

一般社団法人
日本建設機械施工協会誌(Journal of JCMA)

2024

建設機械施工

7

Vol.76 No.7 July 2024(通巻893号)

特集 建設 DX と生成 AI



AIツール「AiCorb」で生成したファサードデザイン案

巻頭言

生成AIが建設業界にもたらす革新と課題解決

特集技術報文

- 統合プラットフォームT-iDigital Fieldを活用した山岳トンネル施工
- 山岳トンネル施工統合システムOTISMの開発
- クレーンワイヤー全周囲外観検査システムの開発
- 自律AIによる建設機械の自動化
- 建築設計業務における生成AI活用の課題と展望
- 深層学習を用いた鋼構造物の素地調整時の除錆度判定システムの開発
- 生成AIの動向と用語 他

行政情報

交流のひろば

すいそう

- 建設現場のオートメーション化に向けて
- 建設現場におけるICT施工の普及拡大に向けた取組
- 建設現場業務への生成AI活用の可能性
- スカイジャンプで イキイキ 楽しく体力づくり
- 継続は…

一般社団法人 日本建設機械施工協会

杭打工事用

パイルキーパー

海上・河川等での杭打ち作業用、
パイル保持装置

石狩湾新港洋上風力発電事業工事向け
パイルキーパー

仕様

杭 径 最大 $\phi 2500\text{mm}$

杭重量 最大 90ton

開 閉 油圧駆動

前後スライド範囲 $\pm 900\text{mm}$ 油圧駆動

左右スライド範囲 $\pm 1000\text{mm}$ 油圧駆動

実績多数

海上工事、陸上工事、岸壁護岸工事、海上空港、
ダム湖再生工事、導枠治具、リーダー付



洋上風力発電ジャケット基礎杭工事



吉永機械株式会社

〒130-0021 東京都墨田区緑4-4-3 吉永ビル TEL:03-3634-5651

URL: www.yoshinaga.co.jp

建設機械用
無線操作装置

ダイワテレコン



ICT施工や自動制御に対応可能

ダイワテレコン872

- 最大72点の操作点数を持ち、比例制御にも対応いたします。
- 指令機操作/パネルはレイアウトフリーで用途に合わせた実装部品が選択可能。
- 特定省電力無線429MHz帯域および1200MHz帯域選択可能。
- 外部接続用ポート(オプション仕様)より、LAN通信制御が可能。

取付改造実績

油圧ショベル、ブルドーザ、振動ローラ
クローラダンプ、鑿岩機、その他特殊専用機など

無線遠隔装置だけでは終わらない
弊社では制作から取付改造工事までを完全サポート
大型機対応屋内工場完備(100tクラスまで対応)



ハンディタイプ
使いやすさを極めた高機能・高性能
ダイワテレコン810

用途
インバータ制御機器
エンジン制御
油空圧比例制御

DAIWA TELECON

大和機工株式会社

常滑工場 〒479-0002 愛知県常滑市久米字西仲根227番

TEL: 0569-84-8582(直通) FAX: 0569-84-8857

ホームページ <http://www.daiwakiko.co.jp/>

e-mail mekatoro@daiwakiko.co.jp

◆ 日本建設機械施工協会『個人会員』のご案内

会 費：年間 9,000円(不課税)

個人会員は、日本建設機械施工協会の定款に明記されている正式な会員で、本協会の目的に賛同し、建設機械・建設施工にご関心のある方であればどなたでもご入会いただけます。

★個人会員の特典

- 「建設機械施工」を機関誌として毎月お届け致します。(一般購入価格 1冊800円＋消費税/送料別途)
「建設機械施工」では、建設機械や建設施工に関わる最新の技術情報や研究論文、本協会の行事案内・実施報告などのほか、新工法・新機種の紹介や統計情報等の豊富な情報を掲載しています。
- 協会発行の出版図書を会員価格(割引価格)で購入することができます。
- シンポジウム、講習会、講演会、見学会等、最新の建設機械・建設施工の動向にふれることができる協会行事をご案内するとともに、会員価格(割引価格)でご参加いただけます。

この機会に是非ご入会下さい!!

◆一般社団法人 日本建設機械施工協会について

一般社団法人 日本建設機械施工協会は、建設事業の機械化を推進し、国土の開発と経済の発展に寄与することを目的として、昭和25年に設立された団体です。建設の機械化に係わる各分野において調査・研究、普及・啓蒙活動を行い、建設の機械化や施工の安全、環境問題、情報化施工、規格の標準化案の作成などの事業のほか、災害応急対策の支援等による社会貢献などを行っております。

今後の建設分野における技術革新の時代の中で、より先導的な役割を果たし、わが国の発展に寄与してまいります。

一般社団法人 日本建設機械施工協会とは…

- 建設機械及び建設施工に関わる学術研究団体です。(特許法第30条に基づく指定及び日本学術会議協力学術研究団体)
- 建設機械に関する内外の規格の審議・制定を行っています。(国際標準専門委員会の国内審議団体(ISO/TC127、TC195、TC214)、日本工業規格(JIS)の建設機械部門原案作成団体、当協会団体規格「JCMAS」の審議・制定)
- 建設機械施工技術検定試験の実施機関に指定されています。(建設業法第27条)
- 災害発生時には会員企業とともに災害対応にあたります。(国土交通省各地方整備局との「災害応急対策協定」の締結)
- 付属機関として「施工技術総合研究所」を有しており、建設機械・施工技術に関する調査研究・技術開発にあたっています。また、高度な専門知識と豊富な技術開発経験に基づいて各種の性能試験・証明・評定等を実施しています。
- 北海道から九州まで全国に8つの支部を有し、地域に根ざした活動を展開しています。
- 外国人技能実習制度における建設機械施工職種の技能実習評価試験実施機関として承認されています。

■会員構成

会員は日本建設機械施工協会の目的に賛同された、個人会員(建設機械や建設施工の関係者等や関心のある方)、団体会員(法人・団体等)ならびに支部団体会員で構成されており、協会の事業活動は主に会員の会費によって運営されています。

■主な事業活動

- ・学術研究、技術開発、情報化施工、規格標準化等の各種委員会活動。
- ・建設機械施工技術検定試験・外国人技能評価試験の実施。
- ・各種技術図書・専門図書の発行。
- ・除雪機械展示会の開催。
- ・シンポジウム、講習会、講演会、見学会等の開催。海外視察団の派遣。

■主な出版図書

- ・建設機械施工(月刊誌)
- ・日本建設機械要覧
- ・建設機械等損料表
- ・橋梁架設工事の積算
- ・大口径岩盤削孔工法の積算
- ・よくわかる建設機械と損料
- ・ICTを活用した建設技術(情報化施工)
- ・建設機械施工安全技術指針本文とその解説
- ・道路除雪オペレータの手引き

その他、日本建設機械施工協会の活動内容はホームページでもご覧いただけます！

<https://jcmanet.or.jp/>

※お申し込みには次頁の申込用紙をお使いください。

【お問い合わせ・申込書の送付先】

一般社団法人 日本建設機械施工協会 個人会員係

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館2F

TEL:(03)3433-1501 FAX:(03)3432-0289

一般社団法人 日本建設機械施工協会 会長 殿

下記のとおり、日本建設機械施工協会 個人会員に入会します。

令和 年 月 日

個人会員入会申込書		
ふりがな		生年月日
氏名		昭和 平成 年 月 日
勤務先名		
所属部課名		
勤務先住所	〒 TEL _____ E-mail _____	
自宅住所	〒 TEL _____ E-mail _____	
機関誌の送付先	勤務先 自宅 (ご希望の送付先に○印で囲んで下さい。)	
その他 連絡事項	令和 年 月より入会	

【会費について】年間 9,000円(不課税)

- 会費は当該年度前納となります。年度は毎年4月から翌年3月です。
 - 年度途中で入会される場合であっても、当該年度の会費として全額をお支払い頂きます。
 - 会費には機関誌「建設機械施工」の費用(年間12冊)が含まれています。
 - 退会のご連絡がない限り、毎年度継続となります。退会の際は必ず書面にてご連絡下さい。
- また、住所変更の際はご一報下さるようお願い致します。

【その他ご入会に際しての留意事項】

○個人会員は、定款上、本協会の目的に賛同して入会する個人です。 ○入会手続きは本協会会長宛に入会申込書を提出する必要があります。

○会費額は総会の決定により変更されることがあります。 ○次の場合、会員の資格を喪失します: 1.退会届が提出されたとき。 2.後見開始又は保佐開始の審判を受けたとき。 3.死亡し、又は失踪宣言を受けたとき。 4.1年以上会費を滞納したとき。 5.除名されたとき。 ○資格喪失時の権利及び義務: 資格を喪失したときは、本協会に対する権利を失い、義務は免れます。ただし未履行の義務は免れることはできません。 ○退会の際は退会届を会長宛に提出しなければなりません。 ○拠出金の不返還:既納の会費及びその他の拠出金品は原則として返還いたしません。

【個人情報の取扱について】

ご記入頂きました個人情報は、日本建設機械施工協会のプライバシーポリシー(個人情報保護方針)に基づき適正に管理いたします。本協会のプライバシーポリシーは <https://jcmanet.or.jp/privacy/> をご覧下さい。

論文投稿のご案内

日本建設機械施工協会では、学術論文の投稿を歓迎します。論文投稿の概要は、以下のとおりです。なお、詳しいことは、当協会ホームページ、論文投稿のご案内をご覧ください。

当協会ホームページ <https://jcmanet.or.jp/>

★投稿対象

建設機械、機械設備または建設施工の分野及びその他の関連分野並びにこれらの分野と連携する学際的、横断的な諸課題に関する分野を対象とする学術論文(原著論文)の原稿でありかつ下記の条件を満足するものとします。なお、施工報告や建設機械の開発報告も対象とします。

- (1) 理論的又は実証的な研究・技術成果、あるいはそれらを統合した知見を示すものであって、独創性があり、論文として完結した体裁を整えていること。
- (2) この分野にとって高い有用性を持ち、新しい知見をもたらす研究であること。
- (3) この分野の発展に大きく寄与する研究であること。
- (4) 将来のこの分野の発展に寄与する可能性のある萌芽的な研究であること。

★部門

- (1) 建設機械と機械設備並びにその高度化に資する技術部門
- (2) 建設施工と維持管理並びにその高度化に資する技術部門

★投稿資格

原稿の投稿者は個人とし、会員資格の有無は問いません。

★原稿の受付

随時受け付けます。

★公表の方法

当協会機関誌へ掲載します。

★機関誌への掲載は有料です。

★その他：優秀な論文の表彰を予定しています。

★連絡先

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8（機械振興会館）

日本建設機械施工協会 研究調査部 論文担当

E-mail : ronbun@jcmanet.or.jp

TEL : 03 - 3433 - 1501

FAX : 03 - 3432 - 0289



(一社) 日本建設機械施工協会 発行図書一覧表 (令和 6 年 7 月現在)

消費税 10%

No.	発行年月	図 書 名	一般価格 (税込)	会員価格 (税込)	本部 送料
1	R6 年 5 月	大口径岩盤削孔工法の積算 令和 6 年度版	6,600	5,610	770
2	R6 年 5 月	橋梁架設工事の積算 令和 6 年度版	12,100	10,285	990
3	R6 年 5 月	よくわかる建設機械と損料 2024	7,260	6,171	770
4	R6 年 4 月	令和 6 年度版 建設機械等損料表	9,680	8,228	770
5	R5 年 10 月	道路除雪施工の手引 (第 17 版)	4,950	3,960	770
6	R4 年 3 月	日本建設機械要覧 2022 年版	53,900	45,100	990
7	R3 年 1 月	情報化施工の基礎 ～i-Construction の普及に向けて～	2,200	1,870	770
8	H30 年 8 月	消融雪設備点検・整備ハンドブック	13,200	11,000	770
9	H29 年 4 月	ICT を活用した建設技術 (情報化施工)	1,320	1,122	770
10	H26 年 3 月	情報化施工デジタルガイドブック 【DVD 版】	2,200	1,980	770
11	H25 年 6 月	機械除草安全作業の手引き	990	880	770
12	H23 年 4 月	建設機械施工ハンドブック (改訂 4 版)	6,600	5,610	770
13	H22 年 9 月	アスファルトフィニッシャの変遷	3,300	2,970	770
14	H22 年 9 月	アスファルトフィニッシャの変遷 【CD】	3,300	2,970	770
15	H22 年 7 月	情報化施工の実務	2,200	1,870	770
16	H21 年 11 月	情報化施工ガイドブック 2009	2,420	2,178	770
17	H20 年 6 月	写真でたどる建設機械 200 年	3,080	2,618	770
18	H19 年 12 月	除雪機械技術ハンドブック	3,300	2,970	770
19	H18 年 2 月	建設機械施工安全技術指針・指針本文とその解説	3,520	2,992	770
20	H17 年 9 月	建設機械ポケットブック (除雪機械編)	1,100	990	770
21	H16 年 12 月	除雪・防雪ハンドブック (除雪編) 【CD-R】	5,500	4,950	770
22	H15 年 7 月	道路管理施設等設計指針 (案) 道路管理施設等設計要領 (案) 【CD-R】	3,520	3,168	770
23	H15 年 7 月	建設施工における地球温暖化対策の手引き	1,650	1,485	770
24	H15 年 6 月	道路機械設備 遠隔操作監視技術マニュアル (案)	1,980	1,782	770
25	H15 年 6 月	機械設備点検整備共通仕様書 (案)・機械設備点検整備特記仕様書作成要領 (案)	1,980	1,782	770
26	H15 年 6 月	地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル	550	495	770
27	H13 年 2 月	建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック (第 3 版)	6,600	5,940	770
28	H12 年 3 月	移動式クレーン、杭打機等の支持地盤養生マニュアル (第 2 版)	2,750	2,475	770
29	H11 年 10 月	機械工事施工ハンドブック 平成 11 年度版	8,360	8,360	770
30	H11 年 5 月	建設機械化の 50 年	4,400	3,960	770
31	H11 年 4 月	建設機械図鑑	2,750	2,475	770
32	H10 年 3 月	大型建設機械の分解輸送マニュアル 【CD-R】	3,960	3,564	770
33	H9 年 5 月	建設機械用語集	2,200	1,980	770
34	H6 年 8 月	ジオスペースの開発と建設機械	8,470	7,623	770
35	H6 年 4 月	建設作業振動対策マニュアル	6,380	5,742	770
36	H3 年 4 月	最近の軟弱地盤工法と施工例	10,450	9,405	770
37	S60 年 1 月	建設工事に伴う濁水対策ハンドブック 【CD-R】	6,600	5,940	770
38		建設機械履歴簿	440	396	770
39	毎月 25 日	建設機械施工	880	792	770

定期購読料 年 12 冊 10,032 円 (税・送料込)

購入を希望される場合、当協会 HP <https://jcmnet.or.jp/> の出版図書欄の「出版図書のご購入について」から本部、または支部の購入方法に基づきお申込みください。

特集

建設 DX と生成 AI

巻頭言

4 生成 AI が建設業界にもたらす革新と課題解決

馬淵 邦美 デロイトトーマツコンサルティング パートナー 執行役員, (一社) Metaverse Japan 共同代表理事

行政情報

5 建設現場のオートメーション化に向けて

i-Construction 2.0 の推進

中根 亨 国土交通省 大臣官房 参事官 (イノベーション) グループ 施工企画室 課長補佐

9 建設現場における ICT 施工の普及拡大に向けた取組

阿久根祐之 国土交通省 大臣官房 参事官 (イノベーション) グループ 施工企画室 課長補佐

特集技術報文

14 統合プラットフォーム T-iDigital Field を活用した山岳トンネル施工

池田 一樹 大成建設㈱ 技術センター 生産技術開発部 スマート技術開発室 課長

19 データ利活用型 ICT 土工管理システムによる

現場の生産性向上を実証

土工事における施工管理の効率化および高度化に向けた取り組み

高尾 篤志 ㈱奥村組 ICT 統括センター イノベーション部 i-Construction 推進課 主任
本木 章平 戸田建設㈱ 技術研究所 施工革新部 主管
黒田 卓也 西松建設㈱ 技術研究所 土木技術グループ 主任

24 山岳トンネル施工統合システム OTISM の開発

森野 弘之 ㈱大林組 東日本ロボティクスセンター運用管理部 部長
木梨 秀雄 ㈱大林組 生産技術本部 トンネル技術部 上級主席技師
西浦 秀明 ㈱大林組 生産技術本部 トンネル技術部 上級主席技師

31 自動化施工システム A⁴CSEL[®] による DX ソリューション

出石 陽一 鹿島建設㈱ 機械部 自動化施工推進室 室長
浜本 研一 鹿島建設㈱ 技術研究所 先端・メカトロニクスグループ グループ長

36 ICT 活用山岳トンネル機械施工

井手 康夫 清水建設㈱ 土木技術本部 イノベーション推進部 部長

41 油圧ショベルの車体センサデータの新しい活用方法

掘削土の土質判別

森澤 直樹 コマツ 開発本部 試験センタ 大阪グループ 技師
今西 将也 コマツ 開発本部 試験センタ 大阪グループ 技師
遠藤 大輔 (国研) 土木研究所 技術推進本部 先端技術チーム 主任研究員

48 舗装工事におけるプルーフローリング試験のデジタル化とその効果

立花 洋平 ㈱NIPPO 工事部 ICT 推進グループ 機械技術担当課長

54 クレーンワイヤー全周囲外観検査システムの開発

宮川 克己 ㈱熊谷組 土木事業本部機械部 部長
松崎 伸吾 パシフィックシステム㈱ センシング事業部 センシング技術部 主任

60 自律 AI による建設機械の自動化

2024 年問題, 人手不足に立ち向かう

原口 将征 ㈱アラヤ 事業推進部 シニアセールスマネージャー

64 建築設計業務における生成 AI 活用の課題と展望

建築設計アシスト AI ツール「AiCorb[®]」の開発を通して

小林 拓馬 ㈱大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 副課長

70 深層学習を用いた鋼構造物の素地調整時の

除錆度判定システムの開発

大屋 誠 松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 教授
河原 達哉 長岡技術科学大学 大学院修士課程 工学専攻環境社会基盤工学分野 大学院生
小龍 初音 アイコンヤマト㈱ システム推進

79 建設分野における言語モデルの自動評価に向けた研究

藤井純一郎 八千代エンジニアリング㈱ 技術開発研究所 AI 解析研究室 室長
緒方 陸 八千代エンジニアリング㈱ 技術開発研究所 AI 解析研究室 主任研究員

	84	LLM の土木・建設分野への利活用 菅田 大輔 日本工営㈱ 研究員 箱石 健太 日本工営㈱ 研究員 一言 正之 日本工営㈱ 課長
	90	汎用資機材を組み合わせた形状調整システムによる 現場施工の効率化と省人化 酒井 匡 日本ファブテック㈱ 橋梁事業本部 工事統括 橋梁工事部 副部長 富田 隆史 日本ファブテック㈱ 橋梁事業本部 営業統括 技術推進部 部長
	94	生成 AI の動向と用語 7月号担当編集委員
交流のひろば	102	建設現場業務への生成 AI 活用の可能性 取り組み内容とその周辺 佐々木暁子 スパイダープラス㈱ コーポレートブランディングセクション 広報チーム
ずいそう	105	スカイジャンプで イキイキ 楽しく体力づくり 下平 英 山崎建設㈱ OG
	107	継続は… 森 和誉 ㈱タダノエンジニアリング 商品開発事業部
JCMA 報告	109	第 13 回通常総会・第 50 回理事会報告
	113	令和 6 年度 日本建設機械施工大賞 受賞業績
CMI 報告	126	地方自治体・小規模施工における ICT 活用工事の取り組み 田中 一博 (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第三部 主任研究員 八木橋宏和 (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第三部 主任研究員
統計	130	建設工事受注額・建設機械受注額の推移 機関誌編集委員会
	131	行事一覧 (2024 年 5 月)
	134	編集後記 (加藤・岡本・桐山)

◇表紙写真説明◇

AI ツール「AiCorb」で生成したファサードデザイン案

写真提供：(株)大林組

「AiCorb」は設計業務をアシストする AI ツールである。本 AI ツールは 2 つの AI で構成され、一つはファサードデザイン案の検討に利用できる画像生成 AI、もう一つがその生成結果をすばやく三次元モデル化する際に利用できる三次元変換 AI である。本ツールでは、特にスケッチから様々なデザインを提案する事に主眼をおいており、詳細なスケッチだけでなくラフスケッチからでも設計の意図を読み取れるように AI を独自に学習した。加えて、スケッチを忠実に読み取る AI や忠実性より生成結果の品質を重視した AI などの複数の AI モデルを用意するなどし、設計者の利用目的に応じた使い方ができるようなツールを目指している。

※生成 AI に入力した「入力スケッチ」と「生成条件」は報文を参照

巻頭言

生成 AI が建設業界にもたらす 革新と課題解決

馬 淵 邦 美



開発が加速する、生成 AI（ジェネレーティブ AI）技術は、建設業界における多くの課題を解決し、業界全体に革命をもたらす可能性がある。

AI カメラや自動化システムの導入により、従来の人手不足問題や効率を劇的に改善するなど建設業界の様々な側面に革新をもたらす。

例えば、AI は設計支援やプロジェクト管理の効率化、リスク管理の向上など、多岐にわたる業務でその力を発揮する。これにより、企業はより創造的な業務に集中でき、プロジェクト全体の品質と安全性の向上に集中できるなど、その活用範囲は多岐にわたる。

下記に今後予想されるユースケースの考察を挙げさせて頂く。

1. 設計・プランニングの高度化

過去の設計データや建築基準法などを学習し、新たな設計案を提案するだけでなく、空撮画像などから 3D モデルを自動生成するなど、設計・プランニング業務を高度化する。これにより、設計者はより創造的な業務に集中でき、顧客への具体的な提案も容易になる。さらに、AI を活用することで、複雑な建築設計の調整や最適化もスムーズに行えるようになり、設計時間の短縮と品質向上が期待される。

2. リスク管理・安全性の向上

過去の事故データや気象情報などを分析し、潜在的なリスクを予測することで、事故防止に貢献する。さらに、機械学習と連携した画像解析やマッピング技術を自動走行ロボットに導入することで、危険な作業の自動化も期待できる。これにより、現場作業員の安全性が飛躍的に向上し、作業効率も向上するだろう。また、AI を用いたリアルタイムのリスク評価システムにより、迅速な対応が可能となり、事故発生のリスクを最小限に抑えることができる。

3. 施工プロセスの最適化と自動化

資材の調達状況や作業員の配置などを考慮し、最適な施工計画を立案できる。また、一部の作業工程では、AI による自動化も進んでおり、工期の短縮やコスト削減、品質向上に貢献している。具体的には、AI が

資材の使用量を最適化し、無駄を削減することで、環境負荷の軽減にも寄与する。さらに、AI による施工進捗のリアルタイムモニタリングとフィードバック機能により、現場での迅速な意思決定が可能となり、プロジェクトの成功率が向上する。

4. 維持管理の効率化

生成 AI は、建物の劣化状況や設備の故障などを予測し、適切なメンテナンス時期を提案することができる。これにより、建物の寿命を延ばし、維持管理コストを削減できる。さらに、AI を活用することで、設備の予防保全が可能となり、故障の未然防止やダウンタイムの短縮が実現される。建物のライフサイクル全体を通じてのデータ管理と分析が行われることで、長期的な維持管理計画の策定も容易になる。

5. 環境への配慮

生成 AI は、建物のエネルギー消費量や CO₂ 排出量などをシミュレーションし、環境負荷を低減する設計を支援することができる。これにより、持続可能な社会の実現に貢献できる。具体的には、AI がエネルギー効率の高い設計を提案し、再生可能エネルギーの利用を促進することができる。また、建設現場での資源の効率的な使用と廃棄物の削減を支援することで、環境保護の取り組みが強化される。

生成 AI は建設業界の課題解決に大きく貢献する一方で、データ収集・蓄積、AI モデルの開発、人材育成やリスクリングなどの課題も存在する。

これらの課題を克服し、生成 AI を最大限に活用することで、建設業界はさらなる発展を遂げることに期待している。

企業や研究機関は協力し、AI 技術の進化と実用化を推進することで、未来の建設業界における新たな可能性を切り拓くことが求められる。

また、政策提言や業界全体での標準化も重要な課題として取り組みを期待している。

——まぶち くによし

デロイトトーマツコンサルティング パートナー 執行役員、
(一社) Metaverse Japan 共同代表理事——

行政情報

建設現場のオートメーション化に向けて i-Construction 2.0 の推進

中 根 亨

国土交通省では、建設現場の生産性向上の取組として、2016年度より、ICT 施工をはじめとする「i-Construction」の取組を進めてきた。今後、更なる人口減少が予測されるなか、国民生活や経済活動の基盤となるインフラの整備・維持管理を、将来にわたって持続的に実施していくことが必要であることから、これまでの取組をさらに一步進め、「i-Construction 2.0」として少ない人数で、安全に、快適な環境で働く建設現場の実現を目指し、建設現場のオートメーション化に取り組んでいく。

i-Construction 2.0 では、2040 年度までに建設現場の省人化を少なくとも 3 割、すなわち生産性を 1.5 倍向上することを目指し、建設現場で働く一人ひとりが生み出す価値を向上し、少ない人数で、安全に、快適な環境で働く生産性の高い建設現場の実現を目指して、建設現場のオートメーション化について取り組みを進めていく。

キーワード：i-Construction 2.0, 施工のオートメーション化, データ連携のオートメーション化, 施工管理のオートメーション化, 自動施工, 遠隔施工, BIM/CIM, ICT 施工

1. はじめに

国土交通省では、2016 年 4 月に i-Construction 委員会（委員長：小宮山宏（株）三菱総合研究所理事長）から「i-Construction ～建設現場の生産性革命～」を提言いただき、建設現場の生産性向上の取組として、ICT 建設機械や無人航空機（UAV）等を活用した ICT 施工や、設計・施工におけるデジタル技術の積極的な活用など、i-Construction を進めてきた。

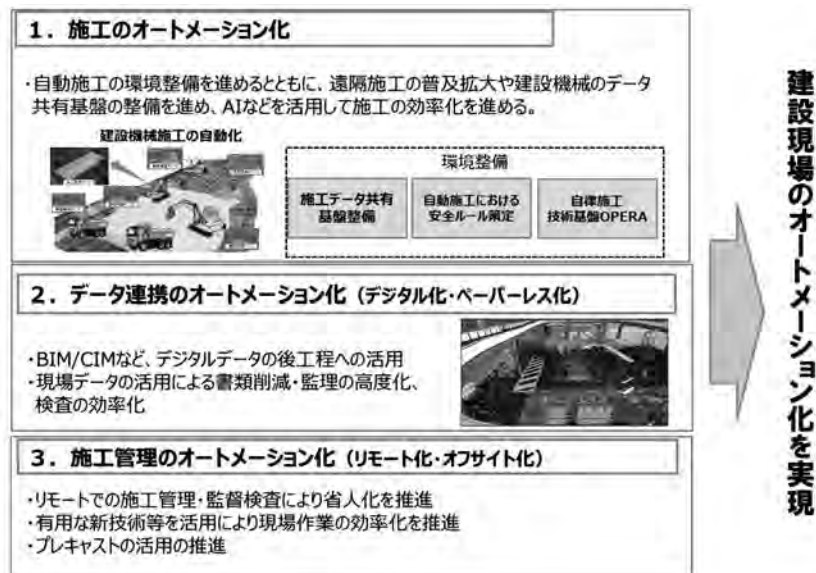
2024 年 4 月には、i-Construction の更なる展開として「i-Construction 2.0」の取りまとめを行ったので、本稿にて紹介する。

2. 更なる建設現場の省人化対策 ～建設現場のオートメーション化～

i-Construction に着手して以降、生産年齢人口の減少や高齢化により、特に地方都市において暮らしを支える各種サービス提供機能の低下・損失が懸念される中、気候変動の影響による自然災害の激甚化・頻発化、高度成長期以降に集中的に建設されたインフラの老朽化が進行するなど、社会資本整備をめぐる状況は大きく変化してきている。また、近年の AI, 5G, クラウド等に至る革新的なデジタル技術の発展・社会実装や

世界中で流行した新型コロナウイルス感染症は、社会経済活動のあり方や人々の行動・意識・価値観・インフラに対する捉え方にも多大な影響を及ぼした。このような状況の中、建設産業は、コロナ禍においても、国土の安全・安心の確保、人流・物流の確保など、地域の守り手として国民生活に不可欠な産業であり、建設産業従事者はエッセンシャルワーカーであることが再認識された。一方で、今後更に生産年齢人口の減少が進んだ場合、他産業に比べて入職率、定着率が低い建設産業は、担い手を確保することが困難になり、将来にわたって社会資本の整備・維持管理を持続し、国民生活に不可欠なサービスを提供する社会的使命を果たし続けていくうえでの大きな制約になりかねない。人口減少下においても、将来にわたって必要なサービスを提供していくためには、デジタル技術やデータの活用により、少ない人数で仕事を遂行できるよう、建設産業の仕事そのものを変えていく必要がある。

国土交通省では、「施工のオートメーション化」、「データ連携のオートメーション化」、「施工管理のオートメーション化」を 3 本の柱とし、これまで進めてきた i-Construction の取組を深化し、更なる抜本的な建設現場の省人化対策を「i-Construction 2.0」として、少ない人数で、安全に、快適な環境で働く建設現場の実現を目指し、建設現場のオートメーション化に取り組むこととする（図—1）。



図一 建設現場のオートメーション化に向けたトップランナー施策

(1) 施工のオートメーション化

現在、建設現場では経験豊かな技術者の指揮下において作成した施工計画のもと、工事工程を定めた上で、建設機械にオペレータが搭乗し操作を行う。今後、一人当たりの生産能力を向上するため、各種センサーにより現場の情報を取得し、AIなどを活用して自動的に作成された施工計画に基づき、一人のオペレータが複数の建設機械の動作を管理する「施工のオートメーション化」に向けた取組を実施する。

「施工のオートメーション化」にあたっては、建設機械メーカー間で異なる制御信号の共通化、自動施工の標準的な安全ルールなどの環境整備、人が立ち入ることができない環境下でも安全かつ効率的な作業を可能にする建設機械の遠隔操作技術の普及促進等を実施する。

また、様々な技術が適用されている建設現場では、メーカーの異なる建設機械であってもリアルタイムに

施工データを取得・共有することで、建設現場のデジタル化・見える化を進め、最適な建設機械の配置を即座に判断し、効率的な施工を実現する。更に、海上工事における作業船の操作の自動化を実現する。

「施工のオートメーション化」により、建設現場の省人化に加え、生産年齢人口減少下においても必要な施工能力を確保していく（図一2）。

(2) データ連携のオートメーション化（デジタル化・ペーパーレス化）

建設生産プロセス（調査・測量、設計、施工、維持管理）全体をデジタル化、3次元化し、必要な情報を必要な時に加工できる形式での取得を容易にする環境を構築するBIM/CIMなどにより「データ連携のオートメーション化」を推進する。これによりデータ入力の手戻りや二度手間、不要な調査や問い合わせ、復元作業を削減するとともに、資料を探す手間やデータ提



図二 施工のオートメーション化に向けたロードマップ

供までの待ち時間などの削減を進める。

建設生産プロセスにおいて作成・取得するデータは多量にあるものの、現時点ではデータを十分に活用できておらず、各段階で求められる情報を精査・整理した上で、関係者間で容易に共有できるよう、情報共有基盤を構築し、円滑なデータ連携を進める。

データの活用にあたっては、設計データを施工データとしての活用や、デジタルツインの構築による施工計画の効率化など、施工に関わる部分の効率化に加え、BI ツール等の活用により、紙での書類は作成せず、データを可視化し、分析や判断ができるよう真の意味でのペーパーレス化（ASP（情報共有システム）の拡充といった現場データの活用による書類削減）などバックオフィスの効率化の両面から進めていく（図－3）。

(3) 施工管理のオートメーション化（リモート化・オフサイト化）

建設現場全体のオートメーション化を進めるためには、施工の自動化やBIM/CIM等によるデジタルデータの活用に加え、部材製作、運搬、設置や監督・検査等あらゆる場面で有用な新技術も積極的に取り入れながらオートメーション化を進めていく。

これまで立会い、段階確認等の確認行為において活用していた遠隔臨場を検査にも適用するとともに、コンクリート構造物の配筋の出来形確認においては、デジタルカメラで撮影した画像解析による計測技術も適用する。また、小型構造物や中型構造物を中心に活用していたプレキャスト製品について、大型構造物についてもVFM（Value for Money）の評価手法の確立等を進めながら導入を推進することにより、リモート



図－3 データ連携のオートメーション化に向けたロードマップ



図－4 施工管理のオートメーション化に向けたロードマップ

化・オフサイト化を進める。

また、通信ネットワークの強化は大容量のデータを活用するには欠かすことはできない。日本全国を高速・大容量回線で接続し、動画や3次元モデルなどの大容量データを円滑に利用できる環境を整備する(図-4)。

なお、オートメーション化に向けた衛星測位技術の活用にあたっては、国家座標に準拠したデータの活用を推進していく。

3. i-Construction 2.0 が目指す目標

i-Construction 2.0 では、デジタル技術を最大限活用し、建設現場のあらゆる生産プロセスのオートメーション化に取り組み、今よりも少ない人数で、安全に、できる限り屋内など快適な環境で働く建設現場を実現することを目指している。具体的には2040年度までに、建設現場の省人化を少なくとも3割、すなわち生産性を1.5倍以上に向上することを目指す。これにより、建設現場で働く一人あたりの生産量や付加価値が向上し、建設産業が賃金や休暇などの就労環境の観点からも魅力ある産業となり、国民生活や経済活動の基盤となるインフラを守り続けることを目標とする。

なお、i-Construction 2.0 の効果把握では、建設生産プロセスに及ぶ範囲が広いことから、多様な効果把握に努めるものとする。

4. i-Construction 2.0 を推進するために

人口減少下においても、国民生活に不可欠な社会資本の整備や維持管理を実施していくためには、既存の方法に固執することなく、産学が開発する様々な新技術を積極的に取り入れていく必要がある。

しかし、建設工事等の受注者は、発注者の定めた仕様に基づき施工するため、仕様の範囲を超えて新技術を活用する場合には、発注者の承諾を必要とする。一方、発注者は、仕様により新技術を指定する場合は、公平性の観点から説明責任が求められるため、従来技術と新技術との比較検討では、経済性に偏重する傾向

があり、従来の手法では活用される技術が限定的となってしまう。

将来にわたって必要な社会資本の整備・維持管理を実施するには、受注者及び発注者の技術力を結集し、過度に経済性に偏重することなく、積極的に新しい手法も検討・導入し、必要な技術を活用できる環境整備を実施していく。

新技術の活用環境整備の充実のほかに、有用な新技術が創出される開発環境の整備も重要である。技術開発は、各社が競合における技術的優位を求め独自に技術開発する競争領域と、各社の技術を結集して業界の共通課題に横断的に取り組む協調領域がある。協調領域においては人的及び資本的投資を効率化・抑制して、余力を競争領域への投資に配分することが効果的である。現在、東京大学にi-Construction 寄付講座を設置し、協調領域を設定した上で、関係者が連携して研究開発等を実施しており、産学官が連携し、引き続き取組を進めていく。

新技術の社会実装において、スピード感を持って推進するには、その技術が国民に成果をもたらすまでの道筋を想定し、出口を見据えた戦略性を持って、技術開発から活用・普及に至るまでの一連の施策を総合的に推進していくことが重要である。

5. おわりに

建設業従事者の高齢化や担い手不足など、建設業全体を取り巻く環境が刻々と変化していく中、魅力ある建設現場を創り出すため、日々進化する新たな技術を建設現場に導入し、i-Construction 2.0 で目指す世界の実現に向け取組を進めていく。

J C M A

[筆者紹介]

中根 亨 (なかね とおる)

国土交通省 大臣官房

参事官 (イノベーション) グループ 施工企画室

課長補佐

行政情報

建設現場における ICT 施工の普及拡大に向けた取組

阿久根 祐之

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実現させるため、「i-Construction」の取組を2016年度より推進している。本稿では、i-Constructionのトップランナー施策の一つである、建設生産プロセスにおいてICT（情報通信技術）を活用するICT施工の普及拡大に向けた取組について紹介する。

キーワード：生産性向上、i-Construction、ICT 施工、導入協議会

1. はじめに

日本の総人口は、2008年をピークに年々減少しており、働き手の減少を上回る生産性の向上等が求められている。そこで、国土交通省では2016年度よりi-Constructionの取組を推進している。建設現場の生産性向上を図りつつ、建設業のイメージを払拭し、多様な人材を呼び込むことで担い手を確保するために、建設業を新3K（給与が良い、休暇がとれる、希望が持てる）の魅力ある職場に改善することを目指している。

その取組の中核を担うICT施工は、建設現場における調査・測量・設計・施工・検査等のあらゆる建設

生産プロセスにおいてICTを活用することにより、施工の効率化を図り建設現場の生産性を向上する取組である。

2. ICT 施工の実施状況・効果

ICT施工の実施状況は年々増加しており、2022年度においては直轄工事において公告件数の約87%で実施している。都道府県・政令市においても公告件数・実施件数ともに着実に増加している（表—1）。

また、起工測量から電子納品までの延べ作業時間についても調査の結果、土工・舗装工で3割以上の縮減

表—1 ICT 施工の実施状況

＜国土交通省の実施状況＞														単位：件	
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〕		2021年度 〔令和3年度〕		2022年度 〔令和4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	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施	
土 工	1, 625	584	1, 952	815	1, 675	960	2, 246	1, 799	2, 420	1, 994	2, 313	1, 933	2, 072	1, 790	
舗装工	－	－	201	79	203	80	340	233	543	342	384	249	357	226	
浚渫工(港湾)	－	－	28	24	62	57	63	57	64	63	74	72	55	55	
浚渫工(河川)	－	－	－	－	8	8	39	34	28	28	42	41	23	22	
地盤改良工	－	－	－	－	－	－	22	9	151	123	189	162	206	170	
合計	1, 625	584	2, 175	912	1, 947	1, 104	2, 397	1, 890	2, 942	2, 396	2, 685	2, 264	2, 379	2, 064	
実施率	36%		42%		57%		79%		81%		84%		87%		

※「実施件数」は、民間工事におけるICTの取組予定(協議中)を含む件数を集計。
※建設工事を含む工事があるため、合計欄には重複を除いた工事件数を記載。
※既設工事を除く。

※ 既施行工事を除く。

＜都道府県・政令市の実施状況＞													単位：件	
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〕		2021年度 〔令和3年度〕		2022年度 〔令和4年度〕		
	公告 件数	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	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	11,841	2,454	13,429	2,802	
実施率		33%		22%		29%		21%		21%		21%		

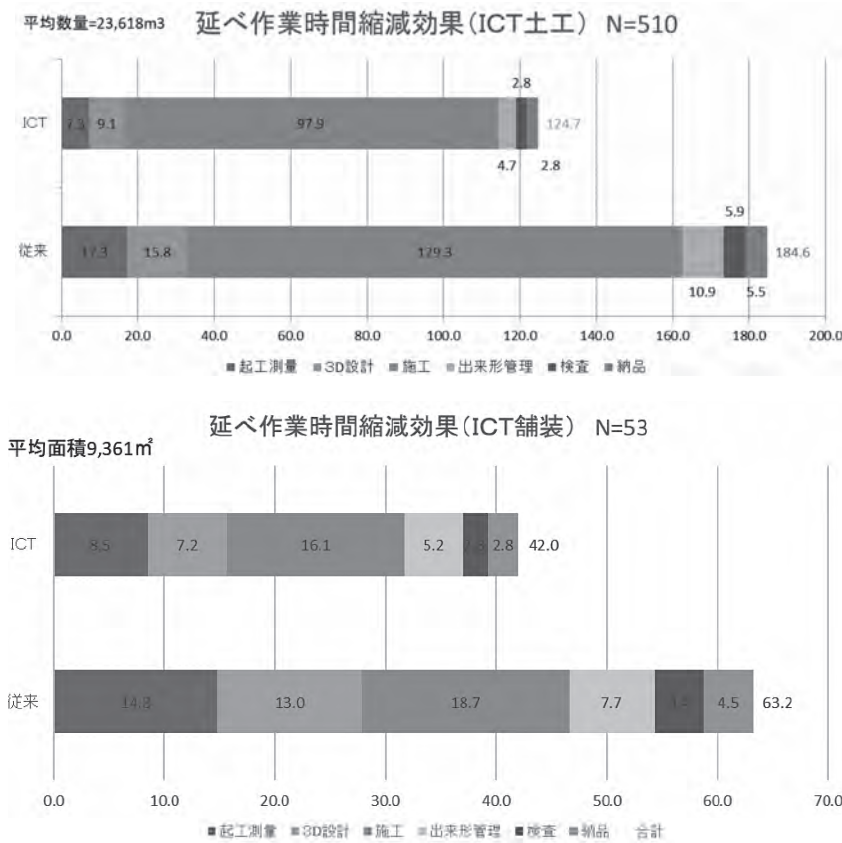
効果が見られている（図―1）。

3. 基準類の整備

国土交通省では ICT 施工の普及拡大に向けて、平成 28 年度の ICT 土工から始まり順次 ICT 活用のための

基準類を拡充しており、令和 4 年度には中小事業者への普及拡大を図るため、小規模工事へ適用工種を拡大している。

令和 5 年度には、ICT 構造物工（基礎工）の鋼管ソイルセメント杭工において、施工履歴データを活用した出来形管理手法の適用、ICT 付帯道路施設工等



図―1 延べ作業時間縮減効果

平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度	令和5年度	令和6年度
ICT土工								
	ICT舗装工（平成29年度：アスファルト舗装、平成30年度：コンクリート舗装）							
	ICT浚渫工（港湾）							
		ICT浚渫工（河川）						
			ICT地盤改良工（令和元年度：浅層・中層混合処理、令和2年度：深層混合処理）					
			ICT法面工（令和元年度：吹付工、令和2年度：吹付法枠工）					
			ICT付帯構造物設置工					
				ICT舗装工（修繕工）				
				ICT基礎工・ブロック据付工（港湾）				
					ICT構造物工 （橋脚・橋台） （基礎工（既製杭工） （基礎工（矢板工） （基礎工（場所打杭工） （橋梁上部）			・基礎工（既成杭工）拡大 （鋼管ソイルセメント杭）
					ICT海上地盤改良工（床掘工・置換工）			
					ICT施壁工			
					小規模工事へ拡大 （小規模土工）			・付帯道路施設工等 ・電線共同溝工
				民間等の要望も踏まえ更なる工種拡大				

図―2 基準類適用工種の拡大

表—2 提案に対する対応状況

提案 年度	提案 件数	対応状況・対応方針		
		基準類 改定	他の基準類で対応 (出来形管理基準 の改定不要)	ICT 活用工事 実施要領で対応
R1	24	13	1	4
R2	21	9	2	1
R3	20	12	0	0
R4	17	6	0	0
R5	26	11	4	0

並びに電線共同工においては、モバイル端末に加えノンプリズム方式のTS等を用いた出来形管理手法を検討し、令和6年度より適用を開始している（図—2）。

また、ICTに関する技術は日進月歩であり、いち早く建設現場に新技術を取り入れることが生産性の向上につながってくる。こうした観点から令和元年度から、民間等からICTに関する提案をいただき、現場検証を踏まえICT施工に関する基準類の整備を行っている。令和5年度は、26件の提案をいただき、そのうち11件の提案について基準類（実施要領含む）の改定を行った（表—2）。

4. ICT 導入協議会

ICTを建設現場へ円滑に導入し、その普及推進を図るため、具体的な課題解決に向け共通の認識を得ることを目的に、平成28年2月5日にICT導入協議会を発足した。最新の取組状況や課題を共有し、各団体が連携してICT施工の普及促進に努めてきており、基準類の整備等議論を重ねてきた。令和6年3月に実施した第18回導入協議会では、小規模工事における生産性向上の取組として、チルトローテータを搭載し

た重機を活用した事例を紹介する等、最新技術の動向についても情報共有を図った。これらの技術の現場での活用が進むことで、さらなる生産性向上につながることを期待される。

5. ICT 建設機械等認定制度

ICT建設機械等認定制度は、中小建設業の方々を含めて、施工業者の方々が安心してICT建設機械や後付け装置を選定・導入できるようにするため、国土交通省が「ICT建設機械」及び「ICT建設機械等」として認定・公表することで、ICT施工の現場導入を円滑化させて、その普及を促し、建設現場の生産性向上に寄与するものである。認定を受けた機械等がひと目で分かるように、認定表示を付すことができる。

6. 技術講習会等の開催

地域を地盤とする中小企業においては、ICT施工を経験した企業は着実に増加しているものの、全体の約半分にとどまっており、中小企業への普及拡大が課題となっている。このような声を受け国土交通省では、ICT施工に関する講習会・研修等を平成28年のICT施工導入時から毎年実施しており、一時期コロナウイルス禍により開催件数が落ち込んだものの、現在ではWEBを活用する等、多岐にわたった講習会を実施し、ICT施工の普及拡大に取り組んでいる（表—3、写真—1）。

7. ICT 施工 Stage II の取組

前述でも述べたように、ICT施工の実施による延

表—3 技術講習会等の実施回数（R6年3月末時点（単位：回））

	H28年度	H29年度	H30年度	R元年度	R2年度	R3年度	R4年度	R5年度
施工業者向け	281	356	348	441	108	138	189	141
発注者向け	363	373	472	505	169	226	370	273
合計*	644	729	820	946	277	364	559	414

※施工業者向けと発注者向けの重複箇所あり



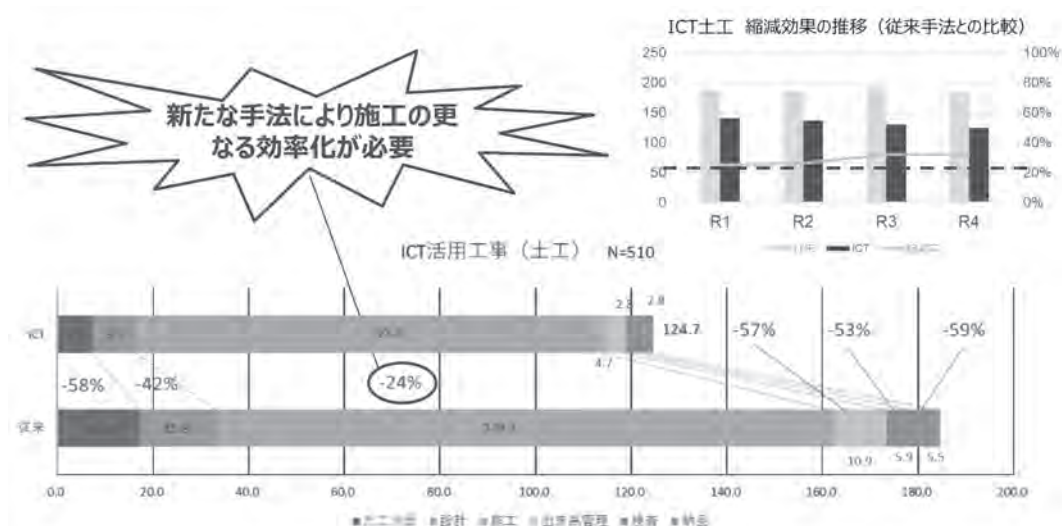
写真—1 技術講習会の実施状況

べ作業時間の縮減について調査を行った結果、起工測量から電子納品に至るまでの一連のプロセスで土工では約3割の縮減効果が見られた。しかしながら、近年この縮減効果は横ばいであり、大きな割合を占める施工の部分においては起工測量など他の段階に比べ縮減効果が小さいという調査結果が得られた（図—3）。そのため、新たな手法により施工の更なる効率化を考えていく必要があった。

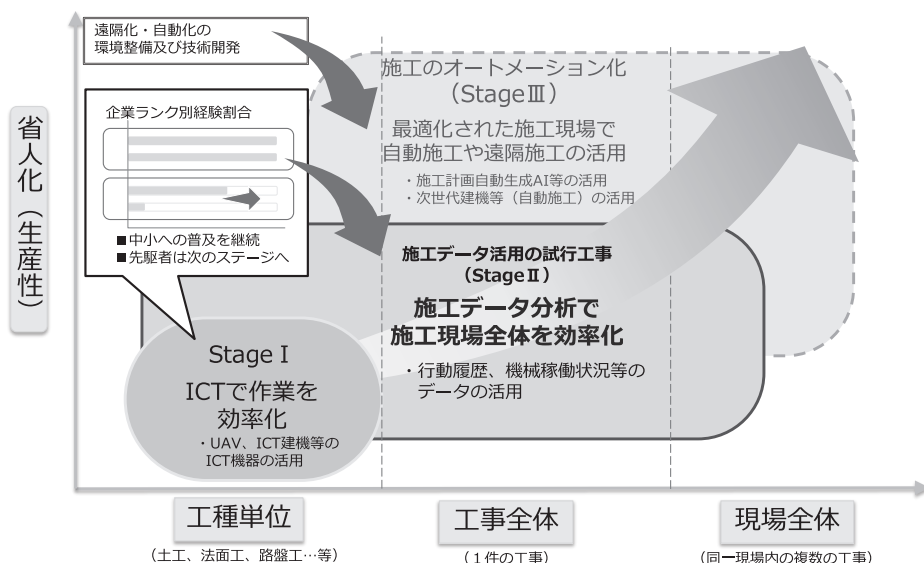
そこで、ICT施工の次の段階である「ICT 施工 Stage II」を掲げ、IoT やデジタルツイン等を活用し、建設現場のリアルタイムな工程改善、作業と監督検査の効率化を図り、抜本的な生産性向上を実現することを目指し、施工データ（見える化）の活用を図っていくこととした（図—4）。令和6年3月には「データ活用による現場マネジメントに関する実施要領（案）」

を策定しており、ICT 活用工事の普及が進んでいる土工事を基本とし、①施工段取りの最適化、②ボトルネック把握・改善、③進捗状況等把握による予実管理、④その他（注意喚起、教育等）の4つの項目に分類し、実施項目を例示している。ダンプトラックや建設機械の位置情報や日当り施工量、稼働率等をリアルタイムで把握することにより、各種作業の作業手順、所要日数、クリティカルパスなど見える化し、適切なリソースマネジメントを実施することがポイントとなる。本要領の項目は、今後工事現場での導入状況に応じて適宜増やしていく予定である。

また、Stage II の実施にあたっては監督職員と受注者間、受注者と協力会社等の関係者との間で、円滑かつ持続的なコミュニケーションを図ることも重要であり、相互の課題に対して共感・協調し、協議を重ねる



図—3 延べ作業時間縮減効果（ICT 土工）



図—4 ICT 施工 Stage II イメージ

ことでより良い現場につながることも申し添えておきたい。

8. おわりに

生産年齢人口の減少による担い手不足や災害の激甚化・頻発化、インフラの老朽化等建設業は多くの喫緊の課題を抱えている。そこで新たな取組として、令和6年4月に「i-Construction 2.0」を公表した。少ない人数で安全に快適な環境で働く生産性の高い建設現場の実現を目指し、建設現場のオートメーション化を進めるため、中長期計画を立て進めていく。ICT 施工

においても、Stage II の取組を進めるとともに、直轄工事で実施率が高い土工・浚渫工（河川）において令和7年度より ICT 施工原則化を予定している。引き続き ICT 施工の普及拡大に向けた取組を進めることで、建設業の様々な課題解決につなげていきたい。

J C M A

【筆者紹介】

阿久根 祐之（あくね ゆうじ）

国土交通省 大臣官房

参事官（イノベーション）グループ 施工企画室

課長補佐



統合プラットフォーム T-iDigital Field を活用した山岳トンネル施工

池 田 一 樹

従来の ICT (Information and Communication Technology) システムから一層の生産性向上をめざし、現実世界の仕組みをサイバー空間のデジタル処理に置き換える CPS (Cyber-Physical System) の概念に基づく現場管理システム T-iDigital Field を開発中である。山岳トンネル工事向けアプリケーションを開発し、本システムを適用した結果、トンネルサイクルタイムを平均 11% (417 分→375 分)、延べ掘削長を平均 7% (314.2 m → 336.0 m)、各々向上することを確認した。

キーワード：CPS、データプラットフォーム、アプリケーション、可視化、山岳トンネル

1. はじめに

建設業就業者の減少・高齢化による労働力不足は長期的な経営課題であり、働き方改革や生産性向上を推進する活動が活発になっている。以前より、ICT (Information and Communication Technology) システムをモニタリングや自動化に導入して生産性向上を推進しているが、今後一層の進展が必要になる。

建設業界で導入されている ICT システムは、担当者の作業を効率化する仕組みが多く、課題解決に最適化されたソリューションとして提供されている。しかし、これらの ICT システムは、担当者と作業をつなぐ属人的な仕組みの一部に組み込まれており、生産性向上には限界がある。

大成建設では、現実世界の仕組みをサイバー空間のデ

ジタル処理に置き換える CPS (Cyber-Physical System) の概念に基づき、土木施工の現場管理システム T-iDigital Field (以下、本システムという) を開発している (図-1)。本システムは、建設機械、作業者、装置等のデータを収集、解析、可視化する統合データプラットフォームを中心に構成され、工事関係者が施工状況を即時に共有し、どこからでも迅速かつ的確な現場管理を可能としている。

本稿では、本システムの要素技術を説明するとともに、山岳トンネル工事における活用事例を紹介する。

2. 本システムの要素技術

本システムは、施工現場の多種のデータを一元的に集約し、現場ニーズに応じて可視化する統合データプ

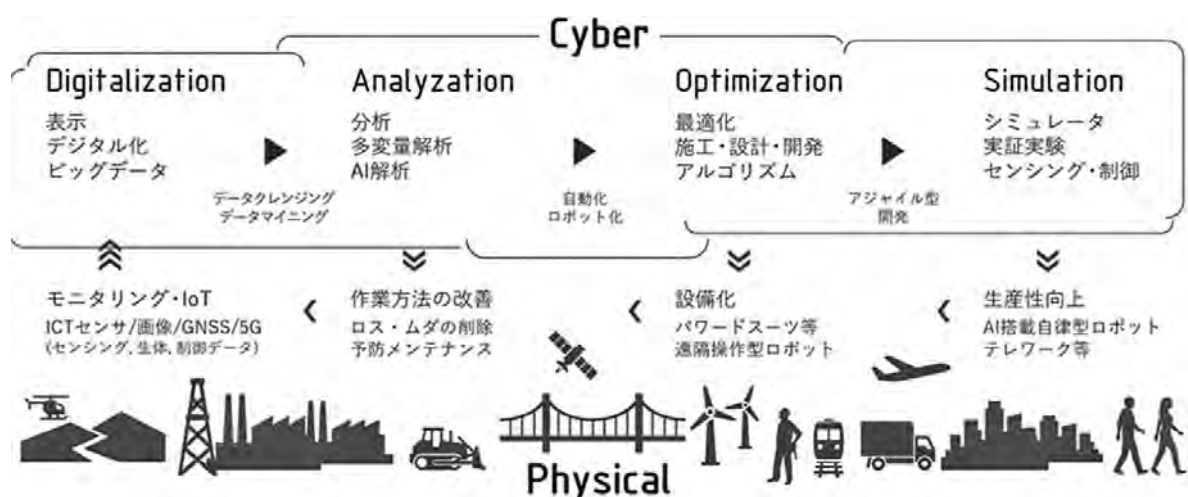


図-1 CPS の概念図



図ー2 本システムの構成概要

プラットフォームである。その要素技術は3階層から構成されており、各階層の技術を組み合わせ、施工現場の多様なニーズに柔軟かつ迅速に対応できる構成となっている（図ー2）。以下に、各階層の技術と特徴について述べる。

（1）データ取得層

本階層は、施工現場の建設機械や作業者の位置・稼働時間・稼働状況等のデータを取得し、現実世界とサイバー空間をつなぐ役割を担う。センサ／ビーコン／ゲートウェイ等のハードウェアと通信ネットワークを主体とし、IoT（Internet of Things）／ICTの技術を活用する。取得データには、位置、稼働時刻、濁水プラントのpH・濁度等のセンサデータ、風向・風速等の気象データの他、発破検知等の土木施工に特化したデータがある。

一例として、建設機械の位置データの取得では、大別して2種類の方法を選択している。1つ目は、位置データ取得にGNSS（Global Navigation Satellite System）、通信ネットワークに携帯電話回線を使用する方法であり、主に明かり工事の建設機械へ適用する。2つ目は、ビーコン信号を受信したゲートウェイの位置から建設機械の位置データを取得する方法であり、建設機械にBluetooth ビーコンを搭載し、また、施工現場にはゲートウェイを分散して設置する。この方法は、トンネル坑内などの携帯電話不通環境に適用し、ゲートウェイとサーバ間の通信には基本的に無線LANを使用するが、必要に応じて有線や衛星通信回線を使用することもある。

これらの実装例に限らず、本階層はハードウェアと通信ネットワークを柔軟に組み合わせ、現場状況に適

した多様な実装方法を提供する点が特徴である。

（2）データプラットフォーム層

本階層は、本システムの根幹となるデータベースとサーバを主体としたデータプラットフォームであり、クラウド技術を活用してデータの整理・集約・蓄積を担当する。

データ取得層では多様なハードウェアを採用するため取得したデータのフォーマットは統一されておらず、これらのデータを利用するにはデジタル処理の負担が大きい。そこで、データプラットフォーム層のデータベースは、多様なデータを受け入れるデータレイクと、データのフォーマットを整理後に集約・蓄積するリレーショナルデータベースの2段階で構成されている。本構成によって、データ取得層ではハードウェアを柔軟に選択でき、後述するアプリケーション層ではデジタル処理が容易になる。

また、クラウドサーバを利用することで施工規模に応じてデータ処理性能を柔軟に変更でき、建設機械が数台から数百台まで同一のデータプラットフォームで運用できる。また、データプラットフォーム上で情報の組み合わせ・2次利用が容易になり、現場のニーズに合わせたアプリケーションの迅速な開発を支援する。さらに、クラウドデータベースは長期間運用が容易であり、現状の施工データと同様に過去の施工データにもアクセスでき、竣工後に施工時のデータを閲覧することも可能である。

以上、本階層の特徴をまとめると、施工現場の状況をサイバー空間のデータとして一元的に集約している点にあり、土木施工におけるデジタルツインの根幹となる部分である。

(3) アプリケーション層

本階層は、工事関係者が本システムに触れる窓口であり、データプラットフォームに集約されたデータを抽出し、可視化する役割をもつ。取得したデータを単純に可視化するのではなく、工事関係者が求める情報に加工し、現場ニーズに合わせたアプリケーションとして提供する。Web アプリケーション技術を活用することで、現場に設置された端末に限らず、ウェブブラウザを用いてどこからでもリアルタイムな情報にアクセスできる。

Web アプリケーション技術とデータプラットフォームを活用する利点として、複数アプリケーションでデータを共用できること、また、現実世界のハードウェアを意識せずにアプリケーションを開発できることが挙げられる。これらの特徴によって、アプリケーション開発を従来よりも柔軟かつ迅速に実施でき、山岳トンネル工事など特定の工種に特化したアプリケーション開発を含め、現場の多様なニーズへの対応を実現している。

3. 山岳トンネル工事への適用

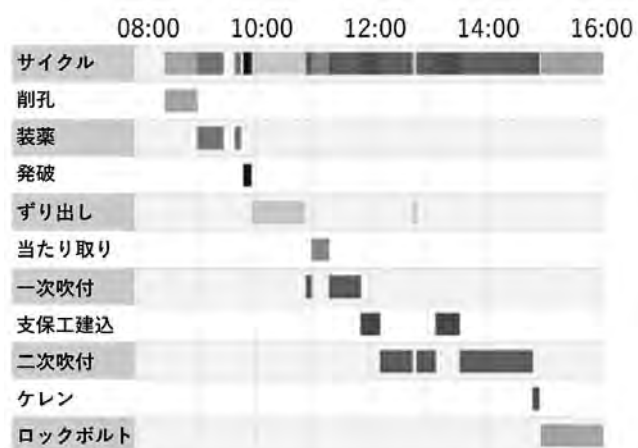
(1) 施工現場のニーズと課題

山岳トンネル工事では、各工程の作業時間を計測したトンネルサイクルタイムを生産性向上に利用している。従来、担当者が各工程の開始時刻を記録・集計していたが、時刻精度のバラツキを避けられず、情報精度には限界があった。その他、ズリ出し作業のダンプトラックの台数変更について、属人的な担当者の経験ではなく、数値的に判断する根拠が求められていた。また、トンネルの入出坑を頻繁に繰り返す作業から、トンネル入坑札の切替えを自動化したいという要望があった。

上記ニーズに対するソリューションとして、情報の属人化を回避し、より高い生産性をめざし、山岳トンネル工事向けアプリケーションを開発した。

(2) トンネルサイクルアプリケーション

図—3に、トンネルサイクルアプリケーションによって取得されたトンネルサイクルタイムの一例を示す。本アプリは、竣工した工事を含め15現場で運用され、山岳トンネル工事における工程を自動で判定し、トンネルサイクルタイムの作業時刻を記録している。対象工程は、①削孔、②装薬、③発破、④ズリ出し、⑤当たり取り、⑥一次吹付、⑦支保工建込、⑧二次吹付、⑨ケレン、⑩ロックボルトの10工程である。



図—3 トンネルサイクルアプリケーション

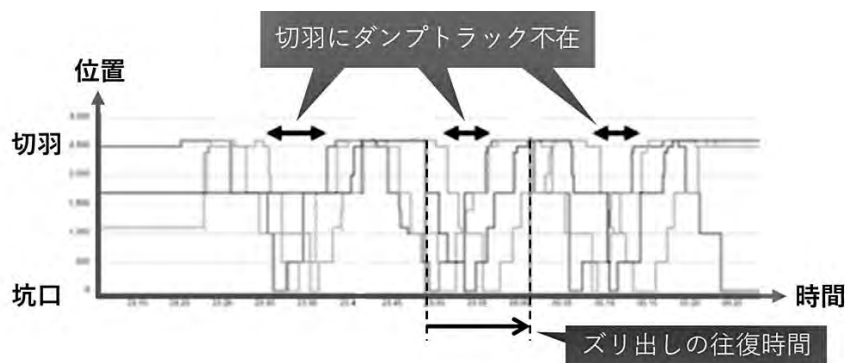
本アプリの実現には、建設機械の位置、稼働時刻、稼働状態を正確にデータ化する必要がある。それには稼働状態を反映する動作や信号を取得可能なセンサ・ビーコンの選定と設置が求められるが、特殊な建設機械では機種ごとに設置制約や信号配線などが異なり、データ取得層の課題が大きい。特に、エレクター付コンクリート吹付機（以下、本機）の場合、稼働時間のみでは本機が担当する工程を判定できない。そこで、本機の詳細データ取得層では、位置と稼働時刻の他、コンクリートポンプ、ヨークレールの稼働状態を取得し、工程を判定している。また、前工程を判定条件に加えることで、1次吹付と2次吹付の判定精度を上げている。

以上のアプリケーションを稼働するために要する時間は、データ取得層の設置に1日～2日、データプラットフォーム層の設定に1日、アプリケーション層の調整に3日～5日であり、概ね1週間でトンネルサイクルタイムの自動取得を実現できる。

(3) ダンプ運行ダイヤグラム

図—4に、ダンプ運行ダイヤグラムの一例を示す。本アプリは、ダンプトラックによってズリ出しを実施するトンネル工事において、ダンプトラックの運行状況を把握し、適切な台数と増減のタイミングを可視化できる。本アプリに必要なダンプトラックの位置と稼働時刻は、トンネル坑内に設置したゲートウェイとダンプトラックに搭載したBluetooth ビーコンを利用してデータ化され、データプラットフォームに蓄積される。アプリケーションでは、複数のダンプトラックのデータについて、横軸を時間、縦軸を位置（坑口からの距離）としてグラフ化することで、坑口と切羽を往復する運行ダイヤグラムを表示できる。

効率的なズリ出しには、切羽のホイールローダが常



図—4 ダンプ運行ダイヤグラム

時稼働できる状態を維持するため、切羽付近にダンプトラックが常に待機している状態が望ましい。本アプリでは、切羽にダンプトラック不在時間とズリ出しの往復時間が可視化でき、適切な台数の見積りと運行状況の検証を同時に実現できる。また、長期スパンで可視化すると、トンネル延伸に伴うダンプトラックの往復時間の増加と切羽付近の待機時間の変化を確認でき、適切なタイミングでダンプトラックの台数変更を実現できる。

