaSと連携したお客様サービスの向上など、新たな価値の創造にもつなげていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 土橋浩, 長田隆信: インフラデータプラットフォームの活用, pp17-24, AI・データサイエンス論文集 2020年1巻J1号
- 2) 長田隆信: データプラットフォームとICT活用による道路空間マネジメントの高度化, pp2-5, 雑誌道路 2022年4月号



図-7 首都高速道路のデジタルツイン構想

SMART INFRASTRUCTURE MANAGEMENT SYSTEM OF METROPOLITAN EXPRESSWAY AND FUTURE PROSPECTS

Yusuke IJIMA, Nobutaka OSADA and Shinya KANDA

In recent years, the effective and highly advanced maintenance has been implemented utilizing ICT and AI in the field of infrastructure maintenance. In particular, i-Construction aims to improve productivity by employing ICT in all phases from survey/design to construction and maintenance. Therefore, it is required to built a data platform that integrates and centralizes various data of each phase seamlessly.

This paper describes the infrastructure data platform (i-DREAMs®) implemented on the Metropolitan Expressway. In addition, the prospects for further function expansion based on the usage status of i-DREAMs® and work analysis are described.

# インフラ分野のDX推進に向けた データマネジメントの課題と改善案

木村 泰<sup>1</sup>・光谷 友樹<sup>1</sup>・中洲 啓太<sup>1</sup>・小川 智弘<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所（〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地）  
E-mail:kimura-y92tc@mlit.go.jp

インフラ分野のDX推進により、調査・計画から設計、施工、検査、維持管理・更新までの建設生産・管理プロセスにおいて、BIM/CIM等の3次元モデルやデジタルデータが一気通貫で活用され、各段階での生産性向上が期待される。一方、我が国における公共事業では、設計・施工分離発注が一般的であり、実際の事業においては、現場条件が入札図書と異なる、あるいは入札時には想定していなかった自然条件や現場条件等の発生により事業進捗に影響を及ぼすことも少なくない。本稿は、直轄事業における建設生産・管理プロセスにおけるデータマネジメント上の課題を示すとともに、実際の公共工事において発生するリスクも踏まえ、事業のプロジェクト単位や発注者内部でのデータマネジメントの改善案と、それらを支えるDX関連ツールに係る技術開発や入札契約制度等の仕組みとその活用方法の基礎的な考え方を報告する。

**Key Words :** Digital Transformation, Data Management, Partonaring, Bid and Contract

## 1. 背景と目的

国土交通省の直轄事業では、技術職員によるマネジメントの下、調査・計画・設計・施工・維持管理の各プロセスが、用地交渉の状況や地元・関係機関等との調整状況等を踏まえ、予算、工期等の面で最適な事業展開となるよう、同時並行的に進められる。その結果、個々の業務・工事が多年度に渡り多数実施され、それぞれに必要なデータの貸与や成果物の納品が行われる。そのため、事業の統合的な把握や、過去の検討状況等の経緯や最新の成果の把握等は、職員の人事異動もある中、体系的、時系列的に適切に整理・管理することが求められる。

また、我が国では、設計・施工分離の原則により、設計・施工分離発注が一般的である。そうした中、工事契約後、「現場条件が入札図書と異なる、あるいは入札時に想定していない自然条件や現場条件等の発生（以下、「リスク」という。）」により、施工中の手戻りなど事業の進捗に影響を及ぼすことがある。

国土交通省ではインフラ分野のDXを推進しており、調査・計画から設計、施工、検査、維持管理という建設生産・管理プロセスにおいては、プロセス間での一气通貫、またインフラに携わる関係者間での統合的・円滑なデータ共有・連携による生産性向上が期待されている。インフラ分野のDXの取組の一環として、国土交通省で

は令和5年度までの小規模を除く全ての公共工事においてBIM/CIMを原則適用することを表明しており、国土技術政策総合研究所（以下、「国総研」という。）では、BIM/CIM等の3次元データを一元的に保管し円滑に利用するための中核拠点としてDXデータセンターの構築を進めている。また、DXデータセンターは、BIM/CIM等の3次元データを一元的に保管する役割だけでなく、建設生産・管理システムを支える各種データ・システムの連携基盤としての役割を持たせることができる<sup>2</sup>。現在、BIM/CIMによるデータの共有・加工・分析等を行うソフトウェア開発・搭載・利用等のための環境構築について、実証実験を通じた検討が進められている<sup>3</sup>。

本稿は、建設生産・管理プロセスにおける受発注者間や発注者内部におけるデータマネジメント上の課題を示すとともに、実際の公共工事において発生するリスクも踏まえながら、事業のプロジェクト単位や発注者内部でのデータマネジメントの改善案とそれらを支えるDX関連ツールに係る技術開発や入札契約制度等の仕組みとその活用方法の基礎的な考え方を報告する。

## 2. データマネジメントの課題

### (1) プロジェクトにおけるデータマネジメント

国土交通省における事業は、調査・計画、用地取得、

設計、工事、維持管理のプロセスを長期に、エリアも広範囲に渡って展開される。道路事業を例にすると、複数の事業区間に対して多年度に渡って多数の調査・設計業務が実施され、設計では予備設計・詳細設計に加え、必要に応じ部分的に修正設計も実施される。

一方、各プロセスでの受発注者のデータ授受においては、測量・調査・設計・施工等の各受注者と発注者間でそれぞれ必要なデータの貸与や成果物の納品がその都度行われている（図-1）。各成果物は発注者により保管され、上述したように多年度に渡って多数の業務・工事成果物が存在するため、事業の統合的な把握や、過去の検討状況等の経緯や最新の成果の把握等は、職員の人事異動もある中、体系的、時系列的に適切に整理・管理することが求められる。

(2) 発注者内部におけるデータマネジメント

発注者側では、受発注者間でやりとりするデータ以外にも、業務・工事発注に付随して生じる入札・契約データ、関係機関等との協議状況や調整結果、さらに法令、基準、要領、事業計画、事業評価、予算等に関する様々なデータを作成・保管・活用している。

一方、これら発注者が活用するデータは、内容に応じて個別のシステムごと、あるいは組織（部局、事務所、担当課、担当係）ごとに別々に保管されることが多く、国土交通省全体での施策検討や、フォローアップ等のデータとりまとめを必要とする場合を含め、発注者内部での効率的なデータの参照や共有には改善の余地がある。例えば、全国的施策の最新の実施状況（例えば、〇〇方式の採用数）等を把握する場合、国土交通本省から各地方整備局へ、そして各地方整備局は各事務所へ依頼を行い、各部局の担当者がそれぞれとりまとめ作業を行うことにより、全体のデータが揃う（図-2）。こうした依頼が各施策ごとに発生・重複することで、担当者が本来取り組むべき業務を圧迫する場合もある。

(3) 公共工事のリスクを踏まえた対応

公共工事には、地質等の自然条件や地元・関係機関協議等の社会条件など多くのリスクが存在する。図-3に、総合評価落札方式（技術提案評価型（S型）、施工能力評価型（I型、II型））により実施しH28～30年度に完了した111件の直轄工事を対象に、工事完成図書から抽出したリスクの発現頻度を示す<sup>4)</sup>。

地質・土質条件ではトンネル工事での切羽面の崩落やクラックの発生や空洞出現、重金属発生等による不溶化処理や埋戻し材の変更などが発生していた。トンネル工事以外でも、土質条件の相違により場所打ち杭の施工条件の変更や、掘削土の流用が困難となる事例があった。

地元・関係機関協議等では、地元等の要望による交通

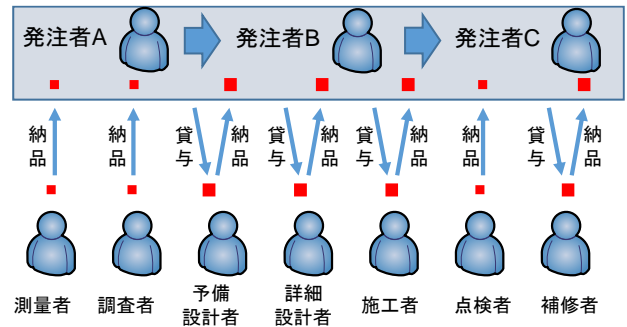


図-1 プロジェクトにおける受発注者のデータ授受

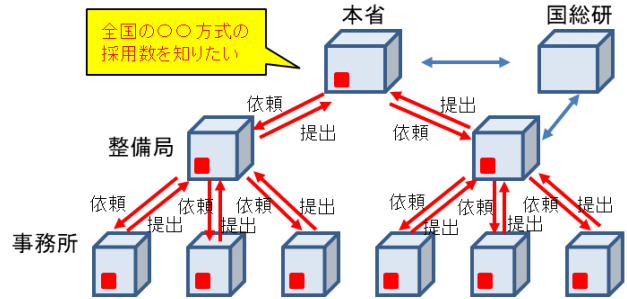


図-2 各種データとりまとめ作業の流れ

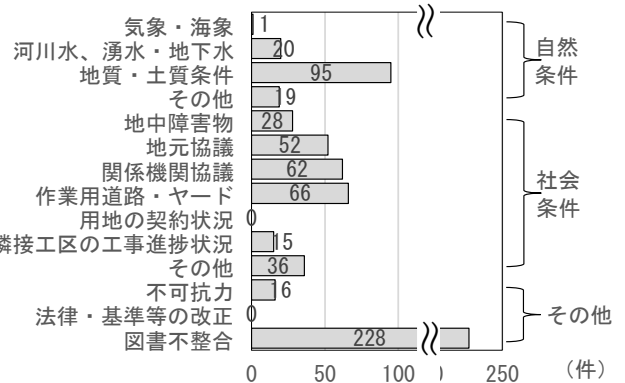


図-3 リスク発現頻度（S型・I型・II型）

誘導員の追加配置・事故対策・防音対策・夜間施工への変更等の対応が必要となった事例が多数あった。このほか、協議難航による一時中止や遺物出現による埋蔵文化財調査のための一時中止、既設埋設物の支障など、事業進捗に影響を及ぼす事例も確認された。

作業用道路・ヤードでは、想定していた大型車両の搬出入が困難なため小型のものに変更したり、資材や掘削土等の仮置き場の不足により現場から離れた場所への搬出が必要となるなど、作業効率・生産性に影響を与えると考えられる事例が確認された。

図書不整合では、設計図書と現場との相違や設計図書にない損傷等により、設計の見直しや施工方法の変更が必要となったものの他、追加補修の発生といった機微なものも含め多くの事例が確認された。

総合評価落札方式をはじめとする設計・施工分離発注方式の適用が中心となる中、インフラ分野のDX推進により、生産性向上を実現するためには、単に情報をデジ

タル化するだけでなく、上述したような入札時の契約図書に明示しづらい各種リスクに関する情報を調査・計画・設計・施工・維持管理の事業の各プロセスを超えて、関係者が円滑に情報共有するため、プロセス間連携を容易にする多様な入札契約方式の活用を含むリスクへの的確な対応が重要となる。

3.

(1) プロジェクトにおけるデータマネジメント

事業における多数の業務・工事の成果品等の体系的・時系列的な整理・管理が求められる中、国総研で構築を進めているDXデータセンターでは、BIM/CIM等の3次元データを一元的に保管し、受発注者が円滑に利用するための環境構築の検討が進められており、また、BIM/CIM等の3次元データに限らないプラットフォームとしての役割も期待されている。事業における個々の業務・工事で作成された成果品は、電子納品により受注者から直接、こうしたDXデータセンター等のプラットフォームへ事業単位等で一元的に保管・蓄積するとともに、発注者や受注者への適切なアクセス権の付与により成果品の参照・共有・活用を可能とすることで、受発注者間でのデータ授受の負担の軽減を図ることができる。

さらに、図-4のように、事業範囲が地図上に示され、業務・工事の成果品に加え、地質や地形などの基礎データ、用地の取得状況や交渉状況、関係機関や留意を要する施設の所在、懸案事項（対応履歴を含む）などのリスク等も含めた各種情報を階層的に保存・更新・表示することができれば、事業全体に渡るデータや課題を関係者間で即時に簡便に共有することが可能となる。

(2) 発注者内部におけるデータマネジメント

発注者側で保有するデータについても同様にDXデータセンター等のプラットフォームで一元的に保管・蓄積できるようにすることで従来の作業負担が軽減されるとともに、国土交通本省での施策の検討・フォローアップでの活用に加えて、適切なアクセス権限付与により部局間のデータ参照を可能にすることで相互の運用改善検討にも活用できるようになる（図-5）。

4. 今後の取組

(1) 官民共同における技術開発

事業のプロセス間での一気通貫、また関係者間での統合的で円滑なデータ共有・連携を行うには、各プロセスで共通的なデータ・システムの連携基盤が必要となる。データマネジメントで取り扱うデータは、基礎的な統計情報や地図情報に始まり、契約関係情報、点群データ、

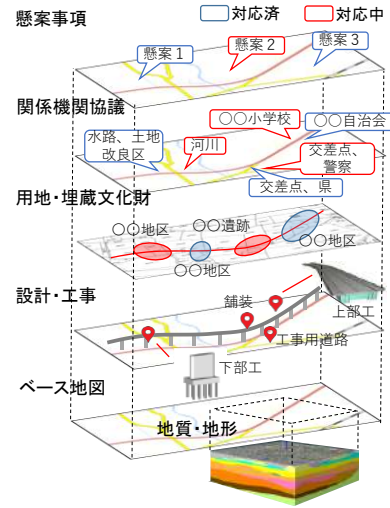


図-4 プロジェクトデータの表示例

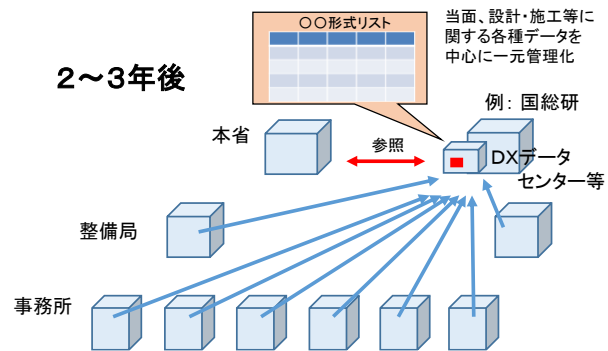


図-5 発注者内部データの一元的な蓄積

3次元設計モデル、建機の稼働ログ、電子成果品、構造物データ、点検データ等、多種多様である。

DXデータセンター等の建設生産・管理システムを支える各種データ・システムの連携基盤としての機能は、官民が協調の上、公的な立場からの提供が想定される一方で、様々なデータの共有・加工・分析等を行うためのソフトウェア開発については、民間企業等により競争的に実施されることが想定される。今後は、DXデータセンター等を用いたデータマネジメントのための官民での管理・運営体制の検討が必要となる。

(2) プロセス間連携を容易にする入札・契約制度

平成26年6月の品確法改正により、総合評価落札方式に限らず、工事の性格、地域の実情に応じた多様な入札契約方式を選択することが示され、適用が進んでいる。

技術提案・交渉方式は、仕様の確定が困難な工事において、施工者が設計段階から関与し、施工者の高度な技術や手戻りを回避する工夫を設計に反映できる方式である。技術提案・交渉方式（技術協力・施工タイプ）を適用すると、調査・設計段階から、発注者、設計者、施工者の三者体制となり、BIM/CIMの利活用、モデルの引継をしやすい体制となる。また、施工者が調査・設計段階から参画することで施工者の高度な技術を設計に反映で

き、新技術の開発・活用が促進される効果も期待できる。

技術提案に履行義務を課す総合評価落札方式においては、確実に履行できる要素技術提案が中心となり、技術評価の得点差が付きづらくなっているという現状がある。そのため、リスクが大きい工事に技術提案・交渉方式を積極的に活用し、総合評価落札方式は、リスクが比較的小さい工事での適用を基本とすることにより、品質確保に加え（あるいは代えて）、生産性向上等の意欲的な技術提案を採用しやすい環境となる。こうした生産性向上の意欲的な取組を評価することで、DX関連ツールの開発や活用等を促すことができると考えられる。また、北陸地方整備局が試行する「設計・工事連携型」のように、修正設計段階から設計と施工をオーバーラップさせる仕組みの検討は、品質確保や生産性向上に寄与する施工者の知見の活用を図る上で有効と考えられる。

事業促進PPPは、大規模災害復旧・復興事業や大規模事業を対象に適用され、官民双方の技術者がパートナーシップを組み、受注者は事業期間中、複数の測量・調査・設計業務等の指導・調整、事業管理、施工管理等のマネジメント業務を発注者と一体となっていく。そのため、BIM/CIM等に精通する技術者の参画を求めることで発注者のBIM/CIM活用を支援し、調査、設計、施工等の事業プロセスを超えたモデルの利活用しながら事業展開の最適化に向けた検討等をしやすい体制を構築できる。

一般競争入札・総合評価落札方式の適用を基本とする中、長年の経験や地域への精通が欠かせない維持管理に関わる工事・業務を中心に、継続性の観点での課題があり、地域インフラを支える担い手確保、育成が課題となっている。一方、公募により選定した者に対し、所定期間内の複数の個別工事を発注するフレームワーク方式を適用すると、受発注者の入札契約手続負担の軽減、受発注者のパートナーシップの構築、長期の受注見通しによる新規投資の誘発（若手採用、資機材保有、ICT施工技術、DX関連ツール等の新技術活用等）、継続的な受注機会の確保による工事・業務（維持修繕、巡視、パトロール、点検、観測、台帳作成等）の品質向上等の効果が

期待される。

## 5. おわりに

インフラ分野のDX推進にあたり、我が国の建設産業が目指す、仕事の進め方について、国土交通省が主体的に関わりながら具体的な将来像を示すことにより、様々なプレイヤーが将来像を共有し、各種の基準策定、技術開発等の取組が総合的に実施されることが重要である。

また、インフラ分野のDXを進めていく過渡期では、新技術の開発と利活用、それらを支える多様な入札契約方式の活用等、前例が少ない取組は、現場担当者の負担が大きくなりやすい。国総研は、インフラ分野のDXに資する多様な試行について、手法の提案、現場への適用支援、適用状況のフォローアップを継続し、建設産業の生産性向上に資する多様な取組の現場実装を後押ししていく予定である。

## 参考文献

- 1) 国土交通省：インフラ分野のDX  
[https://www.mlit.go.jp/tec/tec\\_tk\\_000073.html](https://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000073.html)
- 2) 国土交通省：令和3年度発注者責任を果たすための今後の建設生産・管理システムのあり方に関する懇談会、第2回、資料2「今後の建設・生産管理システムのあり方（データマネジメントについて）」
- 3) 国土技術政策総合研究所：「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」の共同研究者を公募します  
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/kisya/journal/kisya20220131.pdf>  
<http://www.nilim.go.jp/lab/peg/img/file1921.pdf>
- 4) 国総研：国総研資料第1193号「技術提案・交渉方式の適用事例集（I）- 効果的な施工技術の活用とリスクへの対応」.2022.3  
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn1193.htm>

(2022.5.20 受付)

## DATAMANAGEMENT FOR DIGITAL TRANSFORMATION OF INFRASTRUCTURE USING DATA CENTER IN NILIM

Yasushi KIMURA, Yuki MISTUTANI, Keita NAKASU and Tomohiro OGAWA

The purpose of this paper is to propose a way of data management for digital transformation of infrastructure using data center in NILIM. In order to improve productivity of construction industry, 2 types of data management for cross-stages project management and in-house staff data sharing are proposed. Risk management by applying diversified procurement method such as comprehensive evaluation method, technical proposal and ne-gotiation method, PPP for project acceleration and framework method is important as well as using information technology such as digital models and tools.



# 自己教師あり学習を用いた熱画像の解析による コンクリートの浮き・剥離の自動検出

川野輪 壮太<sup>1</sup>・林 詳悟<sup>2</sup>・岡谷 貴之<sup>3</sup>・Kang-Jun Liu<sup>4</sup>・全 邦釘<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 非会員 東京大学大学院 工学系研究科 博士前期課程 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7 丁目 3-1)  
E-mail: sota-nowa0911@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 西日本高速道路エンジニアリング四国株式会社 土木技術部土木技術課  
(〒760-0072 香川県高松市花園町三丁目 1-1)  
E-mail: shogo.hayashi@w-e-shikoku.co.jp

<sup>3</sup> 非会員 東北大学大学院 情報科学研究科 教授 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6 丁目 6-1)  
E-mail: okatani@vision.is.tohoku.ac.jp

<sup>4</sup> 非会員 東北大学大学院 情報科学研究科 博士後期課程  
(〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6 丁目 6-1)  
E-mail: kjliu@vision.is.tohoku.ac.jp

<sup>5</sup> 正会員 東京大学大学院 工学系研究科 特任准教授 (〒113-8656 東京都文京区本郷 7 丁目 3-1)  
E-mail: chun@g.ecc.u-tokyo.ac.jp (Corresponding Author)

コンクリートの熱画像を撮影することで内部損傷を遠隔で検出する赤外線法は、人間の判断では損傷部の見落としが多い。また、赤外線法に Convolutional Neural Network (CNN) による自動検出を導入する試みにおいては、教師データが不足しているため十分な精度が得られていない。そこで、本研究では自己教師あり学習に着目した。自己教師あり学習には、教師ラベルが少なくても高い精度を実現できる可能性がある。本研究では、自己教師あり学習を赤外線法に導入する方法の一例を示し、その有効性を検証した。

**Key Words:** *deep learning, self-supervised learning, object detection, infrared thermography*

## 1. はじめに

赤外線法では、地上から赤外線サーモグラフィを用いてコンクリート表面の温度分布を可視化することで、うき・剥離の候補領域を絞り込む(図-1)。しかし、人間による判断では損傷部の見落としが非常に多い<sup>1)</sup>。そこで、教師あり学習や CNN の活用により、損傷部を熱画像から自動検出しようとする取り組みはいくらかなされている<sup>2)</sup>。こういった取り組みには十分な量の教師データが不可欠であるが、うき・剥離の教師データの作成には、損傷候補領域の詳細点検や熱画像中の候補領域と点検結果との紐付けが必要であるため、慢性的に教師データが不足しているのが現状である。

以上を踏まえ、本研究では最新の手法である自己教師あり学習の導入を検討した。まず、教師ラベルがない、損傷部を含む少量の画像と損傷部を含まない大量の画像を生成し、MoCov2<sup>3)</sup>という自己教師あり学習手法を用いて CNN の一部に画像の特徴を事前学習させた。次に、

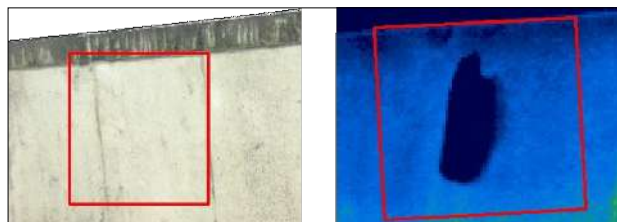


図-1 赤外線法による損傷部の検出

その一部を転移した CNN による検出精度を評価し、自己教師あり学習の有効性を検証した。

## 2. 学習用データの取得

### (1) 教師データの作成

本研究では、橋梁の熱画像 3580 枚を用いた。撮影場所は高松自動車道、坂出支線、撮影部位は床板・桁部、張出部、壁高欄、撮影距離は 2.6m～49.7m であり、撮影

表-1 熱画像の撮影に使用されたカメラの性能

Product name	SC6000 (FLIR)
Infrared image resolution	640×512
Infrared detecting element	Indium autimonide
NETD	0.02-0.03K

にはFLIRのSC6000を使用している。カメラの性能を表1に示す<sup>2)</sup>。

本研究では、熱画像に適用的ヒストグラム平坦化、および構造物の熱勾配の影響を取り除く処理<sup>7)</sup>をおこなった。また、画像の周りには余白があったため全ての画像の周囲を32px切り抜いた。本研究におけるうき・剥離の熱画像の具体例を、可視画像と共に図-2に示す。

その後、熱画像3580枚を全て目視で確認し、重複画像の削除とアノテーションをおこなった。以上の工程によって、内部損傷を含む画像381枚、内部損傷807箇所についての教師ラベルを得た。

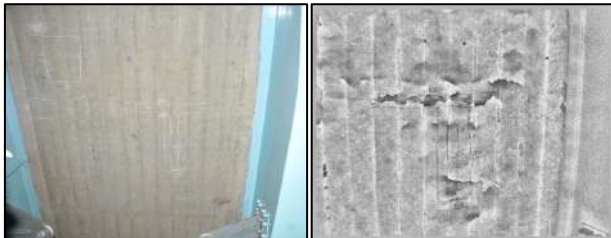


図-2 本研究に使用した可視画像(左)と熱画像(右)

(2) 自己教師あり学習用の入力画像の作成

自己教師あり学習にはなるべく多くの損傷部を含まない画像を用意する必要がある。また、画像全体に対する損傷部の面積を大きくする必要がある。以上を踏まえ、損傷部が写っている原画像381枚については、図-3のように224px×224pxのサイズで画像を切り抜いた。損傷部が写っていない2983枚の原画像については、図-4のように224px×224pxの画像を4枚切り抜いた。

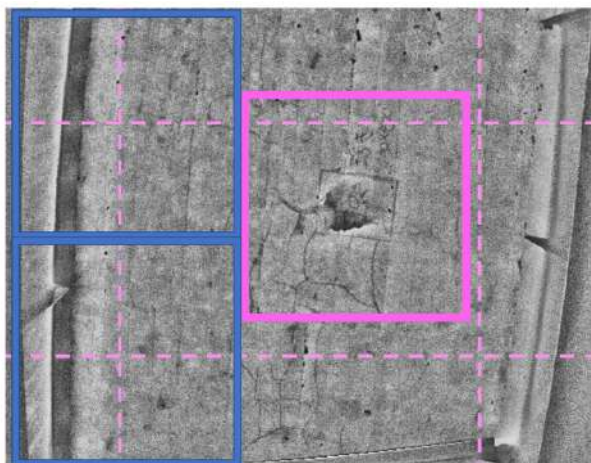


図-3 原画像からの切り抜き例

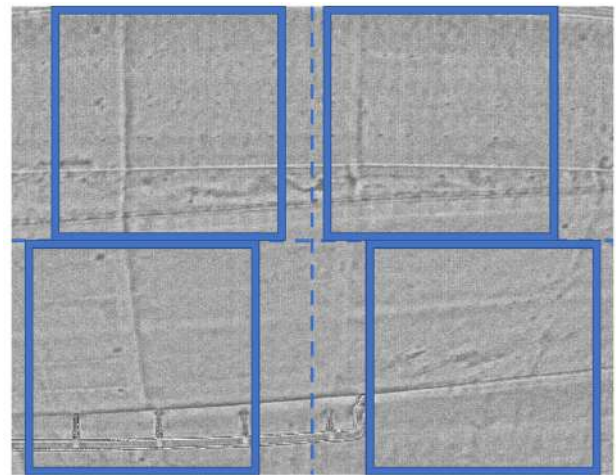


図-4 損傷部を含まない原画像からの切り抜き例

以上の操作によって、損傷部を含む画像538枚と損傷部を含まない画像12551枚で、計13089枚を得た。

3. MoCov2を用いた自動検出の検討

(1) MoCov2による学習

自己教師あり学習の手法としてMoCov2を使用した。学習にはAWSを使用し、AMIはDeep Learning AMI (Ubuntu 18.04) Version54.0、インスタンスタイプはp2.8xlargeを選択した。MoCov2のコードはGitHubで共有されているが、学習前のデータ拡張において、入力画像からランダムに切り抜かれる正方形の辺の長さを、元の辺に対する比率で[0.6, 1]に変更した。また、MoCov2の辞書のサイズを65536から10240に変更した。

下流のタスクにおいてK=5のK分割交差検証をおこなうため、表-2に示すデータセットを用いて5回の学習を800epochsでおこなった。これに伴い、スケジューラーが480epochs、640epochsで機能するように変更した。

(2) Faster R-CNNへの転移

Faster R-CNN<sup>8)</sup>への転移についてもGitHub上にコードが用意されている。Faster R-CNNのアンカーボックスの面積は8<sup>2</sup>, 16<sup>2</sup>, 32<sup>2</sup>, 64<sup>2</sup>に変更した。また、MoCov2の検出結果に対する比較対象として、事前学習していない

表-2 MoCov2の学習に使用したデータの枚数

	学習用データ枚数
dataset1	12859
dataset2	12848
dataset3	12854
dataset4	12847
dataset5	12880
総枚数	13089

CNN と、ImageNet を用いて Faster R-CNN で事前学習させた CNN を使用した。事前の検証を踏まえ、MoCov2 で事前学習した CNN と事前学習なしの CNN は 90000 イテレーション、Faster R-CNN で事前学習した CNN は 75000 イテレーションで学習させた。

(3) 精度検証

(1)でも述べた通り、K=5のK分割交差検証を実施し、3回学習させて得られた結果の平均を精度検証に用いた。データセットは表-3のように分割した。また、モデルの評価にはAveragePrecision (AP) を使用した。正しく検出できたかについては1枚ずつ目視で確認して評価した。

表-3 各データセットの枚数と損傷部数

	枚数	損傷部数
group 1	76	161
group 2	76	162
group 3	77	161
group 4	76	162
group 5	76	161
計	381	807

(4) 検証結果

算出した AP は表-4の通りである。また、MoCov2によって正しく検出できた具体例を図-5に示す。なお、教師ラベルは青、MoCov2による検出結果は黄色で示しており、検出結果のバウンディングボックスの上にかかれた数値は確信度を示している。

(5) 結果の考察

まず、MoCov2 の検出結果と事前学習なしの検出結果の比較を図-6に示す。なお、事前学習なしの検出結果は緑で出力しており、可視画像も同時に示している。図-6

表-4 算出した AP

		dataset1	dataset2	dataset3	dataset4	dataset5	平均
MoCov2	1回目	38.971	53.290	45.012	49.646	43.779	/
	2回目	40.588	53.614	40.103	45.757	47.632	
	3回目	42.314	51.998	37.279	43.695	47.980	
	平均	40.624	52.967	40.798	46.366	46.464	
Faster R-CNN 事前学習なし	1回目	34.601	53.144	32.033	43.575	44.057	/
	2回目	36.406	49.668	35.619	42.152	43.151	
	3回目	36.673	52.174	33.135	40.377	44.819	
	平均	35.893	51.662	33.596	42.035	44.009	
Faster R-CNN 事前学習あり	1回目	40.812	55.512	37.960	46.375	52.652	/
	2回目	40.681	53.727	35.716	43.915	54.404	
	3回目	40.817	53.271	42.316	42.909	46.015	
	平均	40.770	54.170	38.664	44.400	51.024	

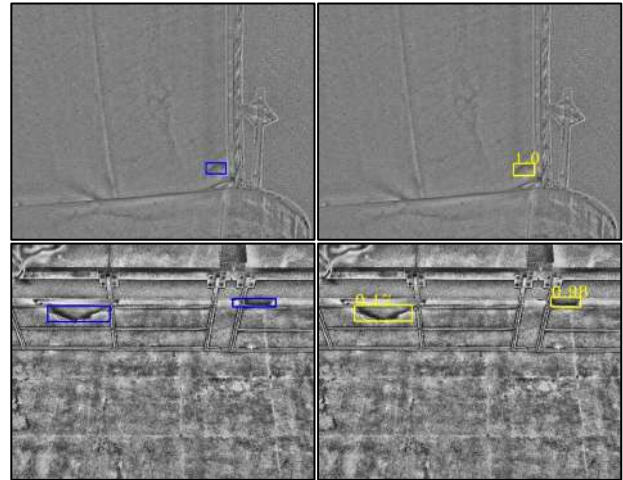


図-5 教師ラベル(左)と MoCov2 による検出結果(右)

より、MoCov2 での事前学習によって損傷部を正しく検出できるようになったと言える。指標を比較しても、算出した AP は MoCov2 の方が 4.005 だけ高い数字を残した。以上のことから、MoCov2 での学習を通して、CNN が損傷部の特徴をしっかりと学習できていると考えられる。また、MoCov2 の検出結果と Faster R-CNN によって事前学習した CNN の検出結果を比較すると明確な差は見られず、算出した AP は Faster R-CNN の方がわずかに 0.361

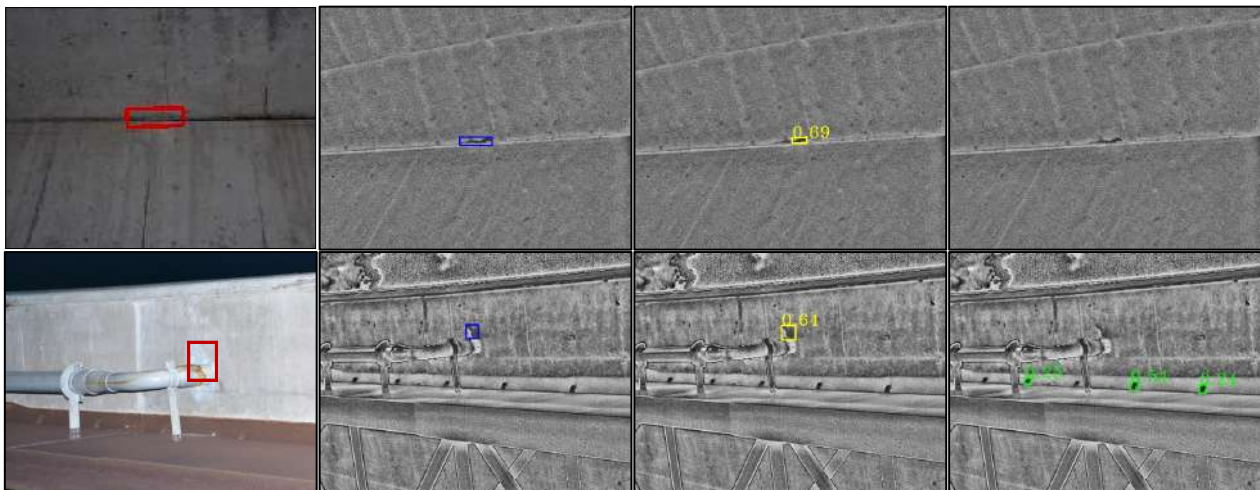


図-6 左から、可視画像、教師ラベル、MoCov2による検出結果、事前学習なしの検出結果

だけ上回る結果となった。

精度向上を目指す場合、本研究ではすでに MoCov2 への入力画像に工夫を加えているため、学習に用いる熱画像の枚数をより増やす、あるいは、熱画像中の損傷部が占める面積を増やす工夫や損傷部を鮮明に写す工夫が必要になると考えられる。

#### 4. おわりに

本研究では、赤外線法に自己教師あり学習を導入する方法を検討し、自己教師あり学習の有効性を示した。また、現時点で ImageNet を教師あり学習で事前学習した CNN に匹敵する検出精度を出せることを示した。現状では熱画像をそのまま学習に使用することは難しいが、最終的には熱画像をそのまま学習に使用できることが理想である。

以下に今後の課題をまとめる。

##### a) 熱画像データの蓄積

熱画像をどれほど増やすことでどれほど精度が向上するのかについては、さらなる検証が必要である。しかし、自己教師あり学習を用いることで、従来手法よりも簡単に精度を伸ばすことができる可能性がある。

##### b) 熱画像撮影方法の変更

熱画像は可視画像と比較すると分解能が低い。また、うき・剥離には、小さいものや温度差としてはっきりと熱画像上に現れないものが多く存在する。そういった検出が難しい損傷部の特徴を学習させるためには、より高い分解能のカメラで撮影することに加え、損傷部をなるべく中央に写す・撮影距離や角度を統一する、といった撮影方法の工夫が必要になると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 永易慎二, 橋本和明, 松田靖博: 赤外線調査トータルサポートシステム“Jシステム”, 日本ロボット学会誌, 34

- 巻 9 号, pp. 583-584, 2012. [Nagayasu, S., Hashimoto, K. and Matsuda, Y.: Infrared Survey Total Support System J-System, *Journal of the Robotics Society of Japan*, Vol. 34, Issue 9, pp. 583-584, 2012.]
- 2) Chun, P. J. and Hayashi, S.: Development of a Concrete Floating and Delamination Detection System Using Infrared Thermography, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol.26, Issue 6, pp. 2835-2844, 2021.
- 3) 川西弘一, 林詳悟, 橋本和明, 氏家勲, 全 邦釘: 赤外線サーモグラフィ法における損傷自動判別技術, AI・データサイエンス論文集, 1 巻 1 号, pp. 382-391, 2020. [Kawanishi, K., Hayashi, S., Hashimoto, K., Ujike, I. and Chun, P.J.: Automatic damage identification technology for infrared thermography method, *Intelligence, Informatics and Infrastructure*, Vol. 1, Issue 1, pp.382-391, 2020.]
- 4) Ashish, J., Ashwin, R. B., Mohammad, Z. Z., Debapriya, B. and Fillia, M.: A survey on contrastive self-supervised learning, *Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol. 9, Issue 2, 2021
- 5) Kaiming, H., Haoqi, F., Yuxin, W., Saining, X. and Ross, G.: Momentum Contrast for Unsupervised Visual Representation Learning, *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2019.
- 6) Xinlei, C., Haoqi, F., Ross, G. and Kaiming, H.: Improved Baselines with Momentum Contrastive Learning, *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2020.
- 7) 林詳悟, 橋本和明, 明石行雄: 赤外線サーモグラフィ法によるコンクリート損傷の検出精度向上. コンクリート工学年次論文集, 35 巻 1 号, pp. 1813-1818, 2013. [Hayashi, S., Hashimoto, K. and Akashi, Y.: Improving accuracy of detecting concrete damage using Infrared thermography method, *Proceedings of the Japan Concrete Institute*, Vol. 35, Issue 1, pp. 1813-1818, 2013.]
- 8) Shaoqing, R., Kaiming, H., Ross, G. and Jian, S.: Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks, *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2015.

(Received ?????, 2022)

fff(Accepted November 1, 2022)

## AUTOMATIC DETECTION OF INNER DEFECTS OF CONCRETE BY ANALYZING THERMAL IMAGES USING SELF-SUPERVISED LEARNING

Sota KAWANOWA, Shogo HAYASHI, Takayuki OKATANI, Kang-Jun LIU and Pang-jo CHUN

In the infrared thermography method, which remotely detects inner defects by capturing thermal images of concrete, damaged areas are often overlooked by human judgment. Although there is a movement to introduce CNN-based automatic detection to the infrared method, sufficient accuracy has not been obtained due to the lack of training data. Therefore, in this study, we focus on self-supervised learning. Self-supervised learning has the potential to achieve high accuracy with fewer teacher labels. In this study, we present an example of how to introduce self-supervised learning to the infrared thermography method and verify its effectiveness.

# 橋梁点群の表面抽出と部材推定についての研究

稲富 翔伍<sup>1</sup>・全 邦釘<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 東京大学大学院工学系研究科 博士前期課程 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

E-mail: [inashouut@g.ecc.u-tokyo.ac.jp](mailto:inashouut@g.ecc.u-tokyo.ac.jp)

<sup>2</sup>正会員 東京大学大学院特任准教授 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@i-con.t.u-tokyo.ac.jp](mailto:chun@i-con.t.u-tokyo.ac.jp)

橋梁の維持管理の効率化のために部材情報付き 3 次元モデルの活用が期待される。点群から 3 次元モデルを自動生成するためには構造物表面の抽出と部材推定の技術が求められる。本研究では前者に対して RANSAC 改良手法を、後者に対して点群の画像化と Deeplabv3+による画像のセマンティックセグメンテーションを組み合わせた手法を考案し実データに対する検討を行った。

**Key Words:** point cloud, bridge modeling, RANSAC, deep learning, semantic segmentation,

## 1. 序論

橋梁定期点検では、近接目視の結果を点検調書の 2 次元図面に記録する。点検作業には、高所点検等の不安定な労働が伴うケースが多く、これにより記録の正確性が欠けるという課題がある。また、手書きの 2 次元損傷図では直感的に損傷位置の把握や過去の損傷との比較は容易でない。そこで部材情報付き 3 次元モデルを活用すれば効率的で正確な診断が可能と期待される。しかし、BIM/CIM モデルをはじめとした i-Construction の取り組みは近年始まったばかりであり、現状では供用中橋梁の 3 次元モデルは殆ど存在しない。そこで、現場での計測から 3 次元モデルを自動構築する手法が求められる。

その有力な手法として、3 次元点群の活用が考えられる。近年、SfM (Structure from Motion) 技術や LiDAR (Light Detection And Ranging) 技術の進展により、橋梁をはじめとする社会基盤構造物の点群取得機会が増加した。しかし、3 次元点群データから自動で 3 次元モデルを構築することは現状できていない。実現には、(1)点群から 3 次元表面形状を構築する手法と、(2)周囲の不要な点群を除去しながら点群の部材を推定する手法の実現が求められるが、双方とも研究の蓄積が求められる段階にある。本論文では(1)と(2)について検討した結果を示す。

### (1) 橋梁の 3 次元表面形状の構築

表面形状の把握には RANSAC (RANDOM SAMPLE CONSENSUS) による平面抽出を用いる。RANSAC は、点群デ

ータに対して大量の平面モデルを生成することで最適な平面を探索する手法である。二宮ら<sup>1)</sup>は直方体物体表面の点群から表面を抽出した。RANSAC により直方体の各面を領域として持つ平面をすべて求め、それらの交点・交線に対して山田<sup>2)</sup>の双対グラフ法を用いて物体表面を表す平面領域の候補 (平面グラフの面) を挙げ、実際に点群が存在する領域のみを選択し直方体物体表面を得た。本論文前半では、二宮らの手法を基本とした橋梁点群から橋梁表面を抽出する基礎的な検討結果を記す。本手法は将来的に橋梁 3 次元モデル構築に繋がると考えられ、例えば著者らにより開発されたひび割れ検出手法<sup>3),4)</sup>や損傷検出手法<sup>5),6)</sup>と組み合わせれば、効果的な点検記録手法になり得る。あるいは、3 次元 FEM の適用に繋がり、構造物性能の理解にも活用できると考えられる。

### (2) 点群の部材セグメンテーション

本研究では 3 次元点群を様々な角度から画像化し、Chen らの DeepLabv3+<sup>7)</sup>による画像のセマンティックセグメンテーションを点群セグメンテーションに利用する方法をとる。Boulch らの SnapNet<sup>8)</sup>と同様に点群を直接用いない理由は、技術が先行し学習済みデータが提供されている画像のセグメンテーションを点群に活用できる点と、現状の橋梁点群データベースのデータ数に限りがある中でも画像化によるデータの増強で推定精度を保つ目的が挙げられる。提示する手法により点群データから数百枚程度のアノテーション済み画像を生成できる。

点群の部材分類は属性付き 3 次元モデルの構築に繋が



図-1 床版橋の路面抽出時の、通常のRANSACによるinlier点群(a)と改良型RANSACによるinlier点群(b).

り、例えば著者らが構築した<sup>3)~5),9)</sup>損傷の3次元プロットや直感的な可視化など、維持管理時の種々のユースケースに対応できるようになると期待される。

## 2. 改良型RANSACによる3次元表面形状の構築

### (1) 改良型RANSACによる平面抽出

一般に、RANSACを用いると、点群データ内に複数の平面が混在する場合でも、それらを分離して抽出できる。しかし本研究の橋梁点群に対しては2つの課題が見られ必ずしも期待した効果が得られなかった。

1点目は、抽出すべき平面を構成する点群数が不足すると正しい平面が得られないという課題である。例えばRC桁橋に対してRANSACで平面抽出すると、桁を水平に切断したような平面が得られたが、これは実際の構造物表面ではない。RANSACではinlier点群が最大の平面を選択するため、誤った平面が抽出される場合がある。

2点目は、ある平面のinlierとして抽出された点群に別の面の点群が含まれると正しく平面抽出できないという課題である。RANSACでは平面を中心に厚みのある立体領域内の点群を抽出する。そのため構造物の表面抽出時に、その面と交差する別の面を構成する点群の一部もinlier点群として抽出され、その後の平面抽出に影響を及ぼす。例えば図-1(a)では、路面抽出において地覆側面の点群も路面として非復元抽出されるため、地覆側面の点群数が不足し、その後地覆側面の抽出ができなくなる。

そこで、複雑な構造物の表面取得を目的として、点群の法線方向と抽出平面の法線方向が凡そ一致する点のみをinlier点群とする改良型RANSACを用いる。inlier点群抽出においてはEster<sup>10)</sup>のDBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) によるクラスタリングを適用しノイズ除去も同時に行う。本操作を繰り返し適用して橋梁表面を表す平面を複数抽出する。

### (2) 双対グラフ法を用いた橋梁表面の抽出と出力例

(1)で抽出された平面群に双対グラフ法を適用し平面領域として橋梁表面を抽出する。例としてコンクリート

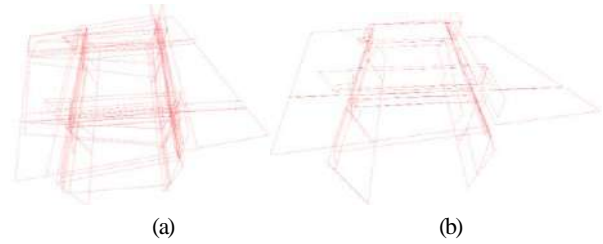


図-2 床版橋の平面領域のうち、点が1個以上含まれるもの(a)と点が15個以上含まれるもの(b).

床版橋と桁橋について記す。

inlierとして抽出されずに残った点群では全体で密度減少が見受けられ、改良型RANSACによる除去処理を施しても様々な方向の表面が抽出できたと分かる。全点群に対してinlierとして抽出された点群の割合はそれぞれ89.7%, 55.4%であり、主要な点群は抽出されている。

床版橋の取得された平面領域を図-2(a)に、そのうち点を15個以上含むものを(b)に示す。路面や桁、橋台(河川堤防)が抽出されており、おおよそ橋梁の形状を捉えている。しかし、路面ではない不要な平面領域の除去が十分でないという課題が見られる。桁橋の平面領域に割り当てられた代表的な点群を図-3に示す。本実験では5本ある主桁の一部の面と横桁が抽出されなかった。12点以上点群が含まれる平面領域を図-4に示す。路面や主桁、橋梁側面、橋台の面が凡そ抽出できている。

### (3) 本手法の課題

#### a) RANSACの平面抽出における課題

1点目は、上の桁橋のように抽出されない面が存在する点だ。形状が複雑な桁橋では平面抽出に数十万回程度の繰り返し計算を要する。精度のため計算回数を要する点は通常のRANSACにも共通だが、改良型RANSACは毎回法線を用いた推論もなされるため抽出平面数や精度、計算コストのバランスが課題である。

2点目は、実橋梁には存在しない傾いた平面や、同一面について複数枚の平面が抽出される点だ。平面の厚みに対応する閾値の設定やクラスタリング手法等の組み合わせが求められる。

#### b) 平面領域の作成における課題

1点目は、本来は構造物を構成しない平面領域が除去されない場合がある点だ。これはRANSACの抽出平面は厚みをもつため、平面同士の立体的な交差を考えると、除外すべき平面領域にも外周付近に属する点群が存在するためである。それらの除去操作の導入が考えられる。

2点目は、得られた表面が立体的に閉じず不完全な形状となる場合がある点だ。原因の一つとして、点群の欠損により本来採用されるべき平面領域が除去されること

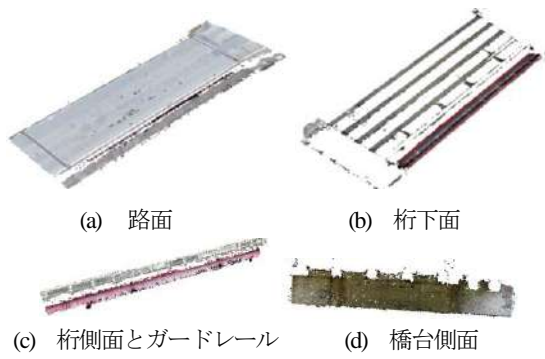


図-3 桁橋の代表的な inlier の点群.

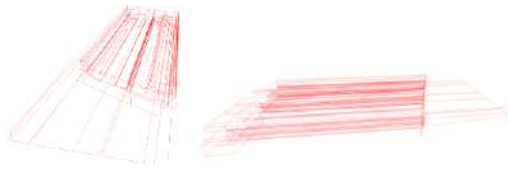


図-4 桁橋の点が12点以上含まれる平面領域.

