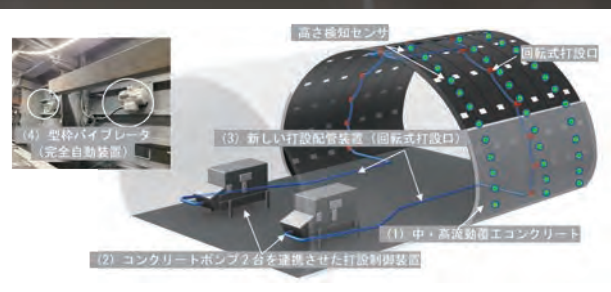


建設機械施工 12

Vol.75 No.12 December 2023 (通巻886号)

特集 先端建設技術



トンネル覆工コンクリートの全自動打設システム



巻頭言 建設機械の自動運転の難しさ

特集技術論文

- 山岳トンネル坑内にて油圧ショベルを無線で遠隔操作
- トンネル覆工コンクリート全自動打設システムの施工実績
- 山岳トンネル掘削の作業状況を自動分析するAIシステム
- 山岳トンネル用の自動ズリ積み機
- トンネル吹付けコンクリートの面的厚さ管理技術
- ローカル5Gを活用した自動走行及び4K映像の実証実験に関する取り組み 他

行政情報

交流のひろば

まいそう

- 建設機械施工の自動化・自律化協議会の取組
- 自動運転バスに使われるLIDARセンサー応用技術と遠隔監視・操作技術
- 今どきのクラブ事情
- チャレンジ!

KOBELCO

Performance X Design

新型 ミニ

SK45SR SK55SR

ミニショベルがモデルチェンジ

2023年4月順次登場

特設サイトは
こちら

iNDr+E



コベルコ建機株式会社

東京本社 / 〒141-8626 東京都品川区北品川 5-5-15
☎03-5789-2111

www.kobelco-kenki.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処にあたります。(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！

<http://www.icmanet.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。

【個人情報の取扱いについて】

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 <http://www.jcmanet.or.jp/privacy/> をご覧ください。

令和6年度 日本建設機械施工大賞の公募について

本協会では、平成元年度に一般社団法人日本建設機械施工協会会長賞を創設し、建設事業の高度化に関し顕著な功績をあげた業績について表彰して参りました。また、平成27年度の募集から新たに地域への貢献が顕著な業績も表彰することとし、さらに表彰内容を拡充したことに伴い、表彰名称を『会長賞』から『日本建設機械施工大賞』に変更いたしました。

令和6年度の表彰につきましても、下記により受賞候補者を公募いたしますので、内容検討の上、奮ってご応募いただきますよう、ご案内いたします。

1. 表彰の目的

建設機械及び建設施工に関して、有意な技術の向上又は地域の建設事業の課題の解消に、顕著な功績をあげた業績を表彰し、もって国土の開発と経済の発展に寄与することを目的とします。

2. 表彰対象

本協会の団体会員、支部団体会員、個人会員又は関係者のうち表彰目的に該当する業績のあった団体、団体に属する個人及びその他の個人を対象とします。

3. 表彰の種類

表彰は、大賞部門と地域賞部門の各部門とも**最優秀賞、優秀賞**とします。

- ・大賞部門は、建設機械及び建設施工に関する技術等の「調査・研究、技術開発、実用化等」の業績が対象となります。
- ・地域賞部門は、当該地域の建設機械及び建設施工に関する「創意工夫あるいは従来技術の改良や普及促進等の取り組み等」の業績が対象となります。
- ・最優秀賞は総合的な評価の最も高かったもの、優秀賞はそれに準ずるものです。
- ・ユニークなアイデア、あるいは特に秀でた特徴を有する提案があれば**選考委員会賞**として表彰することもあります。

受賞者には、賞状及び副賞として、1件につき次の賞金を授与します。

副賞賞金	大賞部門	最優秀賞	・ ・ ・ ・ ・	30万円	地域賞部門	最優秀賞	・ ・ ・ ・ ・	20万円
		優秀賞	・ ・ ・ ・ ・	15万円		優秀賞	・ ・ ・ ・ ・	10万円
		選考委員会賞	・ ・ ・	5万円		選考委員会賞	・ ・ ・	5万円

4. 表彰式

本協会第13回通常総会（令和6年6月予定）終了後に行います。

5. 応募

「**日本建設機械施工大賞応募要領**」に基づく**応募用紙**の提出により行われますので、**本協会HP（ホームページ）からダウンロード**してください。（自薦・他薦は問いません。）

また、大賞部門と地域賞部門の両方へ応募することもできますが、同一内容の業績では、両部門へ重複して応募することはできません。応募の締切は、**令和6年2月29日（木）（必着）**です。

6. 選考

本協会が設置した「**日本建設機械施工大賞選考委員会**」で選考いたします。なお、該当する業績が無い場合は表彰いたしません。

7. その他

受賞業績は、概要を本協会機関誌「**建設機械施工**」及び本協会の**HP（ホームページ）**に掲載いたします。

以上

欧州建設機械施工視察団 団員募集のお知らせ

INTERMAT 2024 (フランス・パリ)

一般社団法人日本建設機械施工協会では、海外の建設機械及び施工技術を見聞し、我が国の建設施工の機械化に寄与することを目的として、海外視察団を企画・派遣しています。今回は、フランス・パリで開催される国際的な建設機械及び建設資材等の展示会“INTERMAT 2024”の視察です。3年ごとに開催されるこの展示会は世界3大建機展の一つで、2018年には1,400社／団体が出展しており、建設機械、部品、サービス等の技術を一望することができます。

また本視察では、業界関連視察、見学も致します。多数の方々にご参加賜りたく、ご案内を申し上げます。

皆様のご参加をお待ちしております。

一般社団法人日本建設機械施工協会

【展示会概要】

【開催地】フランス・パリ

【周期】3年毎

【会場】パリ・ノール見本市会場

【入場者】173,300人（2018年実績）

【期間】2024年4月23日(火)～27日(土)

【主催】S.E. INTERMAT

【出展社】1,400社（2018年実績）

【主要出展品目】

土木・建設機械関連：建築資材準備、処理用機械・装置、工具、土木工事現場用機械・設備・部品等

旅行スケジュール

■INTERMAT2024 2日間 入場

■パリ市内の業界関連視察訪問

日程：2024年4月23日(火)～4月29日(月) 5泊7日(添乗員同行)

視察地：パリ(1都市)

最少催行人員：15名

旅行代金：お一人様690,000円(1名1室)

(燃油サーチャージ・INTERMAT2024入場料・登録代行手数料・視察関係の手土産等、関係諸費用は含まれておりません)

●資料請求先●

近畿日本ツーリスト株式会社 トラベルサービスセンター東日本

担当：中西／浅木

TEL：03-6730-3220 FAX：03-6730-3229

E-mail：tourdesk30@or.knt.co.jp

資料請求締切日：2024年2月16日(金)

●旅行企画・実施●

近畿日本ツーリスト株式会社 法人第2支店

●視察に関するお問い合わせ●

一般社団法人日本建設機械施工協会 企画部

担当：二瓶 / 佐々木

TEL：03-5776-7858 FAX:03-3433-1501

E-mail：kikakubu@jcmnet.or.jp

※当コースは当広告からのお申込みは承っておりません。詳しくは資料ご請求いただいたうえでお申し込みください。

管理番号：60442311C014

予定日程表

	日付	曜日	内容	時間	交通機関	摘要	食事
1	2024/4/23	火	東京（羽田） シャルルドゴール空港（パリ）	発 10:45 着 16:15	JL045	到着後、市内にて夕食 【パリ泊】	朝:× 昼:機 夕:○
2	2024/4/24	水	フランス	滞在	終日	専用車 ■INTERMAT PARIS 2024 取扱品目：土木・建設用機器、技術、建設用資材、等 【パリ泊】	朝:○ 昼:× 夕:×
3	2024/4/25	木	フランス	滞在	終日	専用車 ■INTERMAT PARIS 2024 取扱品目：土木・建設用機器、技術、建設用資材、等 【パリ泊】	朝:○ 昼:× 夕:×
4	2024/4/26	金	フランス	滞在	終日	専用車 パリ市内視察 【パリ泊】	朝:○ 昼:× 夕:×
5	2024/4/27	土	フランス	滞在	終日	専用車 パリ市内視察 【パリ泊】	朝:○ 昼:× 夕:○
6	2024/4/28	日	シャルルドゴール空港（パリ）	発 19:00	専用車 JL046	出発まで自由行動 ホテル発、シャルルドゴール空港へ 空路、羽田空港へ移動 【機内泊】	朝:○ 昼:× 夕:機
7	2024/4/29	月	羽田空港	着 13:55		入国審査、通関後、解散 ～お疲れ様でした～	朝:機 昼:× 夕:×

※ 発着日時、および交通機関、宿泊先は変更になることがあります。

【食事の表示】 朝：朝食、昼：昼食、夕：夕食、○：あり、×：なし、機：機内食

【時間帯の目安】 朝／9:00～10:00 午前／10:00～12:00 午後／12:00～17:00

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 <http://www.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5年12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	R5年10月	道路除雪施工の手引 (第17版)	4,950	3,960	770
2	R5年5月	橋梁架設工事の積算 令和5年度版	12,100	10,285	990
3	R5年5月	令和5年度版 建設機械等損料表	9,680	8,228	770
4	R4年5月	大口径岩盤削孔工法の積算 令和4年度版	6,600	5,610	770
5	R4年5月	よくわかる建設機械と損料 2022	6,600	5,610	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	<h3>先端建設技術</h3>
巻頭言	4 建設機械の自動運転の難しさ 建設現場での臨機応変な働きを目指す 油田 信一 筑波大学名誉教授, 土木研究所招聘研究員, 芝浦工業大学特任研究員, 西武建設顧問
行政情報	5 建設機械施工の自動化・自律化協議会の取組 日出山慎人 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 吉田 真人 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
特集技術報文	10 山岳トンネル坑内にて油圧ショベルを無線で遠隔操作 無人化施工システム「Tunnel RemOS-Excavator (トンネルリモス-エクスカベータ)」を開発 山本 悟 西松建設(株) 技術研究所 土木技術グループ 上席研究員
	15 建設車両シミュレータにおける受動的体揺動の模擬生成 西岡 右平 WIZAPPLY(株)
	24 シールド工事で測量機器の盛替え不要の自動連続測量システム ステレオカメラ自動測量システム「MWMS™ (マームシステム)」の開発 山崎 友誉 戸田建設(株) 土木工事統轄部 土木メカテック部 課長
	29 トンネル覆工コンクリート全自動打設システムの施工実績 松本 修治 鹿島建設(株) 技術研究所 土木材料グループ 主任研究員 手塚 康成 鹿島建設(株) 土木管理本部 土木工務部 トンネルグループ 担当部長 坂井 吾郎 鹿島建設(株) 技術研究所 主席研究員, 博士(工学)
	37 コンクリート湿潤養生 自動認識ロボットの開発 増田 貴之 ㈱奥村組 土木本部 土木工務部 土木企画課 主任 中村 裕介 ㈱奥村組 ICT 統括センター イノベーション部 BIM 推進グループ グループ長
	43 世界初, 燃料電池を動力源としたラバータイヤ式 門型クレーンの開発と実証試験に成功 港湾荷役機器分野で, 温室効果ガスの排出量削減に貢献 村山 哲郎 ㈱三井 E&S 成長事業推進事業部 脱炭素ソリューション部ゼロエミ・システムグループ長 市村 欣也 ㈱三井 E&S 成長事業推進事業部 マーケティング部 マーケティンググループ長
	48 山岳トンネル掘削の作業状況を自動分析する AI システム CyclEye® 吉田 健一 ㈱大林組 土木本部 先端技術推進室 技術開発部 副課長
	54 山岳トンネル用の自動ズリ積み機 AI 機能搭載のズリ積み機「AI ロックローダ」の開発 浅沼 廉樹 ㈱フジタ 土木本部 土木エンジニアリングセンター 機械部 上級主席コンサルタント 山田 照之 ㈱三井三池製作所 技術開発部 部長 松尾 陽介 ㈱三井三池製作所 産業機械技術部 産業機械設計グループ アシスタントリーダー
	59 AI-ロードヘッダの開発 松尾 陽介 ㈱三井三池製作所 産業機械技術部 産業機械設計グループ アシスタントリーダー
	64 山岳トンネル施工管理システム「Hi-Res」の展開 サイクルタイム取得と電力管理により現場施工の効率化に貢献 涌井 遼平 ㈱安藤・間 建設本部 機電部 主任
	69 トンネル吹付けコンクリートの面的厚さ管理技術 切羽吹付け作業のリアルタイムかつ定量的な管理が可能に 木下 勇人 大成建設(株) 技術センター 生産技術開発部 地下空間技術開発室 主任 竹中 計行 大成建設(株) 技術センター 生産技術開発部 地下空間技術開発室 課長 宮本 真吾 大成建設(株) 土木本部 土木技術部 トンネル技術室 課長
	75 掘削具合の可視化技術「SP-MAPS」をトンネル切羽に適用 掘削すべき“あたり”箇所がプロジェクトマップで一目瞭然 邊見 涼 清水建設(株) 土木技術本部 地下空間統括部 トンネル設計グループ
	80 屋外型拡張現実 AR システム Trimble SiteVision AR を活用して 3次元データを現地で可視化 鈴木 勇治 サイテックジャパン(株) ICT 推進企画室 室長

	85	点群データを利用した施工事例 3次元点群クラウド「TRANCITY」の活用	
		芝 寛 東日本旅客鉄道㈱ 東京建設プロジェクトマネジメントオフィス 企画戦略ユニット企画戦略・DX (DX/JRE-BIM)	
		井口 重信 東日本旅客鉄道㈱ 東京建設プロジェクトマネジメントオフィス 企画戦略ユニット企画戦略・DX (DX/JRE-BIM) マネージャー	
		松本 裕樹 CalTa(株) 事業部 マネージャー	
	90	ローカル 5G を活用した自動走行及び 4K 映像の実証実験に 関する取り組み	
		畑本 浩伸 ㈱熊谷組 土木事業本部 土木 DX 推進部 企画推進グループ グループ課長	
		飛鳥馬 翼 ㈱熊谷組 土木事業本部 土木 DX 推進部 DX 推進グループ 係長	
交流のひろば	94	自動運転バスに使われる LiDAR センサー応用技術と 遠隔監視・操作技術	
		陣鎌 真一 ㈱マクニカ イノベーション戦略事業本部 スマートシティ & モビリティ事業部 DX ソリューション部 部長代理	
		田中健一郎 ㈱マクニカ イノベーション戦略事業本部 スマートシティ & モビリティ事業部 DX ソリューション部 課長	
ずいそう	99	今どきのクラブ事情	
		西村 貴信 日進機工㈱ 東京支店 品証安全管理室 室長	
	101	チャレンジ!	
		池田 知明 ㈱IHI インフラ建設 九州支店 支店長	
部会報告	103	日立建機(株)常陸那珂臨港工場 コマツ茨城工場 見学会 報告	
		機械部会 ダンプトラック技術委員会	
CMI 報告	105	構造実験におけるデジタル画像相関法 (DIC) を用いた 変形挙動計測の取り組み	
		井上 一磨 (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第二部 研究員	
	109	新工法紹介 機関誌編集委員会	
	111	新機種紹介 機関誌編集委員会	
統計	112	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	
	113	行事一覧 (2023 年 10 月)	
	118	編集後記 (宮川・大竹)	
その他	119	“建設機械施工” 既刊目次一覧 2023 年 1 月号 (第 875 号) ~ 2023 年 12 月号 (第 886 号)	

◇表紙写真説明◇

トンネル覆工コンクリートの全自動打設システム

写真提供：鹿島建設(株)

トンネル覆工コンクリートの全自動打設システムの全体概要図、システム画面および施工実績である高流動覆工コンクリートの仕上がり写真である。全自動打設システムは、新しい打設配管装置と各種制御システムを備えた移動式型枠を用いて、中・高流動覆工コンクリートを、ポンプによる圧送から打設口の切替え、型枠パイプレータの操作までを自動制御しながら打ち込めるものである。京都府で施工中の新名神宇治田原トンネル西工事において、狭隘な作業環境下での人力作業を完全に排除でき、打設時の人員を 9 名から 4 名に減少できるなど、省力化および省人化を実現しつつ、写真に示す高流動覆工コンクリートの仕上がりを得ることができる。

巻頭言

建設機械の自動運転の難しさ

建設現場での臨機応変な働きを目指す

油 田 信 一



近年の、コンピュータを用いた制御技術や、AIと称される人の認識・判断を機械の上に実現させる情報処理技術により、従来人でなければできなかった作業を自動化された機械に代替させることが期待されている。

さて、人の腕や手の形状を模した産業用ロボット（マニピュレータ）は、工場内の自動化に大きく働いている。一方、代表的な建設機械であるバックホーも人の腕と同じ関節型の機構を持ち、走行機能付きのマニピュレータと考えることができる。しかし、この機械は、自動化が試みられてはいるが、未だほとんど人に操縦されて使われている。

人が仕事をする場合、まず、作業の目的と対象物やその周りの状況に従って、どのように腕や手を動かすかを決める。これは、動作の計画である。つぎに、腕の筋肉を働かせて、計画した動作を遂行する。ここでは、時々刻々の腕の姿勢や対象物との位置関係を目で見てそれを計画と比較しつつ、動作時に発生する計画とのずれを修正しながら、腕を動かす。この枠組みを制御システムとして実現しているのが、フィードバック制御系である。

産業用のロボットでは、繰り返しの動作を行うため、通常、動作計画は1回作っておけば良い。また、対象物の位置や環境条件が毎回同じになるように環境が整備されて、作業が進められる。したがって、マニピュレータの姿勢（関節角）のみを繰り返し制御すればよく、動作時には対象物や環境を見てフィードバックすることなく、作業の自動化が達成される。

一方、例えばバックホーによる掘削動作を自動化しようとする場合、掘削位置は毎回同じではない。したがって、掘削の毎に、動作計画が作られる。さらに、その動作を実行する際も、対象物が不定形な土砂であったり、また、建機がいる路面が軟らく不安定だったりする。そのため、その実行時に、動作に与えられる外乱は大きく、センサを用いた対象物や環境の計測・認識により、動作の誤差の修正や動作の調整をしっかりと

りを行う必要がある。つまり、フィードバックによる制御が一回り複雑で、かつ、重要性が高い。これを、十分な信頼性をもって達成することが、自動化の実現のためには必要不可欠である。

さらに、この動作の途中で、動作計画を変更する必要が発生することもある。大きな岩石があって掘削動作が継続できない、あるいは、掘削した土砂がバケットから大きく零れ落ちた、などが想定される事態である。オペレータによる作業中には、オペレータはこのような事態に対して「臨機応変」に動作の計画の変更や作業の中断を判断する。この、予定外の事態に対処する「臨機応変」さは、建設機械による作業の自動化にも求められる基本機能である。この「臨機応変」機能のためには、センサを用いたリアルタイムの状況認識が必要不可欠である。そして、発生した事態を的確に自動的に把握して、それに対処して動作を継続させる。これは、不定型な現場で働く自動化された建設機械を実用化するための必須な機能である。

一方、優れた自動化の技術が開発され、臨機応変にN種の事態に対処できる自動化システムが実現されたとしよう。しかし、その運が良ければ使われないで済む、「臨機応変」機能の実装のコストはNが大きくなると高くなる。つまり、対処できる事態を増やすにしたがって、その臨機応変のための機能が自動化された機械のコストの大きな部分を占めることになる。