本アプリは、前述のトンネルサイクルアプリケーションを運用中の現場であれば、データ取得層の設置とアプリケーション層の設定に合わせて0.5日、その後データ取得1日で可視化できる。

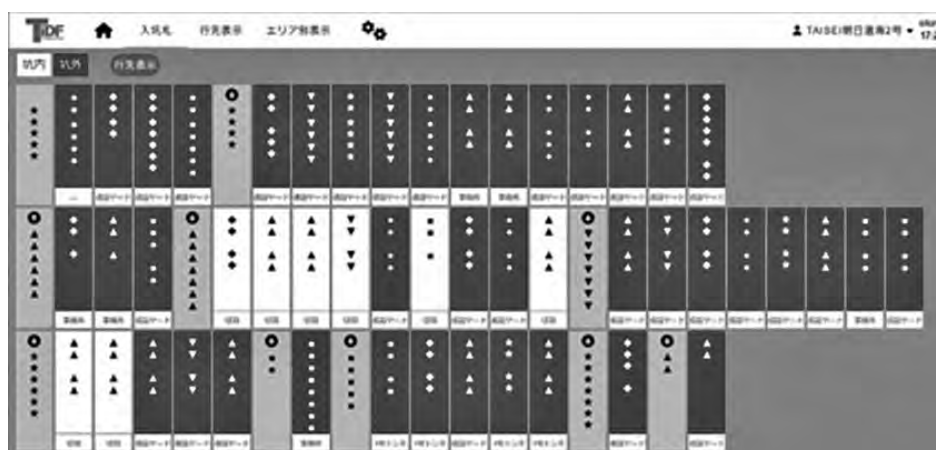
(4) 入坑管理アプリケーション

図—5に、入坑管理アプリケーションの一例を示す。本アプリは、労働安全衛生規則で定められた、ずい道等の作業者を常時確認するためのアプリケーションであり、従来の入坑札をデータプラットフォームのデータで可視化しており、坑口その他、事務所や遠隔地から入坑者をリアルタイムに確認できる。

本アプリで必須となる作業者のデータを取得する場

合、ビーコン不携帯や充電忘れによる未発信の懸念があった。そこで、作業者の負担となる充電作業やバッテリー携行を不要とするため、低消費電力のBluetoothビーコンを採用し、かつ、作業者の動作検出時のみビーコン信号を発信する省エネ設定とすることで、約25gの筐体重量で約3年の連続駆動を実現した。運用としては、新規入場者教育の際に本ビーコンを作業者のヘルメットに設置し、その後は設置したままの状態でヘルメットを使用する方法とした。作業者は本ビーコンを意識することなく、ヘルメットの着用によってビーコン信号を発信でき、トンネル坑内でビーコン信号を受信すれば入坑と判定し、入坑管理アプリケーションの氏名札が自動で更新される。本アプリの特徴として、複数の坑口がある現場では、異なる坑口から出入りしても入坑を自動的に判定でき、入坑した坑口で札を戻す作業は不要である。また、ダンプトラック等に乗車した状態でもビーコン信号によって入坑を判定できる。

本アプリは、前述のトンネルサイクルアプリケーションを運用中の現場であれば、データ取得層の設置とアプリケーション層の設定に合わせて10分、当日から運用を開始できる。



図—5 入坑管理アプリケーション

4. 現状と将来展望

山岳トンネル工事において本システムを適用した結果、高精度なトンネルサイクルタイムの可視化から不得意作業を抽出し、工程最適化と不得意作業の教育実施により、トンネルサイクルタイムを平均 11% (417 分 → 375 分)、延べ掘削長を平均 7% (314.2 m → 336.0 m)、各々向上することを確認し、山岳トンネル工事における有効性を確認した。

本システムの目標は、特定の目的を達成するためのシステムではなく、土木施工の現場全体をサイバー空間に構築すること、つまり CPS の概念に基づくデジタルツインを構築することである。現時点では、現実空間をデータ化するデジタイゼーション (Digitization) を重点的に実施しているが、一部で蓄積したデータを活用して業務プロセスをデジタル化するデジタライゼーション (Digitalization) の動きが始まっている。

今後、DX (Digital Transformation) に向けて、データ化の進展とデータプラットフォームの充実、サイバー空間での分析と最適化を進めるとともに、各種工程の個別最適から施工全体の全体最適化への移行に取り組んでいく。

5. おわりに

2024 年 5 月時点、T-iDigital Field は、全国 10 か所以上の山岳トンネル工事、50 か所以上の土木施工現場で、20 種を超えるアプリケーションが稼働しており、刻々とデータを蓄積し続けている。センサ・ビーコンの現場実装とアプリケーション開発を通して、多種多様な現場の状況と多岐にわたるニーズに柔軟かつ迅速に応え、施工現場の生産性向上に貢献するとともに、より充実したデータプラットフォームの構築を推進中である。

J C M A

【筆者紹介】

池田 一樹 (いけだ かずき)
大成建設㈱
技術センター 生産技術開発部
スマート技術開発室
課長



データ利活用型 ICT 土工管理システムによる 現場の生産性向上を実証

土工事における施工管理の効率化および高度化に向けた取り組み

高尾 篤志・本木 章平・黒田 卓也

ICT 建設機械や UAV の普及により土工事において様々なデータが取得可能となっている。しかし、それらのデータを活用するために、専門の知識や膨大なデータを処理するための労力が求められる場合もある。取得されたデータを十二分に活用し、土工事の施工管理の効率化を行うためにデータ利活用型 ICT 土工管理システムを開発した。このシステムは、ICT 土工において取得されるデータをクラウド上のプラットフォームに集約し、データ処理や管理の効率化、工事進捗や品質等の土工事の管理項目におけるデータ利活用の推進を行うものである。システムを現場施工管理に適用し、土量管理の精度検証、および作業効率化の検証を行った。

キーワード：ICT 土工、締固め管理システム、転圧施工履歴データ、土量算出、トレーサビリティ

1. はじめに

国土交通省が推進する i-Construction の施策により、建設現場における ICT (Information and Communication Technology) の全面的な活用による建設生産システム全体の生産性向上に向けた取り組みが推進されている。この取り組みにより、UAV (Unmanned Aerial Vehicle) やレーザースキャナ、ICT 建設機械等の導入が進み、施工や施工管理等の現場作業の省力化・効率化について、一定の導入効果が得られている¹⁾。

一方で、UAV や ICT 建設機械等の導入により、建設現場において、従来の施工管理情報に加えて、ICT 建設機械の 3 次元設計データ等の導入時に必要なデータや ICT 活用後に取得される多種多様なデータを扱うことが必要となった。それらのデータ処理には専門の知識が必要であり、膨大なデータが取得されることもあり、データの処理等に多くの労力を要する場合もある。そのため、UAV や ICT 建設機械等の様々な ICT を活用する近年の土工事において、施工履歴データ等の導入した ICT 機器により取得されるデータを十二分に活用できていない。

これらの土工事における課題解決のため奥村組、戸田建設、西松建設は、3 社共同研究において、データ利活用型 ICT 土工管理システム (以下、本システム) を開発した。本システムは、ICT 土工において取得されるデータをクラウド上のプラットフォームに集約し、データ処理や管理の効率化、工事進捗や品質等の

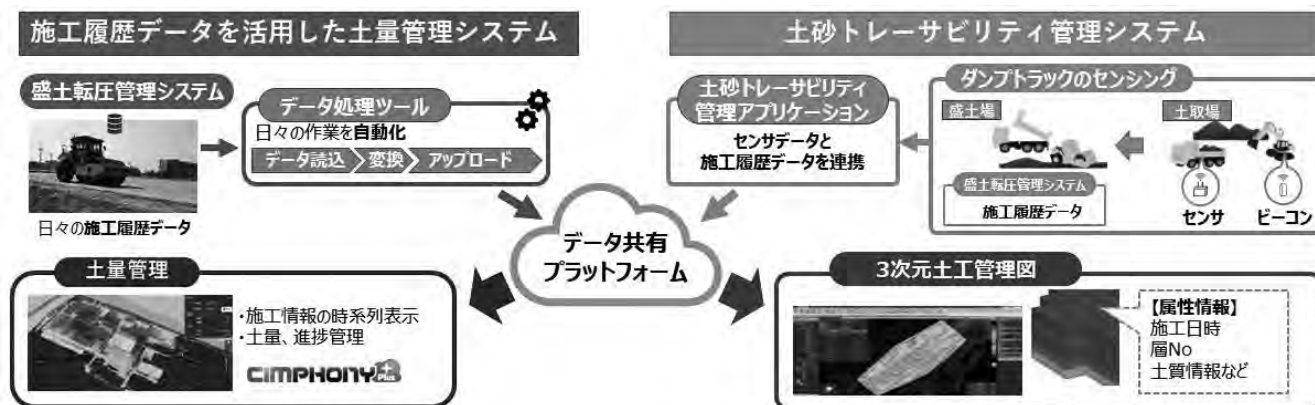
土工事の管理項目におけるデータ利活用の推進を行うものである。プラットフォーム上のデータを現場事務所や本支社等の関係者が共有し、関係者間で連携して、出来高 (土量) 管理および品質管理等に活用する。本システムを現場施工管理に適用し、土量管理の精度検証、および作業効率化の検証を行った。

2. データ利活用型 ICT 土工管理システムの概要

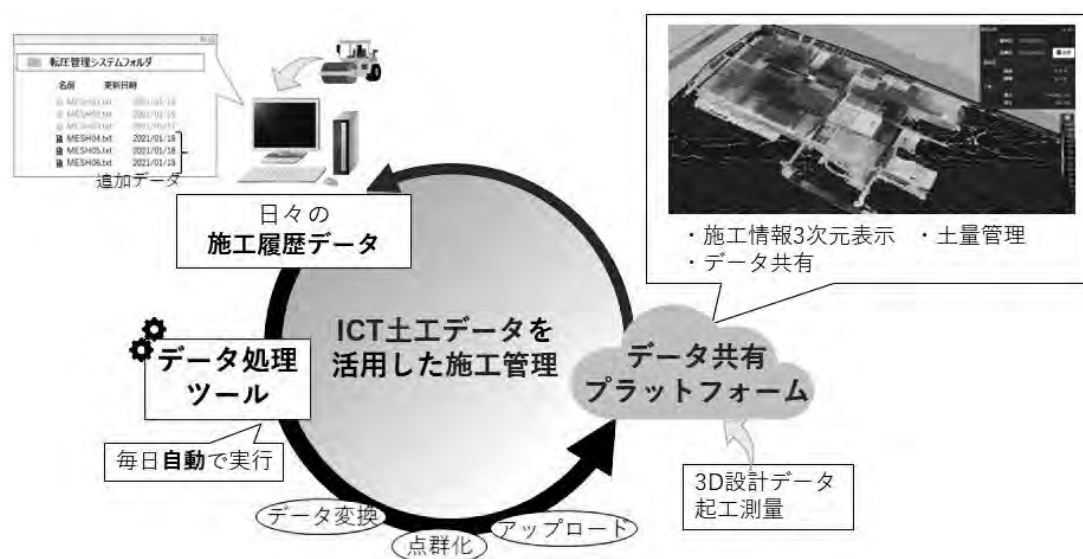
本システムは、①データ共有プラットフォーム²⁾、②転圧施工履歴データによる土量算出³⁾、③土砂トレーサビリティ管理システム⁴⁾の 3 つのシステムで構成されており、ICT 土工において取得される施工データをデータ共有プラットフォームにアップロードしてデータ処理・共有し、各管理項目に対して効率的にデータを利活用するものである。図 1 に本システムの全体概要を示す。今回、データの利活用の対象として、盛土工事における出来高管理、品質管理に着目し、3 次元計測データ、3 次元設計データ、転圧施工履歴データに加えセンサによって取得する盛土材の土取り位置および荷下ろし位置のデータをプラットフォームにおいて共有した。

(1) データ共有プラットフォーム

従来、ICT 土工で得られるデータは専用のソフトウェアを使用して現場事務所等のパソコン上にデータ



図一 1 データ利活用型 ICT 土工管理システムの概要



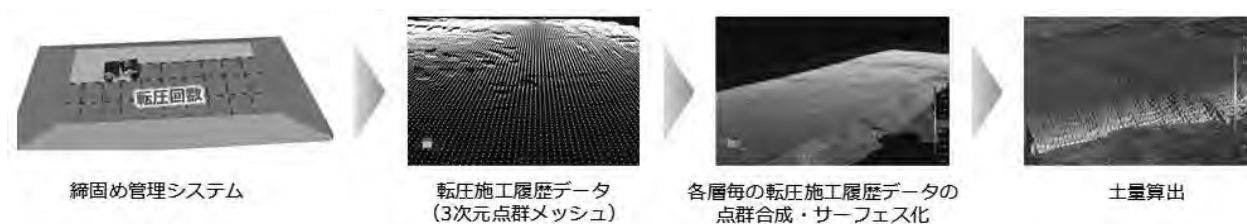
図一 2 転圧施工履歴データを活用した土量管理システムの概要

を保存し、データの利活用を行っていた。これらのデータをクラウド上へアップロードすることで、誰でもどこからでもデータを閲覧し利活用可能とする。

データ共有プラットフォームとして、3次元データが扱えるクラウドサービス「CIMPHONY Plus (福井コンピュータ社)」を利用した。GNSS (Global Navigation Satellite System) を利用した締固め管理システムにより取得した転圧施工履歴データ等は、クラウドサービスのデータ様式に応じた変換処理をした後、CIMPHONY Plus へアップロードを行う。この一連の作業をソフトウェアにより自動化し、定期的にアップロード動作を実施する (図一 2)。現場職員はクラウドサービスを利用してすぐにデータを閲覧・利活用できる。また GNSS を利用した締固め管理システム内に含まれる設計形状のメッシュデータやローラーの軌跡データ等を共通フォーマットの点群テキストデータとして取り扱うことで、複数社の転圧施工履歴データを同じように取り込むことができ、汎用性も高い。

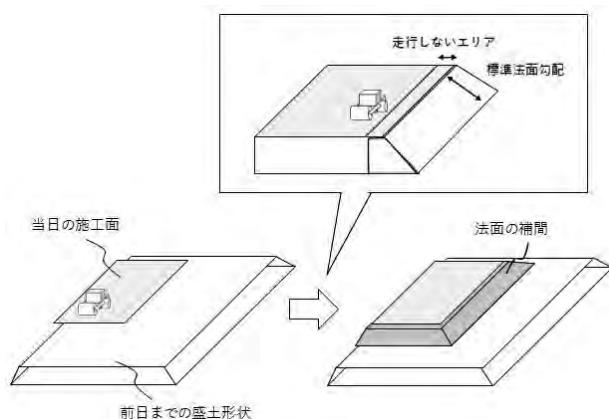
(2) 転圧施工履歴データによる土量算出

盛土の品質管理方法の一つに「TS・GNSS を用いた盛土の締固め管理システム」を用いた方法があり、TS や GNSS により取得された締固め機械の平面位置座標 (x 座標, y 座標) を用いて、締固め機械 (振動ローラーやブルドーザ等) による転圧回数の面的な管理が行われている。同時にこのシステムでは、施工履歴データとして振動ローラーの鉄輪下面位置やブルドーザの履帯下面位置の高さ (z 座標) を含めた 3 次元位置座標を取得している。転圧施工履歴データには、UAV による写真測量や地上型レーザースキャナによる測量等では取得される樹木等の不要な地形データが含まれないため、土量算出における点群処理が簡素化される。さらに、メッシュ化 (0.25 m × 0.25 m 又は 0.5 m × 0.5 m) されたデータであるため、データ容量が軽量で扱いやすいのも特長である。メッシュ化された転圧施工履歴データを使用することで転圧箇所における盛土表面形状のサーフェス (面) が作成できる。転圧



図ー3 転圧施工履歴データを活用した土量算出の概略図

施工履歴データから作成したサーフェスデータを用いて、3次元測量データ又は以前の転圧箇所における転圧施工履歴データと比較することで、その間の盛土量を算出でき、測量をせずとも容易に転圧後の盛土量を算出することが可能である（図ー3）。また、法肩部や法面部などの締固め機械が走行できず、転圧施工履歴データが取得できない箇所については法面を自動補間するツールを構築し、データを補間する（図ー4）。

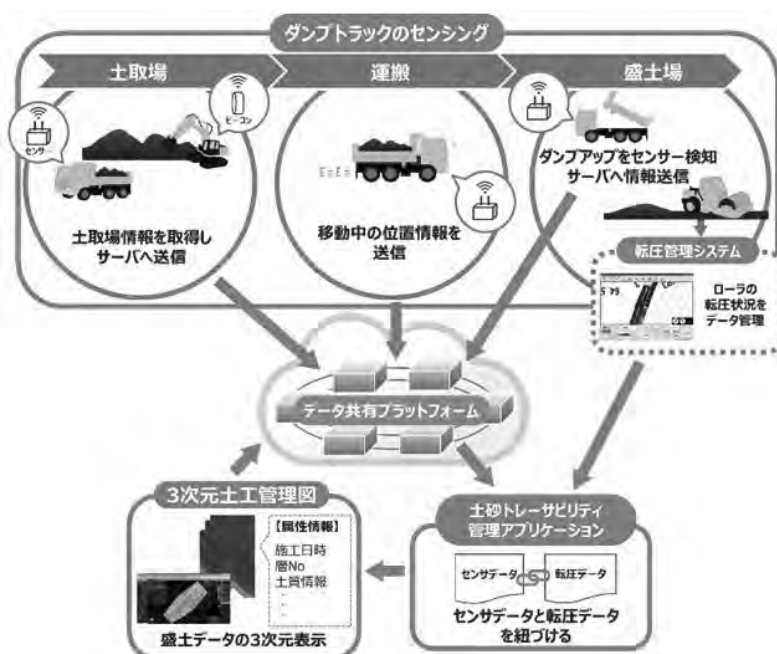


図ー4 法面補間ツールによる補間イメージ

(3) 土砂トレーサビリティ管理システム

土砂トレーサビリティ管理システムは、「どの土」を「どの場所」に盛土したかを自動で記録可能なシステムである（図ー5）。土砂運搬ダンプトラックのセンシングを行うダンプアップ検知センサ、転圧施工履歴データとセンサのデータの関連付けを実施する土砂トレーサビリティ管理アプリケーションによって構成されており、トレーサビリティデータとしてどの土取場から施工箇所の盛土場に運搬したかを3次元土工管理図として記録する。3次元土工管理図では、物体の形状を立方体のような空間格子の集合によって表現するボクセルモデルを使用し盛土形状を表す。モデルを構成する各ボクセルは土質情報によって色分けされており、属性情報として施工日や転圧管理データ等を保持している。

土取場の判別には積込機械もしくは土取場に設置したビーコンを使用しており、積み込み作業時にダンプアップ検知センサが設置されているビーコンの信号を受信し、その識別子を荷下ろし情報と合わせてクラウドへ送信し保管する。転圧施工履歴データとの関連付



図ー5 土砂トレーサビリティ管理システムの全体図

けの際に、保管されたビーコンの識別子情報も参照し、属性情報として土取場の情報（土質情報）の付与を行う。

3. 現場実証

神奈川県、愛知県、京都府の造成現場において本システムを適用し、適用効果の実証を行った。

(1) プラットフォームにおけるデータ運用

現場作業終了後に、振動ローラーの転圧施工履歴データを回収すると、指定した時間に自動処理ツールが動作し、データ変換、クラウド上へアップロードが実行されたことを確認した。適用現場の転圧施工履歴データの出力形式は走行軌跡データであったが、メッシュデータに変換し、日々の施工状況の3次元化ができることを確認した（図—6）。プラットフォーム上のデータ活用により、施工日毎の盛土進捗状況の把握や日々の土量算出が可能となった。

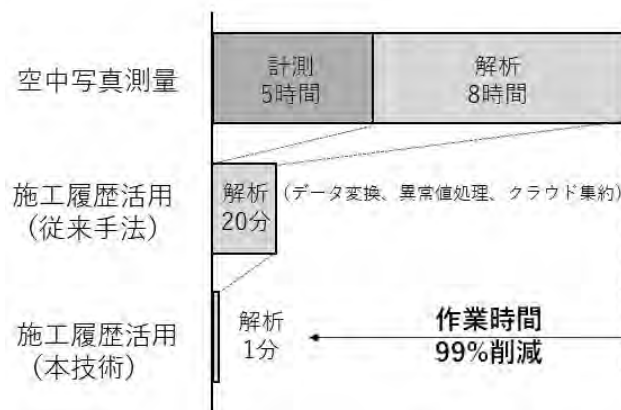
(2) 土量算出の精度検証

転圧施工履歴データより算出した土量を空中写真測量の結果と比較し土量算出の精度検証を実施した。表—1に、土量の算出結果を示す。転圧施工履歴データから算出した土量は概ね誤差5%程度の精度であり、その後法面部等の補間を行うことで概ね誤差3%以内で土量が算出できた。よって、本現場では、法面補間まで実施することにより、日々の土量管理を高い精度で行うことが可能となった。

空中写真測量による土量算出と本手法で、作業時間の比較を実施した（図—7）。空中写真測量は、計測作業（対空標識設置～UAVによる撮影）が必要であるが、本手法では、施工時に記録されたデータを活用するため、計測作業が不要となる。点群データを取得するための解析作業も、データ処理ツールの活用により、空中写真測量と比較して大幅に時間を削減するこ

表—1 土量算出精度

月	空中写真測量	法面補間前		法面補間後	
	土量 m ³	土量 m ³	誤差	土量 m ³	誤差
1月目	40,408	37,531	7.1%	40,697	-0.7%
2月目	61,389	58,416	4.8%	61,530	-0.2%
3月目	120,980	116,339	3.8%	119,399	1.3%
4月目	178,280	168,726	5.4%	172,281	3.4%
5月目	224,668	221,224	1.5%	222,813	0.8%

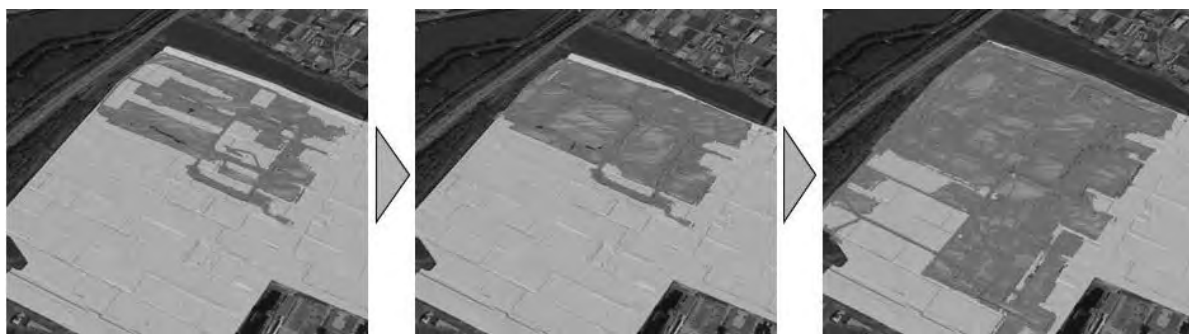


図—7 作業時間の比較

とができる。また、データ処理は自動で行われるため、従来の転圧施工履歴データを活用した土量管理において発生していたデータ処理作業が必要なく、現場職員による作業は発生しない。結果として、空中写真測量と比較して土量算出にかかわる作業時間を99%削減することが可能となった。

(3) 土砂トレーサビリティデータの作成

土砂トレーサビリティ管理システムについて、約14 haの造成現場の中、200 m × 300 mの範囲の施工に対して締固め管理システムを設置したローラーを使用し検証を行った。締固め管理システムより出力した転圧施工履歴データとダンプトラック10台に設置したダンプアップ検知センサのデータを結合し、3次元



図—6 転圧施工履歴データから作成した盛土3次元形状



図-8 盛土材料のトレーサビリティデータ (3次元土工管理図)

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

設置したセンサにより荷下ろし位置を特定し、管理アプリケーションを使用して荷下ろし情報の3次元データを自動的に作成した。作成した3次元データを3次元CADソフトウェアに取り込み、土質情報毎に着色されたボクセルモデルの形式でデータを出力し、土質情報の可視化ができていたことを確認した(図-8)。可視化した3次元モデル上において属性情報として荷下ろし情報を確認することができた。

これにより、盛土材の記録と管理が効率化されるとともに、盛土のトレーサビリティ強化を図り、品質管理の高度化が可能となる。また、土工管理図を作成するための記録員を配置する必要がなくなり、1人/日程度の人員を削減する効果が期待できる。

4. おわりに

ICT 土工における管理業務の省力化・効率化を目的に、データ利活用型 ICT 土工管理システムを開発し、現場適用を行った。その結果、以下の成果を得られた。

- ①本システムを用いて、ICT 土工において取得されるデータから3次元的に盛土の状況の把握および日々の土量管理が可能となった。
- ②転圧施工履歴データの処理およびクラウドへのデータ集約の自動化により、現場職員は日々の施工後にクラウド画面を確認するだけで、施工土量を把握す

ることが可能となった。

- ③本システムによる算出土量の精度は、空中写真測量と比較して5%程度の誤差であり、日常の土量管理に十分な精度であることを確認した。さらに法面補間を行うことにより、概ね誤差3%以内で土量を算出することが可能であった。
- ④空中写真測量と比較して土量算出にかかわる作業時間を99%削減することが可能であり、かつ計測・解析の作業なく土量管理が可能となった。
- ⑤土工管理図の作成に必要な土質情報および盛土位置の情報を自動的に記録でき、データ整理や入力等の手間を増やすことなく、施工履歴の確認等に利用することが可能なトレーサビリティデータを作成することが確認できた。
- ⑥土砂トレーサビリティ管理システムを使用し、盛土の土質情報を3次元土工管理図の形式で管理することで、システムやセンサにより取得したデータのBIM/CIM等への展開も期待でき、土工事におけるトレーサビリティ管理の高度化へ寄与できる。

JICMA

【参考文献】

- 1) 国土交通省, 「ICT 施工の普及拡大に向けた取組」, 第13回 ICT 導入協議会資料, 2021
- 2) 佐藤靖彦 他, 「データ利活用型 ICT 土工管理システムの開発 (その1) - システム概要とデータ共有プラットフォーム -」, 土木学会第76回年次学術講演会, VI-195, 2021
- 3) 本木章平 他, 「データ利活用型 ICT 土工管理システムの開発 (その2) - 転圧施工履歴データによる土量算出手法 -」, 土木学会第76回年次学術講演会, VI-195, 2021
- 4) 高尾篤志 他, 「データ利活用型 ICT 土工管理システムの開発 (その3) - 土砂トレーサビリティ管理システム -」, 土木学会第76回年次学術講演会, VI-195, 2021

【筆者紹介】

高尾 篤志 (たかお あつし)
 ㈱奥村組
 ICT 統括センター イノベーション部
 i-Construction 推進課
 主任



本木 章平 (もとき しょうへい)
 戸田建設㈱
 技術研究所 施工革新部
 主管



黒田 卓也 (くろだ たくや)
 西松建設㈱
 技術研究所 土木技術グループ
 主任



山岳トンネル施工統合システム OTISM の開発

森 野 弘 之・木 梨 秀 雄・西 浦 秀 明

山岳トンネル工事では、熟練技能者の経験と知識に依存した施工方法や苦渋作業、切羽近傍作業での肌落ち災害などのリスクが大きな課題となっている。そのため ICT を駆使した DX を推進し、遠隔化・自動化・省力化の技術開発が盛んに行われている。このような背景のもと、著者らは山岳トンネルの安全・品質・生産性を飛躍的に向上させる施工統合システム OTISM を開発中である。本システムは、掘削時切羽作業の遠隔・自動化施工技術、覆工の自動化施工技術、計測・解析による意思決定の合理化技術の3分野で構成される。本報文ではこれらのうち、掘削および覆工関連の技術について紹介する。

キーワード：山岳トンネル、DX、遠隔化、自動化、省人化、省力化

1. はじめに

近年、我が国ではさらなる人口減少が予測されるなか、インフラの整備・維持管理を将来にわたり担う技術者や熟練技能者の不足が懸念されており、ICT を適用した施工の生産性向上が不可欠となっている。国土交通省は2024年4月にi-Construction 2.0を策定し、2040年度までに建設現場の省人化を最低3割目指して施工の自動化を推進すると発表した¹⁾。山岳トンネル工事においては、熟練技能者の経験と知識に依存した施工方法や苦渋作業、および切羽近傍作業での肌落ち災害などのリスクが大きな課題となっている。しかし、山岳トンネルの切羽には、掘削作業のためリスクを許容しながら人が立ち入らざるを得ない状況がある。このため、2016年には厚生労働省²⁾が肌落ち防止対策に関するガイドラインを策定して、真に必要な場合以外は切羽への立ち入りを原則禁止し、立ち入る場合の肌落ち防止計画の作成や切羽監視責任者の選任などを推奨した。さらに、2024年3月にはこのガイドラインが改正され³⁾、鏡吹付けの原則実施や、切羽天端から45度以内を可能な限り立ち入りを避ける範囲とする等の内容を追加している。一方、覆工の施工に関しても種々の条件下での品質の確保をはじめ、狭隘な空間での苦渋作業、および省人化といった課題が盛んに行われている。

このように、建設業界や山岳トンネル分野においては、切羽での無人化施工や、覆工作業の自動化を推進

しようという機運が高まりつつある。

以上のような情勢のもと、著者らは山岳トンネル工事の安全と品質、生産性を飛躍的に向上させる施工統合システム「OTISM（オーティズム）」（以下、本システムと記す）の開発に取り組んでいる。本システムはトンネル掘削、覆工、計測・評価の3つの分野で構成され、ICTを組み合わせた遠隔・自動化技術を鋭意開発中である。これら3つの分野は、図1に示すように、掘削時切羽作業の遠隔・自動化施工技術、覆工作業の自動化施工技術、および計測・解析等により施工の意思決定を合理化する技術の3分野で構成さ



図1 山岳トンネル施工統合システム

れる。本稿ではこれらのうち掘削および覆工に関する構成技術について紹介する。

2. 火薬の自動装填・結線システム

本システムはドリルジャンボや高所作業車などの移動式大型機械の先端に、火薬装填ロボットと結線ロボットを搭載し、力触覚をリアルタイムに伝送するリアルハプティクス技術を用いて、火薬装填・結線作業の遠隔化および自動・自律化をするものである。紙巻含水爆薬、粒状爆薬、バルクエマルジョン爆薬などのあらゆる爆薬を対象としている。

リアルハプティクスとは、遠隔操作装置と作業装置間で、接触情報を双方向に伝送し、力触覚を再現する技術で、この技術により人間が行う柔軟で適度な強さの動作の記録、編集、再現、拡張／縮小が実現する。

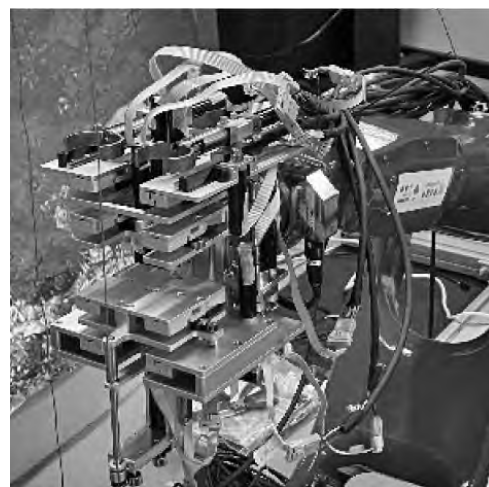
火薬装填作業は鋭敏な火薬を扱うことから、作業を遠隔化する場合、人と同様の力加減や触覚を切羽のロボットとオペレータの相互間で伝達することが不可欠である。リアルハプティクス技術を適用することで、あたかも切羽で作業しているかのように遠隔での装填作業ができる。

また、リアルハプティクス技術は作業を記憶、学習する。そして記憶した作業の再現だけでなく、形状の変化にも追従して作業を行うことができる。例えば六角形のボルトを締め付ける作業を記憶させたときに、ネジの形状が三角形や四角形に変わった場合でも繰り返し作業を行うことができる。この機能を付加することで切羽や装薬孔などの均一ではない形状に対して、孔の角度の調整や孔荒れにも対応でき、装薬作業の自動・自律化が可能になる。

図一2に示すように、ドリルジャンボなどの大型機械で、装薬孔の近くまで装填ロボットを移動し、そこからはオペレータがカメラ映像とリアルハプティクス技術を使用し、装填ロボット先端を孔に挿入し、親ダイ、増しダイ、込め物を押し込む。写真一1に示すように、操作するオペレータは、装填ロボットから操作装置に伝送された切羽への接触や火薬を押し込ん



写真一1 装填ロボット



写真一2 結線ロボット

でいるときの接触情報を感じながら適切な力加減で作業が行える。これらの作業を記憶し、プログラムすることで自動や自律操作を可能にする。

つぎに、結線システムは、装填システムと同様に移動式大型機械に写真一2に示すような結線ロボットを搭載する。結線ロボットには脚線をつかむためのフック形状を設け、脚線をつかむ際にはリアルハプティクス技術を適用し、切羽との接触を判断する。脚線をつかんで引っ張り、被覆を剥ぎ、捻って結線し、端部の切断までを自動で行うシステムとする。

これらのシステムにより切羽に立ち入らない装薬・結線が可能となる。

3. 遠隔支保建込み・吹付けシステム

本章では、支保工建込み・吹付けコンクリートの遠隔化と自動化に向けて開発した3つの技術を紹介する。



図一2 自動装填・結線システムの概要



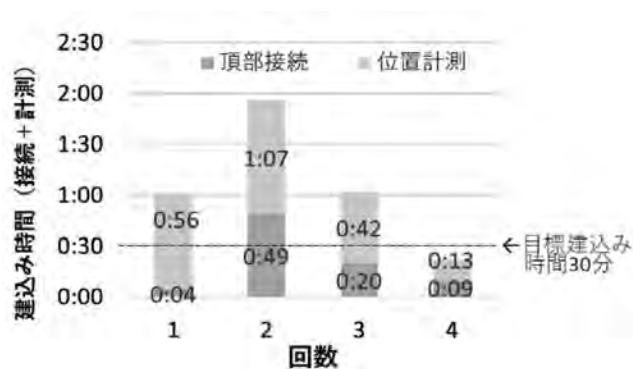
図—3 遠隔支保工建込み技術

(1) 遠隔支保工建込み技術

クイックテレクター（以下、本技術と記す）は、切羽直下に作業員が立ち入ることなく遠隔操作で鋼製支保工を建込む技術で、図—3に示すように、4本の専用エレクター、鋼製支保工を計画建込み位置まで誘導するガイダンスシステム、頂部の接続を遠隔で行うためのワンタッチジョイントで構成される。各システムは、汎用性を高めるため、メーカーを問わず既存のエレクター付き吹付け機に後付けが可能である。

4本の専用エレクターは、ブームに取り付けられた2本のメインエレクターと2本のサブエレクターで構成される。メインエレクターは上半鋼製支保工を把持し建て込む。エレクターの可動部で、支保工頂部の接続や建込み位置の微調整を可能にした。サブエレクターは鋼製支保工脚部を把持し、地面にサポートジャッキで支持することで、ブーム自体のたわみおよび吹付け時に発生する振動を抑制する。サブエレクターで把持した状態で、鋼製支保工脚部への吹付けが可能である。ガイダンスシステムは、モーションキャプチャーの技術を応用し支保工を計画建込み位置へ誘導する技術である。吹付け機本体に取り付けた赤外線4眼カメラにより、鋼製支保工に取り付けたマーカーの位置をカメラの視差角から計測する。ワンタッチジョイントは、抜け止め機構が付いたピンと孔で構成されており、ピンを孔に差し込むだけで接続が完了し、遠隔施工が可能である。

磐越道宝珠山トンネルにおいて、本技術の実証を行った。図—4に示すように4か所で試行した結果、当初は脚部掘削量不足で再掘削したことや、位置計測時の通信エラーの発生等により30分以上を要したが、最終的には目標とした積算サイクルタイム30分未満の22分で完了できた。建込み精度に関しては、ガイダンスシステムとトータルステーションによる鋼製支保工の計測座標値を比較した結果、両者の差の平



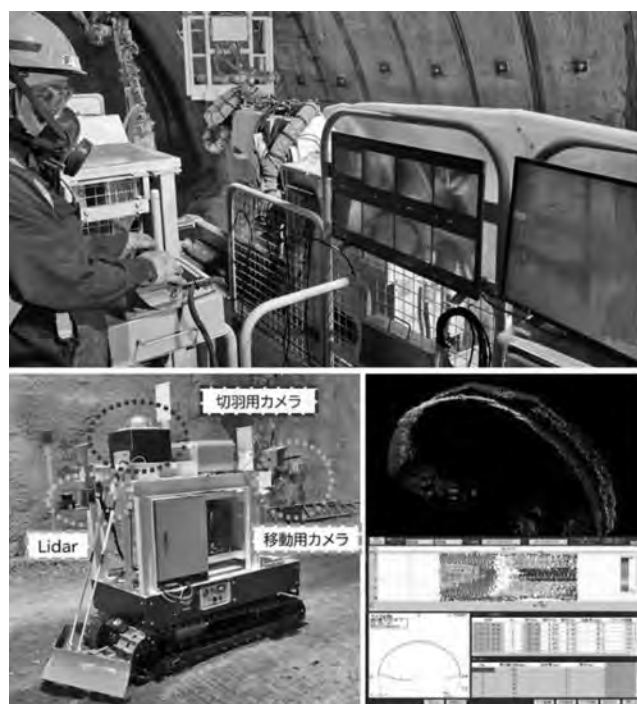
図—4 鋼製支保工建込みの施工時間の比較

均値は54 mmであった。切羽直下に作業員が立ち入ることなく、作業人員は5名から2名に削減できる。

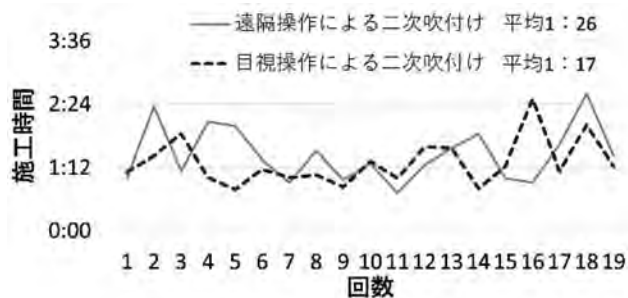
(2) 出来形・監視 UGV を用いた遠隔吹付けシステム

出来形・監視 UGV は、遠隔で吹付けコンクリートを施工する作業員の目の代わりを担う。図—5のように、不整地や狭隘な場所でも走行可能なクロラ式台車に画角調整可能なカメラを搭載し、無遅延の映像を遠隔地に伝送する。鏡面や支保工建込部の全方位を確認するカメラの他、移動時に周囲の状況を確認するカメラを複数台搭載する。UGV の前面部分に取り付けた Lidar で、切羽直近にて無人で掘削出来形や吹付けの仕上がりを随時計測し、図—5のように吹付けコンクリート厚さの過不足を吹付け作業中に判断できる。

本システムを磐越道宝珠山トンネル工事で適用し、



図—5 遠隔吹付けシステムと出来形・監視 UGV



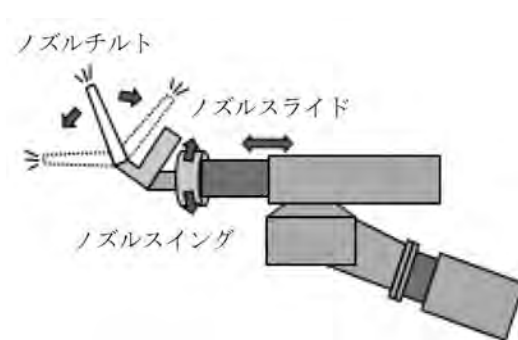
図一六 二次吹付けの施工時間の比較

切羽直下に配置した出来形・監視 UGV により、オペレータは切羽に入ることなく、遠隔場所でモニター画像を見ながら円滑な吹付けを実施できた。二次吹付けの作業時間は、図一六のように目視操作と遠隔操作での両者には大差がなく、同等であった。二次吹付け後の凹凸形状をレーザースキャナで計測した結果、目視操作と遠隔操作での差はなく、平滑度 (D/L, D: 凹凸深さ, L: 幅 400 mm) は、覆工コンクリートのひび割れ発生に影響を与えない範囲 (1/6 未満) であった。

(3) 輪郭同調システムによる自動吹付け

輪郭同調システムは、図一七に示すように側壁・天端を吹付ける際に、ブーム左右操作のみで起伏・伸縮動作を自動的に行い、トンネルアーチからノズル先端までの距離を自動的に一定に保持する技術である。動作開始前に、支保工継ぎ目部にノズル先端をセットすることで、吹付機本体据付位置を認識できる。また、ノズル動作の三要素、チルト・スイング・スライドは、図一八に示すオートノズルにより設定した一定間隔で往復運動させて自動で吹き付けるシステムとした。これら二つのシステムによって、一連の吹付作業をブームの左右操作とノズルのスタート操作のみで実施することを可能とした。

磐越道宝珠山トンネルにおいて、本システムを用い



図一八 オートノズルの概要

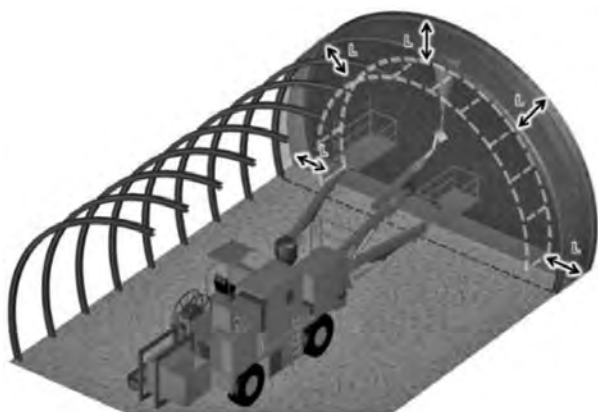


図一九 輪郭同調+オートノズル吹付け試験結果の比較

た実証実験を行った。この現場では、吹付機と急結剤台車が並列配置での施工となるため、吹付機が中央から 3 m 程度側壁側に寄っていたが、初期設定で正しく位置を認識し、図一九に示すような一定の離隔距離を保ちながら輪郭軌跡を描くことを確認した。ノズルと吹付面の離隔距離を 1, 1.5, 2 m で比較したところ 1.5 m の場合が最もリバウンド率が低くなった。また、ノズルの離隔距離を 1.5 m に固定して熟練作業員による吹付け結果と比較してみたところ、リバウンド率はおおよそ同等程度となり、仕上り面の平滑性も遜色なかった。以上の結果から、輪郭同調およびオートノズルの両システムにより、出来形・生産性ともに熟練作業員と同等の施工が見込めることが確認できた。今後、さらなる検討・検証を行い、早期に吹付けの完全な自動化を目指す。

4. ロックボルト遠隔打設システム

従来のロックボルト打設作業は、削孔騒音のなかでドリルジャンボの作業用バスケット上において人力で行っている。長尺のモルタルホースや重量物であるロックボルトを取り扱うことは、身体への負担が大きく、トンネル掘削サイクルで最も苦渋な作業となっている。また、切羽直下での作業のため、肌落ち災害の



図一七 輪郭同調吹付けシステム

リスクや重機による挟まれ災害もしばしば発生している。これらの課題を解決するため、ロックボルト遠隔打設専用機「ロボルタス®」(以下、本打設機と記す)を開発した。本打設機は、図—10に示すように、左右2本のガイドセルに2基のマガジンを搭載し、把持機能付のハンドリングアームおよびドリルヘッドで構成されている。ガイドセル下部にスライドテーブルを備え、奥行き方向の位置合わせが容易に可能である。2基のマガジンには削孔用ロッドと注入用ロッド、ロックボルト材料を搭載し、ロックボルトは最大20本収納可能である。

本打設機の特長は以下のとおりである。

(a) 作業員が切羽に立ち入らずに施工

1つのブームで削孔・モルタル注入・ロックボルト挿入の一連作業を遠隔で行うことが可能である。作業員が人力で行う作業はなく、タブレット端末でガイドセルを操作するため、切羽に立ち入る作業をなくし、切羽災害を排除した。

(b) 容易な操作性と機械化による品質確保

タブレットに表示された工程ボタンをタップすることで、削孔からロックボルト挿入までの作業を操作し、マガジンの回転や把持機構の開閉も自動制御できる。これにより未経験者でも熟練技能者と遜色ない品質と施工スピードの作業が可能となる。モルタル注入も地山に確実に付着するように注入位置や量を制御し、一定の品質が確保できる。

(c) 種々のロックボルト長に対応

ロックボルト長の適用範囲は3m、4m、6mで、ボルトの種類も各種条件を設定できる。



図—10 本打設機の概要

(d) 独自の削岩機構と機械構成

削岩機のドリルヘッドは、バックハンマー機構を有しており、ジャミング時の引抜作業を皿バネがアシストする機能を備えているため、軟質な地質に向いている。なお、本打設機は従来のドリルジャンボに搭載可能であり、ジャンボのメーカーを問わない。

5. セントル自動セット、覆工自動打設システム

トンネル覆工作業は「セントル(移動式型枠)セット→妻板設置→コンクリート打設→妻板解体→脱型→セントル移動・ケレン」をくり返し進めていく。このうち、コンクリート打設作業に関する機械化・省人化については進展しているが、セントルセットを含めたほかの作業についても機械化や自動化による省人化を図り、覆工作業の人員編成を検討することが重要である。本章では覆工作業の自動化施工技術のうち、セントルセットと覆工コンクリート打設の自動化に関する2つの技術を紹介する。

(1) セントル自動セットシステム

セントル自動セットシステムとは、セントルに各種のセンシング機器や測量器を設置し、セントル部材の位置や傾斜を高精度に計測し、コンピューター(PC)により、所定の位置までの移動量や油圧ジャッキの伸縮量を演算し、駆動制御するシステムである。図—11に概要を示す。

あらかじめPCにトンネル線形や測量座標、セントルの配置計画情報等を入力しておく。セントルセット開始時にはタッチパネル式のモニターを操作するだけで、所定の位置に移動し、天端フォーム・サイドフォームそれぞれのジャッキを伸ばして、自動でセントルを据付け可能である。また、各ステップにおいて各計器の計測値をチェックする機能を設けており、許容値を超えた場合には自動でフィードバックを行い、誤差を修正するシステムである。安全機能については、既設コンクリートとの接触にはリミットセンサーによる危険検出型のインターロックシステムを備えている。また、非常停止ボタンも備えているのでボタンを押すことで停止させることも可能である。

監視・計測・操作・調整を各種のセンシング技術で代替することで、2～3名での作業が可能となり、セット作業に要した時間も従来の90分程度から30分程度と大幅に改善され、生産性向上に大きく寄与する。また、目視や巻き尺ではなくセンシング技術による精密な計測に基づく制御を行うことにより、高い精度での

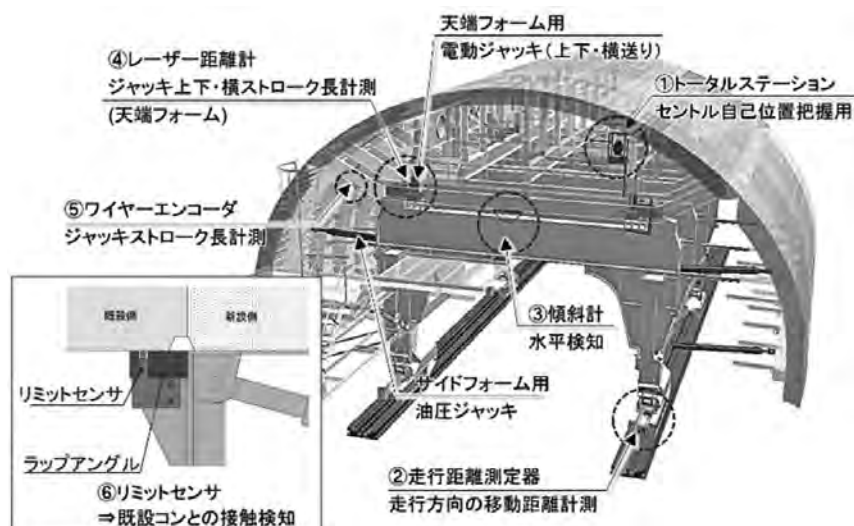


図-11 セントル自動セットシステム概要

セントルセットが可能となるとともにヒューマンエラーによる不具合も防止し、品質確保にも貢献する。本技術は全て後付け可能な装置で構成されており、セントルメーカーを問わず広く適用可能である。

(2) 覆工コンクリートホース伸縮式連続打設システム

ホース伸縮式連続打設システムは、セントル天端フォームの打設口から左右それぞれに1本のホースを脚部まで伸ばし、コンクリートの打上がり高さに合わせてホースを引き上げるシステムである。図-12にシステムの概要と全景を示す。

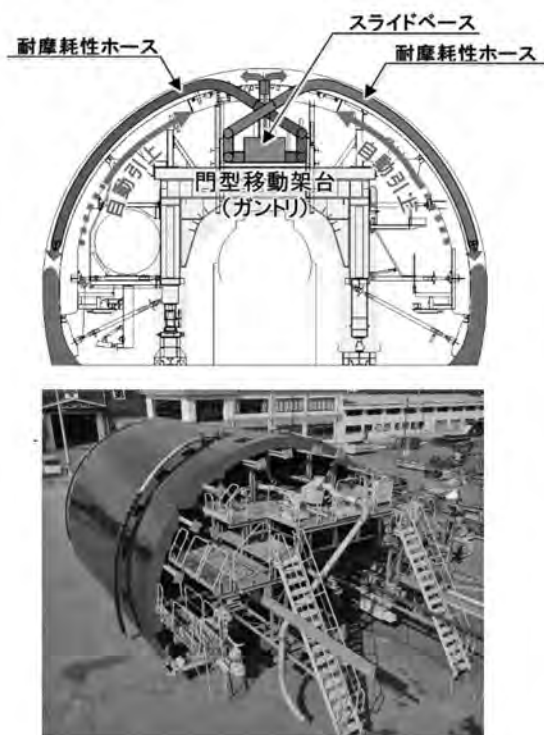


図-12 ホース伸縮式連続打設システムの概要および全景

ホースの引上げ機構は、門型移動架台（ガントリ）上部に配置した移動台がホースを抱えてトンネル軸方向へスライドする。スライドベースの操作（ホースの引上げ・挿入）は付属のコントローラーにより自在に調節できる。またセントルにセンサを設置し、打ちあがり高さに合わせてホースの引き上げを自動で行うことも可能である。コンクリートが天端部へ達した時点で吹上口へ切り替え、以降は従来の覆工打設と同様の方法で打設を完了する。

本システムで最小限の落下高さでの打ち込みが可能となり、材料分離や余剰空気を巻き込むリスクを低減できる。また、従来の配管切替式からホースの連続引き上げ式にすることで、配管の切替作業（20分×6箇所程度）をなくし、苦渋作業を改善するとともにコールドジョイント発生リスクも低減する。品質に影響もなく、見映えも良好である。

6. おわりに

本稿では、山岳トンネルの切羽での各掘削作業を無人化する技術、および覆工の自動化施工について紹介した。覆工の自動化施工システムはまもなく実証を完了し実装段階に達し、近い将来に省力化と省人化が実現する見込みである。また、掘削の遠隔化技術に関しては現場実証～実装の段階にあり、詳細部分の課題修正を実施しているところである。とくに遠隔装薬・結線に関しては、他の作業に比べて難関であり課題も多いが、リアルハプティクス技術を駆使することで、切羽では完全な無人化施工が可能となり、さらに自動化・自律化に向けた開発を進めている。今後、掘削に係わる全サイクルにおいても切羽直下の作業を完全に無人

化し、早期に切羽での災害ゼロの達成および省人化を目指して引き続き技術開発を進める所存である。

謝 辞

共同開発者の慶應義塾大学 野崎准教授，マルマテクニカ(株)，鉦研工業(株)，北陸鋼産(株)のご尽力に対しここに記して感謝の意を表す。



《参考文献》

- 1) i-Construction2.0：国土交通省，<https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001738240.pdf>
- 2) 厚生労働省：山岳トンネル工事の切羽における肌落ち防止対策に係わるガイドライン，2016.12.26
- 3) 厚生労働省：山岳トンネル工事の切羽における肌落ち防止対策に係わるガイドラインの改正について，2024.3.26

【筆者紹介】

森野 弘之（もりの ひろゆき）
(株)大林組
東日本ロボティクスセンター運用管理部
部長



木梨 秀雄（きなし ひでお）
(株)大林組
生産技術本部 トンネル技術部
上級主席技師



西浦 秀明（にしうら ひであき）
(株)大林組
生産技術本部 トンネル技術部
上級主席技師



自動化施工システム A⁴CSEL[®] による DX ソリューション

出 石 陽 一・浜 本 研 一

「人手不足・熟練労働者不足への対応」, 「建設生産性向上」, 「労働災害撲滅」などの建設業界における重要な課題解決を目的として自動化施工システム A⁴CSEL[®] (クワッドアクセル: Automated/Autonomous/Advanced/Accelerated Construction system for Safety, Efficiency and Liability) の開発と現場適用を進めている。

本報では, A⁴CSEL (以下, 本システム) の技術開発と現場適用状況を中心に紹介するとともに, 本システムを「DX ソリューション」と位置付けその効果について述べる。

キーワード: 自動化施工システム, 遠隔集中管制, DX ソリューション, ダム, 造成

1. はじめに

鹿島建設では, 本システムの開発と同時に現場導入を進めており, 2015 年の五ヶ山ダム (福岡県) を皮切りにダム現場や災害復旧現場に適用してきた^{1), 2)}。秋田県で施工中の成瀬ダムでは, 2020 年から自動化施工を本格導入し, 今日まで無事故で推移している。2023 年 5 月には, 2022 年 10 月に打ち立てた国内月間打設量の日本記録を更新 (28.1 万 m³) し, 高い生産性と安全性を実現している (写真—1)。

本システムは, 自動化機械に注目されがちであるが, 機械を自動で動かすこと自体を目的とするものではなく, 「作業方法や手順を定式化して自動化機械に作業データを送り, 多機種・複数の機械を自律的に自動運転すること」, 「施工データに基づいて作業方法や施工計画の最適化を追求し続け, それにより仕事のやり方を根本から変革すること」を命題としており, 本シ

ステムの有する様々なソリューションを広く「展開」して建設業に DX を起こすことを目的としている。本報では, 本システムを様々な DX ソリューション (DXS) の総合体と位置付け, その中の「施工の DXS」「業務プロセスの DXS」「技能伝承の DXS」について述べる。

「施工の DXS」では成瀬ダムで実現した「現場の工場化」について詳述する。「業務プロセスの DXS」では, 実験フィールド (神奈川県小田原市) からの「遠隔集中管制」について紹介する。「技能伝承の DXS」では, 本システムによる「技能のコード化」について述べる。また, 今後の更なる「展開」として造成工事への導入について紹介し, 今後の課題とその解決促進のために求められることについて述べる。

2. 本システムによる DX ソリューション

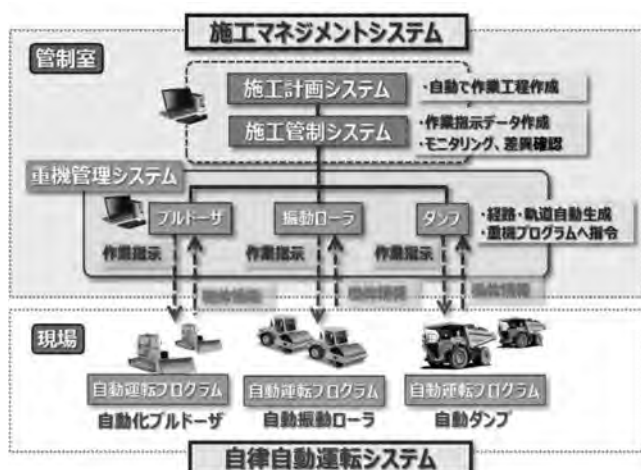
(1) 本システムの構成技術

本システムは, 自動化された重機による自律自動運転システムと, それらを効率的に稼働させるために必要な施工計画, 施工管制, 重機管理のサブシステムを包含する施工マネジメントシステムにより構成されている (図—1)。

施工計画システムは, 施工エリア情報や機械台数及びまき出し層厚などの作業条件を指定し, 詳細なタイムスケジュールを自動で作成する。施工管制システムは, 計画した各作業を作業順序や作業エリア等の制約条件に基づき重機管理システムに指示するとともに, 全ての機械の作業状態を監視し, 計画との差や異常を



写真—1 2023 年成瀬ダム自動化施工状況



図一 本システムのシステム構成

判定する。重機管理システムは、作業データを基に生成される重機経路データを自動化重機に送信する機能と、自動化重機から機体のデータを受信する機能を有している。自動化重機は、作業エリアの不陸、材料の荷下ろし位置のズレなどによって生じる施工誤差を自ら修正し、自律的に自動運転を行う。

(2) 施工の DXS : 「現場の工場化」

(a) 作業の細分化と定式化、施工計画の最適化

本システムは、建設現場を生産工場のように変革することで、飛躍的に生産性を向上させることを目指しており、これを施工の DXS と位置付けている。建設現場の生産性は製造業に比べて低く、製造業がこの20年で約14%向上させている一方で、建設業においては横ばいの状態である。この要因は、建設業の生産が現位置での単品生産であること、天候の影響を受けやすいことなどが挙げられるが、大きな要因として、建設業が労働集約型産業であり、進捗が技能者の能力に依存するため事前に立てる生産計画（施工計画、作業計画）どおりに仕事が進捗しないことにある。さらに、技術者による施工計画立案には多くの時間を要する一方で、策定した施工計画の定量的な評価指標に基づく優劣の判断や、詳細なシミュレーションがなされておらず、計画作業そのものの生産性が低い。

本システムでは、それらを変革する具体策の一つが作業の細分化、定式化、施工計画の最適化であると捉えている。全ての作業を一つ一つの動きまで細分化し、作業効率の高い一連の作業の繰り返しとなるように定式化する。次に、多数の機械に定式化された作業を効率的に稼働させるための施工計画を作成し、シミュレーションにより実行可能可否を確認した後に実行する。



図二 施工計画の例と最適化のイメージ

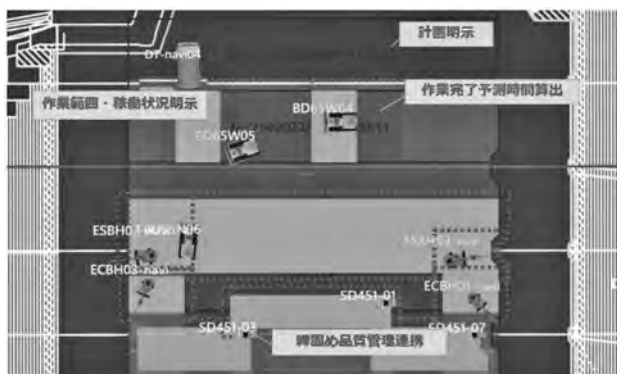
成瀬ダムの CSG 打設を例に挙げると、材料の切出し、ダンプトラックによる材料の運搬、ブルドーザによる材料のまき出し、振動ローラによる材料の転圧から成る一連の作業の繰り返しによって施工される。その一連の作業を製造工場における一つのジョブとみなせば、製造工場のスケジューリング問題と同様に扱うことができる。本システムでは、製造工場で使われている生産スケジューラをベースとして開発した「最適化スケジューラ」を適用している³⁾。

最適化スケジューラでは評価の指標を、施工作業時間・コスト・安全性などとし、作業の組合せを入れ替える度に、指標が最大（最小）となる最適施工計画を見出す。そこで、組合せ最適化問題の解法である遺伝的アルゴリズムに着目し、高速な最適化処理を実現している（図一2）。現時点では、約30台の機械と約1,500の作業が含まれる12時間の施工計画に適用したところ、最適化に要した計算時間は10分程度となっており、施工計画作成業務そのものが人では不可能なレベルの生産性に達している。

(b) 管制システムによるトータルコントロール

生産性を向上させるための有効な手段は、最適化された計画をその通りに実施することである。従来の建設施工と製造工場との大きな違いとして各作業時間のばらつきの大小がある。建設施工では、作業方法はオペレータや技能者に依存しているため、作業工程を細分化して計画しても、一つ一つの作業方法、作業時間にばらつきが大きく計画どおりに実施することは困難である。また、管理者が計画からの作業進捗のズレを正確に把握することも困難である。

本システムでは、細分化された施工データに基づく自動化機械による作業であるためばらつきがなく、自動化機械からの作業データにより計画に対する進捗を管制システムにて正確に把握することができる（図一3）。そのため、「作業環境の変化による計画に対する遅延時間」、「作業した結果の出来形の評価値」、「品質管理の評価値」などのデータをリアルタイムで取得し、



図ー3 施工管理のイメージ

それを基に作業方法を改善できる。これにより、生産を自らのコントロール下に置くことが可能であり、自らの意思で現場を制御し生産性を維持することができる。技術者の経験値が重要な建設業において、より客観的に「データドリブン」な意思決定を行えている。

(c) 自動化機械ならではの作業方法の革新

本システムは、熟練者の実操作データを基本としつつAI手法を導入して自動建設機械の制御を行い自動運転させている。さらに、有人作業の制約から脱却した自動化施工ならではの作業方法を導入し、生産性向上を実現している。

その例として、成瀬ダムの堤体上での自動ダンプトラックによる材料運搬について紹介する(写真ー2)。

製造プラントで製造されたCSG材は、ベルトコンベアやSP-TOMを介して堤体右岸のCSG積み込み地点まで自動搬送される。自動ダンプトラックは、積み込み地点から打設エリアの自動ブルドーザに向かって最大で約600mを左岸に向かって後進走行で運搬する(図ー4)。自動ダンプトラックの後進走行は有人運転では非常に困難な走行方法だが、自動運転だからこそ実現できる方式である。加えて、運搬経路途中での切り返し動作をなくすことで走行時間や距離を大幅に短縮することが可能となり、堤体内の打設地点へのCSG材の連続かつ最速運搬を実現した⁴⁾。



写真ー2 自動ダンプによる材料運搬



図ー4 自動ダンプシャトル走行図

(3) 業務プロセスのDXS：「遠隔集中管制」

(a) 遠隔集中管制システム

当社は、工事場所の異なる複数の本システム導入現場を遠隔地から一括して管制する「遠隔集中管制システム」を開発し、現場に導入している。建設産業は各現場に人を配置する「分散生産および分散管理」以外に選択肢を持ち得なかったが、当システムの導入により「分散」と「集中」双方の長所を取り入れた最適な業務プロセスへの変革が可能となり、建設業の重要課題、さらに2024年から適用された「働き方改革関連法」で直面する課題を解決し得ると考えている(図ー5)。

2023年度より、実験フィールドに新たに設置した「遠隔集中管制室」から3人のITパイロットが成瀬ダムの自動ブルドーザ・自動振動ローラ・自動ダンプトラックなど合計14台の自動化建設機械を稼働させ、交代制でCSGの堤体打設を昼夜にわたって連続施工している(写真ー3)。この結果、ITパイロットを



図ー5 遠隔集中管制による効果概念図



写真ー3 実験フィールドからの遠隔管制状況

現地に派遣することなく、現地で管制する場合と同じ人数で成瀬ダムの施工に必要な高速大容量施工を実現した。さらに、自動化施工と隣接して実施するバックホウによる端部法面整形作業を、遠隔集中管制室からの遠隔操作にて実施した。これにより、定型的な繰り返し作業を自動化施工することによる省人化に加え、不定形な作業についても遠隔集中管制室から遠隔操作することで、一人の遠隔オペレータが複数の遠隔重機を操作することが可能となり省人化が図れる。

以上のことから、遠隔集中管制システムには以下に挙げるメリットがあり、建設業の課題解決につながると考える。

- ・複数の遠隔現場を一箇所から最小人員で施工することにより、作業者の飛躍的な有効活用が実現できる。
- ・自動運転と遠隔操縦を連携して作業することにより、作業者が現場所在地に赴任する必要がなくなる。
- ・数箇所の現場をあたかも一現場の施工と同等の仕組みで実施できるため、大規模現場、長工期現場だけでなく、中小工事、工期の短い工事にも適用することが可能となる。