が挙げられるため、隣接関係の構造化が求められる。

### 3. 画像化を用いた点群セグメンテーション

#### (1) 点群の画像化

橋梁全体の点群を様々な方向の平面に投影し画像を生成する。教師画像の生成時には、点群データにアノテーション情報を付与することで、作業量の削減を図った。

投影平面上に画像のピクセル領域と対応するグリッドを設定し、正射影によりグリッドに点群を割り当てる。そして後述の影・ノイズ除去フィルターを用いて、グリッドの各セルにつき1点を選択し画像を生成する。点が存在しない欠損セルは黒色のピクセルとする。

#### (2) 画像生成における影・ノイズ除去フィルター

点群の画像化には、構造物の影が含まれる透過効果を防ぎ、SfM由来のノイズを除去するフィルター操作が必要だ。Nakagawa<sup>11)</sup>は画像生成時に pixel-selectable averaging filter を用いて構造物の影やノイズを取り除いた。まず点群を投影平面上のグリッドに割り当て、各セルについて投影平面からの最近傍点のみを残す。次に、ある注目セルについて、注目セルに属する点と投影平面からの距離を、周囲8セルのものと比較した際に閾値内であれば注目セルの点を保持し、閾値外であれば欠損セルとする。

これを参考に、構造物の影や、投影平面と構造物の点群の間にあるノイズを取り除くフィルターを作成した。Pixel-selectable averaging filter では最近傍点が外れ値である

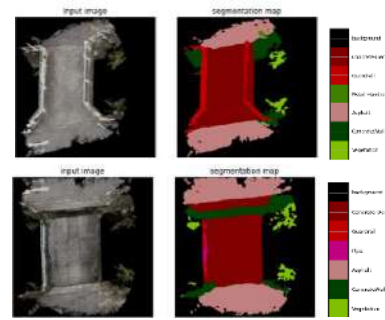


図-5 床版橋のセマンティックセグメンテーションの出力例.

場合には即座に欠損セルとなるが、本フィルターでは、最近傍点が外れ値である場合にはセルに割り当てられた別の点を候補として再度評価する操作を加えた。これにより欠損セルを極力減らし、最終的に得られる点群のセグメンテーション率を増加できる。ただし、このフィルターによってすべての影やノイズを取り除ける訳ではなく、前提として、周辺8セルのいずれか1つが影ではない点を含むことと、注目セルにノイズがある場合には周辺8セルはすべてノイズを含まないことが求められる。

#### (3) 投影画像を用いた部材推定と出力例

本研究ではコンクリート床版橋4橋梁の点群から、橋梁全体を写すように1橋梁につき342枚の1024×1024のサイズの画像を生成し、橋梁の上面と下面に分け、ノイズを多く含む画像や部材判別が困難な画像を取り除いた。それに対して Deeplabv3+<sup>7)</sup>を適用し2橋梁の部材推定を行った。深層学習で精度を得るには大規模データセットが必要となるが、今回はデータ数が少ない中でもセマンティックセグメンテーションによる精度良い出力が得られた場合に点群上に得られる推定結果を確認する目的で教師データの一部に推定を行う橋梁の画像の一部を混ぜた。ただし教師画像には推定画像と投影角度が異なる別の画像を用いた点は注意する。実用では学習画像数を増やし精度を上げることが望ましい。

セマンティックセグメンテーションの出力例を図-5に示す。橋梁上面と下面について、左は入力画像、右は推定画像である。また、これを点群に反映し部材分類を行った一例を図-6に示す。部材推定された投影画像を用いることで、全点群に対して2橋梁それぞれ95.5%・97.8%にラベルが付与され、投影画像が点群を網羅していることが分かる。点群に付与された部材正解ラベルとセグメンテーションの出力の重なりについて、Backgroundクラス以外のmIoUはそれぞれ0.4250、0.6300であった。Chen<sup>7)</sup>によると、PASCAL VOC 2012データセットに対して Deeplabv3+<sup>7)</sup>のmIoUは約0.78とされており、橋梁数を増やした予測精度の改善が求められる。

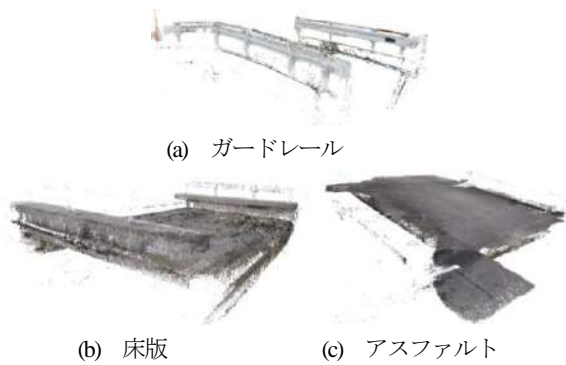


図-6 床版橋点群のセグメンテーションの出力例。

#### 4. 結論

本研究では、改良型 RANSAC と双対グラフ法を用いて橋梁表面を得る手法と、Deeplabv3+を用いた画像ベースの点群セグメンテーション手法を示した。

前者は実橋梁の点群に対する平面抽出に適した強力な手法だと言える。実験では凡そ橋梁の形状を捉えたモデルを得ることができたが、平面の抽出や平面領域の選択における改善が求められる。また、今回は平面抽出を主眼としたが、曲面部材や巨視的なたわみのある部材に対しても本研究で検討した手法を活用しながら柔軟に抽出できるようなアルゴリズムを検討する必要がある。

後者は、点群データに限られる中でも原理的に大量の画像生成が可能であり、転移学習と組み合わせ推定精度を保つ手法を考案した。フィルターアルゴリズムを見直せば、ノイズ画像除去が不要な高度な自動化の実現が期待できる。フィルター以外にも RANSAC で生成された橋梁 3次元モデルの表面位置を用いて構造物の影を判断する手法も考えられる。本研究の推定手法の妥当性に対しては橋梁形式やデータ数を増やした検討を要する。

#### 参考文献

- 1) 二宮龍之介, 古谷博史, 椋木雅之: 平面で構成され

- た実物体を計測した点群からの 3次元モデリングと整形, 情報処理学会研究報告, 2016.
- 2) 山田武夫: 平面グラフの全ての面を認識するアルゴリズム(ネットワーク), 日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集, Vol. 2001, pp. 198-199, 2001.
- 3) Chun, P., Izumi, S., and Yamane, T.: Automatic detection method of cracks from concrete surface imagery using two step light gradient boosting machine, *Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 36, No. 1, pp. 61-72, 2021.
- 4) Yamane, T. and Chun, P.: Crack detection from a concrete surface image based on semantic segmentation using deep learning, *Journal of Advanced Concrete Technology*, Vol. 18, No. 9, pp. 493-504, 2020.
- 5) Chun, P., Ujike, I., Mishima, K., Kusumoto, M., and Okazaki, S.: Random Forest-based evaluation technique for internal damage in reinforced concrete featuring multiple nondestructive testing results, *Construction and Building Materials*, Vol. 253, No. 30, 2020.
- 6) Chun, P., Tsukada, K., Kusumoto, M., and Okubo, K.: Investigation and repair plan for abraded steel bridge piers: case study from Japan, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Forensic Engineering*, Vol. 172, No. 1, 2019.
- 7) Chen, L. C., Zhu, Y., Papandreou, G., Schroff, F., and Adam, H.: Encoder-decoder with atrous separable convolution for semantic image segmentation, *ECCV*, 2018.
- 8) Boulch, A., Guerry, J., Le Saux, B., and Audebert, N.: SnapNet: 3D point cloud semantic labeling with 2D deep segmentation networks, *Computers & Graphics*, Vol. 71, pp. 189-198, 2018.
- 9) 山根達郎, 全邦釘, 渡部達也: Deep Learning による橋梁撮影画像からの損傷状況説明文の自動生成, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol. 77, No. 2, pp. I\_40-I\_50, 2021.
- 10) Ester, M., Kriegel, H. P., Sander, J., and Xu, X.: A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise, *Proc. Second ACM Int. Conf. Knowl. Discov. Data Min. (KDD)*, pp. 226-231, 1996.
- 11) Nakagawa, M.: Point cloud clustering using a panoramic layered range image, *Recent Applications in Data Clustering*, pp. 75-92, 2018.

(2022. 5. 20 受付)

## Surface Extraction and Member Estimation of Bridge form Point Clouds

Shogo Inadomi and Pang-jo Chun

The use of 3D models with member information is expected to improve the efficiency of bridge maintenance and management. For automatic generation of a 3D model from a point cloud, technologies like surface extraction and member estimation of a structure are required. In this study, we developed an improved RANSAC method for the former goal and a method combining point cloud imaging and semantic segmentation of images using Deeplabv3+ for the latter goal and examined them on real data.



# UAVを用いたレベル3飛行（目視外補助者無し飛行）による河道閉塞および砂防施設の点検・調査活用

北本 楽<sup>1</sup>・小杉 恵<sup>1</sup>・竹下 航<sup>2</sup>

<sup>1</sup>非会員 国土交通省 近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター（〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6）

E-mail: kitamoto-g8910@mlit.go.jp

E-mail: kosugi-m2nq@mlit.go.jp

<sup>2</sup>正会員 国土交通省 近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター（〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6）

E-mail: takeshita-w92ta@mlit.go.jp

2011年紀伊半島大水害で発生した複数の深層崩壊および河道閉塞は急峻な山奥にあり、出水直後は危険なため、人の立ち入りが困難である。これらの箇所での点検・調査はUAVの使用が有効であるが、現地は山奥で見通しも悪く制御電波も届かないため、UAVを安全に飛行させることが不可能であった。この課題を解決すべくレベル3飛行下でのUAV自律飛行の現地検証を行った。本検証の特徴は撮影機と電波中継機の2機のUAVを併用して制御電波範囲を拡大することで、UAVの長距離飛行を可能としたことである。本稿はUAVを用いたレベル3飛行の実地検証および河道閉塞や砂防施設の点検・調査時の活用について報告するものである。

**Key Words** : Unmanned Aerial Vehicle, Level 3 flight, beyond visual drone flight, SABO dam, survey and inspection

## 1. はじめに

2011年に発生した紀伊半島大水害は、紀伊半島全体に記録的な豪雨をもたらし、3,000箇所以上の斜面崩壊および17箇所の河道閉塞を引き起こした。これを契機とし、紀伊山系砂防事務所では崩壊斜面や河道の残存土砂の流出を防ぐために直轄砂防事業を行っている。しかしながら災害後も、降雨・出水に伴う斜面の再崩壊および河道閉塞部の越流による土砂流出が観測されており、継続した点検・調査が必要である。このような崩壊地や砂防施設は急峻な山奥にあり、現場アクセスも悪く、点検・調査中の土砂移動による危険性も高いため、点検・調査を迅速かつ安全に行う際には、UAVの活用が有効であると考えられる。特に、レベル3飛行と呼ばれる無人地帯における目視外補助者なし飛行は、監視員等の補助者なしでUAVの長距離飛行を可能とする。これまでもUAVによる点検・調査の事例は数多く存在するが、防災やインフラ管理を目的としたレベル3飛行によるUAVの活用は全国初

の試みであった。本稿では、UAVによるレベル3飛行の現地検証を行い、安全にレベル3飛行が可能なUAV機体の選定段階や航空法などの法令申請手続きの上での留意点、レベル3飛行下での崩壊斜面、河道閉塞、砂防施設の点検・調査の有効性と今後の利活用について報告する。

## 2. 対象地区

現地検証は、紀伊半島大水害によって発生した複数の深層崩壊および河道閉塞箇所のうち奈良県十津川村栗平地区を対象とした。栗平地区では発災当時、幅600 m、高さ450 m、長さ650 mの深層崩壊が発生し、約2,385万 m<sup>3</sup>の崩壊土砂が河道を閉塞し、河道閉塞を形成した（令和3年3月湛水池埋め立てにより解消済み）。現在でも降雨による出水に伴い土砂流出が確認されており、崩壊斜面および河道に残った不安定土砂が下流域へ流出するのを防ぐために、砂防施設整備を行っているところである。

### 3. これまでの取り組み

紀伊山系砂防事務所管内では過年度より、目視内・自律飛行でのUAVによる崩壊斜面、河道の調査および砂防施設の点検を行っている。自律飛行とはあらかじめ設定した飛行ルートに従いUAVを自動で飛行させることで、手動操縦よりも正確かつ迅速に同一ルート・画角で撮影を可能とする手法である。栗平地区は、急峻な地形に囲まれて河道も湾曲しており見通しが悪く、携帯電話の電波も圏外である。こうした環境下では、UAV飛行中に地上の操縦リモコン（以下、プロポ）と空中の機体との通信電波強度が弱くなる場合があり、異常時に操縦者による飛行中の強制介入が難しいため、航空法に基づくレベル3飛行の許可を取得することができなかった。これを受けて目視内飛行による点検・調査を検討したが、対象地区でUAVを飛行させるためには、崩壊斜面下流の河道部に複数の操縦者およびUAVを直接目視する補助者を配置（図-1）する必要があり、この方法では出水時などの緊急的な調査の際に調査員の安全を確保することが困難であった。携帯電話の電波が圏外という条件下で通信電波強度の不安定化を解決し、二次災害の心配がない安全な地点から、目視外によるUAVの長距離飛行を用いた点検・調査を可能にすることが必要であった。

### 4. 現地検証

#### (1) 機体の選定

UAVによるレベル3飛行の現地検証を行うにあたり、UAV機体の選定を行った。選定ははじめに、対象地区の前提条件として、①対象地区の過去の被災状況や砂防施設状態を確認して、点検・調査項目を整理し、②対象地区の広さ、操縦者と機体の直線見通し条件、人工衛星や携帯電話の電波通信環境等を確認した。次に、UAVの性能・仕様条件として、③対象地区全体を網羅する長距離飛行が可能であり、地形や砂防施設の出水前後の変状を検知可能なカメラの解像度を有すること、④離着陸まで全自動飛行が可能かつ、レベル3飛行の承認実績がある産業用機体であり飛行の法令申請が可能な機体であることを確認し

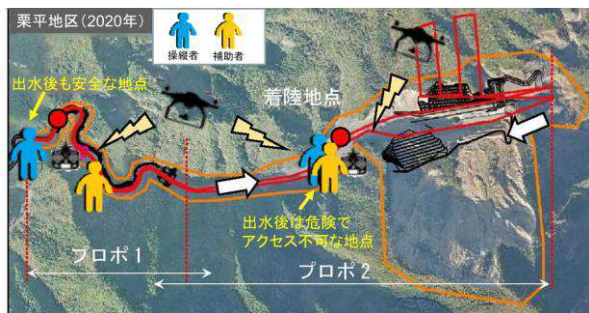


図-1 栗平地区におけるUAV目視内飛行時の調査員配置

た。これらに基づき、①～④の条件を満たす機体を選定した。なお、UAVには固定翼機、回転翼機があるが、本検証では回転翼機（マルチローター）を対象とした。選定の結果、MATRICE 300RTK（DJI社）、skydio2（skydio社）、ALTA X（FreeFly社）、ACSL-PF2（自律制御システム研究所）の4機体（図-2）を選定した。

#### (2) レベル3飛行における事前申請手続き

UAV飛行に関する法令は図-3に示すように様々なものがああり、飛行前にレベル3飛行の使用機体や飛行ルート、高度150 m以上での飛行、離発着箇所の土地占用申請等の申請を行う必要があった。特に、航空法の申請では、レベル3飛行下で使用するUAV機体の安全性の確保について、根拠を添えて、航空局への申請が必要であった。申請先とのやりとりの中で得た、申請手続き上の重要な知見は、①レベル3飛行の申請は、ホビー用機体を想定しておらず、産業用機体を用いること、②自律飛行中に強制的に操作介入ができるように機体とプロポの通信が飛行中に途切れないことを確認すること、③想定される運用に対して十分な飛行実績があり、実績は機体の初期故障期間を超えたものであること、であった。飛行計画の申請には立入管理区域の設定や初期故障期間についてメーカーからの情報提供を受ける必要があった。航空局へのレベル3飛行の申請状況及び要した日数は初回に申請したACSL-PF2は57日であったが、申請手順の整理により、その後のskydio2では23日まで短縮することができた。

#### (3) 検証概要

現地検証は、対象地区において2021年3月22日～23日に行った。UAVの離発着地点は、過去の出水実績より河道閉塞部から土砂流出した場合でも車でアクセス可能な安全な地点（河道閉塞部から下流約2 km）とした。離発着地点には地上局として、UAVの操縦者とUAVから伝送される機体制御情報や映像を監視する補助者を配置した。前述のとおり、栗平地区では、UAV飛行中にプロポと機体と



図-2 現地検証に際して選定されたUAV4機体



図-3 UAV飛行における主な関連法令

(黄色) : レベル3飛行下の自律飛行に関する法令

の通信電波強度が弱まることからレベル3飛行が困難であった。そこで、プロポと現地点検・調査用のUAV（以下、撮影機）との通信電波を中継するためのUAV（以下、中継機）を飛行させることで通信強度を安定させ、レベル3飛行下での自律飛行の実施を試みた。

撮影機と中継機は、レベル3飛行の法令申請状況や現地での試運転結果を踏まえ、図-2で選定した機体のうちACSL-PF2を使用することとした。撮影機の自律飛行ルートを図-4に示す。飛行ルートは過年度までに実施した目視内飛行のルートを用いた。撮影機は栗平地区の崩壊斜面や斜面直下の河道の危険箇所および1号砂防堰堤等の砂防施設の撮影を行うために、対地高度149 m以下とし、対地高度150 m以上の飛行に必要な航空法の申請を省略した。なお、堰堤等の施設付近は出水前後の変状の判別を想定し、対地高度100 mまで近接した。飛行は動画撮影1回と静止画撮影（インターバル2秒枚）1回とし、計2回、往復約6 kmの区間を自律飛行させた。中継機は離着陸地点では携帯電話の電波が圏外であり、操縦者と撮影機の直線見通しが悪いため、中継機を介して通信電波の伝送が可能な対地高度300 mまで離着陸地点からほぼ垂直に上昇させた。これにより撮影機から中継機を介して地上局に対して機体制御情報や撮影映像の伝送を試みた。

(4) 検証結果

撮影機と中継機を2機同時に併用することで、飛行中にプロポと撮影機の通信強度が弱くなることなくレベル3飛行下での自律飛行を行うことができた。1回の飛行は約15分であった。撮影した映像や機体制御情報は中継機を経由してリアルタイムに地上に伝送され、離発着地点に設置したモニター画面で確認することができた（図-4）。撮影した動画から崩壊斜面、斜面直下の河道、1号砂防堰堤の状況や堆砂域の土砂堆積状況を迅速に確認することができた。また、撮影した静止画は2,000万画素と高解像度であり、出水前後の砂防施設の変状等を識別できる解像度を有することが確認された。以上より、急峻な地形に囲



図-4 上； UAVの飛行ルート、下； 離発着地点と地上局



図-5 3次元モデルによる堰堤の変状推定

まれてアクセスも悪く、携帯電話の電波が圏外かつ、危険で人の立ち入りが困難な箇所において、安全な地点から2機のUAVを同時に自律飛行させることで中継機による電波経路を利用し、崩壊斜面や河道、砂防施設の状況を迅速に把握することが可能であり、出水時における緊急的な点検・調査においてUAVによるレベル3飛行が有効であることが示された。

(5) 撮影データの解析

インターバル撮影した静止画はオーバーラップ85%以上になるよう設定しており、計208枚の連続した静止画とSfM (Structure from Motion) 解析により、栗平地区全体のオルソ画像と3次元モデル（図-5）の作成を行った。使用したSfM解析ソフトはMetashape (Agisoft社) であり、解析時間は約2時間であった。オルソ画像からは対象地区全体の土砂堆積侵食を迅速に確認することができた。また、砂防施設の3次元モデルから、堰堤の洗掘による破損や摩耗について確認できた。3次元モデルは静止画に比べてテクスチャが粗くなるため、ひび割れ等の細かな変状を把握するのは困難であったが、地区の全容を視覚的にわかりやすく俯瞰できることから、点検・調査において地区全体の変状や土砂流出・堆積状況を判断する際に活用することが示された。

5. UAVレベル3飛行の利活用

(1) UAV2機の併用によるレベル3飛行の課題

現地検証では、中継機との電波強度を安定させるために、撮影機の高度を最低でも対地高度100 mとした。しかし、砂防施設のひび割れといった数 mmの変状まで識別するためには、より対地高度を下げ、砂防施設に近接する必要がある。今後は中継機と撮影機の位置関係を試行錯誤的に試験し、相互位置の自動補正機能などを検討す

るとともに、撮影機への中継機追尾技術や複数台のUAVの使用による電波強度の安定化を目指す。

## (2) UAVレベル3飛行の活用

本検証は電波状況の改善のために中継機を併用したが、携帯電話の電波等が届く環境であれば電波中継はUAVでなくても可能であり、たとえば事務所と現場といった遠隔地から、地上の電波局を経由してUAVのレベル3飛行の運用が可能になると考えられる。また、本検証では離着陸地点に設置したモニター画面にてUAVの撮影画像を確認していたが、これらの映像も同様に遠隔地に伝送して、UAVの映像をリアルタイムで共有可能であり、出水直後の緊急調査着手の判断の際にも活用が期待される。

本検証では、点検・調査を想定して事前に飛行ルート・画角を設定して自動飛行を行ったが、出水後などの別時期においても飛行ルート等を同一に設定して運用すれば、同一アングルで繰り返し撮影が可能であるため、出水前後の変状をより効率的に抽出することができる。また出水前後の3次元モデル同士の差分解析などにより土砂流出状況の定量的な解析も可能になり、堰堤の堆砂状況の把握や除石管理の計画検討にも利用できる。今後は、同一アングルで撮影される定点画像を用いて自動で変状抽出から施設点検台帳作成まで行うような定期点検へのあり方が考えられる。

## 6. おわりに

今回の現地検証では、2機のUAVを併用したレベル3飛行下における自律飛行によって崩壊斜面や砂防施設等の点検・調査に関する検証および有効性や利活用について報告した。砂防堰堤の定期点検は、これまで作業員が両岸

の尾根を超えて現場まで徒歩で移動し直接目視によって砂防施設の変状を確認する必要があったが、UAVによるレベル3飛行の活用により、これまでの作業を飛躍的に効率化し、作業の安全性確保にも繋がると考える。レベル3飛行の実用化に向けては、使用可能機体に制約があることから、飛行ルートを事前に作成した上で許可申請が必要であることから導入のハードルが高いといった課題が残っている。今後は許可申請の体系化・簡略化について関係機関と協議して、マニュアル等<sup>23)</sup>にとりまとめを進める。

**謝辞：**本研究の現地検証計画立案・検証は中電技術コンサルタント（株）に受託いただきご尽力いただいた。レベル3飛行の今後の利活用は国土技術政策総合研究所土砂災害研究部の木下篤彦主任研究官に有益なご意見をいただき検討を進めることができた。ここに感謝を表す。

## 参考文献

- 1) 河井恵美, 能島佑佳, 久家政治, 荒木義則, 木下篤彦, 小竹利明, 山田拓, 柴田俊, 山間地域におけるUAVによる自動巡回・画像取得の試行について, 令和2年度砂防学会研究発表会概要集, pp.83-84, 2020
- 2) UAVの自律飛行による天然ダムの緊急調査及び被災状況把握に関する手引き, 令和3年7月, 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター
- 3) UAVの自律飛行による砂防関係施設の自動巡視・点検に関する手引き, 令和3年7月, 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター

(2022.5.?受付)

## SURVEY AND INSPECTION OF FOR RANDSLIDE DAMS AND EROSION CONTROL FACILITIES BY LEVEL 3 FLIGHT (BEYOND VISUAL UAVs FLIGHT WITHOUT ASSISTANT)

Gaku KITAMOTO, Megumi, KOSUGI, and Wataru TAKESHITA

Several deep-landslides and landslide dams that occurred in the 2011 Kii Peninsula floods are located deep in steep mountains, and are dangerous and inaccessible to humans immediately after the flooding. Although UAVs are effective in inspecting and surveying these areas, it was impossible to safely fly UAVs over them because of the poor visibility and lack of radio signal reception deep in the mountains. To solve this problem, we conducted a field verification of autonomous UAV flight under Level 3 flight (flight without visual assistance). The feature of this verification is that two UAVs, a camera and a radio relay, were used in combination to expand the range of control radio waves, enabling UAVs to fly over long distances. This paper reports on the field verification of Level 3 flight using the UAV and its application to the inspection and investigation of river channel blockages and erosion control facilities.

# 福地ダム取水設備（コンクリート構造部）の水中ドローンを用いた劣化調査について

具志堅 善郎<sup>1</sup>・砂川 尚也<sup>2</sup>

<sup>1</sup>沖縄総合事務局 北部ダム統合管理事務所 管理課 課長（〒905-0019 沖縄県名護市大北3-19-8）

E-mail: yoshio.gushiken.c1k@ogb.cao.go.jp

<sup>2</sup>沖縄総合事務局 北部ダム統合管理事務所 管理課 管理係員（〒905-0019 沖縄県名護市大北3-19-8）

E-mail: naoya.sunagawa.t9p@ogb.cao.go.jp

福地ダムの取水設備のコンクリート構造部の点検は、点検整備基準に基づき5年に1回の頻度で実施している。

従来は、取水設備（立坑）の水を抜き目視点検等を行っている。今回、ICT技術を活用した水中ドローンを使用し、水を抜かない状態でコンクリートの劣化状況等の点検を実施した。

従来の点検手法と今回の点検による結果を比較し、水中ドローンを用いた点検手法の今後の活用についての検討結果を報告する。

**Key words** : Deterioration Survey, Inspection, Underwater Drone, Construction Information Modeling

## 1. はじめに

福地ダムは、沖縄県本島北部の東村を流れる二級河川福地川の河口から約2km上流地点に建設した高さ91.7mのロックフィルダムで、洪水吐が上流側にも存在する特徴的な施設を持った県内最大の貯水容量を有するダムであり、昭和49年12月に完成し管理を開始している（図-1）。その後、再開発事業として堤体の嵩上げと、今回、調査を実施する取水設備の改築等を行い、平成3年度に完成した（図-2）。



【位置図】



福地ダム 堤体

福地ダム 上流洪水吐

図-1 福地ダム概要図

当ダムは沖縄本島で使用する都市用水の日当たり取水量の約60%を供給しており、当取水設備の機能を維持することは沖縄県民の生活・社会経済活動を維持していくために大変重要である。

点検の際は抜水を行わずにダイバーで目視による調査を行う方法もあるが、立坑の深さが約70mあり危険を伴うため、これまでは水を抜き、ゴンドラに搭乗して坑壁のコンクリート表面の劣化等の目視による調査を行っている。なお、ゴンドラの可動範囲は限定されているため、

坑壁を近くで確認する範囲に限られる。そこで今回の検討では、立坑内のコンクリートの劣化進行調査をより合理的な方法で実施すべく、水中ドローンを用いて調査を行った。ここでは、既往調査時と今回調査の結果を比較するとともに今後の課題について報告する。

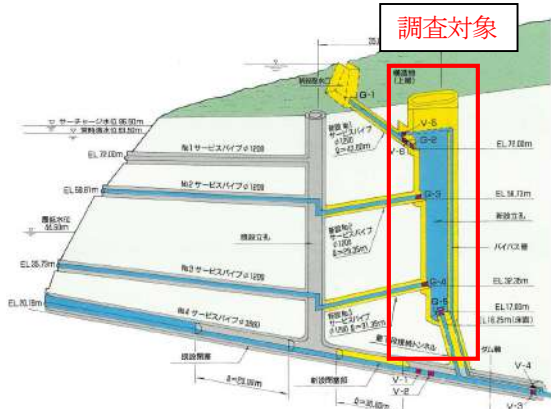


図-2 取水設備(立坑)概要図

## 2. 調査計画

### (1) CIMモデルによる潜航確認

水中ドローンによる調査の際、立坑の開口部は4箇所と限定されていること、各開口によって深度や構造が異なること及びケーブルがあるため、効率良く調査が出来るようにCIMモデルを作成し、潜航計画や水中ドローンとの干渉など事前に検討を行った(図-3)。

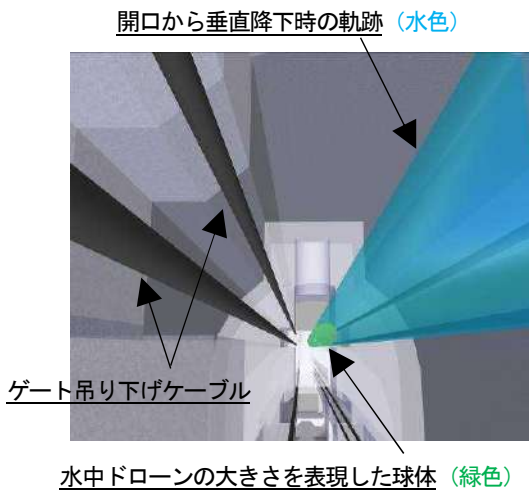


図-3 福地ダム取水設備立坑 CIM モデル

### (2) 使用機材

立坑内は約70mの深度があり暗いため、耐水深度が高く(最大深度100m)かつ高照度のLEDを搭載し動画、静

止画が撮影可能な高性能カメラを搭載した遠隔操作型の無人水中ドローンを使用した(図-4)。



図-4 水中ドローン<sup>1)</sup>

### (3) 調査手順

立坑に接続している管路のバルブゲートを全閉にし、水流がない状態にして、4箇所の開口を開口①から開口④の順に水中ドローンを降下させ調査を行った(図-5)。

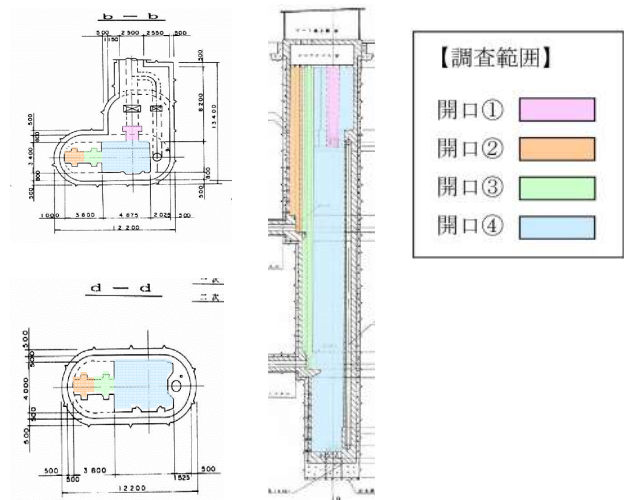
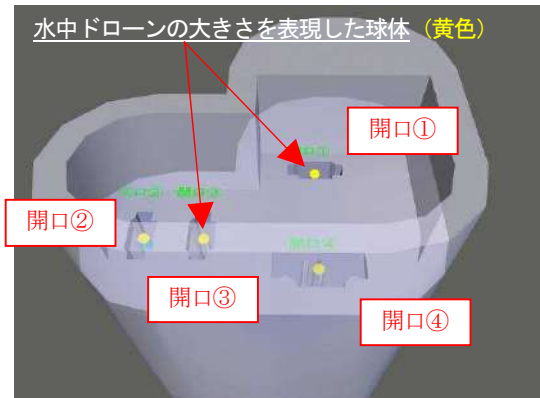


図-5 立坑縦断図

## 3. 調査

### (1) 調査状況

調査は、CIMモデルで検討した潜航計画に基づき5日間で行った(図-6)。



図-6 調査状況

(2) 立坑内の調査結果

通常の目視による調査と同様に立坑の点検整備基準に基づき、坑壁のひび割れ、劣化や開き状況、遊離石灰の有無、コンクリートの変状、金物類周辺の2次コンクリート部の変状、坑底部の落下物、堆積物の有無の調査を行った。

付着物や錆が少ない箇所、導水管内、坑底での構造上問題となるような大きな亀裂やコンクリートの欠落・欠損等は見られなかった(図-7)。また、前回調査で確認されていた骨材の溶解による孔周辺のセメントモルタルの剥離等についても確認されなかった。

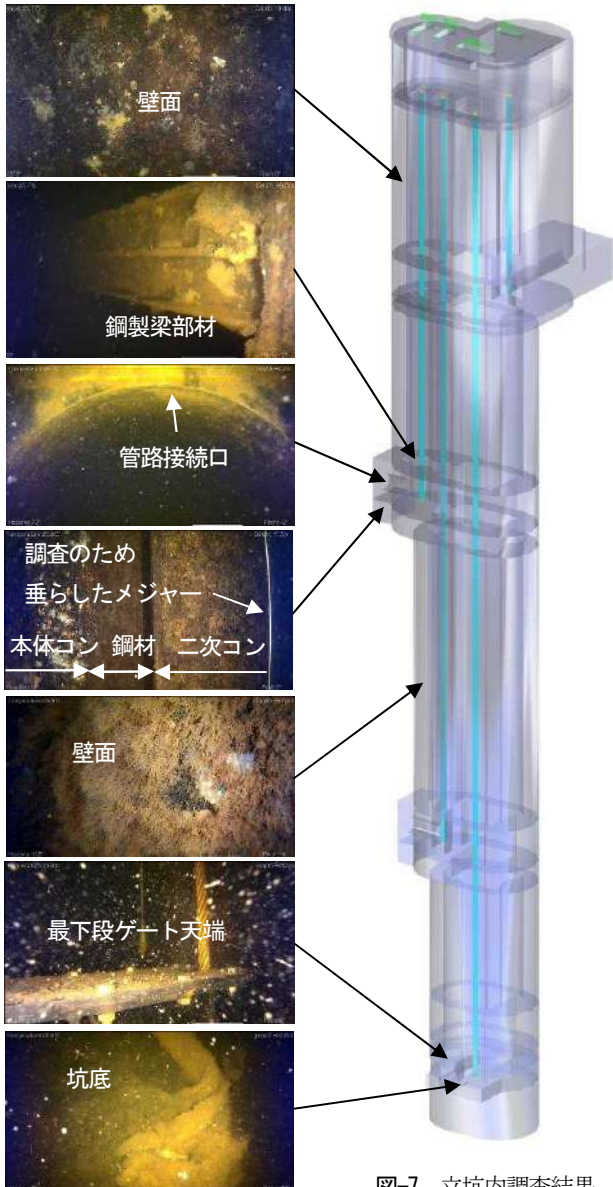


図-7 立坑内調査結果

4. 既往調査との比較

(1) 映像比較

前回抜水後に調査した結果と今回の水中ドローンの映像との比較を行った(図-8)。水中ドローンでもクリアな映像が撮影できており、既往調査と同等の調査が行えた。しかし、水中ドローンでは付着物が多く映り込んでいるため、確認調査が行える場所が限定される。

既往調査 (EL 86.00~74.75)	今回調査 (EL 86.00~74.75)
既往調査 (EL 74.75~71.10)	今回調査 (EL 74.75~71.10)
既往調査 (EL 71.10~59.48)	今回調査 (EL 71.10~59.48)
既往調査 (EL 30.60~16.25)	今回調査 (EL 30.60~16.25)
既往調査 (EL 16.25)	今回調査 (EL 16.25)

図-8

(2) 作業期間、安全性、コストの比較

作業期間、安全性、コストの比較を行った(表-1)。調査期間は既往調査が約2週間、今回調査が約1週間であり調査期間を短縮することができた。作業の安全性については、水中ドローンによる調査では作業員がゴンドラに搭乗する必要もないことから、既往調査に比べ作業の安全性は向上している。調査のみのコスト比較を行うと今回調査(水中ドローン)は既往調査と比較すると60%(600万円)のコストを低減が出来た。

しかし、今後水中ドローンによる調査を行うためには、後述する付着物の除去に要する費用が別途必要となる。

表-1

項目	既往調査	今回調査
準備期間	7日間程度 (ゴンドラ点検含む)	1日程度 (CIMモデル作成)
作業期間	7日間程度	5日間
作業後	注水時間あり	なし
安全性	○	◎
コスト	1,000万円	400万円

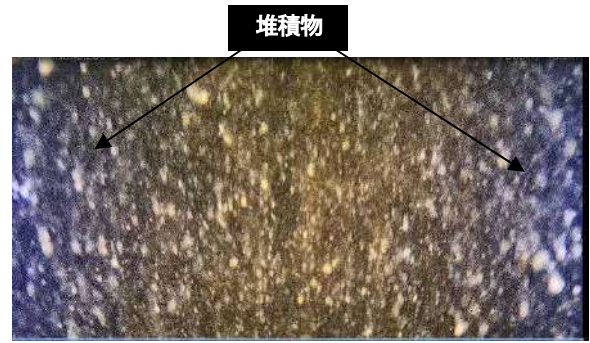


図-10 スクリューによる巻き上げ



図-11 位置確認

5. 課題

今回の調査で水中ドローンの課題として、付着物、沈殿物、位置情報があげられた。坑壁や導水管に藻や錆などが付着していると、水中ドローンでは取り除くことが出来ないため、表面の調査が出来ない箇所があった(図-9)。また、沈殿物などがあると水中ドローンのスクリーで巻き上げてしまい視界が悪くなってしまう(図-10)。立坑内部及び水中ではGPSが利用出来ないため、水中ドローンの調査位置は、メジャーを設置して図面を見比べ把握する必要があった(図-11)。



図-9 付着物

6. まとめ

既往の調査方法に比べると課題はあるものの、概ね一定程度の点検を実施することが出来ており、作業時の安全性、作業期間の短縮、調査コストの低減等が可能であることが確認できた。また、水中ドローンは、緊急時の点検で迅速に利用が出来ることや、撮影した映像により過年度調査と比較した現地状況の再確認ができるなど、本調査の有効性も確認された。

課題である付着物の除去に対しては、付着物を除去しながら測量が可能な水中ロボ(図-12)と水中ドローンを組み合わせることで解決できる可能性がある。その他の課題については、新技術の活用や、位置情報の取得方法の工夫等によって解決が可能かどうか検討していく必要がある。

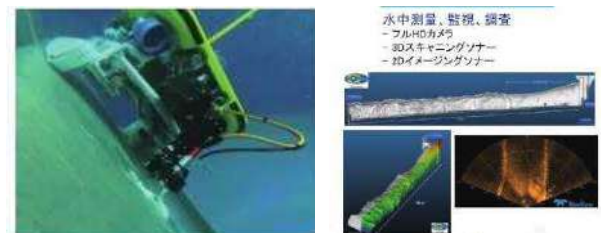


図-12 お掃除測量水中ロボ<sup>2)</sup>



参考文献

- 1) CHASING M2 製品カタログ
- 2) ROVING BAT製品カタログ

[https://www.hydrosys.com/files/product/files/catalog/Cat\\_062\\_20211203\\_ROVINGBAT.pdf](https://www.hydrosys.com/files/product/files/catalog/Cat_062_20211203_ROVINGBAT.pdf)

(2022.5.26 受付)

DETERIORATION SURVEY OF THE FUKUCHI DAM WATER INTAKE FACILITY  
(CONCRETE STRUCTURE) USING AN UNDERWATER DRONE

North Dam Integrated Control Office, Okinawa General Bureau, Cabinet  
Office, Yoshio GUSHIKEN and Naoya SUNAGAWA

The inspection of abnormalities in the concrete structure of the water intake facility of the Fukuchi Dam is conducted once every five years in accordance with the inspection and maintenance standards.

Conventionally, the water intake facility (shaft) has been drained and visually inspected.

This time, an underwater drone using ICT technology was used to inspect the deterioration of the concrete without draining the water.

We compared the results of this inspection with those of conventional inspection methods, and discussed the use of inspection methods using an underwater drone.

# 温浴施設換気支援アプリの内製プロセス ～共通フレーム2013に基づいたプロセス分析～

澁谷 宏樹<sup>1</sup>・小澤 一雅<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 東京大学大学院 共同研究員 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 東京都文京区本郷7-3-1)  
E-mail: shibuya@i-con.t.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup>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 東京都文京区本郷7-3-1)  
E-mail: ozawa@civil.t.u-tokyo.ac.jp

近年、新たなデジタル技術の登場や普及を機に、我が国のあらゆる産業で持続的なデジタルトランスフォーメーション（DX）の推進が求められている。そのためには、これまでの伝統的なIT開発手法（外注主体、ウォーターフォール開発等）だけでなく、新たなIT開発手法（内製主体、アジャイル・DevOps等）への挑戦が欠かせない。著者らは、千葉県長生郡睦沢町の中央部に位置するむつぎわスマートウェルネスタウンの温浴施設「つどいの湯」を対象に、内製、アジャイル、DevOpsを組み合わせる温浴施設換気支援アプリを開発・運用し、そのプロセスを情報処理推進機構発行の共通フレーム2013に基づいて分析した。

**Key Words** :Insourcing,Agile,DevOps,Facility Management System

## 1. 背景と目的

近年、新たなデジタル技術の登場や普及を機に、我が国のあらゆる産業で持続的なデジタルトランスフォーメーション（以下、DX）の推進が求められている。そのためには、これまでの伝統的なIT開発手法（外注主体、ウォーターフォール開発等）だけでなく、新たなIT開発手法（内製主体、アジャイル・DevOps等）への挑戦が期待されている<sup>1)</sup>。一方で、ファシリティマネジメント（以下、FM）におけるDXを支える基盤として、日々の維持管理・運営情報やIoT機器から収集できる量的データを統合してFMに活用するFM支援システム<sup>2)3)4)</sup>がある。FM支援システムの導入や開発のためには、FM組織自らが、新たなIT開発手法への挑戦が欠かせない。

著者らは、道の駅の持続的な経営の実現と地方創生への貢献を目的として、千葉県長生郡睦沢町(人口6,967人、面積35.59km<sup>2</sup>)の中央部に位置するむつぎわスマートウェルネスタウン(2019年オープン、面積約2.86ha、以下、睦沢SWT)を対象に、2020年4月から、FM支援システムの開発に取り組んできた<sup>5)</sup>。本稿は、睦沢SWTのFM支援システムのアプリの一つとして、2022年2月からアジャイルとDevOpsを組み合わせる内製開発してきた温浴施設換気支援アプリ（以下、本アプリ、図-1参照）を対象に、そのプロセスを情報処理推進機構が発行している共通フ

レーム2013に基づいて分析することにより、その特徴を明らかにすることを目的とする。

施設は睦沢町が所有し、運営維持はパシフィックコンサルタンツ株式会社が代表企業であるSPCが担う。

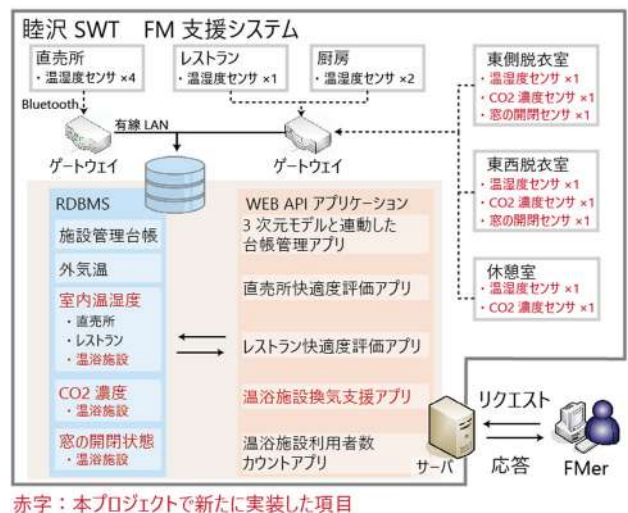


図-1 温浴施設換気支援アプリの位置づけ

## 2. アプリ開発の経緯と概要

新型コロナウイルス感染症対策により室内のこまめな換気が以前にも増して強く推奨されている。しかし、冬

季のむやみな窓の開放は、室内温度の低下によるヒートショック（推定死者数15,000人/年<sup>9)</sup>）を引き起こす恐れがある。こうした問題を背景に、厚生労働省新型コロナウイルス感染症対策推進本部により、室内における温湿度、CO<sub>2</sub>濃度の推奨範囲が示されている<sup>7)</sup>。

睦沢SWTの温浴施設の各脱衣室に、温湿度センサ、CO<sub>2</sub>濃度センサをそれぞれ1台ずつ設置し（図-2）、室内温度、室内湿度、CO<sub>2</sub>濃度（22/23～2/14、営業9時-21時の12時間、1時間ピッチ、各データ数144点）を分析した結果、営業時間中のCO<sub>2</sub>濃度は東西どちらも推奨範囲内であった一方で、室内温度と室内湿度は東西どちらも推奨範囲外な時間帯が見られた（表-1）。

22/23～2/14の12日間、両脱衣室は、機械換気に加えて窓の開放による換気を常時行っていたため、CO<sub>2</sub>濃度は全て1000ppm未満であった一方で、外気の影響を強く受け、室内温度低下や乾燥をもたらしていたといえる。

室内温度の低下はヒートショックを引き起こすリスク、乾燥は感染リスクを高めるため、CO<sub>2</sub>濃度が1000ppm未満の場合は、窓を閉めて外気の影響を受けないようにする等の対策を講じる必要がある。こうした窓の開閉や空調制御、人数制限、他機器類（ヒーター、除湿器等）の活用といった対策実行の判断を支援するために、各脱衣室の室内環境（室内温度、室内湿度、CO<sub>2</sub>濃度等）の温浴施設換気支援アプリの開発と運用に着手した（表-2）。

### 3. DevOpsとアジャイルを組み合わせた内製開発 (1) 開発手法とスキル

本アプリ開発は、施設管理者の多様なニーズを柔軟に反映しながらスピーディに開発するために、①アプリユーザの多様なニーズを長期的かつ高頻度に拾いやすい特徴を持つ内製と、②リリースと改善を短期間に繰り返すことでニーズを柔軟に反映できるアジャイルと、③開発担当者と運用担当者（ユーザ）が連携することでスピーディな開発を可能とするDevOpsを組み合わせた。

本アプリ開発には、①データ受信プログラム、②SQLスクリプト、③WEBAPIアプリケーションを構築するスキルを必要とした（表-3）。

#### (2) プロセスの分析手順

本アプリ開発のプロセスを以下の手順で分析した。

①プロジェクト進行中、本アプリの開発や運用・保守に費やした作業（目的、内容、関係者、開発言語、参考文献等）を1時間毎に記録した。

②入力した作業記録を客観的に分析するために、情報処理推進機構の共通フレーム2013<sup>9)</sup>を用いた。この共通フレームに定められた8つのプロセスのうち、システム開発と運用・保守に関連する「2.テクニカルプロセス」と「3.運用・サービスプロセス」に着目し、両プロセス



図-2 西側脱衣室とセンサ設置箇所（東側も同様）

表-1 脱衣室環境の現状

項目	推奨範囲	東側脱衣室	西側脱衣室
室内温度	18度以上	約35%が推奨範囲外 (51点/144点)	約54%が推奨範囲外 (78点/144点)
室内湿度	40%以上	約23%が推奨範囲外 (33点/144点)	約55%が推奨範囲外 (55点/144点)
CO <sub>2</sub> 濃度	1,000ppm未満	全て推奨範囲内	全て推奨範囲内

表-2 プロジェクトの概要

項目	概要
プロジェクト名	温浴施設換気支援アプリ開発プロジェクト
目的	温浴施設利用者への安心・安全と快適性を提供すること
開発アプリの概要	CO <sub>2</sub> 濃度、室内温湿度、窓の開閉状態を監視し、窓の開閉や空調制御といった常駐スタッフの判断を支援するアプリ
期間	2022年2月2日～2022年4月26日（評価対象期間）
対象施設	つどの湯（脱衣室、休憩室）
開発体制	1名（著者、睦沢SWTのIT担当者）
開発担当者のスキル等 (2022/2時点)	経験：入社6年目 役割：アプリ開発と導入の試行 専門：都市及び地方計画 システム開発経験：1年以上、2年未満 プログラミング言語：C#, HTML, CSS, Javascript, SQL (経験年数：1～2年、学習時間：各言語200h以上)
運用担当者 (2022/2時点)	常駐スタッフ3名(現場に常駐し、日常の運営業務を行う者) 経験：入社35年目、入社20年目、入社10年目

表-3 本アプリ開発に必要なプログラムとスキル

構築プログラム	必要なスキル	
	プログラミング言語 (総学習時間)	開発ツール
①データ受信プログラム 受信サーバと同一のネットワークセグメント内のクライアント(ゲートウェイ)からTCP/IP通信やUDP通信でデータを受信し、指定のDBのテーブルにデータをINSERTするプログラム	・C#(200h以上) ・SQL(200h以上)	・IDE (例: VS Code)
②SQLスクリプト DBのテーブル構築(CREATE、ALTER、DROP等)、データ操作(INSERT、SELECT、TRUNCATE等)をDBMSから実行するSQLスクリプト	・SQL(200h以上)	・DBMS (例: SSMS)
③WEB APIアプリケーション WEBAPIのコントローラを構築し、DBに接続して取得したデータをフロントエンドにJSONで引き渡して、WEBブラウザ上でグラフやテーブル表示するプログラム	・C#(200h以上) ・HTML、CSS、Javascript、jQuery (100h以上)	・IDE (例: VS Code) ・APIテスター (例: Talend API Tester)