建設機械のような不定形な環境で働く機械の自動化レベルを上げようとする、常にこのコストの問題が存在する。すなわち、無条件にどんな状況でも働く汎用な自動機械と言う概念は、成立しない。建設施工機械の自動化を進める上では、自動化機械にどこまでの機能を求めるか、つまり、人との仕事の分担をどうするか、について、十分に検討を尽くして始める必要がある。

—ゆた しんいち 筑波大学名誉教授、土木研究所招聘研究員、
芝浦工業大学特任研究員、西武建設顧問—

行政情報

建設機械施工の自動化・自律化協議会の取組

日出山 慎人・吉田 真人

建設業では、担い手不足の深刻化が懸念されており、建設現場の抜本的な生産性向上は喫緊の課題である。現場の生産性向上に資する技術の一つとして、建設機械施工の自動化・遠隔化技術が期待されている。この技術は、建設機械を人が搭乗することなく稼働させるものである。建設機械施工の自動化・遠隔化技術の普及に向けては、安全をはじめとして分野横断的に検討を行うべき項目が多く存在するが、そのような議論はこれまでほとんど行われておらず、現場導入に向けた環境は整備されていなかった。そこで、国土交通省では令和3年度に「建設機械施工の自動化・自律化協議会」を設置し、多様な関係者の参画のもと、議論を開始している。本稿では、協議会の活動についてこれまでの経過と今後の展望を述べる。

キーワード：安全、生産性向上、自動・遠隔施工、現場検証、安全ルール

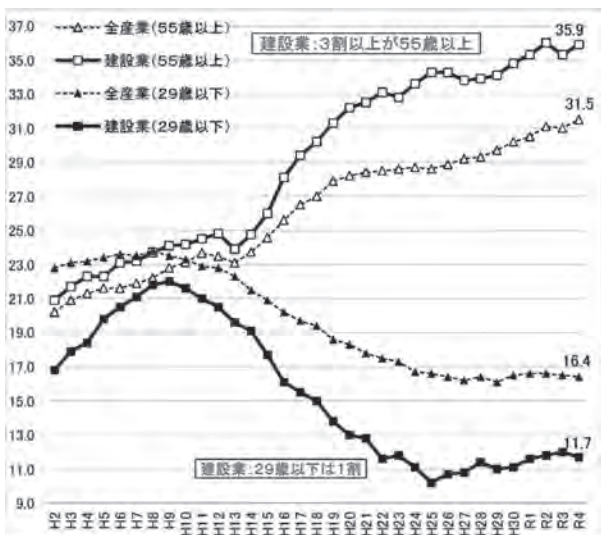
1. はじめに

我が国では少子高齢化に伴い、就業者の高齢化が進行している。その中でも建設業就業者の高齢化は他業種と比較して顕著であり（図—1）、近い将来、建設業に従事する高齢者が大量に退職することが見込まれる。更には、人口減少の影響により、新規就業者も減少していくことが予測される。このため、今後の深刻な担い手不足により、建設業の持続性が失われることが懸念されている。

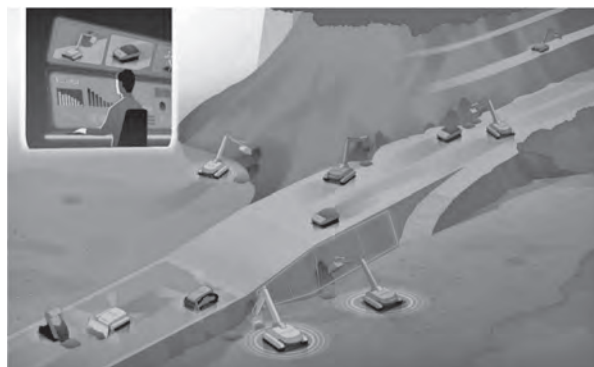
これらの課題解決に向け、国土交通省では「インフラ分野のDX」を推進しているところであるが、その

中で現場の生産性向上に資する技術の一つとして、建設機械施工の自動化・遠隔化技術（図—2）が期待されている。この技術により、建設機械に人が搭乗せず、遠隔地から稼働させることで、工事を進めることが可能となる。

建設機械施工の自動化・遠隔化技術の普及に向けては、安全をはじめとして分野横断的に検討すべき項目が多く存在するが、そのような議論は系統立った形では従来ほとんど行われておらず、現場導入に向けた環境もまた整備されていない。そこで、国土交通省では令和3年度に「建設機械施工の自動化・自律化協議会」（以下、「協議会」という）を設置し、産官学を含む多様な関係者の参画のもと、議論を進めてきた。本稿では、協議会の活動についてこれまでの経過と今後の展望を述べる。



図—1 全産業及び建設業就業者において若年層及び高齢層が占める割合



図—2 自動・遠隔施工のイメージ

2. 協議会の体制

協議会は自動・遠隔施工技術について、現場状況を踏まえた適切な安全対策や関連基準の整備等により開発及び普及を加速化させ、飛躍的な生産性向上と働き方改革の実現を目的とする。この目的を達成するため、協議会には、建設施工関係の有識者や、建設機械施工に関係する多くの業界団体が参画している（図—3）。また、行政機関としては、公共工事の発注者であり、建設機械に関する技術的な指導の権能を有する国土交通省のみならず、産業振興を司る経済産業省、労働安全を司る厚生労働省が参画している。

協議会は、自動・遠隔施工技術の普及に向けた大局的な方針を議論する場となっている。より個別的・具体的な議題を議論する場としては、協議会の下部組織として3つのワーキンググループ（以下、「WG」という）を設置している。下段では各WGの概要について述べる。

「安全・基本設定WG」は令和4年6月に、協議会と同じ団体等を構成員として設置した。本WGは「自動・遠隔施工の安全ルール」を策定することを当面の目的として、検討を進めている。また、技術開発における協調領域の設定についても検討を進めている。

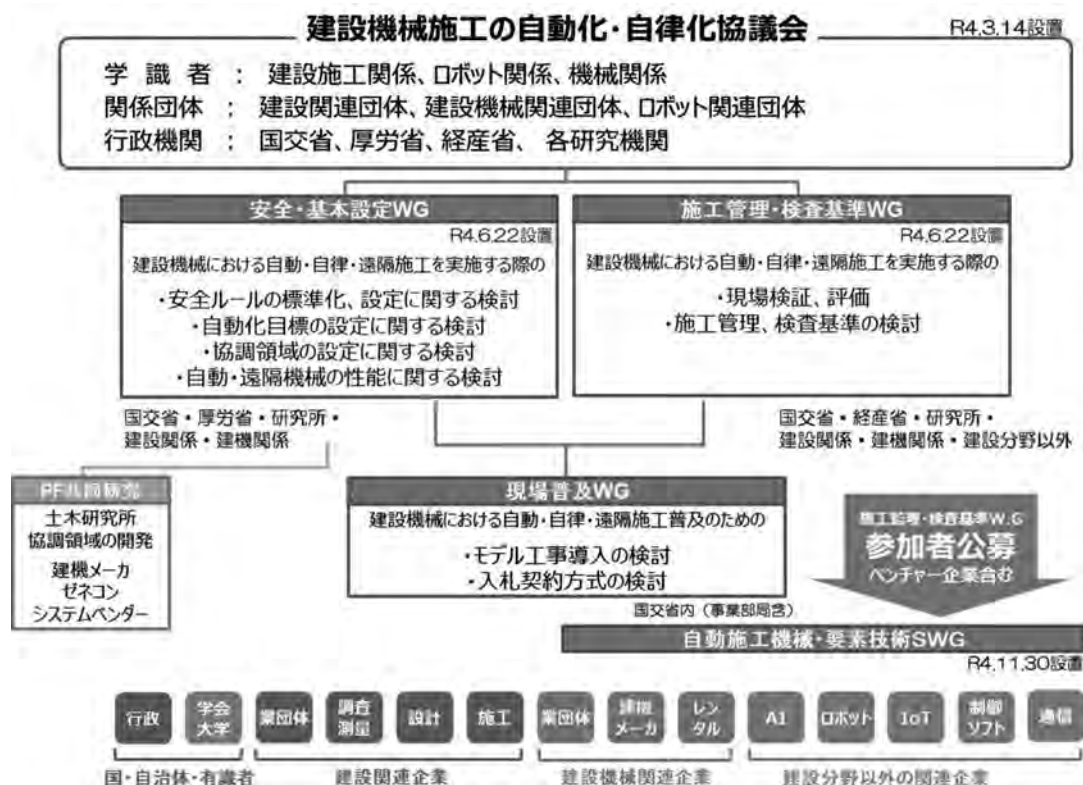
「施工管理・検査基準WG」は「安全・基本設定WG」と同様、令和4年6月に、協議会と同じ団体等を当初

の構成員として設置した。本WGでは令和5年度に予定している自動・遠隔施工の現場検証の実施に向けた検討を進めている他、将来的には自動施工における施工管理基準策定に向けた検討を行うものとしている。このような特性に鑑み、実際に自動・遠隔施工技術のノウハウを有する者の意見を幅広く取り入れるため、令和4年9月から構成員の公募を行い、同年11月、応募のあった26団体43者を「自動施工機械・要素技術サブワーキンググループ」（以下、「SWG」という）のメンバーとして選定した。なお、本SWGメンバーは多くの方に参画いただくため、随時公募として現在も公募を継続している。

「現場普及WG」は、モデル工事の設定や自動・遠隔施工技術を想定した入札・契約のありかたを検討するものである。本WGは、自動・遠隔施工技術を実工事で使用する環境がある程度整備された後に開催するものとしているため、現時点では開催していない。

3. 安全ルールの策定方針と現状

本項では、令和5年度に策定を予定している自動・遠隔施工の安全ルールの策定方針と現状について述べる。自動・遠隔施工は、現場からオペレータがいなくなるという点で、従来の有人施工と大きく異なる。しかし、この「オペレータがいらない」という特徴を考慮



図—3 協議会の体制

して整備された体系的な安全ルールは現状では存在しない。そのため、一部の開発者が実施している自動・遠隔施工の現場試行においては、現場毎にゼロから安全対策を検討する必要が生じている。さらに、どの程度の水準の対策が必要であるか判断する基準がないため、関係者との調整に時間を要する他、現場毎に安全対策の水準にばらつきが生じたりする等の課題がある。また、有人の施工現場を前提とした既存のルールを自動・遠隔施工の現場にそのまま準用すると、過剰な安全対策を講じなければならなくなる懸念がある。あわせて、多くの安全対策を講じるほど現場の安全性が高まる一方、施工の効率性は低下する傾向にある。

上記を踏まえ、自動・遠隔施工の普及促進を図るためには、この特徴に即した標準的な安全ルールを策定することが必要である。そのため、今後は協議会、WG 及び SWG での検討に基づき、全ての作業員の進入を禁止する「無人施工エリア（図-4）」における施工等を対象とし、安全ルールを標準化することを目指している。

続いて、現時点での安全ルールに関する検討状況を述べる。

安全ルールは、「自動・遠隔施工を実施する施工会社が、安全対策を検討する上で参照する資料」として位置づけられるものとしている。また、あらゆる条件の現場で講じるべき全ての安全対策を列挙することは事実上不可能であることから、条件の異なる現場においても共通的に講じるべき安全対策を示す性質のものとして策定する計画である。一般的に機械の使用にあたっては、法令や取扱説明書等において具体的に定められている共通的な保護方策に加え、使用者が実施するリスクアセスメントの結果として必要であると判断された保護方策が講じられる。一方、自動・遠隔施工

においては、共通的な保護方策が体系的に整理された文書は存在しないため、まずはどのような現場条件下で実施する自動・遠隔施工においても共通的に講じるべき保護方策を安全ルールとして策定する必要がある。具体的には、自動・遠隔施工を行う場合は、機械の周辺に作業員の進入を規制する「無人施工エリア」を設定すること、「無人施工エリア」に作業員が誤って進入するといった危険性が大きい事象が生じた場合は自動・遠隔施工機械を停止させること、「無人施工エリア」内で稼働している自動・遠隔施工機械が「無人施工エリア」を逸脱しないための対策を講じること等が考えられる。

また、自動・遠隔施工においてはリスクアセスメントの項目が整理されたマニュアルも未整備であり、且つ多くの施工会社には自動・遠隔施工の経験がない。そのため、施工会社がリスクアセスメントを実施するに当たっての補助として活用できるよう、自動・遠隔施工に特有のリスクアセスメントの項目を体系的に整理する必要がある。加えて、必要な保護方策の内容や担い手が従来の有人施工と異なることから、これまで以上に「リスクアセスメント情報を関係者間で共有すること」や「それぞれの保護方策を、現場のどの担当者が担うのか明確にすること」が重要である。

さらに、自動・遠隔施工の分野においては技術が日進月歩であることを踏まえ、技術の発展に伴い安全ルールが陳腐化することを防ぐため、安全ルール策定後もフォローアップを継続する体制を構築することが重要である。そのため、安全ルール策定後も実際に適用している施工現場の調査・ヒアリング等を行い、そこで得られた知見に基づき、安全ルールの改定や対象の拡大を図ることを計画している。

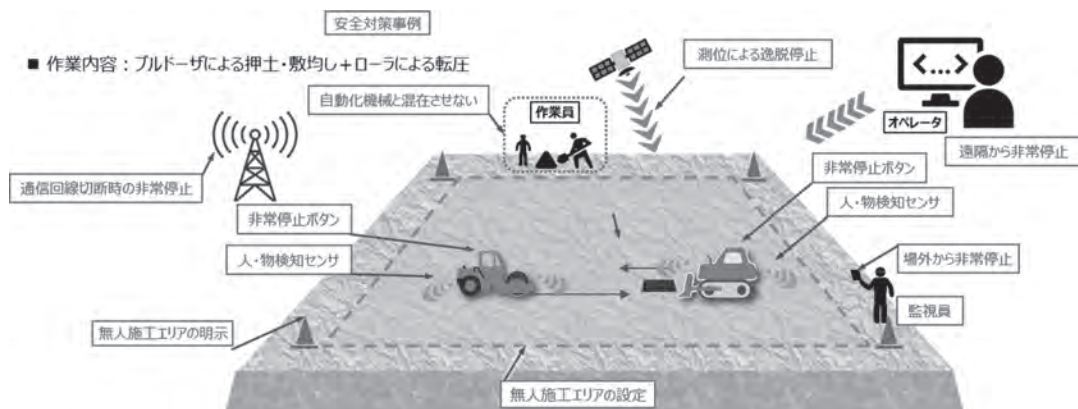


図-4 無人施工エリア（点線の内側）の模式図と保護方策のイメージ

4. 自動化・遠隔化技術の現場検証

本項では、安全ルールの策定に向けて実施する自動化・遠隔化技術の現場検証について述べる。

令和5年度は標準的な安全ルールや現場適用に向けた効果と課題を検証するための現場検証を実施する。現場検証の実施に当たっては、「現場検証の実施方針」「安全ガイドライン」を作成しており、検証参加者がこれらを参考にしつつ実施計画書を作成し、現場検証を実施する（図-5）。

(1) 現場検証の実施方針

「現場検証の実施方針」は、検証の目的や検証の流れ、対象技術等を規定するものである。検証の目的は「自動・遠隔施工の安全ルールを標準化すること」、「自動・遠隔施工の実現場への適用に向けて、施工の効率性と安全性の両面からの効果・課題について検証すること」としている。

また、検証の流れは下記のとおり規定している。

- ①検証の参加者は、事前に具体的な実施内容を記載した検証計画書を作成。
- ②建設DX実験フィールド、参加者保有のヤード、施工中の現場等で検証を実施。
- ③検証結果を報告書として参加者がとりまとめ、WGに共有。
- ④解決が必要な課題についてはWGの知見を活用し、議論を通じて安全ルールの形成。
- ⑤次のステップに進み、検証と解決をスパイラルアップ。

検証技術は、自動・遠隔施工に必要となる機能や性能を追加装備する技術を対象としており、既存の各種センサ類の組合せに加え、専用ソフトや制御システム

等、多種多様な要素技術を想定している（例：安全技術、動作・操作関連技術、周辺環境認知技術、通信技術等）。

(2) 安全ガイドライン

「安全ガイドライン」は、自動・遠隔施工の現場検証における一般的な安全対策の指針として、現場検証時に安全計画を策定する上での拠り所となるものである。安全ガイドラインの構成は「自動施工編」「遠隔施工編」から成り、現場検証内容に応じて各編を参照するものとする。現場検証を踏まえ、実現場に適用する標準的な安全ルールを策定していき、適宜、当ガイドラインも拡充・見直しを行うものとしている。

安全ガイドラインの内容について、エリア・境界の設定を例に紹介する。まずエリア設定について、自動・遠隔施工機械の稼働エリアを無人化するために必要なエリアの種類としては「全体施工エリア」、「自動施工管理エリア」、「有人施工エリア」、「指定混在エリア」、「無人管理エリア」、「無人施工エリア」、「コントロールエリア」、「一般エリア」があるものの、必ずしも全てのエリアが設置されるものではないものとしている。次に境界設定について、エリアを区切る境界の種類としては、機械では突破不可能な構造物や人が容易に乗り越え不可能な固定柵等による物理的な境界、妥当な感覚での三角コーン等による視覚的な境界等があり、現場の地形や管理レベル、自動・遠隔施工機械の機能等を考慮し、リスクアセスメントによって適切な境界を選定するものとしている。

(3) 現場検証の実施

今年度実施する現場検証の参加者募集を令和5年7月から8月にかけて実施した結果、計17件の応募が

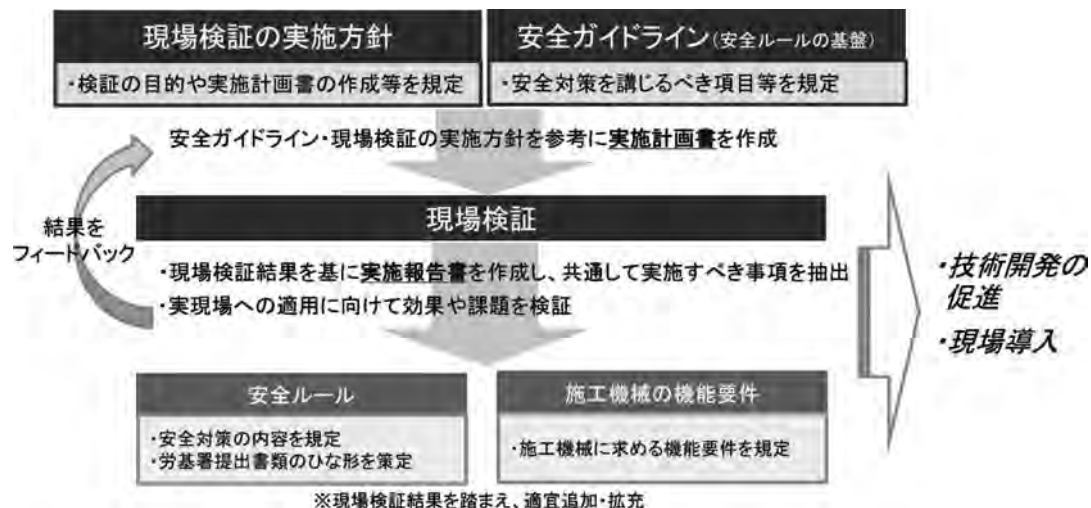


図-5 現場検証に向けた「実施方針」「安全ガイドライン」の位置づけ

表一 建設機械施工の自動化・遠隔化技術に係る現場検証の実施対象

実施者 (◎は代表者)	現場検証の名称
◎コベルコ建機, 安藤・間	建設機械の遠隔・自動運転システム
◎日本電気	重機の遠隔操縦, 及び自律運転に関するシステム
◎ARAV	建設機械の後付遠隔操作システム Model V
◎金杉建設, アクティブ・ソリューション, 創和	自律走行式草刈り機
◎世紀東急工業, ARAV	アスファルトフィニッシャの遠隔操作及び自動操舵技術
◎大林組, 宮本組, 砂子組, EARTHRAIN, SafeAI ジャパン	建機の自動・自律化システム
◎フジタ, 住友重機械工業, 住友建機	衝突軽減システムを搭載した遠隔施工機械の効率性と安全性の検証
◎酒井重工業, JIG-SAW	安全ガイドラインに則った施工エリアの設定と安全システムの現場検証
◎アクティオ, ORAM	後付遠隔施工機械の安全運用に関する制御技術
◎ソリトンシステムズ, 東京通信機	安全な建機の遠隔操作を実現するための映像・通信技術
◎アプトポッド	自動・遠隔施工向け建設サイトデータネットワーク
◎サイテックジャパン, ジック, 日本国土開発	締固め回数管理システムとステレオカメラによる, 回避区域の自動検出システム
◎DeepX, オリエンタル白石	建設現場のリアルタイムな3次元認識技術 及び 建機の衝突検知・防止技術
◎ワイズ, フクザワコーポレーション	除雪用機械の自動制御
◎大成建設, 大成ロテック	自動化建設機械の無線緊急停止システム
◎IDEC	建設機械施工における安全・安心向上のための非常停止遠隔操作支援システム
◎小松製作所	油圧ショベル用アタッチメント作業・交換の遠隔操作技術