(4) 技能伝承の DXS : 「技能のコード化」

(a) 技能伝承の「新たなかたち」

建設業のみならず他産業も含めて、熟練技能者の高齢化により若い世代へ技能伝承がされないまま退職を迎えてしまう、技能の伝承不足が深刻な問題となっている。

本システムでは、熟練オペレータの操作データを参考に最適化された作業データを作成するプログラムにより自動化機械を稼働させる。すなわち、熟練技能者の技能をデジタル化、コード化し、ソフトウェアとしてコンピュータに伝承する「新たなかたち」になると考える。これにより、多くの熟練オペレータを育成する必要はなくなり、本システムのソフトを使える管制員を育成することで対応できる。

また、プログラムは無限にコピーできるため、自動化機械の数に応じて熟練オペレータを育成できることになり、今後、自動化機械は「熟練オペレータ付き機械」と同等以上のものとして益々価値の高いものになると考える。

3. 本システムのさらなる展開

(1) 造成工事への展開

本システムのさらなる「展開」として、2023年に仙台北部造成工事の盛土工事の一部に自動ブルドーザ

と自動振動ローラを各1台導入した。自動ブルドーザは成瀬ダムに導入したコマツ D65PXi を導入し、自動振動ローラは小石原川ダム（福岡県）に導入した同型の酒井重工 SV900 を今回新たに自動化改造し導入した。

今後の展開を視野に入れて「本システム教育訓練カリキュラム」を構築し、重機土工を請け負う施工会社の職員に本システムを自ら使えるように教育訓練した。成瀬ダムまでは本システムの技術開発を担っている当社の社員が管制員を務めていたが、システムの成熟度や信頼度が向上したことにより、短期間の教育訓練で施工会社の職員がシステムを使って自ら自動化施工を実施することが可能となった。

仙台北部造成工事では、自動ブルドーザで盛土材をまき出したエリアの後方から自動ローラが転圧した。自動ブルドーザへの盛土材の供給は、有人アーティキュレートダンプで実施した（写真—4）。また、前項で紹介した「遠隔集中管制システム」を導入し、実験フィールドの遠隔集中管制室から施工会社の職員が1人で自動ブルドーザ・自動振動ローラ各1台と有人ダンプ4台の合計6台を管制した。通信設備は公共回線を使用し、GPSはVRSを用いることで、コスト低減とリードタイム短縮を実現した。

4. 今後の課題と求められること

今後も、建設機械の自動運転機能及び性能の向上並びに自動化施工する対象機種種の増強により適用工種や作業を拡げるとともに、現場規模や使用条件に合わせて多くの現場に適用できるようにするための取り組みを加速する。それにより自動化施工が普及し、下記に述べる課題解決に向けた動きが促進されることを期待する。



写真—4 造成現場での自動化施工稼働状況

(1) 建設機械の電子化、制御信号の利用

外部からの指令により自動で動く建設機械が汎用品として販売されるようになることが望ましいが、現時点は自動で動くように改造する必要がある。建機メーカーによる建設機械の電子化が進み制御信号の利用が可能になれば、建設機械の自動化改造に要するコストやリードタイムの低減が図れ、導入が容易になり、自動化施工の普及が促進され则认为する。

(2) ネットワークに関するインフラ整備

自動化施工及び遠隔施工を確実に実施するためには、ネットワークが整備されていることが不可欠である。ICT 施工を導入する現場が増加してきたので GPS やネットワーク回線の整備は進んでいるものの、建設機械の自動化改造と同様にコストとリードタイムの低減が課題である。現場規模が大きく工期が長い現場では専用回線を設置しても費用対効果がある一方で、中小規模かつ工期が短い現場では専用回線を設置することは厳しく、これが普及への障壁になる。公共回線を利用することにより合理化が図れるものの、通信速度や通信容量の課題がある。ネットワークの整備は、今後の建設産業に必須な協調領域と捉えて普及を進めることが必要と考える。

(3) 自動化施工に関する法規、ルール策定

自動車の自動運転についてはガイドラインや道路交通法改正などのルール作りが進展している一方で、建設機械の自動化は法律やマニュアルがない作業を自動で施工することであり、その使用方法是メーカー等によって規定することはできない。したがって、当社は本システムを導入している現場で自らルールやマニュアルを整備して運用している。自動化施工を普及させるためには、準拠すべき法律やガイドラインを策定し、事故が発生した際の責任の所在を明らかにできる体系が必要と考える。

5. おわりに

今後も A⁴CSEL を「進化」と「深化」させることで「現場の工場化」を進め、建設生産システムの変革に挑戦する。A⁴CSEL は、最新の製造工場と同様に、ハードウェアとしての生産機械と、自動運転や最適稼働をさせるソフトウェア、並びにそれらをつなぐネットワークを備えたデジタル時代の生産システムといえる。これのさらなる「展開」を図り、「遠隔集中管制室」を情報集約型の生産拠点とすることによって建設生産のやり方を一新し、労働集約型の典型である建設現場を変革して建設業に関わる多くの問題を解決することにより、将来にわたって安定的にインフラを提供していけるよう、今後も努力していく所存である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 三浦 悟, 出石 陽一, 浜本 研一: 自動化施工システム A⁴CSEL[®] の進化と深化, 土木施工, Vol.64, No.1, pp.68-71, 2023
- 2) 坂田 昇, 青柳 隆浩, 出石 陽一, 土木施工, Vol.64, No.5, pp.81-84, 2023
- 3) 高見 聡ほか: 自動化施工システムにおける施工計画作成への最適化手法の導入, 土木学会第 75 回年次学術講演会, VI-1151, 2020
- 4) 鹿島建設(株)プレスリリース: 成瀬ダムで自動化施工システムによる「現場の工場化」を実現, 2023/10/13

【筆者紹介】

出石 陽一 (いずし よういち)
鹿島建設(株)
機械部 自動化施工推進室
室長



浜本 研一 (はまもと けんいち)
鹿島建設(株)
技術研究所 先端・メカトロニクスグループ
グループ長



ICT 活用山岳トンネル機械施工

井 手 康 夫

熟練技能者不足と生産性・安全性向上の改革を図るため、山岳トンネル施工サイクル部分の機械化を進めた ICT 施工に取り組んでいる。熟練工の経験と技量を基本とする人力作業を PC 制御の機械システムに置き換え、施工むらや品質のばらつきをなくす高品質施工を確実にするとともに省人化が図れる機械施工を実現した。本報では、実用化したロックボルト機械施工と覆工コンクリート自動施工システムについて、基本機能、システム概要、実施状況について紹介する。

キーワード：山岳トンネル、ロックボルト工、覆工コンクリート、機械施工、自動施工

1. はじめに

2024 年 4 月国土交通省は建設現場のオートメーション化の実現を目指す「i-Construction 2.0」をとりまとめ、2040 年度までに実現する目標として、①省人化 3 割（生産性向上 1.5 倍）、②安全確保、③働き方改革、④新 3 K の実現を掲げた。このような中、依然施工工程の多くで技能者の技量に依存する山岳トンネル工事では、熟練技能者の離職に伴う生産性の低下や、重篤災害発生率の下げ止まりが問題となっており、現場の生産性と安全性の向上を高い次元で両立させることが喫緊の課題である。こうした課題の解決策として筆者らが取り組んでいるのが、ICT を活用した山岳トンネル機械施工の開発である。熟練工の経験と技量を基本とする人力作業を PC 制御の機械システムに置き換えることで、施工品質・出来形のばらつきをなくす高品質施工を確実にするとともに、作業の効率化、安全性確保、省力化、省人化を可能とする機械施工を実現した。本稿では、実用化したロックボルト機械施工と覆工コンクリート自動施工システムの基本機能、概要と道路トンネル現場に実装した際の結果について報告する。

2. ロックボルト機械施工

(1) 基本機能

ロックボルト工の人力作業を 2 ブームロックボルト打設専用機とモルタル自動供給装置による遠隔施工システム（写真—1）に置き換え、機械施工を行うこと



写真—1 ロックボルト遠隔施工システム

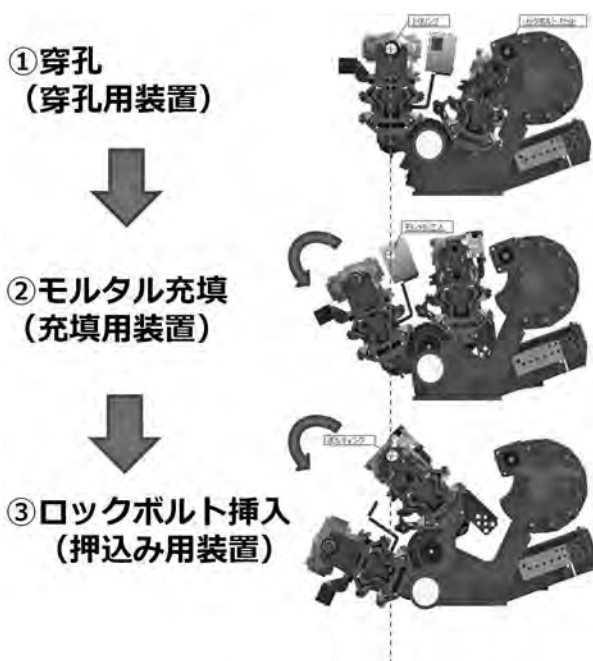
により、作業の効率化、安全性確保、高品質化、出来形精度の向上を可能にしている。このシステムは、ロックボルトの作業プロセス（穿孔から定着モルタル練混ぜ・充填、ロックボルト挿入）を機械し、コントロールパネルに常時表示される高精度ナビゲーションに従い、キャビン内からシステムを遠隔でシームレスに稼働させる機械施工を基本としている。

(2) システム概要

2 ブームロックボルト打設専用機は、穿孔用装置（HD210S ドリフタ搭載）、モルタル充填用装置、ロックボルト格納用マガジン（9 本分を格納）、ロックボルト押込み用装置（HD30 ドリフタ搭載）を一体化した 3 セクション方式のボルディングユニット（図—1）を 2 基搭載し、キャビン内からの遠隔操作により、図—2 に示すように、打設位置の軸方向を中心にボル



図—1 ボルティングユニット



図—2 ボルティングユニットの動き (正面図)

ティングユニットを回転させながら、穿孔・モルタル充填・ロックボルト挿入の3セクションの切替えをシームレスに行う。

モルタル自動供給装置 (図—3) は、大型モルタル供給装置をタイマーとレベルセンサーにより制御し、消費量に応じて自動で左右のモルタルポンプにモルタルを補充、キャビン内からの遠隔操作で左右ボルティングユニットへのモルタルの供給を自動化する。モルタル充填量やロックボルト出来形は、コントロールパネル (図—4) で常時確認、監視でき、施工記録はデータベース (DB) に保存する。

(3) ロックボルト遠隔機械施工

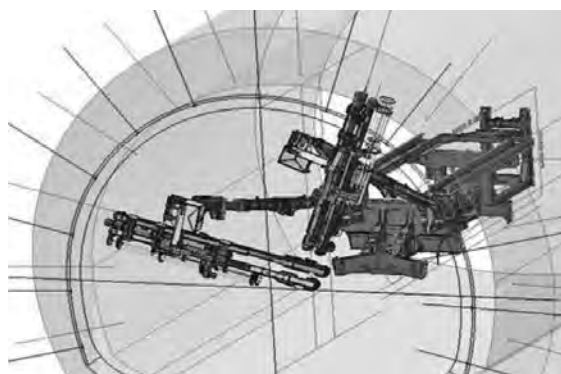
ロックボルトの施工は、事前の3Dシミュレーション (図—5) により互いのブームが干渉しないよう1サイクルの打設効率を最適化した打設順序に従い左右のボルティングユニットを稼働させながら以下施工フ



図—3 モルタル自動供給装置



図—4 コントロールパネル画面



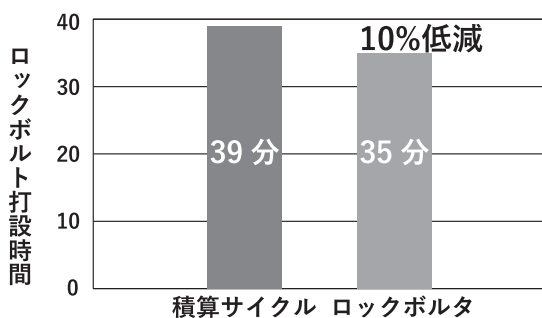
図—5 3D シミュレーション (打設順序最適化)

ローに従って行く。(a) トンネル坑内の常設トータルステーションよりロックボルト打設専用機の機体位置を測位し、機体側へGlobal座標を付与、関節センサーにより、左右ブームのビット先端位置、角度を把握し、キャビン内のコントロールパネルに2ブーム位置をリアルタイムに表示する。(b) コントロールパネルに表示される事前に入力した計画 (ロックボルトパターン) との差異を確認、高精度ナビゲーションに従いながら2ブームの位置と角度を計画に合わせ、穿孔を指示する。これによりボルティングユニットの穿孔用装置が稼働し、穿孔が開始する。計画の穿孔長に達するとオートリターン機能により穿孔を自動停止、打設箇所を穿孔を終える。その後、(c) ボルティングユニットを回転 (図—2) し、モルタル充填用装置を打設孔

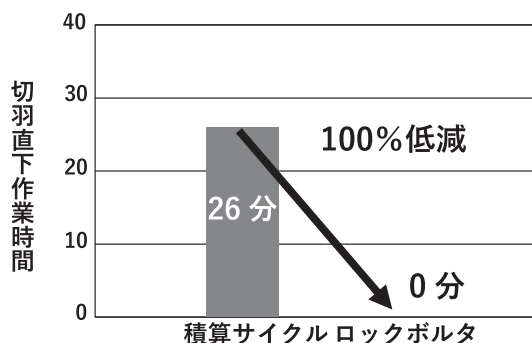
に合わせ、モルタルホースの送り出しを指示する。これによりモルタルホースの挿入が開始され、孔の先端に到達した後、モルタルの供給を指示、自動供給が開始される。モルタル充填量はコントロールパネルに表示され、計画の充填量を確認した後、モルタル供給を終える。最後に (d) ボルティングユニットを回転 (図—5) し、ロックボルト格納用マガジンからロックボルトを取り出し、ロックボルト押込み用装置を打設孔に合わせ、ロックボルトを押込み、ロックボルト打設を終える。

(4) 実施状況

道路トンネルにロックボルト遠隔施工システムを適用した結果、システムは有効に機能し、所要性能を満たすことを確認している。生産性向上効果として、従来5人での作業を2人で行うことが可能で、サイクルタイムは、一般工法（積算）と比較し中断面（3mRB）で10%（図—6）、大断面（4mRB）で20%短縮を確認している。作業の安全性確保として切羽直下の作業時間を0（プレート裏モルタル整形作業は除く）（図—7）にすることが可能である。ロックボルト出来形精度は、位置間隔 ± 20 mm、角度 $\pm 1^\circ$ 、穿孔深さ ± 50 mm以内、品質についてもモルタル充填量の見える化により十分な定着力が確保されることを引抜き試験で確認しており、高精度かつ施工品質の均質化が可能である。



図—6 ロックボルト打設時間比較¹⁾



図—7 切羽直下作業時間比較

3. 覆工コンクリート自動施工

(1) 基本機能

覆工コンクリート工の人力作業をPC制御の機械システムに置き換え、覆工施工を自動化、自動運転を行うことにより、施工むらや品質のばらつきをなくし、高品質覆工、打設時間短縮を可能にしている。このシステムは、覆工コンクリート施工をパターン化、機械化し、各種センサで施工状況と締固め状態を数値で可視化、マニピュレータ方式配管切替え装置と吹上げ方式打込み装置、固定式天端打込み装置および型枠バイブレータ (VB) を自動制御するPCシステムで構成され、ワンマン自動施工を基本にしている。

(2) システム概要

覆工コンクリートの締固めは、「型枠バイブレータ (VB) の加振で、打込んだコンクリートの表面が水平となり、流動が止まる状態にする」を基本とし、流動性に優れ、材料分離がない中流動覆工コンクリートの特性を活かす合理的な吹上げ方式の打込みとしている (写真—2, 表—1)。コンクリート圧送、配管切替え、打込み装置の打込み口への移動、型枠バイブレータ (VB) 締固めは、作業をパターン化し、PCシステム



写真—2 マニピュレータ方式自動打込み装置全景 (二色 Tn)

表—1 配合決定のための基準

コンクリート種別	T3-4 (Ad)
材齢 28 日圧縮強度 (N/mm ²)	24
粗骨材最大寸法 (cm)	20, 25
スランプ, スランプフロー (cm)	21 $\pm$ 2.5, 35 ~ 50
空気量 (%)	4.5 $\pm$ 1.5
加振変形試験 (cm)	10 $\pm$ 3
U 型充填性高さ (mm)	280 以上
最低単位セメント量 (kg/m ³)	340
単位水量の上限 (kg/m ³)	175
最大塩化物含有量 (g/m ³)	300

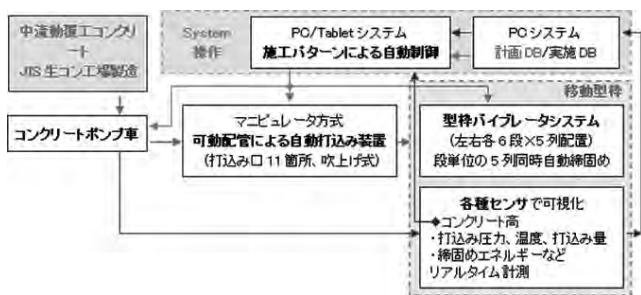


図-8 システム概要 (中流動覆工コンクリート (Ad))

による機械制御で、覆工コンクリート施工を自動化する。打込み締固めの施工パターンは、PCシステムの計画DBで規定する(図-8)。PCシステムは、各種センサからのリアルタイムデータで施工状況を把握、監視し、計画DBの施工手順に従ってマニピュレータ方式配管切替えと打込み装置、型枠パイプレータシステムなどの各種装置およびコンクリートポンプを自動制御する。施工状況や締固め状態は、数値で可視化され、PC画面やモニターで確認、監視でき、実施DBに保存する。

(3) 覆工パターン施工

覆工コンクリート施工は、打込み箇所番号順に左右切り替えながら施工フローに従って行う(図-9, 10)。(1)の打込みは、PCシステムから打込み箇所番号の打込み開始の確認が求められ、オペレータはPC画面で確認、開始を指示する。これによりコンクリートポンプが稼働し、打込みを開始する。打込み箇所の打込み高をコンクリートセンサが検知した時点でポンプは自動停止、打込み箇所の打込みを終える。その後、(2)型枠パイプレータによる締固めを開始し、15秒間稼働する。この(1)(2)をPC画面で確認しながら打込み箇所最終番号まで繰り返す。コンクリート打止めは、防水シート表面天端に貼り付けた3箇所の圧力温度センサからのコンクリート圧力と移動型枠の沈下が管理目標値を満たし、密充填を判定、覆工施工を終える。覆工コンクリート自動施工システム性能動作を確認後、自動運転に切り替え、システムと施工状況および締固め状態を画面で監視する。

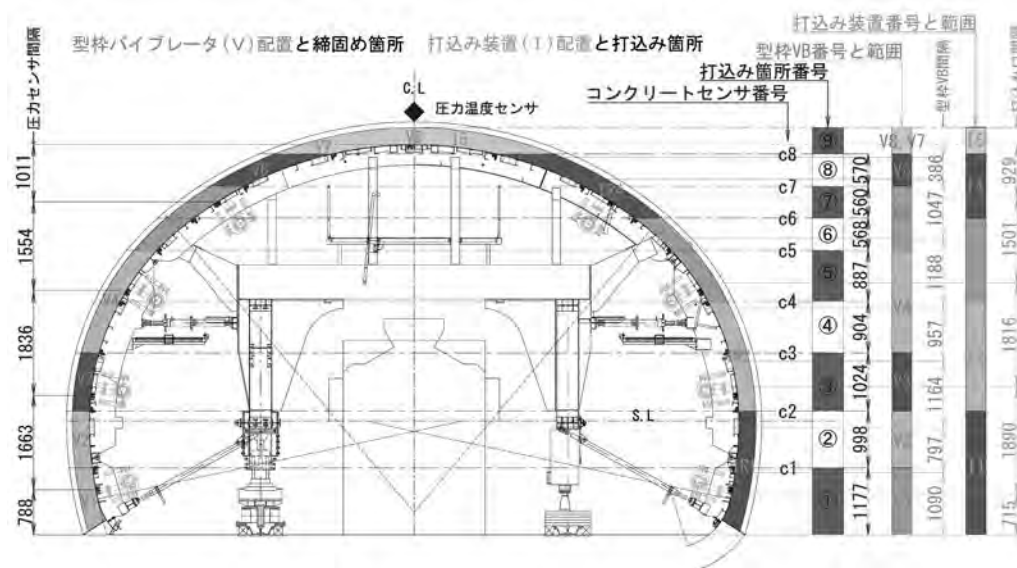


図-9 施工順序と各種センサ配置例 (三遠道路2号 Tn)

↓ (打込み箇所の施工順序はパターン化し、PCシステム計画DBに記憶している)

(1)打込み開始 (打込み箇所番号を画面出力)

- ・打込み口確認(不一致→打込みノズル稼働台車を移動、左右切り替え、自動)
- ・ポンプ圧送開始→画面タッチで始動 or 自動
- ・打込み箇所コンクリートセンサが打込み高に到達→ポンプ圧送停止 (自動)

↓

(2)締固め開始 (締固め箇所番号を画面出力)、確認、画面タッチで始動 or 自動

- ・型枠パイプレータ(VB)締固め開始→画面タッチで起動 or 自動
- ・型枠パイプレータ(VB)が所要時間稼働→型枠パイプレータ(VB)停止 (自動)

↓ (打込み口を左右切り替えながら、(1)(2)を繰り返す)

図-10 打込み箇所の自動施工フロー

表－2 覆工コンクリート自動施工実施状況

トンネル名 (事業者)	川辺第二 Tn (NEXCO 西日本)	二色 Tn (近畿地方整備局)	三遠道路 2 号 Tn (中部地方整備局)	真木 Tn (NEXCO 中日本)
トンネル延長 (m)	557	365	436	1,578
トンネル構造	上半単心円 (R1 = 5.0 m)	上半 3 心円 (内空幅 14.6 m)	上半 3 心円 (内空幅 11.7 m)	上半単心円 (R1 = 5.1 m)
コンクリート種類	中流動 (Ad)	現場流動 (Adf)	現場流動 (Adf)	中流動 (Ad)
覆工施工時期	掘削先行	掘削先行	掘削先行	同時併進
覆工 BL 長	12.5 m	10.5 m	10.5 m	10.5 m
1 施工単位 (打込み高)	0.5 m	0.5 m	1.0 m	1.0 m
覆工施工勾配	下り (−1.644%)	上り (0.59%)	上り (2.0%)	下り (−2.4%)
打込み口	妻側 (9 箇所)	妻側 (9 箇所)	妻側 (9 箇所)	妻側 (9 箇所)
型枠パイププレート数	60	60	60	60
コンクリートセンサ	30	34	16	16 × 2 列
コンクリート圧力計	13	11	17	9
加速度計	19	19	15	19

(4) 実施状況

マニピュレータ方式配管切替え装置と吹上げ式打込み装置で中流動コンクリートを打込み、型枠パイププレートで自動締固めを行う中流動覆工コンクリート自動施工は、西日本高速道路(株)、清水建設(株)、岐阜工業(株)の共同で実用化したものである。これまでに道路トンネル 4 現場で施工を終えている(表－2)。このシステムは簡易であるので、機械や装置、システムにトラブルはなく、PC システムは有効に機能し、所要性能を満たすことを確認している。今後は、コンクリートのばらつきや性状変化に対応する学習型覆工自動施工システムとして改良、発展させる予定である。

4. おわりに

ICT を活用し、人力施工を機械施工に置き換えることで施工品質が安定し、山岳トンネルの作業のあり方を変えることができた。今後は、実用化した施工技術を現場に展開し、山岳トンネルの共通技術として発展していくことを目指す。

J C M A

《参考文献》

- 1) 大矢剛大・井手康夫・矢葺健太郎：2 ブームロックボルト打設専用機による切羽直下作業機械化への試み，土木学会第 77 回年次学術講演会，VI-745，2022.
- 2) トンネル施工管理要領(本工編)，(株)高速道路総合技術研究所，p.41，2017 年 7 月.
- 3) 笹嶋和彦・水上裕介・谷村浩輔・楠本太：扁平大断面トンネル覆工を現場流動コンクリートを用いて自動施工，トンネルと地下，Vol.52，No.2，pp.17-28，2021.
- 4) 信永博文・山中慎也・木村厚之：中流動覆工コンクリートを ICT 活用で自動施工，トンネルと地下，Vol.51，No.3，pp.53-63，2020.
- 5) 阿川晃章・戸川一彦・八木田茂生・田中頼之：ICT による覆工コンクリート自動施工とデジタル出来形測量システムの適用，トンネルと地下，Vol.53，No.12，pp.13-23，2022.

【筆者紹介】

井手 康夫 (いで やすお)
清水建設(株)
土木技術本部 イノベーション推進部
部長



油圧ショベルの車体センサデータの新しい活用方法

掘削土の土質判別

森 澤 直 樹・今 西 将 也・遠 藤 大 輔

ICT 施工に対応するため、建機の状態認識を目的とした車体センサが建設機械に多く取り付けられるようになり、取得可能なデータが増えた。そのセンサデータを従来の車体制御や施工履歴の記録として使用するだけでなく、現場で稼働している建設機械だからこそ実現できる新たな活用方法を見出せば、生産性向上に繋がる新たな付加価値を生む可能性がある。今回、ICT 油圧ショベルを用いて、掘削対象土質（材料・硬度）を変えて掘削実験を行った。車体センサから得られた掘削中のデータと、掘削箇所です事前に計測した簡易 N 値（硬度）とは良い相関が得られたので、その結果を報告する。

キーワード：油圧ショベル、ICT 施工、車体センサデータの活用、生産性向上、土質判別

1. はじめに

近年の少子高齢化に伴う労働人口の減少、若手の担い手不足により施工現場は深刻な労働力不足に陥っている¹⁾。更にこの業界でも、時間外労働の上限規制を設ける働き方改革²⁾が始まった（建設業の 2024 年問題）。これまでの長時間の時間外労働等により補っていた部分も今後厳しく規制されるため、工期の長期化なども懸念される。

そのため、施工現場における“生産性向上”は急務であり、これに向けて ICT の全面的な利用により生産性向上を行う取り組みである i-Construction³⁾等の活動が国をあげて行われている。その生産性向上の一つの方法として、建設機械の自動化・自律化が考えられる。

その代表事例として、ブルドーザや油圧ショベルでの ICT 施工が挙げられる。事前の丁張りなどの補助作業を不要とし、主に成形や仕上げの工程では建機の動作を自動化することによってオペレータの技能に頼らず、同じ精度での施工が可能になる。これによって施工効率が大幅に向上されている。しかし、適用できる工程にはまだ限りがあり、油圧ショベルの用途でも利用割合の大きい掘削工程の自動化は進んでいない。

その根本原因の一つは、掘削対象地盤の多様な土質に適合させることを要求される複雑な運転操作にあると考えられる。掘削前の表面の外観だけでは土場内部の状況はわからないため、オペレータは掘削しながらその土質に合った適切な操作を臨機応変に行ってい

る。この掘削中にオペレータが行っている臨機応変な操作を実現できなければ自動掘削の効率は低下してしまう。オペレータの所作の再現を目指すならば、まず機械自身が掘削中の土質を把握し、制御に反映する必要があると考えられる。

従来、掘削工程では、オペレータが自らの運転技能と感覚を磨き、効率を向上させてきた。刻々と変化する土場の状況に対し、掘削を行いながら操作に対する機械の反応を人間の感覚で捉え、経験上最適と思われる操作を瞬時に判断して行ってきた。一方、機械側はオペレータの運転のし易さという観点で操作性や掘削力等の改善で進化を続けてきたが、今後は機械オペレータに依存しない機械自身の進化という観点も注目され、将来的に人間が操作を行うよりも高効率での自動化も可能になるのではないかと考える。

このオペレータのプロセスを真似て、人間の感覚を機械側で正確に捉え、その時にオペレータが行う操作を機械で実現させることができれば、様々な外界の状況変化に機械自身で対応が可能になるであろう。

このような視点で研究に着手するにあたり、社内のベテランオペレータ数名から掘削中の車体挙動の着目点と感覚による土質の把握方法をヒアリングした。表 1 に、その中で多く挙げた項目を示す。掘削対象地盤の影響を受けて、車体に現れる現象から掘削対象土質を人間の感覚を用いて認識していることが確認できた。つまり、人間の感覚によって土質判別を行っていると考えられる。

このオペレータが感じている土質判別に関する感覚

表一 1 オペレータの掘削中の着眼点の例

車体に現れる現象	オペレータによる現象の把握方法	
	使用する感覚	捉え方
・作業機の動きや速度変化	・視覚	(レバー入力に対して) ・遅い⇒硬い、早い⇒柔らかい
・刃先の貫入量や掘削深さ	・視覚	(レバー入力に対して) ・少ない⇒硬い、多い⇒柔らかい
・1回の掘削土量(満杯率や荷姿)	・視覚	・低い⇒硬い、高い⇒柔らかい
・エンジンや油圧の負荷変動音	・聴覚	・音の大きさや音色等で判断
・車体振動	・体感	・大きい⇒硬い、小さい⇒柔らかい

を車体センサデータで代替できるようにすることが、自動掘削の高度化のための第一歩であると筆者らは考えた。

一方、現状の土質判別は、施工前に行われる地質調査時と、掘削後の発生土を利用する時に行われている。この研究における、自動掘削の高度化に加えたもう一つの狙いは、掘削中に土質判別が行えると、施工計画から完工に至るまで一貫した土質の管理が可能になり、機械の生産性向上に留まらず、施工プロセス全体の生産性向上にも寄与すると期待できることである。

ICT 施工に対応するため様々なセンサが建設機械に取り付けられたことに加え、昨今の ICT 技術を用いれば、オペレータの感覚はセンサデータにより代替され、今までオペレータが感覚によって実施していた土質判別は、建設機械側で定量的に可能になるという仮説を立て、これを実機で検証することとした。

2. 仮説の検証方法

表一 1 に示す通りオペレータは視覚から多くの情報を把握していることから、第一にカメラ画像を用いる手法が考えられた。しかし、建設機械の稼働環境を考慮した場合、様々な外乱の影響を受けることが懸念されるため、ロバスト性の確保が難しい外界センサを用いずに内界センサのみでの実現を目指した(表一 2)。

次に、土質については、硬度に着目して検証を実施する。掘削地盤の硬度は掘削効率に大きな影響を与える。そのため、オペレータも自ずと硬度の把握を優先して行っていたと考える。

硬度の計測は、実験条件の水準間で同じ指標で評価できることを前提に、簡便かつ比較的硬い土壌まで計測が可能な計測器を検討した結果、簡易 N 値計を使用することにした。材料は、20 t クラスの油圧ショベルにおいて掘削頻度が高い、“砂質土”と“粘性土”を対象とした。硬度による違いに着目するために、実験条件である土質を均質に揃え、N 値違いの実験条件を準備することにした。また、オペレータは同一人物とし、通常行っている掘削作業を模擬して計測を行いながら、オペレータの感覚と相関が強いと思われるセンサデータとその時の土質の簡易 N 値との対応結果を整理することにした。

3. 実機での掘削実験の概要

(1) 使用車両

車両はコマツ製 20 t クラスの ICT 油圧ショベル PC200i-11 を用いて、標準バケット 0.8 m³ (新 JIS) にて掘削実験を行った。

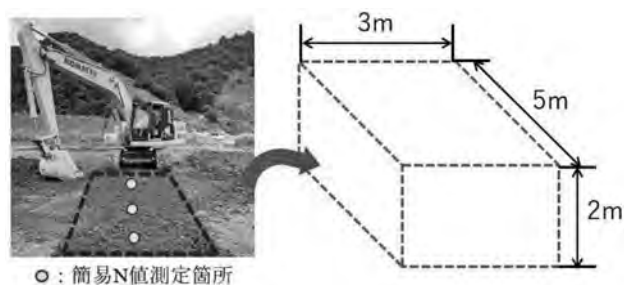
(2) 掘削対象土質の作成および硬度測定方法

コマツ所有の屋外試験場にある砂質土(砂)、砂質土(細粒分混じり)、および粘性土の 3 種の材料を用いて実験を行った。車体左右方向に約 3 m、前後方向に約 5 m、深さ約 2 m の掘削枠を作成し、硬さ水準作成時は敷き均し厚さ 20 ~ 30 cm 程度で埋め戻し、バケット転圧を行いながら、深さ方向についても均質になるよう作成した。

バケット転圧で作成できる硬さより硬い条件については、長期間触っていない自然に締め固まった場所を

表一 2 着眼点と車体内界センサの関係

着眼点	代用できそうな車体センサ	定量値
作業機の数・動き	・IMU	・刃先速度/各シリンダ速度 ・刃先座標の移動量
バケットツースの貫入状況	・ポテンショセンサ ・シリンダストロークセンサ	
掘削の深さ	・シリンダ速度センサ	
一回の掘削土量	・バイロードメータ	・掘削重量



図一 作成した水準の例と掘削桝の模式図

利用した。図一1に作成した水準の一例と、実験用に準備した掘削桝の模式図を示す。

(株)西日本試験機製の土研式貫入試験機を用いて、掘削箇所の表面の簡易N値を長手方向に3か所測定した。その平均値を、その水準での硬さの指標とした。

(3) 掘削姿勢・方法およびオペレータ

データのばらつきを防ぐ目的で、アーム最大伸ばし、バケット角度 θ を固定した姿勢(図一2)を掘削開始姿勢として、各土質条件における掘削実験を行った。なお、バケットの角度 θ は事前に数名のテストオペレータの掘削開始姿勢を確認した結果、大きな差異が無かったため、その角度($0.105[\text{rad}]$)で固定した。

車両の運転操作はコマツの試験部門に所属している2名のテストオペレータ(社内での経験歴9年_オペA、経験歴10年_オペB)が行った。掘削開始姿勢から掘削を開始し、図一3に示すような掘削終了後の持ち上げ操作後に静止するまでを1回の掘削データとして計測した。なお、オペレータには掘削方法の特段の指示は与えず、任意に掘削を行ってもらった。



図一 掘削開始姿勢



図一 掘削終了姿勢の一例



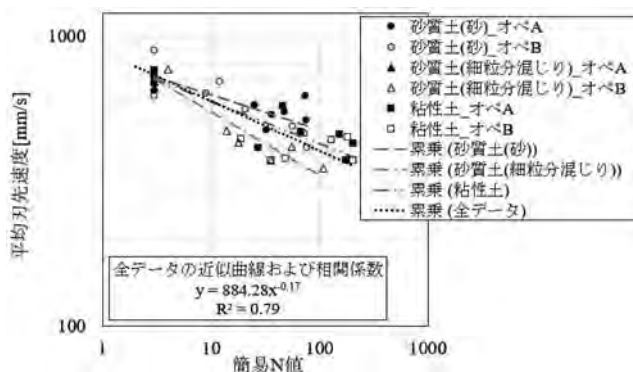
図一 計測方法および計測内容

(4) 車体センサ等のデータ計測環境

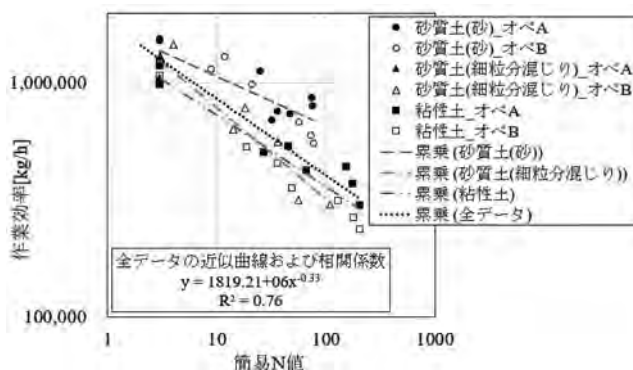
車両センサのデータは、車体のコントローラに接続し、CAN経由でノートパソコンにて取得した。図一4に今回計測した主な車体センサの項目およびそのサンプリングレートを示す。

4. 実機での掘削実験結果

掘削中のオペレータの着目点(表一1)に基づき、掘削中のバケット刃先の速度、および1回の掘削土量として、作業終了後の掘削重量を用いて実験結果を整理した。図一5に簡易N値と掘削中の平均刃先速度との関係を、図一6に簡易N値と1回の掘削重量お



図一 簡易N値と掘削中の平均刃先速度の関係



図一 簡易N値と作業効率の関係

よびその掘削時間から算出した1時間当たりの掘削重量（作業効率）との関係を、材料とオペレータ別にプロットした。

掘削中の刃先の平均速度は、刃先の位置座標を用いて、直前の時刻における刃先位置と現在時刻における刃先位置の差分を、サンプリング周期で除すことで速度として算出した。また、掘削終了後に静止した時の車体のペイロードメータの重量を掘削重量とし、掘削開始の姿勢からアームレバーを掘削側から中立側へ戻すまでの時間を1回の掘削時間と定義した。

その掘削時間と掘削重量から1時間当たりの掘削重量、つまり作業効率に換算した。

掘削中の刃先の平均速度（図—5）および、掘削重量から求めた作業効率（図—6）は、事前に計測した掘削土壌の簡易N値の値と良い相関が見られた。

（1）簡易N値と掘削中の平均刃先速度の関係の考察

掘削中の刃先速度は、N値が高くなると低下する傾向が見られた。これは、事前にヒアリング調査したオペレータの着目点とも一致した。

上記の傾向をさらに深掘するため、掘削中の刃先軌跡に着目した考察を行う。その一例として、図—7に粘性土における簡易N値3と簡易N値49での掘削時の刃先の軌跡の違いを示す。最大掘削深さは、簡易N値3の時で952mm、簡易N値49の時に360mmと約2.6倍の差が見られた。簡易N値3の軌跡は、凹凸が少なくスムーズに掘り進められているが、簡易N値49の軌跡には凹凸が多く見られた。

N値が3程度の柔らかい土壌では、貫入が容易なため、車体の掘削能力に対して余力を持ってバケットを満杯にすることが可能である。深く貫入させ過ぎて荷を抱え過ぎることによる負荷の増大に注意をしておけば、細かいレバー操作による技術介入が無くとも掘削速度は低下しにくい。一方、土壌が硬くなると、貫入時の抵抗が大きくなるため、掘削深さは浅くなる。土から受ける反力も大きいため作業機が止まり易く、柔らかい土壌と同じ操作では掘ることは出来ない。オペレータは掘削速度を犠牲にしても、1回の掘削動作で

少しでも多くの土量を獲得しようと、掘削中の刃先角度や掘削深さを、より細かいレバー操作によって調整し、負荷を適切に調整しながら時間をかけて掘削を行った。その結果、掘削中の刃先速度は低下した。

砂質土（砂）の掘削速度は、他の材料よりも早い傾向が見られた。これは、砂の成分が多くなると、粘性性が低下し、バケットへの掘削抵抗が減ったためであると推測する。

（2）簡易N値と作業効率の関係の考察

簡易N値が大きくなると、掘削中の速度も低下するため、掘削時間は長くなる。

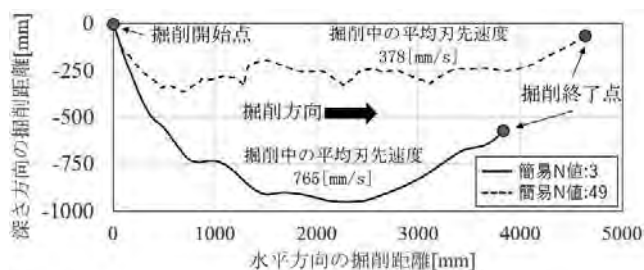
図—8に掘削終了後にバケットが獲得した土の外観を側面から撮影した写真の一例を示す。N値の違いによって、バケットの満杯率にも差異が見られた。そのため、作業効率もN値の増大に伴い低下した。

今回、ペイロードメータの掘削重量を使用して1回毎の掘削土量の比較を行った。しかし、密度が大きく異なる材料の場合、重量だけでは効率が正しく評価できない可能性も考えられる。そのため、掘削重量に加え、掘削体積も同時に計測して比較する等、評価方法の検討は今後の課題である。また、オペレータの技能差でも結果に大きな影響を与える可能性もあるため、技能差による比較・検証も今後行う予定である。

5. オペレータの操作の影響を除いた掘削実験

前章までの実験では、掘削開始姿勢のみを同一とし、掘削操作はオペレータの任意としたため、得られたデータにはオペレータ固有の操作によるばらつきが反映されてしまうと考えられる。

そこで、本章ではオペレータによる操作のばらつきを極力抑える実験方法（以下、専用操作）を検討し、その方法で得た計測結果と4章で得た結果とを比較することで結果の妥当性を確認した。また、オペレータの操作に依存しない単純化した方法での判別を可能にすることは、自動化へ向けて機械自身での判別の確実



図—7 N値別の刃先軌跡の違い



図—8 掘削終了後のバケット荷姿（粘性土）

性を上げるための一つの方法としてあり得ると考えた。

(1) 操作方法の検討

図—9 に簡易 N 値 50 程度の土壌における、前章までの実験での 2 人のテストオペレータの各操作レバーの入力状況の時系列データを示す。アーム・バケットのプラス域は掘削側を表し、ブームのプラス域は上げ側を表す。

まず、アームレバーについては、掘削開始と同時に中立状態から掘削側にレバーを入力した状態を掘削中も保持しており、オペレータの違いによる操作の差異は掘削工程全体で小さかった。一方、ブームやバケットの操作は、掘削開始時に掘削側のレバー入力のタイミングは同じであるが、入力量やそれ以降の操作にはオペレータ間の差異が大きかった。

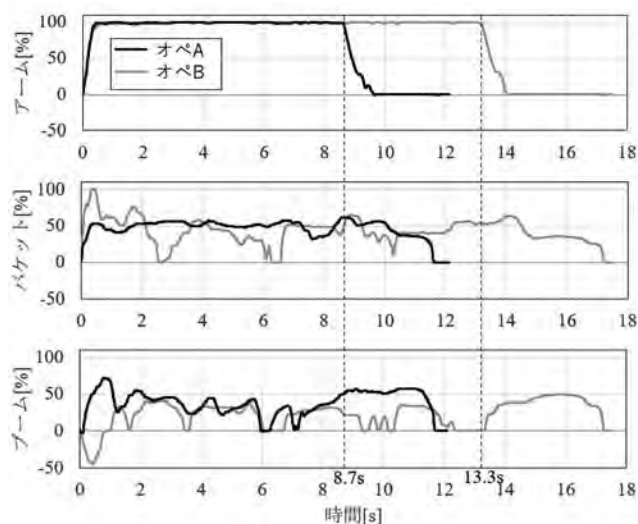
掘削開始時にオペレータはバケットの刃先を貫入させる動作を行い、その入力（操作）に対しての刃先の貫入量や作業機速度などの機械側の反応を見て、瞬時に掘削対象土壌のおおよその状態把握を行っている。それ以降、レバー入力を微調整しながら、その推定した土質に合わせた動きで掘り進めていく。そのため、掘削途中～終了までの操作は、技能レベルに応じた操作介入が多くなるため、ばらつきが生じやすい。従って、掘削開始時の刃先貫入の操作に着目して、オペレータのレバー入力操作をアーム掘削 100% の急操作の入力のみに限定することで、操作のばらつきを抑えられると考えた。

前章までの結果（図—7 参照）から、N 値が変わると、掘削開始時の貫入量に違いが出ることは明らかであった。そのため、アーム単独で動かした場合、バケット刃先は円弧軌道を辿ることを考慮し、バケットの刃の向きをその円弧の接線方法に一致させれば、抵抗が減少し、より貫入し易い姿勢となると考え、アーム最大伸ばし、バケット底面と、ブームトップピンおよびアームトップピンとを結ぶ直線との成す角度が 0.5π [rad] になる姿勢を掘削開始姿勢（図—10）とした。

オペレータはこの姿勢からアーム掘削急操作のみを行い、油圧リリーフに到達した後に刃先が止まるまでレバーを保持する操作にて計測を行った。その他の実験方法・条件は 3 章と同一である。

(2) 専用操作での掘削実験結果

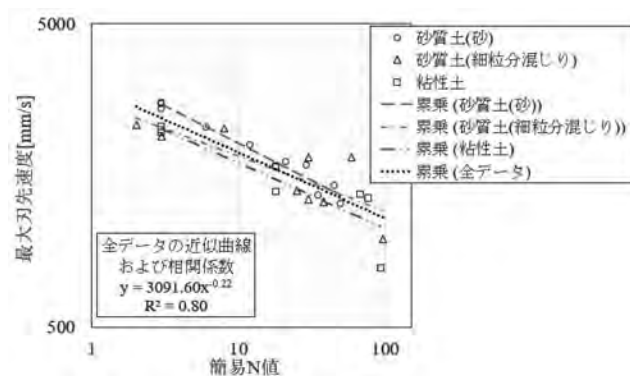
図—11 に簡易 N 値と刃先が止まるまでの刃先の最大速度の関係を、図—12 に簡易 N 値と刃先が止まるまでのバケットの掘削体積との関係を材料別に示す。



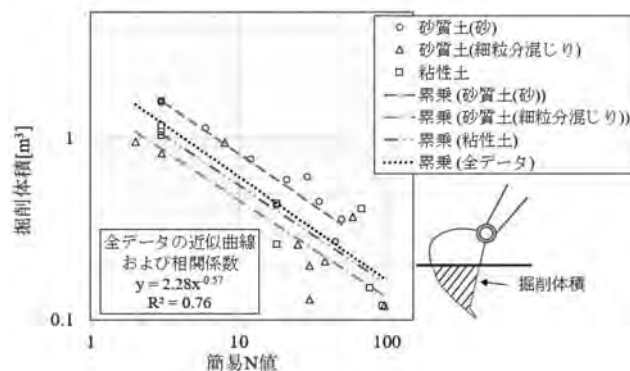
図—9 掘削中のレバー入力比較 (N 値 50 程度)



図—10 専用操作の掘削開始姿勢



図—11 簡易 N 値と最大速度の関係



図—12 簡易 N 値と掘削体積の関係



図—13 刃先停止時の貫入状況の外観図

4章の図—5では、貫入中の平均刃先速度で表しているが、図—11では最大速度で表している。これは、後述する図—14に示すように入力の際の作業機の応答がその土壌の状況をよく表すと考えたためである。また、4章の図—6では作業効率で表しているが、図—12では掘削体積で表している。これは、ペイロードメータによる掘削重量は、持ち上げないと正しく測定ができないためである。そこで図—12では、刃先停止時の貫入深さとバケット形状から体積を算出し、その体積を掘削体積として用いた（図—12中の掘削体積の概略図参照）。ここで、作業機が止まるまでの時間を掘削時間と見なして効率に換算する方法も検討したが、N値が低いと掘削体積は多くなる一方、作業機が止まるまでの時間も長くなる傾向があり、N値に対する差異が小さくなるため、見た目にもわかりやすい掘削体積で表すこととした。図—13に、その例として刃先停止時の簡易N値の違いによるバケットの貫入状況の外観を側面から撮影した写真を示す。

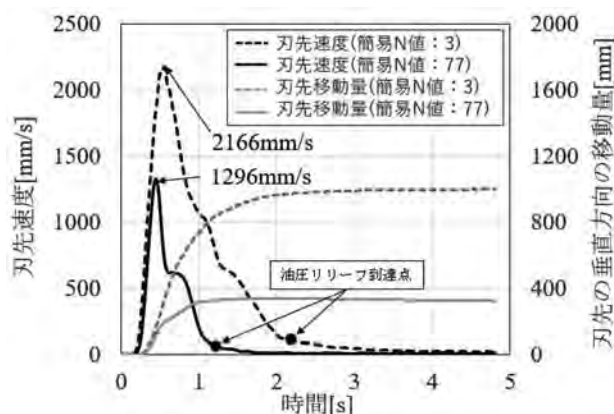
図—11、12と4章の図—5、6を比較したところ、本章の専用操作においても、4章のオペレータの任意操作での結果と同様の簡易N値との相関があることが判明した。

(3) 専用操作での掘削実験結果の考察

図—14に簡易N値が3と77の時の刃先速度の時系列データおよび第2軸に刃先の移動量を示す。簡易N値の値に関わらず、刃先速度は、開始後に急速に上昇しピークに達した。

簡易N値が低いと、貫入後にバケットに入った土が抵抗になることで刃先の速度は徐々に低下し、最終的にその負荷がアームの掘削能力を超過し、停止してしまうが、貫入量は大きい。一方、簡易N値が高くなると掘削対象土壌に刃先を十分に貫入させることができないまま、刃先は停止した。

本専用操作で得られた刃先の最大速度や掘削体積は、掘削対象土の硬度差による貫入のし易さの差異をよく表している。これは、オペレータによる任意操作であっても掘削開始時の貫入の挙動に着目すれば、同様に土質判別が実現出来る可能性を示唆している。掘



図—14 貫入操作時の刃先速度の変化

削工程を自動化するという観点においては、掘削工程の早い段階で土質判別を行えるほうが、その後の掘削工程の制御に反映させることが容易であるため、有効と考えられる。また今後、自動化が進展した時に、油圧ショベルの進入前に、本専用操作を進入の可否を判別するために使用する等、用途に応じた使い分けをすることで判別精度を向上させるために有効となる可能性がある。

6. 結論

オペレータの感覚をセンサデータで置き換え、今までオペレータが感覚によって実施していた土質判別が建設機械側で定量的に出来ないか、3種類の材料および土壌硬さを変えた条件で、掘削実験を行った。

その結果、掘削土質の硬さの指標の一つである簡易N値は、車体センサから得られる掘削中の平均刃先速度および掘削重量から求めた作業効率と相関が見られた。このことから、車体の内界センサデータのみで土質判別は出来る可能性が示された。

また、本稿ではオペレータの操作のばらつきを抑える操作方法を検討し、その方法で得られた結果も、オペレータによる任意操作と同じ傾向にあることが確認出来た。これは、オペレータによる操作のばらつきを含んだ掘削中のデータでも土質判別が可能であることと共に、オペレータの操作に依存せず、機械自身での判別が出来る可能性も示唆した。

今回は硬度に特化して“土質判別”の一部の検証を行ったが、他にも掘削中のオペレータの感覚は多数ある（表—1参照）。それらを今回同様にセンサデータで代替すると、硬度以外のパラメーターも判別が可能になるであろう。引き続き検討・検証を進めていきたい。

《参考文献》

- 1) 国土交通省（令和5年4月18日）：最近の建設業を巡る状況について【報告】，<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001602250.pdf>
- 2) 厚生労働省 HP：時間外労働の上限規制の適用猶予事業・業務，https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/roudoukijun/gyosyu/topics/01.html
- 3) 国土交通省（平成28年4月）：i-Construction ～建設現場の生産性革命～，<http://www.mlit.go.jp/common/001127288.pdf>



[筆者紹介]

森澤 直樹（もりさわ なおき）
コマツ
開発本部 試験センタ 大阪グループ
技師



今西 将也（いまにし まさや）
コマツ
開発本部 試験センタ 大阪グループ
技師



遠藤 大輔（えんどう だいすけ）
（国研）土木研究所
技術推進本部 先端技術チーム
主任研究員



舗装工事におけるブルーフローリング試験のデジタル化とその効果

立 花 洋 平

舗装工事における品質管理試験の一つに、舗装構造の下層部である路床や路盤で行うブルーフローリング試験がある。この試験にはアナログな方法で行われることに起因した作業効率の悪さや定性的判定など、課題がいくつかあった。この課題解決のため、当該試験を 3D カメラや GNSS、クラウドなどを活用しデジタル化を図ったところ、省人・省力化や数値による定量的判定および遠隔臨場と同等の運用が可能となった。本稿ではそのデジタル化の詳細について報告する。

キーワード：舗装工事，品質管理，ブルーフローリング，ICT，デジタル化，遠隔臨場

1. はじめに

いくつかの層から形成される舗装体は、各層にそれぞれ役割があり、その役割が十分に機能するか確認するため、各層毎に定められた品質管理試験を行う必要がある。舗装構造下層部の路床や路盤は、土や碎石などを敷き均し、締め固めた層で、表層で受けた交通荷重を分散する役割を持ち、道路のライフサイクルに関わる支持基盤として、その品質は重要である。

路床・路盤の品質管理試験には、仕上がった路床・路盤上にローラなどを走行させ、その走行荷重により路床・路盤に変形が発生しないことを目視で確認するブルーフローリング試験がある。この試験には、人が目視で行うがゆえの課題がいくつかあり、それら課題の解決に向けデジタル化を図った。本稿はその詳細¹⁾について報告する。

2. ブルーフローリング試験

(1) 試験方法

ブルーフローリング試験は、仕上がった路床・路盤上に荷重車となるダンプトラックやローラを走行させ、その走行荷重により路床・路盤（以下、地盤）に変形が発生しないかを試験員が目視で観察し良否を判定する（写真—1）。低速で走行する荷重車を試験員が歩いて追尾し、変形が発生した箇所（以下、不良箇所）には、即座にスプレーなどで場所と変形した範囲を明示する。不良箇所の測点や位置は野帳などに記録し、その記録を基に事務所にて試験状況の写真を添付



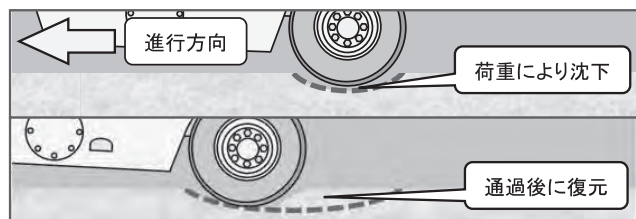
写真—1 ブルーフローリング試験状況（従来方法）

し、試験結果報告書をまとめる。これがブルーフローリング試験の流れである。不良箇所は、必要に応じペンケルマンビームによるたわみ測定を実施した後、固化材による地盤改良や材料を入れ替えるなどの処理を施し、最終的に施工範囲全域で変形が発生しないことを当該試験の実施により確認しなければならない。

(2) 地盤の変形と目視観察

ブルーフローリング試験で発生する地盤の変形は、大きく二種類に分けられる。一つは、荷重車のタイヤが不良箇所付近にあるときのみ地盤が変形し、荷重車が通過した後は、元に近い状態まで戻る弾性変形（図—1）で、もう一つは、荷重車の通過に伴い地盤が沈下し、タイヤの通過跡が凹凸として残る塑性変形（写真—2）である。

弾性変形は、荷重車が不良箇所を通過するわずかな時間にのみ変形する地盤を、荷重車の車体幅において観察しなければならず、変形量が小さい場合は、塑性変形と比較すると発見が難しく、試験員の技量によっ



図一 弾性変形のイメージ図



写真一 塑性変形の例

ては変形の見逃しや判定に個人差が生じる可能性がある。こういった見逃しや個人差を防止するため、当該試験は施主側の検査官を含めた複数人で行う場合が多い。施主側の検査官は、現地での立会検査を同時に行うが、遠隔臨場による立会検査の省力化が推進される現代において、当該試験は除外される場合が多い。webカメラ等を活用し映像で変形を確認しようとした例はあるが、映像で変形を確認することは難しく、『建設現場における遠隔臨場に関する実施要領(案)』において当該試験は、特殊な機器等又は現場臨場が必要な分類に属している。

(3) プルーフローリング試験の課題

前述した内容から、当該試験における課題を整理すると以下のとおりとなる。

- ①複数人かつ低速で行われるため作業効率が悪く、また検査官が現場まで移動する時間と労力が掛かっている
- ②施工範囲全域を歩行し目視観察するため、身体的な負担を伴う
- ③不良箇所の見逃しや判定に個人差が生ずる可能性がある
- ④遠隔臨場の適用が難しく、時代背景に即していない試験方法である

これらの課題は、目視や手書き記録など、アナログな方法で実施しているためと考え、それらを現代のセンシング技術やICTを活用し代替することで課題を解決できると判断し、デジタル化を図った。

3. プルーフローリング試験のデジタル化

(1) 仕様検討

当該試験をデジタル化し、システムとして運用するための仕様を検討し、下記のとおりとした。

- ①計測デバイスを活用し、人の目に替わり地盤の変形を計測する
- ②不良箇所は、取得データの後処理を必要とせず、リアルタイムに地盤の良否を自動で判定する
- ③荷重車の移動情報（走行軌跡）を地盤の良否判定とリンクさせて記録し、クラウドを介しリアルタイムに共有する
- ④専用の荷重車を必要とせず、汎用車両に後付けする
- ⑤低コストで運用できる

検討事項の第一は、省人・省力化を図れるシステムであることとし、目視の削減や試験員の負担を軽減するため、距離センサー等の計測デバイスを利用し、荷重車の車体幅で変形を計測でき、自動で地盤の良否判定ができることとした。計測デバイスを利用することで判定の個人差も解消され、変形の程度を数値化し定量的に計測することも可能になる。また、従来方法の利点でもあるリアルタイム判定は当システムでもできるものとし、後処理の手間が増えることを避けた。

第二は記録方法で、従来方法の手書き記録や写真撮影をなくし、クラウドを活用し面的にデータを保存することで、トレーサビリティやエビデンスを容易に確保できることとした。信頼性の高いデータが取得可能でかつ、インターネット上で試験結果の情報共有が可能であれば、遠隔臨場と同等の運用ができると考えた。

第三は普及性を考え、汎用車両への後付けや低コストで運用ができるシステムとした。このため計測デバイスを含めた各機材は、可能な限り安価なものを使用するが、高い精度で計測できるものを探求した。

これらの仕様を基に、必要となるデバイスを選定し、要素確認試験を実施した。

(2) 人の目に替わる計測デバイス

システムの要となる変形を計測するデバイスは、LiDARやAIカメラなど、いくつかの候補を選定し検討したが、撮影した対象物までの距離を計測することができる3Dカメラを活用することとした。3Dカメラには、その構造や計測方法でいくつかのタイプに分けられるが、太陽光の影響を受け難く屋外作業が可能で、比較的安価だが高い計測性能を持つアクティブステレオ方式の3Dカメラ（写真一3）を選定した。

アクティブステレオ方式とは、複眼かつ対象物へ照



写真-3 選定した3Dカメラ

射したパターン光の歪み等で距離を計測する方式のカメラである。この3Dカメラを、当該試験で荷重車として主に使用される12t級タイヤローラの車幅で変形の計測ができるように、取り付け位置や治具を検討し、車体両側面と中央部の三箇所に、地盤から45cmの高さに設置することとした。

(3) その他のデバイス

荷重車の位置情報は、cm級の精度を持つGNSSモジュールで取得し、荷重車のキャノピ上部にアンテナを設置する。インターネット通信は、SIMカードを装着できるドングルを用い、クラウドへのデータアップロードの他に、RTK-GNSSで使用する電子基準点情報の取得にも使用する。3Dカメラを含めたこれらのデバイスは、制御ボックス内の小型PCに接続され、この小型PCにて情報の集約、解析、保存、通信が制御される。システム設定はモニタで確認でき、コントローラにて任意に設定を調整することができるシステムとした。専用車両を必要としないよう、各機材の取付けはマグネットを使用した。機材設置状況を写真-4に示す。

4. 地盤の変形を検出する方法

(1) 基本原理

3Dカメラは撮影した対象物までの距離を計測できるデバイスであるが、モニタには計測された距離に応じ



写真-4 機材設置状況

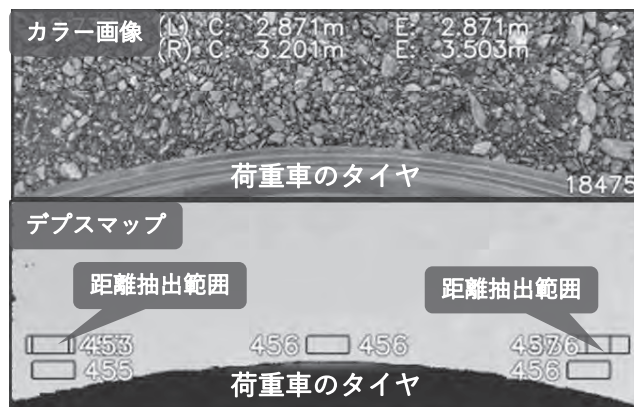


図-2 カラー画像とデプスマップ

色分けされたデプスマップ（図-2）が表示される。

地盤の変形は、デプスマップ内に設定した特定の領域で計測した距離を抽出し、荷重車の通過に伴う距離の変化を解析することで検出する。

距離を抽出する領域は、荷重車のタイヤの前後に設け、前側（以下、Pre）は無負荷状態、後側（以下、Post）は負荷状態での3Dカメラから地盤までの距離を計測する。荷重車の進行に伴い、Pre領域とPost領域が同位置となった際に計測距離を比較（Pre-Post）し、差分がなければ良判定、差分が生じた場合は、その変形量に応じて不良と判定される。詳細を次節に示す。

(2) 弾性変形の検出方法

弾性変形は、荷重車の通過中に発生するたわみに伴う地盤の傾きを計測し、変形を検出する。

図-3と図-4を用いて、変形を検出する演算方法を説明する。

- ①地点PにおいてPre領域の距離差分（A-B）を算出する ⇒ L1 とする
- ②荷重車が移動し、Post領域が地点Pに来たときの距離差分（C-D）を算出する ⇒ L2 とする
- ③L1とL2を比較する ⇒ L1-L2

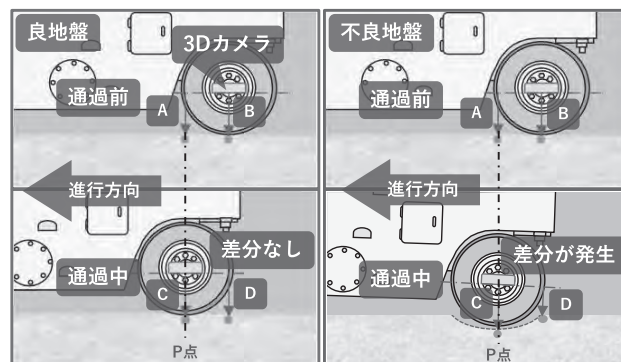
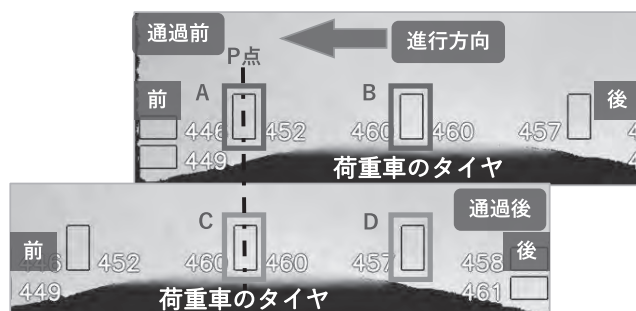


図-3 弾性変形の検出イメージ図



図—4 3D カメラの画像と距離抽出領域①

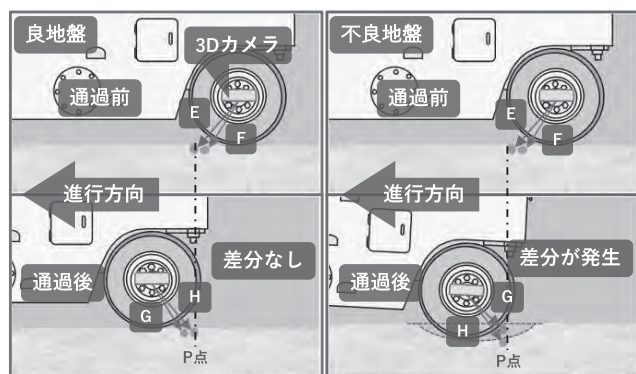
- ④差分がなければ良判定，差分が生じた場合は，その差分を変形量とし，量に応じて不良と判定