の最も詳細な作業を規定した全198タスクから、①で記録した作業内容毎に相応しいタスクを1つ選択した。

③2.1企画プロセス, 2.2要件定義プロセス, 2.3システム開発プロセス, 2.4ソフトウェア実装プロセス, 2.5ハードウェア実装プロセス, 2.6保守プロセスを「Dev: 開発担当者の作業」, 3.1運用プロセスを「Ops: 運用担当者の作業」とした(運用担当者はアプリューザ)。

④本アプリ開発着手からリリース初回までを1週目(両脱衣室の温湿度・CO<sub>2</sub>濃度監視機能及びアラート機能), リリース2回目までを2週目(窓の閉開状態監視機能の追加), リリース3回目までを3週目(休憩室の温湿度・CO<sub>2</sub>濃度監視機能及びアラート機能の追加)とした。

⑤プロセス毎に要した時間と直接人件費(設計業務委託等技術者単価<sup>9)</sup>)を算出した。

**(3) プロセスの特徴**

分析の結果, 2022年2月2日~4月26日の12週間で, 作

業時間101h, 直接人件費414,100円(101h ÷ 8h × ¥32,800, 技師C基準日額), ハードウェア費113,900円(表-4)で本アプリを開発できた(表-5)。

本アプリ開発は, 常駐スタッフからヒートショック対策の相談を受け, 2.2.3.1要件の抽出(1h)から開始した。

表-4 本アプリで実装したハードウェア

新設/既設	ハードウェア	型番、メーカー	単価	数量	小計
新設	温湿度センサ	iBS01T INGICS社製	¥5,300	3点	¥15,900
	CO2濃度センサ	TKR04A 宝通商社製	¥30,000	3点	¥90,000
	マグネットセンサ	iBS01H INGICS社製	¥4,000	2点	¥8,000
	その他備品 (LANケーブル等)	-	¥10,000	-	¥10,000
	I. 合計		-	-	¥113,900
既設	温湿度センサ	iBS01T INGICS社製	¥5,300	7点	¥37,100
	ゲートウェイ	E1000 Cassia Networks社	¥42,000	2点	¥84,000
	サーバ	HP ZBook 15 G6	¥200,000	1点	¥200,000
	II. 合計		-	-	¥284,000
新設+既設	III. 合計(I+II)		-	-	¥397,900

表-5 プロセス毎の作業時間と直接人件費

プロセス(大)	共通フレーム		タスク	Dev Ops	1週目 2月				2週目 3月				3週目 4月				⑦作業時間 合計 (④+⑤+⑥)	⑧作業日 数 (⑦/8h)	⑨直接人件費 (⑧*¥32800)				
	プロセス(小)	アクティビティ			2/2~	2/9~	2/16~	2/23~	④小計	3/2~	3/9~	3/16~	3/23~	3/30~	4/6~	⑤小計				4/13~	4/20~	⑥小計	
2 テクニ カル プロ セス	2.1企画 プロ セス	2.1.1システ ム化構想 の立案 プロセス	2.1.1.2システム 化構想の立案	Dev		2h	6h	8h										8h	1.00日	¥ 32,800			
			2.1.2.2システム 化計画		4h	2h	6h												6h	0.75日	¥ 24,600		
	2.2要件 定義 プロ セス	2.2.3要件 の識別	2.2.3.1要件 の抽出			1h		1h	1h					1h	1h	1h		3h	0.38日	¥ 12,300			
							1h	1h											1h	0.13日	¥ 4,100		
	2.3システ ム開 発 プロ セス	2.3.2システ ム要件 定義 プロ セス	2.3.2.1システ ム要件 の定義				1h	1h										1h	0.13日	¥ 4,100			
							1h	1h											1h	0.13日	¥ 4,100		
	2.4ソフト ウェア 実装 プロ セス	2.4.3ソフト ウェア 方式 設計 プロ セス	2.4.3.1ソフト ウェア 方式 設計				1h	1h										1h	0.13日	¥ 4,100			
						2h	4h	2h	3h	11h	2h			5h	4h	11h		1h	1h	23h	2.88日	¥ 94,300	
	2.5ハード ウェア 実装 プロ セス	2.5.5ハード ウェア 実装 プロ セス	-			2h		2h	4h	1h	1h		3h	2h	2h	9h		1h	1h	14h	1.75日	¥ 57,400	
												2h				2h		1h	1h	3h	0.38日	¥ 12,300	
2.6保守 プロ セス	2.6.2問題 把握 及び 修正 の 分析	2.6.2.2問題 の再 現 又は 検証									2h				2h		1h	1h	3h	0.38日	¥ 12,300		
											2h	1h			3h				3h	0.38日	¥ 12,300		
	2.6.3修正 の実 施	2.6.3.1分析 と修正 部分 の 決定									1h	1h		2h				2h	0.25日	¥ 8,200			
① Dev 作業時間 小計					9h	8h	10h	6h	33h	4h	3h	2h	5h	8h	6h	28h	1h	3h	4h	65h	8.13日	¥ 266,500	
3 運用・ サー ビス プロ セス	3.1運用 プロ セス	3.1.1運用 の 準備	3.1.1.5システム 運用 に係 る 作業 手 順 の 確 立	Ops			1h	1h											1h	0.13日	¥ 4,100		
			3.1.1.7業務 運用 に係 る 事前 調整					1h	1h	2h										2h	0.25日	¥ 8,200	
			3.1.1.8業務 運用 に係 る 作業 手 順 の 確 立					1h	1h	2h											2h	0.25日	¥ 8,200
		3.1.2運用 テ スト 及 び サー ビス の 提供 開始	3.1.2.1運用 テ スト の 準備					4h	1h	5h					1h	1h			1h	1h	7h	0.88日	¥ 28,700
			3.1.2.2運用 テ スト の 実施					9h	1h	10h					1h	1h			1h	1h	12h	1.50日	¥ 49,200
			3.1.2.3運用 テ スト 結 果 の 確認						5h	5h					1h	1h		1h	1h		7h	0.88日	¥ 28,700
		3.1.2.4運用 サー ビス の 提供 開始						1h	1h					1h	1h		1h	1h		3h	0.38日	¥ 12,300	
		3.1.8業務 運 用の 評価	3.1.8.1業務 運 用の 評価								1h				1h	1h		1h			2h	0.25日	¥ 8,200
② Ops 作業時間 小計							16h	10h	26h			1h		4h	5h	1h	4h	5h	36h	4.50日	¥ 147,600		
③ DevOps 作業時間 合計(①+②)					9h	8h	26h	16h	59h	4h	4h	2h	5h	8h	10h	33h	2h	7h	9h	101h	12.63日	¥ 414,100	

1週目は、2.1企画プロセス（14h）や、3.1運用プロセス（26h）に時間を要した。

2週目は、常駐スタッフから窓の開閉状態を追加してほしいという要望を受け、1週目と同様、2.2.3.1要件の抽出（1h）から始まった。1週目と比べて、運用中のソフトウェア修正等の2.6保守プロセス（1週目0h→2週目7h）に時間を要した。更に、本施設で使用経験のない窓の開閉状態を検知するマグネットセンサを新規導入したため、これに伴うDBテーブルの更新等が発生し、2.4ソフトウェア実装プロセス（1週目12h、2週目11h）は1週目と同等の作業時間を要した。一方で、既に企画の方向性が決定したことや、システムを運用していたことから、2.1企画プロセス（1週目8h→2週目3h）や2.6運用プロセス（1週目26h→2週目1h）の作業時間は大幅に短縮された。

3週目は、常駐スタッフから飲食提供の再開を検討している休憩室も監視したいという要望を受け、2.2.3.1要件の抽出（1h）から始まった。本アプリに対応済のセンサを追加したため、DBテーブル等の更新は不要で、フロントエンドの改善のみで済み、1・2週目と比べて短期間かつ短時間でリリースできた（図-3）。

内製化により、システム開発作業（Dev）とシステム運用作業（Ops）の連携がスムーズに行うことができ、合理的な予算でスピーディな開発を行うことができた。

室内環境モニタリング		リリース①		リリース③
日付：2022年4月21日				
測定項目	推奨値	東側脱衣室	西側脱衣室	休憩室
CO2濃度	1000ppm未満	477ppm (15:52)	494ppm (15:57)	518ppm (15:59)
室内温度	18℃以上、28℃以下	23.77℃ (15:56)	22.95℃ (16:00)	25.21℃ (16:00)
室内湿度	40%以上、70%以下	76% (15:56)	76% (16:00)	66% (16:00)
窓の開閉	リリース②	OPEN (16:00)	OPEN (16:00)	-

図-3 温浴施設換気支援アプリ画面

#### 4. 結論と今後の課題

温浴施設換気支援アプリを対象に、内製、アジャイル、DevOpsの組み合わせによる12週間の開発プロセスを共通フレーム2013に基づいて分析した結果、開発1週目は59h（Dev 33h, Ops 26h）、開発2週目は33h（Dev 28h, Ops 5h）、開発3週目は9h（Dev 4h, Ops 5h）、開発全体で101h（Dev：65h, Ops 36h）、直接人件費414,100円、ハー

ドウェア費113,900円を要した。

今後は、開発対象システムの規模や難易度と運営組織の体制（人材）から、内製化と外注の活用の判断基準や内製化の進め方等について、より一般的に検討を行う必要がある。

**謝辞：**本研究は、睦沢SWTの持続可能な発展のために、千葉県長生郡睦沢町、東京大学i-Constructionシステム学寄付講座、パシフィックコンサルタンツ(株)の3者の共同研究に係る協定（2020年4月28日締結）に基づくものである。開発・運営にご協力いただいた(株)ウェルネスサプライ、むつぎわスマートウェルネスタウン(株)の皆様にはお世話になりました。感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) IPA：新スキル標準の方向性，第3回第4次産業革命に対応したスキル標準検討WG，pp2，平成29年3月22日，<https://www.ipa.go.jp/files/000064055.pdf>
- 2) ARCHIBUS：<https://archibus.com/>
- 3) Maximo：<https://www.ibm.com/jp-ja/products/maximo>
- 4) Dynamics 365：<https://dynamics.microsoft.com/ja-jp/>
- 5) 澁谷宏樹，小澤一雅：道の駅のファシリティマネジメントのためのデータプラットフォームのプロトタイプ開発，土木学会建設マネジメント委員会第3回「i-Constructionの推進に関するシンポジウム」，2021.7.8
- 6) 堀新悟：入浴時の急病・事故 家庭内における救急事故の予防について（調査報告書），東京救急協会，p.48，1999  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/seikisho/53/1/53\\_13/pdf-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/seikisho/53/1/53_13/pdf-char/ja)
- 7) 厚生労働省：冬場における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について，令和2年11月27日，  
<https://www.mhlw.go.jp/content/10906000/000698849.pdf>
- 8) (独)情報処理推進機構：共通フレーム2013，2013年3月4日
- 9) 国土交通省：令和4年度設計業務委託等技術者単価について  
<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001465214.pdf>  
(2022.5.20 受付)

### IN-HOUSE DEVELOPMENT PROCESS OF INDOOR ENVIRONMENT MONITORING APPLICATION SOFTWARE ~Analysis based on Common Framework 2013 by IPA~ Hiroki SHIBUYA, Kazumasa OZAWA

In recent years, with the emergence and spread of new digital technologies, all industries in Japan are required to promote sustainable digital transformation (DX). To achieve this, it is essential to take on the challenge of new IT development methods (Insourcing, Agile, DevOps, etc.). The authors developed the application software using a combination of in-house development, Agile, and DevOps for "Tsudoi no Yu" in Mutsuzawa Smart Wellness Town, and analyzed its process based on Common Framework 2013 published by Information-technology Promotion Agency, Japan (IPA).

# 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 (土工を革新するハードウェアと現場を俯瞰するセンサポッドシステムの紹介)

永谷圭司<sup>1</sup>・大須賀公一<sup>2</sup>・竹岡年延<sup>3</sup>・倉爪亮<sup>4</sup>

<sup>1</sup>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: keiji@i-con.t.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup>大阪大学 大学院 工学系研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)  
E-mail: osuka@mech.eng.osaka-u.ac.jp

<sup>3</sup>弘前大学 理工学部 機械科学科 (〒036-8561 青森県弘前市文京町3番地)  
E-mail: takei@hirosaki-u.ac.jp

<sup>4</sup>九州大学大学院システム情報科学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡744番地)  
E-mail: kurazume@ait.kyushu-u.ac.jp

筆者らは現在、内閣府ムーンショット型研究開発の目標3「自ら学習・行動し人と共生するAIロボット」というグループにおいて、「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」というプロジェクトを進めている。このプロジェクトでは、特に、自然災害現場などの難環境において、時々刻々と変化する環境に臨機応変に状況に対応し、目標タスクをこなすことが可能なロボットシステムの実現を目指している。ここで協働AIロボットとは、従来の大型建設機械ではなく、革新的な土工を実現する機能を搭載した小型建機サイズのロボット複数台が協働することで、想定と異なる環境や状況に対しても臨機応変に対応し、求められるタスクを実現することが可能なシステムを指している。具体的なタスクとして、「河道閉塞の応急復旧」と「月面インフラ構築」を設定し、これらの実現を目指した研究開発を19の研究機関と共に進めている。本稿では、このプロジェクトの中でも、i-Constructionの実現に大きく貢献することが期待できる「土工を革新するハードウェア」ならびに「現場を俯瞰するセンサポッドシステム」に関する研究開発について紹介する。

**Key Words:** Collaborative robots, Collaboration, Sensor pod, Innovation of earthwork

## 1. はじめに

内閣府では、現在、ムーンショット型研究開発事業<sup>1)</sup>が進められている。これは、我が国発の破壊的イノベーションの創出を目指し、従来技術の延長にない、より大胆な発想に基づく挑戦的な研究開発(ムーンショット)を推進する新たな制度であり、7つの目標が設定されている。筆者らは、この中の目標3「自ら学習・行動し人と共生するAIロボット」というグループにおいて「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」のプロジェクトを進めている。ここで、協働AIロボットとは、従来の大型建設機械ではなく、革新的な土工を実現する機能を搭載した小型建機サイズのロボット複数台が協働で作業を行うことで、想定と異なる環境や状況に対しても臨機応変に対応し、要求されるタスクを実現するシステムを指している。具体的には、「自然災害の応急復旧」と「月面インフラ構築」という二つのタスクを設定し、これらの実現を目指した研究開発を19の研究機関と共に進めている。研究グループならびに、研究体制を図1に記す。

本稿では、このプロジェクトにおいて、その成果がi-Constructionに大きく貢献することが期待できる「土工を革新するハードウェア」ならびに、「センサポッドシステム」と呼ばれるセンシングシステムに関する研究開発について紹介する。

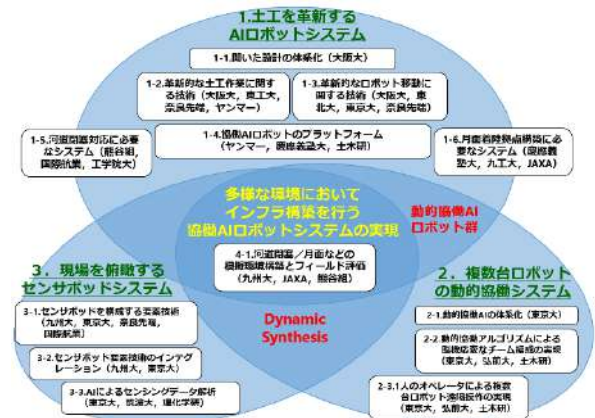


図1 プロジェクトの研究体制図

## 2. 土工を革新するハードウェア

現在の建設機械は、想定する環境に対してロボストに設計されている。言い換えれば、無限定環境に適応できない身体になっている。これに対し、本プロジェクトで開発するロボットは、自然災害現場など、時々刻々と変化する環境に対して臨機応変に対応するため、環境に柔軟になじむ能力を兼ね備えた機体になっている必要がある。そこで本プロジェクトでは、環境適応型身

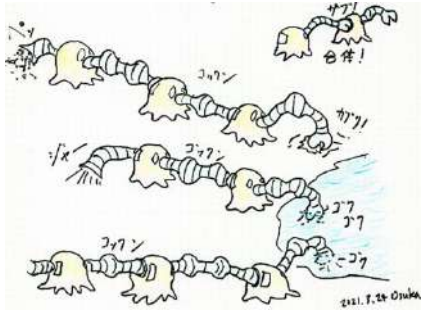


図2 妄想建機 (水の運搬)

体 (環境と機体との相互作用を活用) を有するハードウェアの開発を目指すこととした。なお、この研究課題については、大阪大学を中心に研究開発が進められている。

このような機体を実現するには、これまでにない発想による機体設計を行う必要がある。具体的には、「小型群」「ヘテロ」「軽量」「柔軟」「冗長」などを組みこんだ機体設計が必要で、刻々状況が変化の中で群ロボットの制御を行う必要がある。これを「開いた設計による機体構築」と呼び、そのような設計法を確立する必要があると考えている<sup>2)</sup>。そこで、本研究では、下記に記す開発指針を立てて、土工を革新するハードウェアに関する研究開発を進めることとした。

Step 0 (目的) 目的を明確にする。

Step 1 (妄想) 本プロジェクトの二大ターゲットである「自然災害の応急復旧」と「月面インフラ構築」を想定し、できるだけ多くの「妄想建機」を描く。ただし開いた設計のコンセプトを意識する。

Step 2 (具現) Step 1 で生まれた多くの妄想から実現可能性の高そうな案を複数選び、極初頭的な試作とともに概念設計を行う。

Step 3 (試作) Step 2 で生まれた初等的試作機の中からさらに実現可能性の高いものを少数選び、原理検証モデルを試作する。

ここでは、i-Centipote-Hoseというハードウェアを例にとり、開いた設計を目指した開発指針にしたがった開発について紹介する<sup>3)</sup>。なお、ここでの目的 (Step 0) は、「河道閉塞において重要なタスクである「水を別の場所に移動させる」ことである。

Step 1 (妄想) においては、河道閉塞を想定し、できるだけ多くの「妄想建機」を描く。図2は、大阪大学にてプロジェクト当初に描いた、洪水や河道閉塞などの自然災害時に溜まった不安定な水を動かす、複数台ロボットから構成される妄想建機である。

次に、Step 2 (具現化) において、初頭的な試作と共に概念設計を行う。まず、問題を「河道閉塞現場において、冠水池の水を応急処置的に抜くための、ポンプを運搬するシステムの設計」と設定する。ここでは、ホースを徐々に伸展させ、ポンプを冠水池に向かわせる必要があるが、要求事項としては、以下の2項目が挙げられる。

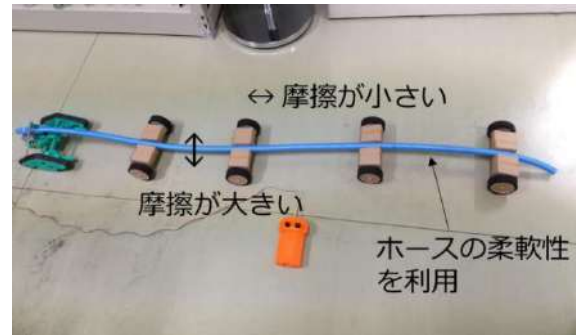


図3 初頭的な試作

要求1) 全体的に不整地と関わらずに馴染む。

要求2) 全体的にホースの接線方向は動きやすく法線方向に動きにくい。

これを実現するため、まず思いつのが、ホース系に多くの能動的に制御できる自由度と、それぞれに移動機構を持たせ、地面の状況を分布的なセンサによって察知し、全体に無理が生じないように集中制御する、という方法である。これは、閉じた設計の典型であるが、現在想定しているホースは50m以上の長いものであり、ホース全体に車輪や脚などを装着していると収納できない。そこで、ホースの伸展とともに、車輪や脚のユニットがホースに順次装着する構造の発想が生まれ、この発想をもとに、ごく初頭的な試作機を製作した。図3に、その外観を記す。これにより、ホースの接線方向は動きやすく法線方向に動きにくい、不整地地面にもなじむ機構の研究開発が進むと期待される。

次に、Step 3 (試作) において、Step 2 で生まれた初等的試作機の中から、さらに実現可能性の高いものを選んだ後、原理検証モデルを試作することとしたが、ここでi-Centipote-Hoseが、原理検証モデル試作まで進んだ。**エラー! 参照元が見つかりません。**に、製作した原理検証モデル試作を用いて行った実験の状況を記す。この実験において、受動車輪ユニットを装着せずに、ホースを地面に直接接触させて伸展させた場合には、約1.2m進展したところで、ホースと地面との摩擦が大きくなり、先頭のクローラロボットが立ち往生したのに対し、ユニットを装着することで、30m以上の走行が可能となった。

以上、簡単な実験結果ではあるが、当初の期待通り、開いた設計によるi-Centipote-Hoseの実現可能性を示したと言える。現在、原理検証モデルをベースに、脚のユニットがホースに自動で順次装着する構造を有する機構の設計・製作を進めているところであり、近いうちに、その結果を報告できると考えている。

### 3. 現場を俯瞰するセンサポッドシステム

フィールドでは、ロボットに搭載したセンサのみで、環境情報や自己位置・姿勢の把握を行うことが困難であることは、良く知られている。加えて、軟弱地盤が存在する環境において、地盤強度を取得することは大変重要であるが、地盤情報をセンシングする手法は非常に少な



図5 原理検証モデルと動作試験

い。そこで、本プロジェクトでは、協働 AI ロボットの動作に必要な環境認識や、環境評価を行うための情報を取得する、環境据置型のセンサポッドを構築することとした。本章では、建設ロボットの自律ナビゲーションを実現するため、センサポッドによって環境中のロボットの位置・姿勢を取得する手法について紹介する<sup>4)</sup>。

環境中のロボットの位置姿勢を取得するため、建設ロボットを観測可能な位置に 3D LiDAR を設置し、そのセンサから得られた三次元点群を用いて位置推定を行う。建設機械を立体的に捉えることにより、多くの特徴点を得ることができるため、建設ロボットの三次元的な姿勢の推定が可能になる。位置推定には、以下に記す三つの過程を踏むこととした。

1. 探索点群の抽出
2. 対象建機かどうかの判定
3. 位置合わせによる位置姿勢推定

この手法の概要を説明するため、図4上に、位置推定試験の様子を、図4下にLiDARで取得した建機の三次元点群を掲載する。ここで、右下の四角で囲まれた部分は、フィールドで取得したセンサデータではなく、予め取得しておいた対象とする建機の三次元点群（以下、対象点群と呼称する）である。また、対象環境には、建設機械を挟むように、2つのセンサポッドが配置されている。

まず、「1.探索点群の抽出」では、ユークリッドクラスタ抽出法と呼ばれる手法を利用した。ここで得た点群の中央値を原点とし、建機の最大寸法より外に存在する点を除外することで、ノイズ除去を行うと共に、建機よりも大きいクラスタを探索対象から除外する。

次に、「2.対象建機かどうかの判定」において、探索点群と対象点群に対し、Iterative Closest Point (ICP) アルゴリズムを用いて位置合わせを行う。これは、二つの三次元点群  $P_s$ ,  $P_t$  が与えられた時、 $P_s$  を  $P_t$  に一致させる回転行列  $R$  と並行移動行列  $T$  を推定する反復位置合わせアルゴリズムである。詳細は参考文献に譲るが、ICP アルゴリズムの反復回数を制限し、一致度がある閾値を上回った場合に、対象とする建機であると判定する。

最後に、「3.位置合わせによる位置姿勢推定」におい

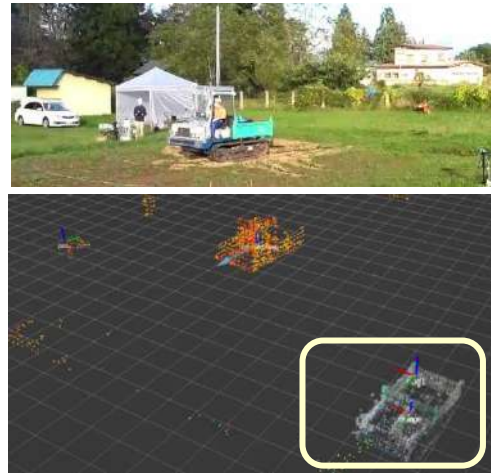


図4 LiDARを用いた建設ロボットの位置姿勢推定

ても、上記の判定手法と同様にICPアルゴリズムを利用する。ただし、ここでは、対象建機と判定した対象点群のみに対して反復回数の上限を増やし、一致度の閾値を厳しく設定することで、より正確な位置合わせを行うことが可能となる。

上記の手法を用いて、位置推定実験を行った。対象環境は、 $14 \times 14$ [m]の作業領域で、2台の3DLiDARを向かい合わせて設定した環境で、実験を行った(図4)。なお、3DLiDARは、RoboSense社のRS-LiDAR-M1を選定した。このLiDARは、距離精度が $\pm 0.03$ [m]、水平角度分解能・垂直角度分解能が共に $0.2$ [ $^{\circ}$ ]と、高分解能で測距できる。また、評価については、BizStation社のDG-PROIRWSによるRTK測位で得られた値を用いた。このRTK測位は、FIXED解であれば、平均誤差 $\pm 0.01$ [m]で取得することが可能である。

位置推定実験の結果、位置推定の平均誤差は $\pm 0.05$ [m]であり、自動制御への適用が期待できる水準であった。また、姿勢推定での平均誤差は $\pm 0.36$ [ $^{\circ}$ ]であり、こちらも、建設機械の自動制御が十分可能となる精度を達成したと考えられる。

#### 4. 地盤を測定するセンサポッドシステム

前章において、センサポッドを用いた建機の位置姿勢推定について紹介した。本章では、センサポッドのもう一つの特徴である、センサポッドによる地盤強度取得手法について紹介する。

土工現場での地盤強度の把握には、現在は、振動ローラの転圧回数による管理が一般的であるが、近年は、振動ローラによる転圧時に、ローラに取り付けた加速度センサの応答波形から、地盤強度を推定する方法が提案されてきた。しかしながら、振動源である振動ローラにセンサを取り付けることは、計測精度やセンサの耐久性の点で問題があると考えた。

そこで、本プロジェクトでは、建設機械本体ではなく、環境中に設置する据置型のセンサポッドに振動計測センサを付加し、ロボットや重機の移動により生じる振動を計測することで、地盤強度を計測する手法を検討するこ



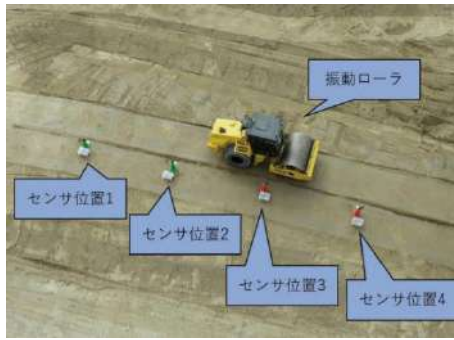


図7 センサポッドによる振動計測実験

とした。なお、振動計測センサには、小野測器、NP-7310を採用した。NP-7310は、0.1~400Hzの低周波振動の計測が可能であり、高感度な計測ができる。また、3軸方向の振動が同時に計測可能である点も特徴である。

このセンサならびに、カメラ、LiDAR、GNSSを搭載したセンサポッドを環境中に配備し、振動ローラの走行試験を実施した。振動ローラによる転圧を繰り返すと、地盤強度が変化する。一般に地盤は、転圧により最初は次第に固くなるが、ある回数を越すと過転圧となり、逆に強度が低下することが知られている。この振動ローラによる転圧作業中に、振動ローラにより起振された地盤振動をセンサポッドで計測することで、転圧回数と地盤振動に相関があるかを調べた。図7 センサポッドによる振動計測実験エラー! 参照元が見つかりません。に、実験の様子を示す。この実験では、振動ローラを用いて地盤を10往復転圧し、センサポッドを用いて振動を計測した。図6 転圧回数と地盤強度に、転圧回数と地盤強度を反映する指標であるCCV (Compaction Control Value) の関係を示す。この結果は、転圧回数が増えるほど、CCVが一定値に収束することを示しており、これよりセンサポッドによる振動の計測で地面の締め固めの様子が推定できる可能性があることが分かった。

## 5. おわりに

本稿では、ムーンショット型研究開発事業「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」プロジェクトの、これまでの成果の一部を紹介した。具体的には、土工を革新するハードウェア開発を目指した一つの成果ならびに、環境中に設置するセンサポッドに

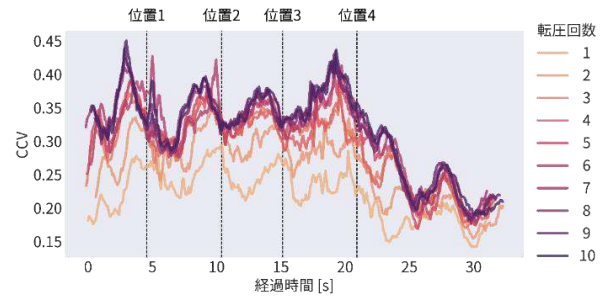


図6 転圧回数と地盤強度

関する紹介を行った。今後、開発中の要素技術を統合し、「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」の実現を目指す。

## 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 2021.5.20)
- 2) Nagatani K, Abe M, Osuka K, Chun P-j, Okatani T, Nishio M, Chikushi S, Matsubara T, Ikemoto Y and Asama H (2021), "Innovative technologies for infrastructure construction and maintenance through collaborative robots based on an open design approach", *Advanced Robotics.*, May, 2021. Vol. 35(11), pp. 715-722.
- 3) 大須賀公一, 角田祐輔, 肖潤澤, “対河道閉塞用ポンプシステム i-CentiPot-Hose の提案”, 第22回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講演論文集 (SI2021) pp. 3463-3467.
- 4) 川辺知人, 稲川正浩, 竹園年延, 永谷圭司, 今西悦二郎 (2021), "模型ホイールローダによる全土砂運搬の自律作業", 第22回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講演論文集 (SI2021), pp. 3527-3530.
- 5) 福田 健太郎, 中嶋一斗, 倉爪亮, “転圧地盤評価のための分散型センサポッドの開発- 加速度応答スペクトルに基づく転圧評価手法の検討 -”, 第22回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講演論文集 (SI2021), pp.3476-3478.

## Collaborative AI robots for adaptation of diverse environments and innovation of infrastructure construction

(Robot hardware to innovate earthwork and sensor pods for sensing of the work sites)

Keiji NAGATANI, Koichi OSUKA, Toshinobu TAKEI, and Ryo Kurazume

The authors are working on a project titled "Collaborative AI Robot that Adapts to Various Environments and Innovates Infrastructure Construction" in the Moonshot-type R&D project. This project aims to realize a robot system that can adapt to diverse environments and perform target tasks. The target tasks in this project are "disaster response of blocked river channels" and "construction of lunar infrastructure." This paper introduces the research and development in this project of "hardware that innovates earthworks" and "sensor pod system for the robot system," which are expected to significantly contribute to the realization of i-Construction.

# 次世代 $\alpha$ システムの開発（その2） — 自走式散乱型RIロボットの開発 —

松崎 晃<sup>1</sup>・古屋 弘<sup>2</sup>・稲川 雄宣<sup>3</sup>・石黒 健<sup>4</sup>・平田 昌史<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社大林組 技術研究所（〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640）  
E-mail: matsuzaki.ko@obayashi.co.jp

<sup>2</sup>正会員 株式会社大林組 技術研究所（〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640）  
E-mail: furuya.hiroshi@obayashi.co.jp

<sup>3</sup>正会員 株式会社大林組 技術研究所（〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640）  
E-mail: inagawa.yusen@obayashi.co.jp

<sup>4</sup>フェロー会員 前田建設工業株式会社（〒302-0021 茨城県取手市寺田5270）  
E-mail: isigurot@jcity.maeda.co.jp

<sup>5</sup>正会員 前田建設工業株式会社（〒302-0021 茨城県取手市寺田5270）  
E-mail: hirata.m@jcity.maeda.co.jp

土工事における締固め品質管理の効率化および高度化を目的として次世代 $\alpha$ システムを開発している。次世代 $\alpha$ システムの構成要素の一つである自動走行式散乱型RIロボットは面的に含水比を測定することができる。一方で、散乱型RI測定器底面から測定地盤までに離隔があることや走行しながらの測定によって測定精度が低下することが懸念された。そこで測定精度を確保を目的として、散乱型RI搭載部の仕様検討を行い、パラレルリンクする機構を採用した。また室内実験を行い測定精度に及ぼす離隔および移動速度の影響を検討し、離隔に関する補正式の策定および精度確保が可能な移動速度を決定した。本自走式散乱型RIロボットは開発中の次世代 $\alpha$ システムの一機能として運用することにより、局所的な高含水部などを検出することが可能となった。

**Key Words :** water content, RI method, parallel link, clearance, running speed

## 1. はじめに

近年、労働人口の減少を背景に国土交通省は i-Construction を推進しており、土工事でも ICT を活用した新技術の導入が検討されている。 $\alpha$ システム<sup>1)</sup>は振動ローラの加速度応答から地盤剛性を算定する加速度応答法と ICT 土工技術を組み合わせ、面的に締固め管理を行うシステムである。筆者らは土工事における締固め品質管理の更なる高度化を目的として次世代 $\alpha$ システムの開発を行っている。次世代 $\alpha$ システムは図-1 に示すように $\alpha$ システムのデータに加え、3D レーザースキャナ、散乱型 RI 水分計を搭載した自動走行ロボット（以下、自走式散乱型 RI ロボット）のデータをデータ統合解析システムで一元管理し、分析することで複合的な観点から高精度に面的な盛土の締固め管理を行うシステムである。次世代 $\alpha$ システムの概要に関しては、次世代 $\alpha$ システムの開発（その1）で説明した。本稿では次世代 $\alpha$ システムの構成要素の一つである自走式散乱型 RI、特に面的に地盤の含水比を計測することを目的とした自走式

## 次世代 $\alpha$ システム

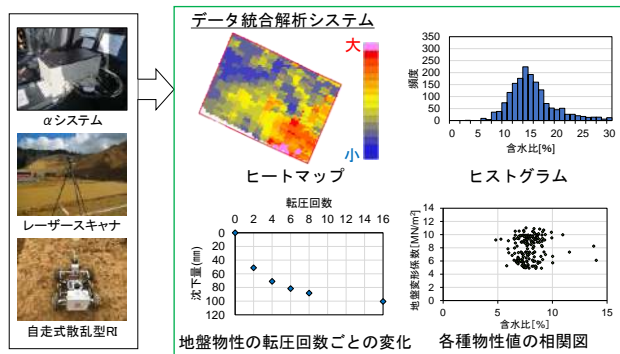


図-1 次世代 $\alpha$ システムの概要図

散乱型 RI<sup>2)</sup>の測定精度の検証および現場適用に向けた取り組みを報告する。

## 2. 自走式散乱型 RI の仕様選定

散乱型 RI は一般に測定器底面から測定地盤までに離間距離（以下、クリアランスと称す）があると測定精度

が低下することが知られている<sup>3)</sup>。また走行しながら測定することによっても測定精度が低下することが懸念される。自走式散乱型 RI ロボットの開発にあたっては、散乱型 RI 測定器底面と測定地盤の離隔を可能な限り小さくすることに加え、距離を一定に保つことが要求された。これらの要求仕様に対して2現場で実証を行い、仕様選定を行った。1現場目では図-2に示すように散乱型 RI 搭載部をバンドで吊り下げ、両側に車輪を付けることにより測定器底面と測定地盤の離隔を一定に保つ機構を検討した(測定機構①)。なお、ガイドレールにより上下方向のみに動作を制限している。検証の結果、ガイドレールを脱線する場合や走行中の測定部の跳ね上がりが確認された。そこで図-3に示すように棒で連結した平行リンク機構を検討した(測定機構②)。後ろ側にサスペンションを設けることで走行中の測定部の跳ね上がりを抑制する構造とした。検証の結果、測定部の跳ね上がりが生じないことを確認したため平行リンク機構を採用した。なお、現場運用等を鑑み、最終的な仕様として、可能な限り小さく、軽量にすることを目標に L550×W515×H160mm, 5kg 程度とした。ホイールは4輪別駆動とし、その場で展開することができる機構とした。操縦は汎用ドローンアプリ ArduPilot を利用し、測定領域の4点を指定することで走行経路を自動生成し、自走しながら測定することができる。

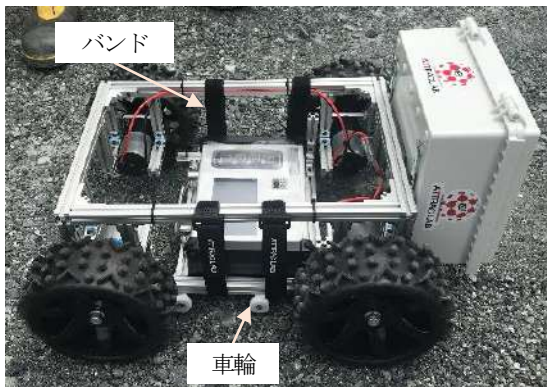


図-2 測定機構① (バンドによる吊り下げ)



図-3 測定機構② (平行リンク機構)

### 3. 測定精度への影響検討

#### (1) 実験概要

既述のように自走式散乱型 RI ロボットの開発にあたっては、クリアランスと走行により測定精度が低下することが懸念された。そこで自走式散乱型 RI の測定精度確保を目的に測定精度に及ぼすクリアランスおよび移動速度の影響について検討した。

実験はL2.0m×W1.0 m×H0.4mの土槽を用いて行った。実験用地盤は、岐阜珪砂6号と黒ボク土を目標含水比  $w=20, 30, 40\%$  となるように混合し、それぞれ締固め度 90% となるように作製した。自走式散乱型 RI の測定精度に及ぼすクリアランスの影響に関する検討(検討1)では、図-4に示すように測定器と測定対象地盤のクリアランスを 0mm~30mm まで 3mm ごとに変化させ測定を行った。測定終了後、測定箇所を採取し、炉乾燥法により含水比の測定を行った。測定はサンプリング周波数 1Hz で 1 分間測定を行った。移動速度の影響に関する検討(検討2)では、前述した自走式散乱型 RI ロボットを速度 3.8, 5.0, 7.5, 10.0 cm/s で直進走行させ、それぞれサンプリング周波数 1Hz で測定を行った。測定器搭載部にレーザー距離計を 2 個設置し、地盤とのクリアランスを測定した。測定距離の平均値をクリアランス値とした。なお、含水比  $w$  の算出にあたっては既往の文献<sup>2)</sup>を基に、式(1)により算出した。

$$W = \frac{n \sqrt{B(C-R_m)}}{\sqrt{R_m - A - C}} \quad (1)$$

ここで、 $R_m$  は散乱型 RI の計数率比、 $A, B, C, n$  は校正定数である。

#### (2) クリアランスの影響検討(検討1)

実験により得られた計測含水比、補正後の含水比とクリアランスの関係を図-5に示す。図中には炉乾燥法により得られた含水比を破線により併せて示している。測定器で得られた計測含水比に着目すると、全ての地盤でクリアランスの増加に伴い、測定される含水比が減少して



図-4 クリアランスの影響検討実験状況(検討1)

いることがわかる。これはクリアランスの増加に伴い検出できる熱中性子の数が減少することが原因であると考えられる。クリアランス  $n$  mm での計数率比の補正率  $r$  (式 (2)) を定義し、それぞれのクリアランスに対する補正率  $r$  を算出した。得られた補正率  $r$  とクリアランスの関係を図-6 に示す。クリアランスと補正率には正の相関があることがわかる。この結果より各地盤の単回帰直線から、クリアランス  $n$  mm での補正率  $r_n$  を各地盤で式 (3) により算出し、式 (4) から補正計数率比を算定することで補正含水比を算出した。図-5 より補正後の含水比は一定となり、炉乾燥法による含水比に対して相対誤差 10%以下となった。

$$r = (R_{m0} - R_{mn}) / R_{mn} * 100 \quad (2)$$

$$r_n = a n + b \quad (3)$$

$$R_m = R_{mn} (1 + r_n / 100) \quad (4)$$

ここで、 $R_{mn}$ :クリアランスが  $n$  mm の時の補正計数率比、 $R_{m0}$ :クリアランスが  $0$  mm の時の計数率比、 $r$ :補正率、 $r_n$ :クリアランスが  $n$  mm の時の補正率

(3) 移動速度の影響検討 (検討2)

検討 1 において得られた補正式により自走式散乱型 RI の測定精度に及ぼすクリアランスの影響を排除し、移動速度による影響について検討を行った。また散乱型 RI は自走ロボット部材に含まれる水素原子に起因する熱中性子の影響を受けるため、検討に先立ちコンクリート上で自走式散乱型 RI ロボットと測定器のみを静置した状態で測定を行った。両測定の計数率比を比較することで

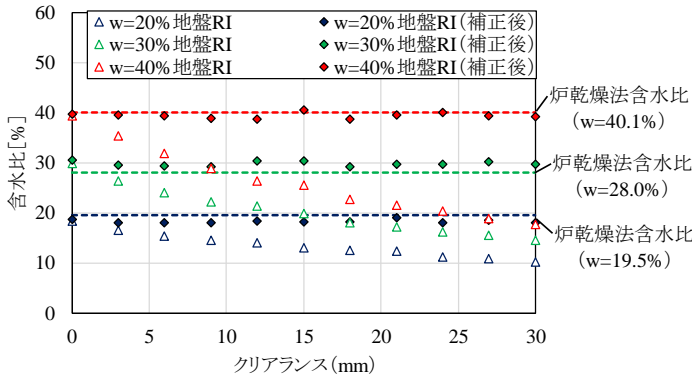


図-5 測定精度に及ぼすクリアランスの影響

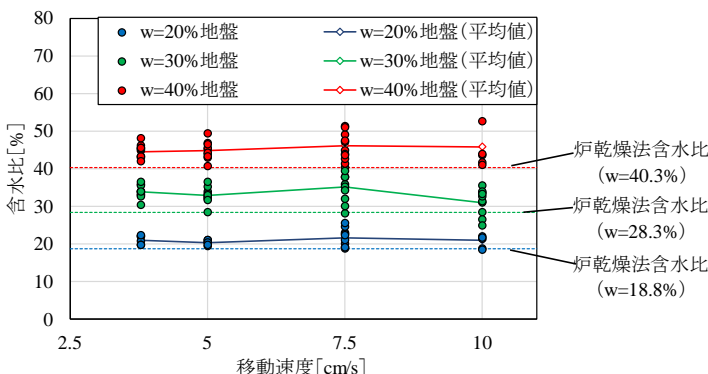


図-7 測定精度に及ぼす移動速度の影響

自走ロボットへの搭載に起因する計数率比への影響を算定し、各測定の計数率比から減じて含水比を算出した。各走行速度における移動距離 50cm あたりの含水比及びその平均値を図-7 に示す。図中には破線により炉乾燥法により計測した含水比を併せて示している。移動速度に関わらず炉乾燥法によって得られた含水比よりも、測定される含水比が最大で 5%程度高いことがわかる。これは移動しながらの測定が主な要因であると考えられるが、引き続き検討が必要である。各地盤で得られた含水比と炉乾燥法による含水比の相対誤差を図-8 に示す。移動速度 3.8, 5.0cm/s では相対誤差が最大で 6%程度、移動速度 7.5, 10.0cm/s では最大で 22%, 13%となった。

以上より移動速度を抑えることにより、測定誤差の低減ができることが確認された。

4. 現場適用に向けた取り組み

自走式散乱型 RI ロボットは通信機構を装備しており、次世代  $\alpha$  システムの構成要素の一つであるデータ統合解析システムと HTTPS(Hyper Text Transfer Protocol Secure) での通信が可能である。計測した含水比は、既述の補正式によりクリアランス補正を行い補正含水比に自動変換される。またヒートマップ出力機能を使えば、図-9 に示すように瞬時に可視化することができ、局所的な高含水比部を検出することができる。

現状、面的な含水比の測定に留まっているが、今後、

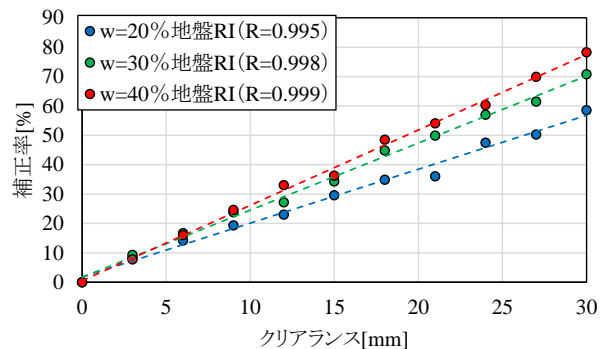


図-6 クリアランスに対する補正率の関係

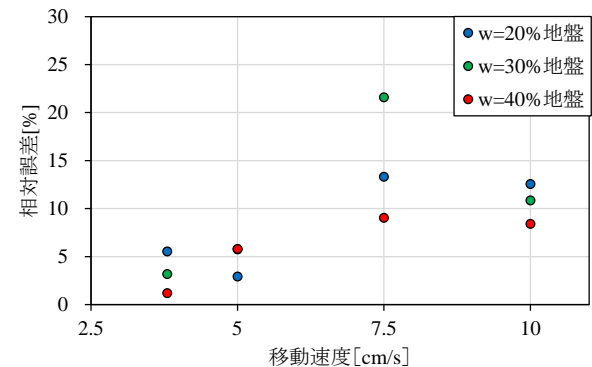


図-8 移動速度と相対誤差の関係

ガンマ線を線源とする散乱型 RI 密度計を搭載した自動走行ロボットを開発し、面的な乾燥密度の測定が可能になれば更なる品質管理の高度化が図れる可能性がある。またカメラを搭載し、測定中に転圧面の画像を撮影し、データベースに保存することで、不可視部になってしまう盛土内部を後に参照することが可能となり維持管理にも活用することができる。

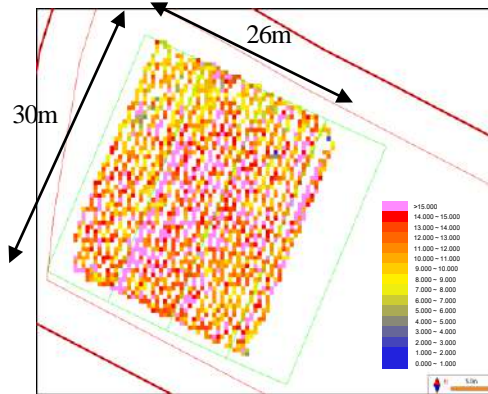


図-9 データ統合解析システムのヒートマップ出力の一例  
(含水比分布)

## 5. まとめ

本稿では、開発した自走式散乱型 RI ロボットの仕様、測定精度の検証結果、ならびに現場活用に向けた取組み内容を述べた。以下、本研究で得られた知見を示す。

- (1)自走式散乱型 RI の測定機構について仕様検討を行った。パラレルリンク機構とし、サスペンションを付けることで測定器底面と離隔を一定に保つことが可能となった。

- (2)自走式散乱型 RI の測定精度確保を目的として、散乱型 RI の測定精度に及ぼすクリアランスの影響を検討した。その結果、測定器底面と測定地盤のクリアランスから計数率比を割り増すことで散乱型 RI の測定精度を確保できることがわかった。
- (3)自走式散乱型 RI の測定精度確保を目的として、測定精度に及ぼす移動速度の影響を検討した。その結果、5cm/s 以下の移動速度で計測を行うことにより、相対誤差の低減が可能であることが分かった。
- (4)次世代  $\alpha$  システムのデータ統合解析システムを活用することにより面的に含水比を把握することができ局所的な弱部が検出可能となった。

謝辞：開発にあたってはソイルアンドロックエンジニアリング株式会社、株式会社アトラックラボ各位に協力をいただきました。

## 参考文献

- 1) 古屋 弘, 細谷 芳巳, 石黒 健, 高橋 浩, 藤山 哲雄, 藪下 修一：振動ローラ加速度法による路床ブルーフローリング装置の開発, 第39回地盤工学会研究発表会, pp.1309-1310, 2004
- 2) 谷口龍, 池永太一, 稲川雄宣, 森俊行：自動走式散乱型RI水分計による含水比の面的測定, 土木学会第76回年次学術講演会, VI690, 2021.7
- 3) 千葉力, 大村啓介, 池永太一, 塩見篤志：自動現場密度試験ロボット開発のための改良散乱型 RI 試験機評価, 土木学会第 72 回年次学術講演会, VI-700, pp.1399-1400, 2017

(2022. 5. ? 受付)

## DEVELOPMENT OF ADVANCED $\alpha$ SYSTEM (PART 2) -Development of self-propelled scattering type RI moisture meter-

Ko MATSUZAKI, Hiroshi FURUYA, Yusen INAGAWA,  
Takeshi ISHIGURO and Masafumi HIRATA

Advanced  $\alpha$  SYSTEM has been developed to achieve the productivity improvement and breakthrough of compaction quality control in field earthworks. The Self-propelled scattering type RI robot, which is one of the components of advanced  $\alpha$  system, can planarly measure the water content ratio. On the other hand, it is known that the accuracy of RI method decreases depending on the distance between compacted ground surface and measuring instrument. Moreover, it is also concern that the accuracy would decrease in case running speed of robot is relatively high. Series of laboratory experiment was conducted to determine the calibration coefficient for distance and to investigate the effect of running speed. Consequently, the calibration formula and the threshold value of running speed to ensure the accuracy were clarified with introducing the optimal parallel link structure.