あり, その全てを今年度の現場検証の実施対象として決定した(表一)。現場検証は10月以降に順次実施する。

5. 今後の展望

将来的には, 自動・遠隔施工に適応した施工管理技術に基づいた施工管理や検査の基準類の策定が必要となる。その際には, 現場検証等の場でそれらの策定に必要な情報収集を行っていくことを計画している。さらにその先に, 協議会において以下に列挙する項目の検討を計画している。

- ・研究開発や安全性能等における協調領域の設定
- ・自動・遠隔施工機械の機能要件
- ・公共事業におけるモデル工事の実施
- ・自動・遠隔施工に適した入札契約方式

6. おわりに

自動・遠隔施工技術の普及は, 今後の日本の社会インフラを整備・維持し, 災害対応能力を保持していくためには必要不可欠であると考えられる。自動・遠隔施工技術は現場の省人化による生産性の向上をもたらすだ

けでなく, 遠隔地のオフィスからでも建設機械を稼働させることを可能にし, 多様な人材が建設業で働きやすくなる等, 働き方改革の実現に向けた期待も大きい。また, 災害発生時に地場のレンタル会社や施工会社と国土交通省が連携することにより, 自動・遠隔操作が可能な建設機械を災害現場へ迅速に投入可能となることも将来的には期待される。さらに, 令和4年4月に策定した第5次国土交通省技術基本計画では, 20~30年先の将来を想定し, 長期的な視点で実現を目指す将来の社会イメージとして, 建設現場の完全無人化を描いている。

国土交通省はこのような未来を見据えつつ, 自動・遠隔施工技術の普及促進に向けて, 引き続き取り組んでいく。

JICMA

[筆者紹介]

日出山 慎人 (ひでやま しんと)
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

吉田 真人 (よしだ まさと)
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

山岳トンネル坑内にて油圧ショベルを無線で遠隔操作 無人化施工システム「Tunnel RemOS-Excavator（トンネルリモスー エクスカベータ）」を開発

山本 悟

山岳トンネルの建設工事におけるトンネル切羽は地山の崩落や肌落ちなどの災害が発生する恐れがあり、作業員は粉じん、振動・騒音などに晒される過酷な環境下となる場合が多い。トンネル建設に従事する作業員の安全性の向上、作業環境の改善のために、バックホウやブレーカ等の油圧ショベルを遠隔操作する無人化施工システム「Tunnel RemOS-Excavator（トンネルリモスーエクスカベータ）」を開発し、ブレーカの遠隔操作を現場適用した。本稿では、当該システムの概要と実施工における適用状況および課題解決のための工夫について報告する。

キーワード：山岳トンネル、油圧ショベル、遠隔操作、無人化、無線通信

1. はじめに

山岳トンネルの建設工事においては、坑内の過酷な環境下にて特殊技能を要する作業が多く、これに従事する技能労働者の安定確保や高齢化対策が喫緊の課題となっている。また、山岳トンネル工事の最先端部である切羽は地山の崩落や肌落ち災害がたびたび発生しており、労働者の生命を脅かす恐れもあり、切羽への立入りを削減することが求められている（切羽作業の無人化）。

このような課題の解決には労働環境の大幅な改善や労働生産性の向上が不可欠であり、その方策の1つと

してICT技術を駆使した無人化（遠隔操作）施工技術の導入が望まれている。しかしながら、山岳トンネルの施工では狭隘な坑内において多種にわたる特殊機械を使用する複雑な作業が必要とされるため、無人化技術の導入が進んでいないのが現状である。

このような背景から、トンネル工事に使用する個別の施工機械に対する遠隔操作技術を開発し、それらを効果的に組み合わせることで施工全体の無人化を実現するための山岳トンネル無人化施工システム「Tunnel RemOS（Tunnel Remote and automated Operation System）」（以下、本施工システム）^{1), 2)}の構築を現在進めている（図-1）。

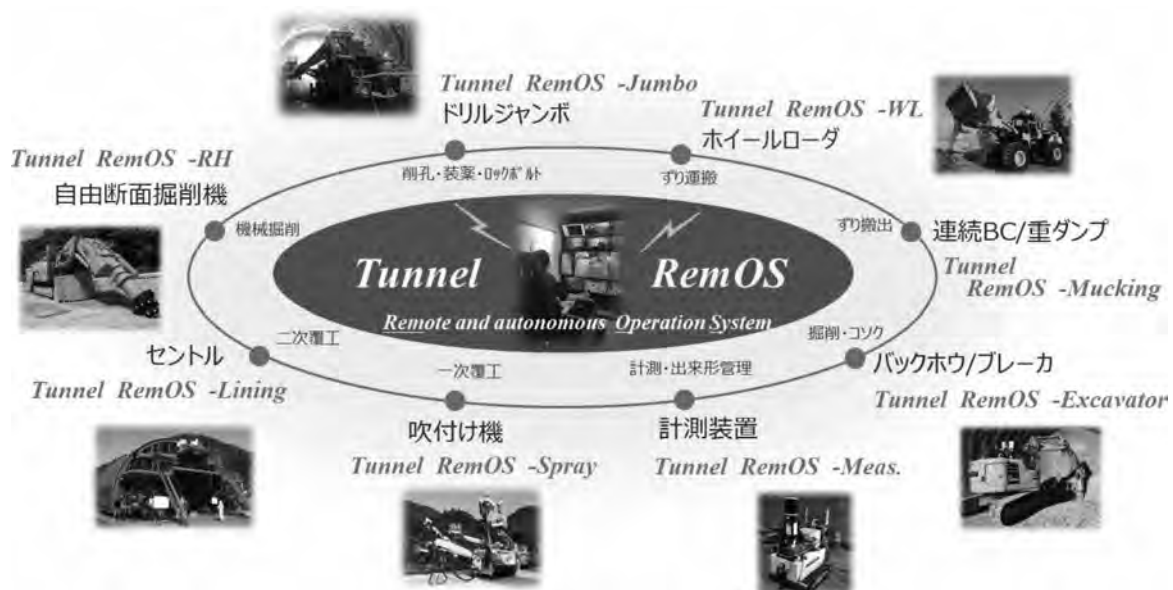


図-1 本施工システム

2. 油圧ショベル無人化施工システム

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）を判断してレーザーポインタ等で重機オペレータに指示を出していた。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り、厚生労働省からも「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」において、切羽への原則立入禁止が示されている。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を遠隔操作する無人化施工システム「Tunnel RemOS-Excavator（トンネルリモスーエクスカベータ）」（以下、本システム）を開発した。

(1) システム概要

今回開発した本システムは遠隔操作室、映像・制御信号伝送システム、機体制御システムおよびガイダンスシステムである「切羽掘削形状モニタリングシステム」で構成されており（図-2）、油圧ブレイカの走行から切羽でのコソクやあたり取りなどの一連の作業を無線で遠隔操作することが可能である。重機オペレータは切羽から離れた位置に配置された遠隔操作室内のモニタの切羽映像を見ながら油圧ブレイカを操作するため、切羽近傍の無人化や作業環境の改善が期待される。

(a) 遠隔操作室

遠隔操作室は4tトラック荷台に補強済みユニットハウスを設置し、電源台車後方（切羽から150m程度後方）に駐機させた（写真-1）。室内には運転席、操作レバー、スイッチおよびフットペダルを配置した運転コクピットと油圧ブレイカの前後左右側方に搭載したFHDカメラ映像、俯瞰カメラ映像および機体情報を映す12個のモニタと後述する「切羽掘削形状モニタリングシステム」の計測モニタが配置されている（写真-2）。オペレータは運転コクピットに搭乗して



写真-1 遠隔操作室



写真-2 運転コクピットおよびモニタ

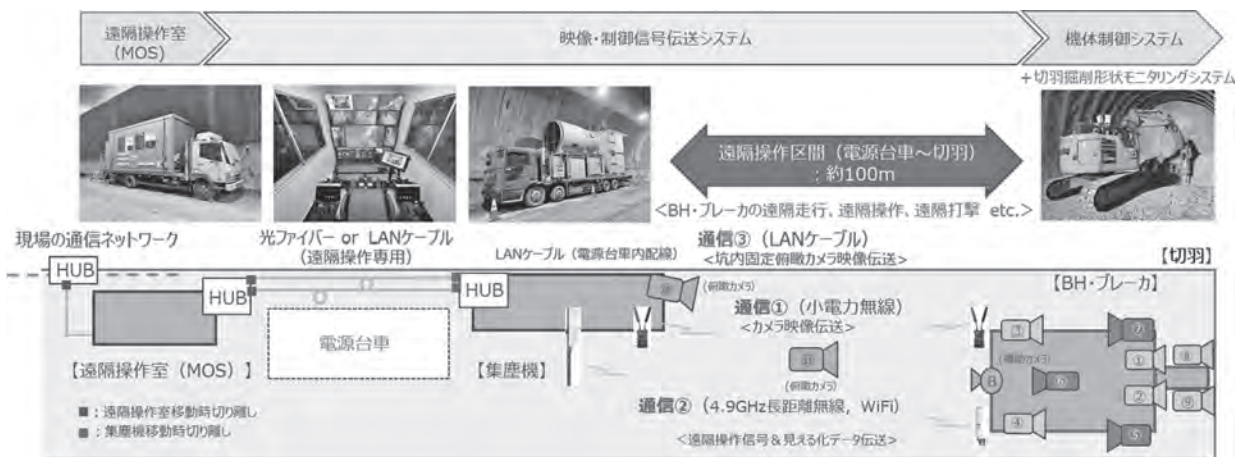


図-2 本システム構成例

モニタ画面を見ながら機体走行やブーム・アーム操作、チゼルの打撃等を遠隔で行う。なお、掘削時の音や振動もセンサにより取得し、コクピット上で再現することによって、機体上での実機操作に近い作業環境を実現する工夫がされている。また、運転コクピットは、トンネル掘削に使用されるドリルジャンボや吹付け機、ホイールローダなどの大型重機をセレクトスイッチで選択することによって、操作レバーやスイッチ、フットペダルなどの設定が変更され、一つのコクピットから各大型重機の遠隔操作が可能なマルチオペレーションシステムとなっている。

(b) 映像・制御信号伝送システム

重機を安定的に遠隔操作するためには映像・制御信号を有線接続にて伝送する方法が確実である。しかし、複数の重機が輻輳して作業を行うトンネル切羽においては有線接続では切断等の恐れがあるため、映像・制御信号の伝送については5GHz帯の小電力無線および4.9GHz長距離無線の2種類の無線伝送方式を使用したシステムを構築している。油圧ブレーカには9台のFHDカメラと、各無線送受信のアンテナが設置されている。さらに、移動基地局として送受信のアンテナが集塵機上部に設置されている。カメラの映像データは変換・合成を経て、小電力無線により移動基地局に無線伝送され、そこからLANケーブルを介して遠隔操作室へ有線伝送される。また、俯瞰カメラ映像は小電力無線により直接無線伝送される。一方、制御信号、機体情報（音、振動等）、ガイダンスシステムのデータ等は4.9GHz長距離無線を使用して送受信され、情報の一部はモニタに表示されるとともに、専用PCに運転データとして蓄積される。

(c) 機体制御システム

遠隔操作室からの制御信号は、先述の映像・制御信号伝送システムを介して油圧ブレーカのキャビン上に設置された機体制御システムに伝送され、その信号をもとに機体の油圧ユニットに取り付けた作動油の比例制御電磁弁を操作することで、機体の走行、ブーム・アーム操作、ブレーカ打撃といった掘削作業に直接関係する動作を遠隔操作で実施することができる。また、それ以外のクラクション合図や「切羽掘削形状モニタリングシステム」の操作等有人作業時に可能な動作についても、すべて遠隔制御することができる。

(d) 切羽掘削形状モニタリングシステム

油圧ブレーカの遠隔操作にてあたり取りを行う場合、遠隔操作室からあたり箇所を認識しづらいという問題がある。切羽にて有人搭乗する際は、作業員が切羽直下に立入り、目視にてあたり箇所を判断してレー

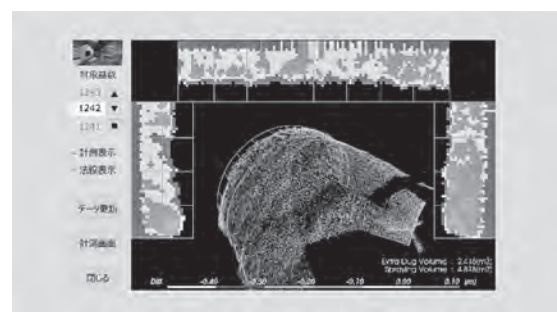
ザーポイント等で重機オペレータに指示を出していたが、遠隔操作ではその判断に代わる「計測・ガイダンス」技術が必要となる。そこで、あたり取りを行う油圧ブレーカに搭載した高速3Dスキャナ（写真—3）で切羽の掘削形状を計測して、掘削形状の点群データと設計断面を比較し、設計断面線よりも内空側に残ったあたり箇所をモニタにヒートマップ表示させる「切羽掘削形状モニタリングシステム」³⁾を遠隔操作室から操作可能とした（図—3）。本システムにより、崩落等危険な切羽に近づくことなく遠隔操作室からあたり箇所を確認できるため、効率的にあたり取りを実施することが可能である。

3. 現場試行結果

本システムを複数人のオペレータに協力していただき、数回にわたって実施工サイクルの中で発破、ズリ出し完了後の切羽にて、遠隔操作による駐機場所からの移動～あたり取り完了までの一連の作業にて試行した。本来の切羽は、油圧ブレーカとともに油圧バックホウ、ホイールローダおよびダンプトラックが輻輳しながら作業を行うが、試行段階では安全性を考慮して油圧ブレーカ単独での試行とした。



写真—3 高速3Dスキャナ（キャビン上）



図—3 切羽掘削形状モニタリングシステム計測結果例

(1) 試行成果と課題

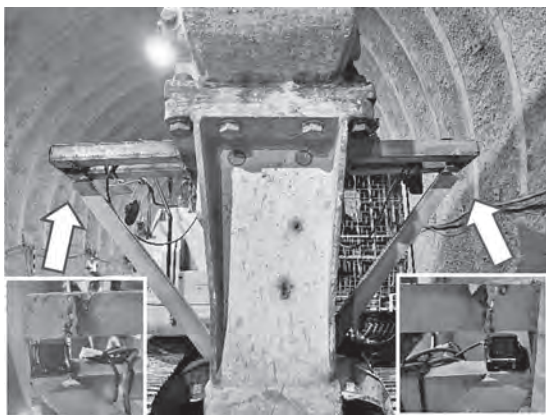
(a) 掘削箇所の認識不良

現場試行当初、遠隔操作室内の運転コクピットに搭乗し、モニタ画面を見ながら遠隔操作によるあたり取り作業を実施した際は、中央の大画面の映像を頼りにブーム・アーム操作を行い、あたり箇所の掘削を行っていた。しかし、中央のカメラ映像は掘削箇所から遠く、映像も不鮮明なため「切羽掘削形状モニタリングシステム」のコンター図を確認しながらでもあたり取りを行うのは困難であった。そこで、写真—4に示すように、油圧ブレーカのチゼル部分にブラケットを新設し、そこにカメラを設置することでより掘削箇所に近い、より鮮明な映像を取得することに成功した。

写真—5は改良したカメラ位置での遠隔操作によるあたり取りの状況である。黄色破線部分に新設したカメラ映像を映すことで、あたり箇所が認識でき効率的にあたり取りを行うことが可能となった。

(b) サイクルタイムの遅れ

遠隔操作によるあたり取りのサイクルタイムは実機にオペレータが搭乗した場合と比較して、30%程度増加した。これはモニタ画面と「切羽掘削形状モニタリングシステム」の計測画面のみでは遠近感が掴みにく



写真—4 チゼルブラケット、カメラ



写真—5 遠隔操作によるあたり取り (改良後)

く、あたり取り作業に時間が掛かってしまうことに起因する。遠近感が掴みにくいという意見は現在開発に取り組んでいる本施工システム全体で出てきているため改善が急務である。また、遠隔操作の現場試行が断続的かつ短期間であったため、オペレータが運転コクピットの操作に慣れていないという問題も考えられる。さらに、オペレータの年齢や遠隔操作に対する適正も関係してくると考えられる。これら諸問題を解決するために、現在チゼルの自動誘導システムおよび、運転コクピット操作練習用のシミュレーターを開発中であり、将来的にはあたり取りの自動化に繋げていく考えである。

(2) 導入効果

本施工システムの導入効果について、以下に示す。

(a) 安全性の向上

遠隔操作室から油圧ブレーカのすべての操作を行うことで切羽が無人となり、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無くなるため安全性が向上する。

(b) 作業環境の改善

油圧ブレー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。

(c) 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、遠隔操作をするために必要な高い視認性と低遅延を実現している。

(d) 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。

4. おわりに

今回、山岳トンネル工事における油圧ショベル無人化施工システムである「Tunnel RemOS-Excavator」を開発し、現場試行を行った。現場試行では油圧ブレーカの切羽への移動や切羽作業（コソク作業やあたり取り）といった一連の作業を遠隔操作にて実施すること

ができたが、サイクルタイムの増加等課題を残している。今後は、油圧ショベル無人化施工システムのさらなる改良を進めるとともに、油圧バックホウやホイールローダとの共同作業を遠隔・自動化させたトンネル掘削作業の完全無人化への取り組みを続け、更なる安全性向上・省人化を目指していく。

JCMIA

《参考文献》

- 1) 山下雅之・山本悟・田口毅：山岳トンネルにおける無人化施工への取り組み 施工機械の遠隔操作システムの実用化を目指して，土木施工，Vol.62，No.1，pp.135-139，2021
- 2) 山下雅之・山本悟・田口毅：山岳トンネルにおける切羽近傍作業の無人化を目指した取り組み，建設機械施工，Vol.73，No.7，pp.43-48，2021
- 3) 山本悟・三井善孝・高橋将史：切羽掘削形状モニタリングシステムの開発，令和元年度土木学会全国大会 第74回年次学術講演会，VI-281，2019