(3) 塑性変形の検出方法

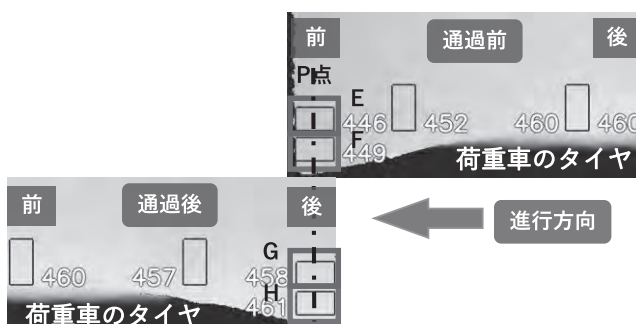
塑性変形は，荷重車の通過後に発生するタイヤの通過領域と非通過領域に生じた段差を計測し，変形を検出する。

図—5 と図—6 を用いて，変形を検出する演算方法を説明する。領域の並び方は違うが基本的な考え方，演算方法は弾性変形と同じある。

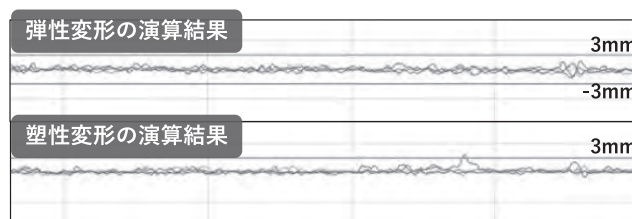
- ①地点 P において Pre 領域の距離差分 (E-F) を算出する ⇒ R1 とする
- ②荷重車が移動し，Post 領域が地点 P に来たときの距離差分 (G-H) を算出する ⇒ R2 とする
- ③ R1 と R2 を比較する ⇒ R1-R2



図—5 塑性変形の検出イメージ図



図—6 3D カメラの画像と距離抽出範囲②



図—7 距離差分のグラフ例

- ④差分がなければ良判定，差分が生じた場合は，その差分を変形量とし，量に応じて不良と判定

これらの演算方法を用い，不良箇所を自動かつリアルタイムに判定するプログラムを小型PCに設定した。

Pre 領域と Post 領域の位置合わせは，GNSS から得られる荷重車の移動情報を基に行われる。さらに，その移動情報を利用して，横軸を荷重車の移動距離，縦軸を変化量としたグラフ（図—7）が生成され，システムに付属するモニタにてリアルタイムで確認することができる。

5. 試験結果確認用の地図アプリ

(1) リモート確認

前述した演算方法による地盤の変形量は，荷重車の位置情報とリンクし，リアルタイムでクラウドへアップロードされる。このデータを基に，変形量に合わせて色分けされたヒートマップ（図—8）が生成され，試験結果確認用に構築した地図アプリ上で確認することができる。

この地図アプリは，個別にインストールする必要がなく，インターネットに接続されたPCやタブレットがあればアクセスできるため，閲覧者を制限することなく遠隔地においても試験結果のヒートマップをリモートで確認することができる。これにより，映像を使わない方法で，当該試験を遠隔臨場と同等の運用が可能となる。試験結果のヒートマップは，実際に荷重



図—8 試験結果のヒートマップ



図—9 エクセル様式への試験結果自動添付機能

車を走行させた軌跡から生成されたものであり、エビデンスとしての信頼性が高く、遠隔臨場が可能となる要因とも言える。

(2) 試験結果帳票の補助機能

前述した地図アプリには、表示している試験結果のヒートマップを、エクセルの試験結果報告書様式に自動添付する機能がある（図—9）。

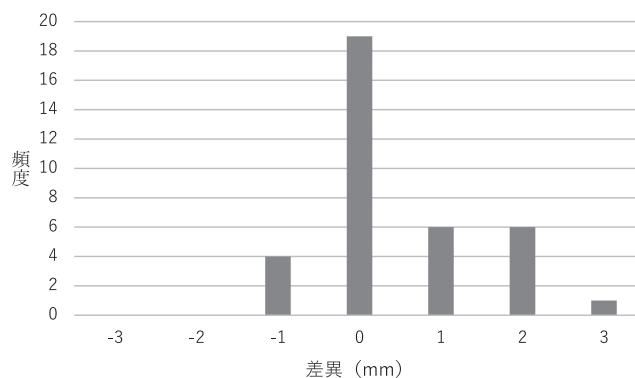
当該試験の従来方法における試験実施記録は、状況写真と立会い検査官の確認サインが入った検査記録および、現場の簡易平面図等に不良箇所の位置もしくは不良箇所がない旨を記載し、試験実施日などの状況をまとめた試験結果報告書を作成している。

本システムにおける試験実施記録であるヒートマップは、GNSS から得られる荷重車の移動情報を基に、国土地理院の地図上に表示され、従来方法である局所で撮影した状況写真と比較するとトレーサビリティを確実に確保できる。このヒートマップは地図アプリの機能により試験結果報告書に自動添付され、現場担当者は、その様式に工事情報を入力すれば、試験結果報告書を作成することができ、事務作業の軽減を図ることが可能である。

6. 計測精度

当システムの計測精度について、レベル測量による変形量計測値と比較した。レベル測量の方法と比較方法については以下のとおりである。

- ①任意に設定したポイントで無負荷状態での地盤高をレベルにて計測
- ②同じポイントに荷重車を移動させ、負荷状態でタイヤ真横の地盤高をレベルにて計測する
- ③『①』と『②』を比較し、差分を算出し変形量とする
- ④システムによる計測を実施し、レベル測量で計測し



図—10 レベル測量と3Dカメラ計測による変形量比較図

た変形量と比較する

両者を比較した差異は図—10 に示すとおりで、およそ8割の頻度で差異 ± 1 mmの範囲に分布しており、レベル測量とほぼ同等程度の精度であることを確認した。

また、システムによる計測人員は、荷重車のオペレータ1名とシステム管理者1名の計2名で実施しており、従来4～6名で実施していた当該試験が、本システムを使用することで7割程度の省人化が図れることを確認した。

7. デジタル化システムの活用による効果

本システムの活用により得られる効果をまとめ、以下に示す。

- ①従来方法と比較し、約7割程度の試験員が削減可能
- ②目視観察の必要がなくなり、歩行による身体的負担を軽減
- ③荷重車の車体幅分で地盤の変形を計測しており、変形を見逃す可能性を軽減
- ④3Dカメラと演算式により、地盤の変形を定量的に計測でき、判定の個人差を解消
- ⑤リモートで試験状況の確認が可能で、立会い検査官が現場まで移動する時間と労力を削減
- ⑥地図アプリの帳票出力機能で事務作業を軽減

以上より、当該試験をデジタル化することで、従来方法にあった課題が解決できることがわかった。

8. おわりに

ブルーフローリング試験をデジタル化することで、従来方法にあった作業効率の悪さや作業に掛かる労力を改善できるとともに、数値的判定により定量化できることがわかった。また、遠隔臨場と同等の運用が可能となることで、昨今のi-Constructionなどにおける

魅力ある現場作りにも貢献できると考える。

舗装工事における品質管理試験の中には、数十年前から変わらず同じ手法で行われているものが依然として存在する。これを課題と捉え、積極的に課題解決を実践し、働き方改革や担い手不足へ向けた取組みに、今後も貢献していきたいと考える。

J C M A

《参考文献》

- 1) 「3Dカメラ活用によるブルーフローリング試験のデジタル化について」, 令和5年度 建設施工と建設機械シンポジウム, 2023年11月

【筆者紹介】

立花 洋平（たちばな ようへい）
㈱NIPPO
工事部 ICT推進グループ
機械技術担当課長



クレーンワイヤー全周囲外観検査システムの開発

宮 川 克 己・松 崎 伸 吾

建設工事においてクレーン揚重作業は必要不可欠で、あらゆる工種で使用されている。

クレーンによる災害の発生を未然に防止する1つとしてクレーンを構成する上で重要なワイヤーロープに着目し、通常は点検者の目視によるワイヤー外観の状態検査を、精度良く全周囲に亘り外観検査をするシステム（以下、本システムという）を開発したので報告する。

キーワード：クレーン、ワイヤーロープ、エリアセンサーカメラ、AI手法、機械学習、アノマリー検出、二値化処理

1. はじめに

厚生労働省発表の令和4年の労働災害発生状況によると、建設業の死亡者数は、令和2年以降増加に転じている¹⁾。その中でもクレーン等による死亡災害は製造業に次いで建設業となっており、災害の現象別ではクレーンの巻上げワイヤーロープ等の切断による吊荷の落下災害はないものの落下による災害が依然として大きな割合を占めている²⁾（図—1）。そこで落下災害のリスク低減の一つとして本システムの開発に取り組んだ。

2. 開発の目的

クレーン等安全規則及び日本工業規格（JIS）並びに（一社）日本クレーン協会などでワイヤーロープの

保守・点検基準が定められており、特に作業開始前の日常点検におけるワイヤーロープの外観目視点検はクレーン使用者が実施すべき必須項目である。この目視点検を自動化させ、ワイヤーロープ全周に亘り精度の良い検査を行うことで始業前点検の一端を担い安全性の向上を図ることを主目的としている。

3. 本システムの特徴

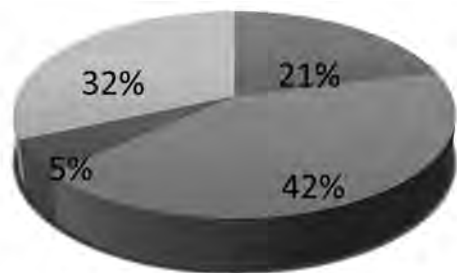
（1）システムの概要

本システムは、ワイヤーロープ全周の表面の傷や素線のほつれ等を連続的に外観検査できる装置である。検知部はエリアセンサーカメラ4台を使用して4方向からワイヤーロープ巻下げ中に全周に亘り検出可能とし、良否判定は、教師データを機械学習させて不良部分のAI判定を行うものである。

一般的に現場で使用するクレーンは、導入時新品のワイヤーロープで提供されるため、ワイヤーロープの検査は良品の教師データを使用した判定を基本としている。

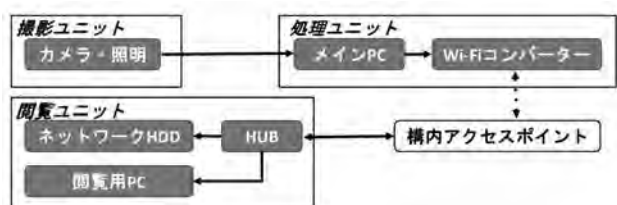
（2）システム構成

本システムの構成は大きく、ワイヤーロープを検査する撮影ユニットと撮影したデータを収録・良否判定を行う処理ユニット及び判定結果の閲覧と本システムの起動遠隔操作を行う閲覧ユニットの3つのユニットで構成している（図—2）。クレーン本体は走行移動するため、処理ユニットと閲覧ユニット間は無線伝送を行う。



- 玉掛ワイヤーロープ等の切断によるもの 21%
- 玉掛ワイヤーロープ等からつり荷が外れたことによるもの 42%
- その他のつり荷の落下 5%
- つり荷の落下以外の落下 32%

図—1 令和4年つり荷の落下による死亡災害



図一 2 システム構成

(a) 撮影ユニット

4 台のエリアセンサーカメラとリング照明を撮影ユニット内に収め、そこにワイヤーロープを通過させ撮影する。ワイヤーロープは巻き上げ限から撮影を開始し、巻き下げ限まで連続的に撮影する。センサーは、BASLER 社製エリアスキャンカメラ acA720-290gc を採用し仕様は、

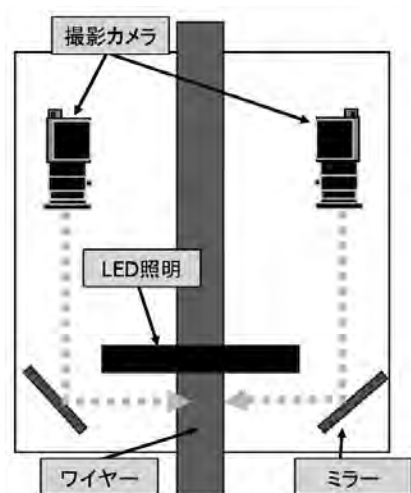
- ①画素数：横 720 Pix 縦 540 Pix
- ②水平／垂直ピクセル：6.9 μm $\times$ 6.9 μm
- ③フレームレート：291 fps
- ④モノクロ／カラー：Color

また、撮影の補助としてマルチポジションリング照明を配し被対象物を陰影無いように照射する。

ユニットは、クレーンの固定シーブにアタッチメントでワイヤーロープを挟むように取付け撮像データは有線で処理ユニットへ伝送する。ユニットの小型化を図るため、カメラはワイヤーロープと平行に設置し、ミラーを用いて直角に照準している。ユニットの重量は 14 kg である（図一 3）。

(b) 処理ユニット

処理ユニットをクラブトロリー式クレーンのトロリー上に設置し、処理ユニット内メイン PC で合否判定処理及び画像をストックする（写真一 1）。閲覧ユニットとの伝送のための Wi-Fi コンバーターを搭載し構内 LAN 経由でデータの無線通信を行う。これは



図一 3 撮影ユニット



写真一 1 処理ユニット

AC100 V のため降圧トランスも装備する。PC の仕様は、組み込み PC を収納し仕様は、

- ① OS：Windows 10
- ②プロセッサ：Intel Core i7-8700
- ③メモリ容量：16 GB
- ④ GPU：RTX3080

(c) 閲覧ユニット

処理ユニットでの良否判定結果を表示させる（写真一 2）。また、検査の開始、終了の遠隔操作はこのユニットで行う。過去の履歴閲覧も処理ユニットへアクセスして表示可能である。PC の仕様は、MINISFORUM 社製ファンレス小型 PCN40-4/64-W10Pro で、

- ① OS：Windows 10
- ②プロセッサ：Intel Celeron N4020
- ③メモリ容量：4 GB

4. 検査・判定処理

(1) 良否判定手法

良否判定を行うにあたり、AI を利用した検出方法を検討した。ディープラーニングの分類機能を用いて良



写真一 2 閲覧ユニット

否判定を行う場合、機械学習モデルを構築するためのアルゴリズムとして「教師あり学習」と「教師なし学習」がある。特徴として「教師あり」は正常、異常画像それぞれの学習が必要となるが、ワイヤーロープの欠陥（異状）画像のサンプルの取得が困難である。一方「教師なし」は正常画像のみの学習で、欠陥サンプルが無くても学習可能である。そこで局所的な欠陥と大局的な欠陥を網羅的に検出可能な比較的少数の良品画像だけで学習することができる「教師なし学習」のアノマリー判定（異常検知 Anomaly Detection）を採用することとした。アノマリー判定は、判定結果として、画像全体に対するスコアが出力され、スコアで良否判定を行う。

また、アノマリー判定を行う際に出力されるスコアの算出基準となるヒートマップ（Heat Map）画像に対し二値化処理を行うことで、AI処理と画像処理の二通りの判定処理により、すり抜けを防ぎ判定精度の向上を図ることとした（図—4）。二値化処理とは、濃淡のある画像を白と黒の2色画像に変換させて、各画素ごとの値が閾値を上回っていれば「白」、下回っていれば「黒」に置き換える処理で、特異点の抽出に優れ、画像内で強い変化があれば検出するものである（図—5）。



図—4 良否判定処理フロー



図—5 画像の二値化

(2) 判定結果

撮影画像は、横 720 Pix、縦 540 Pix のカメラ元画像に対して画像中心の最も明るい部分の横 720 Pix、縦 2 Pix の撮影をする。撮影回数は、クレーンワイヤー巻き下げ定格速度が 13 m/min (0.217 m/秒) に対し、150 μ m レンズを使用しているので 2 Pix で 0.3 mm となるため、723 fps の速度で撮影して連続的にしている。判定結果は、異状箇所の画像表示と異状距離（ワイヤー長）の表示を閲覧ユニット上で行う。異状距離はレーザー距離計による距離計測を行い検査開始位置を 0 点とした距離を表す。基本的には異状判定は無い前提なので判定出力結果はブランク表示となる（図—6）。

(3) リモートアクセス機能

本システム開発メーカーの遠隔保守とユーザー本社側での管理を行うため TeamViewer を用いたリモートアクセス機能を設けた。現場閲覧ユニット経由で、処理ユニットへアクセスし軽微なソフト修正や収録したデータの閲覧が遠隔地より可能とした。

5. 現場試験運用

(1) クレーン仕様

シールド現場の防音ハウスに架設されたクラブトロリー式天井走行クレーンに設置し、およそ 15 ヶ月間の試験運用をした（写真—3）。クレーンの仕様は、

- ①定格荷重：10 t
- ②揚程：地上 5.7 m 地下 19.4 m 合計 25.1 m
- ③巻上速度：13 m/min (0.217 m/s)
- ④ワイヤーロープ：IWRC 6 × Fi (29) B 種 ϕ 20



図—6 判定出力結果画面



写真—3 クラフトロリー式天井走行クレーン

(2) システムの導入設置

各ユニットの設置後ワイヤーロープの画像撮影を事前に行い、撮影された画像を目視で良否判定をし、良品のみ約2,700枚の機械学習を行い学習済みデータとした。次に再度ワイヤーロープを撮影し、検査判定を行い本システムが正しく作動するかの確認を行った。アノマリー検出では、サンプル画像よりスコア閾値を決め判定処理を行ったところ、同じスコアで良品と良品外が混在するような判定に揺らぎが生じた(図—7)。これは、アノマリー検出では異状画像の特異点が微小なためスコアが低くなる傾向となって、判定レンジが小さすぎて値の差異が出づらと考え、アノマリー検出のみでは不十分と判断し、画像処理を追加することとした。取得した画像をヒートマップ画像として二値化処理を行い、スコアにはほとんど変化が見られなくとも画像内で強い変化があれば検出させる二重の良否判定とした(図—8)。



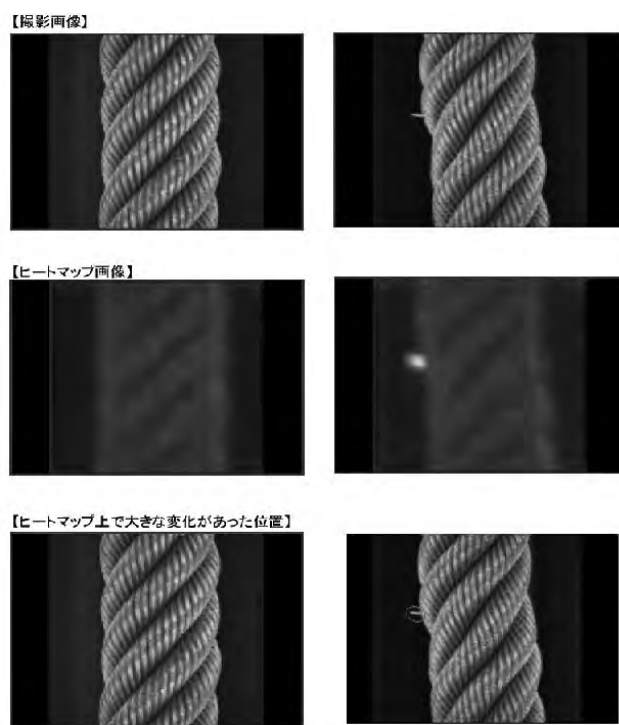
図—7 スコア同値の誤判定

(3) 試験運用

作業所において、毎日始業前にワイヤー巻上げ限最上点から立坑下最下点までのワイヤー点検を本システムで運用した。運用していく初期段階で、数件の不具合の発生と改善点が判明した。

(a) 4台のカメラのうち特定の1台のみ異状判定が頻発(図—9)

1つのカメラだけ、ワイヤー全長に亘り異状判定が表示された。異状判定画像には、ワイヤーが画像フレームの中心から両端部にずれた位置で表示された画像が含まれており、そのため良品外判定となった。原因は、異状を示したカメラの角度を直角に変更する光学用ミラーの表裏が逆になっており、裏面鏡に堆積した粉塵により、ワイヤー領域(明)と背景色(暗)との境界が不明瞭なため境界判定が困難になり、アノマリー判定を行う前の画像処理時のワイヤー部分の切り出し(トリミング)がズレてしまいフレーム中心から逸脱したと思われる(写真—4)。そこでミラーの正規設置と清掃を行うとともに二値化の色調の閾値の調整を



図—8 ヒートマップ画像と二値化処理



図—9 カメラ3のみ異状状態



写真—4 ミラー粉塵付着

行い対処した。

(b) 4台のカメラのうち3台の異状判定が頻発 (図—10)

3台のカメラが、ワイヤー全長に亘り異状判定が表示された。判定画像を吟味すると、画像フレーム端部にワイヤー映像以外の明るい筋が連続して存在しており (図—11)、そのため良品外判定となった。筋状のものの明確な原因は判明しないが、対策として、ワイヤー領域以外のヒートマップ異状を除外する処理をソフト上で改良し、撮影ユニットの清掃・点検をした。

(c) ワイヤー異状判定位置の確認方法

当初本システムでは閲覧ユニットでの検査・判定結果画面には、異状判定された画像に対して撮影フレーム数から算出されたワイヤー長を表示させた。

しかし、換算によるワイヤーの測長は検査・判定動作中のみしか行えず、異状判定された箇所を検査完了後に目視確認することができないため、実測で異状位置を確定する必要性が生じた。そこで、別途レーザー距離計を増設して対応した。ワイヤー点検時に連動してレーザー測距を行い、異状判定した際は、異状位置をレーザー距離計よりデータ取得して位置表示するように変更した。これにより本システムで検査・判定後に任意の位置への測距が再現可能となった。ただし、検査・判定結果画面の上部欄の4台のカメラの位置表示グラフは異状判定位置を可視化させる目的であるため、フレーム数からの距離表示のままとしている (図—12)。

レーザー距離計の主な仕様は、

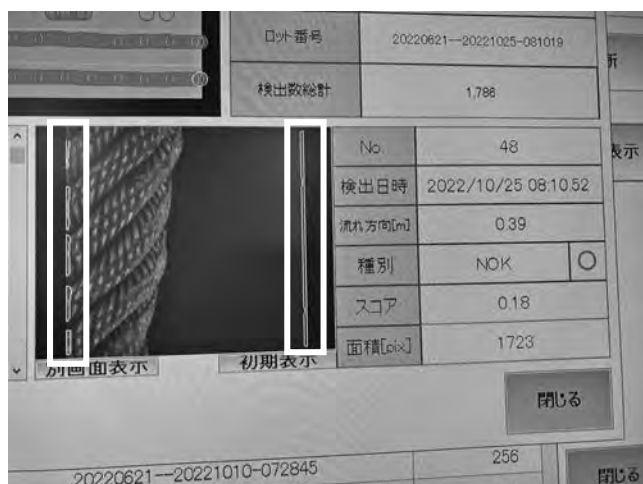
- ①型式：HOKUYO PGL-050W3
- ②電源電圧：12～30 VDC
- ③光源：赤色レーザー (650 nm) クラス2
- ④検出距離：0.05～50 m (反射板無し)

(4) 運用解析

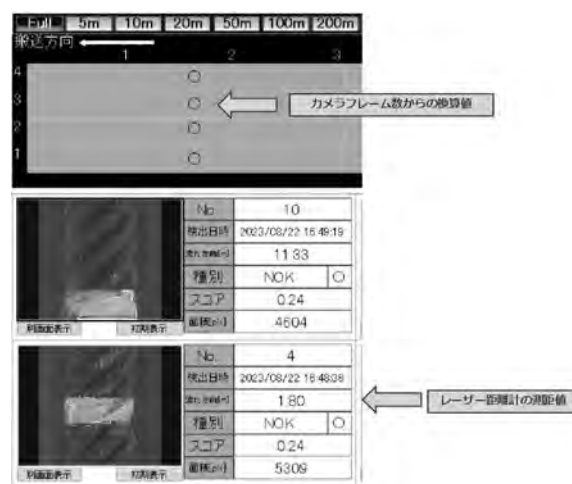
本システムは、2022年6月から試験運用を開始した。初期の不具合等の改善、改良を施し規格外データ発生が収束して以降、ある一定数量 (サンプル数140) の異状データの解析を行った。その結果軽微なゴミに対する異状が判定され、異状位置の繰り返しの判定もできており判定の信頼性が概ねあることが確認でき



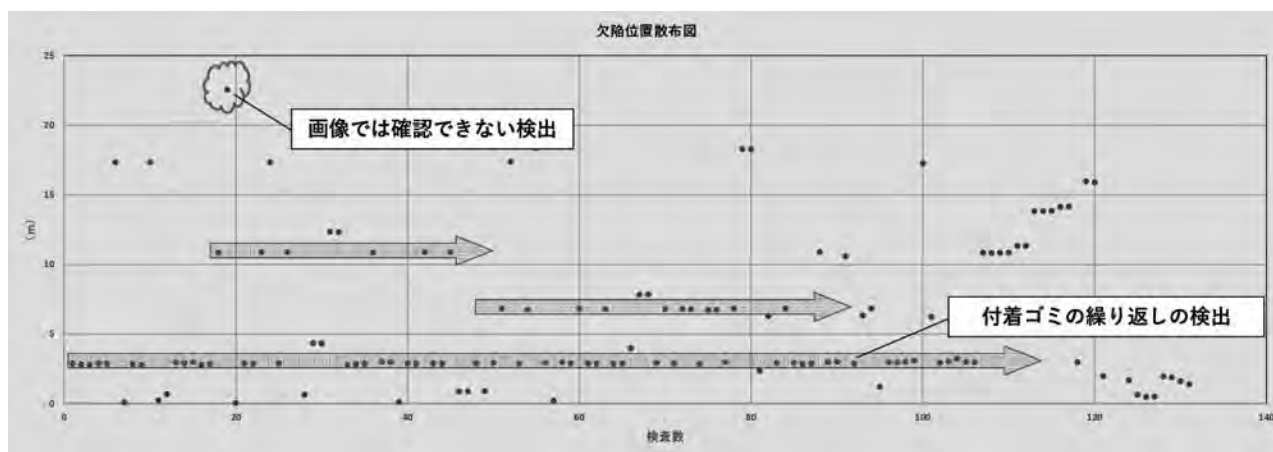
図—10 カメラ4以外異状状態



図—11 不明な筋が入った画像



図—12 異状判定距離（ワイヤー長）表示



図—13 異状判定集計表

た。ただし、画像では確認できない異状判定も散発的に存在し、良否判定の正確度を更に向上させることが課題として残る（図—13）。

6. 今後の課題

試験運用を経て本システムの顕在化した課題が主に5項目判明した。

①収録データの上書き保存

検査・判定結果は、処理ユニットでデータ収録されるが、PCのメモリ容量を超える場合は上書き保存されるため、長期の現場では適宜メモリ残量を確認する必要がある。

②クレーンワイヤーのロープ径違いの場合

本システムはロープ径φ20mmに対応しているため、径が異なるクレーンの場合は、AIの追加学習をする必要がある。

③ワイヤードラムから本システム間の検査

試験運用中にワイヤードラム巻取り部でワイヤーの素線切れが判明しワイヤー交換をしたのだが、ワイヤードラムから本システム間は物理的に検査できないので適切な目視点検は欠かすことはできない。

④撮影ユニットの小型化

基本的な構造は、今回の試験運用で満足できたが、更なる小型化、軽量化を図る。

⑤レーザー距離計の本システムへの一体化

撮影ユニットにレーザー距離計を収納一体化が理想的であるが、クレーンフックにレーザー光を照射させる機構のため、フック形状により都度対応できるか検討が必要である。

等が今後検討や改良を進める主要な課題として挙げられる。

7. おわりに

本システムはクレーン製造会社により形状や配置が種々ある中、固定シーブを利用し、取付けアタッチメントで対応すればあらゆるクレーンワイヤーの全周囲の外観検査が可能となる特徴を有するものである。運用実績を積みばいずれは長大なワイヤーを有するタワークレーンや移動式クレーン、また、玉掛ワイヤーへの利用も視野に入れている。

クレーン作業はあらゆる工種で必要不可欠な毎日使用する作業である。始業前に1回のワイヤー巻上げ下げを行うことで目視では1方向となるワイヤーの全周囲の検査が精度良く短時間で可能となり安全性の向上に貢献できるものである。引き続き判定精度の正確度を高めることを含め本格運用に向け改善を進めていく所存である。

J C M A

【参考文献】

- 1) 「令和4年 労働災害発生状況」厚生労働省労働基準局 安全衛生部 安全課 令和5年5月23日付け
- 2) 「令和4年におけるクレーン等による死亡災害の発生状況」月刊誌「クレーン」第62巻1号（一社）日本クレーン協会 2024.1月号

【筆者紹介】

宮川 克己（みやがわ かつみ）
（株）熊谷組
土木事業本部機材部
部長



松崎 伸吾（まつざき しんご）
パシフィックシステム(株)
センシング事業部 センシング技術部
主任



自律 AI による建設機械の自動化

2024 年問題、人手不足に立ち向かう

原 口 将 征

建設業界では、2024 年問題と言われる時間外労働時間の上限規制による人手不足や熟練者の引退加速などにより、業界全体の生産性向上が大きな課題になっている。その中で、特に現場の施工においては、熟練者の技術・ノウハウに頼る場面が多く、技術伝承だけでなく、各施工タスクの自動化が求められている。本誌では、施工タスクの自律化・自動化として、自律 AI によるバックホウの掘削自動化に関する取り組みを紹介する。

キーワード：自律施工、AI、強化学習、模倣学習、i-Construction

1. はじめに

建設業界は、人手不足の解消と生産性向上が深刻な課題となっている。1997 年以降、建設業界の就業者数は約 30% も減少し、働き方改革関連法の施行により、2024 年度から時間外労働時間の上限規制が追加されたことで、業界の人手不足という観点ではさらに悪化している。この状況を打破するため、国土交通省では i-Construction を 2016 年度から提唱し、ICT（情報通信技術）機器や AI（人工知能）など、革新的な技術の導入を推進している。2024 年 4 月には i-Construction 2.0 として、2040 年度までに建設現場の省人化を少なくとも 3 割、生産性を 1.5 倍向上することを目指し、施工のオートメーション化等を掲げた。現場レベルでも各社において建設機械の自動化や ICT の活用による生産性向上の取り組みが加速している。しかしながら、実際の工事現場への導入に至るまでには障壁も多い。その理由の一つとして、現場の「変数」が多すぎることが挙げられる。完成建物は一品一様であり、現場の土壌条件や周囲環境なども同一の現場は存在しない。そのため、現状は経験や技術を持った熟練者の判断に頼ることが多くなり、負担も大きくなってしまふ。また、こうした熟練者のノウハウや暗黙知を蓄積しようとしても、熟練者同士で手法が異なるケースもあり、分析・予測するための特徴量が多くなることから、標準的な決まった作業フローへの落とし込みや形式知化することが難しい状況にある。

このような課題のある建設業界において、ルールベースでの決められた動きの自動化ではなく、AI を

用いて、事前に学習を適切に行うことができれば、現場条件の幅（揺らぎ）が多少ある中でも現場の状況に応じた適切な動作を達成できると考えている。今回は、自ら良い学習を行う自律 AI を用いたバックホウの自動化に関する取り組みを紹介する。

2. 建設機械自動化の実現レベル

運転自動化というと、自動車の自動運転がイメージできる。自動運転レベルは図—1 のように、0～5 の 6 段階で表記され、現在、レベル 3（アイズオフ：条件付きで全ての運転タスクをシステムが自動で行う）の自動車が一般に販売され始めた。一方、建設業界は、そこまで至ることは現時点では難しく、まずはレベル 2（ハンズオフ：部分的な運転自動化として手放して

レベル	名称	運転主体	実施領域
0	運転自動化なし	人	—
1	運転支援	人	限定的
2	部分運転自動化 (ハンズオフ)	人	限定的
3	条件付き運転自動化 (アイズオフ)	機械	限定的
4	高度運転自動化 (ブレインオフ)	機械	限定的
5	完全運転自動化 (ブレインオフ)	機械	限定なし

図—1 運転自動化レベルの概要図

操作できる)の実現を目指すことが良いと考えられる。

3. 模倣学習 AI と強化学習 AI

AIという言葉は、広く聞くようになったが、技術的にはその中をいくつかのグループに分けることができる。ここでは、建設機械自動化に活用できる手法として、模倣学習 AI と強化学習 AI を紹介する。

(1) 模倣学習 AI

模倣学習 AI とは、人（熟練者）の操作をお手本として、それを真似する学習を行う AI のことである。建機を操作する際に、人は現場や建機の状況を把握（センシング）し、把握した情報に基づいて操作を行う（アクション）。このセンシングとアクションの対をデータとして保存し、AI にも同じようなことができるように学習させるという考え方である。学習した AI は、人と同じように、センシング情報（例えば画像やセンサの値など）を与えることで、アクションを出力する。

模倣学習の特徴としては、十分な学習データがあれば、人と同程度の動きを比較的短い時間で学習ができる。ただし、学習データについては、なるべく多くの環境条件や動作パターンのバリエーションが必要となる。データに偏りがあると、誤った特徴量を抽出してしまう可能性があるため、想定しうる様々な条件でデータを取得する必要がある。また、基本的には真似る学習のため、操作の良し悪し自体を AI が判定することはできない。そのため、なるべく悪い操作データが含まれないよう、学習データの準備段階で、人が取捨選択を行う必要がある。合わせて、学習データとするものは、なるべく同じ人のデータを収集した方が好ましい。理由としては、熟練者であっても、ある状況におけるアクションが人によって異なるケースがあるためである。現実の建設現場では、各熟練者のアクションがそれぞれ異なっても、どれも良い操作と判断することがあるが、AI から見ると、どちらの行動を出力すべきか判断ができず、うまく学習ができないためである。同じ熟練者であれば、基本的には同じ状況に直面したときには同じアクションを取ると想定されるため、なるべく同じ人のデータを取得することが望ましいと考える。

(2) 強化学習 AI（≒自律 AI）

強化学習とは、AI 自身がシミュレーターなどの環境内で試行や探索動作を行い、その動作が良かったものなのか悪かったものなのかを“報酬”という評価基

準をもとに、学習を行っていく手法である。学習の初期段階では、ほぼランダムに近い動作を行うが、各動作に対してどの程度の報酬が得られたのかという情報をもとに、より多くの報酬を得られるように自らの行動の方策（ポリシー）を改善していく。このように、自ら学習するような形態から“自律 AI”と呼ばれることもある。

強化学習の特徴としては、報酬（一般的には関数として記述される）を上手く設計することができれば、人のお手本なく、AI が自ら学習し、最適な行動方策を学習できる。また場合によっては、人では習得していない手法や選択肢を得ることにより、人よりも高いパフォーマンスを実現できる可能性がある。

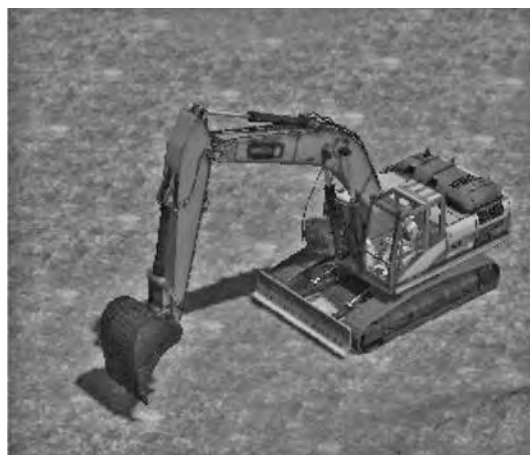
一方、デメリットとしては、一般的に膨大な数の試行錯誤を必要とするため、学習に時間がかかること、試行錯誤を行うので、実世界だと危険を伴う可能性があることなどが挙げられる。また、報酬関数の設計が適切でない場合は、その適切でない部分を利用しようとする動作（報酬ハッキングと呼ばれる）を学習してしまうことがある。

4. 自律 AI によるバックホウ自動化

今回、建設機械自動化の対象として、工事で多く利用され、かつ、ある程度の操作経験が必要なバックホウにおける盛土の掘削タスクを選定した。

(1) シミュレーター上での AI による掘削

バックホウの掘削タスクをシミュレートするためには、土の動きや粒度設定等が必要であり、ここではそれらが可能な Vortex というシミュレーターを利用した（図—2）。また、盛土の掘削を行う際、一度にどの程度の土を掘削できるかは、バックホウの先端にあ



図—2 バックホウのシミュレーターイメージ



図-3 バックホウの掘削自動化における AI の入出力情報

るバケットの角度をどのように制御するかによって大きく変化する。今回、シミュレーターでの検討は、このバケット角度制御を自動化し、なるべく多くの土をバケットに入れるというタスクを設計した。

AIへの入出力を図-3に示す。バケットの角度などのセンサ情報を入力とし、バケットの回転力を出力するようにAIを学習する。最終的にバケットの中に入っている土の量がある一定値(今回は、1.8トン以上)を超えた場合を、タスク成功として定義した。

模倣学習では、MARWIL (Exponentially Weighted Imitation Learning for Batched Historical Data) と呼ばれるアルゴリズムを用いた。ナイーブな模倣学習の手法 (Behavior Cloning と呼ばれる) は与えられた教師データ全てに対して同じ重みで学習を行うのに対し、MARWILは、報酬獲得のために有利な行動を重点的に模倣するという特徴を持っている。強化学習AIとして、PPO (Proximal Policy Optimization) と呼ばれるアルゴリズムを用いた。本アルゴリズムの特徴は、学習が比較的安定していることと、学習並列化による高速化が可能である点などが挙げられる。

バックホウの掘削自動化タスクのシミュレーター結果を表-1に示す。模倣学習で成功率81.0%なのに対し、強化学習での成功率はこれを超える96.0%であった。条件にもよるが、人が操作しても、4、5回に1

回程度は所定の土量を超えられない(失敗)ことがあることを考慮すると、比較的良好な結果だったと言える。

(2) 現実世界でのAIによる掘削

前項で、シミュレーターでの検討が比較的良好な結果となったが、これを現実世界にそのままスムーズに適用するためには、シミュレーション環境と現実世界が同様の環境・条件であることが必要になる。具体的には、土の状態(形状、固さ等)やバックホウの制御などが挙げられる。シミュレーターでどの程度多くのバリエーションを学習できたかという観点も重要だが、そもそもシミュレーターで設定できる条件数や範囲にもよってくる。そのため、現実的には、シミュレーターと現実の条件のギャップは生じてしまうため、それを埋める個別チューニングが必要になる。

そこで今回、前項のシミュレーター上で学習したAIそのものではなく、その一部のノウハウを活用し、シミュレーター上での学習を行わないオフライン強化学習AIを利用して、現実世界におけるバックホウの掘削自動化を行った。この手法により、シミュレーター結果を現実世界へ反映する手間・ギャップ調整が不要になる。バックホウに別途取り付けたカメラ、LiDARセンサ、角度センサ等による入力データを学習したAIに入力し、バックホウの自動操作を行った。動作としては、バックホウの正面にある盛土をカメラで撮影し、遠隔のタブレット端末から手動で掘削位置を選択し、その後の掘削をオフライン強化学習AIが自動で掘削するものである。掘削後は、バックホウの横に停車しているダンプカーへ積み込むまでの基本的なタスクを実現した。様々な掘削パターンへの適用までに

表-1 バックホウの掘削自動化タスクの成功率

タスク	バックホウ掘削
入力	センサ値
模倣学習での成功率	81.0%
強化学習での成功率	96.0%

は至っていないが、基本的な掘削の最中であれば、手放し（ハンズオフ）の状態を実現でき、自動運転レベル2（部分運転自動化）の実現の一步となる結果を得ることができた。

5. おわりに

建設機械の自動化として、自律 AI を用いてバックホウの掘削自動化に関する取り組みを紹介した。現実世界において、自律 AI によるバックホウの基本的な掘削については、部分的な自動化を達成することができた。しかしながら、実際の現場で稼働するためには、

自動動作のバリエーションをさらに増やしていく必要がある。今後も技術開発を進め、AI 技術を活用した建設機械の自動化により、少しでも建設現場の生産性向上に貢献できるよう取り組んでいきたいと考えている。

J C M A

【筆者紹介】

原口 将征（はらぐち まさゆき）

（株）アラヤ

事業推進部

シニアセールスマネージャー



建築設計業務における生成 AI 活用の課題と展望

建築設計アシスト AI ツール「AiCorb®」の開発を通して

中 林 拓 馬

2018 年より建築設計業務をアシストする AI ツール「AiCorb®」の開発に取り組んでいる。本開発では、特に設計の初期段階における設計者のアイデア検討や、発注者との合意形成を補助することを目的として生成 AI を活用している。本 AI ツールは 2 つの AI で構成される。一つがファサードデザイン案の検討に利用できる画像生成 AI、もう一つがその生成結果をすばやく 3 次元モデル化する際に利用できる 3 次元変換 AI である。本報では、これらの機能の紹介のほか、建築設計における生成 AI 活用の課題・展望などについて述べる。

キーワード：生成 AI、機械学習、画像生成、画像認識、建築設計、ファサードデザイン、合意形成

1. はじめに

近年、機械学習分野の技術が急速に発展しており、高度な画像認識や自律制御が可能となりつつある。更に、2022 年に画像生成 AI が一般公開されて以降は、自身が何かを生み出すことができる生成 AI の利用が急激に一般化し、各分野での活用が進んでいる。中でも ChatGPT や Midjourney のように、チャット形式での対話が可能なサービスや、テキストに基づいて画像を生成する技術は特に注目されている。建築設計分野でも、これら生成 AI は設計プロセスの効率化と創造性の向上を目的として、主にファサードデザインのアイデア検討や建築パースの作成への活用が模索されている。

大林組ではこの流れに先駆けて、2018 年から建築

設計業務をアシストする AI ツール「AiCorb®」(以下、本 AI ツール)の開発に取り組んでいる(図-1)。本 AI ツールは建築設計の初期段階におけるデザイン検討および発注者との合意形成を対象としている。

設計の初期段階において、設計者は複数のデザイン案を用意したうえで発注者との合意形成の場に臨むのが一般的である。これに対して、発注者は、提示されたデザイン案から要望に近い案を選ぶ、修正意見を伝えるなどの意思表示をする。設計者がこれを受けて再度デザイン案を用意する、という過程を繰り返しながら合意形成を進めていく。設計開始前の時点では発注者がデザインの要望を完全に言語化できているケースは稀である。そのため、この合意形成を通して発注者は自身の要望を明確化しながら、理想とする形に近づけることができる。このプロセスは発注者にとっては



図-1 本 AI ツールで生成したファサードデザイン案

望ましい状況であるのに対し、設計者にとっては必ずしも望ましい合意形成の在り方ではないケースもある。

設計者は、合意形成を円滑に進めるために、合意形成の場で提示する設計案以上に様々なパターンを検討する必要がある。また、合意形成の場で提示した複数のデザイン案のうち選ばれるのは多くて2つであり、次の合意形成の場では発注者から選ばれたデザイン案をベースにしたバリエーションを提示する、というプロセスを繰り返すことになる。用意した提案が採用されず、別の切り口でデザインを検討しなおすということも少なくない。建築設計の初期段階における合意形成は、このように発注者が求めるデザインの探索が目的であり、最終的に採用する設計方針が見つかるまでは非常にやり直しの多いプロセスが必要である。当然のことながらこのプロセスには時間の制約があるうえ、設計のやり直しやバリエーションの作成は非常に時間を要する。結果として、最終的に採用される提案以外の提案に多くの時間が割かれ、もっとも検討が必要である最終案にかけられる時間が少ないというアンバランスな関係となっている。

本プロジェクトの目的は、上記のような課題に対して、発注者がより早く、発注者の満足できるデザインにたどり着けるように合意形成を円滑化することである。この実現のため、本プロジェクトでは建築設計をアシストする本 AI ツールの開発を行い、設計者が生成 AI を活用してすばやくデザインの幅や深さを広げることができるワークフローを提案している。本報では本 AI ツールの紹介と、建築設計における生成 AI 活用の課題・展望について述べる。

2. 建築設計業務における生成 AI の活用

設計には様々な段階があり、大きく分けると概念設計・基本設計・実施設計に分類できる。概念設計では敷地条件などを満たす範囲で、いくつかの設計案をすばやく検討し、発注者の要求に応える案を提案することが優先される。ここでは大まかな建物形状、間取り、外観のデザインが要求される。これに対して、基本設計以降では設計案を一つに絞り込んだうえで徐々に各要素を具体化し、仕様を確定しながら細部の検討へと移る。また、建築法規や構法、各種製品への知見が重要となり、これらを参照しながら設計案を最終的に施工できる形まで具体化していく。

急激な成長を遂げている生成 AI ではあるが、現状ではまだ概念設計までの段階での活用が中心である。その理由として、今の AI はまだ大きさや数量など定

量的な情報の扱いに課題があることがあげられる。建築設計をするうえで非常に重要な情報である寸法や形状を正確に解釈することができないため、様々な条件を考慮する必要がある基本設計以降では活用が難しい。このほかに、生成 AI によって生成された結果の説明性や根拠の面にも課題がある。ChatGPT をはじめとする LLM (Large Language Models) は会話形式の学習をしているため、説明を求めれば回答として説明文が得られる。問いの投げかけ方にもよるが、理論だてた正確な回答が得られることも多く、一見すれば AI が根拠を正しく理解したうえで回答を生成しているように見える。しかしながら、実際のふるまいとしては問いに続く尤もらしい説明文を生成しているにすぎず、どのような前提知識があり、どの情報を参照したうえで回答が得られたかをユーザーが正確に把握することは難しい。

これら2つの課題は、どのように生成 AI を業務で活用するかワークフローの設計によってその影響が大きく変わってくるため、一概に基本設計以降で生成 AI の利用ができないということではない。また先述の通り、現状の生成 AI でも命令の仕方により得たい解答に近づけることもできるため、今後も様々な業務への応用提案が続くことが予想されるが、基本設計以降での実用にはもうしばらく時間がかかると思われる。

本プロジェクトではこれまでに述べてきた技術的課題なども考慮したうえで、以下の2つの実現に生成 AI を活用することが有効であると考えた。

- ①設計者が探索できるデザインの幅と深さを広げる手助け
- ②合意形成において発注者が言語化できていないデザインの要望を明らかにする手助け

上記から、本 AI ツールの利用目的を設計業務の自動化ではなく、設計者をアシストするツールとして位置付けている。

3. 建築設計アシスト AI ツールの開発

(1) 本 AI ツール開発の経緯

2017年にシリコンバレーにオープンイノベーションを活性化することを目的とした新拠点を新設し、開発手前のワークショップを実施した(写真—1)。ここでは建設業が解決すべき四つの課題を Call for Proposal として提示し、それに対して現地スタートアップなどからソリューションを募集した。この四つの課題のうちの一つである「AIを活用した自動設計」に対して選ばれたのが本プロジェクトである。



写真1 開発着手前のワークショップ

本プロジェクトは、シリコンバレーを拠点とする研究機関 SRI International との共同開発としてスタートした。現在も継続して AI 機能の改善等に取り組んでおり、本報で紹介する Autodesk Revit のプラグインとして動作する Modeler AI は(株)GEL と連携して開発した。2018 年の開発着手時点では生成 AI という言葉もなく、「AI は創造性を持つのか」というのが最初の問いであった。そこで、図-2 のような完成形のモックアップを作成しメンバー間で目標を共有したうえで、研究開発をスタートした。

(2) 生成 AI を取り入れた新しいワークフロー

本 AI ツールは2つの異なる目的の AI で構成されており、それぞれファサードデザイン案の検討とそのデザイン案の 3D モデル化を補助する。

図-3 に本 AI ツールを利用する場合のワークフ

ローを示す。現在構築している本 AI ツールを取り入れた設計業務としては、発注者からの要望を受けたのち、まず Autodesk Revit にてボリュームスタディを行う。

ボリュームスタディが完了したのち、本 AI ツールを利用してファサードデザインを検討する。これを補助する AI (以下、Designer AI) では、スケッチでデザインのベースとなる形状の特徴を指示し、更にテキスト入力による命令文で作風や仕上げなどを指示することで、瞬時に様々なファサードデザイン案を生成できる。図-4 に様々なスケッチ・建物用途に対する生成結果を示す。

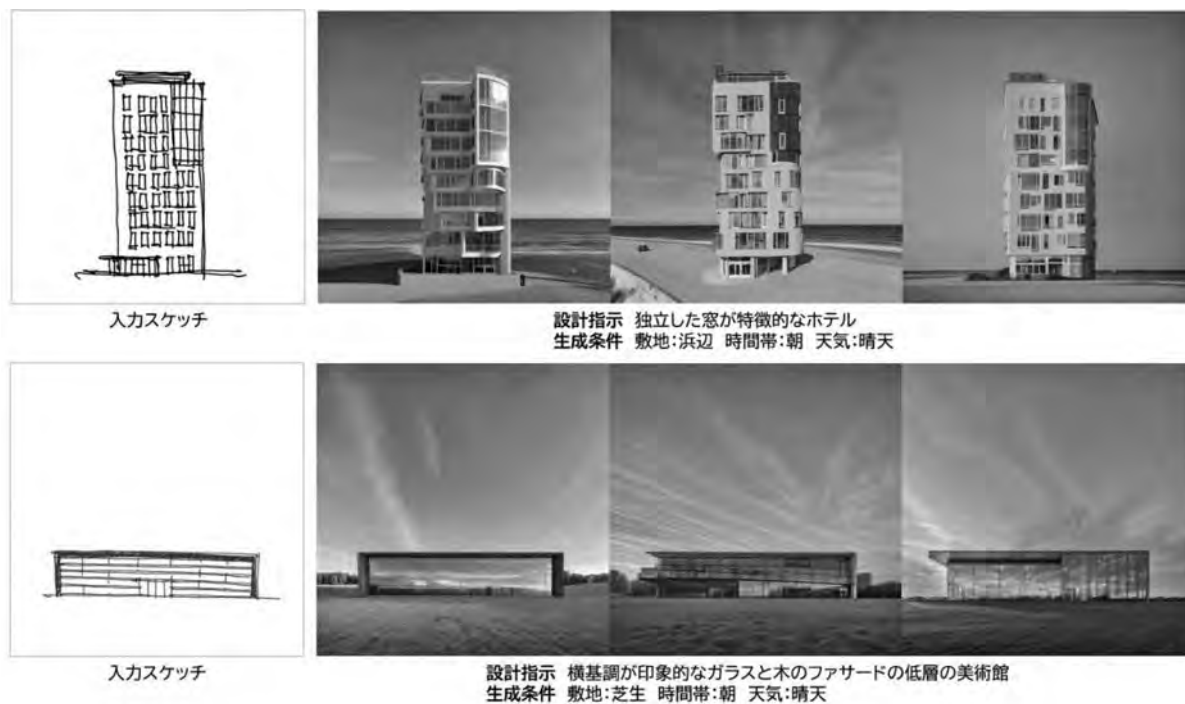
意図したデザイン案が得られたところで、3D モデル化を補助する AI (以下、Modeler AI) を利用して 3 次元的なデザイン検討を行う。Modeler AI はファサード画像を入力データとして受け取り、それに写っている主要なファサード面のデザインの種別、外壁色や窓の配置、大きさなどを認識し、その結果を Revit のプラグインとして開発した図-5 に示すデザインパレットに登録することができる。設計者は、このパレットから任意のデザインを選択し、ボリュームスタディで作成した 3D ボリュームに適用することで、瞬時に 3 次元的にファサードデザインを確認することができる。これらの 2 つの AI 機能を利用することで、図-6 のように設計者は画像のみではなく 3D モデルとしても設計案を提示できるようになる。



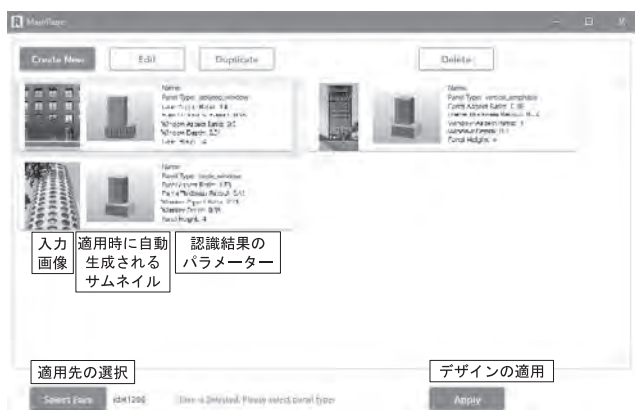
図2 開発着手時に作成した完成形のモックアップ



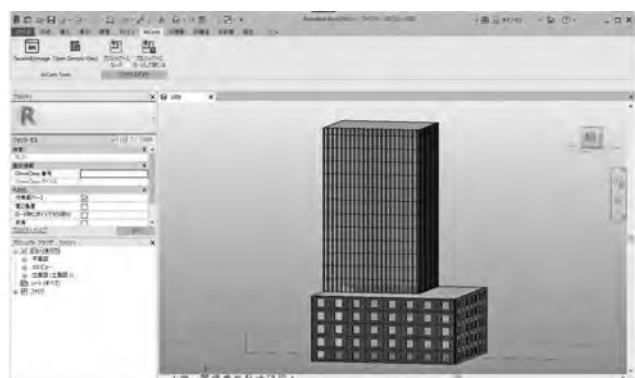
図3 本 AI ツール利用時のワークフロー



図ー4 様々なスケッチ・建物用途に対する生成バリエーション



図ー5 Revitのプラグインとして開発したデザインパレット



図ー6 デザインパレットから任意のデザインを3Dボリュームに適用した結果例

(3) 本 AI ツールに期待する効果

これまで述べてきたようなプロセスにより、設計者は効率よく様々な案を可視化しながら検討すること

ができ、発注者側も具体的な形として設計案を確認できるようになるため、従来よりも早期に発注者の具体的な要望を引き出すことができる。特に、合意形成の事前準備での活用だけでなく、生成 AI を用いることで合意形成の場で即座に議論の結果を可視化できる点は従来手法に基づく合意形成とは大きく異なる。これによって、発注者の意図を誤解したまま手直しをして大幅な手戻りとなるようなケースを予防でき、スムーズな合意形成につながることを期待できる。また、従来では設計初期のやり直しにかけていた時間を最終案のブラッシュアップのためのデザイン作業に利用できるようになり、品質の高い設計案の提案につながると考えている。

加えて、本 AI ツールは特に、設計者が検討を深めやすいツールとなるよう意識をして開発をしている。一つの特徴が、コンセプトスケッチからディテールスケッチまで様々な詳細度にわたる手書きのスケッチの入力を可能とした点である。多くの生成 AI サービスでは 3D モデリングツールによるレンダリング画像を元にした画像生成は可能であっても、書き込みの少ないラフなコンセプトスケッチから高品質なファサード案を生成することは難しい。これに対して、本 AI ツールでは様々なスケッチを独自に収集し、AI の学習を行っているため、設計者が合意形成の場で走り書きしたようなスケッチであっても、意図を読み取りデザイン提案に繋げることができる。

もう一つの特徴が、生成結果を 2 次元画像に留めず、

BIM データ化することまでを視野に入れている点である。生成結果の 3D モデル化を補助する Modeler AI の認識結果は Revit に窓オブジェクトなどのパラメーターとして反映されるため、設計者が異なる窓の大きさを比較したいなどといった場合でも、パラメーターを変更することで即座に意図を可視化することができる。また、BIM データには各部材の形状のみでなく、具体的な寸法や材質・製品情報などの情報も付与することができる。将来的にはこれを利用し、各種の性能評価などの活用も視野に入れている。

4. 実用に向けた課題と今後の展望

(1) 建築設計利用における生成 AI の課題

生成 AI は急速な発展を遂げており、今後も継続的な性能向上が実現されていくことが予想される。しかしながら、生成 AI の大規模な学習には膨大な計算リソースが必要となることから、建築設計向けの生成 AI を含め多くの生成 AI は汎用的な目的で学習された AI モデルをベースとしており、建築設計における微細なニュアンスの違いを伝えるのが難しいなどといった課題は今後も残るだろう。もちろん、現在公開されているサービスでもアイデア検討は可能であり、既に多数の利用報告がある。一方で、現在の技術では所望する結果を得るためには膨大な試行錯誤が必要となる。

例えば、画像生成 AI は ChatGPT などと同様、テキスト入力する命令文により得られる結果が大幅に変わり、その傾向は AI サービスごとに異なるため、ユーザーは利用する AI ごとのまず生成傾向を探るところからスタートする必要がある。加えて、ある程度その AI の特性がつかめたとしても、最終的に得られる結果をユーザーが完全にコントロールすることは現状では困難であり、くじ引きのように運任せとなる側面もある。これは特に、ユーザーインターフェースに起因する課題であるが、細部までのコントロールを求める場合にはスケッチ等での詳細な書き込みが必要となる一方で、偶発性を求める場合には詳細な書き込みはその妨げとなり、ある条件を限定しながら同時に偶発性を求めることは非常に難しいのが現状である。同様に、意図した生成結果を得るためには適切な命令文を用意する必要があるが、得たいデザインが複雑な場合には適切な命令文を探し当てることは非常に困難である。特に、主要部へのデザイン命令と比較して細部へのデザイン命令は反映されづらい傾向がある。

以上に述べた通り、生成 AI のコントロール性には

課題があり、今後はこの改善が必要だと考えられる。コントロールできない偶発性を含め、セレンディビティとして好意的に見ることもできるが、やはり設計者の創造性を引き出すために利用するのであれば、より意図した通りの生成を可能としたうえで偶発性をコントロールできるようにすることが望ましいだろう。また、ある程度コントロール性が高まったとしても、生成 AI は従来利用されてきたペンや CAD などといった、手の延長にある完全にコントロール可能なツールとは異なる性質を持つ。実用に向けては、このような生成 AI の特性を理解したうえで最も高い利用効果が得られるような新たな建築設計のワークフローを確立していくことも重要である。

(2) 本 AI ツールの今後の展望

本プロジェクトでは、建築設計に特化した生成 AI を開発しており、現在のところ特にスケッチから様々なデザインを提案することに主眼をおいている。詳細なスケッチだけではなくラフスケッチからでも設計の意図を読み取れるように AI を独自に学習したほか、スケッチを忠実に読み取る AI や忠実性よりも生成結果の品質を重視した AI など複数の AI モデルを用意するなどし、設計者の利用目的に応じた使い方ができるようなツールを目指している。本 AI ツールは用途としては建築設計に特化させているが、汎用型 AI が持つ知識を適宜取り入れる必要がある。汎用型 AI と用途に特化させた AI のどちらが高い性能が得られるのかについては研究レベルで議論されているところではあるが、建築設計においては歴史・文化・慣習・地域など様々な事柄が設計案に影響を与えることから、汎用型 AI が持つ知識の上に建築的な専門性を与えるべきである。このような考えから本プロジェクトでは、汎用型 AI の統合も検証しながら開発に取り組んでいる。

2023 年 7 月に社内試験利用を開始した。既に社内でも延べ 70 名以上の設計者が本 AI ツールを試用しており、現在も引き続き課題やニーズ収集を行っている段階である。先に述べた生成結果のコントロール性は社内試行を通して得られた代表的な要望である。コントロール性とセレンディビティのトレードオフに関する懸念も一部では見られたものの、総意としては既存のサービスを含め、より任意の結果が得やすくなることが望ましいとの意見であった。Revit のプラグインとして開発した Modeler AI については今後社外を含めた試験公開を予定している。社内外で得られた意見を反映しながら、早期に実用できるよう改良を続けていく。

5. おわりに

ChatGPT など一部の生成 AI は既に企業で活用されるまでになったが、画像生成 AI に端を発した高性能な生成 AI の一般公開は、始まってからまだ2年程度しか経っていない。この短期間で生成 AI の実用方法が日々議論されるまでに至ったことは驚異的ではあるが、今後も「従来ではできなかったこと」の常識が次々と覆される状況が続くと予想される。

生成 AI だけでなく、AI の活用は建設業の生産性向上における中核をなす。建築設計における AI 活用はまだ萌芽段階であり、一般ユーザーが利用できる

サービスが登場し始めたところであり、多くの試行錯誤を経て徐々に一般化が進むと思われる。今後も本プロジェクトを通じ、積極的に試行結果を共有し、建築設計での AI 活用の発展に貢献していく所存である。

J C M A

【筆者紹介】

中林 拓馬（なかばやし たくま）

（株）大林組

技術本部 技術研究所 生産技術研究部

副課長



深層学習を用いた鋼構造物の素地調整時の除錆度判定システムの開発

大 屋 誠・河 原 達 哉・小 瀧 初 音

インフラの整備・維持管理を将来にわたって持続的に実施するために建設現場の省力化・省人化を目指し、デジタル技術と AI 等によるオートメーション化が進められている。今後、デジタル技術を活用した少ない人数で、安全で、快適な環境で働く生産性の高い建設現場の実現が重要である。

本稿では、鋼構造物の補修施工時を支援するために著者らが開発を試みた深層学習を用いた腐食した耐候性鋼材（さび度 D）の塗替え塗装の素地調整時の除錆度判断を支援するシステムについて報告する。

キーワード：鋼構造，除錆度，CNN，ViT，XAI，GAN

1. はじめに

我が国の橋梁・トンネル等のインフラ施設は、供用後 50 年を経過した構造物が増加し、労働人口の減少や高齢化により、現状のままでは、国民の生活・経済活動を支えるインフラの整備・維持管理を将来にわたって持続的に実施することが難しくなっている。これらの課題を解決するためにデジタル技術の活用¹⁾が積極的に行われている。建設業の生産性向上に向けた取組みとして、2016 年度より建設現場において ICT 活用等による「i-Construction」が推進され、3 次元設計データの活用、UAV やレーザースキャナを用いた 3 次元測量や自動制御された ICT 建設機械等での施工による効率化が進められてきた。今後、更なる労働人口の減少に向け、国土交通省は、2024 年 4 月に「i-Construction 2.0」²⁾を策定し、AI、5G、クラウドなどのデジタル技術とオートメーション化により、少ない人数で、安全で、快適な環境で働く生産性の高い建設現場の実現を目指す方針を示した。近年、インフラ施設の 5 年に 1 度の定期点検を持続可能とするため、人材不足の解消や点検費用の削減を目的に、AI 等を用いた点検や維持管理の効率化に関する研究が積極的に行われているが、補修施工時を支援する研究はほとんど実施されていないのが現状である。

深層学習における画像分類問題では、畳み込みニューラルネットワーク（Convolutional Neural Network）（以下、CNN と略称）と Transformer という自然言語処理で利用されているアーキテクチャを用いた Vision Transformer（以下、ViT と略称）がよく知ら

れた手法である。深層学習では、層の数が多ければ一般的に良い判断や予測をするが、なぜその判断や予測をしたかが分かりにくくなるため、インフラ分野に AI を導入し、省人化や省力化を行うには、その判断や予測の根拠を明確にする必要がある。また、インフラ施設の施工や維持管理に AI を適用する場合、データ不足に陥りがちで生成 AI による課題解決が検討されている。

著者らは、深層学習を用いた腐食した耐候性鋼材（さび度 D）の塗替え塗装の素地調整時の除錆度判断を支援するためのシステム開発^{3)~6)}を行ってきた。本稿では、素地調整時の除錆度判定システムとして、(1) CNN と ViT の 2 つの手法によるシステム構築の可能性について検討を行った結果^{3), 4)}を報告する。(2) 開発した除錆度判断支援システムの学習モデルの判断根拠を視覚的に説明可能か検討^{4), 5)}し、(3) 構築した除錆度判定システムの汎化性能の向上を目的として、4 段階の除錆度に対する教師画像を生成 AI の一つである敵対的生成ネットワーク（Generative Adversarial Networks：GAN）により生成可能か検討した結果⁶⁾を報告する。最後に、開発した除錆度判定支援システムを現場で利用可能とするために、Raspberry Pi を用いたエッジ AI により、実装の可能性を検討した結果を報告する。

2. 深層学習による除錆度判定システムの開発

素地調整時の除錆度判定システムとして、除錆度を判定するための画像分類問題に CNN と ViT が利用可

能か検討した結果^{3), 4)}を報告する。本システムは、あらかじめ除錆度がグレーディングされた画像を教師データとして学習させ、未知の画像を除錆度の4つのクラス Sa1, Sa2, Sa2 1/2, Sa3 に適切に分類するシステムである。システムの概要を図-1 に示す。