# 橋梁上部工施工時に着目した UAVなどを用いた測量技術の開発

中本 啓介<sup>1</sup>・山口 祐希奈<sup>2</sup>・田村 有治<sup>3</sup>・橘 肇<sup>4</sup>・山崎 文敬<sup>5</sup>・岩崎 一紀<sup>6</sup>

<sup>1・2・4</sup>正会員 株式会社駒井ハルテック 技術開発本部 (〒293-0011 千葉県富津市新富33-10)

E-mail:nakamotok@komaihaltec.co.jp

E-mail:yamaguchiy@komaihaltec.co.jp

E-mail:tachi@komaihaltec.co.jp

<sup>3</sup>正会員 株式会社駒井ハルテック 橋梁営業本部 (〒550-0012 大阪市西区立売堀4-2-21)

E-mail:tamura@komaihaltec.co.jp

<sup>5</sup>正会員 株式会社イクシス (〒212-0032 神奈川県川崎市幸区新川崎7-7)

E-mail:yamasaki@ixs.co.jp

<sup>6</sup>正会員 国土交通省 近畿地方整備局 奈良国道事務所 (〒635-0092 奈良県大和高田市大中南町3-33)

E-mail:iwasaki-k86eq@mlit.go.jp

近年、日本では人口減少、高齢化、担い手不足が社会問題となっている。橋梁の工事現場においても、作業員の減少や高齢化、担い手不足が生じており、工事現場における省力化や生産性の向上が喫緊の課題となっている。橋梁上部工の工事現場では、下部工や上部工測量の際、橋脚上での作業が生じるため、安全設備の設置が必要となり、多くの労力や時間を要している。そこで筆者らは、地上からの作業のみで下部工測量および鋼桁の出来形計測が可能で、作業の省力化や安全性の向上が期待できるハイブリッド測量を開発した。本稿では、実工事の現場にて開発技術を試行し、従来測量の結果と比較することで、開発技術の測量精度等を確認したので、その概要について報告する。

**Key Words** : laser scanner, total station, laborsaving, safety, i-Construction

## 1. はじめに

近年、橋梁の工事現場では、作業員の減少や高齢化、担い手不足が生じており、工事現場における省力化や生産性の向上が不可欠となっている。これらの問題を解決するべく、国土交通省では、内閣府が主導する官民研究投資拡大プログラム(略称PRISM)<sup>1)</sup>を試行している。また、合理化および省力化を担う3次元計測技術についての要領(案)<sup>2)</sup>も公開されており、計測性能等も明確になってきている。そこで著者らは、橋梁上部工工事の現場計測作業に着目し、3次元計測技術の開発を行った<sup>4)</sup>。本稿では、開発した3次元計測技術の概要と実工事にて本技術を試行した結果を述べる。

## 2. ハイブリッド測量技術

### (1) 開発技術の概要

技術開発概要を図-1に示す。下部工測量ではUAVによる高解像度画像計測により得られたオルソ画像を基にし

た点群データと地上型レーザースキャナー(以下、TLS)による点群データおよび高精度トータルステーション(以下、TS)による計測データを用い、開発した統合ソフトウェアによりそれらのデータを結合し、下部工の支承位置や支間長を算出する。一方、上部工(鋼桁出来形計)では、UAVによる高解像度画像計測による点群データおよびTSによる計測を用い、開発した統合ソフトウェアにてそれらのデータを結合し、鋼桁格点位置での座標、桁の通りおよびそり(高さ)を算出する。



図-1 開発技術概要

これらのTLS,TS,UAVによる測量技術を組み合わせたハイブリッド測量技術<sup>4)</sup>により、橋脚上及び鋼桁上の作業の安全性および生産性の向上が期待できる。

(2) ソフトウェアの開発

ハイブリッド測量技術による現場計測より、TSによる測量結果から基準となる値を設定し、UAVから写真測量を基にした上面および側面の点群データ、TLSから側面の点群データを収集する。本開発ではこれらのデータを結合し、自動で測量結果を算出するソフトを開発した。この開発技術は従来技術の精度と同等となっている。

TLSから得られる点群処理を扱う独自のソフトウェアはすでに開発しており、本開発ではその中の機能を活用、拡張することにより対応している。

点群自動結合の方法としては大きく2通りあり、一つは平面（メッシュ）を利用した2点群の重ね合わせ手法、もう一つはマーカを利用した2点群の重ね合わせ手法がある。今回は、天端のある橋脚ではなく開口している橋台を対象とした。橋体では、UAVによる点群から得られる平面が垂直平面となり計測値が目標精度に収まらない可能性があったため、マーカを利用した2点群の重ね合わせ手法を採用した。今回取得する2種の点群のスケールが揃っていない前提で点群の回転と移動は、

$$P' = R \times P + t \tag{1}$$

で表せる。ここに、 $P, P'$ は変換前後の座標(x,y,z)、 $R$ は回転行列、 $t$ は並行行列である。事前に橋台に貼付けた2点のマーカを含んで計測した2種の点群データにおいて、その2点を含む平面を(2)式で推定する。

$$ax + by + cz = 0 \tag{2}$$

平面上でかつ2点のマーカで構成される直線上にない点をランダムサンプリングすることによりそれぞれ3点目を取得し、各点群データのマーカおよび抽出点と対応する点 $A_i$ 、 $B_i$ の誤差関数(3)式が

$$E(R, t) = \frac{1}{n} \sum_i^n \|A_i - R * B_i - t\| \tag{3}$$

が最小となる任意の定数 $R$ および $t$ を求める。

図-2,3に2点のマーカ（赤点）を含ませたUAVの点群データと2点のマーカを含ませたTLSの点群データを示す。これまで、UAVによる測量では、補正誤差により高さ方向の精度に難があったが、TSによるマーカの測量結果を結合することにより、精度向上が期待できる。今回使用した点群データ数は、TLSで約5500万点、UAVで約

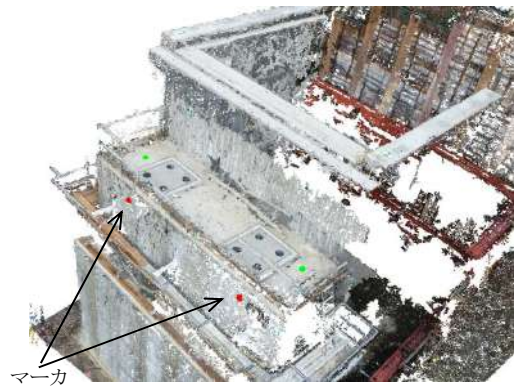


図-2 UAVによる点群データ



図-3 TLSによる点群データ

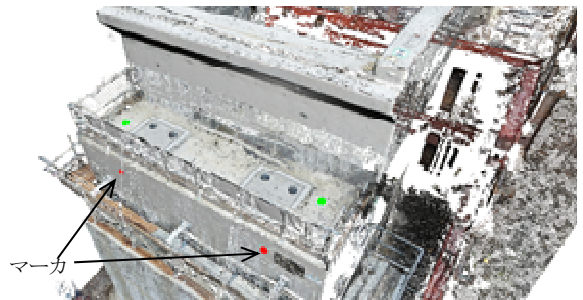


図-4 UAVおよびTLSの点群結合結果

70万点であり、点群結合処理には5分程度を要している。なお、マーカ（赤点）は、計測前に対象に貼付けて対応した。図-4には、点群を先の手法により点群結合処理を行った結果を示している。

3. 現場試行による検証

(1) 対象工事概要

対象工事の一般図を図-5に示す。本技術は、奈良県吉野郡の橋梁上部工事で試行した。対象橋梁は、橋長が56m、支間長が54.5mの鋼単純非合成箱桁橋である。試行計測は、下部工の計測を上部工架設前にそして、鋼桁架設後の出来形計測の2回に分けて実施した。なお、従来技術であるTS測量とほぼ同時期に開発技術であるハイブリット測量（以下、技術活用）を行っている。

(2) 使用機材

計測には、以下の機材を使用した。

- ・ TS : Leica Visa TS16A R1000(1級TS)
- ・ TLS : Leica Scan Station P40
- ・ UAV : DJI Matrice210 RTK D-RTKV2(ZENMUSE X7,  
DJI DL24mm F2.8 LS ASPH)

(3) 計測方法

下部工測量と鋼桁出来形計測の計測方法を図-6に示す。

a) 下部工測量

- ①TSによる基準測量で、橋脚の側面に貼り付けたマーカのx, y, z座標を取得。
- ②TLSにて橋台側面の点群データを取得。
- ③UAVにて橋台上部の写真撮影を行い点群データに変換。撮影時、オーバーラップは80%以上確保する。
- ④②で得られた橋台側面点群データと③で得られた橋台上部点群データを①にて得られたマーカの座標を基準に結合を行う。結合後のデータから支間長等の測量データが得られる。また、支承部の高さについては支承中心線で断面を切断し、台座天端高と下部工天端高さを抽出し測量データとする。

b) 上部工 鋼桁出来形計測

- ①TSによる基準測量で、マーカのx, y, z座標を取得。
- ②出来形管理用の各格点の座標を算出するために貼付した鋼桁フランジ上のターゲットをUAVにて写真撮影を行い、点群データに変換。
- ③②のデータを①で取得した座標を基準とし、計測箇所座標を算出し測量データとする。鋼桁の計測は、高さ計測の他、通りなどの出来形計測も実施した。

(4) 従来技術との比較

下部工測量および鋼桁出来形計測において、技術活用と従来測量の比較結果を以下に示す。

a) 計測精度

- ・ 支承上構造高

図-7に支承上構造高の従来技術と技術活用の比較結果を示す。台座天端高では従来技術との差は7mmで、国交省要領(案)<sup>23)</sup>に示される要求精度 $\pm 10\text{mm}$ の範囲内となり、測量精度は従来技術と同程度であることを確認した。

- ・ 支間長

図-8に支間長の従来技術と技術活用の比較結果を示す。計画値との差はそれぞれG1桁では1mm、G2桁では4mmとなった。この値も要求精度 $\pm 10\text{mm}$ 内であり、技術活用の測量精度は従来技術と同程度であることを確認した。

- ・ そり (支点支持時)

図-9にそりの従来技術と技術活用の比較結果を示す。

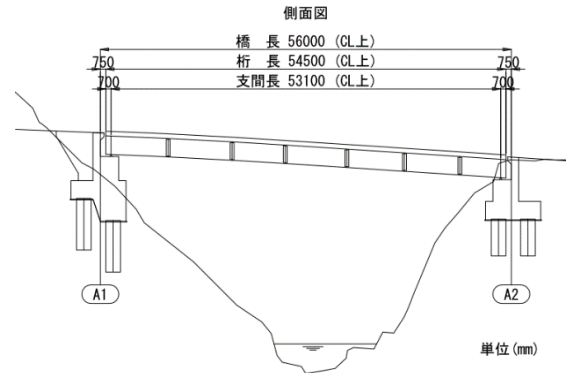
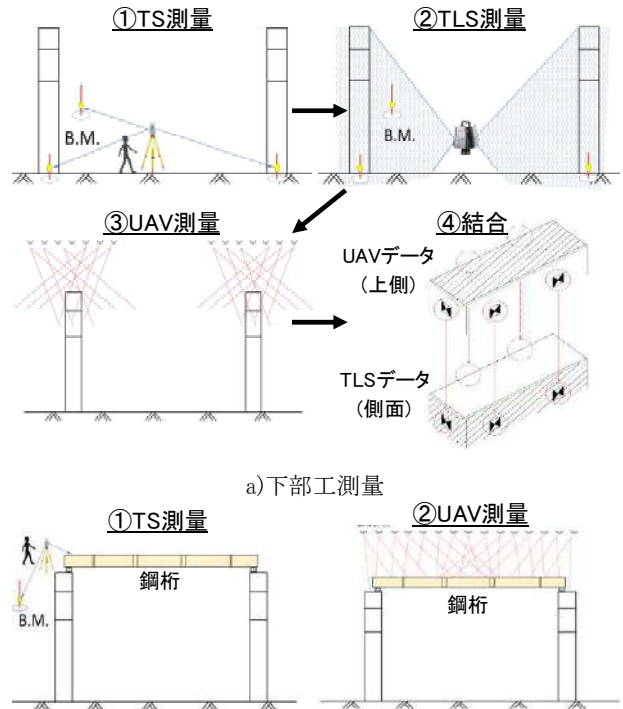


図-5 構造一般図



b) 鋼桁出来形計測

図-6 下部工測量および鋼桁出来形計測方法

そりは、支点支持時に桁のフランジ中心線のz座標を計測した。従来技術、技術活用の各格点位置の高さの差は最大で4mm (要求精度 $\pm 16\text{mm}$ ) に収まっており、技術活用の測量精度は従来技術と同程度であることが確認できた。また、橋軸直角方の出来形の通りについても従来と同程度であった。

鋼上部工の製作と架設では、下部工の出来形によりmm単位の調整を伴うため、本技術は有効に活用できると考える。

b) 省力化

技術活用による下部工測量および鋼桁出来形計測にかかる日数および人工を算出し、従来技術との比較を行った。技術活用では、地上で作業ができ昇降作業や高所作業時の安全対策などの事前準備が従来技術に比べ削減されたため、作業時間は、全体で2日短縮 (26%削減) となった。作業人工でも、全体で6.5人工削減 (42%削減)



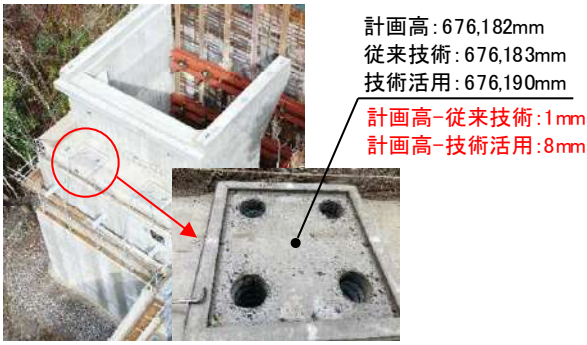


図-7 支承上構造高の従来技術と技術活用の比較

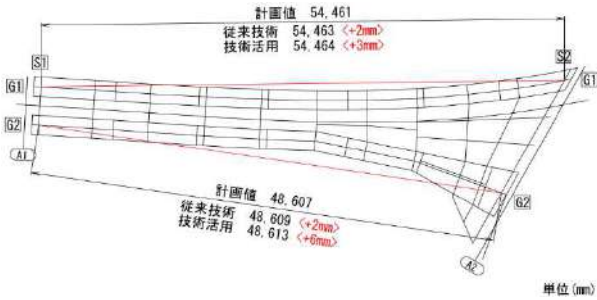


図-8 支間長の従来技術と技術活用の比較

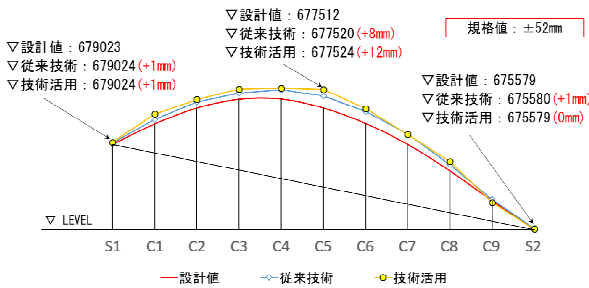


図-9 その従来技術と技術活用の比較

減)となった。

c) 安全性

本橋では、従来技術では下部工、上部工とも高所での作業が必要であった。しかし、技術活用を用いることで、地上での作業が中心となり下部工の天端面のデータを高精度で取得できたほか、鋼桁出来形計測においても、安

全設備不要で測量を地上からの作業のみで行うことが出来るため、従来技術に比べて安全性が向上した。

4. おわりに

本稿では、開発した3次元計測技術の概要と実工事にて試行した結果を示した。試行結果では、開発技術は従来技術と同程度の測量精度を有し、省力化や安全性向上に効果があることが確認できた。今後、本技術の精度向上と活用により、さらなる生産性向上に寄与できると考えている。

謝辞：本試行は国土交通省の2021年度の「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」に採択され、助成を受けた試行業務である。本試行にあたり、ご指導、ご協力を頂いた近畿地方整備局の関係者の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省HP：建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト、<[https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08\\_hh\\_000807.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_000807.html)>, (2022年5月時点)
- 2) 国土交通省HP：3次元計測技術を用いた出来形計測要領(案), <[https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei\\_constplan\\_tk\\_000051.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_tk_000051.html)>, (2022年5月時点)
- 3) 国土交通省HP：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(橋梁上部工)編)(試行案), <<https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/content/001475953.pdf>>, (2022年5月時点)
- 4) 橋肇, 中本啓介, 山中晶裕, 山崎文敬, 小林光: UAVなどを用いた上部工着手前のハイブリッド測量, 土木学会第76回年次学術講演会, I-47, 2021.9

(2022. 5. 20受付)

DEVELOPMENT OF SURVEYING TECHNOLOGY USING UAV FOR STEEL BRIDGE CONSTRUCTION

Keisuke NAKAMOTO, Yukina YAMAGUCHI, Yuji TAMURA, Hajime TACHIBANA, Fumitaka YAMASAKI and Kazuki IWASAKI

In steel bridge construction sites, the number of workers is decreasing and there is a shortage of workers, making it necessary to save labor and improve productivity at construction sites. In the construction site of bridge superstructure, the surveying of the substructure involves work on the bridge piers, which requires the installation of safety equipment and a lot of labor and time. The authors have developed a hybrid surveying system that enables surveying of substructures and measurement of steel girders only from the ground, which is expected to reduce labor and improve safety. In this paper, we report the outline of the surveying accuracy of the developed technology, which was verified by comparing it with the results of conventional surveying.

# VRを活用した橋梁点検講習 ～インフラDXによる自治体支援～

藤本 優子<sup>1</sup>・山口 克己<sup>2</sup>・渡辺 誠<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>非会員 国土交通省 中国地方整備局 中国道路メンテナンスセンター 技術課

(〒736-0082 広島県広島市安芸区船越南二丁目8-1)

<sup>1</sup>E-mail: fujimoto-y87ak@mlit.go.jp

<sup>2</sup>E-mail: yamaguchi-k87gd@mlit.go.jp

<sup>3</sup>E-mail: watanabe-m87gf@mlit.go.jp

橋梁点検・診断に関する知識の習得やメンテナンス技術向上を目的とした研修や講習会においては、現地橋梁での近接目視による点検・診断の実習が極めて有効である。しかし、様々な損傷を一度に点検・診断できる橋梁は極めて少なく、移動に伴うタイムロスや安全管理など課題も多い。それら課題を解消するため、VR（仮想現実）技術を活用した新しい橋梁点検講習ツールを開発した。

**Key Words** : VR, bridge inspection, training tool, municipality, infrastructure digital transformation

## 1. はじめに

### (1) インフラ老朽化を取り巻く状況

我が国における橋やトンネルなどの社会インフラは、高度経済成長期に多く建設され、一般的に老朽化とされる建設後 50 年以上経過する割合が近い将来急増することが予見されている。特に橋梁においては、全国約 73 万橋（中国地方には約 9.5 万橋）もの膨大な橋梁が存在し、建設後 50 年を経過する橋梁の割合は、現在 32 %、10 年後には 57 % にまで急増する見込みである<sup>1)</sup>。

このような社会情勢の中、平成 24 年の中央自動車道笹子トンネルにおける天井板崩落事故を契機として、翌平成 25 年6月に道路法が改正、更に平成 26 年には道路橋定期点検要領が改訂され5年に1回の近接目視による定期点検が義務づけられた。

定期点検の対象となる橋梁の中で、約9割が都道府県や市町村といった地方自治体が管理する橋梁であるが<sup>2)</sup>、このうち特に町や村など小規模な自治体では技術系職員がいないところも数多く存在しており、財政的な課題もさることながら、インフラメンテナンスに携わる地方自治体職員の人材育成は大きな課題となっている。

### (2) 中国道路メンテナンスセンターの取り組み

前述の社会的背景等を踏まえ、戦略的・効果的なメン

テナンスサイクルを推進するため、令和2年4月に中国道路メンテナンスセンターが開設され、自治体支援の一環として、橋梁点検・診断などメンテナンスに関する知識の習得や技術力向上を目的とする研修・講習会を実施している。過去の研修・講習会における受講者アンケートによると、研修・講習会は概ね良好と評価、特に現地橋梁での近接目視や打音等の実習が最も有効との意見が多く、橋梁点検・診断においての実践的な技術の習得を求めていることが分かった。他方、現地実習場所が遠いとの意見や、複数の橋の多様な損傷を知りたい等の要望もあった。

しかしながら、現地実習にあたり様々な損傷を一度に点検・診断できる橋梁は極めて少ないのが実情であり、対象橋梁の選定や事前の準備・調整に多大な労力を要していること、また天候の影響や現地実習への移動時間、現場内での安全管理の徹底など研修当日の制約条件も多く苦慮しているのが現状である。

## 2. 課題の改善に向けて

### (1) VR技術の活用

前述の社会情勢や受講者の要望・課題等を踏まえ、従来の現地実習に代わる効率的かつ効果的な実習として、

令和2年度より中国道路メンテナンスセンターにおいて、VR 技術を活用した橋梁点検講習ツール開発の検討を開始した。

VR (Virtual Reality) 技術は、ヘッドマウントディスプレイやコントローラーなどの専用機器の装着により3次元の仮想現実空間を体験できる技術であり、この技術を用いて現地実習に近いリアルな橋梁点検・診断を再現することで、従来の現地実習における移動時間や対象橋梁の選定等の課題が解消できるものと期待した。



図-1 従来とVR活用の比較

(2) VR 橋梁点検講習会のターゲット設定と達成目標

VR 橋梁点検講習会は、自治体支援を念頭に置いており、直営点検を実施する自治体職員をはじめ橋梁点検初心者者を主なターゲットに設定した。

なお、地方自治体の管理橋梁は、橋長 15 m未満の小規模橋梁がほとんどであるため、当初の VR 橋梁点検講習では小規模橋梁の RC 床版橋と H 形鋼橋の 2 橋種をモデル橋梁として作成し、その基礎知識の習得を達成目標として VR 橋梁点検講習ツールを開発することとした。



図-2 VR橋梁点検講習の概念

3. VRを用いた橋梁点検講習ツール開発

(1) VR 橋梁点検講習会の目的

メンテナンスサイクルの構築にあたっては、点検・診断・措置・記録を効率的に推進していくことが重要であるが、点検は損傷等の状況を客観的・機械的に把握するのに対し、診断は損傷の発生要因や劣化予測、現地の周辺環境等を総合的に判断し措置方針を決定する重要な事項である。

従来の現地実習でも診断・所見に重点を置き講習しているが、VR 橋梁点検講習会においても同様に、診断に必要な着眼点や気づきをいかに想起させることができるかをポイントに開発を進めた。

(2) VR 橋梁点検講習ツール開発にあたっての工夫

VR 橋梁点検講習ツールの開発にあたっては、リアリティを追求した。現場を見て点検する行為を VR を用いて疑似体験することから、現実と極力乖離しないよう図-3のように 3D モデルによる損傷再現を行うとともに、点検時の打音についても実際に劣化している構造物の打音を録音し使用するなど、その再現に努めた。

一方、損傷・劣化の要因や因果関係が、例えば橋面の路面のひび割れから桁下の床版の鉄筋露出・剥離であることを想起し易いよう、モデル橋梁をデフォルメするとともに、劣化進行状況等が推察できるよう過去の損傷写真の表示機能を搭載するなど VR ならではの特性も活かしながら実習教材として有用となるよう工夫した。



図-3 主桁の腐食写真(左) 3Dモデル(右)

(3) VR 橋梁点検講習会カリキュラム

VR 橋梁点検講習会の実習カリキュラムや時間配分は表-1 のとおり設定した。

VR は 1 人ずつの体験となるが、現地と異なりモニターで同時視聴ができるため、代表者による体験のみとし、診断するための所見の意見交換・解説等に時間を割いたカリキュラムとした。

表-1 VR橋梁点検講習会カリキュラム

カリキュラム		配分時間
座学	点検・診断のポイント等	60分
VR 実習	①目的・実習の流れの説明	5分
	②対象橋梁(モデル)の説明	5分
	③VR操作方法の説明	10分
	④(VR装着・操作確認)	5分
	⑤疑似体験①	10分
	⑥所見の回答作成	10分
	⑦所見の解説・意見交換等	25分
	⑧(VR装着・操作確認)	5分
	⑨疑似体験②	10分
	⑩所見の回答作成	10分
	⑪所見の解説・意見交換等	25分
VR実習計		120分

VR 実習では、2 橋種の多様な損傷を短い時間で効率的に体験することが可能になるとともに、診断結果に関する相互の意見交換を通じ、点検・診断についてより一層の理解を深めることを狙いといた。



図-4 VR実習イメージ

#### 4. 直轄事務所におけるVR 橋梁点検講習会の開催

##### (1) 直轄事務所におけるVR 橋梁点検講習会の概要

自治体向け VR 橋梁点検講習会の前段として、中国地方整備局管内の直轄事務所若手職員を対象とした VR 橋梁点検講習会を中国地方管内 5 会場においてキャラバン形式で開催した。

##### a) 目的

VR 橋梁点検講習会は VR の動作状況や操作確認のほか、講習会の流れやイメージをつかむとともに、今後の自治体向け VR 橋梁点検講習会を開催するにあたっての課題等を把握することを目的として実施した。

##### b) 日程及び参加人数

令和 3 年 7 月～ 10 月にかけて計 5 回開催し、合計 37 名の参加があった。

##### c) 内容

前述 3.(3)の実施方法に沿って、VR 実習の目的と流れ、対象橋種や VR 操作方法の説明を行い、その後各班に分かれて VR 操作体験、所見の回答作成と意見交換を行った。



写真-1 VR講習の状況

#### (4) VR 橋梁点検講習会の進め方

VR 橋梁点検講習会における VR 実習の実施方法は下記のとおりとした。

##### 【カリキュラム 1～3】

VR 実習全体の流れや VR 操作方法等の説明

##### 【カリキュラム 4～7】

図-4に VR 実習イメージを示す。

受講者は全体で 10 名程度とし、2 班に分け A 班は代表者による VR 体験及び各班としての点検・診断と回答の作成を行う。B 班は、A 班の VR 体験状況を視聴しながら、各自で個人としての診断の回答作成を行う。その後、講師による解説及び意見交換を実施する。

##### 【カリキュラム 8～11】

橋種を変え A 班と B 班が交代し上記と逆の実習を行う。



写真-2 VR講習会 (意見交換)



写真-3 VR講習会（VR体験）

## (2) VR 橋梁点検講習会の結果

受講者アンケートでは、満足度・理解度ともに高く、全体を通しての満足度は、満足及びほぼ満足と全員が回答した。また、理解度はすべての項目で約8割以上の参加者がほぼ理解できた及び理解できたと回答しており、VRを活用した講習会が技術力向上に効果的であったと確認できた。

参加者からの意見では、損傷の再現モデルにリアリティがある、桁下から橋面へボタン一つで移動できる等VRならではの良さがあったといった意見の一方、もっと多くの損傷を体験したい、損傷要因がわかりづらい等有効な改善意見を得ることができた。

なお、TVや新聞など複数のメディアでも報道され、VRを活用した橋梁点検などインフラ分野DXの取り組みは、注目度が高まっていることが窺えた。

## (3) VR 橋梁点検講習会を踏まえた改良

前述のVR橋梁点検講習会での意見等から以下の2点の改良を行った。

### a) 再現モデルの新規追加

対象橋梁の多様化を図るため、新たに橋脚の損傷等を学習できるよう、PCプレテン床版橋を新規モデルとして追加作成した。

### b) 劣化要因の追加

受講者にとって診断の分かりやすさは重要なポイント

であり明確な診断シナリオに基づく再現を行うため、漏水跡等劣化要因の追加再現を行った。

## 5. おわりに

令和3年度に開催した直轄事務所でのVR橋梁点検講習会の試行・改良を踏まえ、今年度より本来の主目的である自治体職員向けの講習会を開催することとしており、まずはメンテナンス会議を通じて参加者を募り6月から各県毎単位で実施する予定としている。

VR橋梁点検講習会は、開催に要する労力・調整が現地実習に比べると格段に容易で、回数をこなしていけることも大きな特徴であり、ニーズがあれば各市町村に出向き開催していくとともに、他の地方整備局等にも展開していきたいと考えている。

いずれにしても、VR橋梁点検講習会は実際に地方自治体の職員に受講・体験してもらいはいはじめて正式に評価できるものである。

VR橋梁点検講習ツールの活用により、点検・診断等のメンテナンスに関する自治体職員の知識の習得や技術力向上のみならず、インフラ分野DXとしての業務の効率化の一助となるよう、また本講習会が真に有用な実習カリキュラムとして地方自治体等から評価されるよう、今後も改善を図っていきたい。

## 参考文献

- 1) 国土交通省 HP：道路メンテナンス年報，2021.9.17更新，P.64
- 2) 国土交通省HP：道路メンテナンス年報 参考データ集，表-全橋梁-1，表-地方橋梁-1，2021.3.31

(2022.5.20 受付)

## DEVELOPMENT OF A VR BRIDGE INSPECTION TRAINING TOOL ～ INFRASTRUCTURE DIGITAL TRANSFORMATION (DX) SUPPORTS THE ENHANCEMENT OF MUNICIPALITIES' CAPACITY IN THE BRIDGE MAINTENANCE SECTOR～

Yuko FUJIMOTO, Katsumi YAMAGUTI, Makoto WATANABE

We have developed a new VR bridge inspection training tool. The VR tool provides training opportunities for several types of damage on a bridge at once. In addition, it contributes to reducing travel time for training and safety measures at the site. The VR tool delivers the experience of visual bridge inspection and diagnosis on actual bridges.

# インフラ分野におけるDXの捉え方及び 技術者の育成について

坂野正弥<sup>1</sup>, 小松良行<sup>2</sup>

<sup>1</sup>国土交通省 豊橋河川事務所 豊川流域治水出張所 (〒440-0071 豊橋市北島町字北島 364)

<sup>2</sup>国土交通省 中部地方整備局 中部インフラDX推進室 (〒460-8504 名古屋市中区三の丸 2-5-1)

令和3年度より各地方整備局等において、デジタルトランスフォーメーション（以下、「DX」と称する。）推進において鍵となる各種施設の整備が進んでいる。一方、デジタル技術を活用した様々な業種で推進されるDXの内容は多岐にわたる。この中で、インフラ分野におけるDXのとらえ方、推進のための課題、対応策について考察した。

**Key Words** : infrastructure, DX, BIM/CIM, i-Construction

## 1. はじめに

建設業界においては、就業者数減少の影響もあり、生産性向上を追求している。この中で重要視されているのが、「デジタル化」であり、情報通信技術（ICT）を活用した建機制御をはじめとした様々な新技術の開発・導入である。

また、DXと称して、今までの働き方を変革しようとする動きも浸透しつつある。

中部地方整備局においても、このような業界の状況を踏まえ、技術・取組についての情報発信・交流・研修の場として活用することを目的として、令和3年3月にインフラDXソーシャルラボ、5月にインフラDXセンターを開設した。

本稿ではインフラ分野におけるDXの捉え方、推進するための取組内容及び、取組んでいく際の課題及び対応策について考察する。

## 2. インフラ分野におけるDXの考え方

### 2.1 DXの定義

DXの定義については様々な解釈があるが、データ・デジタル技術を活用する、業務プロセス等を根本的に変え、生産性を向上させる。といった部分が共通しており、本稿では、この定義によって論ずることとする。

### 2.2 BIM/CIMとの関係・課題

国土交通省において、DXと合わせ議論される技術として、BIM/CIM (Building / Construction Information Modeling, Management) がある。

BIM/CIMモデルは現在、図-1、図-2に示す設計確認や施工ステップ検討の他、景観検討、ICT建機制御データとして使用されているところである。

しかしながら従来手法に対し、前述の活用を比較すると、負担軽減される作業があるのに対し、モデル作成手間等、増える作業もあることから、生産性向上効果を十分に得られていないと考えられる。



図-1 モデルを活用した設計確認



図-2 施工ステップ検討(4Dモデル)

## 2.3 技術開発の課題

ICT 建機を活用した、中部地方整備局管内の平成28年度から令和2年度までの土工施工実績を分析した結果、全体で約35%の作業時間短縮効果が確認されている。(図-3) なお、施工規模により効果の発現程度が異なる可能性を考慮し、施工土量毎の作業時間短縮効果を確認したが、施工土量の違いによる効果の優位な差は確認されなかった。(図-4)

作業時間短縮による、工事の平準化については喫緊の課題としてとりあげられているところである。

既存技術を活用場面を変えず、更に便利に活用しようとするれば、その為の改良コスト及び開発期間が必要となり、結果として生産性向上効果を十分に発現できない可能性がある。

また、汎用性が無い新技術については浸透しづらく、結果として限定的な活用に留まってしまう。

以上のことから、インフラ分野のDXを考える上で重要となるのは、既存技術を活用し、新たな価値が創出できるか、といった点と考える。

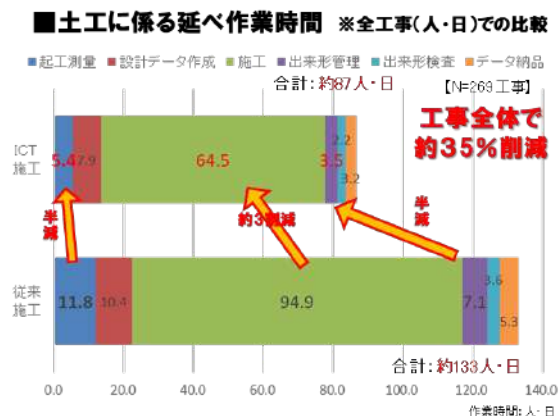


図-3 ICT 建機活用による作業時間短縮効果

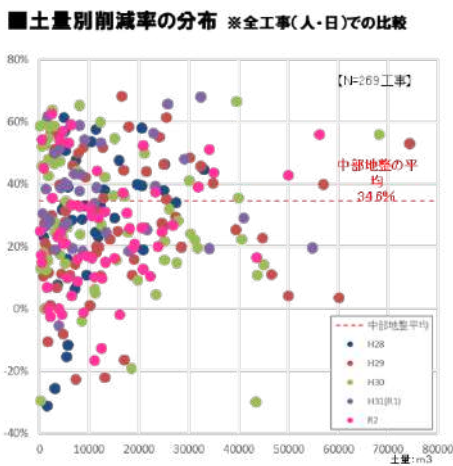


図-4 土量別削減率の分布

## 3. 既存技術の新たな活用手法

### 3.1 現場バーチャルツアー

中部地方整備局管内の、新丸山ダム工事事務所にて実施した取組である。

昨年度より続く新型コロナウイルス感染症拡大の影響により、ダムの見学会等を行うことが出来ず、一般の方がダム現場の見学という広報活動を行えない状況が続いている。

一方、今年度より新丸山ダムの本体工事を着工することもあり現在の丸山ダムの情景を確認できる期間は残り少ない。そのため堤体内監査路等も含めた丸山ダムを3次元化し、インターネット上でダム見学を行うことが出来るようバーチャルダムツアーの作成を行った。バーチャルダムツアーはドローン等を用い撮影した写真をつなぎ合わせることで3次元モデルを作成し、ダム内部の付属物等の紹介文章を入れることによりインターネット上でダム見学を行えるものである。(図-5)

本事例は、専用のモデルを作成したものとなるが、3次元モデリングした工事現場のモデルを流用し、施工当時の映像、写真、図面を関連づけることは、低コストで実現できた。



図-5 バーチャルツアーモデル

### 3.2 自律(自動)施工の実現

i-Construction発足当時より活用が進んでいる技術として、MC, MG (マシンコントロール・マシンガイダンス) がある。

これらは3次元設計データの位置情報をもとに、建設機械に取り付けられたセンサーにより機械の制御及び補助を行うものであり、従前必要となっていた丁張り作業負担の軽減や熟練工がいなくても作業が可能等の効果が確認できている。

これらの技術については、機材リース費がかかる上、従来同様建機1機あたり一人のオペレータが必要であることから施工人員削減効果は小さい。

一方、無人・自律施工可能な施工機械が、一部企業にて開発・活用されてきている。自律施工の場合、1人の管理者による複数建機の操作が可能であり、且つ労働災害のリスクも激減することができる。

本技術は一見新技術に見えるが、システムを細分化すると、根底となる部分はモデルデータに基づく測位が重要となっており、現在のMC・MG技術及び、ロボQS（図-6）といった遠隔操作技術を組み合わせた発展技術と言える。

また開発においては、2.3にて述べたとおり、汎用性が重要となる。開発企業における事例（図-7）では、単純操作の汎用機械に制御装置を装備することで、簡易な自律施工を実現している。



図-6 ロボQS

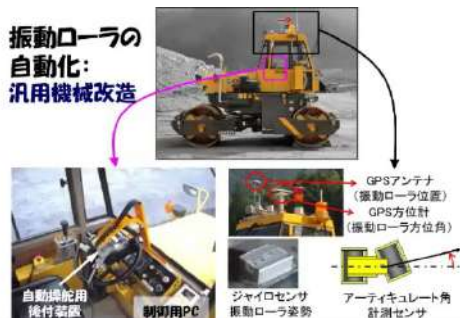


図-7 振動ローラ自動化（鹿島建設（株））

### 3.3 発注者職務遂行におけるモデル活用

現在は、携帯による点群取得も出来るように、ソフトウェア等を用意できれば、点群データを取得することは難しいことではない。また、3次元CADソフトに関しては、各地方整備局職員は全員活用できる環境が整っていることから、発注者において現地取得した点群データに、詳細設計等で作成したモデルデータを合わせ簡易統合モデルを作成することは可能となっている。

3次元データは、2次元データと異なり、構造物、分割モデルごとといった、任意の分割単位モデルに、立体的に参照情報を入れ込むことができる。

この特性を活用し、発注者の通常業務で必要となる情報を現地モデルと紐付けることにより、視覚的に分かりやすいフォルダ管理等が可能となる。

また、新任職員に対し、積算における算出方法等を習得させる際、3次元モデルに数量計算データ等を紐付けたモデル（図-8）を活用することにより、積算手法の理解促進に繋がることが期待できる。

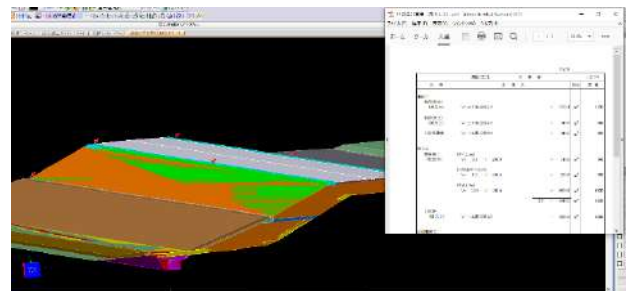


図-8 積算 3Dモデル

### 3.4 複数地整協力による災害対応

令和3年7月の熱海市土石流災害において、中部地方整備局では、本災害の被災地状況調査のため、TEC-FORCE ドローン調査隊を派遣した。

被災地状況調査については迅速な対応が求められる一方、隊員の移動、準備に労力を要し、現地状況把握やドローンのフライトプラン（図-9）検討が十分にできないという状況にあった。

そこで、昨今一般化しつつあるWEB会議システムを活用し、ドローンによる被災地状況調査の経験が豊富な九州地方整備局、関東地方整備局の職員に協力を仰ぎ、検討補助や助言を頂いた。

遠隔地の職員同士で協力し、1つのミッションを達成した、非常に効果的な事例となった。



図-9 作成されたフライトプラン

## 4. 今後想定される課題



#### 4.1 基礎知識不足

課題の1つ目として、デジタル技術を活用する上で必要となる通信技術、データ形式およびこれらの特徴、性質についての基礎知識不足が挙げられる。

煩雑なシステムであっても、細かく構成要素を分解すると、稼働理論は単純であるものも少なくない。稼働理論を理解し、将来的な拡張性、求められる機材スペック等を判断するためには、上記知識は必要不可欠となる。

#### 4.2 各種ソフトウェア等の操作技術者不足

課題の2つ目は、各種ソフトウェア等の操作技術者不足である。3次元CADをはじめ、クラウド技術を活用した情報共有システム、WEB会議システム等、様々なデジタル技術が開発・リリースされている。

一方これら技術は近年急激に浸透してきたものが多く、受発注者問わず使いこなせる人材の育成が追いついていないのが現状である。

### 5. 課題に対する対応策

#### 5.1 実務的な研修の実施

知識のインプットは重要であるが、日常業務の中でのアウトプットが無ければ活用は見込めない。このため、基礎知識を踏まえ、現在の職務内容と紐付けた研修の実施が必要であると考えられる。

中部地方整備局では、令和3年度より、上記を踏まえた実務的な発注者、受注者別研修を開始しており、研修コンテンツ改良を合わせて進めている。

#### 5.2 インハウスエンジニアの育成

発注者においては、現在各事務所等に導入されているシステムを使用することを想定し、事業の各ス

テップに必要となるスキルを明確にした上で技術研鑽することが重要と考える。

基礎的知識を踏まえ、段階毎に必要とされるCAD等の操作を習得し、システムへの入力手法の検討や従来のやり方との結果の比較まで行うことが有用と考える。

これらの知見や技能の無い状態で活用手法を検討しても、実現性の無い内容となってしまうことが危惧される。

#### 5.3 現場活用を見据えたハンズオン研修

受注者においては、各種ソフトウェアの操作研修はハンズオン研修を充実させることが有効と考える。この研修内容は、研修用モデルデータとして、実際の工事現場のモデルデータを作成する等、受講者が自身の業務と関連づけて活用方法をイメージしやすい研修となるよう配慮する必要がある。

### 6. まとめ

中部地方整備局では、昨年度末から「DX推進」を掲げ、働き方改革として、大規模に動き出している。検討される内容は公共工事関係にとどまらず、中部地整職員全員の働き方改革に資するものと考えられる。

しかし、デジタル技術は非常に便利な技術である一方、システム構築段階での方向性を誤った場合、後の活用・改良に大きな支障を来すこととなる。

DX推進を考える際に重要となる、新たな価値の創出を考えるため、技従者の基礎的知識を高め、各種システム構成を細分化し、長期的な活用を前提とした構想検討を行うことが必要と考える。

これらを踏まえ、現場等と連携し、デジタル技術の活用を起点とした働き方改革、生産性向上等の取組を進めていく。

## How to understand DX in the infrastructure field and about training of engineers

Yuya BANNO and Yoshiyuki KOMATSU

Since 2021, each regional development bureau has been developing various facilities that are the key to promoting digital transformation (hereinafter referred to as "DX"). On the other hand, the contents of DX promoted in various industries utilizing digital technology are diverse. In this, we considered how to understand DX in the infrastructure field, issues for promotion, and countermeasures.