【筆者紹介】

山本 悟（やまもと さとる）
西松建設株式会社
技術研究所 土木技術グループ
上席研究員



建設車両シミュレータにおける受動的な身体揺動の模擬生成

西岡 右平

近年の建設業界において、建設関連の人材育成の短期間化と安全教育の重要性が増している。この人材育成プロセスにおいて、デジタル技術の導入が不可欠であり、建設機械のシミュレータの利用がますます求められている。本稿では、訓練シミュレータの開発と活用において、身体揺動（ボディモーション）の模擬生成とその検証に焦点を当て、その内容を詳しく報告する。

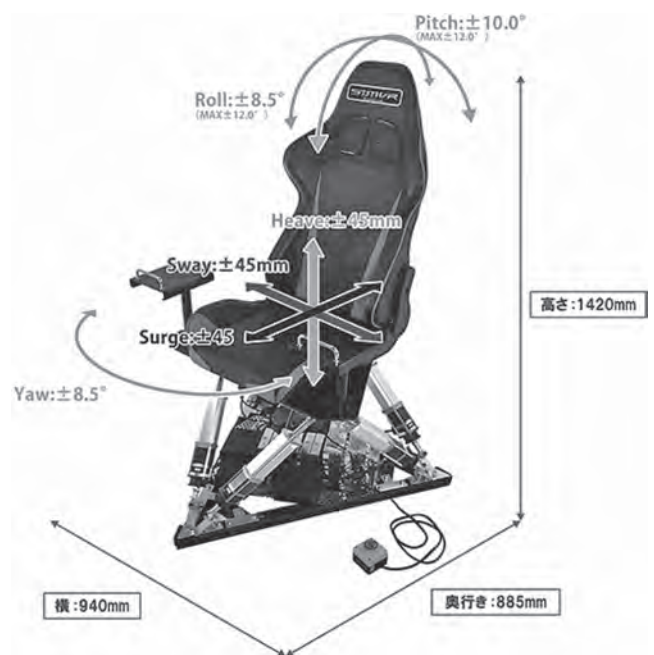
キーワード：建設車両，3D シミュレーション，身体揺動，模擬データ検証

1. はじめに

近年の建設業界では、人材不足が深刻な問題となっているが、人材不足の対策の一部として人材育成の短縮と安全教育が求められるようになった。2018年には経済産業省が策定した企業に向けた「DX推進ガイドライン」によって、建設会社にもデジタル化が必要になり、非熟練者向けの建設機械訓練シミュレータの需要はさらに高まっている。建設機械や車両の運転や操作は高度な技能と専門知識を必要とし、訓練シミュレータは運転手やオペレータ（作業員）がこれらのスキルを練習し向上させるための貴重なツールで、感覚データの正確な生成は、訓練効果を高めて安全な建設作業を確保するのに不可欠となっている。多くの訓練シミュレータは視覚情報と操作コントローラを重点的に開発されているが、身体揺動の重要性についても強調したい。そこで本稿では訓練シミュレータの開発で使うための身体揺動（ボディモーション）の生成方法についての取り組みを報告する。

まず建設機械や車両を適切に操作し作業を行うためには、作業員への体感や感覚が非常に重要である。視覚、聴覚、触覚などの感覚を駆使して、車両の動作を監視し、安全な操作を確保することが必要だ。作業員のプロセスは操縦室内のさまざまな操作コントローラを使用して機械を制御し、そのフィードバックを受けて次の制御方法を決定する。よって建設作業を行うためのフィードバックには、体感装置が重要な役割を果たすことが理解できる。今回の検証では、身体揺動装置の提示にはスチュワートプラットフォーム式の電動6軸モーションシミュレータである「WIZAPPLY

SIMVR 6DOF」(以下、本シミュレータという)(写真—1)を使用した。本シミュレータに与える6軸(ロール・ピッチ・ヨー、ヒープ・スウェイ・サージ)と設定パラメータを生成する方法に焦点を当てて検証する。このパラメータは、リアルタイムで適切な感覚データを算出・生成する必要がある。それは訓練被験者が作業状況を迅速に判断し、適切な操作を行うためである。今回は建設機械に見立てたコンピュータグラフィックスの3次元空間データから慣性データを算出し身体揺動装置に出力される動きを慣性計測センサ(IMUセンサ)で計測し検証する。



写真—1 身体揺動装置 本シミュレータ

2. 使用した機器・プログラム

検証に使用する機器やプログラム・開発ツールは表一に示す。身体揺動装置には、電動6軸モーションシミュレータの本シミュレータを使用し、そこに慣性情報を測定するためのIMUセンサを搭載する。

また、建設機械や車両をコンピュータグラフィックスの3次元空間で挙動をシミュレーションを行うために「Unity3D」(以下、本ツールという)を活用している。本ツールはUnity Technologiesが開発・販売している主にゲームや映像コンテンツの開発で広く使われているツールだ。高度な物理計算も可能とし、多くのシミュレーションソフトウェアの開発にも導入されている。

3. 検証内容

(1) 検証概要

今回、用意したシステムは以下の3種類である。

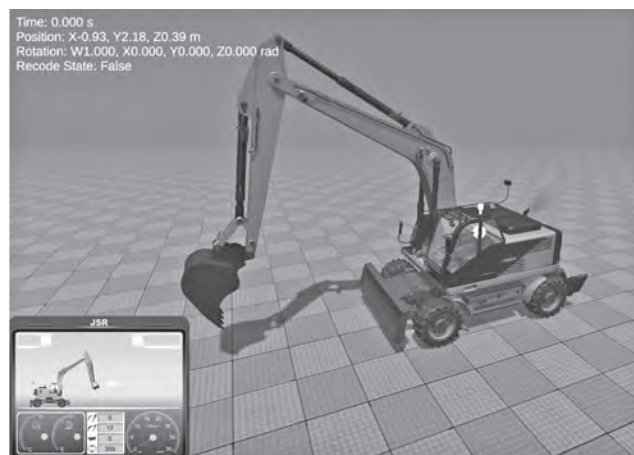
- ①データ生成用3Dソフトウェア
- ②ハードウェアシステム
- ③シミュレーション検証スクリプト

データ生成3Dソフトウェアは、本ツールエディタの3次元空間に建設機械や車両を配置するため次のような手順を実行する。まず、タイヤ付きショベルの建設車両を模した3Dオブジェクトを用意する(写真一2)。実際の挙動に近い3Dオブジェクトを使用した。本ツールからは、リアルタイムの3D座標(X, Y, Z)と向きを示す四元数(w, x, y, z)のデータを利用する。更新インターバルは60fps固定で設定した。3次元空間内の単位はメートル(m)で、角度の単位はラジアン(rad)とする。次に車両のデータ測定位置を決める。ここで重要なのは、建設車両のローカルデータではなく、車両操縦席位置のデータを取得する必要がある点である。そのため、操縦席の位置を写真一3の位置に設定する。本ツールでは階層構造の車両の子としてセットアップすることで、自動で行列計算を行い設定した操縦席の位置でデータが取得できる。別の3Dシミュレーションツールを使う場合は、車両の行列に操縦席の行列で積を求めることで計算できる。これで3D座標と向きの2種のデータを取得し、車両の

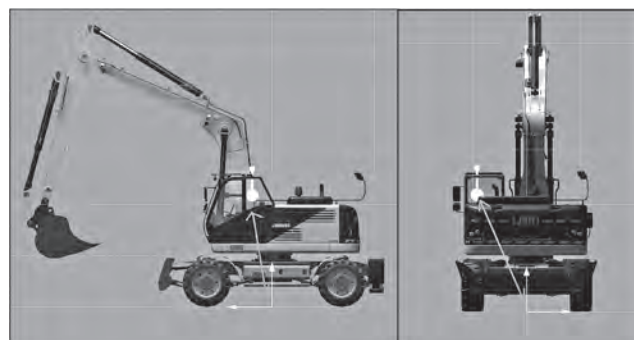
加速度と傾きを算出できるようになる。

ハードウェアシステムでは身体揺動装置に本シミュレータを使用した。複合再現可能な性能でロール・ピッチ・ヨー角で±8.5度、ヒープ・スウェイ・サージの動きに±45mmを動作させることができる。その装置の椅子上にIMUセンサを設置するが、より本シミュレータと慣性データの傾きと加速度に近くなるように椅子の真上かつその中心に置いた(写真一4)。このIMUセンサは1ミリ秒ごとに加速度(m/s²)と傾き(rad)が取得できる。本稿では生成される、この慣性データとこのIMUセンサを比較して内容を評価する。

次に制作するシミュレーション検証スクリプトは、(1)データ生成用3Dソフトウェアと(2)ハードウェアシステムの両方のデータを制御するのに用いられる。データ生成用3Dソフトウェアからは、実行からの時間を約16.666ミリ秒ごとに3D座標(X, Y, Z)と向きを示す四元数のデータをリアルタイムにUDP/IP通信で送信する。シミュレーション検証スクリプト側



写真一2 タイヤ付きショベルの建設車両を模した3Dオブジェクト



写真一3 操縦席の位置

表一 使用した3Dシミュレーションソフトウェア

ソフトウェア名	目的
Unity3D 2022.3.10f	3Dゲーム開発環境及び物理シミュレーション
Unity Asset : Excavator Simulator v1	Unity3D上に搭載できるタイヤ付きショベルの建設車両3Dオブジェクトアセット群



写真一4 椅子の上に IMU センサを固定

がそのデータを受信をし、ハードウェアシステムと結びつけることができる。UDP/IP とはインターネット通信にて標準的に利用されているプロトコルである。コンピュータの OS (オペレーティングシステム) に依存することなく比較的簡単に使うことができ、またループバック機能を使えば同じコンピュータ内にデータを送受信するのに便利である。本ツール標準のプログラミング言語を使うことも可能だが、今回は別のシミュレーションソフトウェアとの連携の可能性も想定して外部システムとして実装したい。実装にはプログラミング言語「Python」のスク립トとして記述した。さらに本シミュレータ並びに IMU センサは Python 言語に対応しているため実装は簡易であることや全てのシステムが同期して動かす必要があるためである。

(2) システム構成と仕様

①データ生成用 3D ソフトウェア

使用した 3D シミュレーションソフトウェアは表一 1 の通り。

②ハードウェアシステム

今回検証に使用したシステムの構成と仕様は図一 1 に示す。

(3) 仮想作業シナリオの決定

シミュレーションを行う検証シナリオにおいて、建設車両の 3 つの動作を決定した。建設車両はタイヤ付き油圧ショベルを使用し、以下の手順で行う。これらの操作は手動で実行されるが、評価では 1 度だけデータを記録し使用する。

①前進走行およびステアリングの左右操縦 (写真一5)

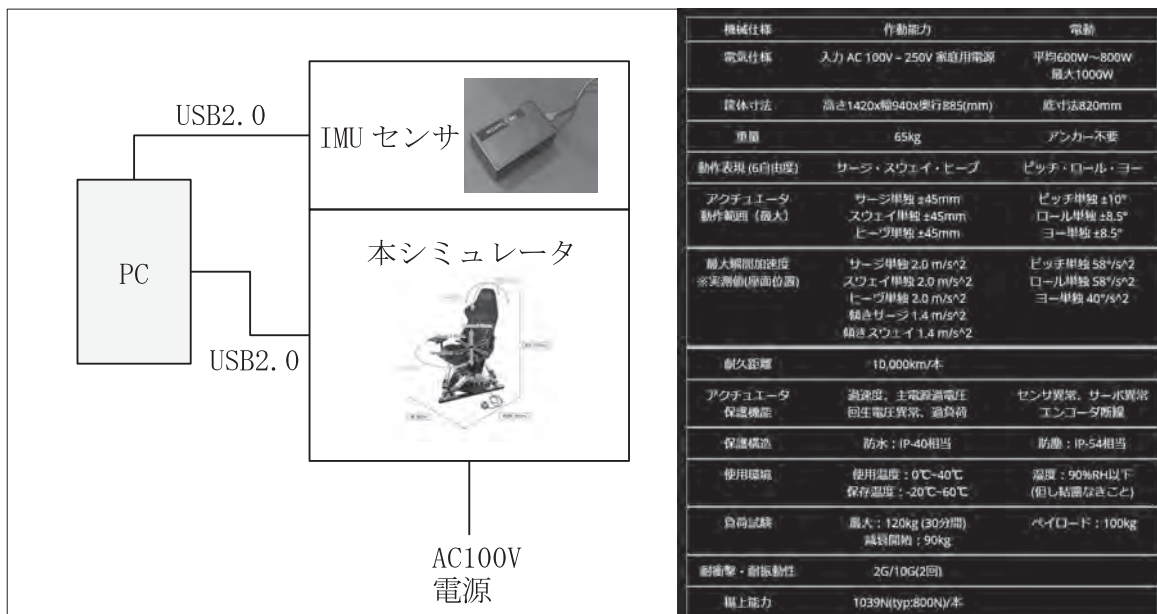
走行停止状態から 20 km/h までの走行を 2 回繰り返す、その後、20 km/h で約 2 秒間左にステアリングを切り、約 2 秒間右にステアリングを切る動作を 2 回交互に行った。

②ショベルのブームとアームの操作、バケットの地面設置 (写真一6)

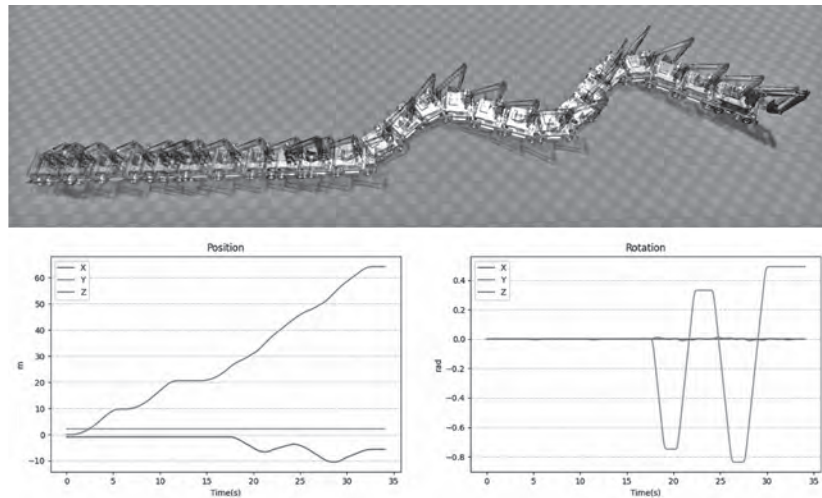
走行停止状態で、ブームとアームを操作してバケットを地面に押し付け、その後約 3 秒後ブームを上げて地面から離す。

③上部旋回体の旋回運動 (写真一7)

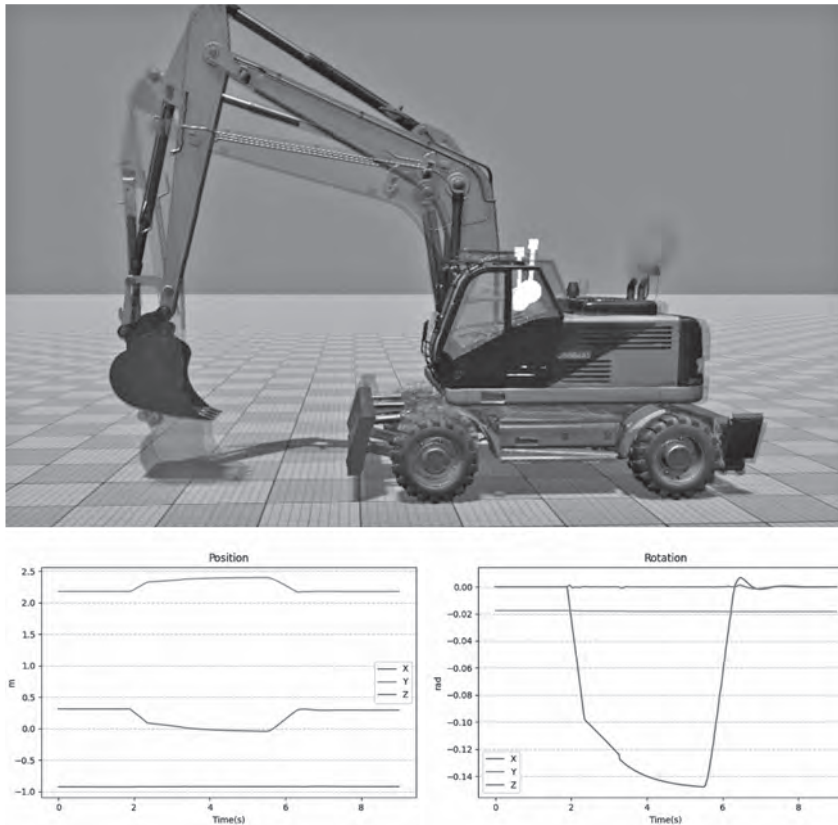
走行停止状態で、上部旋回体を約 $1/2\pi$ rad (90 deg) の左に旋回させ、約 1 秒間停止し、その後、約 1π rad (180 deg) 右に旋回した。



図一1 ハードウェアシステムの構成と主な仕様



写真一 5 前進走行およびステアリングの左右操縦



写真一 6 ショベルのブームとアームの操作, バケットの地面設置

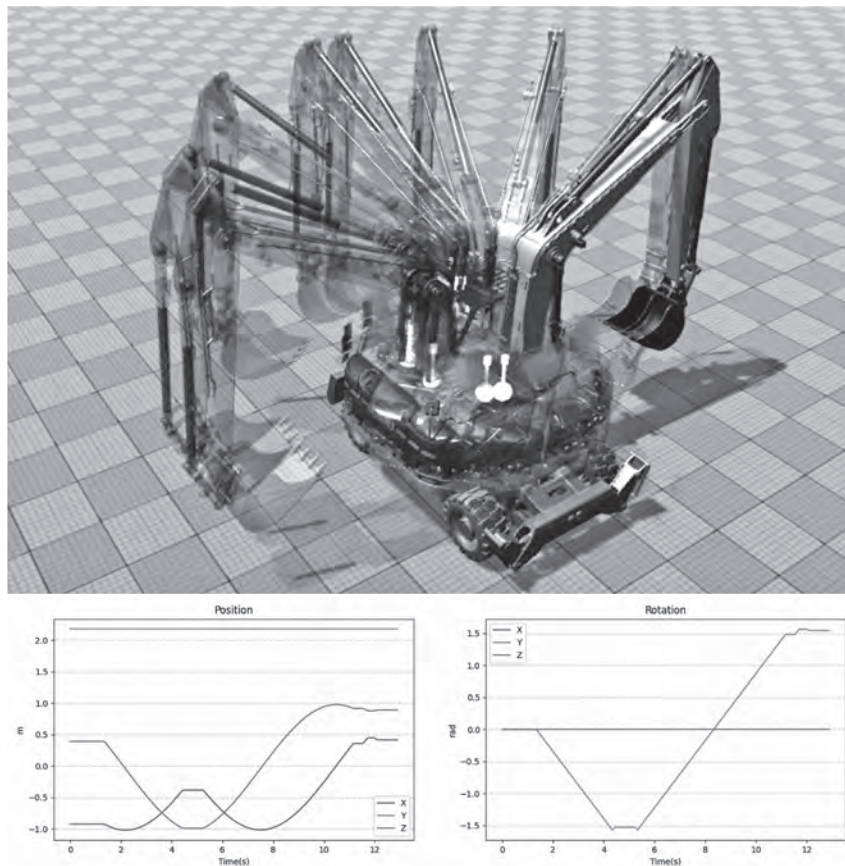
(4) 検証内容と設定できるパラメータ・フィルタリング

前項 (3) 項で作成した仮想作業シナリオでは, 3つの動作が同時に発生するため, 各動作の設定を個別に行うことはできない。各動作の最適な設定とパラメータを比較評価し, 最適な組み合わせを特定する。設定可能なパラメータとデータフィルタリングに関して, 次の指針がある。