(1) CNN による除錆度判定学習モデル³⁾

CNN は何段もの深い層を持つニューラルネットワークで、中間層として、畳み込み層とプーリング層の2種類の層を持つことに特徴がある。CNN の一般的な構成を図-2 に示す。入力層で入力された画像に対し、局所的な特徴を抽出する畳み込み層と情報を圧縮するプーリング層を組み合わせることでデータの複雑な特徴を抽出し、それを基に、全結合層で重み付きの結合計算がなされ、出力層において分類結果を出力する。最後の出力層では、ユニット数を分類クラスと同数となるようにし、ソフトマックス関数により尤度を求め、尤度が最大となるクラスを予測クラスとして出力する。本稿では、学習済みモデルとして、画像認識で高い性能を発揮することが知られている Resnet50 を使用し、除錆度がグレーディングされた教師データ

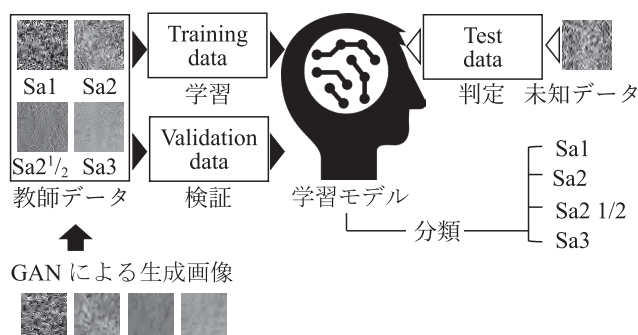


図-1 除錆度判定システムの概要

を用いて追加学習により除錆度判定学習モデルを構築した。

(2) ViT による除錆度判定学習モデル⁴⁾

ViT は、画像認識タスクに Transformer を利用したモデルである。画像を画像パッチ (patch) が連なったシーケンスデータとして単語 (トークン) として扱うことで画像処理に Transformer を適用する。ViT は、CNN における畳み込み層の代わりに、Self-Attention が用いられる。ViT の全体図を図-3 に示す。ViT は、大きく [1] Input Layer, [2] Encoder, [3] MLP Head の3つの部分で構成される。Input Layer では、公開されているモデルの中でも、比較的良好に知られている ViT-B/16 に基づき 16×16 画素のパッチに分割し、チャンネル (RGB) と合わせ、768 の大きさを持つベクトルに変換した。Encoder は、12 層の Encoder Block から構成し、MLP Head は、Layer Norm および線形層からなるクラス分類を行う分類器である。画像分類タスクでは、MLP Head の出力するベクトルの長さはクラス数 (除錆度のグレード: Sa1, Sa2, Sa2 1/2, Sa3) と同数の 4 として出力した。

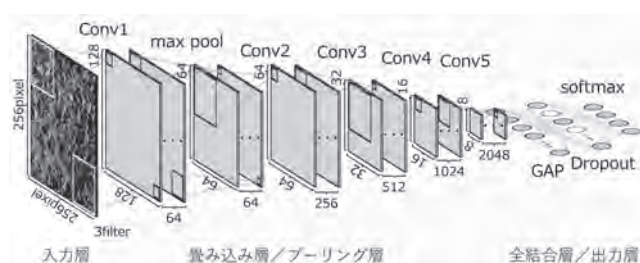


図-2 CNN の概要

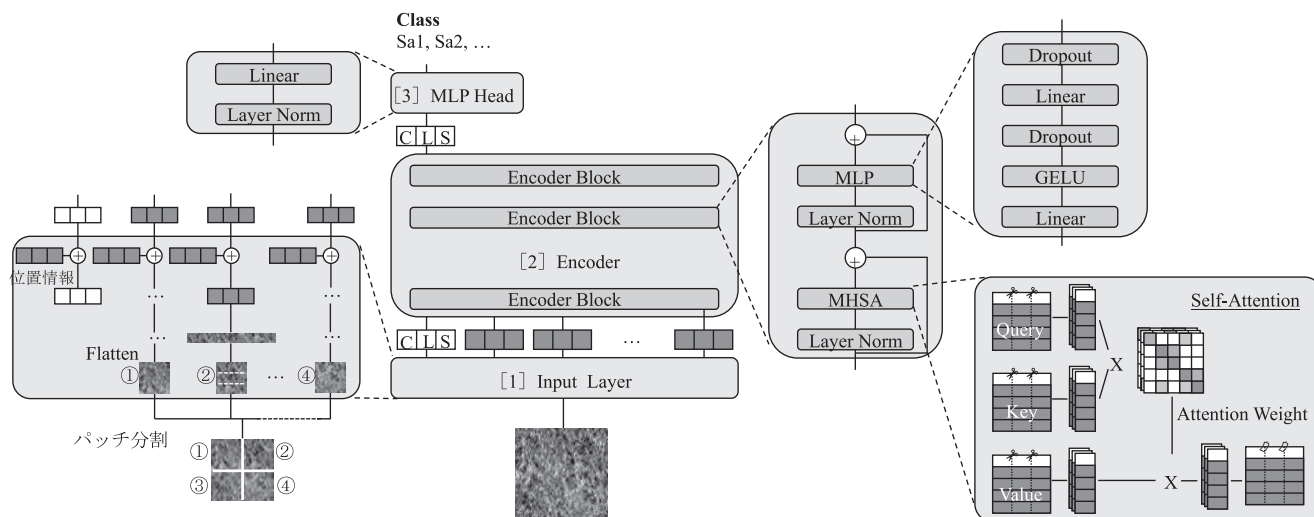


図-3 ViT の概要

(3) 入力画像と学習

システム開発に用いた腐食した耐候性鋼材(さび度: Grade D) のブラスト処理後の画像データ(元画像)を図-4に示す。これらの画像から切り出した256×256画素の小領域の画像(図-5)を入力データに用いた。CNNでは、分類精度を向上させるために、切り出した画像を回転させ、画像枚数の拡張を試みるが、本稿では、CNNとViTの精度比較を行う目的で、データを軽量化するため、画像枚数の拡張を行わずに検証を行った。表-1に除錆度のグレード毎に元画像とデータの枚数を示す。画像データは、学習モデル構築用データを10分割し、training dataとvalidation dataの割合を8対2としてK-分割交差検証法(K=10)により、Case1～Case10の10通りの学習モデルの構築を行った。また、構築したシステムの評価に際し、本稿では、補修塗装時のブラスト後の除錆度として、Sa2 1/2以上が求められることから、混合行列を表-2のように定め、式(1)から式(4)で定義される定量的な4つの指標により、テスト用データによる構築した学習モデルの精度検証を行った。

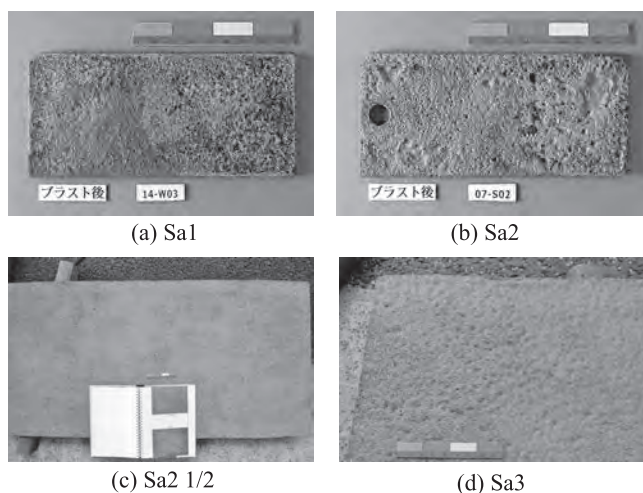


図-4 ブラスト後の鋼材表面元画像

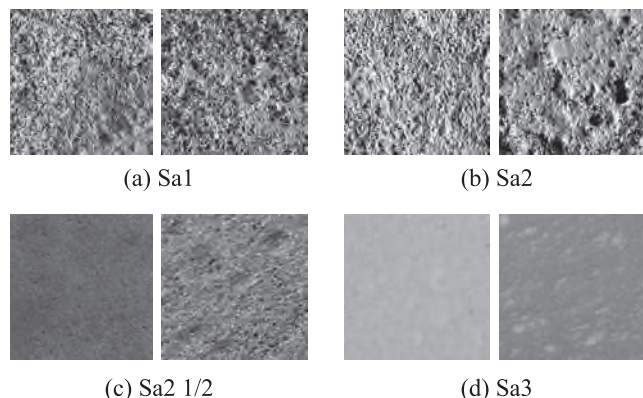


図-5 教師データ

$$\text{正解率 (Accuracy)} = \frac{(TP + TN)}{(TP + TN + FP + FN)} \quad (1)$$

$$\text{再現率 (Recall)} = \frac{TP}{(TP + FN)} \quad (2)$$

$$\text{適合率 (Precision)} = \frac{TP}{(TP + FP)} \quad (3)$$

$$F\text{値} = \frac{(2 \times \text{Recall} \times \text{Precision})}{(\text{Recall} + \text{Precision})} \quad (4)$$

ここに、TP: True Positive, TN: True Negative, FP: False Positive, FN: False Negativeである。再現率は、実際に陽性(Sa3およびSa2 1/2とした)であるものが、陽性と予測された程度を評価する指標で、見逃さない確率を表し、1に近いほど性能が高いといえる。適合率は、陽性と予測されたものが実際に陽性であった程度を評価する指標で、誤検出しない確率を表し、1に近いほど性能が高いといえる。一般的に、性能評価の指針となることが多いのは、適合率と再現率の調和平均であるF値である。また、それぞれの手法における学習モデルについて、学習モデルの大きさ(パラメータ数)および計算速度を比較したものが表-3および表-4である。表-3のTotal paramsは、モデル全体のパラメータの総数で、Trainable paramsが訓練対象のパラメータ(学習によって更新されるパラメータ)数、Non-trainable paramsが訓練対象ではないパラメータ(学習によって更新されないパラメータ)数である。パラメータ数が多いほど、複雑なモデルを学習することができ、高度な特徴抽出が

表-1 元画像と切り出した画像枚数

データ グレード	元画像	学習モデル 構築用データ	テスト用 データ
Sa1	1	40	25
Sa2	3	60	25
Sa2 1/2	3	70	25
Sa3	3	270	25
Total	10	440	100

表-2 クラス分類の混合行列

正解 予測	Sa3	Sa2 1/2	Sa2	Sa1
Sa3	TP	FP	FP	FP
Sa2 1/2	FP	TP	FP	FP
Sa2	FN	FN	TN	FN
Sa1	FN	FN	FN	TN

表—3 学習モデルの大きさ (パラメータ数)

分類器 \ 指標	Total params	Trainable params	Non-trainable params
CNN	23,595,908	23,542,788	53,120
ViT	85,856,359	85,854,801	1,558

表—4 計算速度の比較

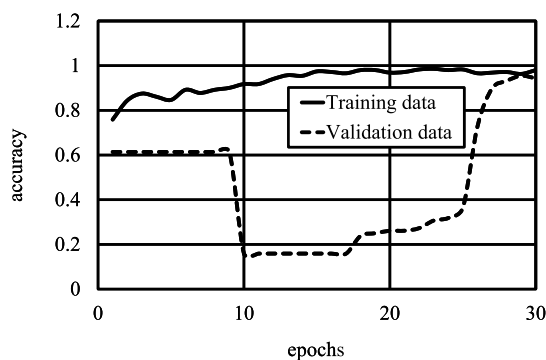
分類器 \ 指標	1 エポック目 [s]	2 エポック目以降平均 [s]	30 エポック合計 [s]
CNN	169	6	349
ViT	354	23	1024

可能となるが、モデルのサイズが大きくなるため容量が増大し、また、モデルの解釈性が低くなる可能性がある。表—3と表—4より、ViTは、CNNに比べ、学習パラメータ数が4倍程度多く、高度な特徴抽出が可能のため、学習開始から30epochが終了するまでの計算速度が3倍程度遅い結果となった。

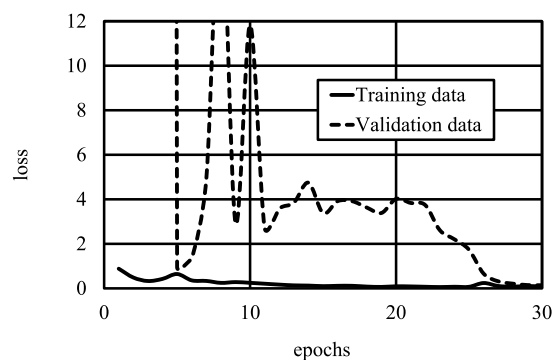
(4) システムの評価

K-分割交差検証法の Case1 における学習状況の推

移について、横軸に繰り返し回数 (epochs) とし、図—6にCNNにおける正答率 (accuracy) および損失 (loss)、図—7にViTにおける正答率 (accuracy) および損失 (loss) を示す。なお、CNNとViTは、共に同様のデータセット (256 × 256 画素) とモデル運用条件 (batch size = 8, epoch = 30, 最適化アルゴリズム = SGD) で分類器の構築を行った。図—6より、CNNは、training dataによる正答率は15回程度で100%近くに収束しており、損失も10回程度でほぼ0に収束している。また、validation dataも30回程度で正答率が95%以上に収束し、損失はほぼ0近くに収束している。一方、図—7より、ViTは、少ないepoch時から比較的正答率が高く、損失が小さい。正答率は、15epoch程度で90%近くに収束しており、損失関数もほぼ0に収束している。また、表—5に、構築したCase1～Case10の分類器にテスト用データを適用した際のクラス分類結果の平均値を示す。判定精度については、ViTはすべての指標でCNNを上回り、80%以上の分類精度を示した。

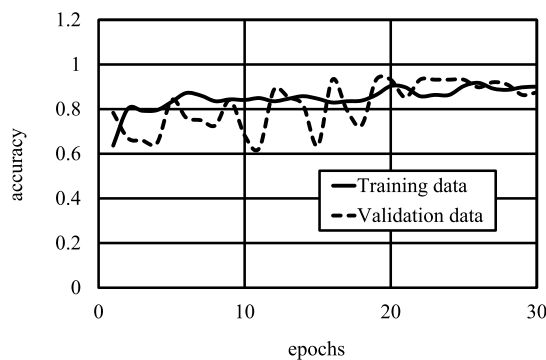


(a) accuracy

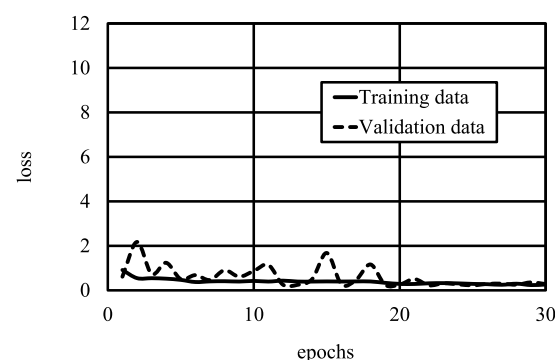


(b) loss

図—6 CNNの学習結果と認識結果の推移



(a) accuracy



(b) loss

図—7 ViTの学習結果と認識結果の推移

表一 5 判定制度の比較

指標 分類器	正解率	再現率	適合率	F 値
CNN	0.8140	0.8657	0.8233	0.8424
ViT	0.8444	0.9152	0.8433	0.8770

3. XAI による深層学習の判断基準の可視化^{4),5)}

深層学習では、なぜその判断をしたか、また、なぜその予測をしたかが分かりにくく、社会インフラに AI を適用する場合、構築した学習モデルが適切な判断根拠に基づいているか説明することが必要である。近年、機械学習モデルの予測根拠を説明する XAI (eXplainable AI) 技術がいくつか開発されている。本報では、除錆度判定システムを CNN で構築した場合の判断根拠の可視化手法として Grad-CAM を用い、ViT で構築した場合については Attention Map による可視化手法を用いた。CNN および ViT で構築した学習モデルの判断根拠を視覚的に説明可能か検討した。

(1) Grad-CAM による CNN の可視化⁵⁾

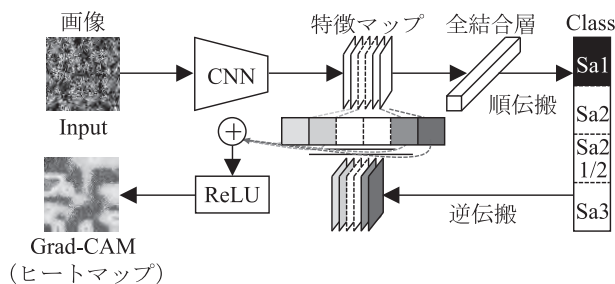
Grad-CAM は、CNN の特徴マップの勾配（重み）を用い、画像中の重要領域を強調する粗い局在マップを生成するものである。図一 8 に Grad-CAM の概要を示す。画像とクラスが入力として与えられると、学習モデルの CNN 部分を通して順伝播させ、タスク固有の計算を通して、ソフトマックス関数によるクラスのスコアを得る。この信号は次に、畳み込み層に逆伝播され、特徴マップと組み合わせてヒートマップを計算することで、学習モデルが判定する際にどこを注視しているかを可視化する。

(2) Attention Map による ViT の可視化⁴⁾

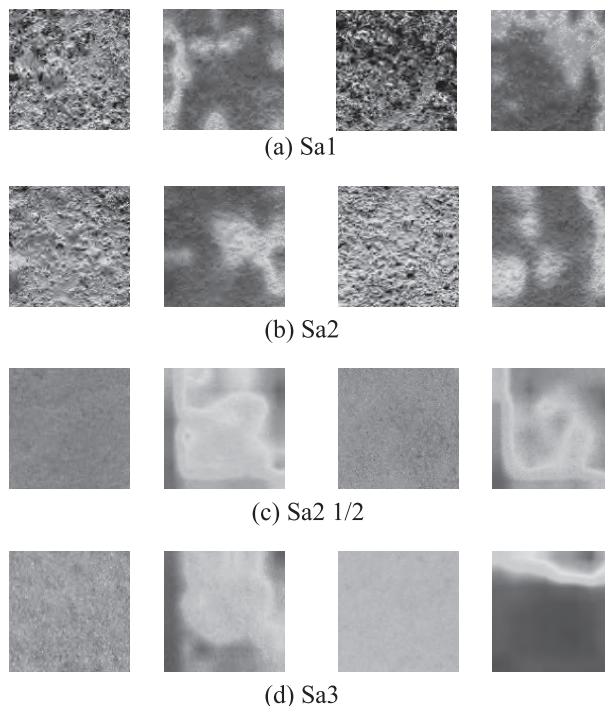
ViT は Self-Attention 機構を用いて特徴を捉える手法である。Attention Weight は、ソフトマックス関数により尤度を求め、尤度が最大となるクラスを出力結果として出力するため、1 つのクラスにピークを持つことから、Self-Attention において内積計算して得られる Attention Weight により、Attention Map を示すことで判断根拠を可視化できる。

(3) 各学習モデルによる判断基準の可視化

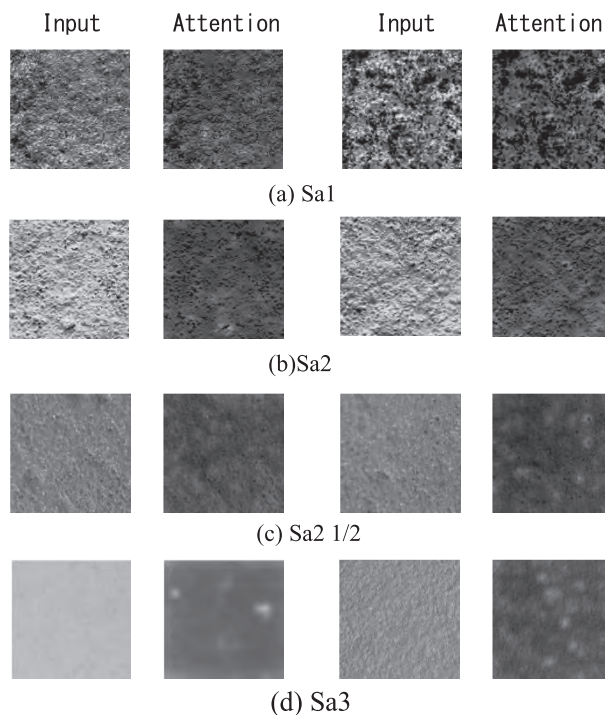
テストデータにおいて、正しく判定された除錆度の各グレードの可視化結果を図一 9 と図一 10 に示す。



図一 8 Grad-CAM の概要



図一 9 CNN における Grad-CAM による判断基準の可視化



図一 10 ViT における Attention Map による判断基準の可視化

図—9 は、CNN による Sa1 の Grad-CAM の適用結果である。Sa1 の判定において、ヒートマップは人が判断する黒ずみや凹凸付近を特徴として捉え、Sa2 の判定においては、ヒートマップは人が判断する小さな凹凸を特徴として捉えていることが分かる。したがって、学習モデル構築時に学習情報として凹凸の大きさは与えていないが、構築した学習モデルは Sa1 と Sa2 を凹凸の大きさで判断しているものと考えられる。一方で、Sa2 1/2 および Sa3 の適用結果は、画像端に集中しており、黒ずみや凹凸の特徴が少ないため、ヒートマップが特徴を明確に捉えていない。したがって、同一画像内において勾配の変化が顕著に現れず、画像全体を特徴として捉えていると考えられることから、Sa2 1/2 以上の判別基準は色であると考えられる。各グレードで判断基準が存在することから、CNN による判断は適切に行われていると結論付けた。図—10 に ViT の Attention Map を示す。Attention Map は、グレースケールで示され、Attention Weight が小さい（重要度が低い）領域を黒く塗りつぶす。したがって、Attention Map が出力された画像の中で認識できる特徴が判断根拠として最も有力であると考えられる。Sa1 において、Attention Map からは、大きな凹凸を認識できる。Sa2 においては、Attention Map から、小さな凹凸が認識できる。このことから、これらの判定においては、CNN と同様に凹凸の大きさを判断基準としていることが考えられる。一方、Sa2 1/2 においては、表面に点在する細々とした斑点を認識できる。Sa3 においては、さらに小さな斑点を認識でき、また、他のグレードの Attention Map より黒みが薄くなっている。したがって、Sa2 1/2 以上は、表面が滑らかであり、表面に点在する斑点、特徴の少ない場合は色を判断基準としていることが考えられる。

4. 敵対的生成ネットワーク (GAN) による教師画像の生成⁶⁾

近年、インフラ分野に AI を導入する上での課題は、教師データが少ないことである。社会インフラにおいては大量で適切なデータを収集することは難しいことが報告⁶⁾されている。深層学習において、高い精度を達成するには大量のデータを学習する必要があるが、実問題への適用を考えた場合、そのような大量データを準備することが難しく、限られたデータでどう精度を高めるかが課題となっている。例えば、従来の画像データの拡張方法は、画像を傾けたり、色を変えたりして人工的にデータを増やす手法が用いられてい

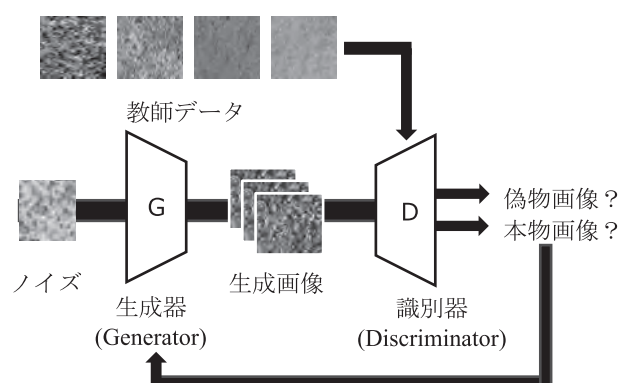
る。近年、既存画像などのデータを生成する敵対的生成ネットワーク (Generative Adversarial Networks: GAN) は、データ不足に陥りがちな深層学習において、教師データを増やす拡張技術の 1 つの手法として期待されている。著者らが構築した除錆度判定システムの汎化性能の向上を目的として、構築するシステムの強化につながる 4 段階の除錆度に対する教師画像が、GAN により生成可能か検討した結果を報告する。

(1) 敵対的生成ネットワーク

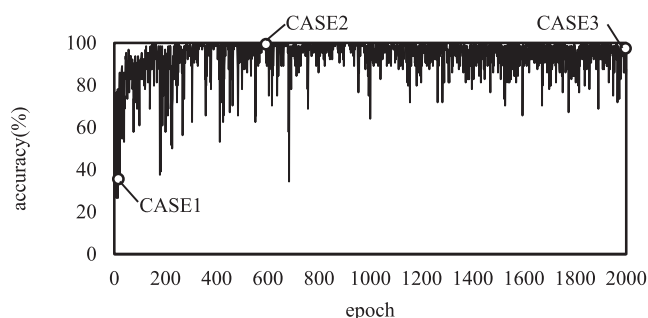
GAN は、図—11 に示すように生成器 (Generator) と識別器 (Discriminator) という 2 つのニューラルネットワークから構成される。生成器は、ノイズを入力として擬似データ (生成画像) を生成する。識別器は、あらかじめ用意したデータセット (教師データ) を入力として、生成器から生成された擬似データが本物であるかどうかの確率を出力する。このとき生成器は、識別器が擬似データ (生成画像) を偽物と判別しないように、識別結果から擬似データを生成する際のパラメータを更新し、学習を行う。一方で、識別器は入力される教師データと擬似データを適切に見分けることを目的に順伝播を行ったあと、出力と正解の誤差を逆伝播させることでパラメータを更新し、学習を行う。識別器と生成器が学習を繰り返し、データセットの特徴を含んだ画像が生成される。このように 2 つのニューラルネットワークが、競い合いながら敵対的に学習を行うことから、敵対的生成ネットワークと呼ばれる。

(2) 生成画像の評価

図—12 に Sa1 の生成画像の学習回数 (epoch) と正答率 (accuracy) の推移を示す。また、表—6 に生成画像各 CASE の学習回数と正答率の関係を示す。識別器の生成画像の正答率 (accuracy) と学習回



図—11 GAN の概要



図—12 Sa1 の生成画像の学習回数と正答率の推移

表—6 生成画像各 CASE の学習回数と正答率の関係

除錆度		CASE1	CASE2	CASE3
Sa1	epoch	15	498	2000
	accuracy	37.50	100.00	98.44
Sa2	epoch	20	496	2000
	accuracy	75.00	100.00	98.44
Sa2 1/2	epoch	20	495	2000
	accuracy	35.94	100.00	100.00
Sa3	epoch	15	600	2000
	accuracy	59.38	100.00	96.88

数 (epoch) は変動しながら推移するため一律でない値をとっており, CASE1 は accuracy が 30 ~ 75% 程度で 20epoch 程度の場合, CASE2 は accuracy が何度も 100% となり学習が収束したと判断した場合, CASE3 は CASE1 よりさらに学習を進め, 過剰に学習を繰り返すことにより, 生成器がデータセットとほぼ同じ特徴の画像ばかり生成するモード崩壊が予測される場合である。データセットと類似した画像は, 除錆度判定システムの汎化性能の向上を目的とした教師画像として不適切であるため, 画像間の類似度が小さく, モード崩壊が発生していない画像を判別する必要があるが, GAN を用いて生成した画像の評価は目視で確認する方法以外に確立されていない。そこで本稿では, 構造的類似性指標 SSIM (Structural SIMilarity) により, 生成画像の教師画像との類似度を評価した。SSIM は, 比較で用いる画像を小領域で切り取り, 輝度, コントラスト, 構造の変化を比較した値で, 以下の式 (5) により算出される。

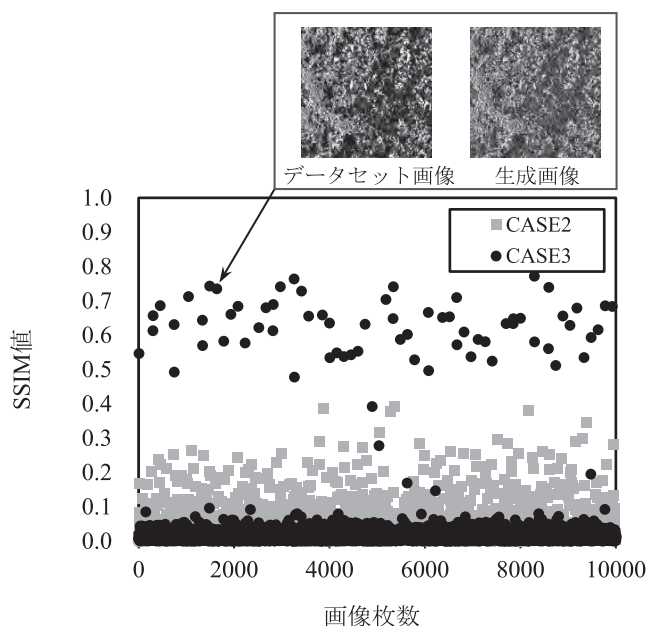
$$SSIM = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (5)$$

ここに, 2 枚の比較画像をそれぞれ x, y とすると, μ_x, μ_y は小領域内の画素値の平均, σ_x, σ_y は標準偏差, σ_{xy} は共分散である。また, C_1 および C_2 は, 分母の値が小さくなった際に出力値を安定させるための定数で

ある。この計算を小領域に対して全ピクセルで行い, その平均値が 0 に近いほど画像間の類似度が小さいことを示す。例として, Sa1 の SSIM 値を図—13 に示す。図—13 より, Sa1 の CASE3 では, CASE2 と比較すると, epoch 数の増加に伴い, SSIM 値が 0 に近づく。一方で, SSIM 値が 0.5 ~ 0.7 程度を示すデータセットに極端に類似した画像を 72 枚生成した。SSIM 値が 0.5 ~ 0.7 程度を示す結果の一部を図—13 に示す。生成器により生成された画像が, データセットに非常に類似した画像を生成していることが確認できる。この結果より, GAN を用いて画像を生成する場合, epoch 数の増加に伴う過学習によるモード崩壊によりデータセットに類似した画像が生成される可能性があるが, SSIM 値の算出により, 類似した画像を判別することが可能であることが確認された。

(3) 教師画像への適用

図—1 に示す除錆度判定システムの教師画像として, GAN により生成した画像が使用可能か検討するため, 除錆度判定システムの training data に生画像を混入させて構築した分類器によって test data の分類性能を試験した。validation data と test data は, 元画像から切り出した画像を各除錆度で 25 枚とした。分類性能は, 式 (1) から式 (4) で定義される指標で評価した。training data は除錆度毎に 100 枚とし, GAN により生成した画像を混入させた枚数の割合と分類性能指標の評価結果を表—7 に示す。教師画像 100 枚がすべて GAN により生成した画像の場合, 分類精度はやや低下するものの, 生成した画像を



図—13 GAN により生成した Sa1 画像の SSIM 値

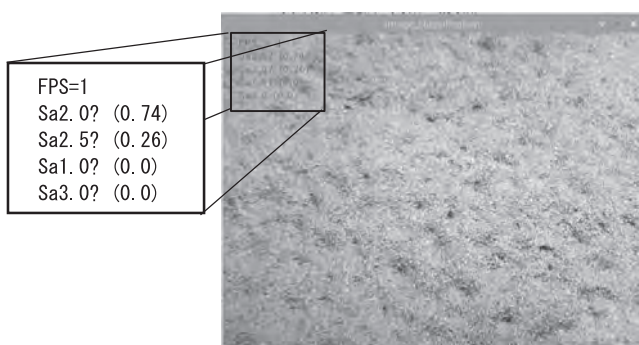
表一 教師画像に混入した生成画像の割合と結果

混入割合 [%]	正解率	再現率	適合率	F 値
0	1.00	1.00	1.00	1.00
10	0.95	1.00	0.90	0.95
20	0.97	1.00	0.94	0.95
30	0.89	0.85	0.94	0.97
40	0.97	1.00	0.94	0.90
50	0.97	1.00	0.94	0.97
60	0.97	1.00	0.94	0.97
70	0.97	1.00	0.94	0.97
80	0.97	1.00	0.94	0.97
90	0.98	1.00	0.96	0.98
100	0.85	0.93	0.76	0.84

90%混入した場合であっても、分類性能指標の4つの定量的な指標で90%以上の値を得られていることから、GANにより生成された画像は、教師データとして使用可能であることが示唆された。

5. 実装

構築した除錆度判定システムを現場に適用するため、Raspberry Piを用いたエッジ AIにより、実装の可能性を検討した。学習モデルをデバイスにデプロイするため、学習モデルを軽量化し、モデル形式を.pb形式から.tflite形式に変換した。この際、メタデータを挿入し、ラベルリストを作成した。図一14にRaspberry Piのエッジ AIによる除錆度判定の状況を示す。デバイス上部に付属するカメラによって鋼材表面を撮影すると、撮影された映像から物体認識の要領で、リアルタイムに除錆度が分類される。カメラで撮影された映像は、スクリーンに映し出され、画面左上に赤字で表示されるグレード毎の確率によって、除錆度を判断することが可能となる。



図一 14 Raspberry Piのエッジ AIによる実装例

6. おわりに

本稿では、腐食した耐候性鋼材（さび度 D）の素地調整時の除錆度の程度を分類する除錆度判定システムを CNN および ViT で学習モデルを構築した結果を報告した。本研究で得られた結論をまとめる。

- (1) 限られた画像枚数であっても、高精度に除錆度のグレードを4種類に分類するシステムを CNN と ViT で構築することができた。精度検証における認識結果は、すべての指標で80%以上であることから、十分な精度を有していることが確認できた。
- (2) Grad-CAM と Attention Map により、構築した除錆度判定システムは特徴が多い Sa1 及び Sa2 では、凹凸や黒ずみを判断し、特徴の少ない Sa2 1/2 及び Sa3 は色を判断して分類しており、グレード毎に明確な判定基準のもと、除錆度を分類していることから、除錆度の判定に深層学習が適用可能であることが示唆された。
- (3) GAN を用いて、除錆度判定システムの汎化性能の向上を目的として、教師画像生成を試みた。システムの汎化性能の向上のためには、データセットと類似した画像の生成は不適切であるため、SSIM 値を用いた生成画像と教師画像の類似度の評価からモード崩壊による教師画像の強化に不適切な画像を判別することが可能であることを確認した。また、GANにより生成した画像を用いて教師画像を強化することによって、除錆度判定システムの汎化性能の向上を図ることが可能であることを確認した。
- (4) Raspberry Pi によって、構築したシステムの現場への実装の可能性を示すことができた。

謝 辞

本研究にあたり、腐食した耐候性鋼材のブラスト後の貴重な画像データと除錆度の分類結果を日鉄防食(株)より提供いただいた。

JICMA

《参考文献》

- 1) 国土交通省：国土交通白書 2023, 令和5年6月30日。
- 2) 国土交通省：i-Construction2.0～建設現場のオートメーション化～, 令和6年4月16日。
- 3) 大屋 誠, 諏訪太紀, 河原達哉, 武邊勝道, 広瀬 望：深層学習を用いた鋼構造物の指示調整時の除錆度判定システム, AI・データサイエンス論文集, 2巻, J2号, pp.771-776, 2021。
- 4) 河原達哉, 大屋 誠, 武邊勝道, 広瀬 望：耐候性鋼橋梁の素地調整時の除錆度判定における Vision Transformer の適用に関する検討, AI・データサイエンス論文集, 4巻, 3号, pp.20-25, 2023。

- 5) 河原達哉, 大屋 誠, 武邊勝道, 広瀬 望: 耐候性鋼橋梁の除錆度判定への深層学習の適用に関する検討, AI・データサイエンス論文集, 3巻, J2号, pp.248-254, 2022.
- 6) 小瀧初音, 河原達哉, 大屋 誠, 武邊勝道, 広瀬 望: 敵対的生成ネットワークを用いた耐候性鋼橋梁の素地調整画像生成, AI・データサイエンス論文集, 3巻, J2号, pp.287-291, 2022.
- 7) 土木学会技術推進機構 SIP インフラ連携委員会: インフラ維持管理へのAI技術適用のための調査研究報告書, 2019.

[筆者紹介]

大屋 誠 (おおや まこと)
松江工業高等専門学校
環境・建設工学科
教授



河原 達哉 (こうばら たつや)
長岡技術科学大学
大学院修士課程 工学専攻環境社会基盤工学分野
大学院生



小瀧 初音 (こだき はつね)
アイコンヤマト(株)
システム推進



建設分野における言語モデルの自動評価に向けた研究

藤 井 純一郎・緒 方 陸

大規模言語モデル（Large Language Model, 以下 LLM）の発展を受けて、建設分野においても LLM を活用した業務効率化が期待されている。活用にあたっては業務要件に基づき定量評価を行った上で適切な LLM を選択することが重要となるため、LLM の自動評価手法の確立が求められる。

しかし LLM で生成した文章の自動評価には課題が残っており、特に建設分野の専門知識を含む文章の自動評価は、まだ黎明期にある。本研究は、建設分野において専門知識の文脈を考慮して文章を生成できるかを測る評価手法の確立に向けた初歩的な研究である。QA タスクにおいて、本研究で提案する手法も含めて複数の自動評価手法について人手評価と比較し、自動評価の現状と今後の展望について述べる。

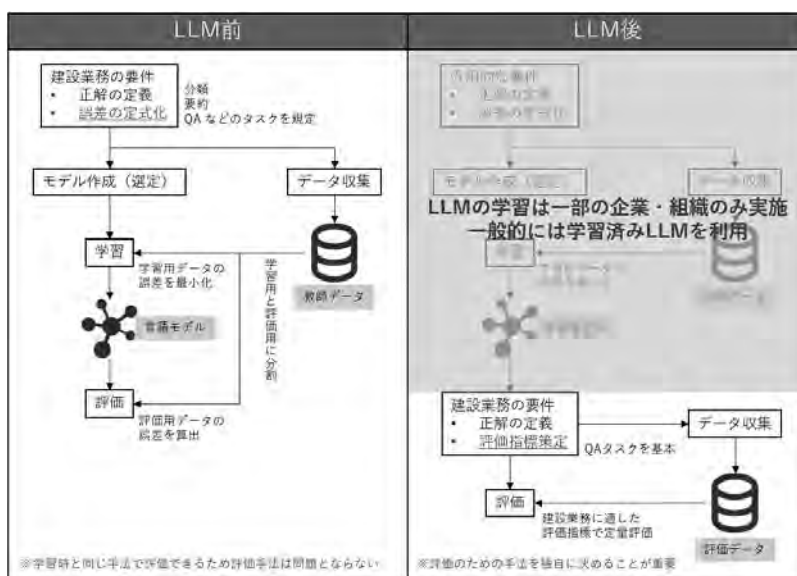
キーワード：自然言語処理、大規模言語モデル、文章生成、自動評価

1. はじめに

ChatGPT をはじめとして、LLM の発展が目覚ましい。LLM は特定のドメインのテキストでなく、web 等から収集した膨大なラベルなしテキストを学習した汎用モデルであり、自然な文章を生成できる。そのため、メール自動作成、要約作成、チャットボットなど、さまざまな応用が進んでいる。LLM 登場以前は、タスクに応じて教師データを作成しタスクに特化したモデルの学習やファインチューニングを行うことが一般的であったが、特に ChatGPT 登場後は LLM 自体は

変更せずにプロンプトエンジニアリングや Retrieval-Augmented Generation などにより LLM の能力を活用する研究や事例が多くなった。すなわち、言語モデルを「どう作るか」から「どう使うか」にパラダイムが大きく変わったと感じている。

業務に自然言語処理を適用することを考えると、従来はタスクに適用させる段階で教師データを作成するため、それらのデータの一部を用いることで精度評価が可能であった。一方で LLM を業務に適用する場合、エンドユーザーは教師データを保有していないため、精度評価を行うための手法やデータはユーザーが用意



図一 言語モデルを業務適用するフローのイメージ (LLM 前後で評価手法の位置づけが大きく異なる)

する必要がある。従って LLM のパラダイムにおいては、言語モデルや教師データよりも、(特に LLM を活用する上で一般的な QA タスクでの) 評価指標や評価データがより重要になると考える(図—1)。

ただし、QA タスクで生成された回答は正解が一意に決まるものではないため、定量評価は簡単ではない。それが建設分野の専門知識を含む場合は尚更である。

建設分野における自然言語処理活用研究例は増加している^{1)~5)}が、いかに建設分野へドメイン適応させるかに焦点を当てた研究が多く、言語モデルの文章生成能力の評価には重きが置かれていない。また、建設用語を含む文章の正確性を評価する手法の確立やデータセットの整備は課題としても指摘されている²⁾。評価手法の一つとして、人手評価はよく用いられるが、時間的・金銭的成本が高い。そのため、研究・開発の加速へ向けては自動評価手法が求められる。自動評価のためのデータや指標が確立すれば、新たな LLM が公表された際に自動で評価を行い、最適な言語モデルを選択する助けとなるであろう。

本研究は、建設分野において、言語モデルが適切に文章を理解し、専門知識の文脈を考慮して文章を生成できるかを測る評価手法の確立に向けた初歩的な研究である。QA タスクにおいて、本研究で提案する手法も含めて複数の自動評価手法について人手評価と比較し、自動評価の現状と展望について論じる。

2. 自動評価手法

(1) LLM を用いない評価手法

QA タスクに適用可能な自動評価手法として、以下が挙げられる。誌面の都合上、手法の詳細は参考文献を参照されたい。ただし、建設分野の専門的な文章に適用する場合、既存研究では類義語の判定が困難なことや、専門用語を多く含む文章の評価が難しいという問題が指摘されている。

・ BLEU⁶⁾

単語の一致度に着目し、生成文章の単語のうちどの程度が正解に含まれるか評価する指標

・ ROUGE⁷⁾

単語の一致度に着目し、正解の単語のうちどの程度が生成文章に含まれるか評価する指標

・ BERTScore⁸⁾

単語そのものでなく BERT の埋め込み表現を利用して、正解と生成文章の類似度を評価する指標

(2) LLM を用いた自動評価

近年では自動評価手法として大規模言語モデル(LLM)を用いた手法の研究が進められている。発展途上の分野であるため、標準的な手法は確立していないが、LLM の進展に伴い(1)で挙げた問題を解決できる可能性がある。建設分野の少量の QA データセットを用いて自動評価を行うことを想定すると、学習不要かつ正解データを参照して評価を行える手法が望ましい。このような手法としては G-Eval⁹⁾と呼ばれる手法が挙げられる。ただし、G-Eval も LLM が生成した回答をより好む傾向があることや、より長く冗長な回答を好むといった問題が指摘されている点には留意が必要である。

・ G-Eval

GPT-3.5 や GPT-4 の出力スコアの確率を使用し、それらの加重合計を最終結果として得る方法

3. 自動評価手法の比較実験

(1) 概要

現時点では建設分野の専門知識を含む文書の評価は、人手評価が最も信頼度が高いという前提に立ち、人手評価を正解とした。その上で各種自動評価指標がどの程度人手評価に近いかを比較する実験を行った。なお、実験内容は筆者らの先行研究⁴⁾から一部抜粋したものである。

(2) データセット

評価用データセット作成にあたり、国土技術政策総合研究所の資料¹⁰⁾を用いた。当資料は橋梁設計分野の実務においても使用され、橋梁計画における基本条件設定やリスク評価について記載された資料である。

表—1 QA データセット サンプル

Question	Answer
鋼橋の種類を教えてください	鋼橋には、桁橋、トラス橋、アーチ橋、ラーメン橋、斜張橋、および吊橋等がある。
鋼桁橋の構造上の特徴を教えてください	・ 鋼桁橋の主桁は、充腹の I 形断面、 π 形断面及び箱形断面を基本とする。 ・ 床版は、鋼床版、コンクリート系床版がある。
鋼橋でかつコンクリート系床版を有する桁橋の構造上の特徴を教えてください	・ コンクリート系床版を有する桁橋は、鋼の主桁と、床版を接合して桁とした構造。 ・ 鋼主桁は、充腹の I 形断面、 π 形断面及び箱形断面を基本とする。 ・ コンクリート系床版には、RC 床版、鋼コンクリート合成床版、PC 床版などがある。

この資料から人手により、自然言語処理分野で一般的なタスクである Closed-book QA タスクのデータセット(全 50 件)を作成した。参考として例を表―1 に示す。なお、作成においては資料の文章から抜き出したものを正解の回答とし、LLM 自体が知識を保有(学習してパラメータに暗黙的に保持)していれば回答できる内容となっている。また前提として、ユーザーが Question を入力した際に欲しい回答として Answer を想定している。作成したデータセットは J-STAGE Data に公開した¹¹⁾。

(3) 実験方法

文章生成モデルには Llama 2 -Chat (7B)¹²⁾, GPT-3.5-turbo¹³⁾, GPT-4¹⁴⁾, PaLM 2 (Bison)¹⁵⁾ を使用した。また入出力は日本語とし、以下をプロンプトとして与えた。なお、 $\{q\}$ は QA データセットの質問を表す。

指示：
橋梁設計技術者として、以下の質問に“日本語で”回答してください。
制約：
- 単語や文章を 3 回以上繰り返す出力は禁止します。
- 日本語以外の言語の出力は禁止します。
質問： $\{q\}$
回答：

上記プロンプトで生成したテキストを用い、次節で述べる人手評価と各種自動評価手法を比較した。両結果の比較には Spearman の順位相関係数を用い、どの自動評価手法が人手評価に近いかを評価した。な

お、回答の生成は全てのモデルで一度のみ行った。

(4) 評価方法

(a) 人手評価

人手評価は半自動のキーワード評価を組み合わせる形で実施した。自動でキーワード評価を実施する場合は専門用語の抽出が問題となるため、まず著者が人手で正解の回答からキーワードを抽出することでこの問題に対処した。次に、抽出したキーワードが生成した回答にどの程度含まれるかを算出し、その割合を keyword score とした。なお、正解および生成した回答に含まれるキーワードはユニークなものをを用いた。キーワード評価後、土木工学系大学院生 4 名によりモデルが生成した文章を 5 段階で評価した。評価基準は表―2 に示す。4 名の作業員間の評価結果に相関があることを確認し、これらの平均を正解スコアとした。

(b) 自動評価

本研究では既往手法として、2 章に挙げた自動評価手法を用いる。LLM を用いない手法としては BLEU-4, ROUGE-1 / ROUGE-2 / ROUGE-L, BERTScore の F1 値を算出した。LLM を用いる手法の G-Eval については、原著論文では Coherence, Consistency, Fluency, Relevance の 4 種類の値を提案しているが、本研究では「言語モデルが適切に文章を理解し、土木分野の文脈を考慮して文章を生成できるか」を測るため、生成されたテキストの内容を評価する Relevance のみを採用した。

既往手法に加え、本研究では G-Eval をベースに下

表―2 人手評価基準

SCORE	評価基準
1	キーワードを含まず (keyword score < 0.3), 回答の大半 ($\geq 50\%$) は誤り, または致命的な (橋梁設計業務に支障をきたす可能性のある) 誤りがある, もしくは不要な文章 (質問文や単語の繰り返しなど) を含む
2	キーワードを含まず (keyword score < 0.3), 回答の一部 (< 50%) は誤り
3	キーワードを含まない (keyword score < 0.3) が, 誤りではない
4	キーワードを一部 (keyword score < 0.5) を含み, 誤りではない回答
5	キーワードの大半 (keyword score ≥ 0.5) を含み, 正解と同じ意味の回答

表―3 実験対象の評価手法

	手法	プロンプト	評価モデル
既往手法	BLEU	—	—
	ROUGE-1	—	—
	ROUGE-2	—	—
	ROUGE-L	—	—
	BERTScore	—	—
	G-Eval	原著論文のものを和訳	GPT-4
提案手法	提案 -gpt4	下記	GPT-4
	提案 -gemi	下記	Gemini-Pro

あなたには質問と正解、およびモデルが生成した回答の一つのセットが与えられます。
あなたの課題は、モデルが生成した回答を1つの指標で評価することです。
以下の指示をよく読み、理解してください。レビュー中はこの文書を開いておき、必要に応じて参照してください。

評価基準：

スコア (1-5) - モデルが生成した回答が正解に、意味的に類似していること。モデルが生成した回答には、正解の土木工学的な観点で重要なキーワードを含めること。モデルが生成した回答が正解のキーワードを含んでいなければ、スコアは1となる。モデルが生成した回答が正解のキーワードを多く含み、誤りを含まなければスコアは5となる。評価者は、質問文や英語の文章、誤りなど不要な情報を含む回答にはペナルティを課すよう指示されている。

評価ステップ：

1. 正解とモデルが生成した回答を形態素解析し、キーワードを特定する。
2. 特定したキーワードの重なり具合を評価する。
3. モデルが生成した回答が正解に土木工学的観点で意味的にどの程度類似しているかを評価する。
4. ステップ2およびステップ3の評価をもとに、評価基準に従いスコアを1から5の間で割り当て、スコアの根拠も特定する。
5. ステップ4で割り当てたスコアを float 型の数値を回答する。

質問：

`||Question||`

正解：

`||Reference||`

モデルが生成した回答：

`||text||`

評価様式 (スコアのみ)：

- スコア：

記の改善を試み、表—3に示す評価手法を実験した。

- ・表—2に示す基準を踏まえてプロンプトを調整
- ・評価モデルを GPT-4 から Gemini-Pro に変更

4. 実験結果と考察

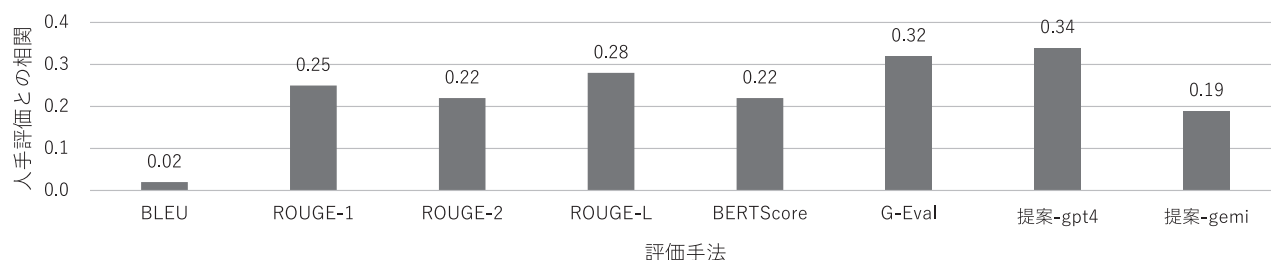
実験対象とした8種類の自動評価指標の人手評価との相関の平均値を図—2に示す。全体として、各種自動評価結果の人手評価との類似度は低く、最も高いスコアは提案-gpt4の0.34に留まる。従って現状では、いずれの自動評価手法も人手の評価には及ばない。その中で LLM を用いた評価手法、特に GPT-4 を用いた手法 (G-Eval, 提案-gpt4) が比較的人手評価との相関が高かった。一方で評価モデルを GPT-4 よりもパラメータ数の少ない Gemini に変更するとスコアが下がる結果となった。このことから、自動評価に用いる

LLM の性能が上がれば、人手評価に近づく可能性があると考えられる。

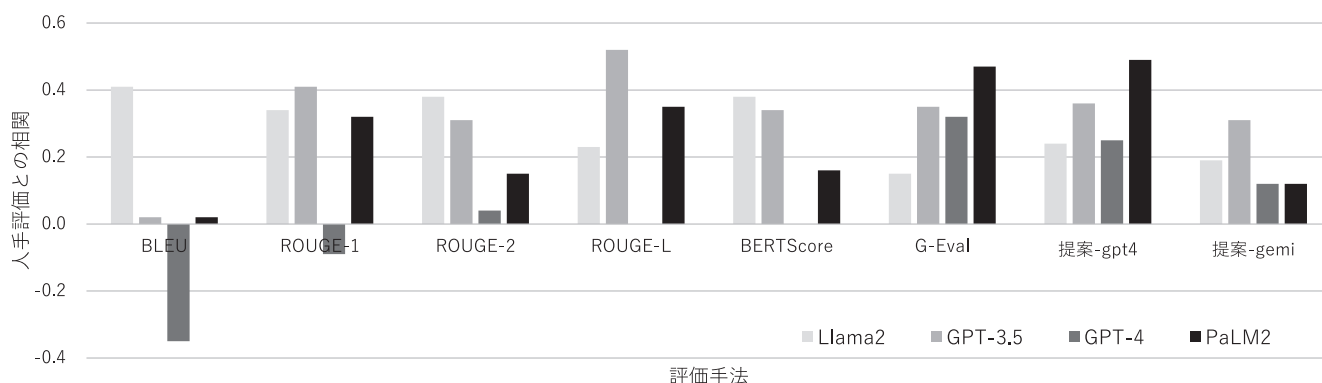
また、回答生成に用いた Llama 2, GPT-3.5, GPT-4, PaLM 2 などの違いを見ると、ベストの評価指標がすべて異なる結果となった (図—3)。GPT-4 を用いた手法も Llama2 の回答に対しては他手法に比べてスコアが劣っている。従って現時点で必ずしも GPT-4 を用いた手法が優位とは言えない。これは LLM により、文章の長短や冗長な繰り返しの有無、文体の違いなど、生成される回答の特徴が異なるが、自動評価ではそれらの影響を受けてしまうことが理由と考えている。

5. おわりに

本稿では、建設分野の QA タスクにおいて、既往の自動評価手法と本研究で提案する自動評価手法につ



図—2 評価手法別の人手評価との相関



図一 回答別・評価手法別の人手評価との相関

いて人手評価と比較し、どの手法が土木分野において適切な評価が可能かを検討した。現状では人手評価に対して自動評価の信頼度は劣るため、すぐには自動評価を実用することは難しいと判断している。

その中で LLM を用いた自動評価手法は相対的に人手評価との相関が高く、特に GPT-4 を用いた手法はスコアが高かったことから、自動評価に LLM を活用することの有効性が示唆される。今回の結果から、将来的に LLM 自体の性能が上がることで、自動評価の信頼度も上がることが期待できる。

建設分野での自然言語処理の活用はまだ緒に就いたばかりである。今後、活用を加速していくためには、LLM の自動評価手法を確立し、業務に応じて適切な LLM を定量的に評価できることが重要と考える。そのため、今後も継続して自動評価手法の研究を進める所存である。

JCM

【参考文献】

- 箱石健太, 一言正之, 菅田大輔. 土木分野における事前学習モデル BERT による精度検証. 土木学会論文集特集号 (土木情報学), 79 巻 22 号, 22-22042, 2023.
- 藤井純一郎, 緒方陸, 天方匡純. LLM を土木分野に適用するための基礎的研究, pp.779-785, AI・データサイエンス論文集, 4 巻 3 号, 2023.
- 菅田大輔, 箱石健太, 一言正之. 土木・建設分野における大規模言語モデルの利活用に向けた検証と考察, pp.670-676, AI・データサイエンス論文集, 4 巻 3 号, 2023.
- 緒方陸, 大久保順一, 藤井純一郎, 天方匡純. 土木分野における LLM を用いた言語モデル評価手法の提案, pp.2079-2084, 言語処理学会第 30 回年次大会発表論文集, 2024.
- 緒方陸, 大久保順一, 藤井純一郎, 天方匡純. 土木分野における言語モデル評価指標の検討, pp.66-76, AI・データサイエンス論文集, 5 巻 1 号, 2024.
- Kishore Papineni, Salim Roukos, Todd Ward, and Wei-Jing Zhu. BLEU: A method for automatic evaluation of machine translation. In Proceedings of the 40th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, pp. 311-318, 2002.
- Chin-Yew Lin. ROUGE: A package for automatic evaluation of summaries. In Proceedings of the ACL Workshop: Text Summarization Branches Out, pp. 74-81, 2004.
- Tianyi Zhang, Varsha Kishore, Felix Wu, Kilian Q. Weinberger, and Yoav Artzi. BERTScore: Evaluating text generation with BERT. In Proceedings of the Eighth International Conference on Learning

Representations, 2020.

- Yang Liu, Dan Iter, Yichong Xu, Shuohang Wang, Ruochen Xu, Chenguang Zhu. G-Eval: NLG Evaluation using Gpt-4 with Better Human Alignment. In Proceedings of the 2023 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, pages 2511-2522, Singapore. Association for Computational Linguistics, 2023.
- 国土技術政策総合研究所国土交通省. 道路橋の設計における諸課題に関わる調査 (2018-2019). 国土技術政策総合研究所資料, No.1162, 2021.
- Question Answering (QA) for bridge design. (オンライン) (引用日: 2024.6.5.) <https://doi.org/10.50915/data.jsceiii.25459144.v2>
- Hugo Touvron, Louis Martin, Kevin Stone, Peter Albert, Amjad Almahairi, Yasmine Babaei, Nikolay Bashlykov, Soumya Batra, Prajwal Bhargava, Shruti Bhosale, Dan Bikel, Lukas Blecher, Cristian Canton Ferrer, Moya Chen, Guillem Cucurull, David Esiobu, Jude Fernandes, Jeremy Fu, Wenyin Fu, Brian Fuller, Cynthia Gao, Vedanuj Goswami, Naman Goyal, Anthony Hartshorn, Saghar Hosseini, Rui Hou, Hakan Inan, Marcin Kardas, Viktor Kerkez, Madian Khabsa, Isabel Kloumann, Artem Korenev, Punit Singh Koura, Marie-Anne Lachaux, Thibaut Lavril, Jenya Lee, Diana Liskovich, Yinghai Lu, Yuning Mao, Xavier Martinet, Todor Mihaylov, Pushkar Mishra, Igor Molybog, Yixin Nie, Andrew Poulton, Jeremy Reizenstein, Rashi Rungta, Kalyan Saladi, Alan Schelten, Ruan Silva, Eric Michael Smith, Ranjan Subramanian, Xiaoqing Ellen Tan, Binh Tang, Ross Taylor, Adina Williams, Jian Xiang Kuan, Puxin Xu, Zheng Yan, Iliyan Zarov, Yuchen Zhang, Angela Fan, Melanie Kambadur, Sharan Narang, Aurelien Rodriguez, Robert Stojnic, Sergey Edunov, Thomas Scialom. Llama 2: Open foundation and fine-tuned chat models. arXiv preprint arXiv: 2307.09288, 2023.
- OpenAI. GPT-3.5. (オンライン) (引用日: 2024.1.11.) <https://platform.openai.com/docs/models/gpt-3-5>.
- OpenAI. GPT-4 Technical Report. arXiv preprint, arXiv: 2303.08774v3, 2023.
- Google. PaLM 2 Technical Report. arXiv preprint arXiv: 2305.10403, 2023.