# 土木系高等教育機関におけるBIM/CIM・ i-Construction教育に関する現状と教員の意識

島田 智也<sup>1</sup>・高野 伸栄<sup>2</sup>・王 玲玲<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 国土交通省北海道開発局（〒053-0816 北海道苫小牧市日吉町2丁目1番5号）  
E-mail: shimada-t22ae@mlit.go.jp

<sup>2</sup>正会員 北海道大学教授 工学研究院土木工学部門（〒060-8628 北海道札幌市北13条西8丁目）  
E-mail:shey@eng.hokudai.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 宇都宮大学助教 地域デザイン科学部（〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2）  
E-mail:lingling@cc.utsunomiya-u.ac.jp

建設業界においては、BIM/CIM、i-Constructionの導入が進められようとしているが、それらの技術習得は大部分、就職後に行われていると考えられる。一方、一部教育機関においてはこれらに関するカリキュラム導入が行われている例もあるが、全体として、教育の実態や教員の意識は明らかになっていない。本研究は土木系高等教育機関の教員に対し、BIM/CIM、i-Constructionの認知度、教育実態、今後の意向や課題等について、アンケート調査を行い、これらを明らかにしようとするものである。

認知度はBIM/CIMで7割、i-Constructionで9割と高いものの、教育はi-Constructionは、高等専門学校では5割を超えて行われているが、BIM/CIMについての大学教育は1割で、その内容もCADにとどまっている。導入への課題としては、教員確保、指導方法をあげる割合が多く、これらの解決が必要であると考えられる。

**Key Words :** BIM/CIM, i-Construction, Education in University and Technical junior college

## 1. はじめに

BIM/CIM、i-Constructionの活用はあらゆる場面で、進められようとしているが、それらの技術習得は就職後、OJT、自己研鑽による場合が多い。一方、基本的な知識を学校教育において学ぶことは、その後の習得に大きな効果をもたらすことから、学校教育における期待は大きいものと考えられるが、課題も多く存在する。これらの状況を明らかにするため、本研究は土木系高等教育機関の教員に対し、BIM/CIM、i-Constructionについてのアンケートを調査を行い、これらを明らかにするものである。なお、本調査は土木学会建設マネジメント委員会i-Construction小委員会WG1（職能・人材育成・教育活動）活動の一環として行われたものである。

2021年11月26日(金)から2021年12月10日(金)である。

アンケートの実施方法は以下の通りである。

- ・実施要項と質問を郵送、回答はGoogleフォームで実施
- ・郵送の宛名は「カリキュラムご担当者様」とし、大学総務より教員へ転送してもらう形式をとった
- ・アンケートは記名で行い、あくまで教員の個人的見解を求めた
- ・各高等教育機関で3名程度アンケートに協力してもらえよう依頼した
- ・構造系、水理系、土質系、交通・計画系、環境系の各指導分野の教員に協力してもらえよう依頼した。

教員単位、教育機関単位、コース単位でのアンケートの回収状況を表-1に示す。さらに、教員の指導分野を図-1に示す。幅広い指導分野の教員から回答があったこと

## 2. 高等教育機関に対するアンケート調査概要

アンケート調査の対象は土木系学科を有する大学89校（129コース）、大学校1校（1コース）、工業高等専門学校（以下、「高専」）28校（28コース）。調査期間は

表-1 アンケート回収状況

	教員単位	教育機関単位	コース単位
配布	474名	118校	158コース
回収	119名	48校	56コース
回収率	25.1%	40.7%	35.4%

※教員単位の回収数、回収率には高等教育機関名が不明の2部を含まれない

がわかる。

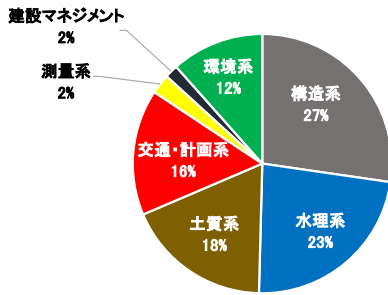


図-1 教員の指導分野

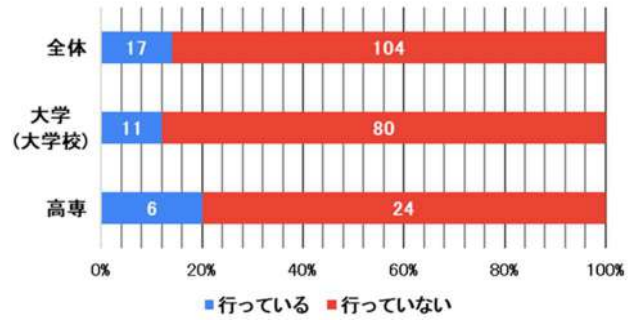


図-4 BIM/CIM 教育の実施

### 3. アンケート調査結果

#### (1) BIM/CIM及びi-Constructionに対する認知

BIM/CIMの認知度を図-2, i-Constructionの認知度を図-3に示す。「言葉だけでなく内容も(少し)知っている」とするものが、BIM/CIMでは69%, i-Constructionでは87%で、i-Constructionの方が認知度が高いことが分かる。

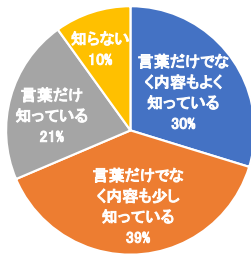


図-2 BIM/CIM の認知度

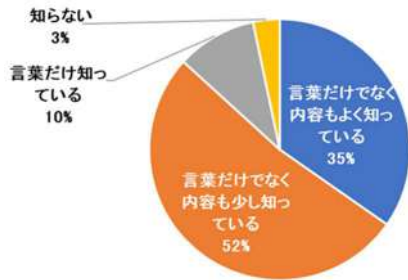


図-3 i-Construction の認知度

#### (2) BIM/CIM 教育の現状と教員の意識

##### a) BIM/CIM教育の現状

現状のBIM/CIM教育の実施状況の結果を図-4に示す。大学では1割強、高専で2割となり、高等教育機関におけるBIM/CIM教育は限定的であるといえる。

表-2にBIM/CIM教育の内容を示す。コースによって行われている内容は様々であるが、CAD(3次元CAD・3次元モデルを含む)との回答が最も多くなった。一方で、BIM/CIMソフトを実際に活用した教育事例は少ないことが分かる。

表-2 BIM/CIM教育で扱っている内容

項目	件数
CAD (3次元 CAD・3次元モデルを含む)	8
点群処理	3
BIM/CIMソフトを用いた3次元モデル	2
GIS	2
概要・導入事例事例の説明	2
BIM/CIMソフトの支援ツール	1
ソフトウェア間のデータ連携	1
CG	1
外部講師の講演	1
デジタルツインの説明	1
空間情報処理の基礎	1
画像処理の基礎	1
3次元計測	1
サイバーフィジカルシステム	1
環境デザイン演習	1

##### b) BIM/CIM教育に対する教員の意識と課題

今後のBIM/CIM教育の意向を図-5に示す。大学では「状況を見て考えたい」が約6割で多く、「行っていきたくない(行いたくない)」とする回答も約1割あった。高専では、「行っていきたくない(行いたい)」が5割強で多く、「行っていきたくない(行いたくない)」との回答はなかった。

図-6に教員が考える高等教育でのBIM/CIM教育のレベルを示す。簡単なBIM/CIMモデルを作成するレベルとの意見が多い。高専では実演習が2割を超えている。

図-7にBIM/CIM教育の課題を示す。回答はばらついてはいるが、大学では指導教員の確保が最も多く、高専では指導方法の検討、初期コストが多くなった。

図-8にBIM/CIM教育可能な教員を確保する方法を示す。BIM/CIMを扱える企業の人を非常勤講師等として呼ぶが多かった。

図-9に教員が考える、全体を100とした時の高等教育・企業教育・独学のBIM/CIM教育の分担度合いの平均値を示す。企業教育の度合いが大きい。大学と高専を比較すると、高専の方がBIM/CIM教育を高等教育で行う度合いが大きい。

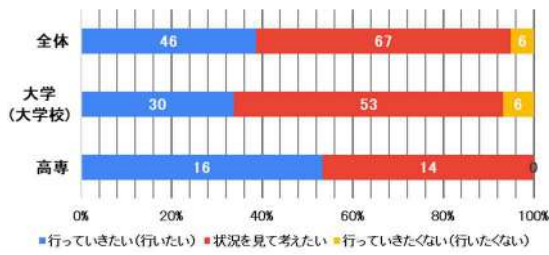


図5 BIM/CIM教育を行いたいのか

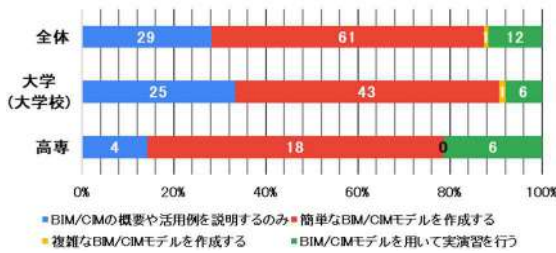


図6 BIM/CIM教育のレベル

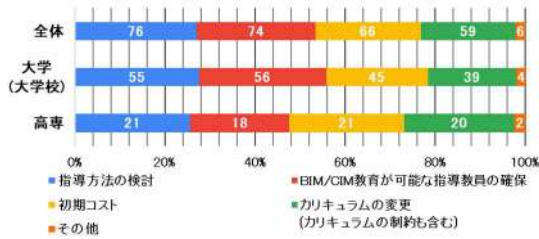


図7 BIM/CIM教育の課題

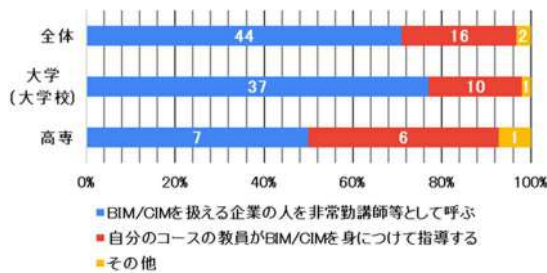


図8 BIM/CIM教育可能な教員の確保

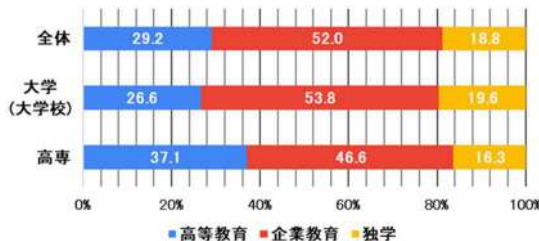


図9 BIM/CIM教育の分担割合(平均値)

(3) i-Construction教育の現状と教員の意識

a) i-Construction教育の現状

図-10 に現状の i-Construction 教育実施状況の結果を示

す。大学では約4割が、高専では約7割が i-Construction 教育を実施している。BIM/CIM 教育と比較すると、i-Construction 教育の方が行われている割合は高い。

表-3 には i-Construction 教育の内容を示す。UAV(ドローン)による測量や使い方の指導、実演との回答が最も多くなった。次いで、i-Construction の概要や導入事例の説明、ICT 施工などが行われている現場見学と回答が多かった。

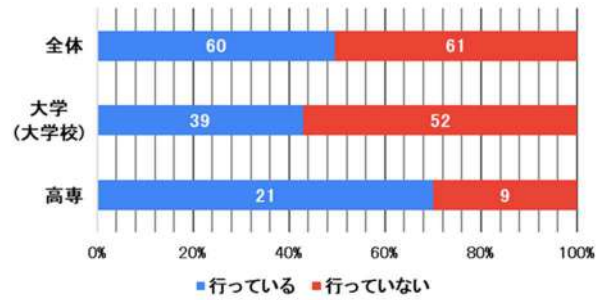


図-10 i-Construction教育の実施

表-3 i-Construction 教育で扱っている内容

項目	件数
UVA(ドローン)による測量や使い方の指導, 実演	30
概要・導入事例事例の説明	15
現場見学	13
レーザースキャナによる測量や使い方の指導	7
点群データの作成	3
地方整備局や企業による講演, 実演	3
CAD	2
3次元モデルの作成	1
ICT建設機械の紹介	1
タブレットの測量の実習	1
GNSSの説明	1
サイバーフィジカルシステム	1
他のデータとの重ね合わせ	1
自動追尾トータルステーションの実習	1
GIS	1
CG	1
空間情報工学	1
ICTの説明	1

b) i-Construction教育に対する教員の意識と課題

今後のi-Construction教育の意向の結果を図-11に示す。全体では「状況を見て考えたい」と回答した割合が最も高く、「行っていきたい(行いたい)」と回答した割合は約5割だった。また、BIM/CIM教育と同様に、大学よりも高専で「行っていきたい(行いたい)」と回答した割合が高く、「行っていきたくない(行いたくない)」との回答はなかった。

図-12に i-Construction 教育の課題を示す。大学、高専ともに「指導方法の検討」、次いで「i-Construction 教育可能な教員の確保」との結果となった。

図-13には i-Construction 教員を確保する方法を示す。BIM/CIM 同様、「i-Construction を扱える企業の人を非常勤講師等と呼ぶ」が多かった。

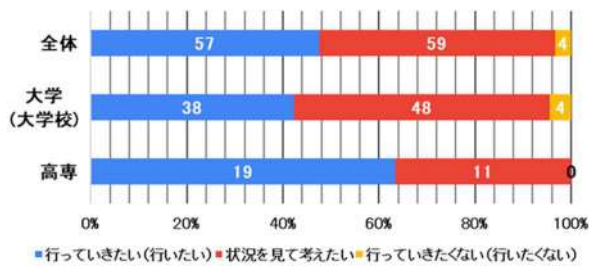


図-11 i-Construction 教育を行いたい

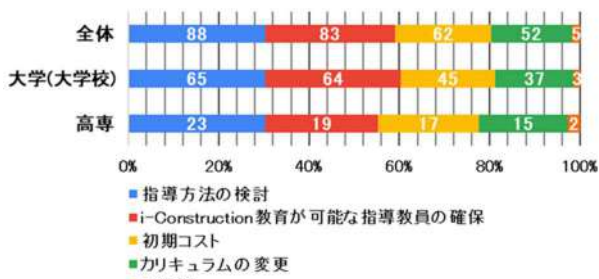


図-12 i-Construction 教育の課題

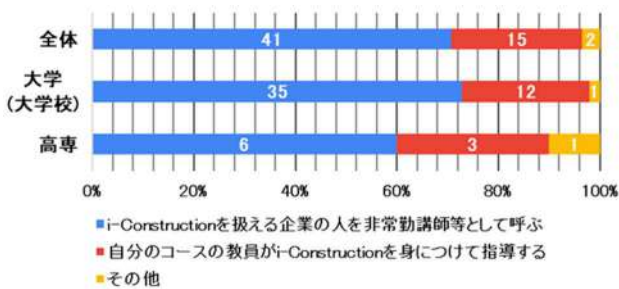


図-13 i-Construction 教育可能な教員の確保

#### 4. まとめ

土木教員の認知度はBIM/CIMが7割、i-Constructionが9割と高い。一方、BIM/CIM教育を実施している割合は大学

で1割強、高専で2割となっており、その内容もCADがメインで、BIM/CIMソフトの導入はごく一部にとどまっている。今後の導入意識についても高専では5割を超えているものの大学では3割強で、多くが「状況をみて考えたい」と考えている。導入課題としては指導方法、教員確保があげられている。教員確保について、多くの大学では、非常勤教員に頼らざるを得ない状況である。このことは教育のみならず、大学における研究の推進という観点からも考えていかねばならない課題である。

i-Constructionについては、大学で4割、高専で7割とBIM/CIMに比べると教育実施割合は高いが、大学での今後の導入意識は4割にとどまっていて、「行いたくない」との回答もあり、教員によるばらつきが大きいものと考えられる。

BIM/CIM教育の分担のあり方については、大学、高専で平均すると、高等教育3割、企業教育5割、独学2割となっている。BIM/CIM技術習得における教育機関の役割を明らかにした上で、教育コンテンツや指導方法の充実、教員の育成環境等の課題を解決する必要があると思われる。

謝辞：本研究を進めるに当たっては土木学会建設マネジメント委員会i-Construction小委員会WG1（職能・人材育成・教育活動）のメンバー各位から多くの貴重なご助言をいただいた。ここに記し、感謝を申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 菊池あや, 五艘 隆志: BIM・CIM教育プログラムの提案, <https://www.kochi-tech.ac.jp/library/ron/pdf/2015/03/11/a1160052.pdf>, 2016
- 2) 大屋誠: 高専におけるCIMに対応した建設技術者育成のためのカリキュラム構築に関する研究, 一般財団法人日本建設情報総合センター研究助成事業報告書, 2017

## CURRENT STATUS AND FACULTY CONSCIOUSNESS RELATED TO BIM/CIM AND I-CONSTRUCTION EDUCATION IN CIVIL ENGINEERING EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Tomoya SHIMADA, Shin-ei TAKANO and Lingling WANG

Most of the technical training related to BIM/CIM and i-Construction are carried out after employment. On the other hand, educational situations at universities and colleges of technology and consciousness of faculty members have not been clarified.

This study aims to clarify these issues by conducting a questionnaire survey to faculty members at civil engineering-related higher education institutions regarding their cognition of BIM/CIM and i-Construction, the current state of education, and their future intentions and issues.

It is clear that securing teachers and teaching methods are important issues for the introduction.

# ICT施工小規模工事への展開 ～ 3次元設計データ活用の普及促進～

岩崎 辰志<sup>1</sup>・勝田 健史<sup>2</sup>・二川 祥一<sup>3</sup>・戸羽 義幸<sup>4</sup>

<sup>1</sup>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: [iwasaki-t8310@mlit.go.jp](mailto:iwasaki-t8310@mlit.go.jp)

<sup>2</sup>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: [katsuta-t8310@mlit.go.jp](mailto:katsuta-t8310@mlit.go.jp)

<sup>3</sup>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: [nikawa-s8310@mlit.go.jp](mailto:nikawa-s8310@mlit.go.jp)

<sup>4</sup>非会員 国土交通省 関東地方整備局 企画部 施工企画課 技術評価係長

E-mail: [toba-y8310@mlit.go.jp](mailto:toba-y8310@mlit.go.jp)

2025年度までに現場の生産性2割向上を目標としたi-Constructionの取組は開始して6年が経過したところである。この取組により、ICT施工の活用が拡大しているところであるが、地方公共団体の工事を多く受注している中小建設業ではICT施工の普及に課題を抱えている。

本報告では、とりわけ中小建設業が抱える課題に着眼した関東地方整備局の取組を紹介するものである。

**Key Words :** Kanto Regional Development Bureau, ICT Construction, 3D design data  
Small and medium size construction industry, Small-scale construction

## 1. はじめに

平成28年4月に国土交通省において開始したi-Constructionの取組により、令和2年度末に直轄土木工事の約8割でICT施工を活用している状況となっている。都道府県・政令市においても取組は拡大しており、令和元年度から令和2年度にかけてICT活用工事の公告件数は倍増している。しかし、都道府県・政令市での発注工事を見ると令和2年度の活用率は約2割程度であり令和元年度より活用率が減少している。

また、直轄における活用工事の受注実績を分析するとA、B等級の企業では9割以上でICT施工を経験しているものの、地域を地盤とするC・D等級の企業における経験割合の合計は、42.6%となっている。

これらC・D等級の企業は地方公共団体の工事を多く受注しており、更なるICT普及促進のためには、地方公共団体と連携し、中小建設業におけるICT施工の普及を促進することが重要である。

### 〈直轄土木工事におけるICT実施状況〉

工種	2016年度 [平成28年度]		2017年度 [平成29年度]		2018年度 [平成30年度]		2019年度 [令和元年度]		2020年度 [令和2年度]	
	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施
合計※	1,625	684	2,175	912	1,947	1,104	2,397	1,890	2,942	2,396
実施率	36%		42%		57%		79%		81%	

※土工、舗装工、浚渫工、地盤改良工の合計

### 〈都道府県・政令市のICT実施状況 (ICT土工)〉

工種	2016年度 [平成28年度]		2017年度 [平成29年度]		2018年度 [平成30年度]		2019年度 [令和元年度]		2020年度 [令和2年度]	
	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施
土工	84	870	291	2,428	523	3,970	1,136	7,811	1,624	
実施率	33%		22%		29%		21%		21%	

図-1 ICT施工の実施状況<sup>1)</sup>



図-2 等級別ICT施工経験割合<sup>1)</sup>

過年度より実施している関東地方整備局と管内の都県・政令市との意見交換会において、以下の課題が示された。

- ・施工者を含め技術活用や活用方法について知見が不足
- ・施工量1,000m<sup>3</sup>未満の土工が大半を占める公共団体が多く、直轄の要領が活用できない
- ・3次元設計データ作成の外注費用などの負担が増加

上記の課題の対応として、関東地方整備局では、令和2年度よりICTアドバイザー制度やICTメールセンターの設置、受発注者間が連携しつそうの普及促進を図る「埼玉県地域建設業ICT推進検討協議会」（以降「協議会」と示す）の設立など様々な取組を行ってきたところである。

今般、この協議会の取組として小規模工事で3次元設計データを活用した場合の効果について検証を行ったので、その結果について報告する。

## 2. 埼玉県地域建設業ICT推進検討協議会

### (1) 協議会の設置

埼玉県建設業協会青年経営者部会からICT施工を地域に即した形で普及促進したいという提案をうけ、令和3年1月27日に受発注者共同でICT普及促進の取組を進める協議会を設立した。（発注機関は、埼玉県・さいたま市・関東地方整備局が参加）。

### (2) アクションプランの策定

ICT普及促進の取組施策や目標等について議論を行い、令和3年3月22日に「埼玉県地域建設業ICT推進アクションプラン」を策定した。以下に概要を示す。

#### ■ 共通事項

- ・知見習得に向けた見学会等への積極的参加及び現場の提供、ICT活用情報の共有
- ・小規模工事におけるICT活用効果の把握

#### ■ 建設業協会

- ・ICT活用、成功体験・失敗事例の共有・水平展開

#### ■ 発注者

- ・地域に即した普及促進目標・指標の立案
- ・3次元設計データ内製化に向けた労務把握

### (3) アクションプランの達成に向けて

アクションプランの「小規模工事におけるICT活用効果の把握」に向けた着眼点について以下の意見を頂いた。

#### 【普及促進の着眼点】

##### ① 地方公共団体発注工事の分析

地方公共団体発注工事では建築工事や下水道工

事の割合が多く、施工量1,000m<sup>3</sup>未満の小規模土工事が多い。使用されるバックホウは、大きくても0.25m<sup>3</sup>クラスのバックホウである。そのような工事現場において、ICTの活用は可能か。

##### ② 小規模工事に適用できるICTツールの検討

近年ICT建設機械の小型化や通常の建設機械に後付けが可能なICTシステムの実用化が進んでいる。0.25m<sup>3</sup>以下のバックホウに後付けし、活用することで現地作業の生産性は向上するのか。

##### ③ 作業工程によるICTの活用

バックホウでの作業だけでなく、作成した3次元設計データを現地でうまく利活用することで、現況把握や施工管理（丁張設置や進捗管理）の生産性は飛躍的に向上するのではないかと。

## 3. 小規模工事を模したICT導入効果検証

前述の着眼点を踏まえ、ICT技術の導入効果について検証を実施した。以下に検証の内容および結果について記述する。

### (1) 小規模土工（敷均・整正）

#### 【検証内容】

建築工事における外構工事（駐車場等）を想定して小規模な敷均・整正に対するICT効果検証を実施。排土板MC機能付き小型バックホウを用いて、ICT活用の効果を検証する。



写真1 小規模土工（敷均・整正）検証状況

#### 【検証結果】

丁張の省略、出来形計測の縮減がはかられる。また、排土板を仕上がり面の目標物に当て、これを設計標高とする一様勾配の3次元設計データを現地で作成し、施工することで更なる縮減効果が期待できる。



図3 従来手法との比較（整地150m<sup>3</sup>当たり）

(2) 小規模土工（管路掘削）

【検証内容】

上下水道等の管路掘削工事を想定した小型ICT機械やICT測量機材を用いた効果検証を実施。

丁張設置を省略した状況で曲線施工や施工管理が可能となる効果を検証する。



写真2 小規模土工（管路掘削）検証状況  
（丁張りレスによる湾曲掘削）



写真3 小規模土工（管路掘削）検証状況  
（丁張りレスによるL字掘削）

【検証結果】

丁張の省略、出来形計測の縮減がはかられる。また、バケット位置を基準に、床堀基面等の一様勾配の3次元設計データを現地で作成し、施工することで更なる縮減効果が期待できる。

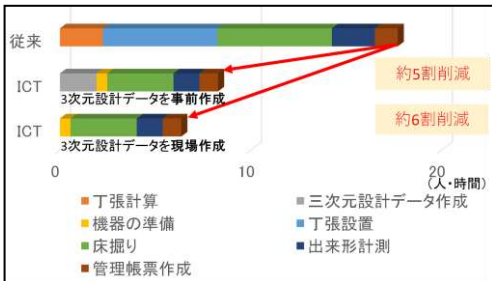


図4 従来手法との比較（掘削20m3当たり）

(3) 構造物設置工

【検証内容】

側溝などのコンクリート2次製品の設置作業について、丁張設置を省略した状況で自動追尾機能付きTSを用いた構造物の設置（誘導）作業、施工・出来形確認における活用効果を検証。



写真4 構造物設置工 検証状況

【検証結果】

丁張の省略、出来形計測の縮減がはかられる。

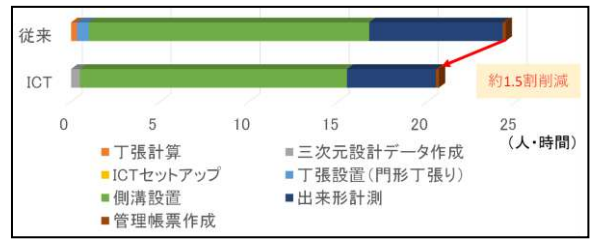


図5 従来手法との比較（U型側溝設置延長15m当たり）

(4) 丁張設置に着目したICTツールの検証

【検証内容】

3次元設計データを入力したTSを用いて丁張を設置する作業について、ICT活用の手法と活用の効果を把握し、作業工程の効率化を検証。

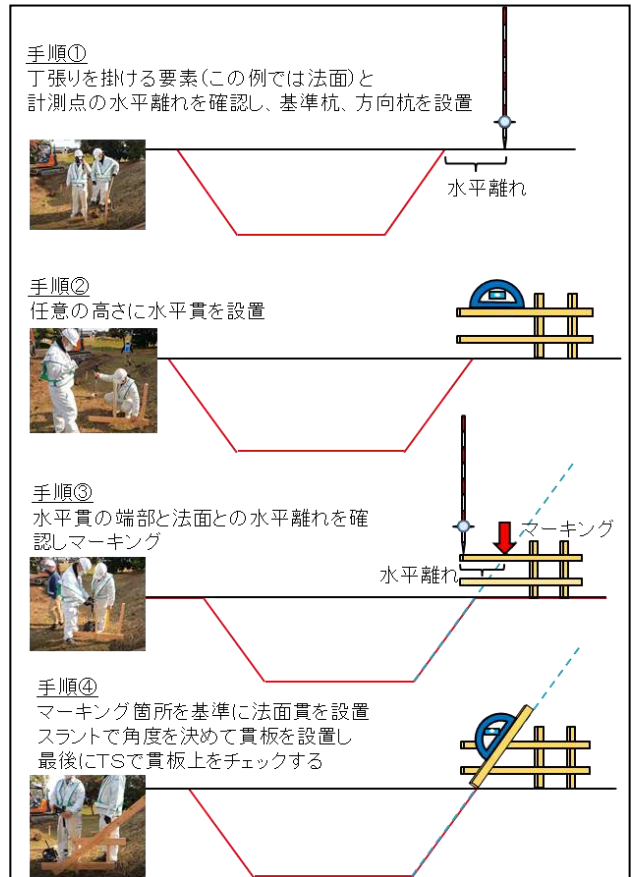


図6 丁張設置に着目したICTツールの検証 検証状況

【検証結果】

任意の位置で「設計面に対する計測点の比高・横断離れ」が表示されることにより作業者の技量にかかわらず、丁張計算の削減や丁張設置に関わる作業の縮減が期待できる。



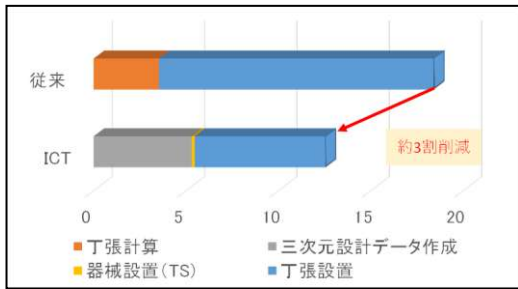


図-7 従来手法との比較（法丁張設置3カ所当たり）

#### 4. 小規模工事ICT施工活用の手引き（案）

前述の検証結果により、3次元設計データを効果的に活用することで、小規模な現場でも作業性が大幅に向上することが確認できた。

さらに、ICT建機により現場内で簡単に3次元設計データを作成することも可能である。

これらを踏まえ、本検証の結果を「小規模工事ICT施工活用の手引き（案）」（以降「手引き」と示す）としてまとめ、関東地方整備局のホームページ『関東DX・i-Construction』において、ICT施工の導入事例や導入の手引きなどの資料と合わせて公表している。

本手引きは、現場での身近な作業を全面的なICT活用工事を実施することではなく効率化することを目的とし、施工業者のレベルに応じた作業ステップ毎にとりまとめている。以下に作業ステップを示す。

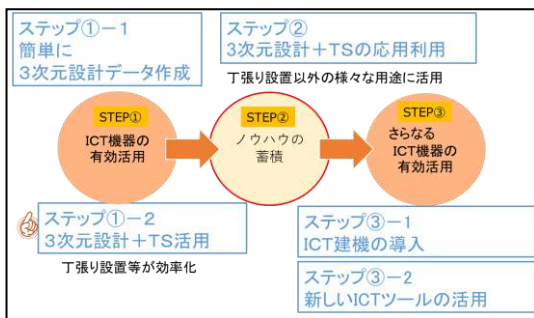


図-8 手引き概要（ICT導入ステップ）

#### 5. おわりに

前述のとおり、建設現場におけるICTの普及において重要な課題である中小建設業でのICT施工の普及促進のため、小規模工事でICT活用した場合の効果を把握すべく本検証を実施した。

本検証において小規模工事でも通常の土工で効果が確認されている丁張設置の省略や施工・出来形確認におけるICTの活用効果が確認できた。さらにICT建機を用いて現場で簡易な3次元設計データを作成する手法の有効性や3次元設計データを用いて丁張設置作業を行うことで丁張設置作業の効率化が図れることが確認でき、これらは中小建設業での3次元設計データを用いたICT施工の普及促進に向けた大きな成果といえる。

また、中小建設業がICTを活用しやすくなるように令和4年度より土工（1,000m<sup>3</sup>未満）実施要領等が整備され、市販のモバイル端末を使用した出来形計測も活用可能となり、小規模工事のICT活用は実現に向けて着実に進んでいる状況である。

今後の関東地方整備局におけるICT普及促進の施策として、これまでの取組であるICTアドバイザー制度やICTメールセンター、各種の研修やWebセミナーと合わせ、検証の成果をまとめた「手引き」も実現場で有効に活用していただくなど、建設産業における生産性向上に取り組んでいきたい。

**謝辞：**小規模工事を模したICT導入効果検証を行うに当たりご協力をいただいた情報化施工委員会 i-Construction普及WG（（一社）日本建設機械施工協会）の皆様、埼玉県建設業協会の皆様に、感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) 第13回ICT導入協議会資料

### POPULARIZATION OF ICT CONSTRUCTION TECHNOLOGY IN THE SMALL SCALE CIVIL ENGINEERING WORK ～THE SPREAD OF 3D DESIGN DATA UTILIZATION PROMOTION～

Tatushi IWASAKI, Takeshi KATSUTA, Syouiti NIKAWA and Yoshiyuki TOBA

Six years have passed since the i-Construction effort, which aims to improve on-site productivity by 20% by 2025, has just started. Through this initiative, the use of ICT construction is expanding, but the small and medium-sized construction industry, which receives many orders for construction by local governments, has a problem in spreading ICT construction.

This report introduces the efforts of the Kanto Regional Development Bureau, which focuses on the challenges facing the small and medium-sized construction industry.

# 広島デジフラ構想の取組について

岡崎 太一<sup>1</sup>・下隠 俊作<sup>2</sup>・廣重 徳之<sup>3</sup>・丸山 彰<sup>4</sup>・森永雄一朗<sup>5</sup>

<sup>1</sup>・<sup>2</sup>・<sup>3</sup>・<sup>4</sup>・<sup>5</sup>非会員 広島県土木建築局建設DX担当（〒730-8511 広島県広島市中区基町10-52）

E-mail: kensetsudx@pref.hiroshima.lg.jp

広島県土木建築局においては、建設分野における調査・設計・施工から維持管理のあらゆる段階において、デジタル技術を最大限に活用し、官民が連携してインフラをより効果的・効率的にマネジメントしていくため、目指す姿や具体的な取組案をとりまとめた「広島デジフラ構想」を2021年3月に策定し、推進している。

本稿では広島デジフラ構想の概要と取組の進捗状況について紹介する。

**Key Words** : Digital transformation, Hiroshima Dejifura Concept, DoboX, i-Construction

## 1. はじめに

近年、AI/IoT、ロボティクス等のデジタル技術やビッグデータを活用したデジタルトランスフォーメーション（DX）と呼ばれる潮流が、世界的に巻き起こっている。

本県では、この潮流を、新たなサービス・付加価値の創出による生産性向上や競争力強化といった経済発展と、人口減少、少子化・高齢化に伴う労働力不足や地域活力の低下などの社会課題の解決の双方を実現させる好機と捉え、2021年10月に策定した県の総合戦略である「安心▷誇り▷挑戦 ひろしまビジョン」において、「先駆的に推進するDX」を全ての施策を貫く視点の一つとして掲げた。

また、全庁横断的な組織である「広島県DX推進本部」を2019年7月に設置し、DXの取組を推進するとともに、県内の企業・事業者、教育機関、行政等がデジタル技術やデータを有効活用し、将来の広島県を創っていくための実践を促すことを目的として、これらの関係者が参画する場である、「広島県DX推進コミュニティ」を2020年11月に創設した。

このような中、広島県土木建築局においては、建設分野における調査・設計・施工から維持管理のあらゆる段階において、デジタル技術を最大限に活用し、官民が連携してインフラをより効果的・効率的にマネジメントしていくため、目指す姿や具体的な取組案をとりまとめた「広島デジフラ構想」を2021年3月に策定した。

さらに、2022年度からは、空港、港湾、管理部門等の取組を追加し、「広島デジフラ構想2022～デジフラ2ndステージへ～」として改訂し、推進している。

## 2. 現況と課題

構想策定に当たり整理した、本県の抱える現状と主な課題は次のとおりである。

### (1) 自然災害の激甚化・頻発化

地球温暖化等による異常気象により、全国各地で甚大な被害をもたらす気象災害が頻発しており、本県においても、平成30年7月豪雨により、県内の広範囲で土砂災害や河川の氾濫が多数発生し、多くの尊い命が奪われたほか、県民生活や経済活動の基盤となるあらゆるインフラにも多大な被害が生じた。

このような大規模災害等による被害を防止又は軽減させるためには、デジタル技術やデータを活用し計画的なハード整備や維持管理をより効果的・効率的に推進することや、災害リスク情報等の的確な発信や防災教育の高度化など、ソフト対策の更なる充実・強化が必要となっている。

### (2) 人口減少、少子化・高齢化による建設分野の担い手不足

本県の総人口は、1998年の288万人をピークに減少に転じており、20年後の2040年には252万人となり、2015年の284万人から32万人減少する見込みとなっている。加えて、少子化・高齢化による人口構造の変化も進行しており、総人口に対する生産年齢（15歳から64歳）の人口割合は、約59%から約54%に減少する見込みである。

なかでも建設分野では、29歳以下の就業者割合が2000年の約21%から2015年には約11%に減少するとともに、60歳以上の就業者割合が約13%から約25%に増加しており、就業者の年齢構成が他業種と比較して急速に変化している。

このような社会的要因により、インフラを整備・維持管理する上で必要となる担い手不足が既に顕在化しており、今後、さらに進行することが想定されることから、i-Constructionの推進などによる建設分野の生産性向上が必要となっている。

### (3) デジタル化やデータ利活用の遅れ

広島県土木建築局では、これまで個々の業務において、システム導入などによる効率化を進めてきたが、未だ書面・対面で行う業務が多く残っている状況である。

また、インフラデータに関しても、個々の業務毎に構築されたシステムなどの要因により、道路・河川などの分野間や国・市町などの施設管理者間でのデータ連携ができておらず、誰でも自由に利活用できる形で公開するオープンデータ化も進んでいない状況である。

このような状況を改革し、利便性などの県民サービスの更なる向上や新たなビジネスモデルへの転換につなげるために、インフラデータを官民で利活用できる仕組みを構築することが必要となっている。

## 3. 目指す姿と取組体系

本構想では、本県の社会資本分野のマネジメント基本方針である「社会資本未来プラン（2021年3月策定）」に掲げる、県土の将来像（10年後の目指す姿）の実現に向けて、次の5つの姿を目指す。

- I 「新たなサービス・付加価値の創出」
- II 「県民の安全・安心の向上」
- III 「県民の利便性向上」
- IV 「建設分野の生産性向上」
- V 「持続的な変革」

また5つの目指す姿の実現に向けて、8つの取組分類で体系的に区分し、「データの一元化・オープン化のための、インフラマネジメント基盤（DoboX）の構築」、「価値あるデータの整備として、県土全体の3次元デジタル化」、「個人ごとに異なる災害リスク情報のリアルタイム発信」など、47項目の具体的な取組案を推進することとしている。

取組期間は2021年度～2025年度までの5年間である。

表-1 目指す姿と取組分類

目指す姿	取組分類	具体的な取組案（抜粋）
I．新たなサービス・付加価値の創出	①データの一元化・オープン化	・インフラマネジメント基盤（DoboX）の構築、運用拡大 ・地盤情報のオープンデータ化
	②価値あるデータの整備	・県土全体の3次元デジタル化 ・都市計画基礎調査結果のオープンデータ化
II．県民の安全・安心の向上	③災害リスク情報の発信	・個人ごとに異なる災害リスク情報のリアルタイム発信 ・洪水予測などの水害リスク情報の高度化
	④異常気象時の業務効率化	・画像情報等の充実・強化 ・ダム放流操作の精度向上を支援するシステムの構築
III．県民の利便性向上	⑤円滑な物流・人流の実現	・ビッグデータを活用した主要渋滞箇所における交通円滑化対策の実施 ・デジタル技術を活用した港湾物流の高度化・効率化
IV．建設分野の生産性向上	⑥効率的な事業の推進	・主要構造物におけるCIMの完全実施（i-Constructionの推進） ・AIなどを活用した地形改変箇所等の抽出
	⑦維持管理の高度化・効率化	・除雪作業における支援技術の構築 ・IoTやドローン等を活用した獣害防止対策の構築
V．持続的な変革	⑧人材育成と官民連携	・建設分野におけるデジタルリテラシー向上に係る研修の実施 ・建設分野におけるDX推進のための官民協働体制の構築

## 4. 具体的な取組案

47項目の取組案の中からいくつかを紹介する。

### (1) 取組①-01：インフラマネジメント基盤【DoboX（ドボックス）】の構築・運用拡大

現状は、「道路の規制情報や河川の観測情報等のインフラデータは、施設毎に構築したシステム等で個々に管理しており、施設管理者間で連携できる状態となっていない。」、「オープンデータ化が十分でないため、民間企業等でのデータの利活用が進んでいない。」という状況である。

そのため、将来像として、「県保有データのみならず、様々な主体が保有するデータが一元化・オープン化されている」、「オープンデータの利活用によって、新たな

ビジネスやイノベーションが創出されている。」といったところを目指している。

これを実現するため、2021年度からデータ連携基盤であるインフラマネジメント基盤（以下、「DoboX」という。）の構築に着手し、スマートシティリファレンスアーキテクチャの設計に従い、汎用的なオープンソースのソフトウェアを使ってスクラッチで開発を進めている。

主な機能として、「既存システムとの自動連携やシステムに直接データを登録できる集約機能」、「システム上でデータの公開範囲や閲覧権限等を設定する管理機能」、「データの検索・ダウンロードや利用者とのデータ自動連携を可能とする公開機能」の3つの機能を具備しており、これらの機能を活用し、例えば、DoboXで集約した防災情報を、市町の避難情報システムと連携し、大雨による危険度が高まった際、自動で避難情報を発令する仕組みを構築することなどが可能となる。

現在、2022年6月からの運用開始を目指し、DoboXの構築を進めているところであるが、これと並行して、国や市町、公共インフラを所有する民間企業ともデータ連携に向け調整を進めている。

運用開始後も、オープンデータの追加やデータ連携の拡大などを進め、将来的には、大学などの学術機関や企業など様々な主体がオープンデータを活用することによって、新たなビジネスやイノベーションが創出されることを期待している。

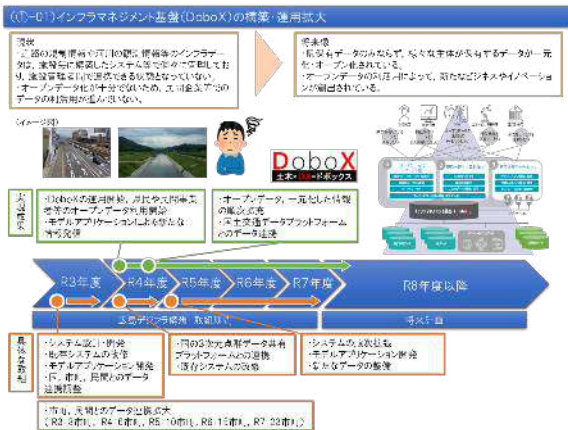


図-1 取組①-01：インフラマネジメント基盤（DoboX）の構築・運用拡大

(2) 取組③-03：洪水予測などの水害リスク情報の高度化

現状は、「洪水予報河川及び水位周知河川として指定されている河川の水位局地点における水位到達情報（氾濫危険水位等）を対象区域全体（町単位、区単位）に発信している。」という状況である。

2021年度から、簡易型水位計の設置拡充や水位観測カメラの実証実験を進めており、今後、モデル河川における洪水予測プログラム及び閲覧システムの構築を行い、

これまで点で表示していた水位情報に加え、河川水位を上流から下流まで連続した情報として見える化を進め、将来的には、「様々な水害リスク情報がリアルタイム・ピンポイントで配信されている。」、「県民自らが水害リスク情報を取得でき、的確な避難行動の判断が可能となり、水害からの逃げ遅れがゼロとなっている。」といったところを目指している。

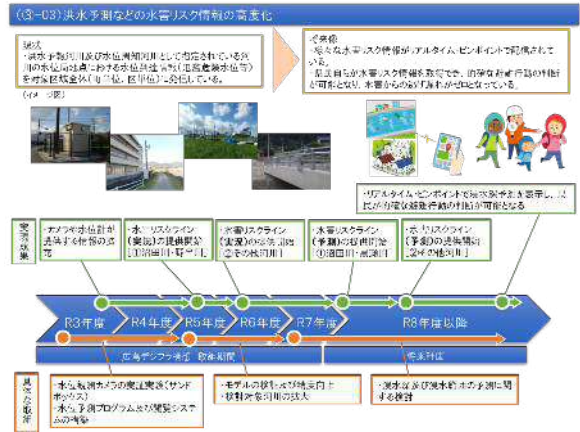


図-2 取組③-03：洪水予測などの水害リスク情報の高度化

(3) 取組⑥-01：主要構造物におけるCIMの完全実施（i-Constructionの推進）

現状は、「2次元図面+文字等による測量・調査、設計が行われており、3次元データの活用が進んでいない。」という状況である。

そのため、将来像として、「測量・調査から設計、施工、維持管理の一連の建設生産・管理システムの各段階において、3次元モデル等の活用が進み、品質確保・向上や建設現場の生産性が向上している。」といったところを目指している。

具体的な取組として、2021年度は「CIM活用業務の発注方式に受注者希望型を追加」、「CIM推進モデル業務試行要領の随時改訂」、「CIMに関する研修など人材育成の取組を実施」、「設計、施工、維持管理など各段階におけるCIM活用の試行実施」に取り組み、県発注業務委託において、CIM活用業務を12件実施するとともに、CIMモデルを活用した住民説明会等を行っている。

今後も主要な構造物を対象に段階的にCIM業務の活用割合を増加し、2025年度には100%を目指すとともに、作成したCIMモデルを活用し、図面照査や施工計画の検討などを行う「CIM活用工事」の取組を2022年度から開始し、建設現場の生産性向上を実現していく。

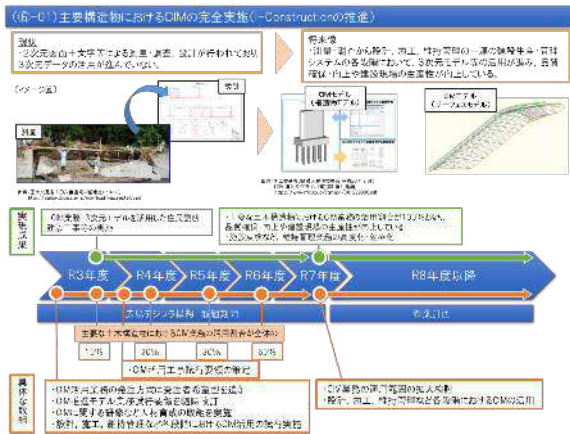


図-3 取組⑥-01：主要構造物におけるCIMの完全実施 (i-Constructionの推進)



図-4 取組⑦-02：法面の崩落予測技術の構築

(4) 取組⑦-02：法面の崩落予測技術の構築

現状は、「委託業者による週1回の道路巡視など、人の目により法面や構造物の変状の有無を確認している。」、「法面崩落や落石について、事前に予測し対応することが困難なため、事後的な対応になることが多い。」という状況である。

そのため、将来像として、「道路法面や構造物のより効果的・効率的な整備がおこなわれている。」、「崩落等により予測される災害などを未然に防ぐことができ、道路利用者の安全が確保されている。」といったところを目指している。

この取組は2020年度から開始しており、2021年度からは実証規模を拡大し、データ蓄積や崩落予測技術を構築を進めている。

今後は、実証結果を踏まえた導入技術の決定やシステム改修等を行い、2023年度末からの本格運用に向けて取り組んでいく。

5. おわりに

- この「広島デジフラ構想」を推進するにあたり、
- ①ユーザーファースト（県民起点）で考える
- ②分野（縦割りの壁）を越える
- ③様々な関係者を巻き込む
- ④小さく始めて改善を繰り返す
- ⑤失敗を恐れぬ

の5つを基本的な取組姿勢と定めた。

また、具体的な取組案は、今後、デジタル技術の進展や取組の進捗状況などにより、他分野への応用や、複数の取組を組み合わせた新たな取組への発展なども見込まれるため、毎年度フォローアップを実施し、取組内容やロードマップの見直しを行うこととしている。

引き続き、皆様方のご支援・ご協力をいただきながら、5つの基本姿勢に掲げるとおり、「失敗を恐れずに」積極的に取り組んでまいり所存である。

(2022.5. 受付)

ABOUT THE EFFORTS OF THE HIROSHIMA DEJIFURA CONCEPT

Taichi OKAZAKI, Shunsaku SHIMOKAGE, Noriyuki HIROSHIGE, Akira MARUYAMA and Yuuichiro MORINAGA

The Hiroshima Prefectural Civil Engineering and Construction Bureau will make maximum use of digital technology at all stages from research, design, construction to maintenance in the construction field, and the public and private sectors will work together to manage infrastructure more effectively and efficiently. In March 2021, the "Hiroshima Dejifura Concept" was formulated, which summarizes the vision and concrete measures to be taken.

This paper introduces the outline of the Hiroshima Digihula concept and the progress of its efforts.