パラメータは本シミュレータへの入力として, ロール (Roll), ピッチ (Pitch), ヨー (Yaw) に対して

設定できる値は± 1.0である。これらの値は, カタログ値としてロールおよびヨーはそれぞれ± 8.5度, ピッチは± 10.0度に相当する。また, ヒープ (Heave), スウェイ, サージ (Surge) に対する設定値はそれぞれ± 1.4 m/s²である。

本シミュレータの設定において, スピード調整モードには Normal Mode (スピードおよび加速度が固定設定) および Variable Speed Mode (パラメータ同期追従モード) の2つが存在し, この状況では後者のパラメータ同期追従モードが使用される。また, 動作の



写真一七 上部旋回体の旋回運動

比率を調整するためのパラメータとして Rotation Motion Ratio および Gravity Motion Ratio の設定があるが、これらを両方とも最大値の 1.0 で設定した。

データフィルタリングは、生成された慣性データから高周波成分を迅速に排除するために IIR ローパスフィルタを採用した。サンプリング周波数は約 16.666 ミリ秒ごとにサンプリングされるので、サンプリング周波数は固定で 60 Hz にした。カットオフ周波数は評価され、その後決定される。

(5) 車両の加速度と傾きの算出方法と本シミュレータパラメータ

①車両操縦席の加速度データ

3次元空間の位置座標となるので、まずは向きを示す四元数から前、右、上の方向ベクトルを計算する必要がある。向きを示す四元数を行列へ変換を行い、行列と単位ベクトルで積を求める。具体的には次の計算式を用いる。

$$R = \begin{pmatrix} 2q_w^2 + 2q_z^2 - 1 & 2q_x q_y - 2q_z q_w & 2q_x q_z + 2q_y q_w \\ 2q_x q_y + 2q_z q_w & 2q_w^2 + 2q_y^2 - 1 & 2q_y q_z - 2q_x q_w \\ 2q_x q_z - 2q_y q_w & 2q_y q_z + 2q_x q_w & 2q_w^2 + 2q_x^2 - 1 \end{pmatrix}$$

$$D_x = R \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad D_y = R \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad D_z = R \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

次に方向ベクトルを前フレームの方向ベクトルを微分して速度で、さらに速度を微分することで加速度(a)が算出できる。

$$v_{xyz} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{D(t1 + \Delta t) - D(t1)}{\Delta t}$$

$$a_{xyz} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v(t1 + \Delta t) - v(t1)}{\Delta t}$$

②車両操縦席の傾きデータ

車両操縦席の傾きは、向きを示す四元数からオイラー角変換を用いてロール角 (θ_z)・ピッチ角 (θ_x)の角度を得ることができる。

$$\theta_x = \arcsin(-(2q_y q_z - 2q_x q_w)) \quad [\text{rad}]$$

$$\theta_z = \arctan\left(\frac{2q_x q_y + 2q_z q_w}{2q_w^2 + 2q_y^2 - 1}\right) \quad [\text{rad}]$$

ヨー角だけは上部旋回体との身体揺動装置の物理的な上限に乖離があるので、ヨー角速度 (θ_y) を使用する。前フレームの四元数で微分した角速度を計算する。あとはオイラー角に変換する。

$$\omega = \frac{q \otimes q^{1^{-1}}}{\Delta t} \quad [\text{rad/s}]$$

$$\theta y = \begin{cases} \arctan\left(\frac{2\omega_x\omega_z + 2\omega_y\omega_w}{2\omega_w^2 + 2\omega_z^2 - 1}\right) & (\cos \omega_x \neq 0) \\ \arctan\left(-\frac{2\omega_x\omega_z + 2\omega_y\omega_w}{2\omega_w^2 + 2\omega_z^2 - 1}\right) & \end{cases} \quad [\text{rad}]$$

③本シミュレータへのパラメータ

傾きデータと加速度データを本シミュレータのカタログ値とパラメータ値に適合させるため、これらのデータを±1.0の範囲に変換する。この変換において、以下の計算式を使用する。もし、変換後の値が指定の範囲を超える場合、自動的に±1.0の範囲に制約する。また、各パラメータに対してゲイン調整が可能であり、これによって各パラメータに係数 [k] を適用できる。この係数は、ヨー角は0.5とし、他は1.0を基準として調整する。

$$\begin{aligned} \text{roll} &= \frac{\theta x}{8.5} \times k_x & \text{heave} &= \frac{\alpha_y}{1.4} \times k_{ay} \\ \text{pitch} &= \frac{\theta z}{10.0} \times k_z & \text{sway} &= \frac{\alpha_x}{1.4} \times k_{ax} \\ \text{yaw} &= \frac{\theta y}{8.5} \times k_y & \text{surge} &= \frac{\alpha_z}{1.4} \times k_{az} \end{aligned}$$

本シミュレータへのパラメータは装置に送信するデータとしてのみ使用し、比較には①と②までを使用する。

(6) 慣性データのフィルタリングのカットオフ周波数の選択

(5) 項で生成された慣性データにフィルタを適用する目的は、物理的に再現できない微細な高周波成分をデータから取り除き、動作をより滑らかにすることである。フィルタには、一次IIRローパスフィルタを使用した。このフィルタは、高周波成分を効果的に取り除きつつ、応答性が優れているが場合によっては発信してしまうため係数の設計が必要になる。評価した係数に関しては、サンプルレート60 Hzで固定設定し、カットオフ周波数は12, 24, 48 Hzとした。慣性データのサージ値におけるフィルタによる各波形の変化は、図-2に示される。

以上のことから全体的な波形を鑑みてカットオフ周波数は0.8 Hzが良いと考え採用した。0.4 Hzの場合は滑らかではあるものの位相遅れが発生し、逆に1.6 Hzの場合は高周波が除去しきれない部分があった。

(7) 作成したシミュレーション検証スクリプト
シミュレーション検証用スクリプトのブロック図を図-3に示す。

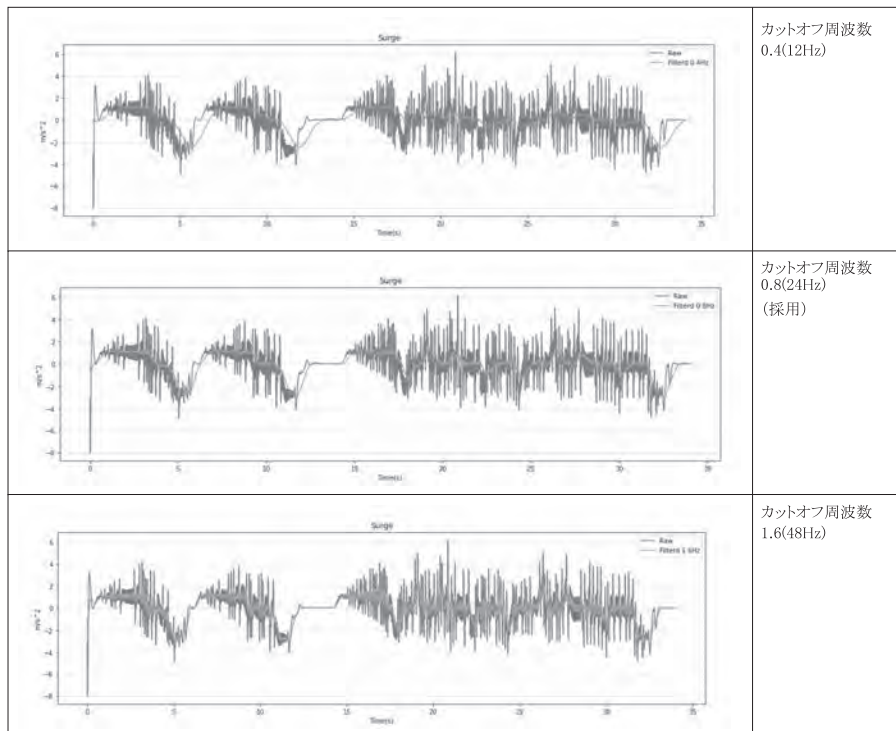


図-2 サージ値のIIRローパスフィルタと0.4, 0.8, 1.6 Hz別のフィルタ

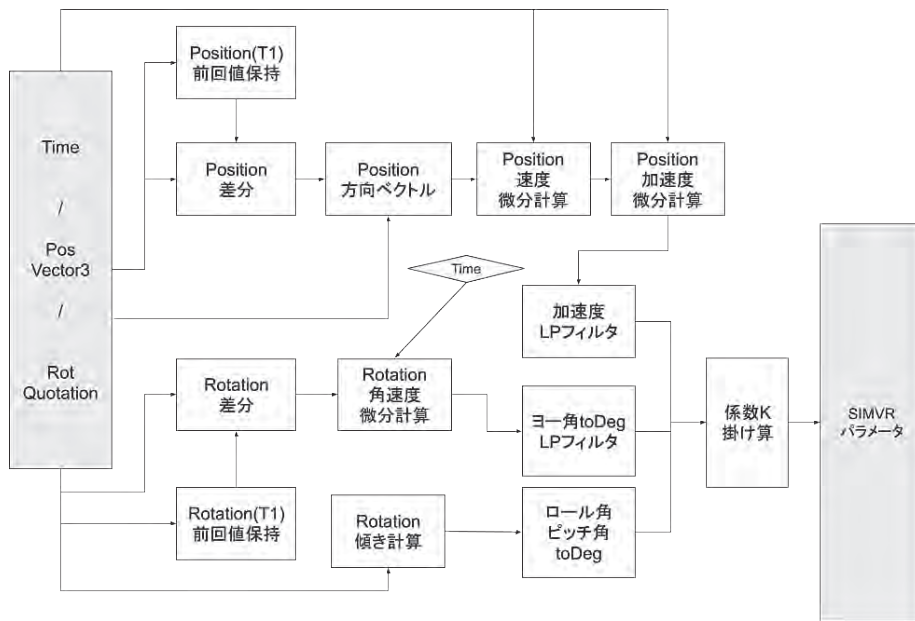


図-3 シミュレーション検証用スクリプトのブロック図

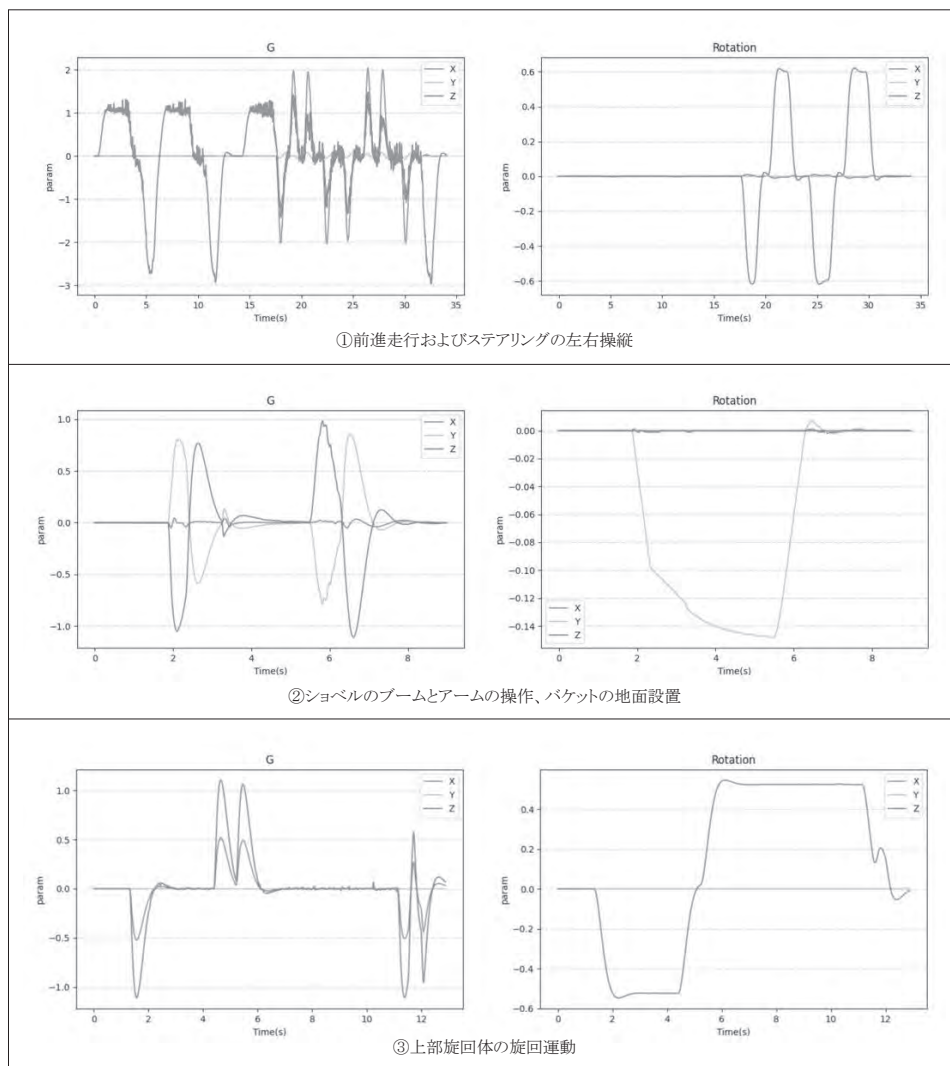


図-4 シミュレーション検証スクリプトで生成されたシナリオ3種の慣性データ

4. 検証・評価結果

(1) シミュレーションした慣性データの確認

仮想作業シナリオの3種類とシミュレーション検証スクリプトで生成された慣性データは、図-4のようになった。

(2) 身体揺動装置に設置したIMUセンサのデータを確認

生成されたシミュレーション慣性データを実行し、同時にIMUセンサのデータを記録した。IMUセンサは基本的にノイズが多いため平滑化フィルタを使用する。フィルタにはSavitzky-Golay法を採用した。高周波成分を維持しつつノイズを除去するのに優れているためである。係数はデータ点数(2N+1)は13点で、多項式の次数は2に設定している。

(3) 生成した慣性データと計測したIMUセンサとの比較

生成した慣性データの加速度とIMUセンサからの計測データを比較した結果を図-5に示した。加速

度に関して、装置の仕様により 1.4 m/s^2 以上の値は再現できないため、これに基づいてデータがクランプされていることが確認された。傾きについては、データの記載と詳細を省略するが、概ね良好に再現されていることを指摘しておく。

5. おわりに

本稿の検証結果により、表現のハードウェア上限を除いてコンピュータグラフィックスの3次元空間と身体揺動装置が正確に連携していることが確認できた。この検証結果を活用し、本格的な訓練シミュレータを開発し被験者を募集して詳細にテストを行う予定である。

また既に、シミュレーショングラフィックスの視覚情報出力方法の違いによって生成される慣性データを調整しなければならないことが分かっている。それは人間の知覚の約8割が視覚情報と言われており、感覚の相乗作用があるためである。データに味付けをするといった具合だ。視覚出力装置の種類は、大まかに「モニター」と「ヘッドマウントディスプレイ(HMD)」

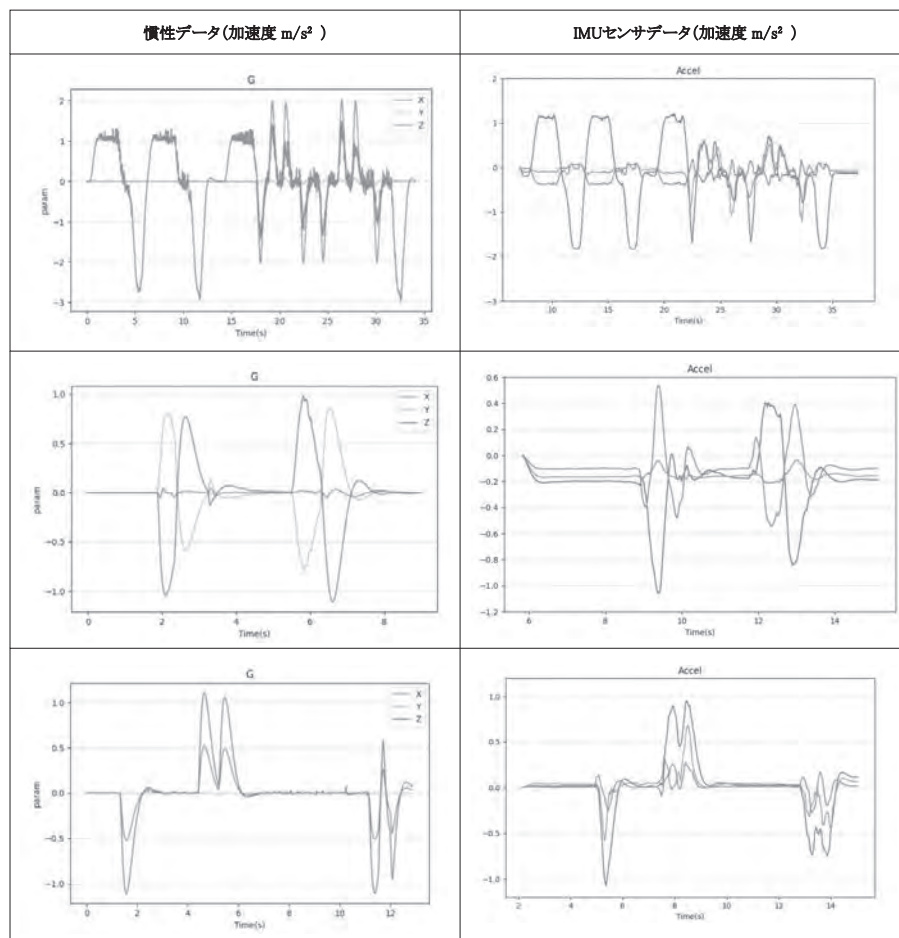


図-5 生成した慣性データとIMUセンサの計測データを比較

の2つのカテゴリに分類でき、これらのカテゴリによっても生成される慣性が異なる可能性がある。

今後、身体揺動のある建設機械シミュレータが広く普及し、訓練の効果向上によって業界の人材不足の軽減や安全性の向上が期待できればと考えている。

J C M A



【筆者紹介】
西岡 右平 (にしおか ゆうへい)
WIZAPPLY 株



シールド工事で測量機器の盛替え不要の 自動連続測量システム

ステレオカメラ自動測量システム「MWMS™ (マームシステム)」の開発

山崎 友 啓

シールド工事における測量管理の効率化や施工精度の向上を目的に、ステレオカメラを用いた新たな自動測量技術「MWMS™ (マームシステム：Measuring Worm Method System)」を開発した。本システムは、固定したステレオカメラを用いて撮影したシールド機内の画像を解析することで、掘進中も連続してシールド機の位置（平面、垂直座標）と姿勢（ピッチング、ローリング、ヨーイング）を把握できる測量技術である。測量作業の省力化と、既往の自動測量技術では適用が難しかった小口径シールドトンネルへの適用を可能とした。

キーワード：AI、シールド、掘進管理、自動測量、ステレオカメラ

1. はじめに

社会課題である労働人口の減少を背景に、ICT等を活用した生産性の向上が加速的に進むなか、シールド工事においても作業の効率化や省人化、品質・安全管理の向上を目的として、AI (Artificial Intelligence: 人工知能) を導入した技術の開発が進められている。