【筆者紹介】

藤井 純一郎 (ふじい じゅんいちろう)
八千代エンジニアリング(株)
技術開発研究所 AI 解析研究室
室長



緒方 陸 (おがた りく)
八千代エンジニアリング(株)
技術開発研究所 AI 解析研究室
主任研究員



LLM の土木・建設分野への利活用

菅 田 大 輔・箱 石 健 太・一 言 正 之

本稿では、土木・建設分野における大規模言語モデル（LLM）の利活用を目的として、文書特化型チャットボットやテキスト埋め込み技術の利活用の観点から検証を行った。その結果、文書特化型チャットボットは、土木・建設分野の文書に即した正確な回答が可能であることを確認できた。また、テキスト埋め込み表現モデルは土木・建設分野のテキストに対しても適用性があることを確認した。さらに、土木・建設分野のテキストのベクトル値を学習した機械学習モデルを活用することで、高い精度で分類ができる可能性が示唆された。

キーワード：生成 AI、大規模言語モデル、テキスト埋め込み表現、機械学習、プロンプトエンジニアリング

1. はじめに

土木・建設分野には河川砂防技術基準といった技術基準書やマニュアル、ガイドラインなど、膨大な文書データが存在する。これらの文書データから必要な情報を迅速かつ正確に取得できることは、生産性向上の観点から重要である。

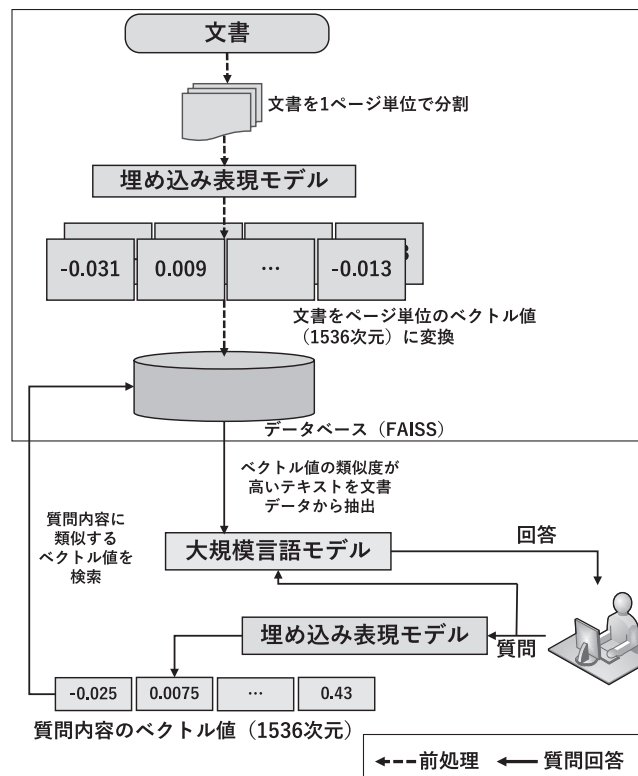
そのような中、ChatGPT を始めとする大規模言語モデル（以下、LLM）の質疑応答性能、埋め込み表現性能の高さは近年注目を集めている。土木・建設分野で扱われる専門用語の意味などを踏まえた LLM との対話により、効率的な情報抽出が可能となれば、先述した課題を解決できる可能性がある。

そこで、本稿では土木・建設分野で取り扱われる文書データに特化したチャットボットを構築し、質疑応答タスクの性能を検証した。また、質疑応答以外のタスクにおける LLM の適用性や精度も検証するため、公共工事に活用される複数の新技術¹⁾の概要文に対し、テキスト埋め込み技術を適用し、類似する情報抽出タスクの性能を検証した。さらに、土木・建設分野特有の文章が属する区分を分類するタスクを設定し、プロンプトエンジニアリングや機械学習モデルを用いて検証を行った。なお、全ての検証タスクに共通して用いた LLM やテキスト埋め込み技術は、Azure Open AI Service²⁾の提供するモデルとした。

2. 文書特化型チャットボットの利活用

(1) 文書特化型チャットボットの構成

LLM の知識は訓練データに限定されているため、LLM に問いかける質問の内容によっては事実に基づかない回答を生成する（ハルシネーションを発生する）可能性がある。本検証ではこのようなハルシネーショ



図—1 文書特化型チャットボットの構成

ンの発生を抑制するため、RAG (Retrieval-Augmented Generation：検索拡張生成)³⁾に基づく文書特化型チャットボットを構築した。具体的には、土木・建設分野の文書データを格納した外部データベースから質問内容に関連する情報を取得し、その情報を基に回答用の文章を生成する構成でチャットボットを構築した(図—1)。チャットボットの処理の詳細は次項に示す。なお、LLMはgpt-3.5 turboを使用した。

(a) 前処理

はじめに、文書データ(pdf ファイル)を1ページ単位に分割する。次いで、テキスト埋め込み表現モデル(本稿では、Azure OpenAI Serviceが公開する埋め込み表現モデルの中で高性能なものの1つであるtext-embedding-ada-002を使用)を通じ、ページ毎に記載されたテキストを数値ベクトル(1536次元)に変換する。その後、数値ベクトルのインデックスをFAISSの提供するデータベースに格納する。なお、FAISSとはMeta社が開発したベクトルの類似検索・クラスタリングのためのライブラリである。

(b) 質問応答処理

ユーザが行う質問内容のベクトル値に対し、FAISSに格納されたベクトル値のインデックスから類似度が高いテキストを検索する。その後、LLMは、質問内容と抽出したテキストを結合したうえで、回答内容を生成する。なお、質問内容のベクトル値生成にはマニュアル同様、text-embedding-ada-002を用いた。加えて、LLMに事前に与えたインストラクションには「答えが分からない場合は、答えを作ろうとせず、分からない旨を回答すること」という内容を含めた。

(2) 検証結果と考察

前節の構成を基に、文書特化型チャットボットを構築した。また使用した文書は、NETISの独自ルールが記載された「公共工事等における新技術活用システム」申請マニュアル(令和4年3月)とした。

本検証では、当該マニュアルの記載内容を踏まえた質問内容を作成し、回答を生成した。表—1に示す生成結果より、総じて申請マニュアルの記載内容に即した正確な回答ができていることが確認できた。また、敢えて申請マニュアルに記載されていない質問を行ったところ、「詳細については文書中には触れられていないため、正確な回答をすることはできません。」という回答が生成された(表—1の番号3)。このように回答生成に必要な情報を参照できないケースでは、チャットボットが回答を生成しないことを確認した。これは、チャットボットで事前に設定したインストラクションに「答えが分からない場合は、答えを作ろうとせず、分からない旨を回答すること」と記述した内容が反映されているものと考えられる。

(3) 今後の課題

本稿では、生成内容の正確性を定性的に評価したが、今後は生成内容の妥当性を評価するための定量的かつ適切な指標が必要となる。また、本稿では質問内容に関連する情報を検索するために、ベクトル検索を用いた。生成内容の正確性を更に高める手法として、HyDE(Hypothetical Document Embeddings)に基づくベクトル検索、全文検索とベクトル検索を組み合わせたハイブリッド検索、セマンティックハイブリッド検索など複数の検索手法が提案されている。検索手法を変更した場合の精度検証も今後課題と考えられる。

表—1 NETIS マニュアルに関する質問及びその回答内容

番号	質問内容	回答内容
1	NETISに登録されている評価情報とはどのような情報ですか。	NETISに登録されている評価情報は、新技術を活用して行われた公共工事等での事後評価結果に関する情報です。具体的には、新技術の優位性、安定性、現場適用性、技術特性などを総合的に評価した結果が含まれます。また、評価情報には、事前審査の結果に関する情報も含まれます。
2	NETIS(評価情報)の掲載期間を教えてください。	NETIS(評価情報)の掲載期間は、掲載された日の翌年度の4月1日から起算して5年を経過した日までとされています。ただし、活用効果評価が実施されてNETIS(評価情報)に反映された場合は、掲載期限が変更され、NETIS(評価情報)に反映した日の翌年度の4月1日から起算して5年を経過した日までとなります。
3	NETIS登録番号には何か意味があるのですか。	文脈から判断する限り、NETIS登録番号は技術に対して付与される番号であり、ある種の識別子として機能しているようです。詳細については文書中には触れられていないため、正確な回答をすることはできません。

3. テキスト埋め込み技術の利活用

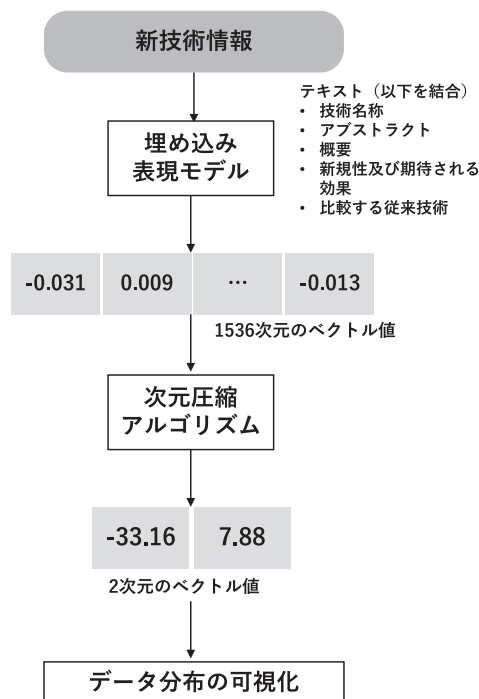
(1) テキスト埋め込み技術とは

テキスト埋め込み技術とは、テキストの意味を多次元の数値ベクトルに変換する技術である。一般的に類似した意味を有するテキストがある場合、それらは近接したベクトルとして表現される。

本稿では、LLM が土木・建設分野のテキストから類似する情報を抽出できるかを検証するため、NETIS で公開されている複数の新技術の説明文に対してテキスト埋め込み技術を適用した。NETIS 利用を想定した場合、利用者が閲覧中の新技術に類似する新技術を、テキスト埋め込みを通じて推薦表示できれば、公共工事に活用する新技術の比較検討の支援が期待できる。

(2) 検証の流れ

テキスト埋め込みを用いた新技術のベクトル化の検証フローを図一2に示す。はじめに、新技術情報を説明したテキストを1件ずつ、テキスト埋め込み表現モデル（本稿では、text-embedding-ada-002 を使用）を介し、ベクトル値に変換する。ベクトル値は1536次元の多次元情報であり、このままでは意味の類似する技術情報が近接配置されているかを検証できない。そこで、次元圧縮アルゴリズムのt-SNE (t-Distributed Stochastic Neighbor Embedding)⁴⁾ を適用し、2次元にデータを変換の上、その分布を図化する。なお、新技術を説明するテキストは、技術名称、アブストラクト、概要、新規性及び期待される効果、比較する従来技術

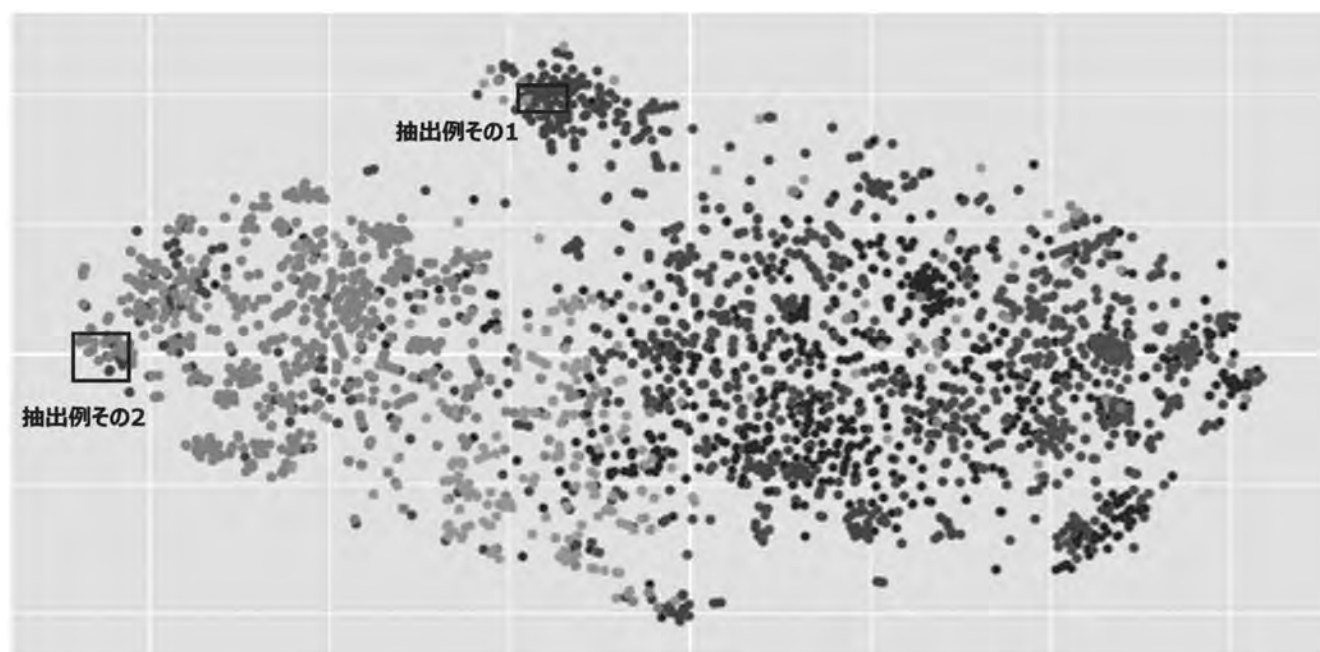


図一2 テキスト埋め込みを用いた新技術のベクトル化の検証フロー

技術を結合したものとした。

(3) 結果と考察

新技術情報の全件を図化した結果を図一3に、図一3の枠で囲った抽出事例を図一4と図一5に示す。図一4ではLED照明灯や警告灯といった照明関連の新技術が近接して配置されていることが分かる。また、図一5では遠隔監視や遠隔臨場、連絡ツール等、遠隔操作に関する新技術が近接して配置されているこ



図一3 新技術情報の散佈図（全体像）

した。本検証では NETIS 登録された新技術情報が属する区分を分類させることとし、機械学習モデルには GBDT (Gradient Boosting Decision Tree : 勾配ブースティング決定木) で高い精度が報告されている Catboost⁵⁾ を採用した。

(1) 検証の流れ

機械学習モデルによる分類の流れを述べる。NETIS 登録された新技術のアブストラクトに対しテキスト埋込みを適用し 1536 次元に変換した数値ベクトルを機械学習モデルの訓練データとし、新技術の区分(製品, 工法, システム, 材料, 機械)を分類した。分類に際しては 5 分割交差検証を実施した(データ件数のうち 5 分の 4 が訓練データ, 残りがテストデータの構成)。本稿で検証したデータは, 区分ごとにデータ件数の偏りがあったため, 層化抽出法により分割データ内の区分割合を揃えた。

また, プロンプトエンジニアリングにより LLM で分類させるケースでは, プロンプトと新技術のアブストラクトを LLM の入力とし, 複数のプロンプトを設定した。具体的には, プロンプト内に回答事例を記述しない zero-shot learning, 回答事例を数例記述する few-shot learning, ペルソナ(職務内容や役職)などの設定を組合せた。

(2) 結果と考察

検証結果を表一 2 に示す。表一 2 の番号 1 ～ 3 で

表一 2 プロンプトエンジニアリング及び機械学習による土木・建設分野の文章の分類結果

番号	条件	正解率
1	zero-shot learning, ペルソナ設定無し	61.8%
2	zero-shot learning, ペルソナ設定有	63.9%
3	few-shot learning, ペルソナ設定有	68.2%
4	機械学習	73.0%

用いたプロンプトは表一 3 に示す。

プロンプトエンジニアリングによる分類を実施した番号 1 ～ 3 に着目すると, ペルソナを設定し, 且つ few-shot learning を適用した事例が最も分類精度の高い結果となった。また, 番号 4 の機械学習に着目すると, プロンプトエンジニアリングよりも, GBDT を用いた分類結果が最良であった。プロンプトエンジニアリングは, 本稿で取り上げた手法以外にも Chain-of-Thought プロンプティング等, 様々な手法がある。今回の検証では, プロンプトエンジニアリングよりも GBDT を用いた分類のほうが総じて高い結果となったが, プロンプトの設計次第では機械学習による分類を上回る可能性も考えられる。この点に関する検証は今後の課題としたい。

5. おわりに

本研究では, 土木・建設分野で取り扱われるテキストを用意し, LLM の利活用に向けた精度検証を行った。その結果, 土木・建設分野においても, 文書特化

表一 3 プロンプトの詳細

番号	条件	プロンプト
1	zero-shot learning, ペルソナ無し	次の文章を 1. 工法, 2. 材料, 3. 機械, 4. 製品, 5. システムのいずれか 1 つに分類してください。なお, 回答は番号のみで答えてください。また, 分類の説明は以下の通りです。 ・「工法」: 材料, 機械, 製品, システム等を組み合わせることにより, 工事の一部, あるいは全体を完遂させるに足る方法。 ・「材料」: 公共工事等において, 加工, 添加等されることにより用を成す原料, 資材。 ・「機械」: 公共工事等に用いる建設機械, 作業用機械。 ・「製品」: 公共工事等により製作, 築造される物を構成する一部材であり, 新たな加工を要さないもの。 ・「システム」: 材料, 製品, 機械等が体系的に組み合わせられ, 公共工事等における工法, 調査方法等を支援するものや, IT 等の先端技術を利用した情報システム, 施工管理や維持管理に利用するマネジメント技術などを指す。
2	zero-shot learning, ペルソナ有	あなたは, 優秀な土木技術者で, 土木建設分野の新技術に関する文章から, その新技術がどのジャンルに分類されるか推定することができます。 {以下, 番号 1 のプロンプト同様。}
3	few-shot learning, ペルソナ有	{番号 2 のプロンプト同様} {工法に関するアブストラクト} {工法} {材料に関するアブストラクト} {材料} ・ ・ {システムに関するアブストラクト} {システム}

型チャットボットやテキスト埋め込み表現の有効性が確認された。また、テキスト埋め込みによるベクトル値を入力とした機械学習モデルは、本検証におけるプロンプトエンジニアリングによる分類よりも精度が高いことを確認した。

J C M A

《参考文献》

- 1) 国土交通省：新技術情報提供システム（NETIS）ウェブページ
(<https://www.netis.mlit.go.jp/>)
- 2) Microsoft: Azure OpenAI Service ウェブページ
(<https://azure.microsoft.com/ja-jp/products/ai-services/openai-service/>)
- 3) Patrick Lewis, Ethan Perez, Aleksandra Piktus, Fabio Petroni, Vladimir Karpukhin, Naman Goyal, Heinrich Küttler, Mike Lewis, Wen-tau Yih, Tim Rocktäschel, Sebastian Riedel, Douwe Kiela, Advances in Neural Information Processing Systems 33, Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks, 2020.
- 4) Maaten, L. and Hinton, G.: Visualizing data using t-SNE, Journal of machine learning research, pp.2579-2605, 2008.
- 5) Prokhorenkova, Liudmila, et al. CatBoost: unbiased boosting with categorical features. Advances in neural information processing systems. 2018.

【筆者紹介】

菅田 大輔（すげた だいすけ）
日本工営㈱
研究員



箱石 健太（はこいし けんた）
日本工営㈱
研究員



一言 正之（ひとこと まさゆき）
日本工営㈱
課長



汎用資機材を組み合わせた形状調整システムによる現場施工の効率化と省人化

酒 井 匡・富 田 隆 史

東北地方整備局 能代河川国道事務所では、北東北の大動脈となる高規格幹線道路「日本海沿岸東北自動車道」の整備事業の一環として、能代地区線形改良事業を進めている。

この事業は、急勾配・急カーブによる事故発生区間の道路線形を改良し、日本海沿岸東北自動車道と一体となって交通の安全性向上と円滑化を図るものである¹⁾。

本稿では、この事業の一環である国道7号 切石高架橋上部工工事において、現地での鋼橋組立（地組）作業で実施した、汎用資機材を組み合わせた形状調整システムの構築・運用による現場施工の効率化と省人化の取り組み事例について報告する。

キーワード：DX, i-Construction, CIM

1. はじめに

（仮称）切石高架橋は、秋田県能代市に位置し、県道西目屋二ツ井線とJR奥羽本線を跨ぐ橋長192mの鋼5径間連続合成鈑桁橋であり、受注者が担当した上部工工事の施工範囲は、上部工の製作・架設工事である。

5主鈑桁構造である同高架橋の架設は、現地条件などから1主桁毎に2から3ブロックの主桁部材を地上ヤードで橋梁延長方向に連結（以降、地組）し、地組した主桁をクレーンで所定位置に架設する、地組併用トラッククレーンベント工法で行った。

本工法での架設完了後の出来形精度を確保するためには、地組出来形の精度確認と調整を繰り返しながら工場製作段階における仮組立出来形値を地組段階で再現する必要がある、この作業には一般に多くの労力と時間が必要となる。

そこで、受注者が保有するレーザー三次元計測システム簡測くん（NETIS：KT-140030-VR）（以降、本システム）と、集中制御により地組（主桁の組立）形状を調整できる地組形状調整システムを連携させた独自システムを構築して本工事の地組に運用することで、地組形状の調整量の自動算出から調整作業までをシームレス化し、作業の効率化を図るとともに地組に係る作業人員の大幅な削減を図った。

表—1 工事概要と工事内容及び工事数量

工事名	国道7号 切石高架橋上部工工事	
発注者	東北地方整備局（能代河川国道事務所）	
受注者	日本ファブテック(株)	
工 期	2021年10月13日～2023年2月14日	
工事場所	秋田県能代市	
工事内容 及 び 工事数量	工場製作工	: 500 t
	工場塗装工	: 9,200 m ²
	工場製品輸送工	: 500 t
	鋼橋架設工	: 350 t
	現場塗装工	: 500 m ²
	床版工（I形鋼格子床版）	: 700 m ² , 他

2. 工事概要

本工事の工事概要と工事内容及び工事数量を表—1に示す。

本稿では、工場製作段階と現地施工段階での地組に係る内容について記す。

3. 工場製作段階での取り組み

現地での地組に際しては、高精度かつ効率的に工場製作段階の仮組立出来形値を再現することが求められる。

そのために必要となる、工場製作段階における橋梁全体の仮組立シミュレーションから得られる仮組立出来形値を、以下の手順により設定した。

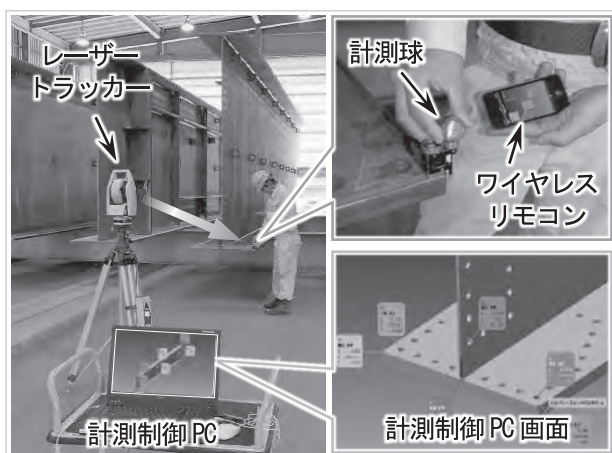
(1) 計測モデルの作成

工場で製作された部材は、部材毎に受注者の保有技術である本システムによる3次元部材計測を行い、その3次元部材計測から得られた出来形実測データを基にして計測モデルを生成した。

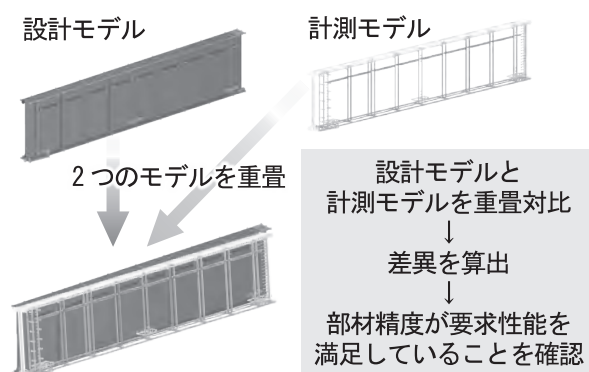
本システムは、レーザートラッカー（計測機本体から出ているレーザービームを計測球（リフレクター）に当てることで計測球の中心座標を精密に算出可能な3次元測定機）を利用した鋼構造物の出来形計測システムである。

また、一般的なトータルステーションなどで必要となる計測ターゲットの設置・撤去が不要で、計測球を測りたい任意の点に接触（設置）させるだけで3次元計測が行えるうえに、計測した点と設計モデルとのダイレクトな比較により、その場で出来形の良否判定が可能となる（図—1）。

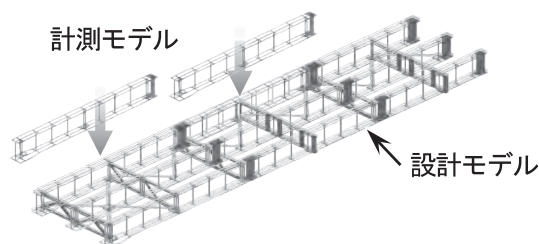
製作部材毎の計測時は、この本システムを用いて計測モデルを生成し、計測モデルと設計モデルをコンピューター（以降、PC）上で重畳対比し、それらモデルの差異を求めることで、製作部材毎の出来形精度（部材精度）が要求性能を満足していることを確認した（図—2）。



図—1 本システムの概要



図—2 設計モデルと計測モデルの重畳対比の概念



設計モデルに対して、計測モデルを誤差最小となるように配置して全体形状を調整
↓
仮組立出来形値を設定

図—3 橋梁全体の仮組立シミュレーションの概念

(2) 仮組立シミュレーションによる仮組立出来形値の設定

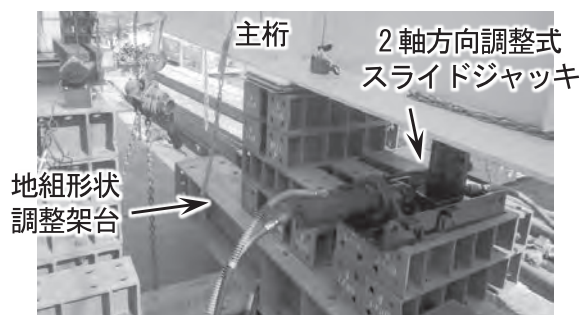
設計モデルで作成された橋梁全体のモデルに対して、部材毎の計測モデルを設計値との誤差が最小となるようにPC上で配置することで、橋梁全体の仮組立シミュレーションを行い、その結果を基に仮組立出来形値を設定した（図—3）。

4. 現地施工段階での取り組み

(1) 地組形状調整システムの概要

本工事に用いた地組形状調整システムは、受注者保有のリブ付きH形鋼（高さ：300 mm／部材）を井桁状に2段積み上げ、その上部にサンドル材（高さ：100 mm～150 mm／部材）をさらに2段から4段積み上げた地組形状調整架台と、同架台の頂部に地組桁の据付高さや平面位置を調整できる2軸方向調整式スライドジャッキ（能力：1000 kN）（以降、調整ジャッキ）を配置した構造として、主桁毎の各支持点に配置した（図—4）。

また、主桁の高さと平面位置を調整する際の調整ジャッキの動作は、ポンプユニットを介した1つの制御装置で全ての調整ジャッキの動作ができるよう集中制御方式を採用した。



図—4 地組形状調整架台

現地作業では、地組ヤードとして使用可能な範囲や地盤勾配などの現地条件がPC上の仮組立シミュレーションとは異なることや、地組箇所移動ごとに繰り返される設備の横持ち運搬や組立解体の有無といった現地特有の要素のために作業効率が大きく変動する。

本工事と同様の条件や要素を有していたため、地組形状調整システムは、前述のように必要最小限の汎用資材を組み合わせた構造とするとともに、トラック等で運搬可能なコンパクトサイズのユニットとして構築した。

これにより地組箇所の移動ごとに生じる組立解体を最小限に抑えることで、地組形状調整システムの構築に係る作業の効率化を図った。

(2) 地組桁の形状計測と形状調整

現地での地組桁の形状計測と形状調整は、以下の手順で実施した(図-5)。

製作工場から輸送された鋼桁は、現地の施工ヤード上で組み立てられた地組形状調整架台の上で、橋梁方向に2～3部材を1ブロックの地組桁として連結していった。

この際、地組に用いたクレーンには架設用クレーンを兼用し、最大400t吊オールテレーンクレーンを用いた。次に、地組桁の組立形状を確認するため、計測点(地組桁の格点位置とその両端部)の3次元座標値を本システムのレーザートラッカーで計測し、そこで得られた計測値(以降、地組実測値)と地組計画値(=仮組立シミュレーションの仮組立出来形値)とを比較して組立形状の調整量を自動算出した(図-6)。

この計測では、計測点への計測ターゲットの設置を

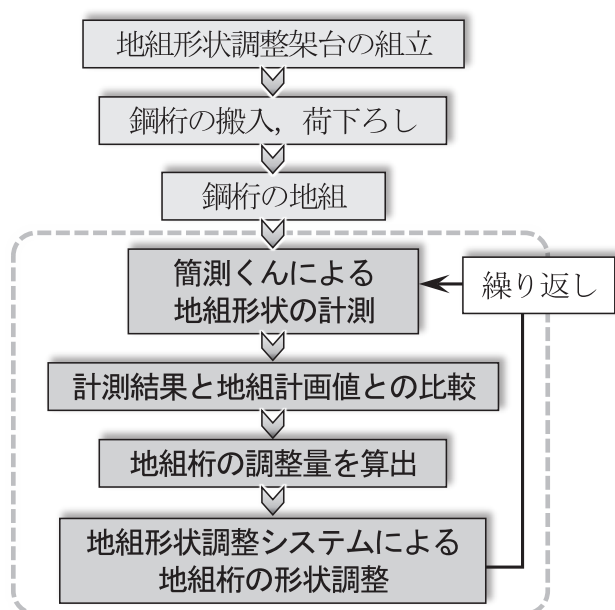


図-5 形状計測と形状調整の施工手順
(内が形状計測と形状調整に係る作業)

不要とする本システムの計測球(リフレクター)の自動追尾機能を活用することで、計測に係る人員の削減を実現している。

計測から求まる各計測点の調整量は、現場技術者の手元のモバイルPCの画面上に設計モデルと計測モデルとの差分として表示され、地組形状の調整は、地組形状調整システムに備わる調整ジャッキとの連携操作によって行った(図-7)。

すなわち、この調整作業には前述した集中制御方式を採用したことで、各支持点での調整作業に必要な作業従事者が不要となり、調整作業に係る作業人員の大幅な削減が実現した(図-8)。

5. 本工事における取り組みの成果と今後の展望

(1) 省人化に対する有効性

4.(2)で示したように、本工事では地組作業のうち

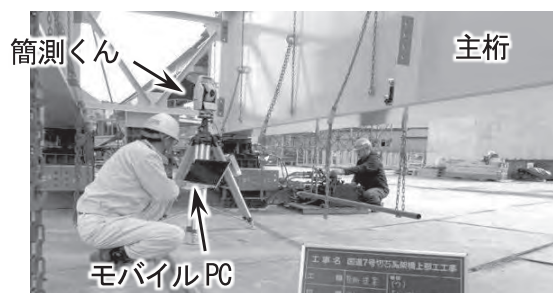


図-6 本システムによる地組形状の計測状況

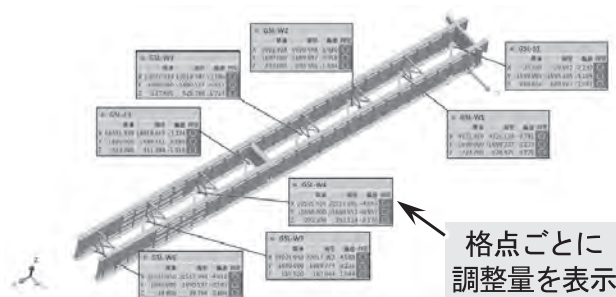
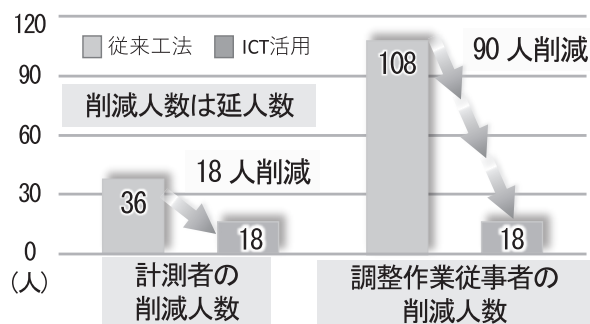


図-7 モバイルPCの画面表示例



図-8 地組形状の調整状況



図—9 地組形状調整システムによる省人化の効果

地組桁の形状計測と形状調整において、大幅な省人化が図られた。

具体的には、地組作業に際して、従来技術と比較して1日あたりでは、計測者の50%（2人⇒1人）と調整作業従事者の83%（6人⇒1人）をそれぞれ削減し、合わせて75%（8人⇒2人）削減した。

地組作業の全期間では、延べで18人の計測者と90人の調整作業従事者を削減し、合わせて108人の削減を達成しており、大幅な省人化を実現できた(図—9)。

(2) 地組の精度向上に対する有効性

ヒューマンエラーを排除した地組桁の調整量の自動算出から、集中制御による地組形状の調整作業までのシームレス化による迅速かつ効率的な調整作業の実現により、工場仮組立と同等な組立精度を現場で再現できており、地組の出来形精度は仮組立出来形の規格値を準用した管理値に対して概ね80%以内に収められている。

そして、この地組の高い出来形精度の実施によって、架設完了後の出来形精度も規格値に対して50%以内に収まっており、橋梁全体の出来形精度の大幅な向上に大きく寄与した。

なお、本工事完了後の状況を写真—1に示す。



写真—1 本工事完了後の（仮称）切石高架橋

(3) 今後の展望

本工事で取り組んだ地組形状調整システムは、市場で入手可能な計測機器と汎用資材を組み合わせ、それらを独自の工夫で連携させることで構築し、運用することができ、大幅な省人化を実現できるシステムであることを確認できた。

また、出来形帳票の自動作成も併せて採用することで、帳票作成に係る効率化と省人化も実現できる技術である。

さらに、地上での組立（地組）作業のみならず上空での架設作業における所定位置への据付時にも応用が可能であることから、従来技術に対して高い優位性と先進性を有しており、今後の波及が大いに期待できる技術である。

謝 辞

本稿で紹介した取り組みの実施にあたり、ご指導・ご協力いただいた国土交通省東北地方整備局の皆様、ご協力いただいた(株)佐藤組およびオックスジャッキ(株)の皆様をはじめ全ての関係者の皆様に心より感謝の意を表します。

J C M A

《参考文献》

- 1) 国土交通省 東北地方整備局 能代河川国道事務所：事業概要 2023

〔筆者紹介〕

酒井 匡（さかい まさし）
日本ファブテック(株)
橋梁事業本部 工事統括
橋梁工事部
副部長



富田 隆史（とみた たかし）
日本ファブテック(株)
橋梁事業本部 営業統括
技術推進部
部長



生成 AI の動向と用語

7月号担当編集委員

生成 AI の現在地

衝撃的な ChatGPT の登場 (2022.11) によって、生成 AI 革命が始まり、覇権を争う各社が挙って大規模言語モデル (LLM) の構築・改良に邁進している。また、各地で AI 用データセンターの建設が始まり、GPU の争奪戦を繰り広げ、独占的な NVIDIA の時価総額が Apple と MS を抜いて一時首位となった。

(1) 前兆

今の第3次 AI ブームはディープラーニング (深層学習) が推し進めているが、前兆はビッグデータと機械学習の進化により始まった。ビッグデータ処理は2004年に Google Map Reduce の論文が発表され、翌年の Hadoop により普及が始まった。機械学習は当初、人間が特徴量を教示することにより機械自ら学習するものであったが、50 年来のブレイクスルーと言われる深層学習 (DL) が登場した。トロント大の J.Hinton 教授が2006年に深層化に成功し、2012年の画像認識コンペ ILSVRC で圧勝して一躍注目され、世界の AI 研究者が争って深層学習にのめり込んだ。深層学習はニューラルネットワーク (NN) を深化させて、情報抽出を多階層に行って高い抽象化 (メタ化) を実現する機械学習の一種である。コンピュータが不得手だったパターン認識でも人間を凌駕し始めた。

(2) 生成 AI 革命

そして、現在進行形の生成 AI 革命であるが、第4次 AI ブームだとする人もいる。大規模言語モデル (LLM) は、Google が2017年に Transformer の論文を発表、再帰型 NN (RNN) を使わず Attention 機構の採用と並列処理が可能となり注目された。翌年に、このアーキテクチャに基づく Google/BERT を公開、OpenAI も GPT-1 (パラメータ 1.17 億) を発表、以降、GPT シリーズで性能の指標となるパラメータ数を急増させ、

GPT-3.5 (パラメータ 3550 億) による ChatGPT の公表に繋がった。現在の GPT-4 のパラメータ数は非公開だが、1.8 兆とも言われている。パラメータ数を増やすとスケーリング則等が働き、格段に賢くなる。

一方、画像生成 AI は、2021 年に OpenAI が GPT-3 を応用して、テキストから画像を生成する DALL・E を発表した。翌年には stable Diffusion が注目され、Midjourney はアートコンテストで人間を出し抜いて優勝した。

(3) 何故、会話できるのか？

ChatGPT は流暢な会話ができるが、意味を理解しているのではなく、次の単語を予測しているだけとの解説もあるが、次の単語を予測するだけではなく、知識体系を構築して、理解しているように見える。理解しているかの定義は、意見の分かれるところである。ここに意識の萌芽とみる向きもあり、危険性を指摘する声もある。

単語をベクトル変換、単語同士の距離を内積で測り、意味的關係を掴み、文脈を理解しているようだが、うまく機能する理由はよく解っていない。演繹ではなく、統計的に処理する帰納法なので、何故そうなるかの説明は難しい。

また何故「知らない」と言わず嘘をつく (ハルシネーション) のか？ この原因も帰納法の必然のようだが、調整で対応していた。近頃は RAG (検索拡張生成) による低減対策も行っている。

(4) GPU

計算機には GPU が使われている。GPU は3次元グラフィックに必要な行列演算と並列処理によるアクセラレータとして発達したが、これが LLM にも向いていて、NVIDIA の躍進となっている。

半導体はムーアの法則の限界が近づき、チップレット、3D 積層、HBM、省電力化等の技術を進めている。

(5) 巨大テック企業等の動向

Microsoft は、OpenAIに出資して連合を組み、GPT-4等をWindows等の自社製品にCopilotとして組み込み、Azureと連携して収益化している。対抗するGoogleは、Transformer等のLLM技術で先行していたが、ChatGPTに出し抜かれ、慎重姿勢を一転、コード・レッド（非常事態）を発令して追撃している。クラウド最大のAmazonは、生成AI開発では後追いとなっているがQを展開。Metaもメタバースから生成AIに主軸を移し、LLMをオープンソースで提供している。AppleはAIチップM4を製品に搭載し始め、生成AIで出遅れていたが、GPT-4oと連携してSiri等を強化、画像生成にも対応する。

OpenAIの最大ライバルとも言われるAnthropicは、AmazonやGoogle等から出資を受けている。加CoherはOracleやNVIDIA等の出資を受け、RAG（検索拡張生成）に強い。

(6) 現在進行形

LLMはその危険性の対処法として、ソースの非公開派と公開派に分かれていて、オープンソースは、Meta/Llama 3、x AI/Grok、仏 Mistral AI等が提供している。

生成AIは言語と画像等を同時に扱うマルチモーダルに進化し、OpenAIは23年3月にGPT-4で対応し、24年5月のGPT-4o（Omni）でテキスト・画像・音声のモダリティの組み合わせを実装した。Googleも多種多様な情報に対応できるGeminiを23年12月に、Anthropicは24年3月にClaude 3を発表している。

そして、マルチモーダルをさらに発展させた「AI エージェント」は、言語モデルをベースに、AIが問題解決のための行動を決定し、必要なツールを選択して目的を達成する。このような秘書代わりに雑務を処理してくれる自律型のサービスである。こうしたアプリの他、仮想空間のAIアバターやバーチャルヒューマン、実世界のロボット等、多様な形態があり、自律性のレベルも様々である。AIエージェント開発は、生成AI技術をテコに加速していて、LLMをベースにLangChain等の開発ツールを利用して作られる。そして、AIエージェントの初期段階としては、タスクを自動化するAutoGPTやAgentGPT、BabyAGI等が登場してきている。

(7) 国産 LLM とユーザ

巨大資本による一部の汎用モデルの寡占化が進んでいるが、言語別・用途別の専用モデルが多数生まれる

余地があり、国産LLMはそこを目指しているようだ。

国内のAI用データセンター（DC）は、GPUの入手が困難な中、通信会社やさくらインターネット等が整備を進めている。

スタートアップのELYZAはオープンソースのMeta/Llama 2を利用して、世界水準のLLMを開発したが、KDDIの傘下に入った。また、著名なGoogle出身者達が創業した注目のSakana AIは、特徴的な「進化的モデルマージ」手法による開発を進めている。

大手では、ソフトバンクがパラメータ数1兆超のLLMを開発後に、サイズを小さくして最適化を図るとしている。産総研、NITC等も開発に取り組んでいる。NTTやNECは、最初から小さな日本語LLM開発を選んでいる。

一方、ユーザは、当初、プロンプト入力による企業秘密の漏洩やハルシネーションを懸念し、導入の躊躇がみられたが、オンプレミス運用やRAG（検索拡張生成）機能により、最新のWebデータや社内データを追加し、ハルシネーション対策ともしている。

(8) 将来

東京大学の松尾豊教授は、LLMの次は「世界モデル」（外界を観測して外界構造を学習）だと予測していて、知能の身体性にも注目している。世界モデルのユースケースとしては自動運転への応用が研究されているが、これは建設機械にも必要な研究課題である。

生成AIのフェーズが学習から推論へと移行する中で、推論特化型のAI半導体がGPUの牙城の一部を崩す可能性が高い。

また、ポストGPUとしては、ノイマン型計算機からデータフロー型への移行が考えられる。LLM等のDLはデータフロー型であるが、ノイマン型計算機上で動かしている。そのため、演算機近くに高速メモリを配置するが、データフロー型計算機では必要なくなる。

OpenAIは24年2月に難しいとされた動画生成AIのSoraを公開したが、この拡散モデルを応用して、ロボットの行動生成への応用がその分野で進められている。動画を生成できるということは、世界の様々な物体の形状やダイナミクスを把握（世界モデル）していることを意味する。

また、OpenAIでは謎のプロジェクトQ*が進行中で、論理的思考や数学的能力を飛躍させたAGIの開発とも噂され、これがアルトマン解任劇の背景にあったとの報道もある。

さて、AIエージェントが自律性を高め、その行動範囲を広げていく先に、AGI（汎用人工知能）という

ゴールが見えてくる。その過程で AI が意思を持ち、人間の利害に反する行動をとる危険性を危惧する人々が多い。

紙幅の関係で省いた事案も多いが、近年の動向を概観した。毎週のように革新が起き、変革の加速が急だ。手元にある 1 年半以前の多くの AI 本が古くなったように、ここで記した動向も間もなく陳腐化する運命にある。

生成 AI 関連の用語

用語解説のリクエストがあったので、初学者が遭遇しそうな用語の解説を加える。

あ

アテンション：attention：「注意機構」を参照

う

埋込みベクトル：Embedding Vector：ベクトル埋込みとは、単語や文章、画像を、それらの意味や関係性を捉える数値に変換する技術で、様々なデータタイプを多次元空間上の点で表す。

え

AI アバター：人の代わりに窓口業務等を行うアバターで、プライベート LLM を土台として開発が進む。

AI アライメント：人間の意図した目標と AI が達成する目標を一致（アライメント）させること

AI エージェント：複数の AI モデルを組み合わせ、単一のモデルでは困難な高度なタスクを自動で実行できるシステムのことである。一方、Google は、論理的な思考（Reasoning）と行動計画（Planning）、作業内容に関する長期記憶（Memory）の能力を備え、未来に関する多段階の思考が可能であり、様々なソフトウェア等を操って、ユーザーの代わりに業務を遂行できるものと定義しているが、安全性確保がその開発の課題となっている。

AI バイアス：機械学習バイアスまたはアルゴリズムバイアスとも呼ばれ、人間のバイアスによって元のトレーニングデータや AI アルゴリズムが歪められ、歪んだ出力や潜在的に有害な結果に繋がる偏った成果の発生を指す。

演繹的アプローチ：Deduction：既に知られている法則や前提から論理を積み重ねて結論を出す方法

エンベディング：「埋込みベクトル」を参照

お

オートエンコーダ：入力データを効率よく本質的な特徴まで圧縮（エンコード）し、この圧縮表現から元

の入力を再構成（デコード）するように設計されたニューラル・ネットワーク・アーキテクチャの一種である。オートエンコーダは、教師なし機械学習を用いて、入力データの潜在変数を発見するように訓練される。

オープンソース：Open Source：無償（または最低限の必要なコスト）で公開されたプログラム等のソースコードで、自由に利用や、改変、再配布ができるという特徴がある。

音声処理：speech processing：音声信号を分析して何らかの情報を表す種々の特徴パラメータを取り出し、それに基づいて合成や認識等を行うこと。主な分野としては、音声を音響特徴量へ変換する音声分析、音声から言語情報を取り出す音声認識、話者情報を取り出す話者認識、音響・言語特徴量から音声を作り出す音声合成、音声信号を圧縮して記憶・伝送する圧縮・符号化などがある。

オンプレミス：システムの稼働やインフラの構築に必要なとなるサーバやネットワーク機器等を自社で保有し運用するシステム利用形態のことである。

か

回帰分析：複数のデータ同士の関係性や影響力を調べる統計的手法。単回帰分析では最小二乗法が代表的、その他に重回帰分析、ロジスティック回帰分析がある。

過学習：overfitting：モデル規模を大きくすると、最初は性能が上がるが、その後性能が下がる現象の要因

拡散モデル：Diffusion Models：画像データの拡散過程（ノイズが加えられてデータが破壊される過程）を学習した画像生成 AI モデルの一つである。

画像生成 AI：テキストで指示を与えると画像を自動生成する AI、代表的なものに Stable Diffusion や DALL・E2、Midjourney 等がある。

き

機械学習：データを分析する方法の一つで、データから、コンピュータが自動で学習し、データの背景にあるルールやパターンを発見する方法

記号主義：symbolism：人間の知能は記号として表現された知識を操作することで実現されているという考え方。或いは、知識を記号として表現し、コンピュータ上で操作して、知能を人工的に実現できるとの考え方

記号接地問題：人工知能において、実世界にある事物の名称と、コンピュータ内部で扱う記号との結びつけに伴う問題

帰納的アプローチ：Induction：実際に観測された個別的、特殊な事例から一般的・普遍的な規則・法則を見出そうとする論理的推論

強化学習：Reinforcement Learning：機械学習の一種で、コンピュータが動的環境と、繰り返し試行錯誤のやりとりを重ねることによってタスクを実行できるようになる手法である。この学習手法により、タスクの報酬を最大化する一連の意思決定を行うことができる。

教師あり学習：学習データに正解を与えた状態で学習させる手法、代表的なアルゴリズムには、回帰と分類がある。

教師なし学習：学習データに正解を与えない状態で学習させる学習手法で、データ内に存在する未知のパターンを見つけ出す。

く

クエリ：query：問い合わせ等の意味を持つ英単語で、ITではデータの問い合わせや要求等を一定形式で文字に表現することを意味する。

クオリア：qualia：感覚的な意識や経験のこと

クラスタリング：データセットを特定のルールに基づいていくつかのグループ（クラスタ）に分類することを指す。特にデータ間の類似度に基づいて、似たものを集めたグループに分ける手法が代表的で、クラスタ分析やクラスタ解析とも呼ばれる。

グラフニューラルネットワーク：GNN：グラフデータに深層学習の仕組みを取り入れたニューラルネットワークで、ここでいうグラフは、ノード（節点）とエッジ（線）から構成されるデータ形式である。

け

決定木：Decision Tree：木構造を用いて分類や回帰を行う機械学習の手法の一つ

言語モデル：自然言語処理に使われる技術の一つで、人間が日常的に使用する言語のパターンや言い回し、文法、意味を理解すると同時に、単語の次にどの単語が続くかを予測することができ、端的に言う「言語表現の確率分布」のこと

こ

広帯域メモリ：「HBM」を参照

勾配降下法：Gradient Descent：最適化の手法の一つで、関数の最小値や最大値を見つけるために使用され、機械学習やディープラーニングでは、モデルのパラメータを最適化するために使われる。

誤差逆伝播法：Backpropagation：出力層で誤差関数の勾配を計算し、重みとバイアスを調整した後、出力から逆方向に向かって逆伝播し、勾配を計算して

重みとバイアスを調整、これを逆伝播しながら繰り返す。

コネクショニズム：connectionism：AI研究においてNNに基づいた知能体を実現・実装する立場

コーパス：Corpus：自然言語の文章や使い方を大規模に収集し、コンピュータで検索できるように整理された膨大な量のデータベースのことで、AIが自然言語を扱う際のデータ学習に利用する。

コンテキスト：Context：文脈、前後関係

さ

再帰型ニューラルネットワーク：Recurrent NN：音声認識で一般的に使用されるNNの一種、RNNはデータの時系列特性を認識し、そのパターンを使用して次に起こり得るシナリオを予測するように設計されている。他のNNとは異なり、RNNには過去の入力を記憶できる内部メモリがあり、現在の入力と過去の入力から学んだことを考慮して意思決定を行うことができる。

し

次元削減：多次元のデータをなるべく情報を失わないように低次元のデータに落とし込むこと。データの量を節約できるので計算を高速化でき、またデータが解釈しやすくなるというメリットがある。

自己回帰モデル：データを先頭から最後まで順に生成するモデル

自己注意機構：Self-Attention：データの流れ方自体を学習し決定するような方法である。RNN向けに提案されたが、CNNなど他のNNにも利用されている。自己注意機構は強力であり機械翻訳・質問応答・画像生成等、多くの問題で最高精度を達成している。自分自身の途中の計算結果に注意し、そこから読み込むことからこの名がついている。

事前学習：既に学習済みのモデルを利用する手法であり、NNに新たな層を加え、その加えた層のパラメータだけを調整することによって別のタスクに転用する転移学習等に用いられる。

自然言語処理：NLP/Natural Language Processing：従来の計算言語学に機械学習を組み合わせ、自然言語の文脈を理解する処理

蒸留テクニック：大きなモデルでしか解けなかった問題を解く能力を小さいモデルに移せること

自律型AIエージェント：AIによる自律的なアプリケーション、指示により自動的に業務をサブタスクに分割して実行する。

深層学習：Deep Learning：大量のデータを自動で解析して、データの特徴を抽出するAI技術。機械学

習の一種で、ディープ NN (DNN) と呼ばれる NN を多層化して学習する。DNN は、人間の脳神経回路 (ニューロン) を模して作られており、入力層、中間層、出力層で構成されている。2012 年にトロント大学のヒントン教授のチームが画期的な画像認識として発表後、第 3 次 AI ブームを引き起こした。

す

スケーリング則：自然言語処理モデルのサイズ (= パラメータ数) や、データセットのサイズ、トレーニングに使用される計算量が増えるほど、より高い性能を発揮できる、という法則 (べき乗則)

せ

生成 AI : Generative AI：クリエイティブな成果物を生み出すことができる AI で、テキスト・画像・動画・音声等を生成する。

た

大規模言語モデル：LLM/Large Language Model：自然言語処理 (NLP) の分野で広く使用される機械学習モデルの一種である。LLM は大量のテキストデータを学習してそのデータのパターンや構造を理解し、人間のような文章生成や自然言語タスクの実行が可能である。LLM は、文章生成、文章の要約、質問応答、文書分類、機械翻訳などのタスクに活用される。モデルは一般的に大規模なパラメータセットを持ち、トレーニングデータの情報を学習することで、与えられた入力に対して予測や生成を行う。

畳込みニューラルネットワーク：CNN：畳込みとは、フィルターをかけた画像を特徴マップに落とし込むことであり、そのうえで一致不一致などを判断する。CNN は画像の特徴を高精度で抽出でき、画像認識の分野で活用されてきて、画像生成にも多大な影響を及ぼした。

ち

チップレット：回路を複数の小さなチップに個片化し、「インターポーザ」と呼ぶチップレット間をつなぐ基板上に乗せて大規模化してパッケージに収める技術

注意機構：attention mechanism：AI が深層学習によってモデルを構築する際に重要な役割を果たす仕組みで、畳込み NN (CNN) や再帰型 NN (RNN) 等と並ぶアーキテクチャで、自然言語処理等に利用されている。これは「Attention Is All You Need」という論文の中で、Transformer という新たな NN の技術として紹介された。この Attention と呼ばれる仕組みにより、AI がタスクを完了するためにどの単語が重要であるかに注意を向けることが可能と

なった。

チューリングテスト：Turing test：アラン・チューリングが提案した、ある機械が「人間的」かどうかを判定するためのテスト

て

ディープラーニング：「深層学習」を参照

敵対的生成ネットワーク：「GAN」を参照

データサイエンス：数学や統計学、機械学習、プログラミング等の理論を活用して、莫大なデータ (big data) の分析や解析を行い、有益な洞察を導き出す学問のことを指す。

データマイニング：data mining：大量のデータ (big data) を統計学や AI 等を駆使して分析を行い、何らかの知見を得るための活動のことで、「マイニング」とは「採鉱」を意味する。

転移学習：Transfer Learning：既存の優れたモデルで捉えた特徴を新たなモデルに転用して、学習時間を短縮できる。

と

トークン：LLM におけるトークンは、テキストデータを処理する際に使用される基本的な単位である。言語モデルや自然言語処理のコンテキストでは、テキストをトークン化することで、個々の単語、文字、またはサブワードに分割される。トークン化の方法は、言語やモデルの要件によって異なる。

トロッコ (トロリー) 問題：“命の選別”をめぐる倫理的ジレンマを扱った思考実験、暴走するトロッコの軌道上に 5 人の作業員がいて、そのままでは 5 人は轢死するが、支線へのポイントを切り替えて助けると、支線側の別人が犠牲になる。どうすべきか？ AI 設計上の課題でもある。

ドメイン特化型 LLM：特定の業種や企業などに特化した大規模言語モデル

に

二重降下：double descent：CNN, ResNet, Transformer 等の深層学習モデルでは、「Early Stopping」または「正則化」を使用しない場合、「二重降下現象」が発生する。パフォーマンスは最初に向上し、次に悪化して、モデルサイズ、データサイズや訓練時間を増加させると再び向上する W 字型曲線を示す。

ニューラルネットワーク：Neural network：人間の脳の働きを模した方法でデータを処理するようにコンピュータに教える人工知能の一手法。これは、深層学習と呼ばれる一種の機械学習プロセスであり、人間の脳に似た層状構造で相互接続されたノードやニューロンを使用する。

ニューロモーフィックデバイス：Neuromorphic device：人間の脳の仕組みを模倣したデバイス

の
ノーコード／ローコード開発ツール：プログラムのソースコードを極力記述せずに開発できるツール群である。今後、生成 AI により、より進化する。

は
パーセプトロン：Perceptron：脳神経を模することによってパターン認識を行う。F. ローゼンブラットが 1957 年に考案したが、単層パーセプトロンの限界から研究は停滞した。その後、ボルツマンマシンや、多層パーセプトロンの機械学習をある程度実用化した誤差逆伝播法等によって 1980 年代に再興隆した後、90 年代に再び停滞した。21 世紀に入って、コンピュータ能力の向上と研究の進展により、多層パーセプトロンでの「深層学習」の実用化と、その画像認識等の成果が、現在の第 3 次 AI ブームとなった。

バックプロパゲーション：「誤差逆伝播法」を参照

パラメータ数：機械学習モデルが学習中に最適化する必要のある変数の数を指し、これらの変数は、モデルが入力データを処理し、予測や生成を行う際に使用される。モデルのパラメータは、学習データを使って最適な値を見つけ出すことにより、モデルの性能を向上させるために調整される。例えば、NN の場合、重みやバイアスというパラメータがあり、ネットワークの構造によって異なるが、それぞれのニューロンが持つ重みやバイアス値が学習によって最適化され、モデルの性能を向上させる。LLM である GPT-3 のパラメータ数は 1,750 億個で、GPT-4 では 1.8 兆個のパラメータを持つと言われている。

ハルシネーション：hallucination, 幻覚：生成 AI（言語モデル）が、もっともらしい誤情報（事実とは異なる内容）を出力することを指す。

汎化：generalization：様々な異なる対象に共通する性質や、共通して適用できる法則等を見出すこと

汎用人工知能：AGI：Artificial General Intelligence：あらゆるタスクを人間と同等かそれ以上にこなすことができる、AI の発展形である。特定のタスクを処理する特化型 AI とは異なり、AGI はあらゆるタスクを柔軟かつ独立して処理する能力を有している。生成 AI の出現が大きなマイルストーンとなり、AI エージェントの先に出現か？

ひ
ビッグデータ：Big data：伝統的なデータ処理やデータ管理アプリケーションでは対処できない莫大な量の複雑なデータセットを指す。

ふ
ファインチューニング（微調整）：「事前学習」した訓練済み NN モデルの一部もしくは全体を、別のデータセットを使って再トレーニングすることで、新しいタスク向けにモデルのパラメータを微調整することを指す。

フォン・ノイマン・アーキテクチャ：ジョン・フォン・ノイマン（Neumann）が提唱したプログラム内蔵方式の一般的なコンピュータ構成を指す。ニューロコンピュータや量子コンピュータは、非ノイマン型である。

フォンノイマンボトルネック：CPU とメモリの間のデータ転送に制限があることから生じる処理能力の限界を指し、コンピュータの処理能力を制限する原因の一つとなっている。

フレーム問題：frame problem：AI が本来問題解決には必要のない背景も考慮して（枠を越えて）計算し続けてしまい、情報処理能力を超えて機能が停止する問題のことである。

プロンプトエンジニアリング：言語モデルへの質問において、課題に合わせて入力を工夫する技術

へ
ベイズの定理：確率と不確実性を扱うベイズ統計学の基盤となる公式で、観測されたデータと曖昧な情報を含む事前確率から事後確率を求めるという点で従来の統計学とは異なる考え方とされている。

ベクトル：単語をベクトル変換、単語同士の距離を内積で測り、意味的關係を掴み、文脈を理解する。

ベクトル検索：単語（キーワード）が含まれる文章を探す従来型の「キーワード検索」に対して、「ベクトル検索」はテキストを高次元の数値ベクトルで表現し、似たもの同士を示す「コサイン類似度」により、質問に適した回答を探す仕組み

ほ
ボルツマンマシン：全てのニューロンが互いに接続され、層状のニューロンではなく、接続に向きがなく、情報伝搬が双方向に確率的に行われる NN

ま
マルコフ連鎖：Markov chain：確率過程の一種であるマルコフ過程のうち、とりうる状態が離散的なものや時間が離散的なものを指すことが多い。マルコフ連鎖は、未来の挙動が現在の値だけで決定され、過去の挙動と無関係である（マルコフ性）。

マルチモーダル：テキストに画像・映像・音声等を組み合わせたモデル。Gemini, GPT-4V, PaLM-SayCan 等がある。

む

ムーアの法則：インテルの共同創業者の一人である
ゴードン・ムーアが1965年に発表した半導体技術
の進歩についての経験則で「半導体回路の集積密度
は1.5～2年で2倍となる」という法則

も

モラベックのパラドックス：人間にとって難しいこと
は機械にとって簡単であり，人間にとって簡単なこ
とが機械にとって難しいという観察事象

ら

ラッダイト運動：産業革命に沸く19世紀の大英帝国
で，失業を恐れた労働者が機械を打ち壊した騒動。
進化するAIが人の仕事を奪うというAI反対運動
に対する反面教師としてよく使われる。

ろ

ロジスティック回帰モデル：他のML手法よりも数
学的に複雑ではなく，ML初学者でも実装できる。
また，メモリや処理能力等の計算能力が低くても，
大量のデータを高速に処理できる。

A

AGI：Artificial General Intelligence：「汎用人工知能」
を参照

AI PC：AIをクラウドではなく，ローカルのCPU/
GPU/NPU等のプロセッサで処理されるPCのこと
(NPU内蔵のSoCを搭載したPC)

B

BERT：Transformerを構成するエンコーダを応用し
た言語モデルで，大規模言語モデルの元祖となる。

C

CASE：Connected, Autonomous/Automated,
Shared, Electricの頭文字を取った次世代における
自動車の概念

CNN：「畳込みニューラルネットワーク」を参照

Copilot：本来は副操縦士の意味であるが，近年，
Microsoft等が提供するアシスタント機能を有する
AI支援ツールの名称となっている。

CUDA：GPUでAIを高速に動かすためのNVIDIA
のソフト基盤，多くの開発企業がCUDAに合わせて
AIのソフトやアプリを作っていて，強固な開発
者用エコシステムを構築している。

D

Diffusion Models：「拡散モデル」を参照

DNN：Deep NN：現在のDNNはパラメータを多く持ち，
各ニューロンが非線形関数を表現できるため，複雑
なデータに対応できる表現力の高いモデルとなる。

E

EDA：Electronic Design Automation(電子設計自動化)：
半導体や電子機器の設計の自動化，そのツールやソ
フトウェアも意味し，コンピュータによる設計支援
システムの総称

G

GAN：Generative Adversarial Network：敵対的生成
ネットワーク：生成モデル(Generator)と識別器
(Discriminator)の2つのNNを意図的に競争させ
ることによって，高品質な画像の生成を可能にする
技術である。

GitHub Copilot：Microsoft傘下のギットハブ社の設計・
開発(コーディング)・テスト等を支援する生成AI
ツール群

GLUE：General Language Understanding Evaluation：
自然言語処理のベンチマークテスト

GPGPU：General-purpose computing on GPU：GPU
の演算資源を画像処理以外の目的に応用する技術

GPT：General Pre-trained Transformer の略

GPT-1：2018.6に発表，1.17億パラメータ，トラン
スフォーマーアーキテクチャと教師なし事前学習を組
み合わせ，特定のタスクにファインチューニング

GPT-2：2019.2に発表，15億パラメータ

GPT-3：1,750億パラメータ

ChatGPT：2022.11に発表，**GPT-3.5**にチャットの
ようなユーザインターフェイスを付加，これが支持
され，爆発的に急速普及

GPT-4：2023.3に公開，**GPT-4o**：2024.5に発表

GPU：Graphics Processing Unit：画像処理用半導体
であるが，並列処理と行列演算に強いので，DLにも
不可欠の存在となった。コア数が数千個に及び並列処
理に優れている。また，メモリに順次アクセスし，条
件分岐のない単純計算に強く，行列演算に向いている。

grokking：あるタスクができないように見えていたモ
デルが，突然理解できるようになる場合があること
がわかった。これは想定されていた深層学習の機能
とは異なる働きで，OpenAIの研究チームはこの振
る舞いを「グロッキング」と名付けた。

H

HBM：High Bandwidth Memory(広帯域メモリ)：圧
倒的な転送速度(帯域幅)を実現したDRAM，複
数のDRAMを積層し，TSV(シリコン貫通ビア)
で接続，DL学習に必要な大量データのやり取りを
高速化する。

L

LLM：「大規模言語モデル」を参照

M

MoE : Mixture of Expert : 計算処理ごとに LLM の必要な部分だけを選んで使う手法

N

NLP : Natural Language Processing : 自然言語処理

NPU : Neural Processing Unit : AI 専用アクセラレータ, DL (深層学習) で必要な NN の演算を高速に行う専用プロセッサである。

O

OpenAI : AI の研究・開発を行う非営利団体として 2015 年に設立された。

P

Python : インタープリタ型の高水準汎用プログラミング言語であるが, 機械学習や AI の開発にもよく使われる。

R

RAG : Retrieval Augmented Generation (検索拡張生成) : ユーザの質問に応じて知識情報を参照する。社内データを追加学習させるファインチューニングと異なり, LLM そのものに手を加えないため実装しやすい。RAG の一般的な構成は, 企業などの保有する構造化データ等をベクトル変換して, 質問への回答に必要なデータを近似的ベクトル値を基に検索する。その上で, 質問に応じた回答を生成する。ハルシネーション (幻覚) 対策としても有望視されている。

Rerank model : 事前に大量の質問文とそれに相応しい回答ペアを学習して, 質問に対する関連性をランク付けする。

RISC-V : リスク ファイブはカリフォルニア大学バークレー校で開発されオープンソースで提供されている命令セットアーキテクチャ (ISA) である。

RNN : Recurrent Neural Network : 再帰型 NN (連続データ認識による自然言語処理)

RPA : ロボティック・プロセス・オートメーション

S

SDV : ソフトウェア・デファインド・ビークル (ソフトウェアが定義するクルマ)

SLAM : Simultaneous Localization and Mapping の略で, 移動ロボットにおいて, LiDAR やカメラにより環境地図と自己位置推定を交互に行い, 「場所」の概念を獲得させる手法

SoC : システム・オン・チップ

Stable Diffusion : ミュンヘン大学において開発され, 2022 年に公開された潜在拡散モデル (latent diffusion model) であり, 深層生成 NN (deep generative

neural network) の一種である。主にテキスト入力に基づく画像生成 (text-to-image) に使用される。

T

TensorFlow : Google が開発しオープンソース (2017 年正式版) の機械学習用ソフトウェアライブラリで, 数値解析, 深層学習に Python との組み合わせでよく使われる。

TPU : TensorFlow 専用半導体 (ASIC)

Transformer : Google の研究者が 2017 年 12 月に発表したモデルで, 文章に含まれる単語のような連続したデータの関係を, アテンション機構により, 同じ系内にある隔たったデータ要素間の微妙な相互影響や相互依存関係を見つけ, 文脈ひいては意味を学習する NN である。これが AI のパラダイム シフトをもたらすことになった。

Triton : OpenAI が 2021 年 7 月にリリースした GPU 用オープンソース言語, Python ライクな容易な言語で, NVIDIA/CUDA の代替を狙う。Meta や Intel 等が採用を始めた。

TSMC : 台湾積体回路製造

U

UMAP : Uniform Manifold Approximation and Projection の略で, 2018 年に提案された非線形次元削減手法である。リーマン多様体の概念に基づいており, 高次元データを低次元空間に埋め込む際に, データの位相的構造を保持することを目的としている。

X

XGBoost : Extreme Gradient Boosting の略称であるこの手法は, 決定木に基づき, ランダム フォレストや勾配ブーストなどの他の手法を改善したもので, 様々な最適化手法を用いて, 大規模で複雑なデータセット処理で有効である。

(文責 : 岡本)

JCMA

《参考文献》

- 1) 建設機械のシンギュラリティ, 岡本, JCMA, 2015.12
- 2) あたらしい人工知能技術の教科書, 我妻幸長, SE, 2021.9
- 3) AI 技術史, M.Wooldridge, インプレス, 2022.3
- 4) AI 技術の最前線, 岡野原大輔, 日経 BP, 2022.8
- 5) 半導体戦争, C.Millere, タイヤモンド社, 2023.2
- 6) GPT-4/ChatGPT/LangChain, 布留川英一, BD, 2023.6
- 7) 全容解説 GPT, S.kublik, S.Saboo, インプレス, 2023.12
- 8) その仕事 AI エージェントが, 西見公宏, 技術評論社, 2023.12
- 9) AI で世界はこう変わる, 今井翔太, SB 新書, 2024.1
- 10) AI ナビゲーター, 野村総研, 東洋経済新報社, 2024.3
- 11) Google vs Microsoft, 山本康正, 日経 BP, 2024.5
- 12) 生成 AI 真の勝者, 島津翔, 日経 BP, 2024.6
- 13) 日経 XTECH : <https://xtech.nikkei.com>



建設現場業務への生成 AI 活用の可能性 取り組み内容とその周辺

佐々木 暁 子

2024 年 4 月から働き方改革関連法が適用され、建設業界ではデジタルツールの導入など、DX による作業の効率化、生産性の向上がもはや必須取組事項となった。一方で、従事者の経験年数は不揃いであり、全員の知見を同等にするために教育や技術承継に時間を割くのもまた困難である。

こうした状況下で、従事者の知見に依存せず、現場運用に平準化をもたらす策の一つが AI の活用である。本稿では、2023 年に発表した ChatGPT 活用の取組概要や可能性について、生成 AI の特性も踏まえながら書いていく。

キーワード：生産性向上、技術承継、知見の平準化、生成 AI 活用

1. はじめに

筆者の所属先では、2023 年 8 月 3 日付けで「Chat GPT を組み込んだサービスの共同開発」について発表した。

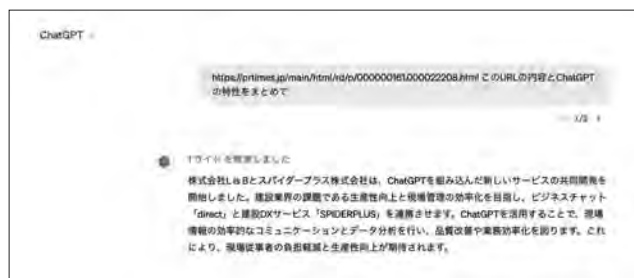
共同開発の要旨は以下の通りである。

建設業界の課題である生産性向上と現場管理の効率化を目指し、ビジネスチャットと建設 DX サービスを連携させます。ChatGPT を活用することで、現場情報の効率的なコミュニケーションとデータ分析を行い、品質改善や業務効率化を図ります。これにより、現場従事者の負担軽減と生産性向上が期待されます。

実はこの要旨は発表済みのプレスリリース内容を ChatGPT に読み込ませて要旨を述べよ、と指示を与えて表示された結果からサービス名称を筆者自身が削除したものである（図—1）。

読者諸兄におかれては、自社の取り組み内容を自らの言葉で語るのではなく、生成 AI にまとめさせることについて、様々な受け止め方があるものと推測するが、例えばこの要旨が出てくるまでの秒数は 3 秒程度であった。