# インフラ分野の DX 推進に向けた異業種企業 マッチング事業の課題の分析と方向性の検討

佐々木 正<sup>1</sup>・酒匂 智彦<sup>2</sup>・小浪 尊宏<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 (一財) 国土技術研究センター (〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-12-1)  
E-mail: t.sasaki@jice.or.jp

<sup>2</sup>正会員 (一財) 国土技術研究センター (〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-12-1)  
E-mail: to.sako@jice.or.jp

<sup>3</sup>正会員 (一財) 国土技術研究センター (〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-12-1)  
E-mail: t.konami@jice.or.jp

i-Construction等のインフラ分野のDX推進は、建設業だけでなく、異業種も含めた幅広い産学官連携なしには進められない。このため、国土交通省の地方整備局等では、建設業の現場ニーズと異業種企業の有する技術シーズのマッチングを行う「現場ニーズ・技術シーズのマッチング」事業を実施している。本稿では、このマッチング事業について、実施状況を調査・整理し、実際のマッチングの現場における課題を踏まえ、今後の方向性の検討を行った。

**Key Words** : *i-Construction, Infrastructure DX, Matching of on-site needs and technological seeds*

## 1. はじめに

国土交通省では、建設業の働き方改革や新3K(給与がよい、休暇が取れる、希望が持てる)等の実現を目指し、あらゆる建設生産プロセスにおいて新技術(新工法, 新材料, 新システム等)の導入・利活用を促す i-Construction 等の取組みなど、インフラ分野の DX 化を進めている。特に2020(令和2)年度からは、新技術の活用が直轄工事において原則義務化され、NETIS(新技術情報提供システム)登録技術のみならず、本稿で紹介する「マッチング」完了技術もその対象と位置づけることとなり、一層の導入・利活用の進展が期待されている。

これら新技術は、ドローンやレーザーを活用した 3 次元測量や 3 次元データによる設計、施工の自動化や省力化(ICT 施工)、ウェアラブルセンサを用いた安全管理、完成/供用後の点検・維持管理の高度化(AI や画像処理による診断・分析等)、プロセス全体をつなぐデータの共通化・データベース化、基盤地図との連携、技術基準の策定・改訂など多様な分野を含むものであり、建設業だけでなく、異業種も含めた幅広い産学官連携なしには実用化が難しいものが多い。

このようなことから、建設業において、異業種企業が有する技術への関心は高まりつつあるものの、これまで接点が少な

かった異業種企業へのアプローチの難しさや、建設業とは異なる企業文化や商慣習、関連法令等に起因する相互理解の不足など様々な課題があり、建設業の現場ニーズと異業種企業の有する技術シーズのマッチングの成立は決して容易ではないのが実態である。

そこで本稿では、国土交通省の地方整備局等(北海道開発局, 沖縄総合事務局を含む。以下同じ。)が実施している「現場ニーズ・技術シーズのマッチング」事業(以下「マッチング事業」という。)について、地方整備局へのヒアリング調査等を踏まえた分析を行い、インフラ分野の DX 推進に向けて異業種企業の参画を促す上での課題と解決に向けた今後の方向性の提案を行う。

## 2. マッチング事業の概要と実施状況

### (1) マッチング事業の概要及び成果

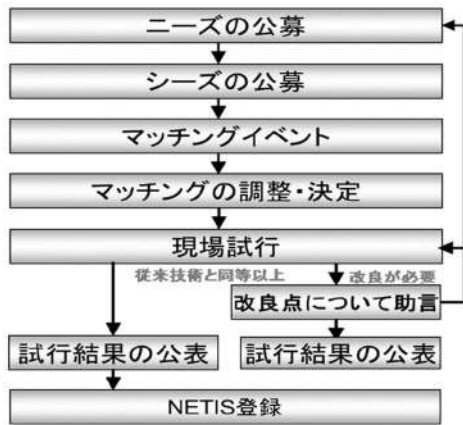
建設現場における現場ニーズ・技術シーズのマッチングは、2017(平成 29)年度に産学官連携により設立された「i-Construction 推進コンソーシアム」の技術開発・導入WGの活動の一つとして実施されてきている。

地方整備局等の取り組みは、概ね図-1 に示す手順で実施することとされている。まず、直轄工事の現場や河川・道路等の管理者が抱える様々な課題やニーズを河川国道事務所等から収集し、その解決を図ることができると期待される技術シーズを企業等(開発者)から公募する。次いで、現場ニーズと技術シーズに対し、マッチングイベント等を通じた調整が行われ、マッチングが成立したものについては、実際の直轄事業で現場試行を行い、技術シーズの活用効果を検証する。その結果、従来技術と同等以上の活用効果があると確認された技術については、NETIS への登録を企業等に勧めるものである。

(2) ヒアリング調査の概要

筆者らは、2021(令和3)年10月に、地方整備局におけるマッチング事業の実施状況についてヒアリング調査(以下「整備局等ヒアリング」という。)を行った(表-1)。この結果、全国では、過去3年間に124件のマッチングが成立し、84件の現場試行を実施していたことが明らかとなった。三大都市圏を有し、地域経済の規模が大きい関東、中部、近畿の各地方整備局では安定的に実施されている。

また、筆者らは、国土交通省中部地方整備局の受託事業としてマッチング事業のサポートをしており、ほかにも i-Construction の推進にかかる業務の過程で、ニーズ・シーズ双方の事業者の意見を聞いており(以下「事業者ヒアリング」という。)



出典:国土交通省資料<sup>1)</sup>より抜粋

図-1 現場ニーズ・技術シーズマッチング実施フロー

いう。), 本稿ではその結果も踏まえた分析を行う。

(3) マッチング事例の紹介

課題等の分析に入る前に、マッチングの実態の理解促進のため、実際の異業種とのマッチング成立及び現場試行に至った事例を一件だけ紹介する。

堤防や護岸等の目視点検の効率化を図りたい河川管理者の現場ニーズに対し、技術シーズとして、建設コンサルタントと通信技術会社が共同開発したステレオ計測システムの応募があった(図-2)。これは、市販デジタルカメラ2台で対象物を撮影し、三角測量の原理と通信技術会社の画像解析技術により2点間距離や面積等の計測、3次元点群データを高速に生成できるという技術である。実際の河川構造物で現場試行したところ、従来の目視点検に比べ、安全な場所から現場管理者と撮影者の2名で実施でき省人化が図れるほか、3Dレーザースキャナと比較しても経済性、有効性が認められ、道路、河川、砂防のコンクリート構造物の点検等にも活用可能な技術であることが確認された。

3. 地方整備局等ヒアリングから得られた課題

(1) 件数の不足や偏り

マッチング事業の実施状況は、地方整備局等の規模の違いや現場ニーズの整理の仕方の違い等もあるため、表-1 に示した件数のみによって一概に評価することはできない。例えば、特定の河川国道事務所への偏りや、AI等の注目されている分野への現場ニーズの偏りなど、事務所の事業特性や職員の経験等にも依存した偏りが見られた。

このように、件数の多い地方整備局であっても、現時点で



出典:中部地方整備局資料

図-2 マッチング事例(市販デジタルカメラによるひび割れ計測)

地方整備局等	2018(平成30)年度				2019(令和1)年度				2020(令和2)年度			
	ニーズ	シーズ	マッチング	試行	ニーズ	シーズ	マッチング	試行	ニーズ	シーズ	マッチング	試行
関東	102	31	16	13	① 90 ② 133*(注1)	8 331	4 32	4 8	73	37	11	8
中部	9	10	15	7	34	6	2	2	90	7	5	4
近畿	-	-	-	-	26	6	6	6	30	12	10	10
上記以外の整備局等の計	53	8	7	7	106	20	16	15	66	4	0*(注2)	0*(注2)
全地方整備局等の合計	164	49	38	27	166	371	60	35	259	60	26	22

\*注1: 2019年度は2回実施しているため2段に表記した。 \*注2: 2020年度のマッチング及び現場試行の件数が未公表の場合は計上していない。  
出典:各地方整備局等のウェブページ及びヒアリングに基づきJICE作成

表-1 現場ニーズ・技術シーズマッチング実施状況(令和3年10月末時点)

は必ずしも網羅的な取組みとなっていないこともあり、マッチング事業への認知度の拡大が課題である。

## (2) 技術シーズの開発者に届く情報の適格性の不足

表-1 から、全般的に現場ニーズの件数に比べ、技術シーズの応募件数がかなり下回る結果であったことがわかる。その理由の一つには、公募時点における開発レベルや実用化水準に関する情報収集が困難であるため、結果として過大な要求がなされている可能性が考えられる。

加えて、そもそも、インフラ分野のDX推進に向けた取組や技術シーズの公募に関する情報が企業等の開発者(特に異業種企業)に届いているのか、また、現場ニーズとして提示された項目の内容や意味が理解されているのか、といった課題もあると考える。

こうした課題に対して、例えば関東地方整備局では、関東経済産業局、中小企業基盤整備機構と連携して、マッチングサイト「OIMS:オープンイノベーション・マッチングスクエア」を構築し、異業種及び中小企業目線での情報提供や支援に取り組んでいる。その結果、2019(令和1)年度の技術シーズの応募数は明らかに増加したが、マッチング件数とに大きな乖離がある。現場ニーズの内容説明が3~4行程度であったため、技術シーズ側で現場ニーズに対する理解の齟齬があったのではないかと考えられる。現在は、関東地方整備局に限らず、国土交通省全体の実施要領<sup>1)</sup>により、現場ニーズとして、必須項目等の要求水準や現場条件等を記載し、技術シーズ側についても、提案する技術の特徴や導入効果等を記載することで、そうした課題は改善されている。

## (3) マッチング後のフォローアップの不足

さらに表-1からは、マッチングが成立できない技術シーズが少なからずあることがわかる。地方整備局等への聞き取りでは、不成立後のフォローアップは行っていないことがわかった。現場ニーズに対する理解の齟齬があったものが不成立となるのはやむを得ないが、一歩及ばず不成立である場合には、技術改良等を行って再応募できる可能性もあることから、フォローアップを適切に行うことにより、建設業と異業種企業との関係が継続できるのではないかと考える。

また、マッチングが成立したものの、試行現場での条件の摺り合わせが不調に終わり、取り下げとなる場合があることがわかった。建設現場での経験が少ない技術シーズ側からは、どのように現場試行に持ち込むか等、建設現場へのアプローチに戸惑うとの声もある。新技術の活用について施策立案を行う地方整備局等の本局と、新技術を活用し生産性向上を図る現場が連携し、技術シーズ側へのフォローを丁寧に行う必要がある。

## 4. 事業者ヒアリングから得られた課題

### (1) 建設業に対する心理的距離

異業種企業から見ると、建設業は実態があまり分からない業種であるという声を聞く。例えば、事業者ヒアリングを通じて得られた課題としては以下のようなものがあつた。

- 重層下請け構造で、現場や技術の実態が見えない。
- 現場の要求レベルがわかりにくい。
- 「完成品を使いたい」又は「ゼロから共同開発したい」の両極端のスタンスが散見され、その中間の「既存技術を現場に合わせて改良したい」という例が少ない。
- ベンチャーが下請けのように扱われて、技術が盗られてしまうこと(知的財産権の扱い)への懸念がある。

これらは、異業種企業との技術開発に対する建設業や建設行政の理解不足・経験不足が背景に存在すると思われる。異業種企業の懸念をよく認識し、異業種とのぎつぱらんな交流の機会や連携体制を構築することが必要である。

### (2) 異業種企業の建設現場についての知識不足

上記に加え、建設業法、労働安全衛生法等の関連法令や技術基準の複雑さも異業種にとっての課題である。具体的には、事業者ヒアリングにおいて以下のような声を得られた。

- ベンチャー企業の知らない用語が多く理解できない。
- 役所の書類が複雑で分かりにくい。
- 建設業界は、法令に基づく基準の他に独自基準を持っているため、許容範囲が個々に異なる。

一般的に、他者の業種・業界の常識を理解するには困難を伴うため、建設業、異業種業ともに、相手を理解するためのノウハウ構築が求められる。なお、基準については、「建設業は国民の生命や財産を守るインフラを扱っていることから、ルールを定めて進めなければならないことは理解している」という声もあつたことも付言する。

## 5. 課題を踏まえた施策の方向性の検討

### (1) 異業種企業への情報提供の充実

建設業に対する異業種企業の距離感を縮めるため、異業種企業の情報や連携ノウハウに長けた関連機関等との連携は有効である。例えば、関東地方整備局では先述したように、防災・災害対応、復興分野等の幅広い分野において、中堅・中小企業が有する革新的な技術の現場実装を促進するためマッチングサイトを構築している。

また、中部地方整備局では、「地域未来牽引企業」に登録されている管内所在企業に対して、技術シーズの公募情報を案内している。「地域未来牽引企業」とは、地域経済への影響力が大きく、成長性が見込まれる地域経済の中心的な担い手企業・担い手候補企業を選定する経済産業省の施策である。2021年には中小企業基盤整備機構のマッチングサ



イト「ジェグテック」(J-GoodTech)を通じた技術シーズの公募も行っている。

地方整備局等の記者発表だけでは、建設関係に限られた範囲にしか情報が伝わらない。こうした取り組みは、全国的に横展開が可能であり、府省連携の取組みとしても、さらなる推進を図るべきである。

## (2) 建設現場と異業種企業との「仲介」「翻訳」ができる人材・機関の活用

4.で示した、異業種企業の建設現場についての知識不足や戸惑いに対応するため、ICT等の新技術と建設現場の双方に知見を持つ人材・機関の活用が必要である。例えば、地域建設業協会のような建設系関係機関の活用や、各地方整備局等で実施している「ICTアドバイザー」制度(類似の制度も含む)の活用が有効である。

ICTアドバイザーとは、ICT施工の普及促進のため、発注者や受注者が持つ疑問点や課題について、民間から公募した経験者等がアドバイス等の支援を行う制度である。例えば、中部地方整備局では、ICTに関する専門知識を持つ技術者本人(管内所在の測量会社、建設コンサルタント、建設会社等に所属する者)を公募で選定しており、①多様化部会(新技術の現場適応化に向けた技術支援)、②FAQ部会(課題や疑問等について交流支援)、③支援部会(建設現場での活用ノウハウ支援)、④普及部会(研修会、現場見学会等を通じた裾野拡大)の4つの部会に分かれて活動している。

こうした人材・機関の具体的な役割としては、ア)異業種企業の相談窓口、イ)建設業と異業種企業との間にある「常識」の違いの「翻訳」者、ウ)ICT活用に未経験の中小地域建設業や地方自治体等に対する地元目線での普及・促進支援などが考えられる。

## (3) 新技術の実装に向けた支援、技術の育成フィールドとしての建設現場の提供

3.(3)で示したように、建設現場に関心のある技術シーズ開発者に対するフォローアップが必要である。ICTアドバイザー

は、ここでも有効に活用できる。単体技術(例えば、センサやレンズ、解析手法等)では優秀なものを保有しているが、それを搭載して製品化を提携できる企業等を探したいという動機で技術シーズに応募した異業種企業もいる。このような場合も、ICTアドバイザー等の持つ情報やネットワークの活用が有効である。

加えて、マッチングが成立した技術シーズについても、現場試行を行わせて終了ではなく、実装に向けた支援やフォローアップが必要である。現場試行終了後も、技術改良のために建設現場との付き合いを継続することを希望する声もあることから、新技術を育成するフィールドとして直轄工事や維持管理の現場の積極的な提供や、各地方整備局等が持つ情報の全国共有による支援も有効である。

## 6. おわりに

本稿では、筆者らの実施したヒアリング調査を中心として、マッチング事業の課題と方向性について検討を行った。建設現場のDX推進は、デジタル技術の導入が目的ではなく、誰もが働きやすい建設現場に変わることが最も期待されている。建設業界が一丸となって改善を意識することが重要である。本稿で示した課題と方向性について、さらなる調査・研究を進め、より大きな成果につながるマッチング事業の推進が必要とされている。

### 参考文献

- 1) 国土交通省:i-Constructionを推進するための現場ニーズ・技術シーズのマッチング実施要領,令和3年9月30日付・国技官第164号,2021/9/30.
- 2) 関東地方整備局記者発表:「コンストラクションオープンイノベーションマッチング」において現場実証に向けたマッチングが成立,2021/3/30.

(2022.5.20 受付)

## RESEARCH AND ANALYSYS ON THE CROSS-INDUSTRY MATCHING FOR PROMOTING INFRASTRUCTURE-RELATED DX

Tadashi SASAKI, Tomohiko Sako and Takahiro KONAMI

The promotion of DX in the infrastructure field, such as i-Construction, requires wide range of trans-sectorial collaborations. The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) are implementing the 'Matching of on-site needs and technological seeds' project to achieve cross-industry collaborations. This paper provides a research and analysis on the challenges and future direction through the implementation of the project and the actual matching process.

# 地方中小規模建設会社の 新技術受容に関する調査研究

篠本 宏太<sup>1</sup>・王 玲玲<sup>2</sup>・山岡 暁<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 宇都宮大学 地域創生科学研究科土木工学プログラム (〒321-0904 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)  
E-mail:mc226272@s.utsunomiya-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 宇都宮大学 地域デザイン科学部社会基盤学科 (〒321-0904 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)  
E-mail:goodwanglingling@gmail.com

<sup>3</sup>正会員 宇都宮大学 地域デザイン科学部社会基盤学科 (〒321-0904 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)  
E-mail: yamaokast@cc.utsunomiya-u.ac.jp

建設業は、少子高齢化の進展に伴う働き手の減少、近年増加している自然災害や今後本格的な老朽化を迎えるインフラの維持管理への対応など様々な課題を抱えている。国土交通省では、建設生産システム全体の生産性向上を図り、魅力ある建設現場を目指す「i-Construction(アイ・コンストラクション)」を進めている。しかし、地方は大都市圏と比較して、整備財源の不足、建設現場における建設業従事者の高齢化、若手入職者の減少・離職者の増加の傾向が顕著であり、大都市部と地方部との事業量の地域間格差は拡大化している。自然災害が毎年のようにして発生する状況では、初期の緊急対応、道路啓開など地域に精通した建設企業の活動は必要不可欠となっている。地域建設業が今後どのように経営を維持し、安定させていくかは非常に重要な課題になっている。したがって、情報技術の急速な発展の流れの中で、上記の問題を解決するために、ICTを導入することは重要である。そこで本研究では、地方中小規模建設会社の新技術受容に関するリスク認知とその影響要因を調査・分析して、どのような要因が新技術の行動傾向に影響を与えるかを明らかにすることを目的とする。

**Key Words :** *i-Construction, Technology Acceptance Model, local construction industry, risk perception*

## 1. 背景と目的

建設業は、少子高齢化の進展に伴う働き手の減少、近年増加している自然災害や今後本格的な老朽化を迎えるインフラの維持管理への対応など様々な課題を抱えている。国土交通省では、建設生産システム全体の生産性向上を図り、魅力ある建設現場を目指す「i-Construction(アイ・コンストラクション)」を進めている<sup>1)</sup>。しかし、地方は大都市圏と比較して、整備財源の不足、建設現場における建設業従事者の高齢化、若手入職者の減少・離職者の増加の傾向が顕著であり、大都市部と地方部との事業量の地域間格差は拡大化している<sup>2)</sup>。また、地方中小規模建設会社では新技術を導入したくても初期投資が重く大変であり、それだけの環境にならないところや小さな会社では新技術に取り組める人数が少ない、技術を教える人材がいない、ICT活用に関する情報共有があまりないなど様々な問題がある。しかし、地方中小規模建設でもICTを活用することで、若手の確保や会社の売り上げアップに成功している会社もある。そこで本研究では、地方中小規模建設会社の新技術受容に関するリスク認知とその影響要因を調

査・分析して、どのような要因が新技術の導入傾向に影響を与えるかを明らかにすることを目的とする。

## 2. 仮設モデルの設定

### (1) 本研究の仮説モデルの理論ベース

本研究では、Technology Acceptance Model (技術受容モデル：以下 TAM) に基づき、新技術導入に影響を与える影響要因を分析する。TAMは、コンピュータの利用行動を説明するために、Davis et al(1989)によって導入された人間の行動意思モデルである。TAMの目標は、「幅広いエンドユーザコンピューティング技術とユーザ層に対して、コンピュータ受容の決定要因を説明することであり、それは同時に、簡便で理論的に正当であること」を目指している。すなわちTAMは、どのような新技術とユーザに対しても利用でき、簡単で理論的にもしつかりした新技術の利用モデルを目指しているといえる。TAMの構成概念を図-1に示す。

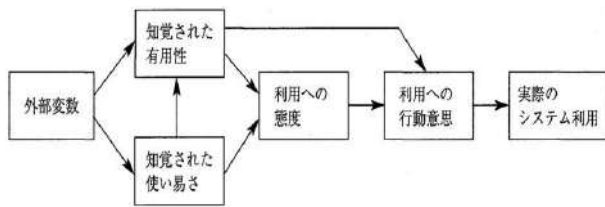


図-1 TAMの構成概念

TAMでは、「知覚された有用性」と「知覚された使いやすさ」という2つの信念が新技術の利用行動を説明する上で重要な要因として捉えられている。「知覚された有用性」(perceived usefulness)とは、「ある組織コンテキストにおいて、特定のアプリケーションシステムの利用が仕事のパフォーマンスを向上させると期待するユーザの主観的な思い込み」のことであり、「知覚された使いやすさ」(perceived ease of use)とは、「対象となるシステムについて、利用努力がいらないとユーザが期待する程度」のことであり<sup>3)</sup>。また、新技術の利用行動に影響を与える要因はすべて「外部変数」としてモデルの中に組み込まれており、これらはすべてユーザの信念を通じて間接的に実際の利用に影響を与えるとされている。

(2) 仮説モデルの設定

本研究は、TAMを採用して、地方中小規模建設会社の新技術受容に関するリスク認知とその影響要因を分析するため、「知覚された有用性」、「知覚された使いやすさ」、「新技術利用の行動傾向」、「willingness to pay」を組み入れた分析モデルを提示する。図-2が本研究で提示する分析モデルである。

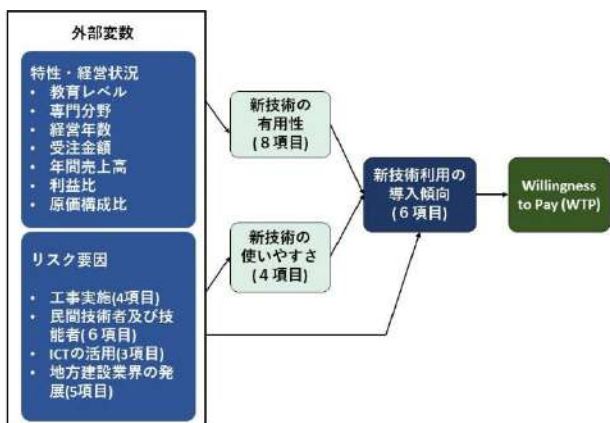


図-2 本研究の仮説モデル

図-2のように本研究の仮説モデルは、「独立変数」に外部変数、新技術の有用性（8項目）、新技術の使いやすさ（4項目）、「willingness to pay」を組み入れている。外部変数は特性・経営状況として、「教育レベル」、「専門分野」、「経営年数」、「受注金額」、「年間売上高」、「利益比」、「原価構成比」。

比」、「原価構成比」と、リスク要因として、「工事実施（4項目）」、「民間技術者及び技能者（6項目）」、「ICTの活用（3項目）」、「地方建設業界の発展（5項目）」を組み入れている。このように、外部変数が新技術の有用性、新技術の使いやすさ、新技術の導入傾向に作用し、また新技術の有用性と新技術の使いやすさも新技術の導入傾向に作用し、新技術の導入傾向はWillingness to Payに作用するという分析モデルになっている。

3. 調査概要

(1) 調査対象・手続き

本研究では、地方中小規模建設会社の新技術導入とその影響要因について、栃木県、茨城県における各受注者300会社へ調査票をメールで配信した。調査票の配信は2021年9月末に実施し、回答の配信を2021年11月末まで受け付けた。その結果を基に、IBMの統計解析ソフトウェアSPSS.21(Statistical Package for Social Science)を用いて相関分析と重回帰分析を行い、新技術導入に影響を与える影響要因を明らかにする。

(2) アンケートの構成

仮説モデルに基づき、受注者の会社の特性・経営状況の設問とリスク要因は計18の設問、新技術の有用性は8項目の設問、新技術の使いやすさは4項目の設問、新技術の行動傾向は6項目の設問をそれぞれ設定した。

表-1 アンケート調査の項目と設問の例

項目及び設問の例	
新技術導入傾向	有用性:ドローン測定の利用によっては仕事の省力化ができる 使い易さ:3次元モデルを作ることが容易 導入傾向:将来新技術を導入したいと思う
リスク要因	工事実施について:工事の品質が心配である 民間技術者技能者:民間技術者技能者が十分休みを取れているか心配である ICTの活用:ICTに取り組むときは、最初は赤字のリスクがある 地方建設業界の発展:生産性向上・省略化が進まないことが心配である

新技術の有用性と使いやすさの設問では、各設問の重要性について質問した(表-1)。特性・経営状況の回答は、「0. 受注者と関係なし」「1. そう思わない」「2. あまりそう思わ

ない」「3. どちらともいえない」「4. ややそう思う」「5. そう思う」から選択する形式とし、リスク要因の回答は「0. 発注者と関係なし」「1. そう思う」「2. ややそう思う」「3. どちらともいえない」「4. あまりそう思わない」「5. そう思わない」から選択する形式とし、新技術の有用性と新技術の使い易さ、新技術の導入傾向の回答は、「0. わからない」「1. そう思わない」「2. あまりそう思わない」「3. どちらともいえない」「4. ややそう思う」「5. そう思う」から選択する形式とした。

表-2 相関分析結果の概要

従属変数	独立変数	相関係数
新技術の 使い易さ	工事实施	0.481***
	民間技術者技能者	0.481***
	ICTの活用	0.564***
新技術利用の 導入傾向	工事实施	0.479***
	民間技術者技能者	0.479**
	ICTの活用	0.562***
	新技術の有用性	0.693**
	新技術の使い易さ	0.999**
	会社経営年数	0.285*
	最高受注金額	0.277*
Willingness to Pay	最低受注金額	0.351*
	年間売上高	0.266*
	利益比	0.279*
	経費	0.393*
	労務費	0.394*
	外注費	0.396*
	材料費	0.394*

\* $p<0.1$ , \*\* $p<0.05$ , \*\*\* $p<0.01$  ( $p$ は有意確率)

#### 4. 調査の結果

##### (1) 相関分析

まず、各項目の従属変数と独立変数に関する相関があるかを調べるために、相関分析を行った。その結果を表2に示した。相関分析の結果は、有意性がある項目のみを載せた。

相関分析では、「新技術の使いやすさ」は「工事实施」、「民間技術者技能者」、「ICTの活用」と強い正の相関が見られ、「新技術導入傾向」は「工事实施」、

「ICTの活用」と強い正の相関、「民間技術者技能者」、「新技術の有用性」、「新技術の使いやすさ」とは中程度の正の相関が見られ、「Willingness to Pay」では会社の経営状況に関する項目にのみ弱い正の相関が見られた。

##### (2) 重回帰分析

各項目の独立変数が従属変数に与える影響を調べるために、重回帰分析を行った。重回帰分析では相関分析で相関があった項目にのみ分析を行った。その結果を表3に示した。重回帰分析は、有意性がある項目のみを載せた。重回帰分析では、「新技術の使いやすさ」を従属変数にしたモデル1の結果、「教育」と「材料費」に10%の有意確立となり、「新技術利用の導入傾向」を従属変数にしたモデル2の結果、「材料費」に10%、「新技術の有用性」には1%の有意確立となり、「Willingness to Pay」を従属変数にしたモデル3では「教育」に5%、「最高受注金額」に10%の有意確立であった。

表-3 重回帰分析結果の概要

モデル	独立変数	標準化係数 $\beta$
モデル1	教育	-0.004*
新技術の 使い易さ	材料費	-0.120*
モデル2	材料費	-0.137*
新技術利用 の導入傾向	新技術の有用性	0.570***
モデル3	教育	0.614**
Willingness to Pay	最高受注金額	-0.591*

\* $p<0.1$ , \*\* $p<0.05$ , \*\*\* $p<0.01$  ( $p$ は有意確率)

##### (3) 支払意思額に関する結果

各建設会社に新技術にどのくらい支払うことができるかの調査を行った結果、図-3のようになった。会社によって支払える金額は異なるが、50万円から200万円と幅広い結果となった。

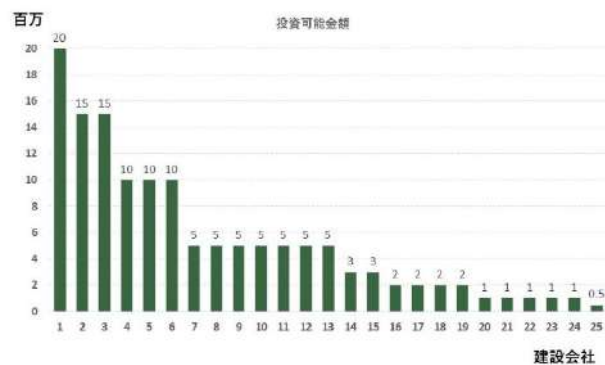


図-3 支払い意思額

各建設会社によって、新技術に投資することのできる金額は異なる。そこで、建設会社での聞き取り調査を基に、各建設会社の投資額を考慮した新技術の導入案を作成した。投資可能金額が100万円以下の場合、3次元測量、データ作成、ICT建機はすべて外注およびリース、投資可能金額が300万円以下の場合、データ作成のみ自社で行い、その他は外注およびリース、投資可能金額が2000万円以下の場合、点群処理を含めた3次元化を自社で行い、建機はリース、投資可能金額が3000万円以上の場合には3次元測量から3次元データ作成、建機をフルスペックの導入を提案する。これにより新技術に投資することのできる金額が少ない会社でも新技術への投資が可能になると考える(図-4)。

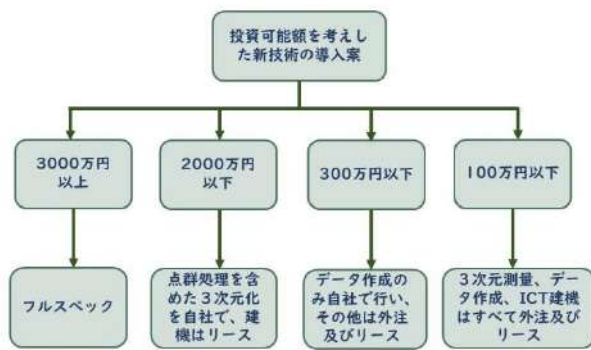


図-4 投資可能金額を考慮した新技術の導入案

## 5. まとめ

本研究では、技術受容モデル (TAM) を発展させたモデルを利用して、どのような外部変数が新技術の有用性と新技術の使いやすさ、さらに新技術の導入傾向に影響を与えるか、茨城県と栃木県で得たデータをもとに分析した。重回帰分析では外部変数として設定した「新技術の有用性」が「新技術の導入傾向」に、「教育」と「最高受注金額」が何らかの形で影響を与えることが確認で

きた。これにより、情報システム・ユーザーの使用促進を目的に構築された技術受容モデル (TAM) が、ICTという新技術への導入傾向、支払い意欲意思決定の分析でも利用可能なことが確認された。さらに、アンケートでは各建設会社の新技術に投資できる金額を調査することができた。この調査の結果と聞き取り調査の結果を基に、投資可能金額を考慮した新技術の導入案を提案した。

## 6. 今後の課題

分析結果から、「地方建設業界発展」との項目が「新技術の導入傾向」の項目に結びつかない結果となった。この結果より、新技術の導入が必ずしも「地方建設業界の発展」には繋がらないことが分かる。また、「新技術導入傾向」から「Willingness to Pay」にも結びつかなかった。この理由としては、聞き取り調査では、実際に利用したくてもそれを扱える人材がいないことや初期費用が高いとの声があった。このことが原因の一つであると考えられる。また、本研究では分析モデルの大きさに対してデータサンプル数が少ないことを考慮して有意水準は広めにとっており、\* $p<0.10$ ,\*\* $p<0.05$ ,\*\*\* $p<0.01$ ,で判断している。

謝辞：本研究は科学研究費助成若手研究「21K14366」の助成を受けて行ったものである。

## 参考文献

- 1) 一般財団法人 建設業技術者センター：地域社会を支える建設業および建設技術者の現状と課題，2020.3
- 2) 渡邊法美，二宮仁志，王玲玲：地方建設会社員の仕事への動機付けに関する基礎的研究，土木学会論文集 F4（建設マネジメント）75(2)，pp200-211，2020.2.28.
- 3) 中村雅章：情報システム利用の人間行動モデル—TAM(技術受容モデル)に関する研究—，中京経営研究第10巻第2号 2001.2

## STUDY ON NEW TECHNOLOGY ACCEPTANCE OF LOCAL MEDIUM AND SMALL CONTRACTORS

Kota SHINOMOTO, Lingling WANG, Satoshi YAMAOKA

To increase productivity in the construction industry, the Ministry of land, Infrastructure, Transport, and Tourism (MLIT) is pushing contractors to apply ICT to construction sites. However, due to the high cost of ICT equipment, many contractors are hesitant to introduce ICT. This study investigates local contractors' risk perception of the introduction of new technologies and their willingness to pay for technologies. The investible amount that local contractors can afford to pay. Based on the results of the study, factors that influence contractors' risk perception and willingness to pay are identified. Moreover, a new technology introduction plan considering the investible amount is proposed in this study.

# 消波ブロック据付の生産性向上に向けた 水中可視化と遠隔吊荷制御

天尾 栄太<sup>1</sup>・藤田 光典<sup>2</sup>

<sup>1</sup>株式会社本間組 土木企画部 (〒951-8650 新潟県新潟市中央区西湊町通三ノ町3300番地3)  
E-mail: eita-amao@honmagumi.co.jp

<sup>2</sup>株式会社本間組 東北支店 土木部 (〒980-0014 宮城県仙台市青葉区本町1丁目11番1号)  
E-mail: mitunori-fujita@honmagumi.co.jp

消波ブロックの水中部での据付作業において生産性を向上させるためには、水中部の状況把握と吊荷ブロックの向きを制御が重要である。本稿では、水中部を可視化できる「自動追尾型リアルタイム3Dソナー」の3Dソナー映像に設計3Dモデルを合成表示して設計断面を確認しながら、吊荷方向制御装置「アクアジャスター®」による遠隔操作で吊荷ブロックの向きを調整する施工方法についてまとめた。

当該技術の活用により、水中視界10cm以下の現場条件において、船上のモニターで水中の状況をリアルタイムに把握しながら短時間で大型消波ブロック50t型をかみ合わせよく正確に据付し、生産性、施工性、安全性を向上できることを確認した。

**Key Words :** *underwater visualization, remote suspension control, computerized construction, 3D sonar, tetrapod in-stallation*

## 1. はじめに (背景)

消波ブロック据付において、水中部への据付は水上部に比べ、据付の効率や精度が劣る。これは水中の状況を視認することが困難であることが大きな理由である。また、消波ブロックはかみ合わせよく据付ける必要があるが、既設ブロックが複雑に入り組んでいるため、据付に時間がかかる。さらに、港湾施設の沖合展開に伴い、気象海象の影響も受けやすくなっている。このような背景から、限られた静穏日を逃さず効率的に精度良く施工することが求められている。

## 2. 従来の消波ブロック据付の課題

従来の水中部への消波ブロック据付作業において、以下の課題が挙げられる。

- ①海象が穏やかな時でも、濁りによって水中視界が確保できない場合は潜水作業が行えず、据付作業が実施できないこと。潜水作業が行えたとしても、濁りの影響で大型消波ブロック全体や据付場所を俯瞰的に広く視認できないために据付に時間がかかること (生産性)。
- ②消波ブロックをかみ合わせよく据付けるために、吊荷

ブロックの向きを既設ブロックの形状に合わせる必要があるが、吊荷ブロックがワイヤーのヨリ等で自然に回転するため据付のタイミングを計る必要があり、時間がかかること (生産性)。

- ③据付位置や据付状況の把握は潜水士の水中目視に頼っており、クレーンオペレータは潜水士の指示に従うのみで据付位置を正確に把握できないこと (施工性)。

- ④クレーンオペレータが潜水士と吊荷ブロックの位置関係を把握する手段が、主に潜水士の呼吸気泡跡であるため、正確な潜水士の位置を把握できず、潜水士が吊荷ブロックと接触するおそれがあること (安全性)。

これらの課題から、消波ブロックの水中部の据付作業において、水中部の可視化と吊荷ブロックの向きの制御が重要であると考えた。

## 3. 課題解決の検討

前項の課題を解決するために、水中の状況をリアルタイムに可視化できる自動追尾型リアルタイム3Dソナーを採用し、消波ブロック据付の目標としてその映像に設計3Dモデルを重ねて表示できるようにした。また、吊荷方向制御装置「アクアジャスター®」を採用し、据付箇所

の形状に応じて遠隔操作により消波ブロックを自在に回転・停止できるようにした。

この2つの技術を組み合わせることにより、水中部の可視化から吊荷ブロックの向き制御までを一連で実施することが可能となり、その相乗効果によって生産性、施工性、安全性を向上できると考えた。

#### 4. 適用技術

##### (1) 自動追尾型リアルタイム3Dソナー

使用した3DソナーはCoda Octopus社製のEchoscope（エコスコープ）である。特徴は以下の通りである。

###### a) リアルタイムに水中状況を可視化

本機器は超音波（ビーム本数16,000以上）を四角錐状（50°×50°の範囲）に照射し、水中構造物や海底地盤の形状が深度毎に色分け表示され、3Dソナー映像として図-1に示すように明瞭に可視化できる。水中視認性が悪い濁り条件下でも水中の状況をリアルタイムに可視化することができる。

###### b) 3Dソナー映像に設計3Dモデルを重ねて表示

3Dソナー映像（点群データ）はGNSS受信と動揺補正装置により座標情報を持っているため、これと同じく座標情報を持った設計3Dモデルを取り込めば、図-2に示すように3Dソナー映像に設計3Dモデルを重ねて表示でき、施工中いつでも出来形の確認が行える。

###### c) 常に吊荷をソナーが捉える自動追尾機能の追加

手動のパンチルト機能に加え、弊社にて、吊荷を自動追尾（ソナー照射位置を自動調整）して常に画面中央に吊荷を表示する機能を追加した。この自動追尾機能により、手動でソナーの向きを合わせる必要がないため、操作員を常に配置する必要がなく、操作ミスなどのヒューマンエラーを防止できる。

###### d) 吊荷および潜水土位置のマーカ表示機能の追加

弊社にて、図-3に示すように吊荷と潜水土の位置にマーカを表示して動きに合わせてマーカも移動する機能を追加した。ソナー映像だけでも吊荷と潜水土の判別は可能であるが、より判別しやすく、見逃しを防止するためにマーカ表示できる仕様とした。

##### (2) 吊荷方向制御装置「アクアジャスター®」

本装置は、ジャイロ効果を利用して水中の吊荷の回転を制御する装置である（写真-1）。クレーンフックに吊り下げ、水上では船上の作業員が、水中では潜水土がそれぞれリモコン（水上は電波通信、水中は可視光通信）で操作を行う。この操作により吊荷を左右に回転させることが可能であり、潮流や慣性力に抵抗して向きを固定し続けることもできる。

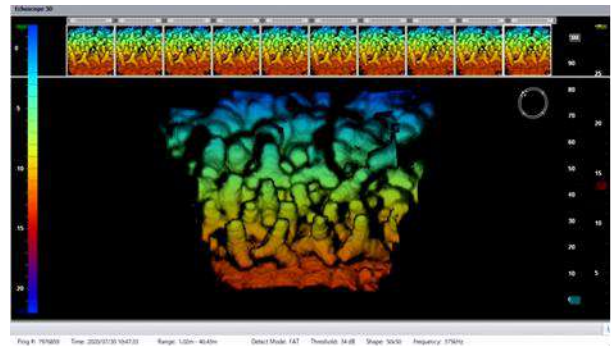


図-1 消波ブロック据付時の3Dソナー映像

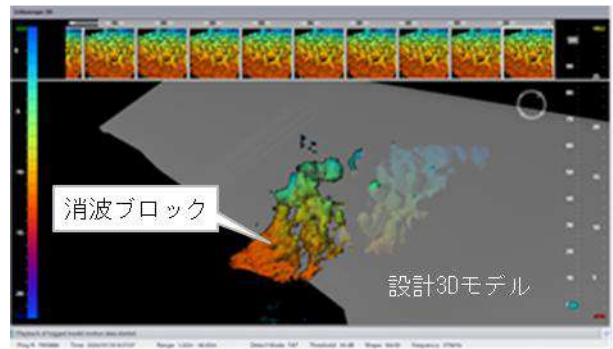


図-2 設計3Dモデル重ね合わせ映像  
※灰色部は消波工の設計法面を示しており、法面に対するブロックの出入りが判別可能

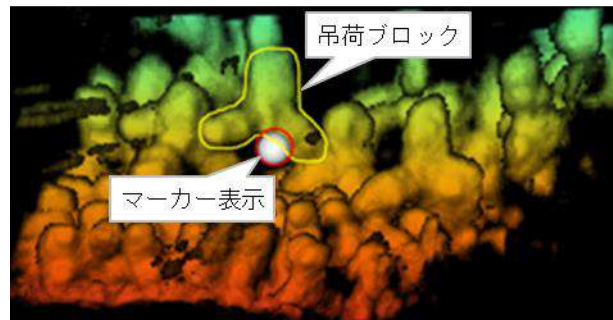


図-3 吊荷のマーカ表示



写真-1 吊荷方向制御装置による吊荷の回転制御

5. 活用事例

(1) 活用現場の概要

適用技術を実際に現場で活用した事例を紹介する。現場は、山形県酒田港の防波堤築造工事「工事名：令和2年度 酒田港本港地区防波堤（南）築造工事」で、上部工嵩上げに伴う消波ブロック50t型の嵩上げ据付に適用した。本工事の施工場所は、図-4に示すように最上川の河口に隣接しているため、濁りが生じやすい特徴があった。

(2) 最上川氾濫による影響

適用技術と通常施工の比較検証として、水中誘導を担当する潜水士が起重機船上で3Dソナー映像を見ながらクレーンおよび吊荷方向制御装置の操作指示を行う方法を計画していたが、山形県内では2020年7月28日からの記録的な大雨により最上川で氾濫が発生した。この大雨の影響で写真-2のように施工場所には濁った川の水が大量に流れ込み、ひどい濁りに加え、流木等の漂流物も確認され、潜水作業を伴う消波ブロックの据付作業が困難となったが、この現場状況でも潜水作業を伴わない当該技術は有効であると判断し実施を決定した。

(3) 施工状況

据付作業は雨が落ち着き、海象が回復した7月30日から実施した。有義波高20cm程度、うねりもなく穏やかであったが、水中視界は10cm以下で潜水作業は行えない状況であった。そこで、以下に示す手順で水中部の消波ブロックの据付を実施した。

まず、起重機船上の潜水士が3Dソナー映像にて据付位置を確認し、クレーンオペレータへの無線指示で据付位置まで誘導する（写真-3）。据付位置付近まで誘導後に3Dソナー映像を正面および側面から確認して位置の調整を行う。この時、はめ込み場所の形状に合わせて、起重機船上からリモコン操作で吊荷ブロックを回転させ、向きを調整する（写真-4）。据付後に設計3Dモデル（設計法面）を3Dソナー映像に重ねて表示し、出来形を満足していることを確認した後にクレーンオペレータに玉外しを指示する。設計3Dモデルは表示／非表示の切り替えが可能であるため、施工中は適宜表示して作業を行った。

(4) 活用の効果

自動追尾型リアルタイム3Dソナーにより、水中視界10cm以下でも水中部を可視化でき、潜水士が水中で誘導を行う通常作業時と同様に据付できた。また、3Dソナー映像に設計3Dモデルを重ねて表示し、吊荷方向制御装置によりブロック向きを調整することで、設計断面を確認しながら短時間でブロックをかみ合わせよく正確に据付

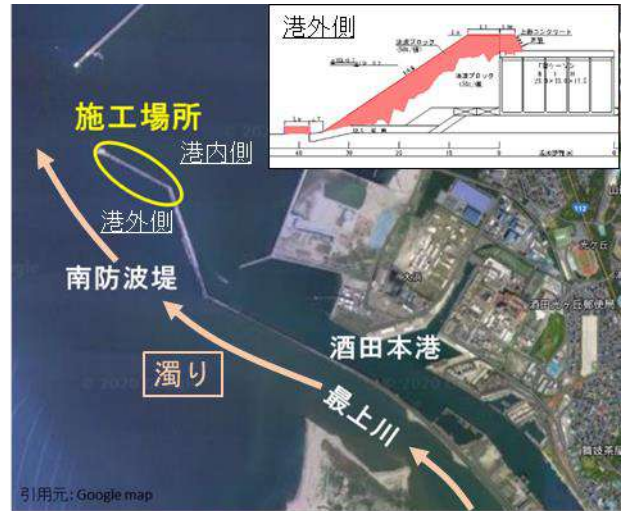


図-4 活用現場の位置図（最上川の河口）



写真-2 大雨の影響による現場の状況



写真-3 潜水士が船上からブロック据付を指示



写真-4 船上からリモコンで吊荷ブロックの向き調整



けることができ、1個当りの据付時間で設計（8.5分/個）以上の効率を確保した。海中の濁りが解消するまで当該技術による据付を計4日間実施し、濁り解消後に消波ブロック据付出来形を潜水確認して所定の据付断面（精度）が確保されていることを確認した。

従来であれば濁水により作業不能となるが、当該技術によって施工可能となり、特に夏季の日本海側の静穏度が高い時期に波浪以外の要因（濁り）による作業不能日を低減できた。

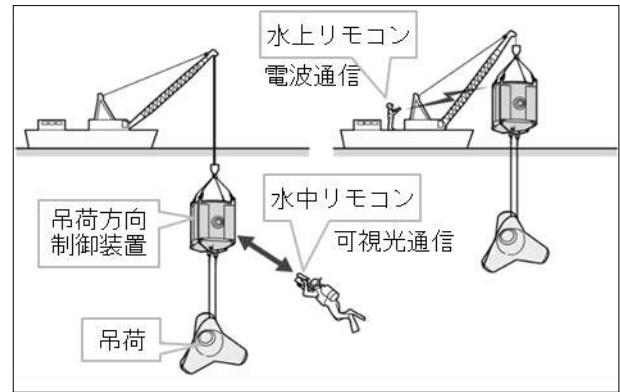


図-5 吊荷方向制御装置の水中と水上でのリモコン操作

## 6. 今後、期待できること

### (1) 生産性向上

3Dソナー映像により大型消波ブロックや据付場所を俯瞰的に広く視認できるため、多くの現場において限られた水中視界に頼った誘導よりも据付時間を短縮できる可能性がある。今後、3Dソナー映像が細部までより詳細に表示可能になれば、更なる生産性向上が期待できる。また吊荷方向制御装置については、アスファルトマット敷設などの高い精度が求められる場合に、水中で潜水士が目視しながら自らリモコン操作することで、複数の潜水士が人力で行っていた位置決め作業において、時間短縮や省人化につながり、生産性向上が期待できる（図-5）。

### (2) 施工性向上

クレーン操縦席のモニタにも3Dソナー映像を表示すれば、据付位置や据付状況をクレーンオペレータが直接把握できるため、更なる施工性の向上が期待できる。3Dソナー映像に3Dモデルを重ねて表示できることを活かし、施工範囲や据付目標位置を表示する等、多様な使い方が考えられるため、施工管理への活用が期待できる。

### (3) 安全性向上

消波ブロック据付作業において、潜水作業を伴わない

当該技術は、安全性の向上、水中作業の負担軽減にも寄与するものである。また、潜水士による水中誘導が必要な作業でも、吊荷と潜水士をマーカー表示できるため、クレーンオペレータが明確に位置関係を把握して吊荷と潜水士の接触を防止でき、安全性の向上が期待ができる。

## 7. おわりに

自動追尾型リアルタイム3Dソナーと設計3Dモデルの合成、吊荷方向制御装置「アクアジャスター®」の組み合わせにより、今回のような厳しい条件下においても消波ブロックの水中部据付の課題を克服し、生産性、施工性、安全性を向上できることを確認した。今後もこれらの実績を積み重ね、建設現場の生産性を向上させるi-Constructionの取り組みを継続していきたい。

謝辞：最後に、東北地方整備局港湾空港部をはじめご指導いただいた関係者皆様に深く御礼申し上げます。

(2022.5.20 受付?)

## UNDERWATER VISUALIZATION AND REMOTE LIFTING CONTROL FOR PRODUCTIVITY IMPROVEMENT OF TETRAPOD INSTALLATION

Eita AMAO, Mitunori FUJITA

In the installation work of the underwater part of the Tetrapod, it is important to understand the underwater conditions and to control the direction of the suspended blocks in order to improve productivity. This article describes a construction method for adjusting the direction of a suspended block that adjusted remotely by the “AquaJuster®” — a direction controlling device, while confirming the design cross section by combining the 3D sonar image with the design model, using “Automatic tracking real-time 3D sonar” that enables visualization of underwater areas.

By utilizing this technology, we confirmed that productivity, workability, and safety can be improved by accurately installing a 50t-type tetrapod in a short time, while monitoring the underwater situation in real time through an onboard monitor under the site conditions of less than 10 cm visibility.