シールド工事では既に機械化が進んでいるため、さらなる省人化を進めることは容易ではない。またシールド工事は、掘進中の推力や切羽圧等の掘進データの

ほかに、坑内測量データ、セグメント計測データ、裏込め材注入データ等の数値化されたデータが数多くあり、全てのデータを網羅して状況に応じた適切な管理を行うには熟練技術者のノウハウが必要となってくる。そのため単なる省人化だけでなく、熟練技術者不足にも対応した技術が求められる。

そこで当社は、上記課題に対応するためAIを用いてシールド機の自動運転を実現する図-1のAI Transform Shield® (以下、本システムという)を開発した。

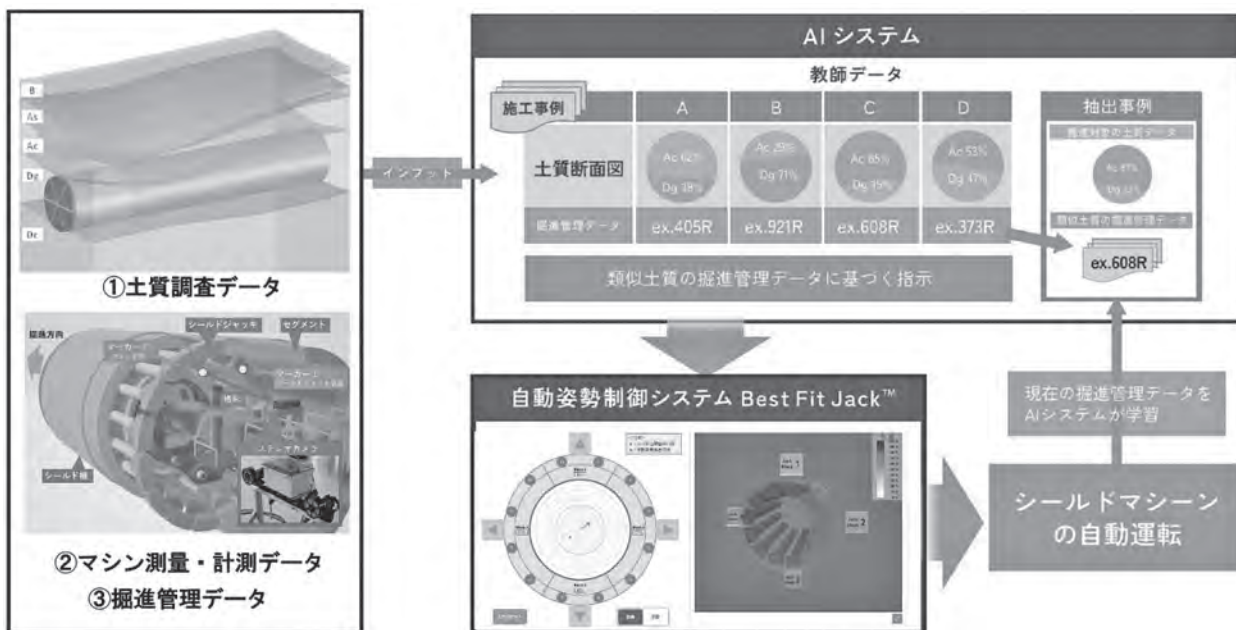


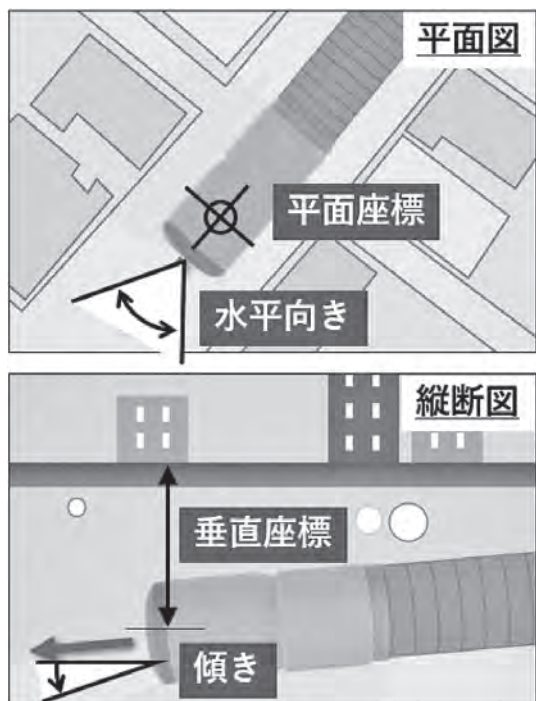
図-1 本システムのイメージ図

2. 坑内自動測量システム

本システムを活かすには、リアルタイムに図—2で示すシールド機の位置（平面、垂直座標）と姿勢（ピッチング、ローリング、ヨーイング）を把握することが前提であり、自動測量等のセンシング技術の活用が不可欠である。

既存の自動測量技術は、坑内のセグメントに自動追尾トータルステーションを設置し、後方の基準点と前方のシールド機内に設けた複数のターゲットを測量する。その結果を専用のプログラムで処理し、掘進中のシールド機の位置を把握しながら掘進を行っている。しかしこの方法では、例えば曲線掘進時は徐々にシールド機内のターゲットが視準できなくなるため、トータルステーションを都度移設しなければならない。また、トンネル坑内が狭い場合は、運搬台車の走行に支障となるためトータルステーションの設置ができない等の問題があった。自動追尾型トータルステーションが使用できる条件は、比較的トンネル断面が大きい場合（6m程度）に限られる。それよりも小さい断面ではトータルステーションの設置自体が難しいため、既往の自動測量技術が適用できない。

そのため、小口径シールド工事においても適用可能な自動測量技術として、ステレオカメラを活用した新たな方法の開発を行った。ステレオカメラとはその名の通り2つのカメラで構成されている距離測定のできるセンサ、即ち測距センサの一つである。2つのカメ



図—2 シールド機の位置と姿勢

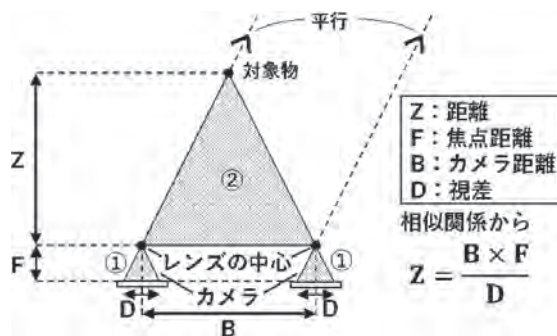
ラで撮った画像の見え方の違いをもとに、画像処理によって物体までの距離を計測する。

図—3に示すように、左右のカメラの見え方の差である視差Dを底辺、カメラの焦点距離Fを高さにもつ三角形①と、左右のカメラ距離Bを底辺、対象物との距離Zを高さとする三角形②の相似関係から測距を行っている。また、写真内の特徴点を複数計測し算出することで奥行情報、位置情報を取得する。

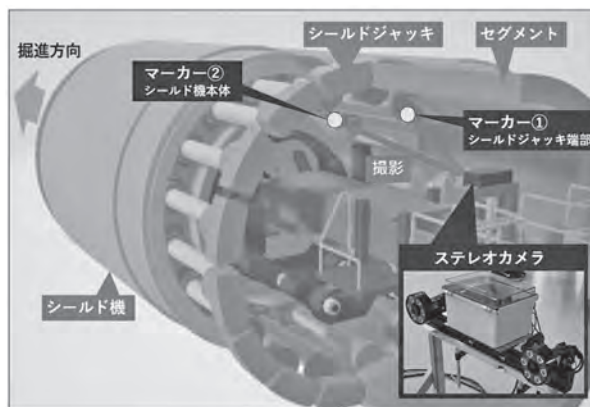
現場で適用する際は、図—4に示すように、作業デッキにステレオカメラを設置し、シールドジャッキ端部にマーカーを3つ、シールド機にマーカーを3つ設置する。シールド機のマーカーの座標は事前にトータルステーションを用いて座標を計測しておき、これら6つのマーカーを撮影することで各マーカーの座標を算出する。図—5にステレオカメラ測量手順図を示す。

3. ステレオカメラによる計測システム室内測定実験

ステレオカメラ計測の精度の検証のため、室内実験を行った。実際に現場実証実験を行う想定で、ステレオカメラ間の距離を450mmとした。また、カメラ周囲にリング型赤外線LED照明を設置することで他の照明の影響の低減を図った（写真—1）。ステレオカ



図—3 ステレオカメラ測距原理



図—4 ステレオカメラ現場適用イメージ図

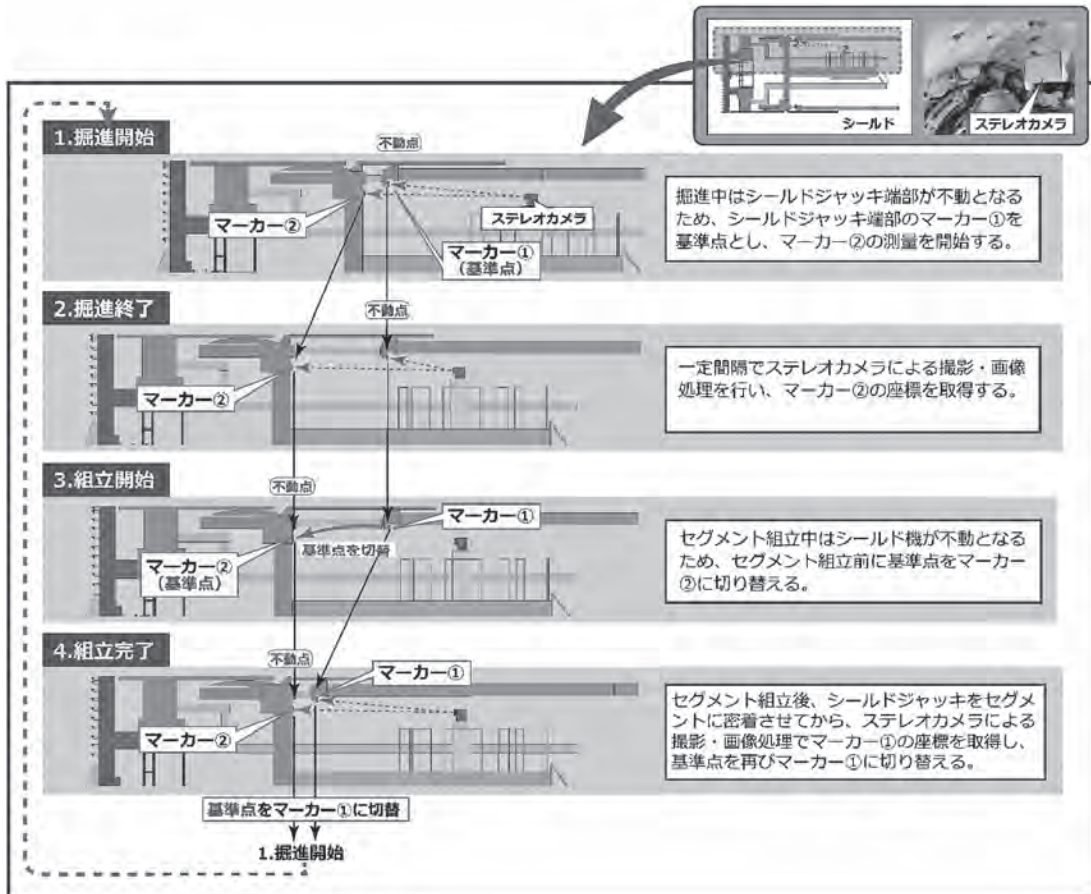


図-5 ステレオカメラ測量手順図

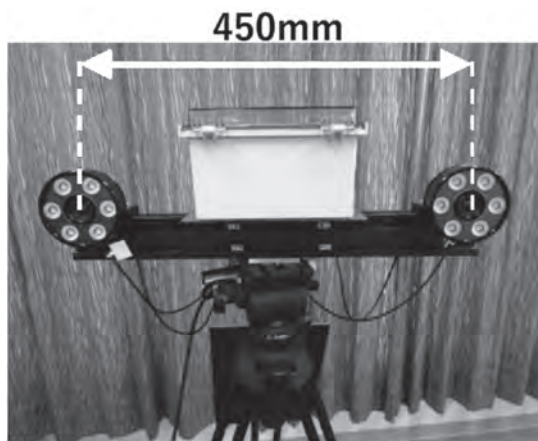


写真-1 ステレオカメラ

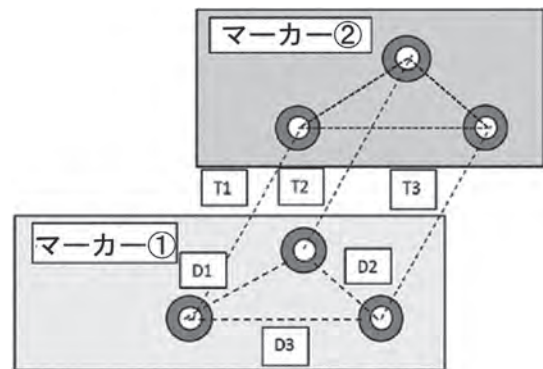


図-6 マーカー配置図

メラで計測を行う固定マーカー①・マーカー②は外径150mmで反射材は40mmを採用した。

次に、このマーカーを三角形になるように配置し(図-6)、マーカー①を移動させたときのステレオカメラによる計測結果とトータルステーションによる精度比較を行った(写真-2)。

(1) 点間距離計測

マーカー①同士の点間距離については測定距離が増

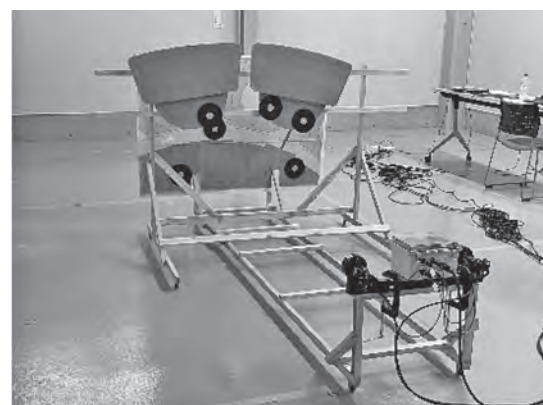


写真-2 室内実験状況

加するにつれて誤差が増加する傾向が見られた。しかし、カメラとの距離が3.5 m 以内であれば計測誤差は4 mm 以内となった（図-7）。

(2) 座標計測

Y 座標（上下）に関しては、計測距離 4.0 m を除いて誤差幅が2.4 mm に収まる結果となった。X 座標（左右）についても計測距離 3.5 m 以内であれば、誤差幅 6 mm に収まる結果となった。Z 座標（前後）については計測距離 3.5 m で 14 mm となっているが、計測距離が増えるにつれて誤差が線形的に増加している傾向がみられた（図-8）。

座標計測について、計測結果から誤差が発生する傾向をとらえることができるため、オフセットや補正をかけることで精度を向上させることができた。調整後の座標計測結果を表-1 に示す。計測誤差は± 2.5 mm 以内となり精度が向上した。

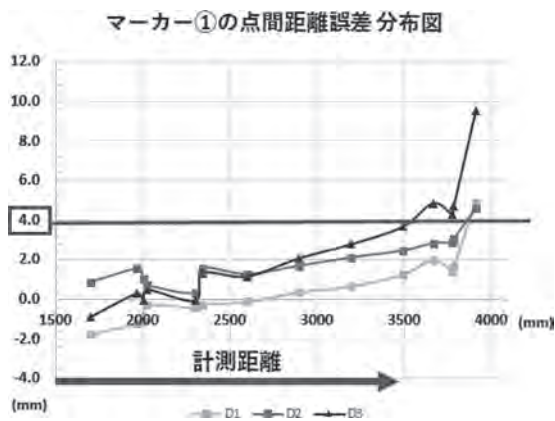


図-7 計測結果（点間距離誤差）

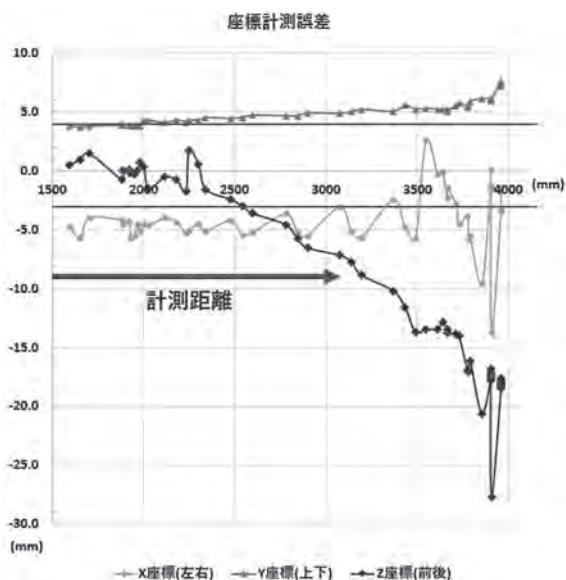


図-8 計測結果（座標計測誤差）

表-1 計測結果（座標計測誤差）

	計測誤差 (平均)					
	①-1	①-2	①-3	②-1	②-2	②-3
Δx	1.1	0.0	-0.6	2.0	1.2	1.0
Δy	1.7	1.0	0.5	0.7	0.4	1.1
Δz	0.5	1.4	2.5	-2.3	-0.6	0.2

4. 現場での実証

ステレオカメラ測量の実用性を検証するため、当社のシールドトンネル工事現場（シールド機外径 3.0 m）でフィールドテストを行った。その結果、問題なく測量が行え、また計測精度も掘進 1 m あたり 4.0 mm 以内の精度となり、ステレオカメラ測量の実用可能性を確認した（写真-3）。

5. おわりに

シールドの自動測量システムとして、ステレオカメラを使用した計測システムの概要、測定実験について報告した。今後は数多くの現場でフィールドテストを重ね、更なる精度向上を図って、より高精度な計測装置の開発、実用化に向けて取り組む予定である。

また、AI を用いてシールド機の自動運転を実現する AI Transform Shield[®] と連携させ、高精度な掘進

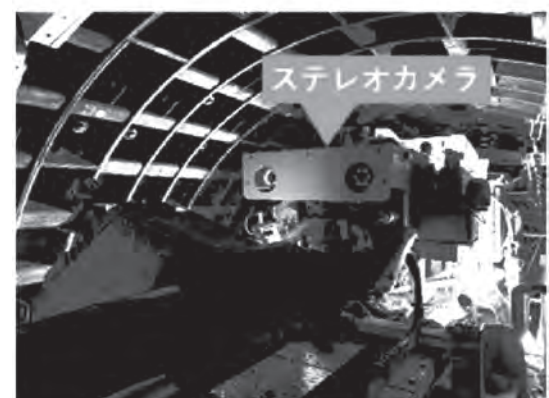


写真-3 現場実証実験状況

管理技術を確立して、品質の高いトンネル構築技術の提供を目指す。



[筆者紹介]
山崎 友誉 (やまざき ともたか)
戸田建設株
土木工事統轄部 土木メカテック部
課長



トンネル覆工コンクリート全自動打設システムの 施工実績

松本 修治・手塚 康成・坂井 吾郎

近年、建設業界における技能者不足の問題を解決するために、専門スキルのない新規入職者など、誰が施工に携わっても品質を確保しつつ、少人数で効率的に施工ができる技術が求められている。本稿では、中流動覆工コンクリートおよび高流動覆工コンクリートを用いた全自動打設システムを実現現場に導入することで、狭隘な作業環境下での人力作業を完全に排除でき、打設時の人員を9名から4名に減少できるなど、省力化および省人化を実現した現場の施工実績を紹介する。