建設現場では時々刻々と状況が変わり、作業のし直しも容易ではない特性を備えている。それがゆえに、従事者にとっては 1 秒でも惜しいのが実情である。



図—1 ChatGPT に要旨を書かせた実際の画面

文字通りに猫の手も借りたい状況下で、生成 AI がいかにして働くのか。そのために、まずは ChatGPT の特徴について今一度振り返りたい。

2. ChatGPT の特徴

ChatGPT は OpenAI によって開発された大規模な言語モデルで、広範なデータセットから学習する。これにより、より自然で多様な応答を生成する能力を備えている。ChatGPT は、文脈を理解し、ユーザーの入力に基づいて柔軟に対話を行うことが可能である。また、多くのトピックに対応できるため、高い汎用性を持ち合わせていることも特徴である。

従来の生成 AI は特定のタスクに特化して設計されている。すなわち、固定されたルールやアルゴリズムに基づいて応答が生成される。

こうした事情から柔軟性に欠けることや、生成 AI にとって予期せぬ入力があった場合は、適切な応答を

生成することが難しいケースが生ずる。

前述のように、特定のタスクに特化して設計されている経緯もあり、トレーニングデータは限定されることが多く、応答のバリエーションが少なくなりがちであった。

ChatGPT はウェブ上などにある大量のデータを学習済みであり、ある程度学習の進んだ状態を備えたモデルである。

(1) 抽出ではなく、生成の強み

また、入力と回答のやりとりが「一往復」で終わらず、連続した会話ができることも大きな特徴である。従来の AI は既存の情報から回答を「抽出」することによって表示させていた。ChatGPT が行うのは回答の「生成」である。少ない情報量であっても、既に持っている情報を膨らませて文章を生成することができる。

対話を続けることにより、学習を続けさせることができ、表示結果を受けて、こちら側は画面を壁打ち相手としながら発想を広げていくことに活用していくことが可能である。

(2) ChatGPT から ChatGPT-4 へ

さて、2024 年 5 月 15 日には GPT-4o がリリースされている。ChatGPT の更なる進化形であり、以下 3 点で優位性を持つ。

1 つ目は、モデルの規模が大きくなり、より多くのパラメータを持つため、より精度の高い応答が可能であること。

2 つ目は、トレーニングデータの量と質が向上しており、多様な文脈に対して的確に対応できるようになっていることである。

3 つ目は、GPT-4 は従来のバージョンと比べてバイアスの低減と安全性の向上が図られており、より信頼性の高い情報提供が期待できることである。

このように、GPT-4 は幅広い応用が可能な生成 AI 技術であり、その性能は従来の生成 AI を大きく上回る。

3. ChatGPT を活用した取り組みについて

建設業界では 2024 年 4 月に働き方改革関連法の適用が始まった。主な内容は残業規制である。

法適用を背景に、現場管理におけるコミュニケーション効率の向上が重要な解決手段の一つである。対応の一助とするため、コミュニケーション機能に特化した現場向けソリューションの共同開発を思い立った。



図-2 共同開発イメージ（プレスリリース発表より）

ビジネスチャットと施工管理のサービスが連携を強化し、ChatGPT が組み合わせられることにより、蓄積された現場情報を効率的にコミュニケーションに活用することや、現場の状況や ChatGPT からの提案を加えながらビジネスチャット上で情報活用することを目指すものである（図-2）。

現場監督は、日々の施工管理業務で膨大なデータをサービス内に蓄積していく。図面データに該当箇所の写真や検査記録などが紐づいていく。

それらのデータを ChatGPT などの生成 AI 活用によって処理し、提示された結果をテキストコミュニケーションで共有していく。

蓄積されたデータの分析には多くの時間と労力が必要となり、そのための労力を割くのは厳しい。従来手の回らなかったデータの分析や処理を生成 AI が行うことで、現場従事者が労力を割かず、現場作業の品質改善や業務の効率化を目的としたデータ利用を可能にすることができるのである。

4. 適用可能例

＜不具合の傾向把握や予防に現場データを活用＞

施工の不良箇所を図面データ上に画像やコメントと紐づけて是正指示を出し、対応の進捗までを可視化する機能を活用した例である。指摘管理機能を活用して入力されたデータを統計化し、不具合の傾向把握や、再発予防策を ChatGPT の情報処理によって効率的に示し、ビジネスチャット上で展開していく。

＜組織的なデジタルツール活用の推進＞

施工管理でのアプリ利用ログを分析し、より効果的な活用の推進策を ChatGPT が分析データを処理してビジネスチャット上に展開していく。

＜次に取り組むべきアクションの提案とタスクの可視化＞
施工管理で蓄積したデータから工程の実行時間や作業工程の依存関係を分析し、次に取り組むべき工程の最適な計画をビジネスチャット展開し、現場に関わる全ての人に状況を可視化する。

またビジネスチャットのタスク機能を活用することで、プロジェクトのスムーズな進行も期待することができる。

＜ビジネスチャット上の内容を施工管理のアプリ上にマッピング＞

チャットで交わしたテキスト内容を ChatGPT が処理し、図面データにアイコン表示などでマッピングすることで、コミュニケーション結果を直感的に把握することを可能にする。

5. 今後の建設業での生成 AI 活用可能性

とにかく建設業は人が足りない。デジタルツールの活用によって少しでも目の前の作業をラクにしたいが、

習得のために一時的な手間が発生するのも逡巡が起きがちである。

一方で、工事が進行するほど現場のデータは蓄積されていく。データは財産ではあるが、活用するためにはツールの使用方法とは比べ物にならないほど、多くの専門的な知識や手法を身につける必要がある。ただし、時代は変わった。ChatGPT のような生成 AI を目的意識をもって活用していくことにより、まずは蓄積したデータを眠らせるのではなく、次の現場や他の現場に展開可能な、生きた情報資産を創出することが開けてくる。

まずは一歩踏み出してみたいだろうか。

JICMA

【筆者紹介】

佐々木 暁子（ささき あきこ）
スパイダープラス(株)
コーポレートブランディングセクション
広報チーム



ずいそう

スカイジャンプで イキイキ 楽しく体力づくり

下 平 英



1. 不思議なシューズとの出会い

「KANGOO JUMPS（カンゲージャンプス）」というシューズの名前を聞いたことがあるでしょうか。

発明王として有名なドクター中松が開発したフライングシューズを改良したシューズとも言われていますが、底にバネのような仕組みが施されたジャンピングシューズで、これを履いて運動すればカンガルーのように通常よりも高くジャンプできる上に、脚への負担もかなり軽減されます。

元々はNASAの宇宙飛行士のためにデザインされたものでしたが、現在は改良されてフィットネスギアとして利用されています。



写真—1 カンゲーシューズ

私は、50代位から体力をつけないといけないなあと思いつつも、なかなか具体的な運動を始めることができずにいたのですが、定年後、大阪に戻ってからも相変わらず何もしないでいました。

62歳を迎えようとする頃、知人にブラジル人の友人が「SKY JUMP スカイジャンプ」というエクササイズの教室を開設するので、無料お試しキャンペーンを利用してやってみないかと誘われたのがきっかけで始めることにしました。

当時の私はかなりふっくらしてきている上に、軽い喘息を患っており、医師からも有酸素運動をして体力

をつけるように指導されていたのですが、左膝にも少し故障を抱えて運動することに不安を感じていて、犬の散歩時間を延ばして歩くことで運動不足を解消できればと考えていました。そこへタイミング良く膝に負担をかけることなく楽しくできるエクササイズに出会うことができたのです。

スカイジャンプは、7年前に名古屋を中心にブラジル人が始めた教室で、インストラクターも全員ブラジル人か日系ブラジル人で生徒も日本人はほとんどいませんでしたが、大阪（堺市）に開設する教室には日本人の生徒もあり、インストラクターも日本語が多少話せて、ブラジルのポピュラー音楽や世界的なヒット曲を中心に楽しくダンスをしながら1時間エクササイズしようというものでした。

2. 体力づくりは簡単ではない

始めた当初は情けない話ですが、1曲（3～4分）を最後まで踊ることができずにゼーゼーと息をはずませ壁にもたれて休憩する始末でした。1曲ごとに休憩をはさみ、振り付けを教わるので1時間で踊るのは10曲程度なのですが、週1回のエクササイズで、半分以上しか踊れないという状態が半年以上続きました。この時ほど体力のなさや喘息による息切れを痛感したことはありませんでした。

私は大学時代同好会でしたが新体操をかじっていたので、ダンスをすることは簡単ですぐに踊れるようになるだろうと思っていました。過信していたのです。60代ともなると一度落ちた体力、筋肉はそう簡単には戻ってきません。喘息と膝の故障というハンデもありましたが継続することがいかに大変で大切な思い知らされたのです。

また、そこへ「コロナ」の影響で一時期教室が閉鎖されてしまったのです。外でたまに有志でやりましょうとなりましたが、人が見ているところで踊るには恥ずかしく、ほとんど参加することもなく体型もぼつちりのまま1年が過ぎていきました。

その後、コロナ対策として人数を制限してマスク着



写真-2 マイシューズ (1足 1.6 kg, 左右で 3.2 kg)

用、空気の入れ替えを徹底する形で教室が再開されました。そこで仕事を辞めたのをきっかけに週1回のエクササイズを2回に増やすことにしました。そうしたら少しずつですが、曲の途中で休憩する回数が減り、始めて2年を過ぎる頃には最後まで楽しみながら続けることができるようになっていました。そしてぽっちゃり体型も解消、喘息もほぼ治っていたのです。

人間ドックの質問に週2回以上運動をしていますか。というのがありますが、1回と2回の違いを実感したのです。

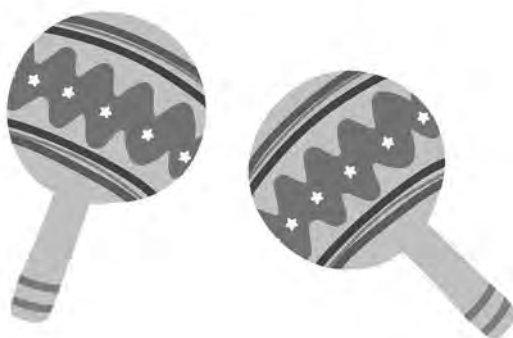
3. 体力がついてくると楽しい

ブラジルの音楽はサンバで代表されるように陽気なのが多く、ゴスペルも明るい曲がたくさんあります。スカイジャンプは、ブラジル人が中心なので、ブラジルの文化(風習)が取り入れられています。サンバカーニバル、フェスタジュニーナ(豊穡祈願祭)、ハロウィン、クリスマスの時期になると、色々な衣装を着けます。仮装してダンスするのです。最初は抵抗感がありましたが、いつの間にか若返った気がして楽しんでいました。

最近、地元で開催されるフェスティバルなどにも参加しています。今年は4月に神戸まつりのパレードにサーカスをテーマにした衣装で参加しました。秋の堺まつりにも踊る予定です。

スカイジャンプをやっている人たちの中で私が一番の高齢で、年甲斐もなくなどと思ったり、ブラジルの人たちとの間に言葉の壁を感じていた頃もありましたが、気が付くと今を思いっきり楽しむ彼女たちの陽気な気質にあてられ、今は楽しみながら少しでも長く続けていきたいと思っています。

——しもだいら えい 山崎建設(株) OG ——



ずいそう

継続は…

森 和 誉



『継続は力なり』という言葉がありますが、今回は私が継続していることを少しお話しできればと思います。

私が仕事以外に継続していることの一つは、小学生の頃から始めた『剣道』です。途中、大学生の頃に竹刀を握らなかった期間が少しありましたが、剣道を始めてから既に50年を超えました。会社にも剣道部はありますが、皆さん多忙で稽古に人が集まらないことも多く、現在は主に母校のOB稽古会に週1回程度ですが参加しています。週に1回程度なので毎回稽古の翌日は疲労感が残っており、歳も感じています。先日、諸先輩方が次々に七段に合格するなど大変良い稽古をさせてもらっています。小学生から高校生までは『勝つ』ことに執着していましたが、だいぶ歳を取った今では、如何に『心・技・体』が一致した美しい剣道ができるか攻めと我慢を考えながら稽古に励んでいます。

また、高校時代の先生にもたまにお会いすることがあり剣道の話だけでなく、人としての生き方やビジネスに繋がる考え方を今でも学んでいます。先生や諸先輩方からも「森も昇段を目指せ!」との叱咤激励を受けていますが、五段に合格してから20年近く経っていることと受験のために県外に行かなければならないことに躊躇していますが、何か目標を持つ必要があると考えています。

私がこうして剣道を長く続けられてきたのも、これまでにご指導頂いた先生や諸先輩方と後輩にも恵まれていること、そして何より家族の理解と自身も“ムキになる”ことができる環境があるからだと思う今日この頃です。

< 武道訓 >

剣は心なり

心正しからざれば 剣また正しからず

剣を学ばんと欲すれば まず心より学べし

< 高校で学んだ言葉 >



観心（かんしん）：自己の内心の本性をよく観察すること

いずれも『心』に関するもので、ビジネスにも大いに関係することと思います。

二つ目は趣味のバイクです。大学時代にアルバイトなどのお金を貯めて買ったKawasaki GPz900R（1989年モデル）に今でも乗っています（写真—1, 2）。このバイクは大学時代に見た映画『TOP GUN』（一昨年、続編が公開されましたが…）に影響を受け、これだと思って買ったものです。買ってから35年を超えていますが、まだ、10万kmにも到達（もうすぐ到達の見込み）していないので、最近の高性能バイクには敵いませんが、まだまだ現役です。



写真—1 Kawasaki GPz900R-A6（車庫前にて）



写真—2 ツーリングの途中

走っているときは仕事のことは考えず、如何に理想的なラインを安全に走るかを考え、これまで事故もなく過ごせています。さすがに最近、部品の入手性に少し問題がありますが、行きつけのバイク店の方と工夫しながらメンテナンスと更なる安全性の向上を図りつつ乗り続けたいと思います。

三つ目は、地元の獅子舞です。子供の頃に少し太鼓をやり、その後、ずっとやっていませんでしたが、私の子供が獅子と一緒に踊る「きょうくち」をすることになり、獅子組の皆さんに引きずり込まれました。秋祭りが主な活動の時期ですが近所の方々と呑みながら楽しくやっています。さすがに歳を取り獅子を舞うことがしんどくなってきましたが、田んぼと合わせ地元との大事なコミュニティーです（写真—3）。

一方、仕事の方は平成元年にタダノに入社してから35年目に入り、いろいろと大変なこともありました。が、技術者（移動式クレーンの開発設計者）として少しは世の中のお役に立てたのではないかと感じていま

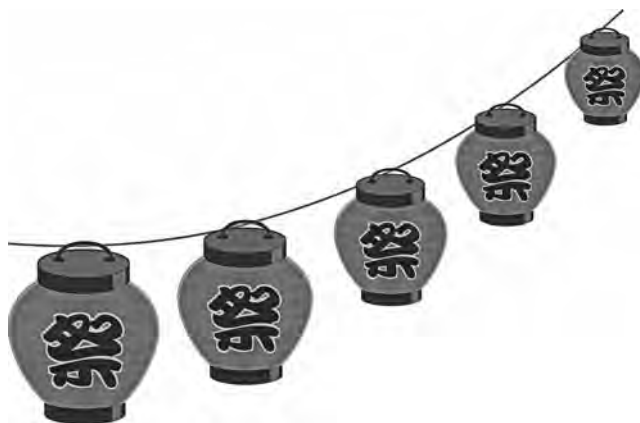


写真—3 讃岐國一宮 田村神社 秋祭り

す。あと3年弱で迎える定年を機に技術者としての継続は残念ながら止まるかもしれませんが、剣道とバイク（できれば獅子も…）には定年もないので、できる限り継続していきたいと思います。

それでは皆さん、ご安全に！（Safety First!）

——もり かずたか（株）タダノエンジニアリング 商品開発事業部——



JCMA 報告

一般社団法人日本建設機械施工協会 第13回通常総会・第50回理事会報告



第13回通常総会

本協会の第13回通常総会（定時社員総会）は、令和6年6月14日（金）午前10時30分から機械振興会館地下2階ホールにおいて開催された。

今回もハイブリッド参加型バーチャル社員総会として、機械振興会館地下2階ホールをリアル会場としつつ、役員 Web 出席や書面による議決権行使を行った団体会員で希望される方の Web 参加を認める方法で開催された。

冒頭、金井道夫会長が挨拶し、「協会の運営は非常に順調であり、好ましい状況である。i-Construction は次の世代に入り、これからはデータをどう一緒に使っていくかというのが一番の問題になる。個人情報や営業情報等の慎重な取扱いが求められることから、皆様のお力を借りて間違いのないよう進めて参りたい。また、カーボンニュートラルや再生可能エネルギー等の幅広い課題に対応するためにも、今後とも関係者の皆様のご協力を賜りたい。」と述べた。

その後、金井道夫会長が議長となり総会成立が宣言され、議事録署名人を指名して議案の審議に入った。



金井道夫会長

1. 報告事項

「令和5年度事業報告の件」、「令和6年度事業計画及び収支予算の件」及び「令和5年度公益目的支出計画実施報告の件」について報告された。

2. 決議事項

第1号議案「令和5年度収支決算の件」が上程され、満場異議なく承認可決された。

次に、第2号議案「役員選任の件」が上程され、満場異議なく承認可決された。

◆退任役員（敬称略）

理事 池上徹，数見保暢，嘉藤好彦，渋谷仁，中西隆夫，西山秀樹，平野耕太郎，丸山暉彦，宮澤和孝，湯川勝彦，渡部純

監事 上総周平，隼直毅，弓場憲太郎

◆就任役員（敬称略）

理事 浅野和広，岩見吉輝，岡村未対，小川啓之，風間優，加藤和彦，加藤公康，金井道夫，金重昌宏，河合研至，清原啓太，小沼直人，酒井一郎，佐藤恭輔，清水琢三，先崎正文，高

橋修，高橋弘，建山和由，玉石修介，沼尻理，深川良一，保坂益男，本田博人，真下英人，三觜勇，柳屋勝彦，山口正己，山本明，和田学

監事 有野芳弘，中神陽一，中野浩二

議長は、以上をもって議事を終了した旨を述べ、通常総会は午前10時59分に終了した。



第50回理事会①



岩見吉輝業務執行理事



第50回理事会②



監査意見（上総周平監事）



会長・副会長就任挨拶

3. 第 50 回理事会

通常総会終了後、機械振興会館 6 階会議室をリアル会場としつつ役員の Web 出席を認めるハイブリッド会議方式で第 50 回理事会が開催され、代表理事・会長に金井道夫理事が選定された。また、副会長に建山和由理事、本田博人理事、清水琢三理事が選定され、業務執行理事に岩見吉輝理事、真下英人理事が選定された。

4. 永年会員・役員表彰及び日本建設機械施工大賞

理事会終了後、地下 2 階ホールにおいて令和 6 年度永年会員表彰・永年役員表彰及び令和 6 年度日本建設機械施工大賞の表彰式を行った。

(1) 令和 6 年度永年会員表彰・永年役員表彰

①本部 団体会員

【会員期間 70 年】

オリエンタル白石(株)、鉄建建設(株)、(株)フジタ、三菱ロジスネクスト(株)



令和 6 年度日本建設機械施工大賞受賞者



令和 6 年度永年会員表彰・永年役員表彰受賞者

【会員期間 60 年】

範多機械(株)、(株)三井 E&S パワーシステムズ

【会員期間 50 年】

小野田ケミコ(株)、田中鉄工(株)

【会員期間 40 年】

(株)小川製作所

【会員期間 30 年】

カミズジャパン(株)、岩盤削孔技術協会、日本ハイウェイ・サービス(株)

【会員期間 20 年】

(株)東京建設コンサルタント、(株)丸島アクアシステム

②支部 団体会員

【会員期間 70 年】

(関西支部) (株)大林組、(株)鴻池組、西松建設(株)

【会員期間 60 年】

(北海道支部) 片桐機械(株)、(株)NICHIGO

(東北支部) 新潟トランス(株)東北営業所、日立建機日本(株)東北支社

(北陸支部) 北川ビューテック(株)、(株)吉光組

(中部支部) (株)クボタ中部支社、住友建機販売(株)住友建機教習所愛知教習センター

(関西支部) 奥村組土木興業(株)、福井鐵工(株)

(中国支部) 鹿島建設(株)中国支店、洋林建設(株)

(九州支部) 日本道路(株)九州支店、前田建設工業(株)九州支店

【会員期間 50 年】

(北海道支部) 白崎建設(株)、(株)堀口組

(東北支部) 清水建設(株)東北支店、日本道路(株)東北支店

(中部支部) 飛鳥建設(株)名古屋支店、(株)丸建サービス

【会員期間 40 年】

(東北支部) 富士建設(株)

(北陸支部) (株)上原自動車工業、水機工業(株)、道路技術サービス(株)、北陸ハイウェイ建設(株)

(中部支部) 西尾レントオール(株)中部支店、福田道路(株)中部支店

(関西支部) (株)シンテクノ

(中国支部) 大福工業(株)

(四国支部) 泉鋼業(株)、(株)熊谷組四国支店、(株)コーワン、(株)竹中土木四国支店、(株)山内組

(九州支部) 味岡建設(株)、(株)富士ピー・エス

【会員期間 30 年】

(北海道支部) 日本高圧コンクリート(株)

(東 北 支 部) 株小野良組
 (関 西 支 部) 株豊工業所
 (中 国 支 部) カナツ技建工業株, 三洋重機株

【会員期間 20 年】

(北海道支部) 宮本土建工業株
 (北 陸 支 部) 昱工業株
 (中 部 支 部) 株東京建設コンサルタント中部支社
 (関 西 支 部) 株クロダテック, 株阪本商会

③個人に対する表彰 (敬称略)

- ・本部役員
池上徹, 数見保暢, 嘉藤好彦, 平野耕太郎,
丸山暉彦, 湯川勝彦, 上総周平
- ・本部運営幹事
坂井紀幸, 水内健一, 山本茂太
- ・支部長・支部運営委員等
(北海道支部) 八柳壽修

(東 北 支 部) 伊藤誠剛, 風間基樹, 齋藤彰一,
佐藤文行

(北 陸 支 部) 丸山暉彦, 真柄卓司

(関 西 支 部) 村中浩昭

・支部部会長等

(東 北 支 部) 井上秀秋

・職員

勤続 30 年以上

(本 部) 森園隆行

(施工技術総合研究所) 太田正志, 藤島崇

勤続 20 年以上

(施工技術総合研究所) 加藤弘志, 齋藤聡輔,
鈴木健之

(2) 令和 6 年度日本建設機械施工大賞

詳細は本誌次頁以降に掲載。

令和6年度



日本建設機械施工大賞 受賞業績

日本建設機械施工大賞は、建設事業の高度化等に関し顕著な功績をあげた業績について表彰するもので、大賞部門と地域賞部門の2部門で構成される。

大賞部門は、我が国の建設事業における建設機械及び建設施工に関する技術等に関して、調査・研究、技術開発、実用化等により、その向上・普及に顕著な功績をあげたと認められる業績を表彰し、地域賞部門は、従来の施工方法・技術を改良あるいは普及させるなどの取組みを通じて、当該地域の事業者等で建設事業の推進に寄与したと認められる業績を表彰し、もって国土の利用、開発・保全及び経済・産業の発展に寄与することを目的としている。

令和6年度受賞業績及び受賞者

■大賞部門

最優秀賞

- ・超高層建物における吊取り解体工法の開発

鹿島建設(株)

スラブを斜めに切断して、スラブ切断後の仮設支保工を不要としたもので、独創的アイデアにもかかわらず安全性と作業性が両立し、工期短縮に大いに効果があることが高く評価された。

優秀賞

- ・AIによるシールド自動運転システムの開発

清水建設(株)

掘削計画から掘進機操作までをAIにより行うことで、掘削を短時間に完了させ、かつ高精度の操作を実現したもので、経済的効果や熟練オペレータ不足への対応が高く評価された。

優秀賞

- ・遠隔操作システムを用いた、
現場オペレータのテレワークシステム

鹿島建設(株)

(株)富島建設

コベルコ建機(株)

重機の遠隔操作システムと、操縦履歴・遠隔重機データを活用して人・重機・現場を常時つなぎ、建設現場の生産性を向上させるもので、従来技術を発展させつつも実用性が高いことが評価された。

優秀賞

- ・高速道路本線への床版自動搬送システム

(株)大林組

施工延長に揚重機を数カ所設け、工事用車両の高速道路本線への搬入出を廃止し、効率的かつ一般車とのトラブル回避を図るもので、工事の規制期間の大幅短縮により社会貢献できる点が高く評価された。

選考委員会賞

- ・2ブームロックボルト遠隔施工システムの開発

清水建設(株)

古河ロックドリル(株)

(株)ケー・エフ・シー

ロックボルト打設において、穿孔・モルタル充填・ボルト挿入の3作業を一貫して行うシステムにより、危険および苦渋作業を回避するもので、作業従事者を削減できる点が高く評価された。

選考委員会賞

- ・山岳トンネル工事における
油圧ショベルの遠隔操作システム

西松建設(株)

ジオマシンエンジニアリング(株)

フューチャーアイリス(株)

切羽作業において、音・振動センサや掘削形状モニタリングシステムを搭載した遠隔システムにより、安全かつ良好な作業環境の確保を図るもので、切羽作業の完全無人化を実現できる点が高く評価された。

選考委員会賞

- ・CO₂ 排出ゼロへ！

フル電動ラフテレーンクレーン「EVOLT eGR-250N」

(株)タダノ

温室効果ガスの排出をゼロとするため、電動化の期待が大きい建設用機械のうち、世界で初めてフル電動化を実現したラフテレーンクレーンを国内市場に投入するもので、技術的效果と将来性が高く評価された。

■地域賞部門**最優秀賞**

- ・路上表層再生機を使用した

路面維持工法「ヒートドレッシング工法」

福田道路(株)

路上表層再生工法において、舗装厚を抑え、路面ヒータ車の加熱能力を増大させる等により、小規模現場への適用は図ったもので、地域の道路維持に有益な提案であることが評価された。

優秀賞

- ・盛土転圧の締固めシステムの自動化による

過転圧防止システム（シーマル）

(株)砂子組

TS・GNSS を用いた締固め管理手法において、盛土材質の急変等による転圧の過不足を防ぐため、衝撃加速度法による技術を組合せたもので、より適切な盛土の品質管理が行える点が高く評価された。

優秀賞

- ・刈草の酸素供給型高速焼却装置「モヤッシー」

(株)山辰組

刈草の焼却処分において、圧縮空気を用いて高温焼却させることで、発生煙の軽減と作業時間の短縮を図るもので、そのアイデアと、地域の苦情解消と効率化を両立させた点が高く評価された。

優秀賞

- ・山中における林道新設工事での

TS 自動追尾型 ICT 施工

林建設(株)

GNSS の届かない山間地域の林道工事において、TS 自動追尾型 ICT 施工を提案・実施したもので、施工事例の少ない地域、場所での ICT 施工の普及に貢献した点が高く評価された。

JCMA 報告

令和6年度 日本建設機械施工大賞 受賞業績概要

大賞部門 最優秀賞

超高層建物における吊取り解体工法の開発

鹿島建設㈱

業績の概要

都市部の大型建築工事では、既存建物の解体工事を伴うことが多く、昨今では超高層建物を解体する事例も増えている。超高層建物の地上躯体の解体工事では、階上解体工法ではガラの飛来・落下、粉塵の飛散などの周辺環境への影響、従来のブロック解体工法では工期とコストの増加に課題があった。

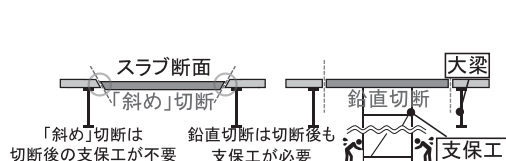
そこで、スラブを斜めに切断してスラブ切断後の仮設支保工を不要とし、従来のブロック解体工法と比較して、工期を短縮し、コストを低減する工法（以下、本工法）を開発した（図—1, 2）。本工法の開発にあたり、新たにスラブ斜め切断カッターを開発した。また、スラブ切断時に発生するノロ水を減容し、分離した水を切断に再利用するノロ水脱水装置、切断後の部材の揚重時に吊荷の姿勢を自動で水平にし、着地前に反転させ、解体・搬出時間を短縮する4点自動吊上げ装置を開発した。

本工法を、最高高さ162mの世界貿易センタービルディングの解体工事に適用し、ガラ・粉塵が飛散することなく地上躯体解体工事を終え、公衆への無事故無災害を達成した。また、本工事においては従来のブロック解体工法に比べ約17%の工期短縮に貢献し、本工法の有用性を検証することができた。

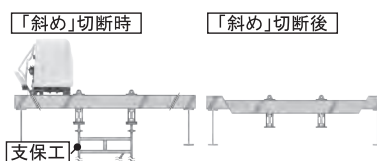
業績の特徴

解体状況の断面図を図—3に示す。解体中の建物の耐震性能を確保するため構造解析を行い、スラブ切断をどの

フロアまで先行して実施できるかなどの検証により、先行作業の範囲を設定した。足場は建物頂部の4フロアに設置し解体の進捗に併せてせり下げを行った。N階およびN-1階ではブロック状のユニットの吊取り作業、N-2階では躯体鉄骨の先行溶断作業、足場の最下段となるN-3階では外装パネルの撤去作業、N-5階ではスラブの切断作業を実施した。各階での作業を5日以内に完了させることで、1フロアを5日間のサイクルで解体した。粉塵・騒音が発生する作業は外装・ガラスがあるN-4階より下の階で完了させ、外部への飛散・風散リスクを低減した。タワークレーンにてユニットを吊取り後、建物内に設けた大型揚重開口から1階まで吊下ろし、風の影響を受けることなく揚重作業が完了する。1階にてコンクリートを小割りし、鉄筋・鉄骨などを分別して搬出した。揚重回数を削減し工期を短縮するため、躯体は極力大きなユニットに割り付けた。スラブ斜め切断カッター（図—4）により支保工の設置を切断箇所のみとすることで、切断後直ちに撤去可能としタワークレーンによる盛替え作業をなくし工期短縮とコスト削減を実現した。ノロ水脱水装置（図—5）により、スラブ切断時に発生したノロ水は水と脱水ケーキに分離して廃棄物の減容と水の再利用に貢献した。4点自動吊上げ装置（図—6）により、大割りとし揚重時のバランスが不安定になったブロックを、水平な荷姿での揚重と着床時の吊り荷姿勢を遠隔で操作可能とし、揚重作業の作業性向上と安全を確保した。



図—1 斜め切断と鉛直切断の比較



図—2 斜め切断の概要



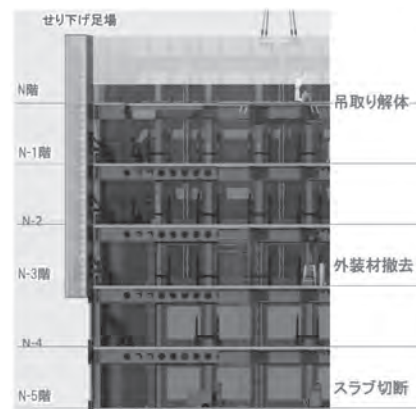
図—4 スラブ斜め切断カッター



図—5 ノロ水脱水装置



図—6 4点自動吊上げ装置



図—3 解体状況の断面図

大賞部門 優秀賞

AIによるシールド自動運転システムの開発

清水建設㈱

業績の概要

シールド工事は、建設工種のなかでは比較的、機械化が進んでいるが、掘進指示書の作成やシールド機の操作は、長年の経験と技術や多大な手間と時間を要しているのが現状である。これらの作業を、AIに置き換えることにより省人化、合理化による生産性向上が期待でき、今後想定される熟練技能労働者の大量離職にも対応できる。生産性向上と一層の安全性確保を目的としてシールド機の方角制御に関する自動運転システムの開発を行った。

本技術は、AIを活用したシールドトンネルの掘進計画を立案する計画支援AIとシールド機の操作を支援する操作支援AIによりシールドトンネルの自動掘進を実現する技術である。

計画支援AIについては、従来の人力の手法では数リング先までの計画に1時間以上要する上、数リング先のシールド機とセグメントとの相対位置の算定は極めて困難であるが、AIにより40リング分の掘進計画を5分で完了できることを確認した。

操作支援AIについては、シールド機のジャッキ操作をAIが自動で実施できることを確認した。計画に対する誤差は方位角0.02°程度、高さ2mm程度であり熟練オペレータの操作と同等以上の精度であった。AIによる操作であるため常時情報を監視し蛇行の兆候を見逃すことなく操作ができ精度向上につながる。

業績の特徴

(1) 経済性

従来、シールド機の位置測量から掘進計画立案、指示書作成に片番あたり90分要していたが、計画支援AIを用いることにより、15分まで削減できた。さらに、従来シールド機の掘進操作に片番あたり195分要していたが、操作支援AIを用いることにより、126分まで削減できた。合わせて片番あたり285分要していたがAIを用いることにより141分まで削減でき、AIにより省力化、合理化ができ生産性が向上する。

将来的には複数の現場を一人の熟練オペレータが担当し、個々の現場の実操作はAIが担当することで更なる生産性向上も視野にいられている。

(2) 汎用性

シールドトンネルは下水、地下河川、電力、ガス、鉄道、道路などを構築する施工法として今後も多くのニーズがあり、本



図-1 自動運転の現場実証



図-2 操作支援AIによるジャッキ選択

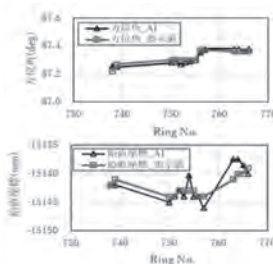


図-3 自動運転結果

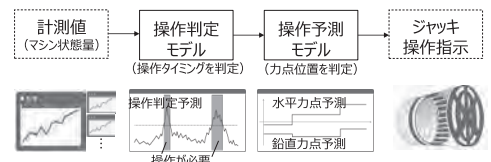


図-4 操作支援AIモデルの構成

技術の活用も見込まれる。また、様々なメーカーのシールドマシンに導入しており、どのメーカーのシールドマシンであっても適用可能である。本技術の導入現場が増え、学習量が増加することでAIモデルがますます高精度化し汎用性の高い技術となることが期待できる。なお、熟練技能労働者の確保が難しい海外においても適用可能であり、汎用性は極めて高い。

(3) 安全性

本技術では、シールド機のジャッキ操作を自動で行うことから、AIモデルが適切に予測できなかった場合に備えたフェールセーフ機構を有したシステムとしている。AI予測が前回の予測と大きくずれてくる場合は、掘進方向の急な変更やジャッキ操作への負荷が生じ、円滑な掘進が困難となることから、ジャッキの使用・変更本数に制限を設ける管理値が設定されている。またAI予測異常がある場合や緊急時などは、自動運転を中止して即座にオペレータによる手動運転に変更できる設計としていることから、高い安全性を確保している。さらに、安全性確保のためAIが適切な予測を行っているか判断するため以下のチェック機能を有している。

- ①入力データチェック AIに渡すデータの欠損、あるいは計測器の測定範囲外となるようなデータの有無を確認し、そのような状態が継続する場合には異常、緊急性を判定してエラー表示しオペレータに判断を仰ぐ。
- ②未学習チェック データがAIモデルの学習範囲内であることを確認し、学習結果に応じた結果を提供できるかどうかを確認する。データが学習範囲内にない場合には異常と判定する。

大賞部門 優秀賞

遠隔操作システムを用いた、現場オペレータのテレワークシステム ～ K-DIVE 遠隔操作システムを用いた現場改善ソリューション～

鹿島建設(株)、(株)富島建設、コベルコ建機(株)

業績の概要

この技術は、従来のリモコン操作とは異なり油圧ショベルの遠隔操作システムをベースに、人、重機、現場を常時つなぐことで現場のDXを可能にする。

1台のコックピットで距離の離れた作業現場（例えば都道府県を跨ぐ距離）であっても複数重機を切り替えて遠隔操作を実現。また、実機の振動や傾き、音などをコックピットにフィードバックし現場にいる感覚で操作することが可能となり、重機オペレータの働き方を革新し、効率的に作業を進めることができる。

赤谷地区上流溪流保全工土工事にて2023年6月～10月までの無人化施工期間中に施工機械の1台として、(株)富島建設本社と工事現場内に設置したコックピットから運用。マシンガイダンスを使い土砂の掘削積込み、改良土の敷均し、法面整形作業を実施した。

従来遠隔操縦と比較して10～20%の生産性UP。特別な操縦訓練は必要なく、遠隔操作をすることができた。遠距離遠隔操作でも操作遅延は少なく、振動や傾き、音のフィードバックにより操作性が向上。生産性向上に寄与している。

業績の特徴

【技術の背景】

平成23年の台風12号発生時に生じた河道閉塞部の安定

化を図るために、土石流を防止する砂防堰堤を築造した。現場は斜面の再崩落が繰り返される条件下かつ、出水期は人が立ち入れない危険な区域で早期に工事を完成させるため、遠隔操作を取り入れる必要があった。

【技術の内容】

◆重機の遠隔システム

実機搭乗時と同様な操作性をもつコックピットにて重機操作が可能である。

◆ヒト、重機の稼働データの活用

クラウドに蓄積した稼働データにより現場の課題を見える化し、効率化を図ることができる。

リアルな操作感の遠隔操作コックピット

重機の振動や傾きをリアルタイムに再現するモーションシートに加え、重機周辺の音声がコックピットへフィードバックされるため、重機に搭乗して操作する操作感を遠隔操作でも体感できる。

多接続機能

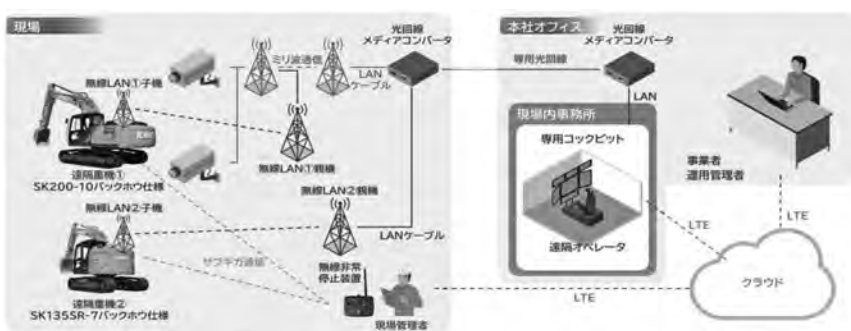
あらかじめ登録した作業エリアと遠隔重機を任意に選択して接続が可能である。

ダッシュボード機能

遠隔操作したデータはクラウドにアップロードされ、日々の業務内容や進捗状況をひと目で確認できる。



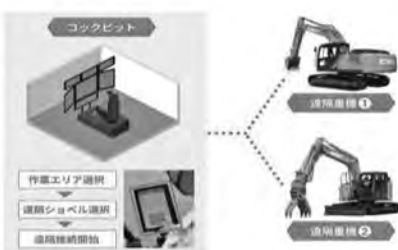
遠隔操作システム



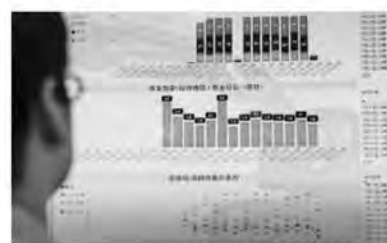
システム概要例



遠隔操作コックピット



多接続機能



ダッシュボード機能

大賞部門 優秀賞

高速道路本線への床版自動搬送システム

(株)大林組

業績の概要

従来の床版取替工事では、高速道路上への資機材の搬出入には高速道路を用いてトラック等で行うのが一般的であったが、工事車両の本線流入による渋滞の誘発や渋滞末尾による事故増加の懸念があった。そこで本線高架下から直接資機材を揚重する設備の開発と、軌条式の方法運搬台車を導入し、高速道路の走行車両に対する影響を最小化するため、資機材を搬出入するシステムを開発するとともに、さらに、昨今の人材不足にも対応するため、資機材の揚重から施工箇所への運搬の一連の流れを自動運転化させて省人化を実現した。

揚重設備は高架橋の桁を一部撤去し開口部を設け、ステージ状の昇降架台をリフトアップさせる構造とした。軌条レールを架台上に配置することで、資機材を材料運搬台車に高架下で直接載せることができ、本線上での施工箇所への運搬もシームレスに行うことができる。材料運搬台車も自動運転機能を装備し、揚重設備の昇降と連動させることで床版等資機材の搬入から運搬を効率化することができた。

業績の特徴

高速道路本線への床版自動搬送システム

床版等の資機材を本線上の施工箇所への運搬手段として、高架下から本線上へ直接資機材を揚重する設備①「リフトアップ式資機材揚重設備」と、本線上で施工箇所まで運搬する設備②「自動運転機能付き運搬台車」を導入した。この2つの設備を連動させ、揚重開始後は自動で施工箇所まで資機材を運搬するシステムを構築した。これにより高速道路本線を利用することなく資機材の搬入から施工箇所への運搬を継ぎ目なくスムーズに行えるようになり、省人

化と施工の効率化を実現した。

①リフトアップ式資機材揚重設備

高架下から資機材を揚重するため、高架橋の桁の一部を撤去し、設けた開口部からステージ状の積載架台をリフトアップさせる構造の揚重設備を開発した。高架下から直接資機材を搬出入するため、本線への影響をなくすることができる。

高架下に設けた開口部の周りに4つのポストを建て、それぞれのポストの上にホイストを取り付けており、ステージ状の昇降架台を4基のホイストと油圧ジャッキで昇降させる構造となっている。ホイストで昇降架台全体を上下させ、ホイストの高さ分を昇降架台下に設置した油圧ジャッキで持ち上げることにより、ステージと本線の床面を合わせる。

昇降架台へ運搬台車が直接積載できるよう昇降架台の床面に軌条レールを設置し、高架下で直接運搬台車へ資機材を積み込めるようにした。

②自動運転機能付き運搬台車

本線規制内での資機材の運搬は、軌条式の方法運搬台車を用いた。本台車に自動運転機能を搭載し、リフトアップ式揚重設備から本線搬入後に自動で施工箇所まで運搬を行った。

自動運転の運行方法は、台車の停止位置の認識に磁気反応センサーを利用し、目的地の磁石板を認識することで自動停止させる機構とした。安全対策にはレーザー式のセンサーと、AIカメラによる人感センサーの2種を搭載し、自動運転中の衝突防止を図った。万が一人や障害物に衝突しても、即座に停止するためのバンパーセンサーを搭載し、3重の安全装置による事故防止とした。

自動運転機能はリフトアップ式揚重設備の昇降と連動させ、本線到達後に自動で発進する機能を付与した。



高速道路本線からの搬出入



リフトアップ式揚重設備



自動運転機能付き運搬台車



ポストx4本



ホイスト



油圧ジャッキ



自動運転機能付き運搬台車



リフトアップ式揚重設備

リフトアップ式揚重設備

建設機械施工 Vol.76 No.7 July 2024

大賞部門 選考委員会賞

建設機械施工 Vol.76 No.7 July 2024

2 ブームロックボルト遠隔施工システムの開発

清水建設(株), 古河ロックドリル(株), (株)ケー・エフ・シー

業績の概要

本システム（写真—1）は、熟練技能者の経験と技量を基本とする山岳トンネル工事のロックボルト工における全打設プロセスを機械システムに置き換え、施工むらをなくす高品質・高精度な機械施工を実現するとともに、安全性・生産性向上を達成したものである。

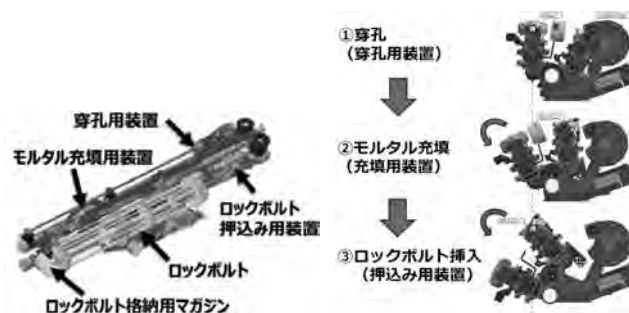


写真—1 2 ブームロックボルト遠隔施工システム

本技術の適用により、生産性向上効果として、従来5人での作業を2人で行うことが可能で、サイクルタイムは、一般工法と比較して中断面道路トンネルの3mロックボルト工で10%、大断面の4mロックボルト工で20%短縮した。作業の安全性確保として切羽直下の作業時間を0に、出来形精度は、ロックボルト打設位置 ± 20 mm以内、品質についてもモルタル充填量の見える化により十分な定着力が確保されることをロックボルト引抜き試験で確認しており、高精度かつ高品質な施工を実現した。

業績の特徴

本システムは、ロックボルトの遠隔打設装置（ボルティングユニット）（図—1）を2基装備した2ブームロックボルト打設専用機とモルタル自動供給装置（写真—2）により構成される。本システムでは、キャビン内からの遠隔操作により、ロックボルト打設位置の軸方向を中心にボルティングユニットを回転させながら、穿孔・モルタル充填・ロックボルト挿入の3セクションの切替をシームレスに行う（図—2）。左右のボルティングユニットは、同時に稼働させることが可能なため、1サイクルの打設効率を最大



図—1 ボルティングユニット
（3セクション方式）

図—2 ボルティングユニットの
回転動作（正面図）



写真—2 モルタル自動供給装置装置



写真—3 コントロールパネル画面

化することができる。定着モルタルの練混ぜは、大型モルタル供給装置をタイマーとレベルセンサーにより制御し、消費量に応じて自動で左右2台のモルタルポンプにモルタルを補充、キャビン内からの遠隔操作で左右ボルティングユニットへのモルタル供給を自動化する。ロックボルト出来形やモルタル充填量は、コントロールパネル画面（写真—3）でリアルタイムに可視化され、確認ができるため出来形精度や施工品質の向上を図ることができる。

大賞部門 選考委員会賞

山岳トンネル工事における油圧ショベルの遠隔操作システム 「Tunnel RemOS-Excavator」

西松建設(株), ジオマシンエンジニアリング(株), フューチャーアイリス(株)

業績の概要

山岳トンネル掘削の最先端部である切羽においては、発破後に掘削設計断面線よりも内空側に残った地山を掘削する整形作業（以下、あたり取り）が行われている。これまで、あたり取りの際は作業員が切羽直下に立入り、目視にて整形が必要な箇所（以下、あたり箇所）を判断していた。しかし、切羽は地山が露出しており、岩塊の抜け落ち（肌落ち）がひとたび発生すると、死傷災害につながる可能性が高い危険な場所である。そこで、あたり取り作業に使用される油圧ブレイカのオペレータの安全性の向上、作業環境の改善のために、ブレイカやバックホウ等の油圧ショベルの遠隔操作施工システム「Tunnel RemOS-Excavator（トンネルリモス-エクスカベータ）」を開発した。

業績の特徴

(1) 安全性の向上

遠隔操作室から油圧ブレイカのすべての操作を行うことで切羽が無人人となり、飛び石や切羽崩落による人的被害が無くなる。また、「切羽掘削形状モニタリングシステム」

を搭載することで、あたり箇所の確認に切羽直下に立入ることもなくなるため安全性が向上する。

(2) 作業環境の改善

油圧ブレイカによる掘削作業は振動、騒音、粉じんおよび飛び石の飛来等オペレータにとって苦渋な環境であるが、遠隔操作室は切羽から離れている上に空調が完備されており、快適な作業環境でトンネル掘削を施工することが可能であり、作業環境が改善される。

(3) 操作性の向上

オペレータがより実機に搭乗している時の間隔で操作できるように、操作コクピットにおいて実機の音と振動を再現している。また、現場試行を通じて、カメラの台数や配置の工夫、無線伝送技術の選定を行うことで、遠隔操作するために必要な視認性と低遅延による高い操作性を実現している。

(4) 高い汎用性

本システムは重機メーカー問わず後付けが可能のため、汎用性の高いシステムとなっている。

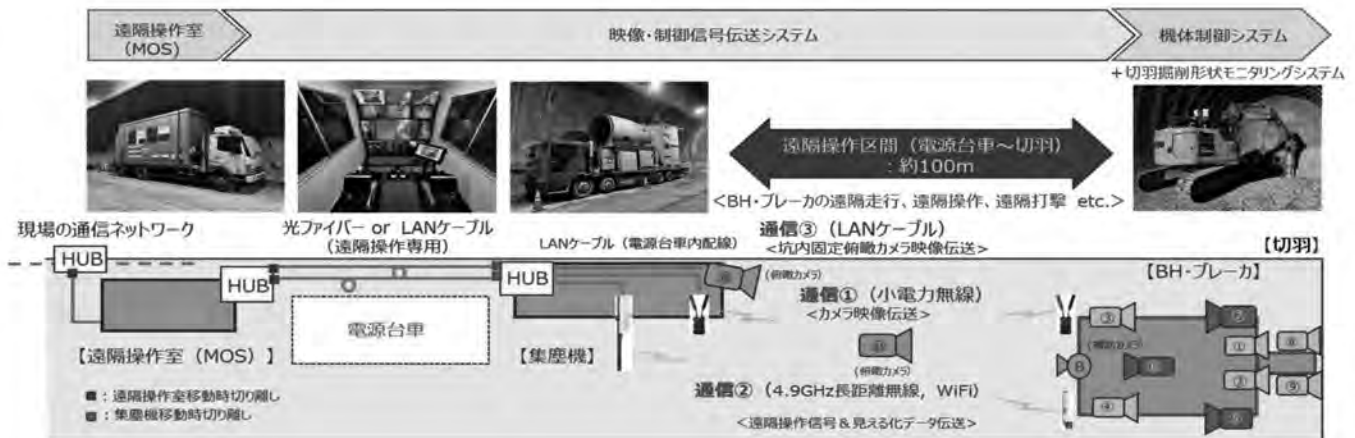


図-1 「Tunnel RemOS Excavator」概要図



写真-1 運転コクピットおよびモニタ



写真-2 遠隔操作油圧ブレイカ

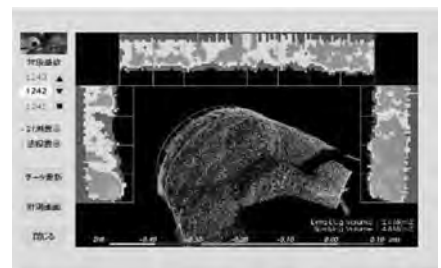


図-2 モニタリングシステム

大賞部門 選考委員会賞

CO₂ 排出ゼロへ！

フル電動ラフテレーンクレーン 「EVOLT eGR-250N」

(株)タダノ

業績の概要

日本国内で最も台数が多く、汎用性の高い吊上げ性能 25tクラスのラフテレーンクレーンのフル電動化を実現。バッテリーを動力源としてモータ駆動により、走行、クレーン作業を可能とした。従来のディーゼルエンジンを搭載したモデルと同等の走行性能、クレーン性能を有し、満充電状態で平均的な1日のクレーン作業が可能。

電動化することで、これまで走行、クレーン作業で発生していたCO₂排出をゼロにするとともに、低騒音化も含め、建設機械による施工の環境改善につなげる。

業績の特徴

本機は世界初のフル電動のラフテレーンクレーンとして、公道走行可能な日本市場での審査基準を満足。

クレーン部は、油圧ポンプを電動モータで駆動させることで、信頼性の高い油圧式のウインチ／旋回／起伏／伸縮システムを採用。キャリヤ部は、トルクコンバータおよびトランスミッションを搭載しておらず、前後軸独立2モータを駆動することで、変速ショックのない滑らかな走行性能を実現している。

そして、エンジン搭載機に比べ劇的に静粛性が向上しており、超低騒音型建機の指定を受けている。

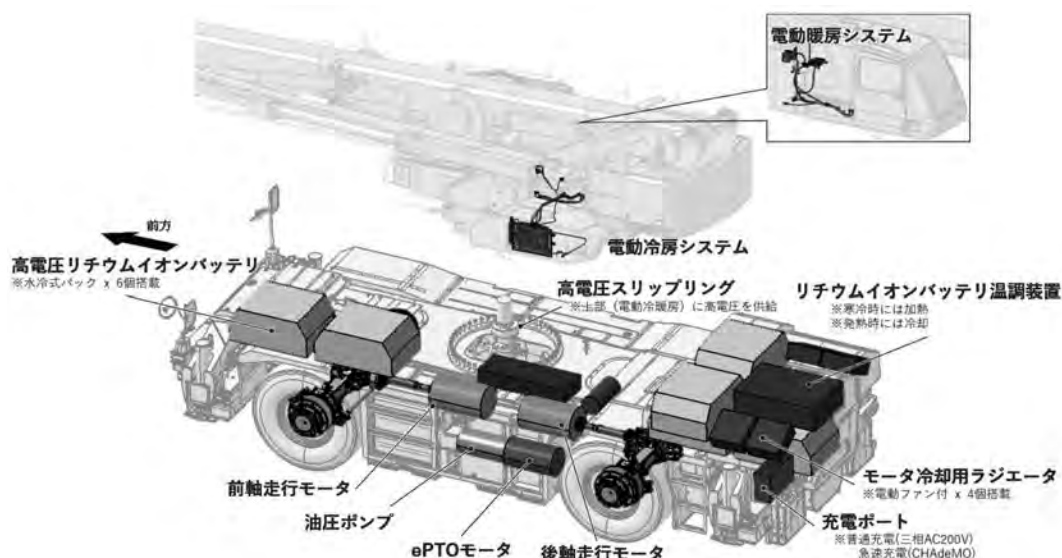
また、充電時間は急速充電で約2.5時間、普通充電（AC 200V 三相商用電源）で約8時間。急速充電方式は日本で普及が進んでいる CHAdeMO を採用している。



走行姿勢



作業姿勢



フル電動ラフテレーンクレーン構造装置

地域賞部門 最優秀賞

路上表層再生機を使用した路面維持工法 「ヒートドレッシング工法」

福田道路㈱

業績の概要

『ヒートドレッシング工法』は、既設舗装を現位置で加熱・かきほぐし、新規混合物と混合のうえ再度敷均す路上表層再生工法の施工厚を 30 mm とした、路面維持工法である。従来の路上表層再生工法は機械編成が長大で、施工箇所がある程度限定されることが課題であったが、施工厚を薄くしたこと及び路面ヒーター車の 1 台当たりの加熱能力向上により、機械編成が簡易化され、施工コストも縮減できることから県市町村道など小規模工事にも施工可能となり、適用箇所が拡大した。また、改良厚が 30 mm（既設舗装かきほぐし 20 mm とし敷均し 30 mm）であり、あくまでも表層の供用性回復を目的とした『ヒートドレッシング工法』

は、舗装の構造的破損には対応しておらず、路面破損に対応した技術である。適用に際しては構造的に健全な箇所を対象とするが、限られた予算で膨大な延長を管理する道路管理者のニーズと、大型車の通行量がそれほど多くなく、路面破損が比較的多い県市町村道の道路特性にマッチした工法であり、今後さらなる普及が見込まれる工法である。

業績の特徴

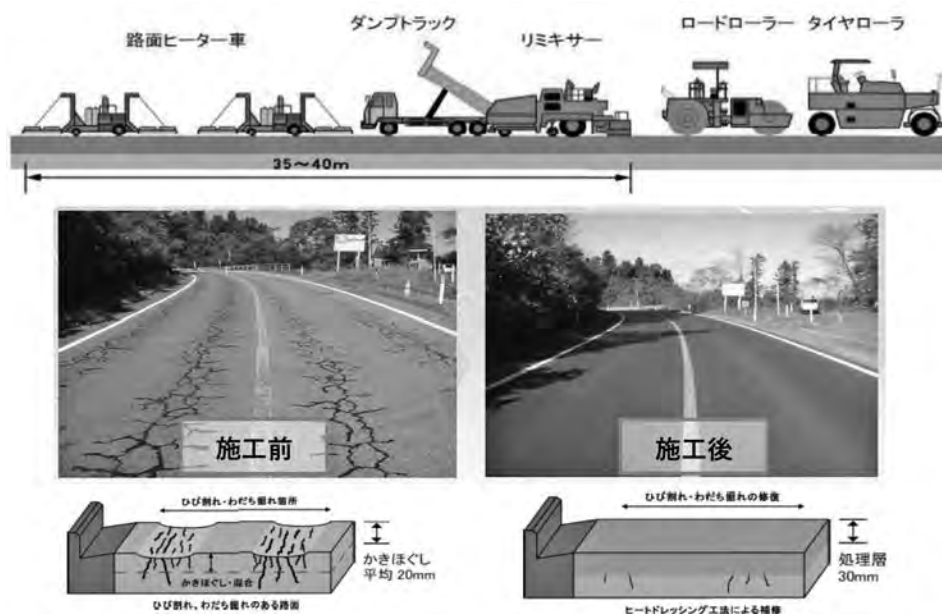
『ヒートドレッシング工法』は、既設舗装の老化により発生したひび割れを閉塞することで舗装の劣化を抑制するとともに、舗装表面がリフレッシュして供用性が回復する。工法の特徴として以下に整理する。

- ①かきほぐし厚さが 20 mm と薄層であるため、既設舗装の過度な加熱を抑制することができる。
- ②路面ヒーター車の 1 台当たりの加熱能力を増大させたことにより、機械編成を少なくすることが可能となり、一般道路で適用しやすくなった。
- ③新規合材の使用量が少なく、また、廃材の発生もほとんどない。
- ④既設舗装のクラックが閉塞し下層と一体化することで、既設舗装が延命に寄与する。

このような特徴から、『ヒートドレッシング工法』は、環境に優しく、ライフサイクルコストにも優れた工法である。



施工前のクラック（右）と
施工後にクラックが閉塞し
ている状況（左）



機械編成

盛土転圧の締固めシステムの自動化による過転圧防止システム（シーマル）

(株)砂子組

業績の概要

盛土転圧の密度管理として締固め度の計測をし合否が判定される。

従来は、材料を直接採取する砂置換法を用いた密度管理（1箇所/1000 m^3 ）や、試験盛土で決めた必要転圧回数をTS・GNSSによる管理法で対応していたが、砂置換法では試験が局所的であること、TS・GNSSによる管理法では盛土材に直接試験を実施していないという点から、盛土の品質が担保されていない可能性があった。

本システムは、衝撃加速度法の自動化により盛土の締固

度を面的にかつ、リアルタイムで計測が可能な密度管理システムである。

システムとしては、振動ローラーの後部に衝撃加速度を測定するランマーを取付け、GPS測位によって一定走行距離で加速度計を装着したランマーを自動落下させ、車載ソフトが衝撃加速度、測定位置、転圧回数を自動測定し、転圧過不足状況を即座に把握することが可能である。

よって、本システムの活用により盛土材の含水比等が変化した場合でも転圧過不足の防止、転圧回数の適正化が図れ、盛土の品質が向上するとして国土交通省からNETIS（HK-230002-A）の登録を受けた。

業績の特徴

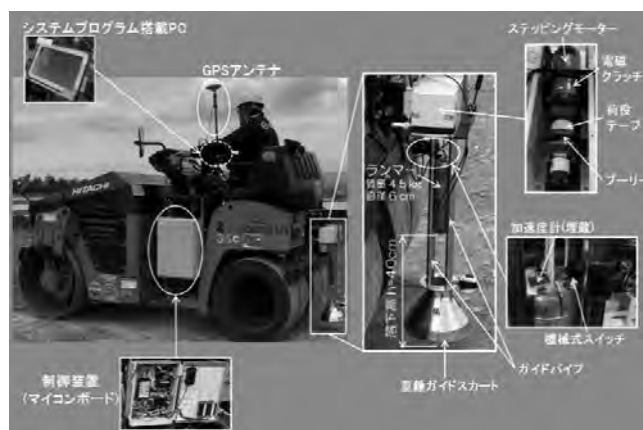
従来の盛土品質管理においては、以下に記した①～④の課題があったが、本システムでの衝撃加速度法に準拠した直接試験の自動化とGPS測位による管理方法を組み合わせることにより、課題に対応できている。

- ① TS・GNSSによる管理は転圧回数管理で直接試験結果に基づくものではない。
- ② 砂置換法や衝撃加速度法などは直接試験だが点的管理である。
- ③ 施工時の盛土材料の状態は降雨などの影響により日々変動する。
- ④ 試験施工で決めた必要転圧回数では転圧の過不足が発生する可能性がある。

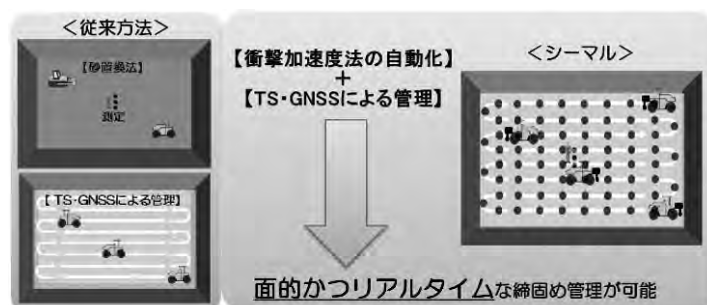
従来、定量的に判断することが難しかった転圧過不足の判定を行うことが可能で、計測を自動化することにより、面的かつリアルタイムな締固め管理が可能になった。これらにより、施工時における盛土材料に応じた、適正な盛土の品質管理が行える。



図一 従来試験法の問題点とシステム開発経緯



図二 本システムの概要図



図三 本システムの特徴

地域賞部門 優秀賞

刈草の酸素供給型高速焼却装置「モヤッシー」

(株)山辰組

業績の概要

NETIS 登録番号 CB-220020-A

河川堤防の除草工事は、生い茂る雑草を刈り取ることで、河川周辺の環境整備を行うとともに、堤防の法面を目視できる状態にして、法面の異常箇所を見つけることが大切な目的となっているが、刈り取った刈草の焼却処分では煙の発生がクレームの発生に繋がる大きな課題となってきた(写真—1)。また、除草工事は刈草を焼却処分した段階が完成となるが、雨天などの天候に焼却作業工程が大きく左右されてきたため、時間外作業や休日作業で遅れを挽回しなければならなかった。

このため、煙を発生させないためには、湿度60%以下に乾燥させた刈草を「モヤッシー」で高温で完全燃焼させることが重要な第1のポイントであり(写真—2, 3)、雨天などの天候に焼却作業の工程が左右される課題については、天候の良い間に乾燥した刈草を、高速で短時間に焼却することが第2の重要なポイントとなる。課題を解決するための2つの重要なポイントをクリアできる焼却装置「モヤッシー」は、「煙の発生を軽減」し、「生産性の向上」と、「働き方改革」の達成を可能とした新技術である。

業績の特徴

1. 煙が発生する課題を解決

地面上では500℃以下の燃焼温度であったため、不完全燃焼により大量の煙が発生したが、コンプレッサー(写真—4)を活用して燃焼部に向けて圧縮空気(酸素)を吹き付けることで、800℃～1000℃の燃焼温度で刈草を完全燃焼させることが煙の発生を大きく軽減させる「モヤッシー」の開発となった。

2. 煙に対するクレームの課題を解決

煙の発生を軽減したことで、煙に対するクレームの発生も軽減することができた。

3. 生産性の向上を達成した

高温焼却で焼却速度を2倍以上に生産性を向上させた。

4. 働き方改革を達成した

これにより従来では雨天など天候の影響で遅れた焼却作業工程の遅れを、時間外作業や休日作業で挽回していたが、焼却作業速度が速くなったため、平日だけで挽回することが可能となり、作業に従事する人が土日休めることになった。

5. コスト削減を達成した

従来の焼却作業単価を10.4%コスト削減した。



写真—1 従来の地面上の焼却煙の状況



写真—2 天日による乾燥状況



写真—3 圧縮空気(酸素)を噴射して焼却



写真—4 コンプレッサー



写真—5 高速焼却装置「モヤッシー」

山中における林道新設工事での TS 自動追尾型 ICT 施工

林建設(株)

業績の概要

従来型の林道新設工事では施工場所が山中ということもあり、木々が生い茂り上空が開けていないことが多く、ICT 施工のなかでも一般的な GNSS による RTK 型 ICT 施工ができないことが多かった。そこで、TS（トータルステーション）による自動追尾型 ICT 施工を行った。

施工現場は市道から足元の悪い険しい山中に深く入り込んでおり、ロスとなる施工時間や安全性を検討した結果 ICT 建機を導入し生産性の向上、工期短縮、安全性の確保を行うことにした。