# 大河津分水路新第二床固改築 I 期 “OX(大河津DX)” でこれからの100年を造る

荻野 剛<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 鹿島建設株式会社 (〒107-8388 東京都港区元赤坂1-3-1)

E-mail:ogino@kajima.com

大河津分水路は信濃川（新潟県燕市）より分岐し、同長岡市寺泊野積で日本海に注ぐ人工河川である。大正11(1922)年の通水から今年100年を迎えるなかで、建設当時の技術的制約等から水路としての機能には多くの課題を抱えている。

国土交通省北陸地方整備局では平成27(2015)年より「令和の大改修」と称し、大河津分水路左岸側山地区及び低水路拡幅、拡幅に伴う橋梁（野積橋）の架替、および第二床固の改築（新第二床固の建設）などの事業に着手している（図-1）。また、信濃川河川事務所は平成31(2019)年に「i-Constructionモデル事務所」の一つに選ばれ、「3次元情報活用モデル事業」として、当工事も建設現場DX〔OX：大河津DX〕に取り組んでいる。本稿では様々な技術を活用し施工プロセスにおける“見える化”を図っている事例について報告する。

**Key Words :** digital transformation times, remote presence, underwater visualization

## 1. はじめに

鹿島・五洋・福田JV（以降、二床JV）は大河津分水路河口部から約730m上流の現分水路内（幅180m）に床固構造物を改築する工事を担当している。工事概要を表-1に示す。大河津分水路は信濃川の洪水から越後平野を守る機能を果たしており、何時発生するか分からない洪水に備え常に流下能力を維持しなければならない。このため、河川内に仮締切を設けたドライ施工を採用することができず、工場で作製した鋼殻ケーソンを1函ずつ曳航沈設する工法で施工している。

100年前の施工当時に海外から導入した大型建設機械がその後の土木工事の近代化・機械化に寄与したように、

二床JVではこれからの100年に繋がればとの思いで新技術を積極的に採り入れている。本報ではその取り組みの実績を報告する。

## 2. デジタルトランスフォーメーション

現在、各方面でDXの名のもと業務変革が進んでおり、二床JVでも建設現場DX〔OX：大河津デジタルトランスフォーメーション〕に取り組んでいる。主な内容は、遠隔臨場と水中可視化である。

表-1 工事概要

工事名	大河津分水路新第二床固改築 I 期、同その2工事	
発注者	国土交通省 北陸地方整備局 (信濃川河川事務所)	
施工者	鹿島・五洋・福田特定建設工事共同企業体	
施工場所	新潟県長岡市寺泊野積地先	
工期	2019年2月13日～2024年12月27日	
工事内容		
	鋼殻ケーソン設置工	9基
	本堤工（摩耗対策プレート）	9基
	継手工	8箇所
	減勢工（鋼殻設置）	80基
	仮設工	1式

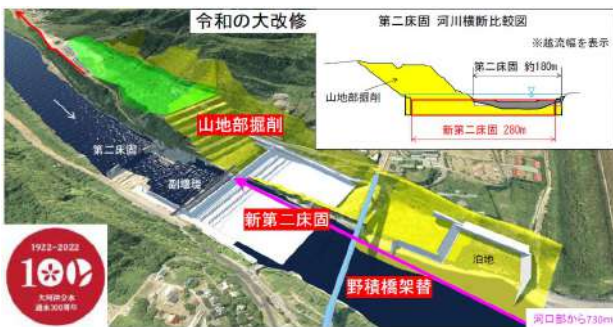


図-1 令和の大改修

(1) 遠隔臨場

遠隔臨場では施工管理における全ての臨場を例外なく遠隔でやり切る（フルリモートによる合理化）ことを目標とし、VR空間に仮想現場を構築し多人数が同時に遠隔から参集して、BIM/CIMモデルや点群データに画像データや帳票、360度の画像およびライブ映像などを組み合わせることで合意形成・業務の効率化を図る。

a) システムの概要

遠隔臨場では㈱リコーが開発した多人数同時参加型VR「リコーバーチャルワークプレイス（VWP）」を利用している。複数の関係者が各々の場所からVR空間へ集合し、BIM/CIMモデルや360度カメラのライブ配信画像に入り実際には立ち入ることのできない水中や危険箇所でも現地にいるかの如くの臨場感で合意形成が可能となった。実際に、水中下での洗堀部分の状況把握や鋼殻ケーソン設置位置の岩盤確認（図-2）、遠隔地（北九州市）での鋼殻製作工場検査などの段階確認で活用している。

b) 中間技術検査での活用

昨年度末、北陸地方整備局としては初の試みとしてVRを用いた中間技術検査を実施した（表-2）。北陸地方整備局（新潟市）、信濃川河川事務所（長岡市）、JV事務所（長岡市）及び現場（長岡市寺泊野積、柏崎市）をインターネット通信環境上で繋ぎ、午前中はTeamsを使用した書類検査、午後はVRを用いた現場臨場を行った。

初めての取り組みであり移動時間の縮減等の想定された効果のみならず、検査官に対してVRを用いた臨場感のある現場説明を行うことで短時間で明確に工事の内容を伝えることが出来た。また検査時間そのものも短縮することが出来た。その一方で①通信環境による影響（画像解像度、声の遅れ、反応速度等）が大きい、②検査官からの口頭による指示に対し直観的に反応できない、③長時間（1.5時間）のVR装着（写真-1）による感覚疲労などVR故の課題も抽出された。

将来的には360度カメラ映像を繋ぎストリートビュー的に現場を確認、或いはライブ映像内で計測が行うなど

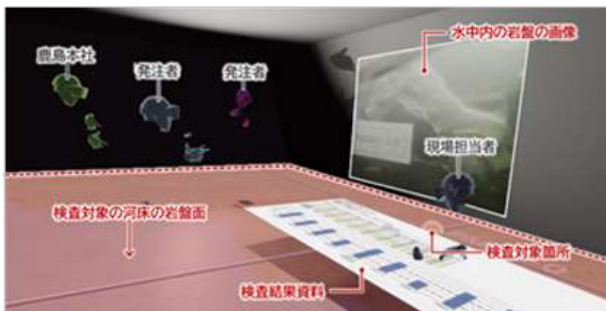


図-2 鋼殻ケーソン設置岩盤の確認状況

全ての臨場に活用できるように開発を継続している。

(2) 水中可視化

従来より水中掘削では熟練技能者の感覚に頼るところが大きく、追加作業や仕上げ段階の手戻りが多く発生していた。最近では水中ソナーで把握した点群データをマシンガイダンス（MG）に取り込み、バックホウのバケット軌跡を反映させて水中での画像を更新していく技術もあるが、バケット通過後の形状がそのまま維持されることが前提となっている。そのため、実際にはバケットからのこぼれや背面への土砂の回り込みが生ずることも多く、水中ソナーでの確認後に再施工を行う必要があった。今回、バックホウ浚渫船に水中ソナーを装備して、河川内掘削作業中の必要な時に河床形状を点群データとして測定し、リアルタイムに可視化するシステムの適用を図った。

なお、当システムについては2021年度の『建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト（PRISM）』に採択され、合格の評価を受けた。

a) システムの概要

本システムの機器構成はバックホウ本体に取り付けたマシンガイダンスとバックホウ浚渫船の船首船底側に取

表-2 中間技術検査概要

検査日	令和3(2022)年1月12日（水）
検査方法	リモート資料確認, VRを活用した遠隔臨場
検査場所	北陸地方整備局, 同信濃川河川事務所 JV事務所及び現場 (大河津左岸河口, 柏崎港)
検査対象	鋼殻ケーソン, 減勢工等の出来形・保管状況
使用機器	[コラボレーションプラットフォーム] Teams [VR] VWP: リコーバーチャルワークプレイス [ウェアラブルカメラ] Safie, 360度カメラ (THETA360)



写真-1 中間技術検査実施状況（北陸地方整備局）

取り付けられたマルチビームソナーに大別される（図-3）．マシンガイダンスによるバケット刃先位置情報とマルチビームソナーで入手した点群データを高性能PCによって統合し運転席に設置したモニタ画面に表示させる．また、マルチビームソナーによる測量結果は、クラウドアプリを用いて関係者へリアルタイムに情報共有され、掘削状況に応じた施工方法の検討や設計値に対する過不足の把握をオペレータと共に確認できるようにした。

b) システムの適用とその効果

本システムで使用するマルチソナーは任意のタイミングで測量ができ、その都度河床の形状が更新されリアルタイムで運転席のモニターに表示されるため精度の高い施工と施工の効率化を実現できた．また、河床の状況が可視化されるため熟練オペレータでなくとも画面を見ながら的確な操作が可能となった（図-4）．

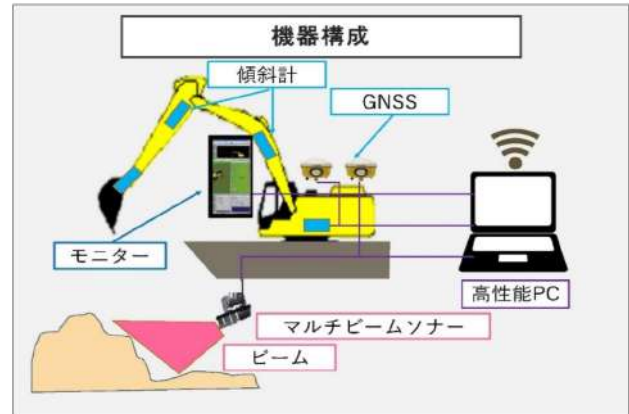
これまでオペレータ任せになっていた掘削作業が、PC画面を通じ関係者全員で河床形状が把握可能となったことで、作業方法の検討や進捗・出来形不足に対する追加施工の指示など、多面的で詳細な施工管理が可能となった．また、本システムの精度は測量船による深淺測

量と同等であり、世界測地系による点群データで出力できるので土量計算にも活用できる。

3. 更なる“見える化”

(1) 倒れた止水壁の見える化

令和3（2021）年8月の前線豪雨にともなう出水により、撤去準備中であつた鋼殻止水壁が倒壊した．本来であれ



マシンガイダンス	GCS900
測量結果表示	Trinble Marine Construction
マルチビームソナー	SeaBat T20 制御ソフトウェア：SonarUI 解析ソフトウェア：PDS
クラウドサーバ	BOX

図-3 システム機器構成

表-3 システムを活用した施工フロー

①	掘削範囲の計画（設計図の作成）
②	バックホウ浚渫船にMG/水中ソナーを設置
③	事前測量（現況把握）
④	システムに測量結果を反映させた上で掘削
⑤	掘削作業後に水中ソナーを用いた現況測量
⑥	測量結果をもとにバックホウ浚渫船で再掘削以降⑤、⑥を繰り返す
⑦	施工完了後に出来形確認、評価

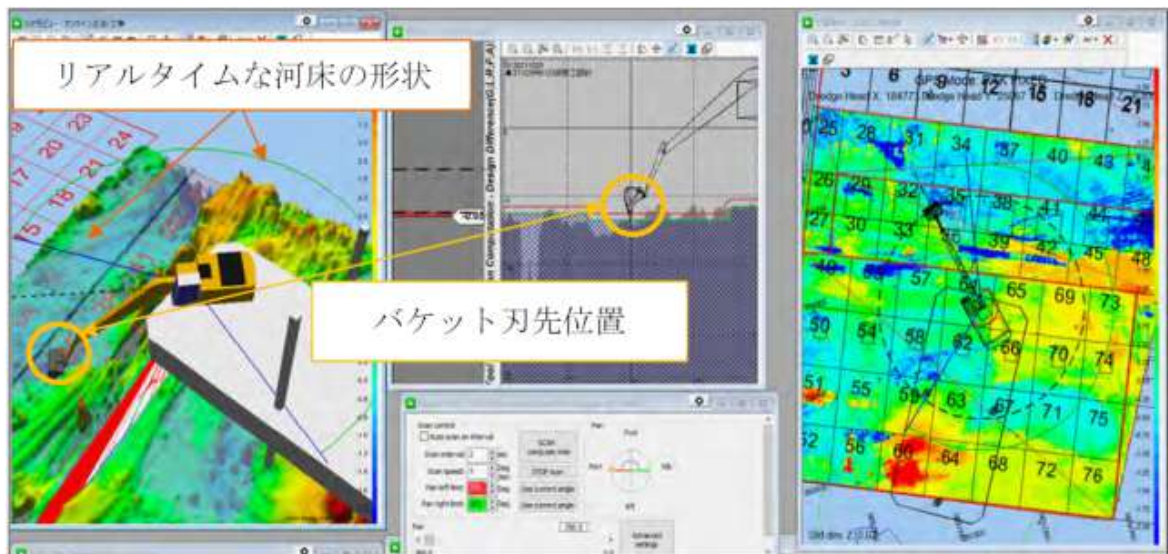


図-4 運転席モニターでの表示状況

ば水面上にて玉掛けし分割揚重撤去する手順であったが、止水壁が水中で不規則に折り重なった状態で実態が把握できず、そのまま潜水士が撤去作業することは大変危険であった。このため水中音響3Dスキャニングソナーを用いて水中の状態を点群データ化した。(写真-2) そのデータを見ながら止水壁の撤去方法を検討するとともにVWPを用いて潜水士に水中作業を疑似体験させることで安全に撤去作業を行うことができた。

## (2) 現場の見える化

広大な現場に散在する資機材の管理を目的とし、ドローンで撮影した動画を基に資機材を検知するシステムをAI inside(株)と共同で開発に取り組んでいる。AIモデルにより動画から資機材を自動検知し、BIM/CIMソフトウェアのNavisworksと連携させることで位置情報を持たせることを目指している。具体的なステップは以下の通り。ステップとして①ドローンが撮影した動画から映像を切り出し推論、②AI (LearningCenter) で画像認



写真-2 倒れた止水壁の潜水士による確認状況

識後重複する物体情報を排除、③動画から座標情報を算定、時刻情報を取得、④Navisworksを使用し位置の特定、⑤Navisworks上の資機材を用いた施工計画に活用。

現状は試作段階でありバックホウ及び発電機をAIモデルとして学習させている。(図-5) 今後は他現場への展開も視野にAIモデルを増やす取り組みを行う。

## 4. おわりに

新第二床固の建設工事は現在も鋭意施工中である。今回紹介した取り組みに留まらず、“計測の見える化”や“河川水位の見える化”など様々な技術の現場導入や開発を通じてOXを発展させ、現場管理の高度化や生産性の向上を図り、これからの100年に繋がる施工管理システムの構築に積極的に取り組んでいく。

謝辞：本取り組み〔OX〕の実施に当たりご指導いただいている国土交通省北陸地方整備局の関係者皆様に心より感謝の意を表す。



図-5 ドローン画像から資機材を判別

BUILD THE NEXT 100YEARS WITH “OX (OHKOUZU DX)”

Takeshi OGINO

The Ohkouzu diversion channel is an artificial river that branches off from the Shinano River (Tsubame City) and flows into the Sea of Japan at Teradomari (Nagaoka City). As we enter the 100th anniversary of the water flow in 1922, we are facing many problems due to technical restrictions at the time of construction.

The Hokuriku Regional Development Bureau of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism has called it "Reiwa's major renovation" since 2015. We have started projects such as widening of the mountainous area on the left bank of the Ookoudu diversion canal, replacement of the bridge (Nozumi Bridge) due to widening, renovation of the second groundsill (New Second Groundsill). In addition, Shinanogawa River Office was selected as one of the "i-Construction Model Offices" in 2019. They are working as a "3D information utilization model office". This work is also working on the construction site DX [OX : Ookoudu DX]. In this paper, we report an example of "visualization" in the construction process by utilizing various techniques.

# インフラ分野におけるメタバースの活用

房前 和朋<sup>1</sup>・猪井 知明<sup>2</sup>・佐藤 隆洋<sup>3</sup>・中村 圭吾<sup>4</sup>

<sup>1</sup>国土交通省九州地方整備局 インフラDX推進室 建設専門官

(〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7)

E-mail: fusamae-k8910@mlit.go.jp

<sup>2</sup>国土交通省九州地方整備局 インフラDX推進室

<sup>3</sup>日本工営株式会社 事業戦略本部 DX推進部 部長

<sup>4</sup>公益財団法人 リバーフロント研究所 主席研究員

九州地方整備局では、平成30年からインフラ分野におけるゲームエンジンを用いたメタバース・デジタルツインの社会実装に向けた技術開発に取り組んできた。令和3年7月には、「河川CIM標準化検討小委員会成果報告書」においてゲームエンジンによる川づくりを河川CIMの標準化案の一部として提案。令和3年12月16日には、山国川の未来の姿をメタバースとして構築し、我が国で初めて社会実装（住民との合意形成）した。

その結果を取りまとめ、インフラ分野のメタバース活用のマニュアル、解説動画、プログラム等を公表、国土交通省や学会等が主催する講演会にて普及促進に取り組んでいる。

**Key Words :Metaverse, DigitalTwin, BIM/CIM, Game Engine, Unreal Engine**

## 1. はじめに

メタバースとはニール・スティーヴンスンのSF小説で用いられた「Meta（超越）」と「Universe（宇宙）」を組み合わせた造語である。統一的な定義はないが、ここではメタバースを「ゲームエンジン等を用いて仮想の空間をサイバー空間上にビジュアライゼーションすること」とする。

epic games社のフォートナイトは、公式Twitterで2020年5月に登録プレイヤー数が3億5000万人を超えたと発表する等、現時点でも大規模なメタバースが運用されている。さらに、2022年1月には米Microsoftが公式ホームページ等で米ゲーム大手アクティビジョン・ブリザードを687億ドルで買収する意向を発表するなど、多くの企業がメタバース分野に注力、急速に利活用が進んでいる。このメタバースを支える技術群は、ゲーム業界以外にも製造業や映像作成等の多くの分野で活用されている。

土木分野では測量技術が発達しており、LP（Laser Profiler）、MMS（mobile mapping system）等で計測された国土の正確なデジタルデータが大量に蓄積されている。

現実世界のデータをもとに作成されたメタバースはデジタルツインとも呼ばれ、ビジュアライゼーション、シミュレーションなど様々な用途に用いることができるた

めインフラ分野は特に重要である。

土木分野で蓄積されたデジタルデータは、メタバースで用いられる「ゲームエンジン技術」で扱うことが可能である。一方で、土木分野ではそもそもゲームエンジン技術を活用するという発想が乏しく、その技術を組み込んだワークフローが検討されていなかったため、活用されることが少なかった。

## 2. 九州地方整備局の取り組み

九州地方整備局では、平成30年6月に九州技術事務所にてVR研究室を設置、インフラ分野におけるゲームエンジンを用いた技術開発を開始した。

令和元年6月には国立研究開発法人土木研究とデジタル技術の開発に関する協定を締結した。

令和3年には土木分野のデジタルデータをゲームエンジンで使用可能にする技術を開発し、同年7月には「河川CIM標準化検討小委員会成果報告書」で、ゲームエンジンを河川CIMのワークフローの一つとして提案した。

令和3年12月16日には山国川かわまちづくり（福岡県吉富町）において、ゲームエンジンを用いて整備後の姿をサイバー空間上に構築、住民との合意形成を実施した。

令和4年2月には、本技術の活用マニュアル、学習用動

画、データ変換プログラム、九州の河川における植物重要種の3Dモデルデータなどを作成しインターネットで公開するとともに、整備局や学会等が主催する講演等で普及促進の取り組みを行っている。

本技術で用いるゲームエンジンのソフトウェアは無料であり、蓄積された国土のデジタルデータが容易に利用可能となったことから、土木分野での急速なメタバース技術の活用や展開が期待される。

### 3. デジタル技術を用いた川づくりの課題

近年、BIM/CIM等のデジタル技術を用いることで、効率的かつ新たな利点を持った川づくり手法の開発が進められている。このような川づくりにおいて、以下の2つの課題がある。

#### (1) 完成イメージの共有手法

図面から完成イメージを正確に把握するには、高度な専門知識が必要となる。このため住民等に図面で完成イメージを説明しても正確に伝わらないことが予想される。

基本計画の段階での完成イメージの共有には、イメージパースやフォトモンタージュ、3DCG等が用いられることも多いが、限定された数枚の固定された視点からの映像では、得られる情報が少なく細部については完成イメージ等を類推する必要が生じる。専門知識の大小等によって類推するイメージに齟齬が生まれ、円滑な合意形成を阻害することも予想される。

#### (2) デジタルデータの不連続性

近年の河川整備事業では、3次元データの活用が進められている。例えば、測量の段階では、LPやALB (Airborne LiDAR Bathymetry) といった手法によって、河道の3次元測量データが取得できるようになってきた。設計の段階では、BIM/CIMの推進により、3次元設計が必須になりつつある。施工の段階ではICT活用工事の中で、施工用の3次元データが作成され、このデータを搭載したICT建機による施工が行われている。

一方で、先に述べたように、基本計画の段階ではパースやフォトモンタージュが用いられることが多い。このため合意形成段階において、デジタルデータからアナログデータ (パースやフォトモンタージュ) を作成する必要があり、合意形成後は逆に、アナログデータからデジタルデータを作成することになる。このため、後工程への設計意図の伝達の点で、技術者の熟度や専門性により受け止め方が異なることが課題であり、さらに、データを引き継げないことによる効率性の低下やコスト高につながってしまう。

### 4. メタバースの活用による課題の解決

前章で述べた課題は、ワークフローにアナログとデジタル作業が混在することによるデータ連携の観点と、完成イメージから想像する空間認識の齟齬によると考えている。そこで、データ連携と空間認識の観点に着目し、メタバース技術を用いて解決した。

#### (1) メタバースを用いた完成イメージの共有

LP等の測量データや工事の設計データを元にメタバースを作成することで、施工前に施工後の仮想世界を体験することができ、極めて正確に完成イメージの共有が可能である。また、自由な位置、自由な角度から完成後のイメージを確認できる他、時間や天候、季節等も自由に設定可能である。



図-1 ゲームエンジンで作成した河川空間例

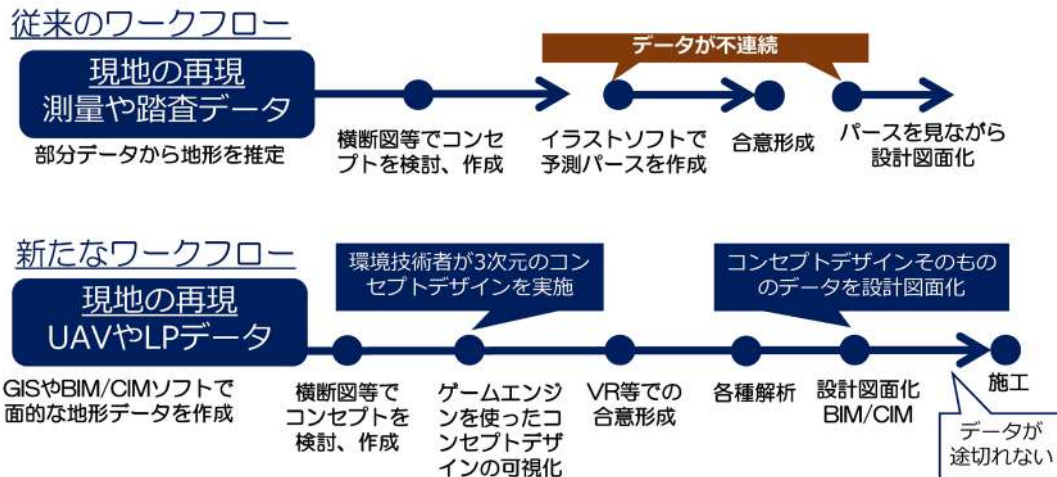


図-2 多自然川づくりの従来のワークフローおよび課題と新たなワークフロー

従来は作成した範囲外にはデータが無いため、遠景の景観を考慮できていなかったが、現在ではゲームエンジン用に公開されている地球全域の3Dデータを取り込むことで、作成した範囲外についても無限に仮想世界を広げることができる。このため、遠方の山なみ等も簡単かつ正確に表現可能である。

さらに、ゲームエンジンで用いるリアルタイムレンダリング技術では専用のハードウェアであるGPUを使用することで1秒間に30枚～60枚程度の高画質な3DCGを作成可能である。近年では光の工学的振る舞いをシミュレートしたray tracingを用いた描画も可能となり、極めて高い品質の画をリアルタイムで描画する（図-1）。

このため質感等を含めたデザインの修正がリアルタイムで反映され、修正結果の確認に要する時間が大きく縮減される。これまでイメージ作成に要していた時間の一部を検討の試行回数を増やすことに使うこともできる。

その他、ゲームエンジンはVR（Virtual Reality）化することも容易なため、実際の空間が完成する前に、人間の目線で空間の使い勝手や危険箇所の確認をすること、遠隔地のユーザーと仮想空間を介して完成イメージを共有することが可能である。

(2) デジタルデータの連続性の確保

デジタルデータの連続性を確保するため、メタバース技術を用いたワークフローを図-2に示す。測量・計画・設計・施工の全工程を、すべて連続したデジタルデータで行うことが可能となり、効率性が向上した。

これまでパースやフォトモンタージュ等が用いられていた計画段階にはゲームエンジンを活用している。ゲームエンジンとしては、Epic Games社のUnreal Engineを使用した。Unreal Engineを選定したのは、映像品質が他のゲームエンジンと比較して優れており建築・製造業向けテンプレートが配布されているためである。

河川CIM標準化検討小委員会においてゲームエンジンを活用が検討され、前段階の測量や後段階の設計とデータの連続性確保が可能となった。このワークフローを実践するため、測量、計画、設計、施工の各段階におけるデータのフォーマットについて整理をした。整理結果を図-3に示す。

ワークフローの開始点の測量段階では、LPデータやALBデータ等の3次元点群データが整備されている。一般にこれらはCSV形式等で納品される。次の基本計画の段階では、測量段階のデータをゲームエンジンに読み込ませ、ゲームエンジン中に現況地形を再現する。ゲームエンジン中の地形データは、マウス操作等によって簡単に切土や盛土といった地形の編集が可能である。この機能を用いて河川空間のコンセプト検討を行い、検討した空間で合意形成を実施する。

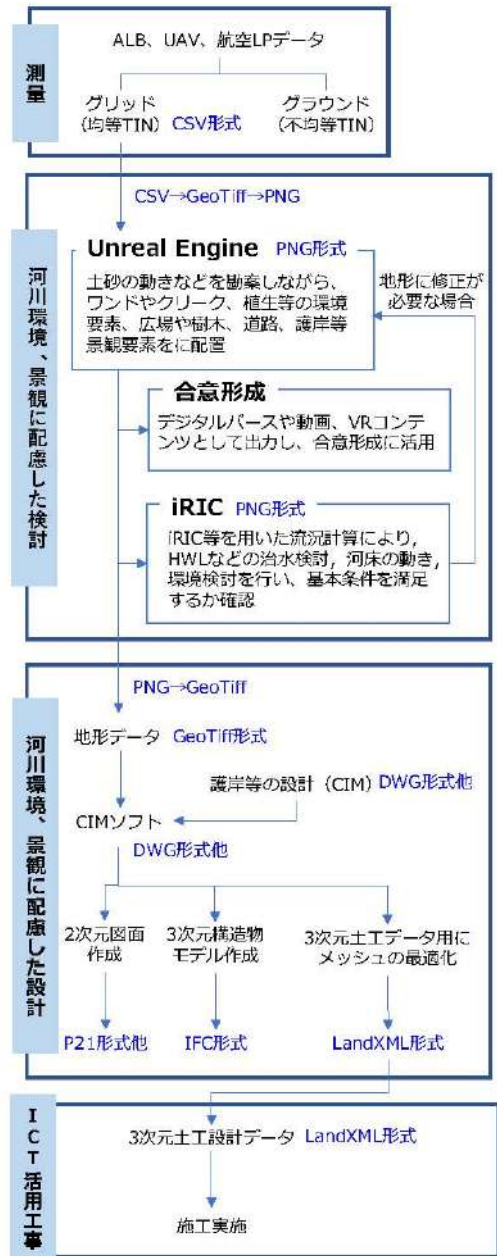


図-3 ワークフローのデータフォーマット整理

しかし、上記のようにゲームエンジン中で地形を編集するためには、PNG形式のデータから地形を再現する必要がある。よって、測量段階のCSV形式等のデータをGeoTiff形式を介してPNG形式に変換し、これをゲームエンジンに読み込ませて現況地形を再現する。コンセプト検討、合意形成を終えた後の設計段階では、再びデータをGeoTiff形式に変換して、BIM/CIMソフトへと受け渡し、設計図化を行う。BIM/CIMにおいては、土工データはLandXML形式で納品されることになる。このデータは施工段階のICT活用工事で活用されることになる。



## 5. 土木分野におけるメタバースの社会実装

土木分野におけるメタバースの社会実装を、令和3年12月16日に山国川かわまちづくり（福岡県吉富町）における住民との合意形成にて実施した。

説明会には住民60名が参加した。かわまちづくりの設計を基にゲームエンジンを用いてサイバー空間上に整備後世界を構築、大型モニターにて体験した。また7名にはHMDを用い、VRで仮想世界に入り整備内容の詳細について体験した。住民等からの主な意見を以下に示す

- ・インフラ整備前に「整備後」を体験できる点が画期的。
- ・詳細まで整備内容を確認できる。
- ・HMD（ヘッドマウントディスプレイ）を使用することで立体視が可能となり規模（サイズ）を把握しやすい。
- ・ドッグラン箇所の夏の日影が再現でき、利用時の快適さを確認できた（図-4）。
- ・子供たちが利用する親水水路の推進や飛び石の間隔、段差など、安全に関する内容の確認が容易。
- ・樹木の配置や護岸の形状をその場で変更できるため、比較検討が容易。



図-4 ドッグランの日影の確認映像

## 6. 土木分野におけるメタバースの課題

メタバースはゲームエンジンを用いることで比較的容易かつ低コストで作成可能であるが、実際の測量結果にもとづいたデジタルツイン（現実を正確に再現した仮想世界）については、高度で複雑な作業が生じる。このた

め九州地方整備局では令和4年2月1日に「ゲームエンジンを用いたインフラ整備の設計手法のマニュアル（案）」としてとりまとめ、14の解説動画、作業を簡略化するプログラムやデータファイルと合わせて公開した。今後も普及促進のため情報提供や講演会などを積極的に行う必要がある。

またゲームエンジンに標準で使用できる植物モデルは外国のものが多く、このため九州管内の河川周辺に生息する重要種50種類の3Dモデルを作成した。今後も植生や護岸、特徴的な地形などのデータを作成、公開する必要がある（図-5）。



図-5 作成した重要種の3Dモデル

## 7. まとめ

土木分野においてメタバース技術を活用することで、インフラ整備の計画・設計段階で完成後の状態を疑似体験することが可能となった。住民との合意形成等での活用効果が高く、より優れた社会資本整備を推進することが期待できる。

また、測量・計画・設計・施工を一貫してデジタルデータで行うことにより、事業の円滑な実施や効率性の向上が期待される。

今後は本技術の普及促進を行うとともに、各種のシミュレーション結果やAIと組み合わせることで、さらなる活用手法の開発を行う。

## LEVERAGING THE METAVERSE IN THE INFRASTRUCTURE SECTOR

Kazutomo FUSAMAE, Tomoaki INOI, Takahiro SATO and Keigo NAKAMURA

The Kyushu Regional Development Bureau has been working on the metaverse in the infrastructure field since 2018. In July 2021, as part of the draft standardization of river CIM, we proposed river creation using a game engine. On December 16, 2021, the Kyushu Regional Development Bureau created a metaverse of the Yamakuni River and used it to explain to residents. In the future, we will disseminate this technology.

# DXを用いた災害対応の新たな取り組み

房前 和朋<sup>1</sup>・南竹 知己<sup>2</sup>・猪井 知明<sup>3</sup>

<sup>1</sup>国土交通省九州地方整備局 インフラDX推進室 建設専門官

(〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7) E-mail: fusamae-k8910@mlit.go.jp

<sup>23</sup>国土交通省九州地方整備局 インフラDX推進室

近年九州では、大災害が高頻度で発生している。頻発する大災害に対して、防災能力の向上、被災地の速やかな日常の回復には非常に大きな国民のニーズがある。このため、九州地方整備局では災害対応においてもDXに取り組んでいる。九州地方整備局では、災害の調査手法をデジタル化し安全かつ効率的な災害調査を行う手法を開発した。さらに、開発した技術を国土交通省職員で組織するTEC-FORCE（緊急災害対策派遣隊）にて社会実装し、その効果を確認した。

本技術で取得するデジタルデータは、計画・災害査定・設計・施工の工程でも活用可能である。このため災害復旧を行う上で非常に重要である、災害査定への活用のための実証実験を行った。

**Key Words :DX, natural disaster, Digitization, Drone,LiDAR, TEC-FORCE**

## 1. はじめに

近年九州では、平成28年熊本地震、平成29年7月九州北部豪雨、平成30年7月豪雨（西日本豪雨）、令和2年7月豪雨等の大災害が発生している。頻発する大災害に対して、防災能力の向上、被災後の速やかな日常の回復は非常に大きな国民のニーズがある。

このため、九州地方整備局では災害対応のDXに取り組み、デジタル技術を用いた災害調査手法を開発、社会実装した。また、災害復旧を行う際、非常に重要となる災害査定についても本技術を活用した手法を開発、九州財務局、九州農政局、地方自治体と連携し実証実験を行った。

DXは簡単に言えば「働き方の改革」であり、非常に多くの労力を必要とする災害対応は最も省力化のニーズが高く、危険と隣り合わせの被災地においては安全の確保も重要となる。

また、高度、高価、特殊な機材を用いる技術では使用できる組織が限定される。技術の重要性を鑑みると、できる限り広く用いられることが望ましいため、簡単かつ低コスト、入手しやすい機材をできる限り使用し本技術を導入しやすくする配慮を行っている。

## 2. 災害調査のデジタル化

災害が発生した場合、最初に求められるのが被害状況の把握である。被災調査現場の計測には、様々な計測機器が必要で、また多くの人数を要する。大量の計測機器を所持し被災直後の現地を移動・調査することは、体力の消耗だけではなく、安全面でも問題が生じる。

そこでデジタル技術を用いて災害調査を変革することで、簡単かつ少ない労力で、安全かつ迅速に調査を行うこと技術を開発し実際の災害調査に用いた。

R4年1月22日（土）、日向灘を震源とする震度5強の地震が発生、DXを用いた手法による調査を実施した。

被災自治体からの依頼を受け、TEC-FORCEが11時20分に福岡を出勤。15時00分現地到着、地元調整後調査を開始し、17時00分に現地作業を終了した。

調査対象の面積は約2万m<sup>2</sup>と規模が大きかったが、約90分で各種現地調査を完了、データ解析、資料とりまとめ、クラウドを用いたインターネットによる共有を含めた全作業を災害発生から24時間以内に完了した。

従来技術で実施した場合、2週間程度の工期を要すが、本技術では1日を要さないため、十倍以上の生産性が確認できた。またドローン、レーザー測量を用いることで、調査を行う隊員の安全性が大きく向上した。本調査に用いたデジタル技術を以下に示す。

- ・スカイパーチャルツアー
- ・空中からの360°映像作成
- ・ドローン撮影写真による点群データ作成

- ・高精細オルソモザイク写真作成
- ・空からの写真・動画撮影
- ・iPhoneによる点群データ取得
- ・クラウドによる点群データ処理・共有

(1) 災害調査用スカイバーチャルツアー

空中からの360°映像を用いたバーチャルツアーを九州地方整備局ではスカイバーチャルツアーと定義。河川、道路、公園、防災、研修等様々な分野で活用している。

例えば吉野ヶ里歴史公園では公園の見学、発掘体験、施設管理等に用いている。



図-1 吉野ヶ里歴史公園スカイバーチャルツアー

上空の自由な位置から任意の方向の映像を見ることができ、規模の大きな災害において全体像の把握に有効である。また動画、静止画像、3Dモデル等を束ね、インターネットで公開することができる。具体的には画像上のアイコンをクリックするだけで、その地点の様々なデジタルデータを利用できる。さらにPCだけではなく、タブレットやスマートフォンのブラウザで使用可能で、ソフトウェアのインストールや更新、データのダウンロードを必要としない。今回の災害では、取得した大量のデジタルデータを本技術を用いて、整理、保存、共有した。

図-1に実際の災害で作成したスカイバーチャルツアーを示す。赤丸の破線箇所のアイコンをクリックするとその位置の写真・動画等の各種データを利用できる。直感的に使用できる上、目的のデータを速やかに探すことができる。



図-2 災害調査用スカイバーチャルツアー

(2) 空中からの360°映像作成

スカイバーチャルツアーに用いた空中からの360°映像はドローンを用い作成した。ドローンは市販の入手しやすい機体を用い、空中の1点から撮影方向をずらしながら25枚の写真を撮影、1枚の写真に合成した。この機種では、撮影・合成の一連の作業が自動化されているため効率が良い。また360°カメラを用いないため、コストや機材の入手・充電・運搬等の作業が軽減する。

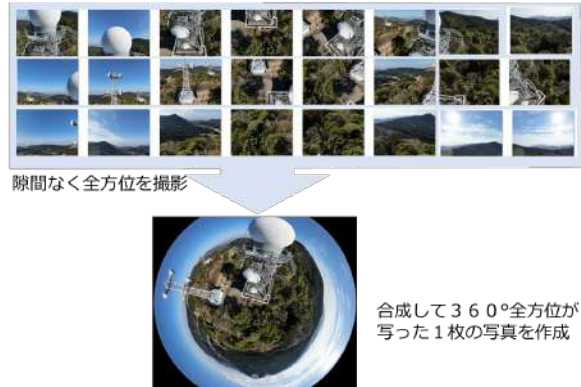


写真-1 空中からの360°映像作成例

(3) ドローン撮影写真による点群データ作成

複数の作業に同じ機材を使用することで、コストや作業の軽減が可能となる。このため点群データの作成には、360°映像作成に用いたドローンを使用した。同じ理由から、レーザ測量機器等を用いず、写真から点群を計算して作成する手法(SfM)を用いた。

タブレットで計測したい範囲を入力すると、自動的に飛行計画案が作成される。案を承諾(もしくは修正)するとドローンが自動的に飛行、撮影を行う。図-2にドローンが作成した飛行プランを示す。三角形の頂点が撮影位置となる。飛行計画作成に要した時間は数秒。撮影した630枚の写真から点群データ作成に要した時間は約40分である。計算に用いたPCのスペックはCorei7-10870H, Geforce3070, メモリ32G, 使用したソフトウェアはReCap Proである。

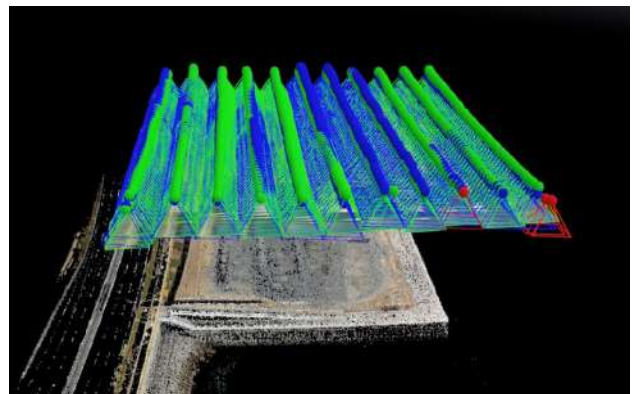


図-3 自動作成された飛行プラン

(4) 高精細オルソモザイク写真作成

大災害時には基地局の被災等の理由で、特に山間地等でGPSが使用不能・精度が極端に低下する場合も多い。また数万枚の写真が集約されるため、整理や検索、共有に多大な時間を要する。

そこで、点群データ作成に使用した630枚の写真を合成し、1枚の写真を作成した。

写真は原理的に端の方ほど「ひずみ」が大きく生じる。特に航空写真は高いところから広い範囲を写すためひずみも大きくなる。このひずみを修正（オルソ）し、多数の写真を組み合わせる（モザイク）ことで高精細写真（約1.2億画素）を作成した。ハイビジョンの約120倍に相当する。

1枚の写真の写真で広域の被災状況が確認でき、写真整理（位置等）の必要がない。また、ひずみが小さいため地図の代用として利用可能で、位置情報との重ね合わせの際のずれが小さい。作成は点群の計算と同時に自動的に行われるため、技術・費用・機材・時間を要さない。

また、自動車などの移動物を半透明化できるため、道路等の被災状況確認が容易である。（写真-2）



写真-2 作成したオルソモザイクの切り出し例

(5) iPhoneによる点群データ取得

各種測量手法は得手不得手があり、ドローンによるSfMはクラックの計測に適さない。このためクラックについてはiPhoneを用いて測定した。

従来技術は多くの測量機器を用い（写真-3）、被災箇所付近に近接する必要がある。簡易的調査では、写真撮影、ロードメジャーなどで延長の計測、アルミスタッフやポールで深さを計測する、メジャーで幅を計測。精密な計測を行うのであればグラウト材を流し込む手法がある。

そこで本調査ではiPhoneを用いた測量を行った。iPhone13pro等の一部の機種には、高精度なレーザー測量装置（LiDARセンサー）搭載されている。延長約20mのクラック計測に要した時間は30秒程度。計測したデータを3Dデータにする処理はiPhoneで行い、要する時間は1分30秒であった。アプリを起動後、動画を撮影するイメージで対象物を撮影すると計測ができる。

従来の手法と比較すると、生産性は数十倍以上、かつ高精度の計測が可能であり、自撮り棒などを利用すると

被災箇所付近に近接する必要もないため安全性に優れる。



現在使用している測量機材の一部



スマートフォンのみで高精度測量  
きわめて簡単、高速、少人数、安全に作業ができる

写真-3 現在使用している測量機材とiPhone



図-4 iPhoneによるクラックの点群測量結果

(6) クラウドによる点群データの解析・共有

点群を取り扱うには高性能のPCやソフトウェアが必要で、またデータが大きいため共有が難しかった。また取り扱うには専門知識を要した。

本調査ではクラウドを用い上記の問題を解消した。クラウドにはSCANX（令和3年度 i-Construction大賞 国土交通大臣賞）を用いた。

インターネットのブラウザで動作するため、どこからでもアクセスでき、ソフトのインストールやデータのダウンロードが不要である。またクラウドのため低スペックのPCやタブレット・スマホからでも快適に使用できる。また、マウスだけで延長や直高、幅や面積の計測、断面図の作成等が可能である。また、段彩図も簡単に作成できる。（図-5）

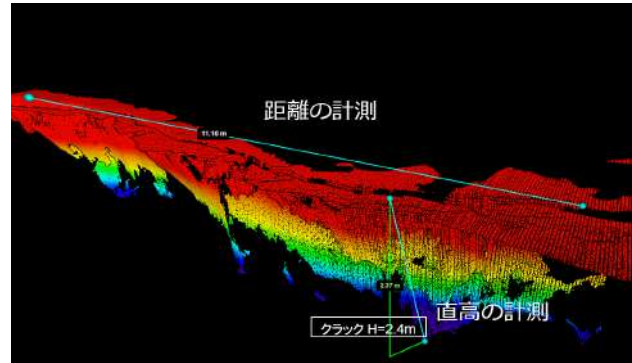


図-5 iPhoneの測量結果のクラウド出力例

### 3. 災害調査のデジタル化

こうしたDXを用いた調査手法は、広く使用されてこそ社会の変革が可能となる。このため、災害復旧を行う際に非常に重要となる「災害査定」での適用を想定、九州財務局、九州農政局、地方自治体と連携し実証実験を行った。実証実験は、災害査定終了後と同じ箇所を同じメンバーでデジタルを用いた査定を実施、比較検討を行った。



写真-3 災害査定の実証実験

実証実験には、定性的な評価に適している「地上で撮影した360°映像を用いたバーチャルツアー」、定量的な評価に適している「点群データとクラウド」の2つの技術を用いた。被災状況や周辺施設の配置などはバーチャルツアー、延長や高さなど正確な数値が必要なものは点群データとクラウドを用いることで確認できる。

令和3年12月3日には鹿児島県さつま町所管事業にて実証実験を実施。実際には現地で行った査定を、実証実験では室内で実施した。九州財務局、自治体職員、コンサルタント等40名が参加した。主な意見はを以下に記載する。

- ・査定時に危険で立ち入れなかった視点からの映像を点群データを用いて確認ができた。
- ・デジタルを用いることで、視覚的に地形の高低差を見ることができ、水の集中する箇所が明確に分かった。
- ・簡素化につながる。

また、令和3年12月17日には、熊本県所管事業にて実証実験を実施。書類による査定を、実験では写真や図面の代わりにデジタルデータを用い書類を作成。バーチャルツアーと点群クラウドを補足に用いた。

国土交通本省、九州農政局、九州財務局、自治体職員、コンサルタント等60名が参加した。主な意見はを以下に記載する。

- ・スムーズかつ安全に資料作成・査定が可能。
- ・見たい箇所を見ることができ、理解しやすい。
- ・画面上で正確な計測が即座にできるため効率的。

### 7. まとめ

九州地方整備局では、DXを用いた災害対応に積極的に取り組み、デジタル技術を用いて効率的で安全な調査手法を開発。実際に災害調査に用いてその効果を検証した。現在は一部職員しかこの技術を有していないため今後は、研修などを行いDX技術普及に努める。

また災害の調査結果がデジタル化されることで、その後行われる災害査定、設計、施工に活用が可能となり復旧までの全工程において効率化が期待できる。

そのため災害査定においてデジタル技術の活用を試み、他省庁や自治体と連携し実証実験を行った。今後は技術を精査し、デジタル技術を用いた災害査定を実現し、地域の1日も早い日常の回復に役立てたい。

## NEW INITIATIVES FOR DISASTER RESPONSE USING DX

Kazutomo FUSAMAE, Tomoki MINAMITAKE and Tomoaki INOI

In recent years, Kyushu has experienced many major disasters. For this reason, the Kyushu Regional Development Bureau is working on DX for disaster response.

The Kyushu Regional Development Bureau is developing safe and efficient disaster investigation methods. He also developed and experimented with technology to digitize disaster recovery procedures.