キーワード：全自動打設システム、中流動覆工コンクリート、高流動覆工コンクリート、トンネル、省人化、表層品質

1. はじめに

近年、我が国では少子高齢化に伴う技能者不足が深刻化している。特に、建設業界においては、他産業と比べ若年入職者の減少や熟練技能者の高齢化が進んでおり、より技能者不足の問題が顕在化している。さらに、2024年から適用される時間外労働時間の上限規制など、現場が抱える課題も相まって、省人化、省力化などによる生産性の向上が強く求められている。これらに対応するためには、専門スキルのない新規入職者などがすぐに活躍できるように、誰でも品質を確保しつつ少人数で効率的に施工ができる技術を開発する必要がある。このような背景の中、国土交通省では、i-Construction¹⁾を掲げ、建設業者をはじめ、多方面で生産性向上技術や機械化、自動化技術の開発が進められている。山岳トンネルの分野においても、各作業工程の自動化が進められており、筆者らは、トンネル覆工コンクリートの施工の自動化技術の開発を進めている。

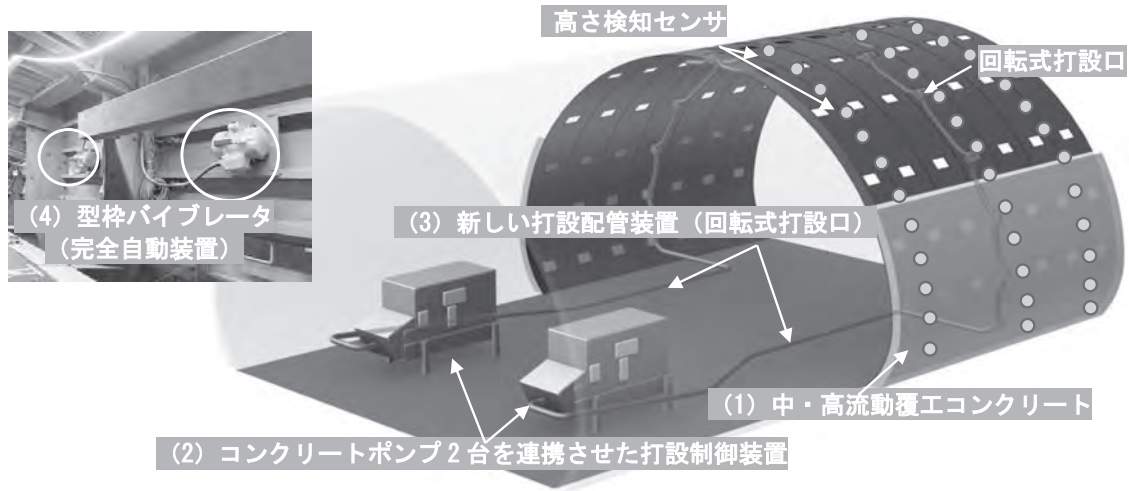
従来からトンネル覆工コンクリートの施工は、スランプ15cm程度のコンクリートを用い、移動式型枠内の狭隘な空間において入念な締固めや配管の切替えを行うなど苦渋を伴う人力作業が多い。また、良好とは言いがたい作業環境の下、品質は技能者の技量に依存しており、品質不良を生じるリスクが高い。そのため、近年では、型枠面板に取り付けた型枠バイブレータのみで締固めを行える中流動覆工コンクリート²⁾が普及している。筆者らは、型枠バイブレータの自動制御

装置を組み込んだ全自動打設システム^{3), 4)}を岐阜工業(株)、(株)シンテックと共同で開発し導入することで、人力作業を削減し、品質面、施工面において改善を図っている。しかしながら、型枠バイブレータの自動制御装置においても課題があり、コンクリートのフレッシュ性状に応じて型枠バイブレータの稼働を自動で制御することは困難であった。特に、スプリングライン(以降、SLと記す)下部、箱抜き箇所などの打込みにおいて、コンクリートの流動を補助する目的での複雑な稼働操作は困難であった。特に箱抜き部は、入念に締め固める必要があるが、型枠バイブレータのみでは、打設中において型枠のずれや浮き上がりが懸念されるため、棒状バイブレータによる人力での締固め補助が必須となっている。そこで、筆者らは締固めを不要とすることで、流動補助が必要のない高流動覆工コンクリート⁵⁾を用いた全自動打設システムを実現現場の一部区間に試験的に導入した。

本稿では、中流動覆工コンクリートおよび高流動覆工コンクリート(以降、中・高流動覆工コンクリートと記す)を用いた全自動打設システムの施工実績について紹介する。

2. 全自動打設システムの概要

本システムは、図1に示すような新しい打設配管装置と各種制御システムを備えた移動式型枠を用いて、中・高流動覆工コンクリートを、ポンプによる圧送から打設口の切替え、型枠バイブレータの操作まで



図一 1 トンネル覆工コンクリートの全自動打設システム

を自動制御しながら打ち込めるものである。以降に、各技術および装置について述べる。

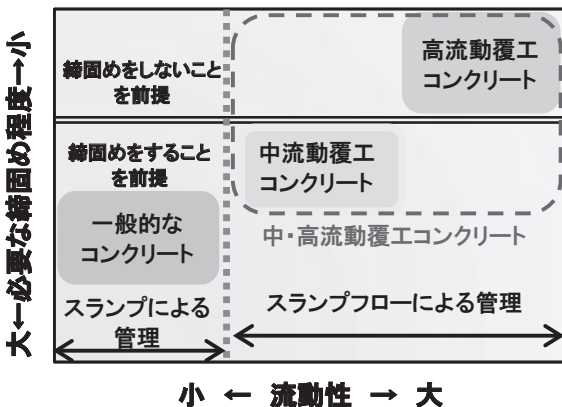
(1) 中・高流動覆工コンクリートの技術

図一2に中・高流動覆工コンクリートの位置づけを示す。中流動覆工コンクリートは軽微な締固めで充填でき、高流動覆工コンクリートは締固め不要を実現する流動性の高いコンクリートである。

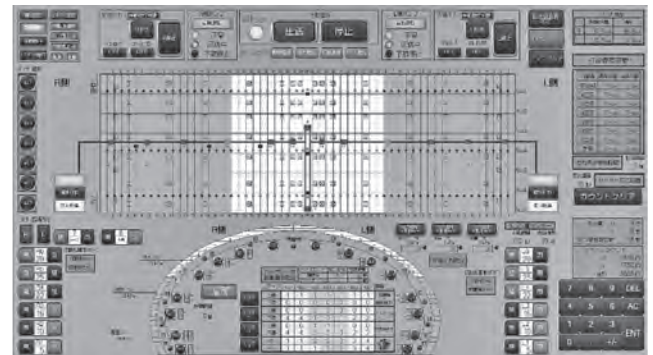
技術的課題は、所定の流動性を確保した上で、ブリーディングや材料分離を抑制すること、可使時間の確保と所定の早期強度発現を両立することである。これらを同時に実現するため、新規の増粘剤含有高性能 AE 減水剤⁶⁾を開発した。この混和剤を用いることで、ブリーディング量を一般的なスランプ15 cm程度の覆工コンクリートの半分程度にまで低減しつつ、中・高流動覆工コンクリートの適切なフレッシュ性状の確保が可能となる⁶⁾。また、一般的な覆工コンクリートと同様に、材齢18時間で脱型に必要な強度を確保できる⁶⁾。

(2) コンクリートポンプを2台連携させた打設制御装置

大断面トンネルの覆工においては、大量かつ高速打設に対応するため、コンクリートポンプ（以下、ポンプと記す）を左右に1台ずつ、計2台配置することが多い。一般的に中・高流動覆工コンクリートは普通コンクリートに比べて流動性が高く型枠に作用する圧力が大きくなるため、左右の打上がり高さを均等にして打ち込むことが重要な管理項目となる。そこで、型枠表面に設置した複数の高さ検知センサでコンクリートの打上がり高さを検知し、図一3に示すようなシステム画面で打設状況を見える化しつつ、各ポンプの吐出量を自動で調整し、左右の打上がり高さを制御することができる装置を開発した。なお、システム画面には、トンネル覆工断面と移動式型枠の展開図を表示させており、打設口の切替えタイミング、打設速度および天端圧力制御値を入力して打設を開始すると、自動で打設が進捗し、打設完了箇所を順次青色に表示する。また、各ポンプの吐出量と吐出圧もリアルタイムで表示されるため、ポンプの圧送管理も制御位置で、1名が集中して管理できる。



図一2 中・高流動覆工コンクリートの位置づけ



図一3 打設制御装置のシステム画面

(3) 新しい打設配管装置 (回転式打設口)

従来は、別々の圧送配管が打設口に繋がっており、人力による配管切替えと配管内に残るコンクリートの廃棄および清掃が都度必要だった。今回開発した新しい打設配管装置 (図-4) は、それらを解決するもので、打設口および配管と移動式型枠とが一体になっており、回転式打設口 (写真-1) を主部材とするものである。圧送配管は、回転式打設口を介して左右それぞれで連続的に接続されている。回転式打設口は、前述した打設制御装置と連動しており、吹上げを基本とした打込み時には打設口が型枠内部に突出し、当該打設口の打込み完了を検知すると回転して型枠表面で接続口の蓋が閉まる。それと同時に、次の打設口への配管ルートが形成される構造となっている。これらにより、次の打設口への切替えが容易かつ即座に完了させることができる。また、打設完了した打設口への配管ルート内に残留するコンクリートの発生を防ぎ、打設中における人力による回収や配管清掃が不要となる。

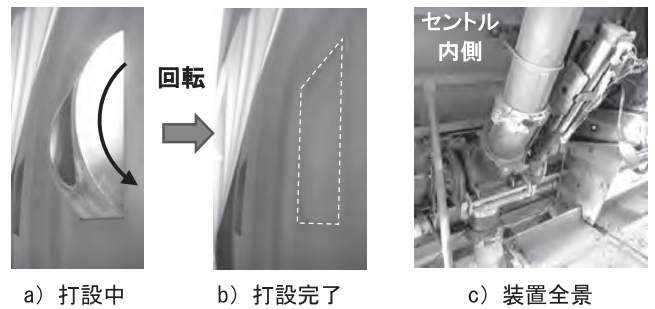


写真-1 回転式打設口



写真-2 打設状況の共有化

(4) 型枠バイブレータの完全自動制御装置

従来の中流動覆工コンクリートの締固めは、型枠バイブレータで行われ、その制御を人が操作盤を用いて手動で行っていた。そこで、型枠バイブレータを自動制御する装置を開発し、中流動覆工コンクリートにおけるSL下部や箱抜き箇所などの充填状況に応じた流動補助操作以外は、人による操作を不要とした。本装置は、稼働のタイミングや振動時間をパターン化して事前に設定することにより、前述の打設制御装置と連動して、コンクリートの打上がり高さに応じて自動で型枠バイブレータを稼働させることができる。

(5) データのロギングと情報の共有装置

打設履歴データを記憶媒体に自動で記録し、写真-2に示すイメージで、打設状況の画面をネットワークで配信することができる装置である。これにより、

CIM との連携、遠隔地での打設監視や遠隔臨場が可能で、覆工コンクリートの仕上がり改善活動等にも活用できる。

3. 中・高流動覆工コンクリートでの施工実績

(1) 概要

新名神高速道路宇治田原トンネル西工事に、中流動覆工コンクリートに加え、一部区間に高流動覆工コンクリートを用いた全自動打設システムを導入している。本工事は、3車線道路の大断面トンネル (内空幅約15m、内空高約9m) である。一般的な道路トンネルでは、非常用設備などを設置するスペースとして、トンネル延長50~200mごとに箱抜きを設ける必要があり、一般的に箱抜き箇所などにおいて、中流動覆工コンクリートは棒状バイブレータによる人力での締固めや型枠バイブレータの手動操作が必要となっ

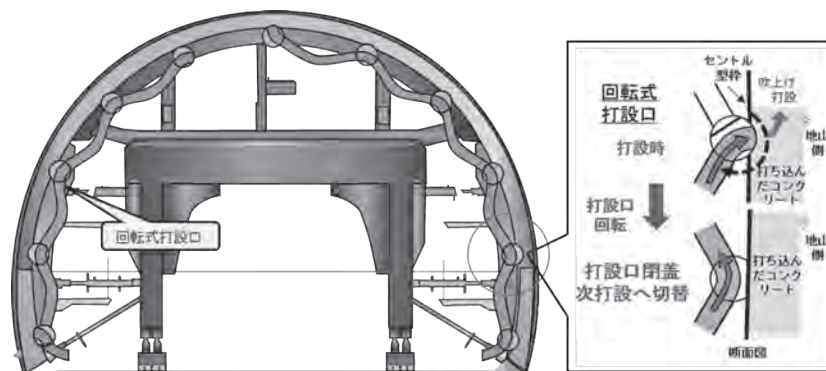


図-4 新しい打設配管装置

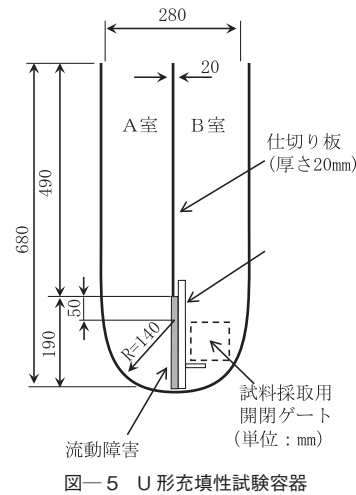
ている。そこで、本工事では、箱抜き箇所における締固め作業が不要であること、すなわち完全な自動打設を検証するために、締固めを必要としない高流動覆工コンクリート⁵⁾を用いた全自動打設システムを試験的に一部区間に導入するに至った。ここでは、高流動覆工コンクリートの施工実績を、通常区間の中流動覆工コンクリートの施工実績と比較して述べる。

(2) コンクリートの配合検討

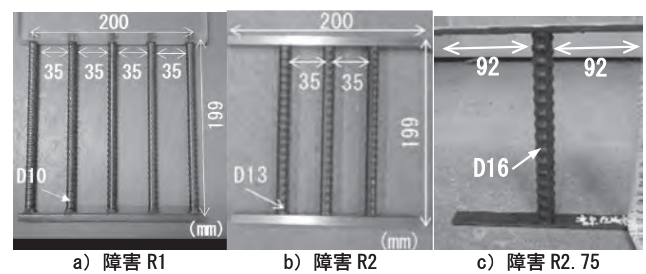
中・高流動覆工コンクリートの配合は、表一に示すとおりである。同工事における中流動覆工コンクリートは、剥落防止を目的とした繊維（ポリプロピレン製、繊維長47mm）を混入する仕様で、目標スランプフローを425 ± 75 mm、目標空気量を4.5 ± 1.5%としている。これに対し、試験的に導入した高流動覆工コンクリートは、同じく繊維を混入する仕様で、スランプフローを600 ± 50 mm、空気量を4.5 ± 1.5%とした。高流動覆工コンクリートは、中流動覆工コンクリートよりも流動性を高める必要があり、さらに高い材料分離抵抗性を確保するために、土木学会の「高流動コンクリートの配合設計・施工指針」⁷⁾（以降、高流動指針と記す）を参考にすると、単位セメント量450 kg/m³以上必要になることが想定された。しかし、前述した覆工コンクリートの施工条件に適するように開発された新規の増粘剤含有高性能AE減水剤⁶⁾を用いることで、450 kg/m³よりも30 kg/m³少ない420 kg/m³で必要な材料分離抵抗性を得ることができた。

自己充填性のランクの設定は、高流動指針に則った場合、本工事の覆工厚500mm、単鉄筋（主筋D19@300mm、配力筋D16@200mm）の条件から、ランク3に相当する。これは、図一5に示すようなU形容器を用いた高流動コンクリートの充填試験方法（案）（以降、U形充填性試験と記す）では流動障害なしでの評価となる。ただし、繊維補強仕様であることから、鉄筋と繊維の干渉による充填性の低下を考慮し、より

安全側で充填性の評価をする必要があった。しかし、写真一3a), b) に示すランク1, ランク2の障害R1, R2では、流動障害の鉄筋あきは35mmと繊維長より狭く、厳しすぎる充填性の評価となり合理性に欠けることが考えられた。これまで筆者らは、一般的な配筋条件のRC構造物を対象としてランク2と3の間の充填性を評価する指標としてランク2.5を検討⁸⁾している。それを参考として、今回はランク3に該当するものの、安全側で充填性を評価するために、トンネル覆工用として新たな充填性の指標であるランク2.75を考案した。ランク2.75は、写真一3c) に示すような本トンネルの配筋条件であるD16で、鉄筋あき92mmの障害R2.75を配したU形充填性試験であり、これにより充填性を評価するものとした。



図一5 U形充填性試験容器



写真一3 U形充填性試験の流動障害

表一 中・高流動覆工コンクリートの配合

種類	SF (mm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	Gvol (L/m ³)	単位量 (kg/m ³)					PP Vol. %
						W	C	S	G	VSP	
中流動覆工コンクリート	425 ± 75	4.5	47.3	52.0	336	175	370	857	894	5.18	0.3
覆工用高流動コンクリート	600 ± 50	4.5	41.7	50.0	323	175	420	836	872	6.30	0.3

W：地下水，C：普通ポルトランドセメント 密度3.16 g/cm³，S：砕砂・海砂の混合砂 表乾密度2.58 g/cm³，G：砕石2005 表乾密度2.66 g/cm³，VSP：特殊高性能AE減水剤，PP：ポリプロピレン繊維 密度0.91 g/cm³ 繊維長47mm，SF：スランプフロー

(3) 打設計画および評価項目

(a) 打設計画

一般的な覆工コンクリートの打込み実績である時間当りの打上がり速度 1.5～2.0 m/h 程度となるように、打込み速度はポンプ 1 台あたり 15～25 m³/h に設定した。SL 下部の最下位置から 3 段目までの回転式打設口においては、自由落下高さ 0.5 m として、以降は吹上げ打設とした。また、高流動覆工コンクリートは締固めが不要であるものの、天端の仕上がり向上を目的として、予め天端の型枠にトンネル軸方向 1.5 m、周方向 1 m 程度の間隔で全 28 台設置した型枠パイプを、打込み完了後に自動制御で合計 20 秒稼働させた。

(b) 評価項目

中・高流動覆工コンクリートの打設中に、作業内容に対する人員とトータル打設時間を測定し、省人化、省力化の効果を評価した。フレッシュコンクリートにおいては、表 2 に示すとおり、スランプフローと空気量の測定に加え、高流動覆工コンクリートでは U 形充填高さを測定し評価した。硬化コンクリートにおいては、トレント法による透気係数⁹⁾を測定し表層品質を評価した。なお、これらの測定は、高流動覆工コンクリートを導入した 2 区画、中流動覆工コンクリートでは高流動覆工コンクリートと隣接する 2 区画で行った。

(4) 中・高流動覆工コンクリートのフレッシュ性状

中流動覆工コンクリートと高流動覆工コンクリートのスランプフロー（図 6）および空気量（図 7）の一例は、いずれも目標とする管理範囲にあることが確認できた。また、スランプフローのばらつきは、高流動覆工コンクリートの方が、中流動覆工コンクリートよりも小さい結果であった。高流動覆工コンクリートの U 形充填高さ（図 8）は、スランプフローと空気量と同様に全てで目標値を満足し、安定していた。

(5) 打込みと充填状況

前述にて設定した打設速度と型枠パイプの稼働

働時間で打ち込んだ結果、高流動覆工コンクリートの打込み、充填状況は、写真 4 に示すように、材料分離することなく棲板まで流動し、人力による流動補助を一切必要とせず隅々までほぼ水平に充填されていく状況が確認された。一方、中流動覆工コンクリートの打込み、充填状況は、コンクリートの勾配が生じる