業績の特徴

ICT 施工自体は目新しい技術ではないが、林道工事で適用されることが少なかったため、以下に特徴を挙げる。

1. 工事区間 L=720 m を UAV による着工前・出来形測量で着工までの測量にかかる期間を短縮。
2. 3D モデルにより作業員全員が完成形を確認しながら施工順序や危険箇所の把握。
3. L=720 m 間に 115 の測点があり、その左右一か所ずつの丁張設置を省略。
4. 丁張間の目印のない箇所も運転席内のモニターで正しい掘削位置を確認。
5. 法肩付近の丁張設置や稼働している重機の横での丁張設置を無くし安全性を確保。



林道起点から施工現場まで約 5K



機材置場を確保しローカライゼーション開始



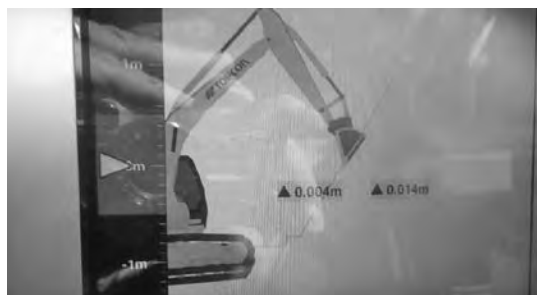
ICT 建機は 2 台導入し生産性向上を図る



UAV による着工前測量，出来形測量を実施，点群処理後，3D 設計セータを作成



3D モデルを作成することにより施工手順，危険箇所を把握し作業員と共有



3D 設計データを作成しバックホーに展開，モニターの設計画を見ながら掘削



丁張間の目印がない箇所もモニターを見て正しい掘削が行え若手オペの育成もできた

地方自治体・小規模施工における ICT 活用工事の取り組み

田中 一博・八木橋宏和

ICT 活用工事（土工）は、直轄工事において1工事あたり約3割の省力化を実現していることが報告されているが、地方公共団体発注の工事規模は小さく、ICTの活用がしにくいということが懸念されている。そこで、当研究所での小規模施工におけるICT施工の普及を目指した地方自治体の支援状況や、手元作業員の手間を大幅に削減できる作業装置（チルトローテータ）の活用に向けた状況調査について報告する。

キーワード：ICT, i-Construction, 3次元設計, 小規模施工, 省力化

1. はじめに

H28年度から実施されているICT活用工事（土工）では、1工事あたり約3割（土工の平均規模：約3万立方メートルの場合）の省力化を実現していることが報告されている。一方で、地方公共団体発注の工事規模は、国土交通省直轄工事に比べて土工の規模が小さくなることから、ICT活用による工期短縮効果がうまく発揮されにくく、ICTの活用がしにくいということが懸念されてきた。

本稿では、小規模施工における施工の効率化を目的とした課題対応（支援案）の状況、小規模土工に利用可能な作業装置（チルトローテータ）の活用に向けた状況調査について報告するものである。

2. 地方自治体における ICT 活用工事の課題

国土交通省が発出しているICT活用工事の実施要領を表1に示すICT施工技術の具体的内容に分類され、すべてのステップでICTを利用するICT活用工事と、②④⑤のステップにてICTを利用する簡易型ICT活用工事がある。国土交通省では様々な現場

表1 ICT 施工技術の具体的内容

No	内容	ICT 活用工事	簡易型
①	3次元起工測量	必須	(選択)
②	3次元設計データ作成	必須	必須
③	ICT 建機による施工	必須	(選択)
④	3次元出来形管理	必須	必須
⑤	3次元データの納品	必須	必須

条件にあわせICTを利活用可能とし、現場の生産性向上に向けた取り組みを実施している。

図1に示す通り、令和4年度における国土交通省直轄工事のICT施工の実施状況は87%でありICTが浸透したと言える状況である。しかし地方自治体におけるICT活用の実施件数は2,454件から2,802件に増加しているが、同時に公告件数も増えているため、実施率は令和3年と変わらず21%である。よって中小規模現場にはICTによる普及促進により更なる現場の効率化が可能である。

また、各地方自治体では国土交通省直轄工事のように施工数量が少ない工事・施工延長が短い現場が多かったり、河川・山間部の工事発注が多かったりと地域特性に合わせた工事発注を行っている。

そのため、地方自治体における中小規模の現場に積


国土交通省

土木工事におけるICT施工の実施状況

- 直轄土木工事のICT施工の実施率は年々増加してきており、2022年度は公告件数の87%で実施。
- 都道府県・政令市におけるICT土木工事の公告件数・実施件数ともに増加している。

<国土交通省の実施状況>

単位:件

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〕		2021年度 〔令和3年度〕		2022年度 〔令和4年度〕	
	公告 件数	5/6ICT 実施	公告 件数	5/6ICT 実施	公告 件数	5/6ICT 実施	公告 件数	5/6ICT 実施	公告 件数	5/6ICT 実施	公告 件数	5/6ICT 実施	公告 件数	5/6ICT 実施
土工	1,925	584	1,962	615	1,675	960	2,246	1,799	2,420	1,994	2,313	1,633	2,072	1,790
橋梁工	—	—	201	79	203	80	340	233	543	342	384	249	367	226
港湾工(河川)	—	—	28	34	62	67	83	67	84	63	74	72	55	56
港湾工(河川)	—	—	—	—	8	8	39	34	28	28	41	41	23	22
測量調査工	—	—	—	—	—	—	22	9	161	123	188	162	206	170
合計	1,925	584	2,175	912	1,947	1,104	2,597	1,880	2,642	2,396	2,685	2,264	2,379	2,064
実施率	30%		42%		57%		73%		81%		84%		87%	

※ 国土交通省では、国土交通省が発出しているICT施工技術の具体的内容に分類され、すべてのステップでICTを利用するICT活用工事と、②④⑤のステップにてICTを利用する簡易型ICT活用工事がある。国土交通省では様々な現場でICT活用工事を推進している。

<都道府県・政令市の実施状況>

単位:件

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〕		2021年度 〔令和3年度〕		2022年度 〔令和4年度〕	
	公告 件数	5/6ICT 実施	公告 件数	5/6ICT 実施	公告 件数	5/6ICT 実施	公告 件数	5/6ICT 実施	公告 件数	5/6ICT 実施	公告 件数	5/6ICT 実施	公告 件数	5/6ICT 実施
土工	84	670	291	2,428	323	3,970	1,198	7,611	1,624	11,841	2,454	13,429	2,802	2,802
実施率	33%		22%		29%		21%		21%		21%		21%	

図1 土木工事における ICT 施工の実施状況

極的に ICT を活用し効率化を図れるよう、ICT の部分的活用を独自で定める実施要領の作成・運用する自治体が増えているが、各地方自治体の ICT 担当者が人事異動した場合や、初めて ICT 施工を行いたい受注者にとっては、ICT 活用工事の情報をどこから収集するのかを調べる必要があり、効率的な学習ができない。その結果、自治体の ICT 活用工事実施要領が受発注者双方に認知されておらず、ICT 利活用の本質である生産性の向上から逸脱してしまう懸念がある状況である。

3. ICT 活用工事における現地の普及活動

(1) 企業講習会の実施

地方自治体発注工事の生産性向上のため、ICT 活用を実施する意向がある建設企業に対し、現場における技術支援や企業が習得したい ICT に関する個別講習会を実施した。

受発注者双方にヒアリングを行うと、ICT の活用には ICT 建機の利用が必須であるとの認識や、点群を利用した出来形管理を行わなければならないなどの認識を持っており、ICT をフル活用しないとならないというイメージが強く、ICT 実施方針を誤解している状況がある。そのため、国土交通省における ICT 実施方針や各地方自治体の実施方針、3次元計測技術を用いた出来形管理要領の調べ方を伝えることによって、具体的に実施する内容を受発注者にイメージさせることができる。

また施工者の多くは簡易的な ICT 活用をするための資機材を有している社が多いが、利用方法がわからず実運用が出来ていない場合もある。そのため図—2 に示す通り、より日常的に ICT を利活用することで日々の確認作業・丁張設置が効率化できる事や、ICT を利

用した従来の寸法管理による出来形管理の簡略化の方法などを伝え、ICT の導入には費用が多くかかるのではないかという不安を解消し、保有している機材でも ICT の活用効果を出せると認識させることができる。

上記記載の通り、ICT の部分的な利活用を行うことにより、地方自治体の定めている実施方針に適用できるケースが多く、施工者の作業効率化によるメリットに加え、加点措置や費用面にとっても施工者にとってのメリットを付加することが可能である。

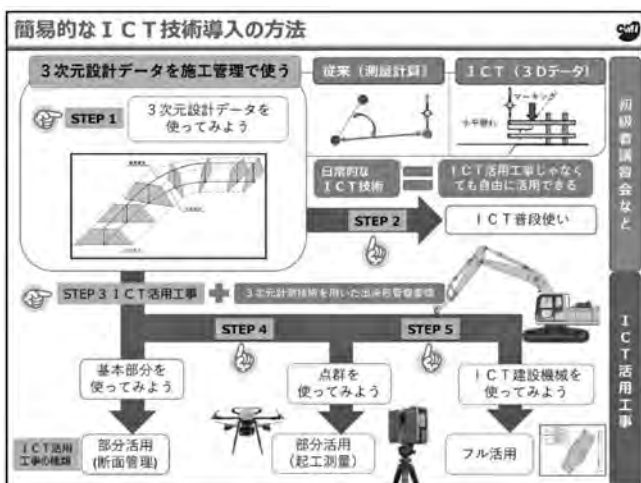
(2) ICT 活用相談会

ICT の導入には不慣れな作業や経験不足などにより意欲が失われてしまうケースがある。そのため、ICT の経験が少ない企業を対象に、CMI が講義を実施するほか、実際の工事現場の条件に応じた ICT 導入の提案を行い、ICT 技術を現場に取り入れる際に必要となる知識を学ぶための相談会を開催した。

また、当該研修地域の ICT 活用先駆者を招き、実際の ICT 活用方法や、現場にて発生したことについての事例に関して情報共有および意見交換を行った（写真—1）。

講習会は人数が増えると質疑応答や意見交換が少なくなる傾向があるため、活発な意見交換を行うために人数を 10 名程度に制限した。企業同士の ICT 実施状況報告や、ICT 初級者同士のディスカッションを行い、自治体における実施方針の課題・発注者側の問題点等について情報収集を行い、当該自治体における ICT 活用の普及促進に向けた情報収集を行った。

現場の不安要素としては 3次元設計データの作成方法、作成時の留意点、面管理実施時の出来形管理積算費用など質疑内容は様々であった。施工者同士が集まり意見交換の場を設けることによって互いに共感する質問・課題に対する対応策や導入状況を知ることによって利便性の高さを実感すると共に、ICT 導入に



図—2 簡易的な ICT の導入方法



写真—1 ICT 活用相談会

おけるハードルが高くないことを意識させるうえでは非常に効果のある相談会となり、参加者からは ICT の更なる活用や、ICT 導入に前向きになれたという意見があった。結果として、国土交通省の施策を末端までに普及させるためには自治体と協力した継続的な人材育成が重要であるが小規模土工においても、ICT による生産性向上に繋がる印象が得られた。

4. ICT 建設機械の作業装置 (チルトローテータ) の活用

(1) 小規模土工における ICT 建設機械の課題

ICT 建機による施工において、小規模施工に対応した小型の ICT 建設機械が市場に出始めているが、小規模現場では ICT 施工を活用しても手元作業員の数を減らすことが難しい。

小規模現場での ICT の活用においてハードルになりやすい課題には、手元作業員の存在が大きく関わる。せっかく施工者が ICT 活用を志しても、 1万 m^3 といった大規模現場と比べ、作業土工などの小規模施工では、依然としてスコップなどを手にした作業員が建設機械の周りを取り囲んでいる。

新規入職者確保が難しい現在では、いかに手元作業員を減らして、現場での生産性を上げることが命題になっている。

(2) チルトローテータの活用効果

チルトローテータは、バケットが回転・チルトできる。バケットが 360 度回転 + 左右 45 度傾く (チルト) ことで施工範囲が格段に拡大し、従来スコップで行っていた作業も可能になる。また、運転席から降りることなく、バケット以外のアタッチメントを交換し、敷き均し用のグレーディングツールや、ブラシ、グラップルなどのツールを自在に使える (写真—2)。

一般的な掘削 (土工 ICT) 作業の特徴としては、法面に正対した姿勢での掘削作業や、法面設計に沿った仕上がり整形、平場の整形などが多く、小規模施工と比べて手元作業員が少ない。

一方で、小規模施工の特徴は、作業スペースが狭隘であり、建設機械が施工場所に正対できないため、刃先が届かない場所は人力で補助している。また構造物設置・撤去に付帯する土工作业が多かったり、上空の架空線への注意が必要だったりする。

さらに、掘削深さや構造物設置の出来形確認に複数の計測員が必要で、埋戻し時のタンパの上げ下ろし、舗装面のカッター作業、水中ポンプの上げ下げ、排水



写真—2 チルトローテータ

管の移動・設置など、手元作業員が不可欠で、ICT 建機が効率的でないと認識されてしまう。

こうした現状のなかで、チルトローテータを導入する利点は以下のようなものとなる。

【生産性】

- ・ MG・MC システムとの併用で手元作業員がいらなくなる
- ・ 現場苦汁作業からの解放
- ・ 施工場所への重機正対が不要

【安全性】

- ・ 労働災害の減少
- ・ 架空線を気にせずに施工が可能

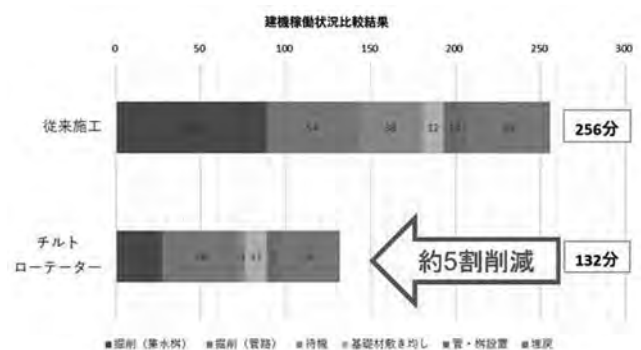
【イメージ】

- ・ 土木のイメージ向上
- ・ 新規入職者の確保につながる

また、今後の普及へのポイントとして、価格面でチルトローテータのアタッチメントなどの価格がベースマシンと同等のため、導入時の補助金、減税対策等が必要である。次に設備投資意欲の拡大として、現場の省力化・効率化拡大のための活用には工事成績加点などを認めることなどが挙げられる。

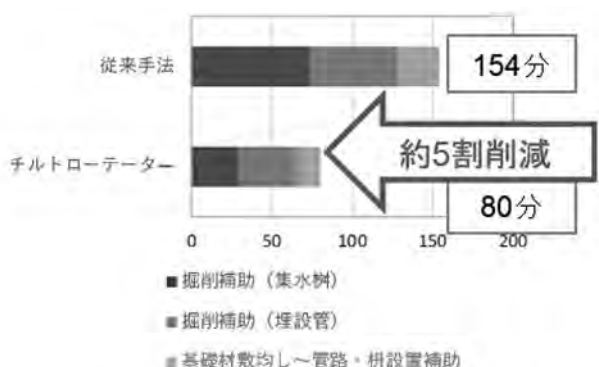
当研究所内で小規模工事を想定し、集水桝 (深さ: 1.2 m) および埋設配管 (約 10 m) の仮想現場を想定して 0.1m^3 のミニバックホウを使い、通常のバケットと、チルトローテータを装着した施工機械での効果検証を行った。作業条件は、制限された作業エリア (幅方向に 5 m 以内と設定) での施工を想定し、作業時間と手元作業員の補助労務時間を計測、比較した (図—3)。

その結果、通常バケットでは、掘削、補助作業の待機時間、基礎材の敷き均し、管設置、埋戻しで 256 分かかったのに対し、チルトローテータでは 132 分と、



※構内実験結果データの抜粋

図一 作業時間の差



※構内実験結果データの抜粋

図一 補助労務の比較

5割の削減効果を確認した。

補助労務だけを比較したところ、集水桝の掘削補助、埋設管の掘削補助、基礎材の敷き均し、管路・枘の設置補助時間が、通常バケットで154分、チルトローテーターでは80分と、こちらも5割の削減効果が認められた（図一4）。

この補助労務削減の要因は、通常バケットでは丁張付近、隅角部は細かいところまで作業が出来ないため、手元作業員がスコップを用いて人力作業を行っていたが、チルトローテーターはバケットを自由に回転・チルトできるために、オペレーターだけで丁張付近や隅角部を直接施工できたため、人力作業がなくなったためである。

安全面についても、手元作業員は建設機械周辺で作業するため接触等の危険度が高く、オペレーターも気を使って作業しなければならない。チルトローテーターでは、手元作業員が建設機械周辺にいないことが少なくなるため、労務安全でもメリットがあることが明らかになった（写真一3）。

今回の検証では、ICT建設機械を用いなかったが、ICT建設機械に簡易な床掘の3次元設計データを導入して施工すれば、大量の丁張をなくすることができるほか、掘削後の出来形も刃先データを使って確認でき



写真一 3 手元作業員の人力作業

るため、さらなる現場の生産性向上が達成できる見込みである。

5. おわりに

本稿では、小規模工事における施工効率化を目的とし、地方自治体におけるICT活用の普及促進方法、施工者における簡易的なICT導入方法および小規模土工に利用可能なICT建設機械の作業装置について報告した。

建設産業界は、少子化による新規入職者の減少により、とくに地域建設業での担い手確保が喫緊の課題である。その解決には、建設業の魅力向上、働き方改革、収入増加が必須となっている。

とくに地方自治体発注の小規模工事などにおいてツールとしてICTを積極的に導入し、生産性向上、労働時間短縮、労働環境向上を行っていくべきである。

当研究所は、今後も地方自治体発注工事に従事する受発注者双方にとって有益な情報を提供し、生産性向上に寄与するICTの活用方法および情報共有の場を設けるきっかけとなりつつ、更なるICTの調査・研究を継続していく所存である。

最後に、本稿では国土交通省の業務よりデータを抜粋させていただいた。国土交通省の関係各位へ、あらためて感謝の意を表します。

J C M A

【筆者紹介】

田中 一博（たなか かずひろ）
（一社）日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所 研究第三部
主任研究員

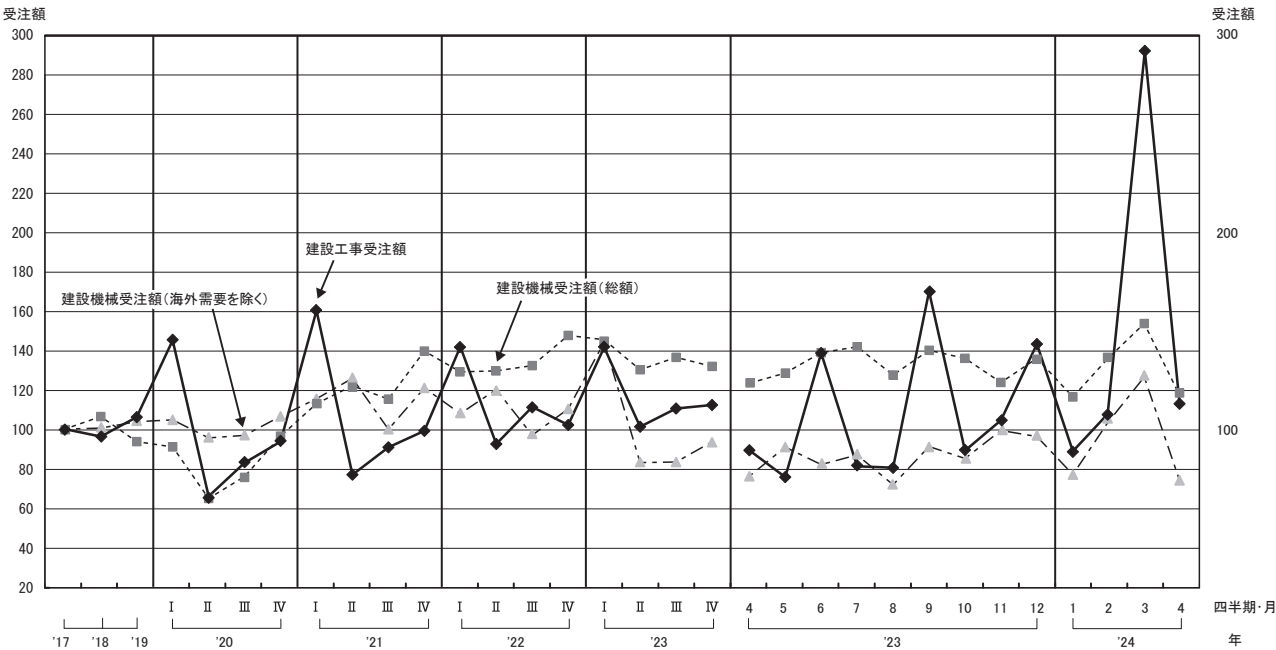


八木橋 宏和（やぎはし ひろかず）
（一社）日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所 研究第三部
主任研究員



建設工事受注額・建設機械受注額の推移

建設工事受注額：建設工事受注動態統計調査(大手50社) (指数基準 2017年平均=100)
建設機械受注額：建設機械受注統計調査(建設機械企業数24前後) (指数基準 2017年平均=100)



建設工事受注動態統計調査 (大手 50 社) (単位：億円)

年 月	総 計	受 注 者 別						工 事 種 類 別		未消化 工事高	施工高
		民 間			官 公 庁	そ の 他	海 外	建 築	土 木		
		計	製 造 業	非製造業							
2017 年	147,828	101,211	20,519	80,690	36,650	5,183	4,787	99,312	48,514	165,446	137,220
2018 年	142,169	100,716	24,513	76,207	30,632	8,561	5,799	95,252	46,914	166,043	141,691
2019 年	156,917	114,317	24,063	90,253	29,957	5,319	7,308	109,091	47,829	171,724	150,510
2020 年	143,170	97,457	19,848	77,610	35,447	5,225	4,175	91,725	51,443	171,740	141,261
2021 年	157,839	111,240	22,528	88,713	38,056	4,671	3,874	106,034	51,806	192,900	137,853
2022 年	165,482	119,900	33,041	86,862	33,436	5,252	6,898	114,984	50,496	207,841	130,901
2023 年	172,094	121,790	31,098	90,690	40,060	5,360	4,883	117,929	54,164	217,576	161,186
2023 年 4 月	10,993	8,354	2,034	6,320	2,003	528	107	7,807	3,186	215,556	9,294
5 月	9,304	6,854	1,807	5,047	1,772	345	332	6,125	3,179	214,435	10,569
6 月	17,100	12,062	2,801	9,260	3,457	506	1,075	11,401	5,699	215,220	16,006
7 月	9,973	5,877	1,269	4,607	3,360	429	308	5,401	4,572	214,911	9,995
8 月	9,888	7,470	2,331	5,138	1,930	343	146	7,132	2,756	212,974	12,201
9 月	20,973	15,485	2,622	12,863	4,341	643	504	15,905	5,068	216,368	17,673
10 月	10,962	8,266	2,603	5,663	2,197	420	79	8,081	2,881	217,263	11,029
11 月	12,872	9,824	2,094	7,730	2,032	385	631	9,359	3,513	218,161	12,726
12 月	17,660	12,721	6,000	6,721	4,097	379	463	13,002	4,658	217,576	17,838
2024 年 1 月	10,931	7,371	1,467	5,904	2,871	391	298	7,657	3,273	218,177	10,491
2 月	13,237	8,390	2,925	5,465	4,001	365	481	7,965	5,273	219,504	12,360
3 月	36,119	22,688	4,005	18,682	10,808	486	2,137	21,526	14,593	231,850	21,578
4 月	13,894	10,066	2,641	7,425	3,122	443	263	9,326	4,568	－	－

建 設 機 械 受 注 実 績 (単位：億円)

年 月	17 年	18 年	19 年	20 年	21 年	22 年	23 年	23 年 4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	24 年 1 月	2 月	3 月	4 月
総 額	21,535	22,923	20,151	17,646	26,393	29,024	29,315	2,214	2,308	2,494	2,549	2,289	2,516	2,442	2,221	2,442	2,089	2,451	2,767	2,115
海 外 需 要	14,912	16,267	13,277	10,966	18,737	21,816	22,627	1,795	1,807	2,042	2,070	1,894	2,013	1,973	1,673	1,911	1,665	1,869	2,066	1,712
海外需要を除く	6,623	6,656	6,874	6,680	7,656	7,208	6,688	419	501	452	479	395	503	469	548	531	424	582	701	403

(注) 2017～2019 年は年平均で、2020～2023 年は四半期ごとの平均値で図示した。
2023 年 4 月以降は月ごとの値を図示した。
出典：国土交通省建設工事受注動態統計調査
内閣府経済社会総合研究所機械受注統計調査

行事一覽

(2024年5月1～31日)

機 械 部 会



■基礎工事用機械技術委員会

月 日：5月8日（水）（会議室での対面開催）

出席者：越田健委員長ほか18名

議 題：①㈱安藤・間による技術プレゼン：「谷沢川シールド現場紹介」②7月開催予定の橋梁工事現場見学会の概要説明 ③技術プレゼン、各社トピックスの今後の予定

■トンネル機械技術委員会・幹事会

月 日：5月9日（木）（会議室、Web併行開催）

出席者：浅沼廉樹委員長ほか11名

議 題：① R6 年度 WG 活動成果の進め方について議論 ② R6 年度の見学会候補地について議論：釧路コールマイン㈱と旧太平洋炭礦炭鉱展示館見学会の概要説明、他見学会候補地について議論 ③総会（4/18(木)）について次年度申し送り事項等について ④日本建設機械要覧 2025 改訂の対応について

■路盤・舗装機械技術委員会・幹事会

月 日：5月15日（水）（会議室での対面開催）

出席者：美野隆委員長ほか11名

議 題：① R6 年度活動計画の内容確認と役割分担、今後の進め方について討議 ②現場・工場見学会の候補地について議論 ③上期総会の日程および発表内容について議論 ④日本建設機械要覧 2025 改訂の対応について

■ショベル技術委員会

月 日：5月16日（木）（会議室、Web併行開催）

出席者：安部敏博委員長ほか9名

議 題：①各社トピックス：コベルコ建機㈱「K-DIVE（ケーダイブ）の紹介～遠隔操作システム+稼働データ活用～」②「JCMASに基づく「エネルギー消費量試験方法」のISO化」進捗状況の情報共有：標準部会 ISO11152WGからの提案に関する議論ほか ③国内次期排出ガス規制に関する情報共有 ④日本建設機械要覧 2025 改訂の対応について

■ダンプトラック技術委員会

月 日：5月17日（金）（会議室、Web併行開催）

出席者：渡辺浩行委員長ほか6名

議 題：①各社トピックス：㈱加藤製作所「全旋回式クローラキャリア iC70R の紹介」②生産性向上に関する輪講：ヤンマー建機㈱「CSPI-EXPO 出展の紹介「チルトローテータ・3D（2D）マシンガイダンス搭載機」」③ R6 年度の見学会候補地について議論 ④国内次期排出ガス規制に関する情報共有 ⑤日本建設機械要覧 2025 改訂の対応について

■原動機技術委員会

月 日：5月23日（木）（会議室、Web併行開催）

出席者：工藤睦也委員長ほか22名

議 題：①前回の議事録確認 ②国内次期排出ガス規制に関する情報交換：環境省第15次報告案の概要報告、業界5団体協議（4/4（木）開催）の概要報告 ③海外排出ガス規制の動向に関する情報交換：CARB（カリフォルニア大気資源局）の次のステップについて、コロンビアの規制情報について

■路盤・舗装機械技術委員会・JCMAS「ロードローラ作業エネルギー消費量試験方法」作成WG

月 日：5月30日（木）（会議室、Web併行開催）

出席者：柴田大地 WG リーダほか13名

議 題：① JCMAS 草案について議論 ②今後の進め方とスケジュールについて議論

■情報化機器技術委員会

月 日：5月31日（金）（会議室、Web併行開催）

出席者：白塚敬三委員長ほか8名

議 題：①施工現場のDX化（市販の衝突検知システム）に関する情報共有と議論 ②ICT建機の実機見学会の概要説明 ③DX推進に関する活動内容抽出の議論

標 準 部 会



■ISO/TC 127/WG 17 ISO 5757 充電式エネルギー貯蔵システム 国際バーチャルWG会議

月 日：5月8日（水）夜・9日（木）夜

出席者：米国 Spomer コンビナー（Bobcat 社）、小塚大輔（コマツ）委員ほか、全16名

場 所：Web 上（ISO Zoom）

議 題：① WG 聴取意見への対応 ② 7月米国 WG 会議に向けた案文審議

■JIS A 8341-2 機能安全（第2部）第4回原案作成分科会

月 日：5月8日（水）午前

出席者：田中昌也主査（コマツ）ほか8名

場 所：Web 上（Zoom）

議 題：① JIS 原案の審議（意見シート第1部）

■JIS A 8341-2 機能安全（第2部）第5回原案作成分科会

月 日：5月15日（水）午前

出席者：田中昌也主査（コマツ）ほか9名

場 所：Web 上（Zoom）

議 題：① JIS 原案の審議（意見シート第2部）

■ISO/TC 195/WG 9 自走式道路建設機械—安全要求 国際バーチャルWG会議

月 日：5月16日（木）夜・17日（金）夜

出席者：小倉公彦（JCMS 事務局）ほか12名

場 所：Web 上（ISO Zoom）

議 題：① FDIS 20500-1, -2, -3, -4 HAS コンサルタント指摘事項 対応協議（続き）②次回会合予定（7月25日・26日 @ フランクフルト）

■ISO/TC 127/SC 2/WG 24 制御系の機能安全—ISO 19014 規格群「機能安全」改正・予備業務 ISO 6135「人工知能に基づく制御系の安全」国際WG会議（ハイブリッド）

月 日：5月20日（月）～24日（金）

出席者：英国 Camsell コンビナー（CEA）、田中昌也委員（コマツ）ほか、全14名（対面）、Web 経由で全7名

場 所：イタリア・ローマ INAIL（国際労働災害保険研究所）本部会議室、および Web 上（Teams）

議 題：① Part 1, 2, 4 の DIS 投票コメント審議

■ISO/TC 127/SC 2/JWG 28 ISO 21815 衝突警報及び回避

—第4部：履帯動作及び旋回／回転動作のリスク範囲及びリスクレベル

—第5部：その他動作機械のリスク範囲及びレベル

—運転員能力補強サブグループ 国際WG会議（ハイブリッド）

月 日：5月28日（火）～31日（金）

出席者：岡ゆかりコンビナー（コマツ）、鈴木邦利プロジェクトリーダー（コマツ）、米国 Kittle プロジェクトリーダー（Deere 社）ほか、全8名（対面）、Web 経由で全6名

場 所：ロンドン BSI 事務所および Web 上（ISO Zoom）

議 題：①第4部 CD 聴取意見審議

②第5部 新規業務提案提出に向けた

案文審議

■ ISO/TC 127/SC 2/WG 34 硬質プラスチック安全窓材 国際バーチャル WG 会議

月 日：5月29日（水）夜

出席者：海外より Neva コンビナー（Bobcat社）ほか、全12名、Web 経由

場 所：Web 上（ISO Zoom）

議 題：①WD 案文審議 ②新業務提案投票からのコメント審議 ③促進耐候試験要求事項審議

■ ISO/TC 195/SC 3/WG 2 穿孔及び基礎工用機械－安全要求 国際バーチャル WG 会議

月 日：5月29日（水）夜

出席者：山本卓也委員（株式会社研製作所）ほか14名

場 所：Web 上（ISO Zoom）

議 題：①WD 20770-3.2、-6.2 コメント審議（続き）・静油圧杭打引抜機の騒音測定方法に関する日本提案の検討 ②次回会合予定（6月28日バーチャル）

建設業部会



■ 三役会

月 日：5月23日（木）

参加者：森田将史部会長ほか7名

議 題：①5/28開催予定 建設業 ICT 安全 WG 報告：演算工房～京都宇治田原トンネル見学計画について ②6/11開催予定 クレーン安全情報 WG 報告 ③10月開催予定 第24回機電技術者意見交換会準備 ④その他（国交省と建設業部会若手の交流機会／年2回の計画について）

■ 建設業 ICT 安全 WG

月 日：5月28日（火）

参加者：中野正晴主査ほか5名（内 Zoom 参加2名）

議 題：①建設業 ICT 安全 WG 見学会簡易行程（案）について ②新主査の選任について ③その他

各種委員会等



■ 機関誌編集委員会

月 日：5月8日（水）

出席者：中野正則委員長ほか29名

議 題：①令和6年8月号（第894号）素案の審議・検討 ②令和6年9月号（第895号）編集方針の審議・検討 ③令和6年10月号（第896号）計画の審議・検討 ④令和6年5月号～令和6年7月号（第891～893号）進捗状況報告・確認 ※通常委員会及びZoomにて実施

支部行事一覧

北海道支部



■ 令和6年度除雪機械技術講習会第2回（メーカ）打合せ

月 日：5月16日（木）

場 所：北海道支部会議室

出席者：島本一紀施工技術検定委員会委員長ほか6名

内 容：①令和6年度除雪機械技術講習会 ②その他

■ 第13回支部通常総会

月 日：5月21日（火）

場 所：札幌市、ANA クラウンプラザ ホテル札幌

出席者：柳屋勝彦支部長ほか88名

内 容：①令和5年度事業報告（案）及び決算報告（案）承認の件 ②令和6年度事業計画及び収支予算に関する件 ③令和6・7年度運営委員の選任に関する件

■ 請負工事機械経費積算に関する講習会

月 日：5月29日（水）

場 所：北海道経済センター

受講者：73名

内 容：①令和6年度土木工事標準歩掛の改訂概要 ②建設機械等損料の基本と改定 ③建設機械等損料（北海道補正版）の使い方 ④施工パッケージ型積算方式 ⑤一般土木請負工事の機械経費積算例 ⑥道路維持請負工事の機械経費積算例

■ 令和6年度除雪機械技術講習会第3回（講師）打合せ

月 日：5月31日（金）

場 所：かでの2・7710会議室

出席者：熊谷政行技術部会長ほか26名

内 容：①令和6年度除雪機械技術講習会講習内容について ②その他

東北支部



■ 第1回企画部会（対面＋Web）

月 日：5月8日（水）

場 所：東北支部 事務局会議室

出席者：木村信悦企画部会長ほか5名

議 題：第1回支部運営委員会について 内 容：①令和5年度 事業報告（案）について ②令和5年度 事業決算（案）について ③令和6・7年度 役員改選について

■ 情報化施工技術委員会 第1回 委員会

月 日：5月9日（木）

場 所：仙台市 フォレスト仙台

出席者：鈴木勇治 情報化施工技術委員会委員長ほか19名

議 題：①委員会名簿更新について

②国土交通省 i-Construction の取組について ③委員会活動エントリーについて ④令和6年度の委員会活動について

■ 第1回 支部運営委員会

月 日：5月13日（月）

場 所：仙台市 仙台ガーデンパレス

出席者：高橋弘支部長ほか30名

内 容：①令和5年度 事業報告（案）について ②令和5年度 事業決算（案）について ③令和6・7年度 役員改選について

■ 情報化施工技術委員会 第1回 幹事会（対面＋Web）

月 日：5月17日（金）

場 所：仙台市 フォレスト仙台

出席者：鈴木勇治 情報化施工技術委員会委員長ほか4名

議 題：①東北土木技術人材育成協議会 インフラ DX 基礎技術講習会 各県開催について

■ 令和6年度 第13回 東北支部通常総会

月 日：5月20日（月）

場 所：仙台市 仙台ガーデンパレス

出席者：支部会員：130社（議決権総数158社のうち出席56社、委任状74社）

内 容：①令和5年度 事業報告について ②令和5年度 事業決算について ③令和6・7年度 役員交代について ④令和6年度 事業計画について ⑤令和6年度 事業予算について ⑥表彰（本部長感謝状の贈呈ほか） ⑦特別講演「歴史から災害を読み取る－歴史研究と災害科学をつなぐ－」（講師：平川新 東北大学名誉教授）

■ 令和6年度 岩木川総合水防演習

月 日：5月26日（日）

場 所：青森県北津軽郡鶴田町大字野木字東松虫地先（岩木川左岸36.2km付近、保安橋下流）

参加者：約1,900名、支部からの参加者：

高橋弘支部長、小野由則技術部会長

内 容：①水防工法訓練 ②総合防災訓練 ③防災展

北陸支部



■ 令和6年度 第1回運営委員会

月 日：5月22日（水）

場 所：新潟東映ホテル 2F 朱鷺の間

議 題：①令和5年度 事業報告に関する件 ②令和5年度 決算報告に関する件

る件 ③令和5年度 北陸支部監査報告について ④令和6～7年度 役員候補者名簿について

■第13回通常総会

月 日：5月22日（水）

場 所：新潟東映ホテル 2F 朱鷺の間

議 題：①令和5年度 事業報告に関する件 ②令和5年度 決算報告に関する件 ③令和6～7年度 役員に関する件 ④令和6年度 事業計画に関する件 ⑤令和6年度 収支予算に関する件 ⑥令和6年度 永年会員・永年役員勤続表彰、優良建設機械運転員・整備員表彰

中 部 支 部



■第13回 支部通常総会

月 日：5月16日（木）

場 所：名古屋銀行協会会館

出席者：浅野和広支部長ほか140名

議 題：①令和5年度事業報告及び決算報告承認の件 ②令和6年度事業計画及び収支予算報告の件等

■令和6年度三重四川連合総合水防演習

月 日：5月19日（日）

演習参加会員：(株)アミューズワンセルフ

展示参加会員：(株)アミューズワンセルフ、(株)シーティーエス、(株)ダイワテック

会 場：愛知県愛西市立田町地先 東海広場

■三重県建設技術センター「令和6年度建設技術研修専門分野インフラ DX 実技演習研修」

月 日：5月31日（金）

研修参加者：三重県職員等40名

講師協力：(株)サイテックジャパン、(株)シーティーエス、福井コンピュータ(株)

会 場：中部地方整備局中部技術事務所 DX センター

関 西 支 部



■支部通常総会

月 日：5月15日（水）

場 所：関西支部

出席者：深川良一支部長以下115名

議 題：①令和5年度事業報告及び決算報告の件 ②任期満了に伴う運営委員選任に関する件 ③令和6年度事業計画及び収支予算の件 ④本部事業概要報告 ⑤令和6年度会長表彰 ⑥優良建設機械運転員等表彰

講 演：『新しい情報処理へ』講師：大阪大学産業科学研究所教授 大岩顕氏

■建設用電気設備特別専門委員会（第496回）

月 日：5月22日（水）

場 所：中央電気倶楽部 会議室

議 題：①JEM-TR236（建設工事用400V級電気設備施工指針）審議 ②JEM-TR246の分担案について ③その他

中 国 支 部



■令和6年度建設技術講習会【Web】

期 間：5月15日（水）～28日（火）

受講者：310名

演 題：①ICT活用工事の最近の動向と事例紹介：日本建設機械施工協会施工技術総合研究所 ②令和6年度の入札契約制度及び生産性の向上と働き方改革について：中国地方整備局企画部技術管理課長 ③中国地方整備局のインフラDXとBIM/CIMの取り組み：中国地方整備局企画部工事品質調整官 ④河川分野における最近の取り組みについて：中国地方整備局河川部河川情報管理官 ⑤社会資本の戦略的な維持管理について：中国地方整備局道路部道路保全企画官 ⑥埋蔵文化財の保護と3次元計測技術を利用した施工管理：大福工業(株) ⑦自動化セメントによるトンネル履工の生産性向上：西松建設(株)中国支店土木工事部

■第13回支部通常総会

月 日：5月21日（火）

場 所：広島ガーデンパレス

出席者：河合研至支部長ほか69名

議 題：①令和5年度事業報告について ②令和5年度決算報告について ③令和6・7年度役員選任について ④令和6年度事業計画(案)について ⑤令和6年度収支予算(案)について ⑥本部事業概要報告 ⑦本部感謝状贈呈 ⑧講話「国土交通行政の最近の話題」中国地方整備局施工企画課長 岸本孝文氏

■令和6年度「建設の機械化施工優良技術者」表彰式

月 日：5月21日（火）

場 所：広島ガーデンパレス

受賞者：運転・整備部門1名、管理部門5名、技術開発部門1名

■記念講演会

月 日：5月21日（火）

場 所：広島ガーデンパレス

演 題：広島駅南口広場の再整備等について

講 師：広島市道路交通局交通施設整備部広島駅南口整備担当課長 有木健一郎氏

四 国 支 部



■R6第1回運営委員会

月 日：5月16日（木）

場 所：ホテル「マリンパレスさぬき」（高松市）

出席者：尾崎副支部長ほか26名（うち、委任状提出11名）

内 容：①令和5年度事業報告に関する件 ②令和5年度決算報告に関する件 ③令和5会計及び業務監査報告に関する件 ④令和6～7年度役員等候補者(案)に関する件

■四国支部第13回（R6年度）通常総会

月 日：5月16日（木）

場 所：ホテル「マリンパレスさぬき」（高松市）

議決権総数：126社

出席社数：118社（うち、委任状提出49社）

出席者総数：尾崎副支部長ほか79名

議 題：第1号議案 令和5年度事業報告承認の件、第2号議案 令和5年度決算報告承認の件、第3号議案 令和5年度会計及び業務監査報告に関する件、第4号議案 役員選任に関する件、第5号議案 令和6年度事業計画に関する件、第6号議案 令和6年度収支予算に関する件

九 州 支 部



■R6年度第1回運営委員会

月 日：5月16日（木）

場 所：福岡リーセントホテル 芙蓉の間
出席者：玉石支部長ほか28名（うち委任状提出6名）

議 題：第13回支部通常総会に附議する事項に関する件

■第13回支部通常総会

月 日：5月16日（木）

場 所：福岡リーセントホテル 舞鶴の間
出席者：玉石支部長ほか98名（うち委任状提出28名）

議 題：①令和5年度事業報告に関する件 ②令和5年度決算報告に関する件 ③令和6年度事業計画に関する件 ④令和6年度収支予算に関する件 ⑤令和6年度支部役員の選任に関する件 ⑥本部長表彰及び支部長表彰 ⑦特別講演【演題1：「インフラ分野のDX推進～九州地方整備局の取組～」九州地方整備局企画部 建設情報・施工高度化技術調整官 中司哲夫氏、演題2：「日本三大秘境宮崎県椎葉村で未来型無人化施工に挑戦」旭建設(株)工事統括部門土木部長 河野義博氏】

編集後記

建設現場では施工プロセスの効率化や生産性の向上を目的として、日々新しい技術が導入されており、本誌では特集テーマとして「建設施工のDX」について毎年取り上げてきました。また、最近では昨年話題となったChatGPTをはじめとする生成AIが様々な分野で導入され始めており、建設分野も例外ではなく、急速に導入が始まっていることにも注目して、今月号ではDX技術の紹介に加えて生成AIを用いた技術についても取り上げることにしました。

巻頭言では、生成AIの分野に精通している馬淵様による「生成AIが建設業界にもたらす革新と課題解決」と題して、施工から維持管理まで建設分野における生成AIの様々な可能性についてご提言いただきました。

行政情報では、国土交通省が推進している「i-Construction」やその更なる推進として取りまとめた

「i-Construction 2.0」について紹介いただきました。

技術報文では、例年取り上げているDX技術やリモートコンストラクションに関する最新の事例の紹介に加えて、生成AIに関する項目を新たに追加し、建設業界での生成AIの活用事例について報告をいただきました。とくに生成AIは、この1年間で急速に耳にする機会が増えたキーワードでもあるため、その現況と用語の紹介についても触れました。

交流のひろばでは、生成AIを建設現場での安全対策に活用するという建設業界における継続的な課題でもある安全という切り口での事例について紹介いただきました。

最後に突然のご依頼にもかかわらずご協力いただいた執筆者ならびに関係者の皆様には深く感謝申し上げます。今月号を通じて、皆様から紹介いただきました情報を広く共有し、建設業界の更なるDX化や生成AI導入の一助になれば幸いです。

(加藤・岡本・桐山)

機関誌編集委員会

編集顧問

今岡 亮司	加納研之助
後藤 勇	新開 節治
関 克己	高田 邦彦
田中 康之	田中 康順
中岡 智信	渡邊 和夫
見波 潔	

編集委員長

中野 正則	日本ファブテック(株)
-------	-------------

編集委員

吉田 真人	国土交通省
大津 太郎	農林水産省
内海 友介	(独)鉄道・運輸機構
岡本 直樹	(一社)日本機械土工協会
河原 圭司	鹿島建設(株)
赤坂 茂	大成建設(株)
藤井 攻	清水建設(株)
桐山 茂雄	(株)大林組
出口 明	(株)竹中工務店
宮川 克己	(株)熊谷組
松本 清志	(株)奥村組
京免 継彦	佐藤工業(株)
平田 惣一	鉄建建設(株)
副島 幸也	(株)安藤・間
松澤 享	五洋建設(株)
那須野陽平	東亜建設工業(株)
佐藤 裕	日本国土開発(株)
丑久保吾郎	(株)NIPPO
室谷 泰輔	コマツ
山本 茂太	キャタピラー・ジャパン
花川 和吉	日立建機(株)
丹治 雅人	コベルコ建機(株)
漆戸 秀行	住友建機(株)
大竹 博文	(株)加藤製作所
田島 良一	古河ロックドリル(株)
鈴木 健之	施工技術総合研究所

事務局

(一社)日本建設機械施工協会

8月号「橋梁特集」予告

・道路橋に係る行政施策の近況 ・気仙沼湾横断橋 斜張橋部の設計 ・高速道路橋として日本最長のPC箱桁橋「吉野川サンライズ大橋」が開通 ・4,500tの橋桁がするすると横移動、5年半かけて準備した一括架け替え ・熊本地震により被災した南阿蘇鉄道第一白川橋梁の架け替え工事 ・大規模更新工事における生産性向上技術の開発 ・橋梁現場におけるカーゴドローンの活用 ・フォークリフトに装備する新設床版設置装置の開発 ・世界発実用化「吸引型 壁面・天井走行ロボットSPIDER」 ・3Dモデルを用いた橋梁の検査システム ・NEC、衛星SARとAIを活用し、橋の崩壊につながる重大損傷を発見する技術を開発 ・ドローン空撮で100メートル先の微小変形計測 ・FRP部材を用いた劣化したRC床版の延命化工法 ・VIM/CIMモデルを活用した橋梁VR

【年間定期購読ご希望の方】

- ①書店でのお申し込みが可能です。お近くの書店へお問い合わせください。
②協会本部へのお申し込みは「年間定期購読申込書」に必要事項をご記入のうえFAXをお送りください。

詳しくはHPをご覧ください。

年間定期購読料(12冊) 10,032円(税・送料込)

建設機械施工

第76巻第7号(2024年7月号)(通巻893号)

Vol. 76 No. 7 July 2024

2024(令和6)年7月20日印刷

2024(令和6)年7月25日発行(毎月1回25日発行)

編集兼発行人 金井 道夫

印刷所 日本印刷株式会社

発行所 本部 一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番8号 機械振興会館内

電話 (03) 3433-1501; Fax (03) 3432-0289; <https://jcmanet.or.jp/>

施工技術総合研究所 〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154

電話 (0545) 35-0212

北海道支 部 〒060-0003 札幌市中央区北三条西2-8

電話 (011) 231-4428

東北支 部 〒980-0014 仙台市青葉区本町 3-4-18

電話 (022) 222-3915

北陸支 部 〒950-0965 新潟市中央区新光町 6-1

電話 (025) 280-0128

中部支 部 〒460-0002 名古屋市中区丸の内 3-17-10

電話 (052) 962-2394

関西支 部 〒540-0012 大阪市中央区谷町 2-7-4

電話 (06) 6941-8845

中国支 部 〒730-0013 広島市中区八丁堀 12-22

電話 (082) 221-6841

四国支 部 〒760-0066 高松市福岡町 3-11-22

電話 (087) 821-8074

九州支 部 〒812-0013 福岡市博多区博多駅東 2-4-30

電話 (092) 436-3322

本誌上への
広告は



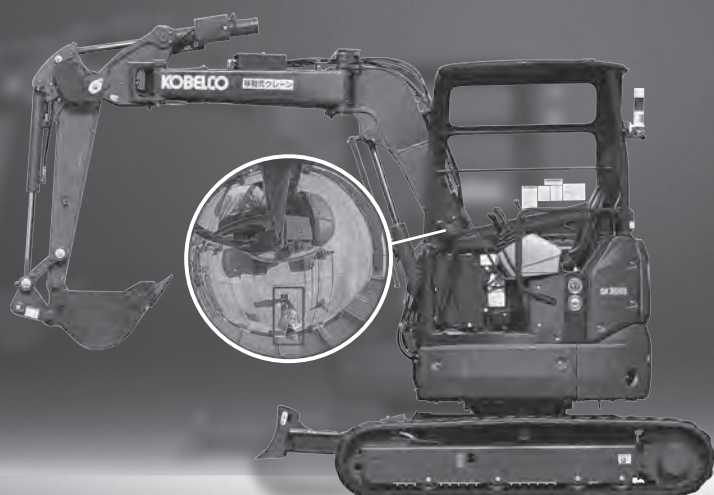
有限会社 サンタナ アートワークスまでお申し込み、お問い合わせ下さい。

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-21-5 井手口ビル4F TEL: 03-3664-0118 FAX: 03-3664-0138

E-mail: san-mich@zam.att.ne.jp 担当: 田中

KOBELCO

機械周辺の人を認識して知らせることで 効率よく作業を行える衝突軽減装置



人
検知



検知対象外

※警報・停止機能はモノに
対しては作動対象外です。

広い範囲を監視

“人”を検知して機械を“停止”

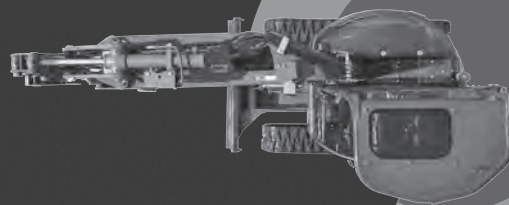
※現場の状況により検知精度に影響が出る場合があります。

ミニショベル向け衝突軽減装置

OmniEye®

NETIS登録済

車両搭載可能AIカメラ(KK-200027-VE)



警告エリア

警報/停止エリア

【運転員への警告エリア】
キャノピ:半径2.5m/キャブ:半径2.7m

【周囲の人への警報/機械停止エリア】
キャノピ:半径1.8m/キャブ:半径2.0m

コベルコ建機日本
WEBサイト



コベルコ建機日本株式会社

本社/〒272-0002 千葉県市川市二俣新町17番地 ☎047-328-7111
www.kobelco-kenki.co.jp

FA機器の最適無線化提案

クレーン・搬送台車・建設機械・特殊車輛他
産業機械用無線操縦装置

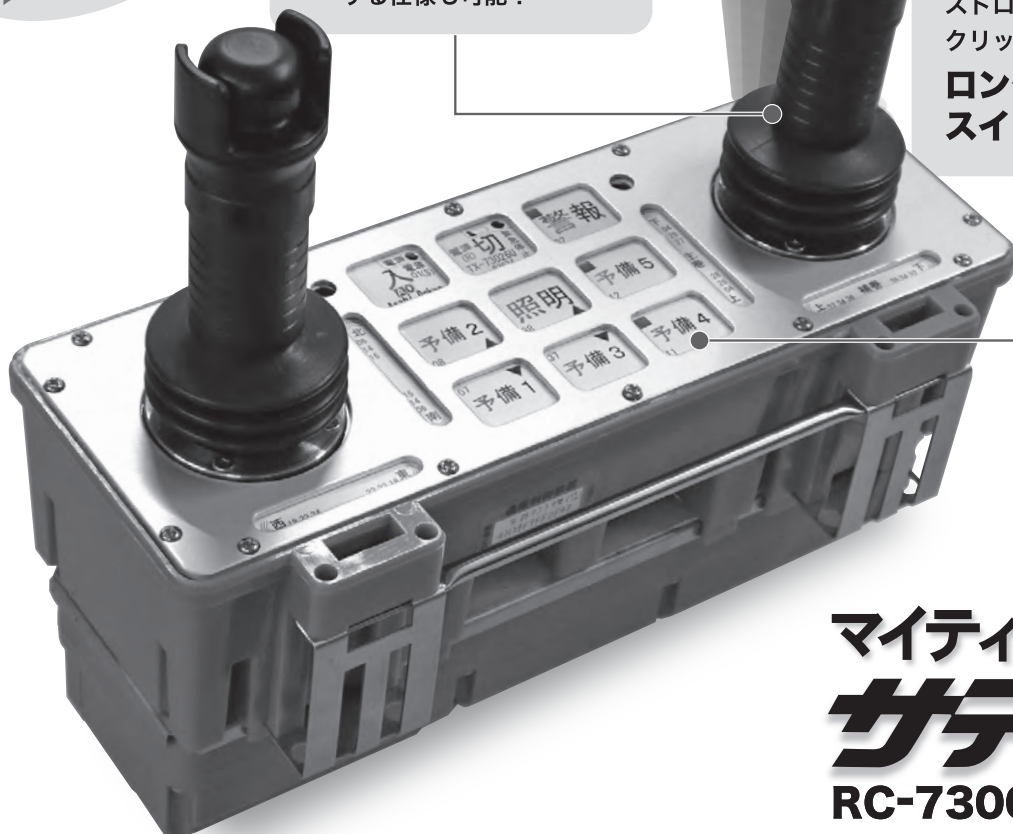
New!

自社開発した
**3ノッチ式
ジョイスティック**
中立位置に自動復帰
する仕様も可能!

自動復帰!

ストロークが深く、
クリックがハッキリ!

**ロングストローク型
スイッチ** を標準採用



マイティ 429MHz帯・1.2GHz帯
特定小電力モデル対応
サテラ
RC-73000U/G シリーズ

スリムケーブルレス 5800シリーズ 好評発売中!

双方向データケーブルレス

《TC-1000808S》

**緊急停止
スイッチ** (オプション)

429MHz帯・1.2GHz帯
特定小電力モデル対応

プッシュロック、
ターンリセット型
キノコスイッチ



クレードルタイプ
充電台対応

**2段押3組
標準型**

- インバーター制御の
クレーンに最適!
- クリック感ハッキリの
ロングストローク
スイッチ

**429MHz
1216MHzが
同価格!!**

- ・ 見えない機械の制御もフィードバック!
- ・ 双方向制御がこの1セットで対応可能!
- ・ 新周波数920MHz帯を採用!



常に半歩、先を走る



朝日音響株式会社

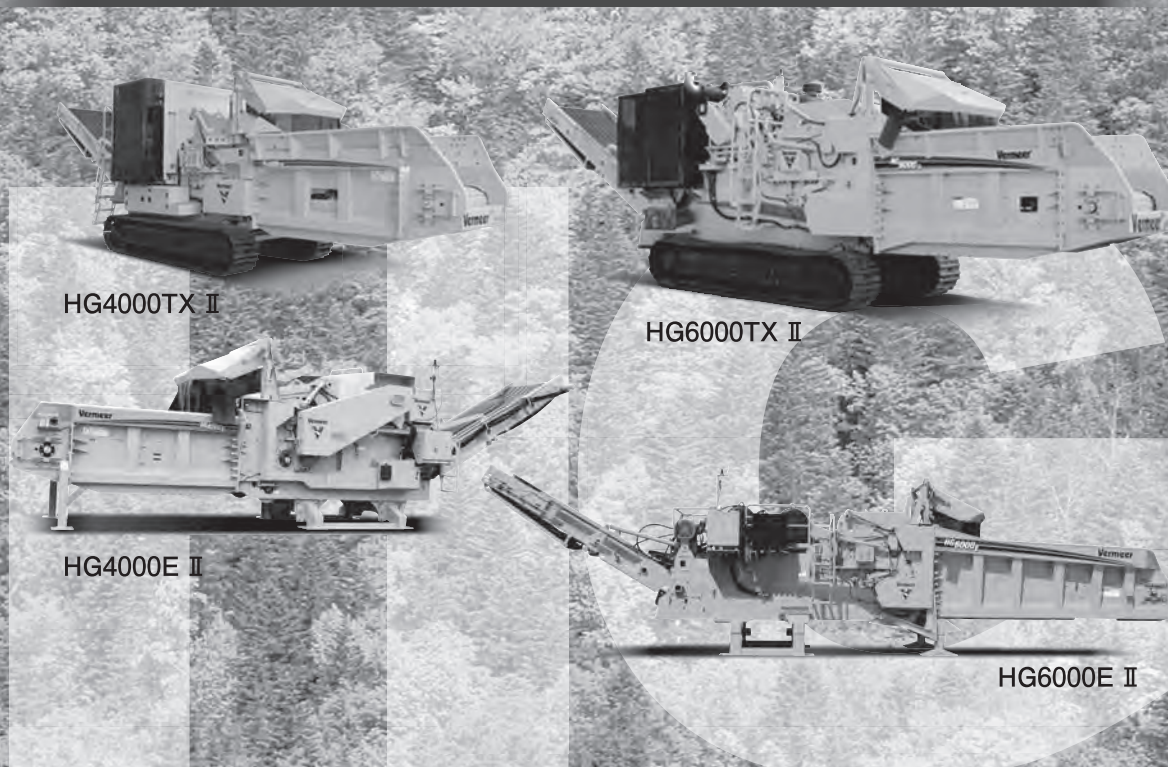
〒771-1311 徳島県板野郡上板町引野字東原43-1 (本社工場) FAX.088-694-5544 TEL.088-694-2411
<http://www.asahionkyo.co.jp/>

無線化工事のことならフルライン、フルオーダー体制の弊社に今すぐご相談下さい。また、ホームページでも詳しく紹介していますのでご覧下さい。

朝日音響 検索



マルマテクニカのホリゾントルグラインダー



1台の破碎機でピンチップも切削チップも生産できる!用途別に選べる2タイプ。



特長

- チップサイズは均一で、バイオマス発電向け燃料として実績が多数。
- 新車破碎機の在庫保有と新車の短納期体制で対応。
- 休車時間をなくすため、Vermeer 社破碎機部品の在庫を保有し、即納体制で対応。



マルマテクニカ株式会社

URL <http://www.maruma.co.jp/>

本社・相模原事業所	〒252-0331	神奈川県相模原市南区大野台6-2-1	TEL.042(751)3091	FAX.042(756)4389	E-mail:s-sales@maruma.co.jp
厚木工場	〒243-0125	神奈川県厚木市小野651	TEL.046(250)2211	FAX.046(250)5055	E-mail:atsugi@maruma.co.jp
東京工場	〒156-0054	東京都世田谷区桜丘1-2-22	TEL.03(3429)2141	FAX.03(3420)3336	E-mail:tokyo@maruma.co.jp
名古屋事業所	〒485-0037	愛知県小牧市小針2-18	TEL.0568(77)3313	FAX.0568(72)5209	E-mail:n-sales@maruma.co.jp

建設機械施工

広告掲載のご案内

月刊誌 建設機械施工では、建設機械や建設施工に関する論文や最近の技術情報・資料をはじめ、道路、河川、ダム、鉄道、建築等の最新建設報告等を好評掲載しています。

■職業別 購読者

建設機械施工／建設機械メーカー／商社／官公庁・学校／サービス会社／研究機関／電力・機械 等

■掲載広告種目

穿孔機械／運搬機械／工事用機械／クレーン／締固機械／舗装機械／切削機／原動機／空気圧縮機／積込機械／骨材機械／計測機／コンクリート機械 等

広告掲載・広告原稿デザイン——お問い合わせ・お申し込み

サントナアートワークス

広告営業部：田中 san-mich@zam.att.ne.jp

TEL:03-3664-0118 FAX:03-3664-0138

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-21-5 井手口ビル4F

建設機械施工 カタログ資料請求票

本誌に掲載されている広告のお問い合わせ、資料の請求はこの用紙を利用し、ファクシミリなどでお送りください。

※カタログ／資料はメーカーから直送いたします。 ※カタログ送付は原則的に勤務先にお送りいたします。

お 名 前： 所 属：

会社名(校名)：

資料送付先：

電 話： F A X：

E-mail：

	広告掲載号	メーカー名	製品名
①	月号		
②	月号		
③	月号		
④	月号		
⑤	月号		

FAX 送信先：サントナアートワークス 建設機械施工係 FAX:03-3664-0138

Mikasa 

<http://www.mikasangyo.com>

街づくりを支える、信頼の三笠品質。



転圧センサー

バイプロコンパクター

MVH-308DSC-PAS

NETIS No. TH-120015-VE

タンピングランマー

MT-55H



MVC-F60HS

NETIS No. TH-100006-VE



MRH-601DS

低騒音指定番号5097



FX-40G/FU-162A



MCD-318HS-SGK

低騒音指定番号6190

三笠産業株式会社

MIKASA SANGYO CO., LTD. TOKYO, JAPAN

本社 〒101-0064 東京都千代田区神田猿樂町1-4-3 TEL: 03-3292-1411 (代)

大阪支店 TEL: 06-6745-9631
札幌営業所 TEL: 011-892-6920
仙台営業所 TEL: 022-238-1521
新潟出張所 TEL: 090-4066-0661

北関東営業所 TEL: 0276-74-6452
長野出張所 TEL: 080-1013-9542
中部営業所 TEL: 052-504-3434
金沢出張所 TEL: 080-1013-9538

中国営業所 TEL: 082-875-8561
四国出張所 TEL: 087-868-5111
九州営業所 TEL: 092-431-5523
南九州出張所 TEL: 080-1013-9547

沖縄出張所 TEL: 080-1013-9328

アイジェイヒータ AIJ Heater

舗装端部加熱
の新常識

ヒータの点火・消火が走行と連動

AF停止時の消火忘れ、再スタート時の点火忘れを防止



スクリーンに取り付けられた振動センサが、走行時のタンパやバイブレータの振動を検知し、信号を出力。
出力信号により、点火ユニット・ガス開閉用の電磁弁を制御し、自動で点火・消火を行う。

自動点火式アイジェイヒータの特長 Automated Ignition Joint Heater

- 施工時のジョイントヒータ点火忘れ、消火忘れを防ぐことによって加熱不足・過加熱による品質低下を防止。
- 点火、消火作業を自動化することにより省力化につながる。
- 1つの点火装置で複数のヒータユニットに点火可能。

NETIS 登録 QS-240006-A

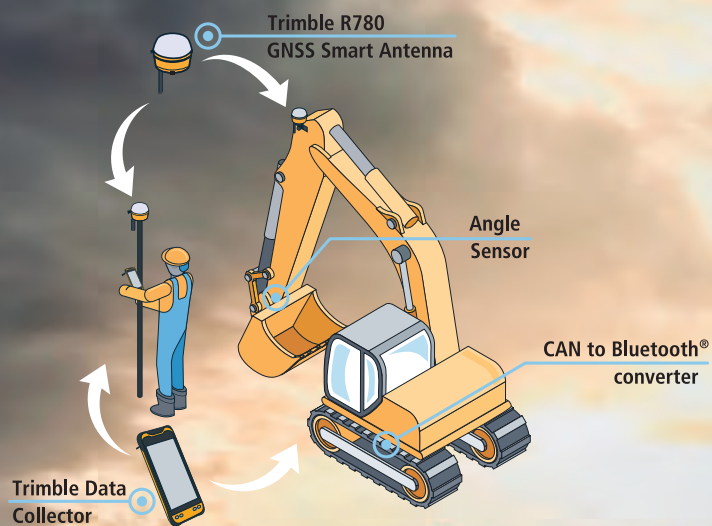


販売・製造
株式会社名倉製作所

〒103-0015
東京都中央区日本橋箱崎町27-2
TEL: 03-3667-0521(代)

Trimble Siteworks Machine Guidance **新発売**

Two-in-One



 **Trimble**
Authorized Dealer

 **SITECH**

SITECH-JAPAN.COM

サイテックジャパン株式会社 info@sitechjp.com
東京都大田区南蒲田 2-16-2 テクノポート大樹生命ビル
TEL: 03-5710-2594 FAX: 03-5710-2731



誰もが安全で健康に働ける 現場を目指して

ICT の進化は、経験値や体力を問わず、

さまざまな人材が現場で活躍できる可能性を広げています。

コマツは ICT を通じて、誰もが安全で健康に働ける

未来の現場を目指します。

KOMATSU
Creating value together

コマツカスタマーサポート株式会社 〒108-0072 東京都港区白金1-17-3 Tel.050-3486-7147 <https://kcsj.komatsu/>



雑誌 03435-7



4910034350742
00800