# ICTの積極活用による施工管理業務の高度化と生産性（効率）の向上

小西 豊<sup>1</sup>・安藤 宏一<sup>2</sup>・新見 泰之<sup>3</sup>

<sup>1</sup>東亜建設工業株式会社 名古屋支店 土木部（〒460-0003 名古屋市中区錦3-4-6 桜通大津第一生命ビル4階）

E-mail:y\_konishi@toa-const.co.jp

<sup>2</sup>東亜建設工業株式会社 土木事業本部 技術部（〒163-1031 東京都新宿区西新宿3-7-1）

E-mail:k\_andou@toa-const.co.jp

<sup>3</sup>国土交通省 四国地方整備局 小松島港湾・空港整備事務所（〒773-0001 徳島県小松島市小松島町外開1-11）

E-mail: niimi-y2qp@mlit.go.jp

徳島小松島港は、四国東部の紀伊水道沿岸のほぼ中央に開けた港であり、古くから天然の良港として栄えてきた。昭和24年からは国の直轄事業として港湾の整備が急速に進められたが、今日、供用開始から約50年が経過する等、老朽化が著しい施設も多く、これら老朽化施設の機能保全対策の一環として、金磯地区の岸壁（-11m）においては、平成28年度より順次リニューアル工事を実施している。本稿では、令和元年度徳島小松島港金磯地区岸壁（-11m）改良等工事において実施した、ICTの活用による施工管理業務の高度化と生産性（効率）向上に関する取り組み事例を紹介するものである。

**Key Words** : CIM施工管理, WEBカメラ, 遠隔安全監視, i-Construction,

## 1. はじめに

徳島小松島港金磯地区の岸壁（-11m）は、栈橋構造の床版ブロック（約20m×約20m）合計20ブロックで構成されており、主に原木の荷役やクルーズ船の着岸等に利用されている（図-1参照）。しかし、老朽化により一部の区画では利用制限がかけられる等、機能が低下していることから、国の予防保全事業として老朽化対策が進められている。

一方、昨今土木作業における熟練工が不足するなかで、ICTの導入による建設工事の生産性向上が進展しつつある。そのような時流の中、本工事では、ICTを積極的に活用した方法により、施工管理業務全般の高度化や生産性（効率）の向上を実現した。ここでは、本工事で取り組んだ①CIM施工管理情報プラットフォームによる管理業務全般の効率化②CIMとWEBカメラの活用による安全管理業務の高度化と効率化について報告するものである。



図-1 施工状況全景

## 2. 工事概要

本工事は、老朽化した栈橋式岸壁の既存上部コンクリート等を撤去し、現場打ち施工による新たな上部工の新設、鋼管杭の電気防食等を行うものである。

工事概要と工事内容及び数量は、以下のとおりである。

表-1 工事概要

工事名	徳島小松島港金磯地区岸壁(-11m)改良等工事
発注者	国土交通省四国地方整備局
受注者	東亜建設工業株式会社
工期	令和元年9月17日～令和2年6月30日
施工場所	徳島県小松島市

表-2 工事内容及び数量（実施）

工種名称	規格	単位	数量
構造物撤去工		式	1
本体工		式	1
下部工(鋼管杭)	φ812.8、φ914.4	本	32
上部工		式	1
上部コンクリート工		m	40
前垂れ・床版ブロック製作		式	1
前垂れ・床版ブロック据付	38.1t、15.9t	式	1
付属工		式	1
係船柱工(係船柱)	700kN型	基	2
防舷材工(防舷材)	高性能V型	基	4
車止・縁金物工		式	1
防食工		式	1
雑工		式	1
安全管理		式	1

3. 施工管理上の課題と解決のための取り組み

(1) 施工管理上の課題

① 施工管理業務の効率の向上

一般的に施工管理業務は、多岐に渡る施工管理項目（品質、出来形、写真、材料、安全管理等）を複数の職員で分担管理して行っている場合が多いが、本工事は、工種数が多いうえ、複数の工種の管理内容が相互に関係するものが非常に多く、担当職員が個別に管理しているデータの確認や共有に多くの時間を要することや、施工上の検討が必要な場合は、担当職員が頻繁に集合して協議する必要があると想定された。このため、本工事における施工管理データの共有や利活用等、施工管理業務全般の効率の向上が課題となった。

② 安全管理業務の高度化と効率の向上

本工事は、施工箇所が栈橋下の狭隘なエリアでの施工や多くの工種や作業が輻輳しながら工事を進めている必要があるため、各施工ステップを正確に把握するとともに、施工ステップ毎のきめこまやかな安全管理が必要であった。このようなもと、管理方法検討のための資料としては2次元図面のみの情報しかなく、輻輳の位置関係、当該作業の危険箇所の抽出、それに応じた安全作業手順の検討並びに作業員への周知・説明に多大な時間と労力を要することが想定された。

このため、本工事における安全管理業務の高度化と効率の向上が課題となった。

(2) 取り組み内容

① CIM施工管理情報プラットフォームによる管理業務全般の効率化

国土交通省では、インフラ分野において、BIM/CIMやICT施工により作成される3次元データ、地盤情報、民間建築物等の国土に関する情報をサイバー空間上に再現するプラットフォームの構築が進められている。

本工事では、この動向を参考として、施工上の課題を整理し、施工管理情報を簡易的にプラットフォーム化することで、管理業務の効率化を図った。

【具体的な取り組み】

設計図書を元に現場の3Dモデルを作成し、施工進捗に応じた施工管理項目（施工状況写真、品質・出来形管理図表等）を属性情報として付与したCIMモデルを構築した(図-2 参照)。なお、このモデル上の管理項目タグをクリックすることにより、施工部位毎に管理の状況および結果について確認・利用が可能となるよう工夫し、このCIMモデルをプラットフォームとして作業ステップや工種毎に、全職員が管理データを一元的に確認・活用することを可能とした。

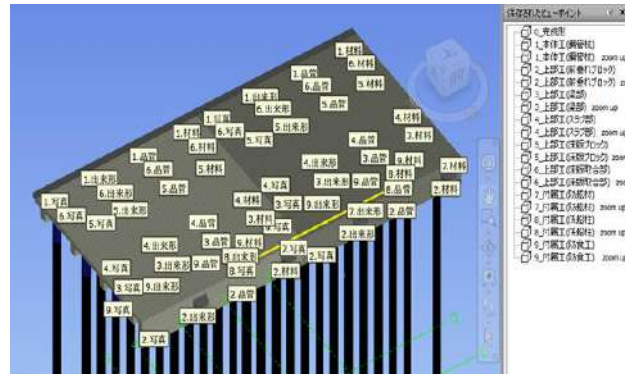


図-2 施工管理情報プラットフォーム

② CIMとWEBカメラの活用による安全管理業務の高度化と効率化

現在、建設現場において「段階確認」、「材料確認」と「立会」を必要とする作業に遠隔臨場を適用して、受発注者の作業効率化を図る事が進められている。また、CIMモデルを用いて構造物を様々な視点から確認することで現場に潜む危険ポイントを把握し安全管理に活用する取り組みも進められている。本工事では、当現場の課題を整理したうえでCIMを活用した安全教育や、ウェアラブルのwebカメラを利用した多元的遠隔臨場パトロールにより、安全管理業務の高度化と効率化を図った。

【具体的な取り組み】

CIMモデルを活用して施工過程の各作業ステップ毎に現場を再現し(図-3 参照)、安全施工手順を検討した上で、同画面により高度な作業員教育を実施することで、危険予知の先取と安全意識の高揚を図った(図-4 参照)。

また、WEBカメラ「MET-EYE」を用いて、本社、支店もオンライン化し、遠隔臨場による多元的安全監視(パトロール)を実施することにより、安全管理の高度化と安全管理業務の効率化を図った(図-5 参照)。

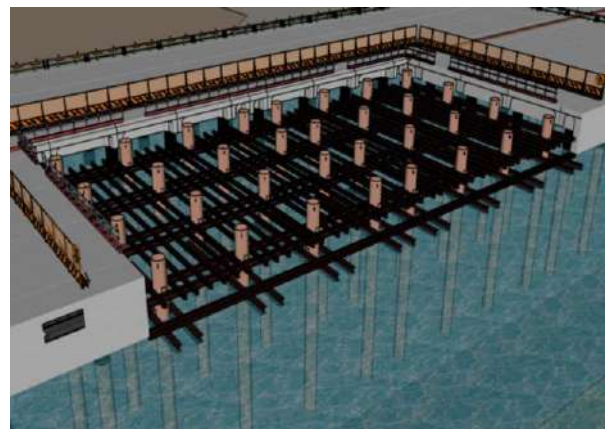


図-3 CIMモデルによる施工検討図



図4 CIMモデルによる安全教育



図5 ウェアラブルカメラによる遠隔現場パトロール

#### 4. 本取り組みの成果

今回の2つの取り組みは、社会資本整備におけるi-construction推進、建設業のDXの推進の一助になるものと思われるが、その先進性、本工事における直接効果、今後の波及効果について、以下に示す。

##### (1) CIM施工管理情報プラットフォームによる管理業務全般の効率化の成果

###### 【先進性】

今回の取り組みは、国土交通省港湾局が進める「BIM/CIMクラウドを活用した情報プラットフォーム」構築の先駆的な取り組みとして、その有用性を広く確認できた。

###### 【本工事における直接効果】

- ① 施工関係者全員が施工管理情報を共有することにより書類作成時間や検討時間(打ち合わせ時間)を20%~30%削減することができた。
- ② 管理データの一元管理により、各種管理データの検索や確認時間の短縮が図れた。
- ③ 専用ビューソフトウェアを用いることで、発注者や店社間接部門もCIMデータ(施工管理情報)を確認することができた。
- ④ 竣工検査での出来形管理、品質管理項目の確認を、ペーパーレスでPC上で効率的に行うことができた。
- ⑤ 本事業は継続して行われるため、施工手順や工事内容や施工の留意点などを、次工事へ適切に引継ぐ事ができた。

###### 【波及効果】

今後、施工管理情報を設計情報、維持管理情報等とリンクさせることで、港湾施設のBIM/CIMクラウドへ発展させ、将来の施設のメンテナンスを含めた生産性向上に寄与できると思われる。

##### (2) CIMとWEBカメラの活用による安全管理業務の高度化・効率化の成果

###### 【先進性】

今回の取り組みは、国土交通省港湾局が進める令和5年度からのBIM/CIM本格適用に向けた先駆的な取り組みとなった。

なお、WEBカメラによる遠隔現場安全監視は、内閣府の新型コロナウイルス感染症対策本部42回会議(令和2年8月28日開催)において、施工現場におけるデジタル化の優良事例として紹介され、その先進性が評価された。

###### 【本工事における直接効果】

- ① 高齢者や経験の浅い技術者の現場理解度が高まり、安全意識の高揚とKY活動の充実が図れた。
- ② 安全教育や新規入場者教育で活用することで危険個所の周知、安全作業手順の習熟を図ることができた。
- ③ 店社間接部門(安全、土木、技術部門)が現地に臨場することなく、各部門からの多面的なパトロール(指導)を行うことできめ細かな安全管理を行うことができ、工事を無事故で完了させることができた。
- ④ パトロールの質を落とすことなく、店社間接部門関係者の移動時間を、のべ40時間削減でき、省力化による生産性向上が図れた。
- ⑤ ペーパーレスで安全教育を実施することが可能となり、書類を50%削減できた。

###### 【波及効果】

CIM技術の応用は、2次元図面での確認が難しい施工箇所抽出、施工の工夫検討、クラウドの下での設計変更、維持管理の効率化等に広く活用普及することが想定される。WEBカメラの活用は、土木作業現場における技能者の高齢化や入職者減少の中で、技術の伝承、オンライン現場見学会、次世代の土木技術者育成等、幅広く活用されるものと考えられる。

#### 5. 今後の課題

今回の2つの取り組みは、施工管理業務全般の高度化と効率の向上に大きく寄与したと思われるが、今後、さらにこの取り組みを発展させる上で、考慮すべき課題を以下に示す。



- ① 3次元データを扱ったCIM化作業を行うには、高性能のPCスペックが必要となる。
- ② 受注者が施工情報として必要な情報と、発注者や管理者が管理する上で必要な情報が異なる場合があるため、CIMとして扱う属性情報の種類と付与方法など統一的なルールや基準が必要となる。
- ③ webカメラや遠隔臨場の利用は、インターネットなどの通信回線を利用して行われるため、通信の安定性は通信環境に依存する。特に山間部や港湾の現場では通信環境が弱い地域もあるため、利用においては事前に機器の通信性能や通信環境の確認が必要である。
- ④ webカメラや遠隔臨場の機器は種類が多く、機能や性能も製品ごとに異なり、利用目的や用途によって、使い分ける必要がある。本工事では、安全管理に活用するという目的でハンズフリーで映像のブレが少なく、データがクラウド上に保存できる機種を採用した。  
これらの課題は、今後コンピュータ技術や通信技術の向上とともに改善されていくものと思われる。

## 6. おわりに

本稿では、ICTの現場活用事例として、CIM施工管理情報プラットフォーム構築とCIMとWEBカメラの活用について報告してきたが、近年のICTの進歩は目覚ましいものがある。建設業は、地域のインフラ整備やメンテナンスなどの重要な担い手であると同時に、地域経済・雇用を支え、災害時には最前線で地域社会の安全・安心の確保を担う地域の守り手として、国民生活や社会経済を支える大きな役割を担っており、ICTを活用することで、施工の効率化に伴う生産性向上や危険作業の減少、休暇取得率の向上など、建設業の在り方が大きく変わろうとしている。

また、若者や女性などの多様な方々が活躍できる環境が整備されてきている。その建設業界を引続き持続可能で魅力的な業界にしていくことは、現在の建設技術者として今後も引き続き取り組んでいくべき課題といえる。

ここでご紹介したICTの活用事例は、建設業全体の中の取り組みのほんの一例であり、今後も受発注者の中でICTに関してさまざまな取り組みを進めるとともに、水平展開を図ることで、更なる建設業の発展と次世代の技術者の育成に寄与していくものとする。

**謝辞：**本稿で紹介した、ICTの活用は、国土交通省四国地方整備局 小松島港湾・空港整備事務所と連携・協力しながら試行的に実現した。この場をお借りし、深く謝意を表す次第である。

## 参考文献

- 1) 国土交通省 四国地方整備局 小松島港湾・空港整備事務所 徳島県 県土整備部 運輸政策課  
：徳島の港湾 2021  
<https://www.pa.skr.mlit.go.jp/komatsushima/pdf/kouwan/20210331.pdf>
- 2) 国土交通省 四国地方整備局 小松島港湾・空港整備事務所  
：港湾整備事業  
[https://www.pa.skr.mlit.go.jp/komatsushima/work\\_b1.html](https://www.pa.skr.mlit.go.jp/komatsushima/work_b1.html)
- 3) 国土技術政策総合研究所資料 No.1067 2019年3月  
：港湾分野におけるCIM導入促進に向けた検討  
吉田英治 井山繁

## Improving the Construction Management Operation's Advancement and Productivity through the Active Use of ICT

Yutaka KONISHI and Kouichi ANDO, Yasuyuki NIIMI

The Port of Tokushima-Komatsushima, located in the center of Kii Channel in the eastern part of Shikoku island, has been well-identified as a good natural port. Since 1949, the development of this port was rapidly promoted and controlled by the Japanese Government and after approximately 50 years of service, many of the port's facilities are deteriorating. As part of measures to preserve the functions of these aging facilities, renewal work has been carried out sequentially at the quay in the Kaneiso district since 2016.

This paper introduces the case study of Kaneiso District Quay Wall (-11m) Improvement Project in 2019, which involved the use of ICT to improve the construction management operation's advancement and productivity (efficiency)..

Keywords: CIM Construction Management, Web Camera, Remote Security Surveillance, i-Construction,

# ICT活用工事における 生産性の向上について

岡田 亮介<sup>1</sup>・中国地方整備局 広島西部山系砂防事務所<sup>2</sup>

<sup>1</sup>非会員 株式会社増岡組 (〒730-0045 広島県広島市中区鶴見町4-25)

E-mail: okada-ryousuke@masuoka-g.co.jp

<sup>2</sup>非会員 中国地方整備局 広島西部山系砂防事務所 (〒730-0013 広島県広島市中区八丁堀3-20)

E-mail: hiroshima\_seibu\_sabo@cgr.mlit.go.jp

ICTを活用した工事で生産性向上・工程短縮、及び施工管理の精度向上の取り組みを行い、作業の省力化及び効率化に対して有効な手法であることを確認した。

**Key Words : Productivity improvement, Process shortening, Improved accuracy**

## 1. はじめに

本工事は、平成30年7月に台風7号と梅雨前線による記録的な降雨により発生した「平成30年7月豪雨災害」で土石流による被害を受けた呉市天応東久保地内にて、砂防堰堤を整備する工事であった。

土砂崩壊があった場所は呉市立天応中学校グラウンドの直上に位置し、土石流はグラウンド内で停滞していたもののその下流側には生徒が日常生活を送っていた校舎や被害を受けた多くの家屋があった。現場周辺は、土砂災害を目の当たりにし被災された多数の方が生活されており、一日も早い安全確保が期待されている。

前年度の本堤工事から継続して、現場条件にマッチした効率のよい施工を検討・実施する為に、ICT技術を用いて現場を進めていく計画を立てた。

本溪流では、前年度工事にて完成した砂防堰堤(本堤)周辺の仕戻し、及び下流側の前庭保護・流路・周辺の付帯構造物・法面保護を行う工事であった。

現場の特徴としては、本堤下流側に垂直壁・側壁・水叩をそれぞれ3基ずつ施工することとなっており、高低差としては上流から下流までの40m区間で20m以上あった。さらに、既設工事用道路勾配も15%程度であったため、セオリー通りに上流側から1基ずつ施工するとなると施工性も悪く工期内完成を達成するには何かしらアイデアや工夫が必要であった。



図-1 工事着手前全景写真

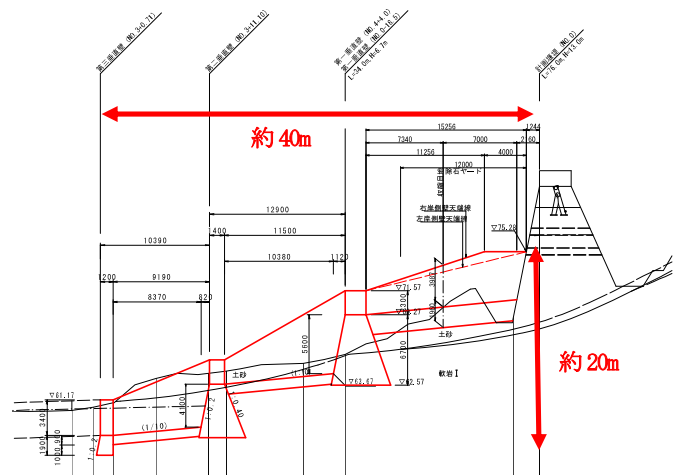


図-2 縦断面図

## 2. 現状の把握と検討

まずは、レーザースキャナー搭載型UAVにて現況地形を測量。計測した点群データに、作成した本工事3次元データを重ね合わせ、構造物の位置や周辺との取り合い、掘削影響範囲を確認。

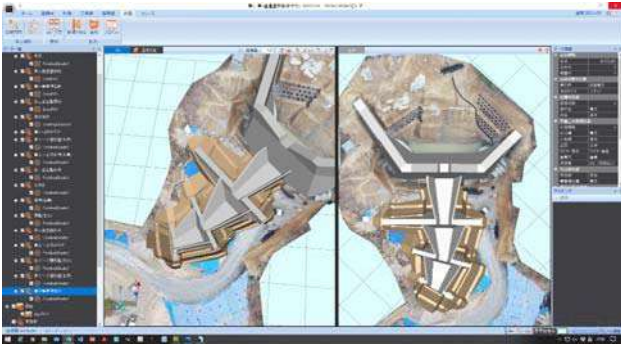


図3 現況点群データと3D設計データの重ね合わせ

AR「拡張現実感」(Augmented Reality)にて、現実世界(現地)とデジタル情報(3D設計データ)を重ね合わせ、実際に現地で掘削切り出しの位置や、構造物ができる位置を確認。

工事着手前に現地での完成イメージを関係者全員で共有した。



図4 構造物AR



図5 掘削・床掘AR

これらの情報を元に、施工の順序・施工へのアプローチの仕方・そのためのヤード整備等の検討に入った。特に、クレーンの作業計画・機種選定に大いに役立て発注者との協議や、日々の協力業者との打合せにも活用できた。

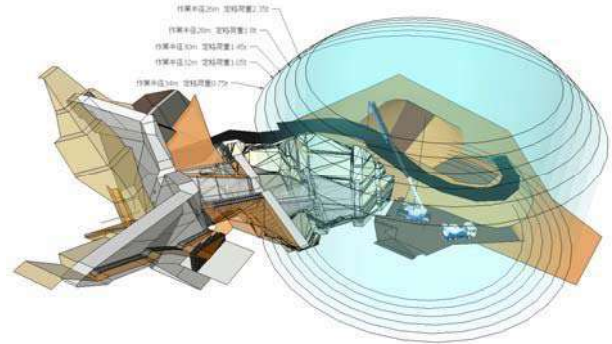


図6 3Dデータを使用した施工ヤード・クレーン作業能力(範囲)の検討図



図7 3Dデータを用いた日々の打合せ

検討した結果、既設本堤下流側の施工において、大きく3段階に分けて施工をする方向性を導き出した。

### 1次施工

第1垂直壁床掘完了後、下流正面にクレーンヤードを造成し、第1垂直壁を施工。

### 2次施工

第1側壁・水叩を施工するためのクレーンヤードを本堤下流左岸側に移動し施工。1次施工のクレーンヤードであった第2・第3垂直壁・側壁・水叩の床掘を同時施工。

### 3次施工

クレーンヤードを下流右岸側に造成し、さらに使用するクレーンを通常25tから60tにすることで、作業可能半径を広げ、第2・第3垂直壁・側壁・水叩を同時施工2次施工のクレーンヤードであった本堤下流左岸側の付帯構造物(ブロック積・階段等)。を同時施工し、終了後、本堤周辺の法面工プラントヤードとしても活用。。

従来、現地を測量したり打合せを重ねることで時間を要する施工検討が、3Dデータを活用することで容易となり、早い段階で方針を固め工程管理に生かすことができた。クレーン機種の変更についても、同時施工を実現したことで生産性が向上し、結果的には1.5カ月の工程短縮だけではなく、トータルコストの削減にも繋がった。

### 3. 施工と管理の工夫

施工では、砂防堰堤特有の複雑な掘削作業を従来の丁張設置測量作業を一切行わず、3D掘削データを入力したMCバックホウにて施工。

当現場では、現場に基準局(衛星アンテナ・受信機・無線機一体型)を設置するRTK-GNSS方式を導入し、ICT建機へ補正情報を送ることで精度を確保する方法を採用し、急勾配掘削時の小さな位置精度の誤差が大きな高さ誤差へ繋がる可能性を低減させることができたことで、高精度の掘削(構造物の寸法確保)となった。



図-8 MCBHによる掘削・床掘状況



図-9 3次元モニター画面

また、作業土工ではあったが、土工精度が重要構造物の寸法にも影響するという点で自動追尾型TSによる土工の出来形管理を実施。出来形管理位置も、構造物の寸法に影響する必要最低限のみの位置とすることで監督職員と協議をし、計測時間の短縮による省力化、及び危険な急勾配法面の計測作業を極力省くことで安全性の向上にもなった。

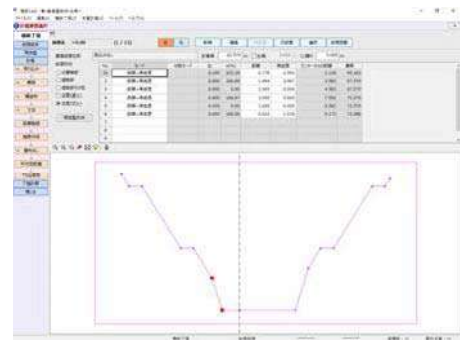


図-10 TS出来形管理用3Dデータ作成

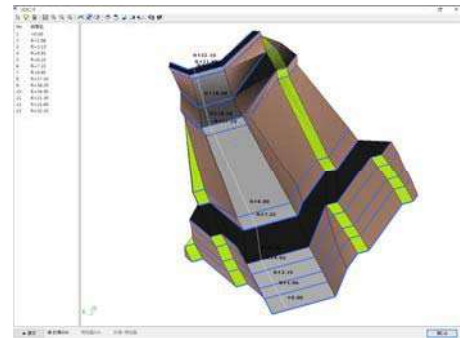


図-11 同上3Dモデル

さらに、土工に加えて構造物(残存型枠組立位置)のTS用3Dデータも作成。3次元化することにより、どの位置でも設計面との対比をリアルタイムで確認可能。従来の通り芯からの離れ測量よりも測量拘束時間が大幅に減少した。出来形も進捗毎にmm単位で管理し、高精度の構造物を造ることができた。

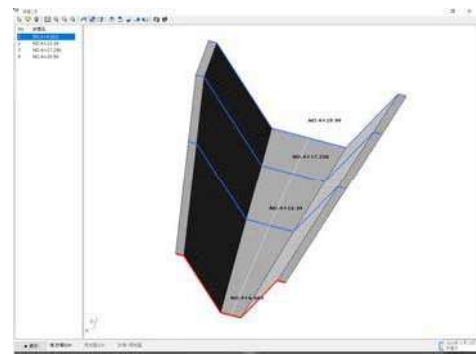


図-12 構造物3Dモデル



図-13 構造物TS管理状況

#### 4. おわりに

私が若手社員だった頃、会社の先輩から、「造る前から造るものを自分の頭の中でイメージできるようになりなさい」とよく言われていました。2次元の図面を組み合わせることや現地の状況をよく踏査することで、何処にどのような形のものが出来上がるか3次元で想像し、起こりうる問題点に一早く気づくことが大切ということでした。なかなか図面通りにはいかない現場では大切な要素であり、今後も培っていかねばならない感覚です。今回、まさにICT技術がその感覚の手助けをしてくれ、

着手時の方向性・実施工での効率アップに繋がりました。現在、急激にICT技術が増えており、使える工種の幅も広がっています。これまで空想だったことが現実となり、知恵を出し合えばどんどん応用できる時代です。今後も新しい技術やシステムを導入することに積極的に取り組んで行きたいと思います。最後になりましたが、論文作成にあたり発注者をはじめ関係者の皆様方からのご指導ならびにご協力を頂いたことに感謝申し上げます。

#### About improvement of productivity in ICT utilization construction

Ryousuke OKADA, Hiroshima Western Cordillera Sabo Office

We would like to thank the ordering party and other related parties for their guidance and cooperation in writing the dissertation.

# 河川管理用CIMモデルの整備・活用の取り組み

森田 真一<sup>1</sup>・藤井 陽子<sup>2</sup>・藤崎 大樹<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社パスコ中央事業部（〒556-0017 大阪府大阪市浪速区湊町1-2-3）

E-mail:sahtii9464@pasco.co.jp

<sup>2</sup>非会員 株式会社パスコ九州事業部（〒812-0007 福岡県福岡市博多区東比恵3-5-2）

<sup>3</sup>非会員 国土交通省九州地方整備局川内川河川事務所（〒895-0075 鹿児島県薩摩川内市東大小路町20-2）

1級河川川内川は下流の薩摩川内市街部においては河床低下，上流部においては河道内の土砂堆積や樹木繁茂といった河道管理上の課題を有している。川内川河川事務所では，これらの課題を解決するために，三次元地形モデルによる河道のモニタリング・評価に取り組んできた。このような三次元地形モデルの整備・活用と合わせて，ICT施工等で整備されるCIMモデルの活用に着目し，河川管理の見える化・効率化・高度化のためのCIMモデルの整備・活用について検討・試行を進めてきた。今回，これまでの検討結果及びCIMモデル活用についての取り組み状況について報告する。

**Key Words :** BIM/CIM ,River management,3D terrain model,i-Construction,Information platform

## 1. はじめに

川内川はその源を熊本県の白髪岳に発し，宮崎県及び鹿児島県の3県，6市4町にまたがる，幹川流路延長137km，流域面積1,600km<sup>2</sup>の一級河川である。

川内川下流部には，流域最大の人口集中地区である薩摩川内市街部が位置し，流下能力確保のために昭和6年から直轄事業に着手し，水系全体の治水安全度の向上を図ってきた。しかし，平成18年7月豪雨により流域全体において甚大な被害を被り，特に下流部では河床洗掘により約50mにわたって矢板護岸の倒壊・損傷が発生するという被害が生じており，この対策として根固め及び水制工を設置し，以降モニタリングを継続して行っている。

一方，川内川上流部や支川においては，平成18年7月豪雨に対する河川激甚災害対策特別緊急事業のなかで大規模な河道掘削が行われてから10年以上が経過し，土砂堆積や樹木繁茂の進行に伴う洪水時の流下阻害等の課題が新たに生じている。

これらの河道管理上の課題に対して，河道の変化傾向を把握するために河道管理基本シートを整備しているが，さらに河道管理の見える化を図るツールとして，平成30年度よりCIMモデルの検討・構築を進めてきた。これま

ではCIMデータの整備について注力してきたが，昨年度よりCIMデータ活用のための環境・体制についても取り組んできたので，その取り組み状況について報告する。

## 2. これまでの取り組み

九州地方整備局では平成25年からCIM検討会が設置されCIMへの取り組み方針等の議論が進められてきたが，川内川河川事務所では平成30年から本格的にCIMに取り組み始めた（図-1）。

平成30年には市街部河床低下対策箇所でのマルチビーム測量によるモニタリングを実施し，これに合わせてICT施工のための計測ツールとして活用され始めたUAVによる写真測量，レーザー測量から三次元データを取得し，河道評価への活用，河床掘削工事図書の作成等を試行し三次元データの活用可能性について検討を始めた。

令和元年度には三次元データへの理解を深め活用をさらに進めるために，三次元データを活用した河川基盤図の更新，三次元データによる河床低下対策の検討等河川管理上必要な箇所の三次元データの整備とこれを用いた検討を実施した。また，三次元設計を実施し，既存三

次元データ活用上の課題について検討した。

令和2年度には三次元データの河川事業への適用を検討するために、CIM活用業務をさらに増やし、活用上の課題を確認するとともに、既に三次元データを活用している施工分野の状況を確認し、設計~施工へのデータ活用の課題について検討を進め、事務所としてのCIMのイメージ、CIMを活用する分野等について整理した。また、国土交通省水管理・国土保全局河川環境課河川保全企画室から三次元データの利活用方策の一環として「三次元管内図」の整備に関するマニュアルが示されたため、同マニュアルを踏まえたデータの整備を進めた。

令和3年度には三次元データを普段使いのデータとして活用することを目的に、所内に各課の若手職員からなる「CIMチーム」を結成し、データの活用シーン等を検討し必要となるデータの整備を進めると共にCIM活用のためのルールをガイドラインとして整理した。

本稿では主に令和3年度の取り組み状況について紹介するものである。

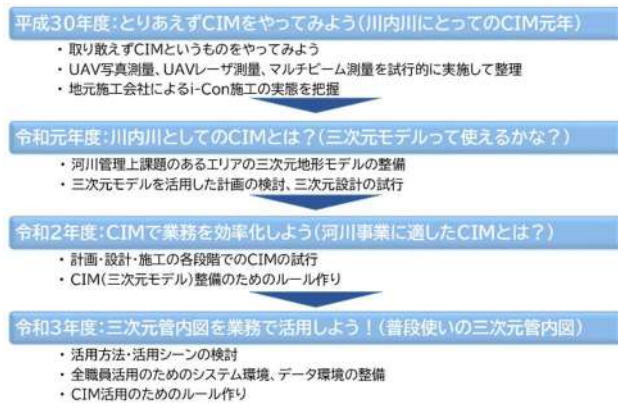


図-1 川内川のこれまでの取り組み

### 3.川内川 CIM モデルとは

#### (1)川内川CIMモデル

BIM/CIMは、計画、調査、設計段階から三次元モデルを導入することにより、その後の施工、維持管理の各段階においても三次元モデルを連携・発展させて事業全体にわたる関係者間の情報共有を容易にし、一連の建設生産・管理システムの効率化・高度化を図ることを目的としている。

三次元モデルの導入にあたっては、最新のICTを活用して、建設生産システムの計画、調査、設計、施工、管理の各段階において情報を共有することにより、ミスや手戻りの大幅な減少、単純作業の軽減、工程短縮等の施工現場の安全性向上、事業効率及び経済効果を目指している。さらに、これらに加え、副次的なものとしてよりよいインフラの整備・維持管理による国民生活の向上、建設業界に従事する人のモチベーションアップ、充実感等の心の豊かさの向上

が期待されている。<sup>1)</sup>

川内川河川事務所では、このようなCIMの基本的な理念を踏まえ、CIMの概念を設計・施工のための三次元モデルの整備に特化するのではなく、事務所の事業全体に対して、それぞれの事業内容・特性に応じたCIMモデルとその用途があるものと考え、その概念を整理した(図2)。

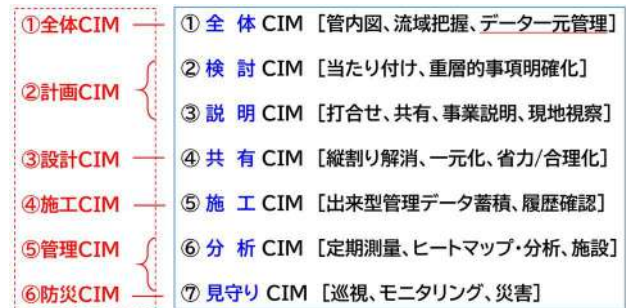


図-2 川内川CIMモデルの概念図

このような概念を踏まえ、川内川CIMモデルは河川管理で既に活用している情報や今後必要になる情報を電子化し、必要なものは三次元データ化し、これらを集約・一元化管理することにより事業の効率化・高度化等を図るためのツールとして位置付けた(図3)。さらに、この目的を達成するためには職員がこれらのデータをいつでも使える(普段使いできる)ツールとして位置付けた。

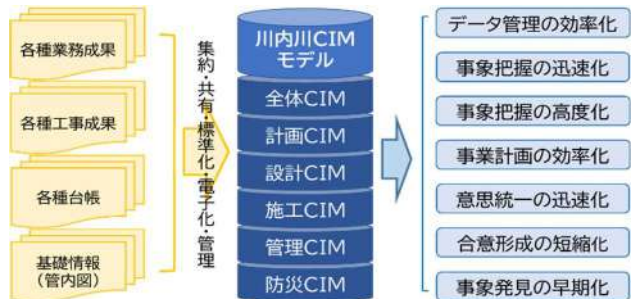


図-3 川内川 CIM モデルの目標イメージ

#### (2) 川内川CIMモデルの構築方針

幹川流路延長が137kmと広大な川内川の管理にあたっては、河川全体の状況を俯瞰的に把握・管理することと、土砂堆積や樹木進入等の河床状況や、局所洗掘等の構造物への影響のモニタリングなど特定範囲を詳細かつ高頻度に把握・管理することが求められている。

流域全体を俯瞰的に把握するデータと、対策検討や変状把握等のモニタリングや設計・施工により整備されるデータでは精度や詳細度、項目が異なるため、広域データをプラットフォームとしこれに個別の特定範囲のデータを紐づける二層構造のCIMを構築した。

なお、CIMモデルの構築にあたっては、「河川管理用三次元データ活用マニュアル(案)」(令和2年2月国土交

通省水管理・国土保全局河川環境課河川保全企画室)にて三次元管内図をプラットフォームとする維持管理イメージが紹介されており、<sup>2)</sup>川内川CIMモデルについても広域情報を扱う三次元管内図をプラットフォームとし、これに個別範囲の工事等がプロジェクトとして関連付けられた二層構造のCIMを構築することとした(図4)。



図4 川内川CIMモデルの構成

### 3. CIMモデル活用のための体制整備

#### (1) システム環境

プラットフォームとなる三次元管内図は、管内全域の三次元モデルやオルソ画像を河川距離標や施設情報と重ね合わせながら閲覧・参照するものであり、大容量の三次元データの可視化に優れた米国SkyLine社の三次元ビューソフトTerraExplorerを用いるものとした。

なお、三次元ビューソフトは、事務所のパソコン環境やネットワーク環境を踏まえ、計測・検索機能等を有する詳細版(USBライセンス管理)と閲覧に特化した簡略版(フリーソフト)を準備し、全ての職員が利用可能な環境を整備した(図5)。

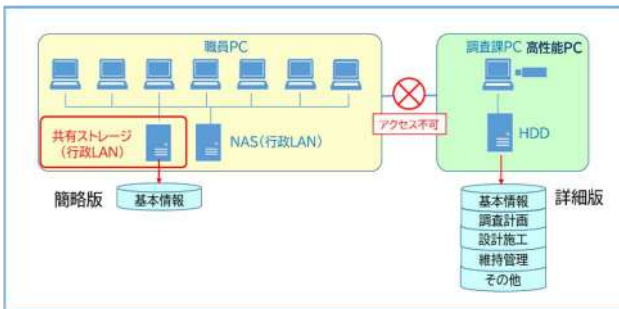


図5 システム環境

#### (2) CIMチームの設置

川内川CIMモデルの運用は、同モデルを業務で日常的に活用する事務所職員の視点が必要となる。このため、係長職以下の若手職員からなる所内横断的組織「CIMチーム」を設置し運用方法の検討を行うこととした。

CIMチームは、川内川CIMモデルを継続的に活用でき

る環境を整備・維持することを目的に、業務の効率化・迅速化・高度化に資するCIMモデルの運用方法、格納データやその活用方法について継続的に検討し、川内川CIMモデルの拡充・改善を行うとともに、所内展開を図ることをその役割とする(図6)。

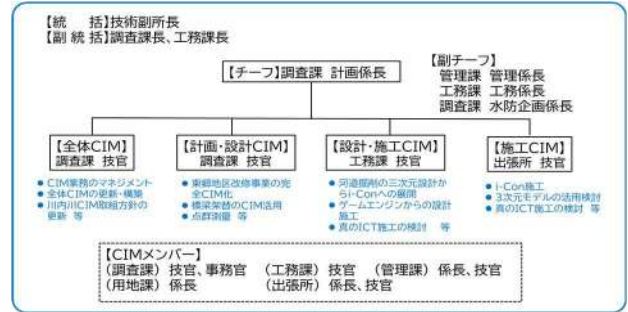


図6 川内川CIMチームの体制(令和4年版)

#### (3) CIMモデルの作成・管理体制

川内川CIMモデルの管理は、調査課をシステム管理者、業務・工事発注課をデータ作成者として位置付け、各CIMモデルの管理体制を整理した(図7)。

システム管理者は、川内川CIMモデルのデータ及び簡略版用の三次元管内図基本データの管理を行う。また、データ作成者から提供されたデータを加工・編集し、川内川CIMモデルに登録する。

データ作成者は、業務・工事等の成果から川内川CIMモデルへの登録用データの作成を行い、システム管理者に提供する。

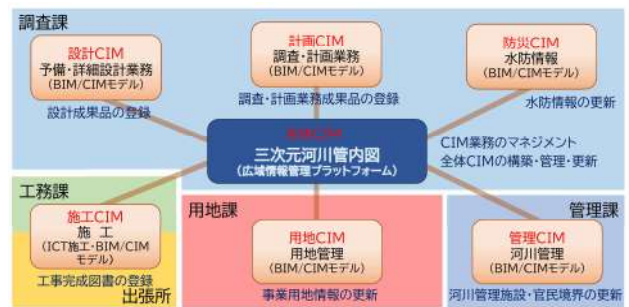


図7 川内川CIMモデルの構成と管理体制図

#### (4) データ整備

データ整備の理想は、各課が整備するデータを集約・組み合わせることによりデータ作成の効率化を図り、各事業で必要となる所内データを過不足なく簡単に取得・整理することである。これにより事業展開の高度化・効率化・迅速化を図ることである。

このため、以下の方針を定め、各課のニーズ、データの使い方等についてCIMチームで確認・調整しながらデータを整備する。



- 川内川CIMモデルで整備するデータは、各課業務のユースケース・利活用イメージに応じて整備データを選定する。
- 各課業務のユースケースは各課にてワークフローを整理し、必要となるデータ並びにデータ活用方法(プロダクト)を整理する。
- ワークフロー及び使用データ、データ活用方法は所内で共有し、関連部署でのデータ利活用にも配慮し、必要に応じてデータ項目・整備方法について調整を行う。なお、CIMモデルに登録するデータ項目・整備方法についてはCIMチーム検討会にて調整を行う。
- データ整備にあたっては、関連プロダクト及び関連データの整備状況を確認し、既存データの有効活用(効率化)を図るとともに、プロダクトの充実・高度化を図る。

#### (4) 電子納品に関する川内川ルール(案)の活用

川内川CIMモデルの基礎データとなる電子納品成果の作成にあたっては三次元モデルのメタデータ、業務・工事範囲登録データの作成等の要求事項について規定した川内川ルール(案)を作成した。

業務・工事発注課は、各分野の電子納品成果作成に関する基準類に準拠してデータ作成を行うとともに、三次元モデルの作成にあたっては川内川ルール(案)に従った成果作成を行うよう受注業者を指導する。

### 4. CIMデータの活用

施工分野では平成25年頃からICT施工に着手し、令和3年度からはほとんどの工事がBIM/CIM対象工事になり、様々な三次元データの活用が進められている。このため、これら施工時に作成される三次元地形モデルの有効活用方策について検討を進めた。

施工時に作成される三次元地形モデルは最新の地形更新データとしての活用が期待されているが、発注工事単位にデータが作成されるため、複数工区で分割発注された場合は要整備区間を一つのデータで把握できないという問題がある。

このため、工事成果から各工区を接合した統合モデルを作成し、既往三次元地形モデルの更新データとしての活用可能性について検証し課題を整理した(図-8)。

これより、統合モデルを作成するうえで必要となるデータ種類やデータ取得範囲の不足が生じることが確認さ

れ、不足情報は計測時には取得されているが成果品としては除外されていることが確認された。

このため、計測時の色付き点群データやオルソ画像の提供や提出データの保存先フォルダを「川内川ルール(案)適用の手引き」に記載し、利活用可能なデータの収集ルールを整理した。

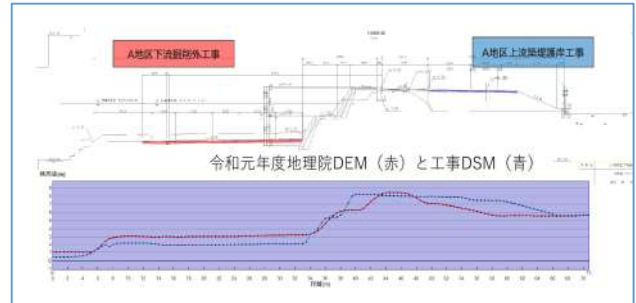


図-8 航空レーザデータと工事成果の重ね合わせ評価例

### 5. 今後の課題

本報告では、現在川内川河川事務所で行っている川内川CIMモデルの活用に関する取り組み状況について報告を行った。

川内川ではCIMモデルを活用するための環境や運用ガイドライン等のルールを整備し、普段使いのツールとして業務に活用することを目指している。

今後は実際の運用を通して運用ルールを精練すると共に、継続的に活用するためのデータ登録、データ更新の仕組みについて検討し、アナログ資料を用いた業務プロセスをデータを活用した業務プロセスへと変容させ、河川管理のDXへと繋げていく必要がある。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省：CIM 導入ガイドライン(案)第1編共通編 令和元年5月, pp.第1編17, 2019.
- 2) 国土交通省水管理国土保全局河川環境課河川保全企画室：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, pp.4-1~10, 2020.

## Efforts to develop and utilize CIM models for river management

Shinichi MORITA, Youko FUJII, Daiki FUJISAKI

The Sendai River Office has been working on monitoring and evaluation of river channels using a three-dimensional topographic model in order to solve the problems of river channel management. Furthermore, focusing on the utilization of the CIM model developed by ICT construction, river management We have been studying the development and utilization of CIM models for visualization, efficiency, and sophistication of. This time, we will report on the results of the studies so far and the status of efforts to utilize the CIM model.

# MRデバイス（ホロレンズ）を活用した 業務効率化の検討

高橋 陽平

東北地方整備局 新庄河川事務所 工務第二課（〒996-0071山形県新庄市小田島町5番55号番地）  
E-mail:takahashi-y82as@mlit.go.jp

国土交通省は、建設業の生産性向上や高度化を目的として、DX、i-Construction を推進している。また、BIM/CIM 活用については、令和5年度にすべての公共工事を対象として BIM/CIM 原則適用という方針を示しておりBIM/CIM 活用による生産性向上、高度化が重要視されている。

その背景を踏まえ、新庄河川事務所における BIM/CIM 活用の取組みとして、「MRデバイスを活用した業務効率化の検討」を行った結果を報告する。また、MR デバイスを用いた CIM 活用の効果と課題について報告する。

**Key Words :BIM・CIM、i-Construction、DX**

## 1. はじめに

国土交通省は重要施策課題の一つとして、人口減少や高齢化に伴う建設業の就業者不足による生産性低下を挙げている。

この問題を解決するため、デジタル技術を活用したDX（デジタルトランスフォーメーション）の推進や生産性向上を目指す「i-Construction（BIM/CIM 活用）」に取り組んでいる。

新庄河川事務所においても生産性向上を図っているところであるが、当事務所は県内の広範囲を管理しており、現地調査等の移動に時間がかかり相当な時間的損失を被っている。

そこで本報告は、時間的損失を解消する業務効率化と生産性向上を目的としたMRデバイス(ホロレンズ)の試行結果と課題を報告する。

## 2. 使用機器について

本試行を行うにあたって、使用機器は、設計・施工現場での利用を想定し、ハンズフリーでの操作が可能で、建設業や製造業で活用が進んでいる「ウェアラブルデバイス（身体の一部に装着するコンピュータ）」を利用することとした。

ホロレンズは、MR機能（現実と仮想の空間を融合する

表-1 ウェアラブルデバイス比較表

製品名	リアルウェア	ビュージックス	ホロレンズ2
機器			
機能	防水防塵	防水防塵	-
遠隔アシスト (Web会議)	○ temas・Zoom	○ temas・Zoom	○ temas
CIMモデル投影	×	×	○
画像記録	○	○	○
画面表示	▲ 小さく見えない	▲ 小さく見えない	○ 確認可能

映像技術)を有するデバイスであり、空間パネルや音声による操作のほか手袋装着時も利用が可能である。

また、本試行では、①遠隔アシスト(Web会議)機能、②CIMモデルの投影機能を可能とするソフトウェアを導入した。

## 3. 業務効率化検討

今回試行の遠隔アシスト(Web会議)は、マイクロソフト社のWeb会議ソフト teamsを利用しており、ハンズフリーで音声・映像通信ができること、MR投影で視覚を阻害しにくいことから現場を歩きながらの利用も可能とな



図-1 地すべり対策工 流量測定現地立会状況(左:PC画面、右:事務所)

っている。

これは、画面上で視覚を共有することができ、注視したい箇所を現地のデバイスの視覚上に描画し、通話しながら指示することができ、現地に赴かずとも詳細に確認できるようになっている。

また、デバイス内や受け手のPC内で動画・音声記録が可能となっており、繰り返し確認や、現地調査に参加していない人員にも現地状況を詳細に伝えることができる。

CIMデータ投影は、設計したCIMデータを変換し、デバイスに取り込み投影する。CIM投影は実物大や縮小モデルといった任意のスケールで表示が可能である。

実際に現地でデバイス装着者の視覚上にCIMデータを展開した。(図2参照)

#### 4. 効率化について

遠隔アシスト(Web会議)活用によって、移動にかかる時間的損失の軽減やコストの削減ができた。

また、情報の瞬時共有や現地状況を視認できるため受注者も説明資料を作成することなくワンデーレスポンス

を超える即時相談・即時判断が可能となった。

移動を伴わないため、拘束される時間が減り各人の予定の調整も容易となり、気軽に打ち合わせを行えるようになったことで業務の質も向上している。

HoloLensを使用することにより、現場への指示も視覚共有によってわかりやすくなるため、会議室からの指示がうまく伝わるかといった懸念も解消できた。

CIM投影においても、構造物のおさまりや地形との接続状況、近接する保全対象との離隔状況などが一目で把握できた。従来方式だと図面からの個人のイメージ力に委ねられていた部分が、誰でも同水準で把握できるようになった。

これは、職員のみならず一般の方々への事業説明会でわかりやすく伝えるための有用なデバイスとなる可能性がある。

#### 5. 試行で判明した課題

HoloLensの投影物に視線が集中することがあるため、交通量が多い箇所や起伏が大きい箇所では事故や転倒

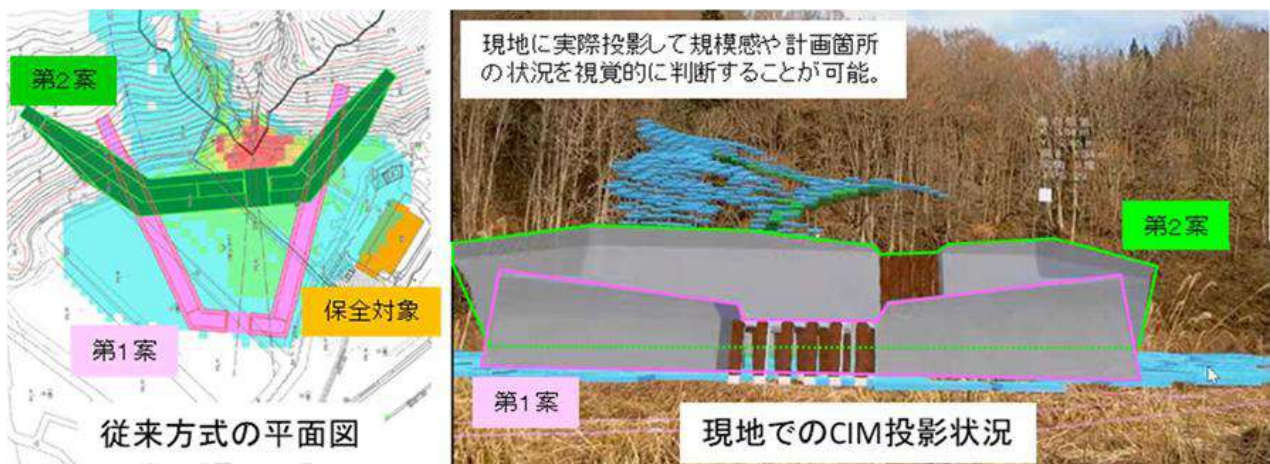


図-2 砂防堰堤配置検討(左:従来図面、右: CIM 投影状況)

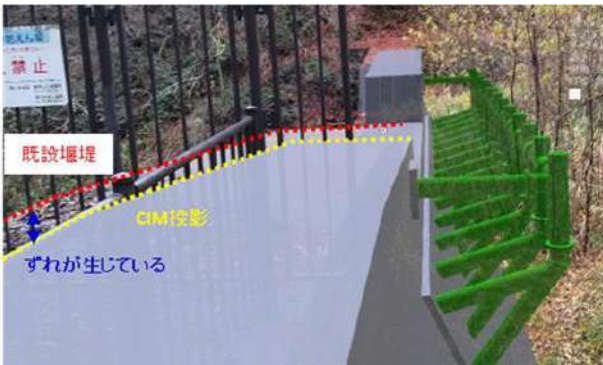


図-3 構造物のズレ

などの危険性がある。

また、防水機能が無いことから天候には十分留意する必要がある。

遠隔アシスト機能はインターネット環境に依存するため、回線速度が遅い場所では遅延やフリーズ、解像度の低下が生じる。

また、圏外箇所では使用ができない。

CIMモデルの投影にあたって、データの変換・投影作業に時間を要する。

投影データは1地点を基準に合わせるため、構造物の位置ずれが生じる場合があり、施工管理等の精度が必要な作業への使用は現状では課題がある。

## 6. まとめ・今後の利活用

本報告では、生産性向上と業務効率化を目的として、ホロレンズを導入し、①遠隔アシスト(Web会議)、②CIMデータ投影による効果を確認し、課題を整理した。

本試行により、ホロレンズを利用した①遠隔アシスト(Web会議)、②CIMデータ投影の導入は、移動時間や資料作成といった時間的損失の削減や視覚を共有し即時相談・即時判断といった合意形成の迅速化など、発注者

と受注者の双方にとって、業務効率化と生産性向上のメリットがあることが確認できた。

遠隔アシスト(Web会議)では、現地状況確認やボーリング検尺、災害調査への展開が可能と考えられる。

なかでもボーリング検尺は、実施頻度が高いうえ、現地までの移動時間削減と検尺待ちによる作業中断時間の削減、記録整理の負担軽減等が見込まれ有用なツールとして期待される。

CIMデータ投影では、地元説明会や三社会議(事務所・設計業者・工事業者)、避難訓練、出前授業等への展開が可能と考えられる。

特に地元説明会において、従来では平面図や横断図といった平面的な図面から範囲をイメージしてもらうなど受け手側によって理解度にばらつきが出ることがあったものが、本デバイスを使用することによって完成形を立体的に視認できることから理解度に差が生じにくく、誰でもわかりやすい説明が可能となる。

立体的に視認できることにより避難訓練や出前講座等にて浸水深や各種被災想定が視覚で判断でき、ハザードマップ等を容易に理解でき地域防災力の向上が期待される。

建設業においては、設計図を現地に投影することにより、構造物と設計成果との差異を視覚で判断できることにより施工ミスの軽減に寄与できる。

DXやi-Construction(BIM/CIM活用)の分野は、接続回線やデバイス、ソフト等の発展が著しく、今回課題で上げたネットワーク回線の遅延や構造物の位置ずれは、5G回線への移行や緯度・経度座標を利用した位置合わせソフトの開発等による解消が期待される。

今後も新たな試行をして業務効率化、生産性向上に努めたい。

## UTILIZING MR DEVICE(HOLOLENS)EXAMINATION OF OPERATIONAL EFFICIENCY

Yohei TKAHASHI

The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) is promoting DX and i-Construction with the aim of improving and upgrading productivity in the construction industry. In addition, the policy of applying BIM/CIM principles to all public works projects in FY2023 has been announced, and the improvement of productivity and sophistication through the use of BIM/CIM are considered important.

Based on this background, we report on the results of the "study of work efficiency improvement using MR devices" as an approach to BIM/CIM utilization at the Shinjo Office of River, MLIT. In addition, we report on the effects and issues of CIM utilization using MR device.