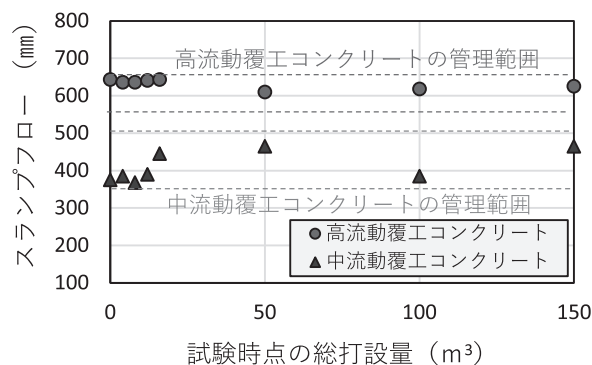


図 6 スランプフローの推移

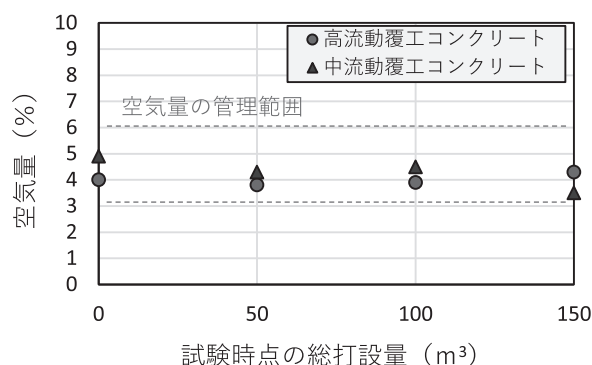


図 7 空気量の推移

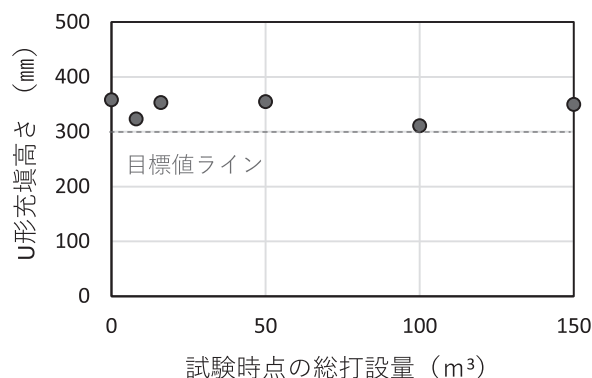


図 8 U 形充填高さの推移

表 2 評価項目

段階	評価項目	方法	頻度
フレッシュコンクリート	スランプフロー	JIS A 1150	最初の連続 5 台、以後 50 m ³ ごと
	空気量	JIS A 1128	最初の 1 台目と以後 50 m ³ ごと
	U 形充填高さ	JSCE-F 511 を応用 (R2.75)	最初の 1, 3, 5 台目と以後 50 m ³ ごと
硬化コンクリート	透気係数	トレント法透気試験	区画の中間において、SL 下部、側壁下部、側壁上部、天端部の 4 か所測定

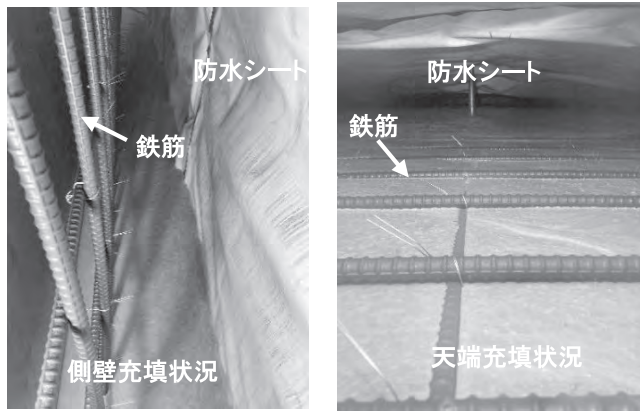


写真-4 コンクリートの充填状況

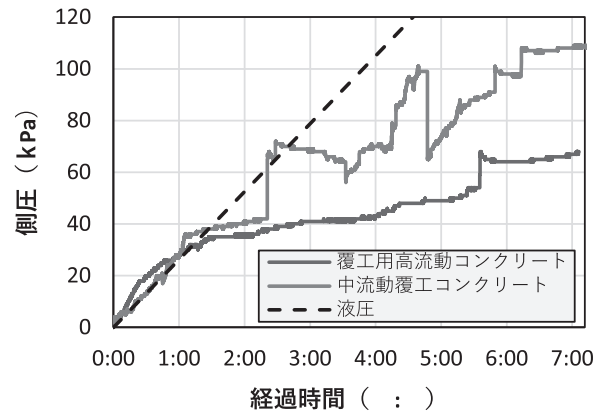


図-9 コンクリートの側圧

ものの、型枠パイプレタの自動稼働により、流動補助を行うことで高流動覆工コンクリートと同様の充填状況となった。

また、全自動打設では打上がり高さ検知センサの反応に基づき、型枠の左右において、事前に設定した30 cm以上の高低差が生じた際に打設速度が自動で調整されるほか、アジテータ車の入替え時も自動で、圧送停止および再開を行うため、人による打設中のコンクリートポンプの補助的な操作は全く必要としなかった。移動式型枠内の作業としては、打設完了後の配管清掃を除けば一切の人力作業が不要で、主に棲枠監視のみであった。

作業内容と人員の記録は、表-3に示す通りで、配管切替など狭隘な環境での人力による苦渋作業が多い従来工法と比べ、全自動打設では作業人員を9名から4名に減少できた。また、その4名の作業は、苦渋作業ではなく、棲枠監視、制御盤確認および打設完了後の配管清掃などの軽作業であり、省人化、省力化を図ることができた。さらに配管切替の時間短縮などで、通常10時間の打設を2時間短縮できた。

(6) 側圧

中・高流動覆工コンクリートの側圧は、図-9に併記した破線で示すトンネルの内空高さ9 mにおける液圧と比べ、いずれも打上がり開始から1時間程度

までは同程度になっているものの、2時間以降の時点では液圧以下に低下している。しかし、中流動覆工コンクリートの側圧は、型枠パイプレタの稼働等により、変動が大きくなり瞬間的に液圧になる場面が生じることで変動が大きくなっている。一方、高流動覆工コンクリートは、型枠パイプレタによる振動を与えないこと、繊維を混入したコンクリートと鉄筋の障害による抵抗が生じたことなどが影響したことで、変動が小さく最大68 kPaと想定より低い結果であった。

(7) 仕上がりと表層品質

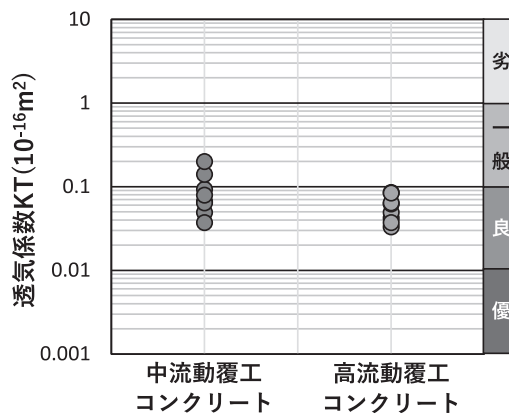
代表的な高流動覆工コンクリートの仕上がりは、写真-5に示すように天端部に発生しやすいコンクリートの流動跡などは少なく綺麗な仕上がりとなった。できる限り連続的に打込んでいることと、天端部全面が平坦に打ち上がるため、吹上げ口の圧力が上がり分離しにくいことで、流動跡などが生じなかったものと考えられる。一方、SL下部に注目すると、中流動覆工コンクリートと高流動覆工コンクリートのいずれも吹上げ打設を行うことで、打込み時のエンラップトエアが低減された。一方で、写真-6に示すように中流動覆工コンクリートと比べ、高流動覆工コンクリートの方が表面気泡が少ない結果であった。これは、中流動覆工コンクリートより充填性が優れること、SL下部では型枠パイプレタを稼働させないことで、コンクリート内部の気泡が表面に誘導され合泡することもなく型枠表面に気泡が残存しにくかったためと考えられる。特に、SL下部においては断面形状がオーバーハングしているため、気泡が抜けずに表面にとどまりやすく、表面気泡の差が顕著に表れたものと考えられる。また、中流動覆工コンクリートを用いて全自動打設を実現する上で課題であった箱抜き箇所においては、高流動覆工コンクリートを用いることで、締固め作業の必要はなく、写真-7に示すよう

表-3 作業内容と人員

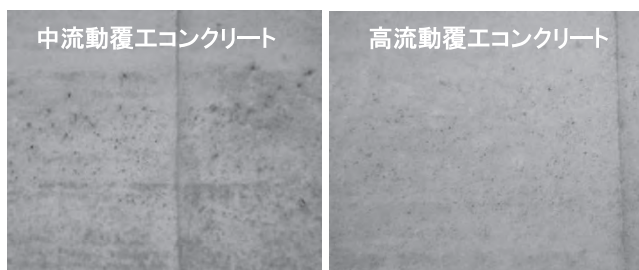
作業内容	従来工法 (人)	全自動打設 (人)
パイプレタ	4	0
棲枠監視	2	2
制御盤確認	0	1
ポンプ操作	2	0 (上記兼務)
配管清掃時	1	1
合計	9	4



写真—5 高流動覆工コンクリートの仕上がり



図—10 透気係数の比較



写真—6 SL下部表面気泡の比較



写真—7 箱抜き箇所の高流動覆工コンクリートの充填状況

の効果を検証した。いずれのコンクリートにおいても、打設人員を9名から4名に低減し、特に、狭隘な作業環境下での人力作業を完全に排除でき、省力化および省人化を実現できた。また、高流動覆工コンクリートを用いることで、箱抜き箇所などにおける棒状パイププレートを使った流動補助的な締固め作業を完全に不要にできた。これらのことから、本全自動打設システムの有効性を確認したとともに、高流動覆工コンクリートを用いることで全自動打設システムのメリットを最大限に活かせるものと考えられる。今後、他のトンネル工事においても中流動覆工コンクリートおよび高流動覆工コンクリートを用いた本全自動打設システムの導入を推進し、さらなる合理化施工を検証していく。そして、将来的には、型枠の設置からコンクリート打設および養生に至るまでのすべての作業工程を自動的に行う統合システムの構築を目指す。

JCMA

に隅々まで充填されることが確認された。以上より、高流動覆工コンクリートを用いた全自動打設システムを導入することで、施工と品質の両面において改善を図ることが確認できた。

覆工コンクリートのSL下部、肩下、肩上、天端で測定したそれぞれ2区画分におけるコンクリートの表層品質の評価指標となる透気試験の結果は、図—10に示すように、同環境におかれた覆工用中流動コンクリートでは「一般」から「良」に多少ばらつくのに対し、高流動覆工コンクリートでは「良」の結果にまとも、均質であることを確認できた。

4. おわりに

実現場に中流動覆工コンクリートと高流動覆工コンクリートを用いた全自動打設システムを初導入し、そ

《参考文献》

- 1) 堂山修治, 竹下正一, 堤 英彰, 城澤道正: i-Construction (建設現場の生産性革命)の推進と建設現場の安全性の向上に向けて, 土木学会論文集F6 (安全問題), Vol.73, No.2, I-1-I.6, 2017.
- 2) 樹高速道路総合技術研究所: NEXCO 中流動覆工コンクリート技術のまとめ, 2011.
- 3) 松本修治, 手塚康成, 日野博之, 青柳隆浩: トンネル覆工コンクリートの自動打設システムの開発, 土木建設技術発表会 2020, II-11, 土木学会, 2020.
- 4) 藤原浩一, 坂平新志, 石井利治, 影山 心, 松本修治, 手塚康成, 宮内智昭, 藤田健士: 中流動覆工コンクリートを用いた自動打設システムの適用実績, 第78回年次学術講演会, VI-969, 土木学会, 2023.
- 5) 松本修治, 佐藤崇洋, 坂井吾郎, 手塚康成, 青柳隆浩, 西岡和則: 山岳トンネルにおける覆工用高流動コンクリートの適用実績, トンネル工学報告集, 第27巻, I-17, 土木学会, 2017.
- 6) 作榮二郎, 亀島健太, 松本修治, 坂井吾郎: プリーディング低減成分を含有した増粘剤-液型高性能 AE 減水剤を使用した覆工用高流動コンクリートの基本特性, 第75回年次学術講演会, V-434, 土木学会, 2020.
- 7) 土木学会: 高流動コンクリートの配合設計・施工指針, 2012.6.
- 8) 松本修治, 橋本 学, 渡邊賢三, 橋本紳一郎: 汎用的な締固め不要コンクリートにおける新規の粉末分散剤と新たな充填性評価手法に関する検討, コンクリート工学年次学術論文集, vol.44, pp.820-825, No.1, 2022.

- 9) R.Torrent and G.Frenzer : A method for the rapid determination of the coefficient of permeability of the "covercrete", International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering(NDT-CE), pp.985-992, Sep.1995.

[筆者紹介]



松本 修治 (まつもと しゅうじ)
鹿島建設㈱
技術研究所 土木材料グループ
主任研究員



手塚 康成 (てづか やすなり)
鹿島建設㈱
土木管理本部 土木工務部 トンネルグループ
担当部長



坂井 吾郎 (さかい ごろう)
鹿島建設㈱
技術研究所
主席研究員, 博士 (工学)



コンクリート湿潤養生

自動認識ロボットの開発

増田 貴之・中村 裕介

スラブコンクリートの施工において、打設後にスラブ表面の湿潤状態を維持することは、コンクリートの品質確保の上で大変重要である。しかしながら、湿潤状態については人間の目視判断による定性的な管理が通例となっており、定量的な管理手法が確立されていないなどの課題があった。そこで、スラブ表面の乾湿状態を定量的に評価できるセンサの開発に着手し、その有効性を確認した。さらに、そのセンサを自律走行式ロボットに搭載し、コンクリートの乾湿状態を自動で評価してマッピング表示するシステムの構築を行った。本報では、システム一式の実用化に向けて行った実証試験に関する結果を報告する。

キーワード：スラブ、湿潤養生、近赤外光、円偏光、水の吸光特性、自律走行式ロボット、省力化

1. はじめに

近年、EC サイトなどの増加を受け、大量の配送物を保管できる物流施設が増加している。そうした物流施設のスラブコンクリートは直床仕上げの場合が多く、表面が露出しているため、コンクリートの品質確保において打設後の湿潤養生は大変重要である。

湿潤養生として、散水後のスラブ表面を養生マットで覆うなどして、その後湿潤状態を保つ必要がある。これらは人間による作業が主であるため、一定の知見を有する人材の確保をはじめ、一定のコストや時間が掛かるといった負担がある。そうした負担を軽減するために、スラブと養生マットの間に乾湿状態を検知するセンサを配置する技術が提案されている¹⁾。しかし、適切な品質管理を行うためには、スラブ面積に応じた十分な個数のセンサを配置する必要があり、それらの管理が煩雑になるなどの課題が発生している。

課題を解決するためには、配置型のセンサを用いて管理を行うのではなく、スラブ表面の乾湿状態を自動的に計測できる技術の開発が求められた。例えば、コンクリートの水分量を測定するものとして、水分吸収率の高い波長域の光と低い波長域の光の2つの波長の近赤外光を使用して測定する装置が提案されている²⁾。しかし、この装置は水分量を正確に測定することが目的であるため、装置が比較的大きくなるなど汎用性に欠ける面がある。また、スラブのような大きな面積に対して管理する用途には、運用・機能・取得データの処理方法・費用などの面も課題として挙げられる。

そこで今回、非接触かつ簡単な機構でスラブ表面の乾湿状態を評価できるセンサの開発を行った。加えて品質管理業務の省力化を図るために、大きな面積を有するスラブ上を走行しながら乾湿状態を評価できるロボットの開発を行った。本報では、同状態を定量的に評価できる近赤外光を用いたセンサの概要、そのセンサの有効性を確認した室内実験、およびセンサを搭載した自律走行式ロボットの現場適用実験について報告する。

2. 近赤外光を用いたセンサの概要

スラブ表面の乾湿状態を評価するために光の性質に着目した。光を鏡に照射した際の反射に着目し、湿潤養生のスラブ表面でも同現象を再現できると考えた(図-1)。この現象は水面で太陽光が反射される光景からも理解でき、光の物理的な特性である偏光状態が作用したものである。具体的には、光が円形状の偏光

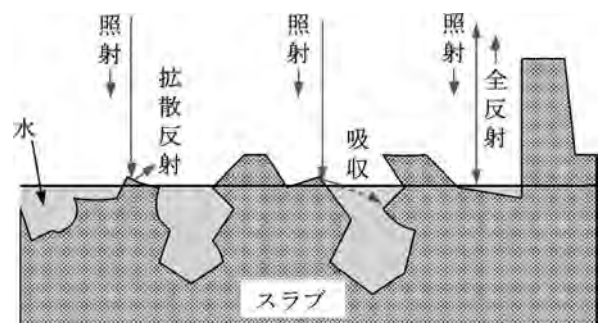


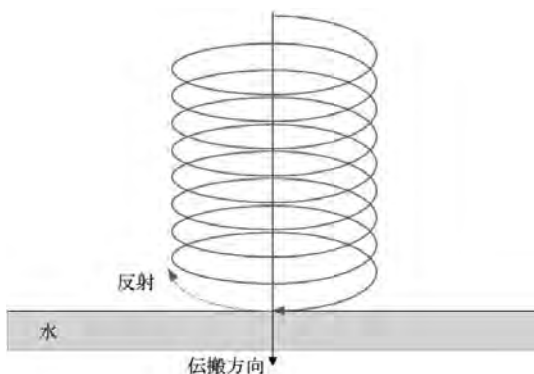
図-1 スラブ表面の乾湿状態と光の反射状態を表す模式図

として膜に照射された場合、その光は全反射を起こすという現象である。

光は、P波（Parallel波）およびS波（Senkrecht波）に分解可能な二つの直行する電磁波である。そして、P波とS波の位相差がないものを直線偏光と呼び、光は伝搬方向に対して直線的に運動する。これに対し、P波とS波の位相差が90度のものを円偏光と呼び、光は伝搬方向に対して螺旋的に運動する。円偏光は反射面に対して浅い角度で照射されることになり、同じ回転運動を保ったまま水膜により反射されることになる（図一2）。これは、水面に対して回転させながら石を投げた場合、水面に対して浅い角度であればあるほど石は飛び跳ねることと同様である。この現象と円偏光の反射現象は似ており、水膜を検知する手段として円偏光は適していると判断した。

次に、スラブ表面が乾燥過程にある場合、すなわちコンクリート表面の一部が露出し始めると、表面に存在する凹凸が水から突出して空気中出现する。この場合、スラブ表面に照射された円偏光は全反射されずに拡散反射されることになるため、湿潤時よりも帰還する光量が減少すると考えられる。また、凹凸に微細な水分が含まれている場合は、表面張力によって覆われた水膜に対し、照射光は角度を有して照射されるため、一部の光が水に侵入する。この侵入した光を水に吸収させることで、すなわち水の吸光特性を用いることでスラブ表面の乾湿状態をより厳密に評価できると考えた。

吸光特性とは、物体が特定の波長の光を吸収する特性のことで、水は近赤外光である $\lambda = 700 \text{ nm}$ より長い波長の光を吸収する特性がある。特に、図一3に示す通り、水の分子構造のうちO-Hの伸縮振動と変角振動による吸収帯である $\lambda = 1,940 \text{ nm}$ や、H-O-Hの伸縮振動による吸収帯である $\lambda = 2,900 \text{ nm}$ 、その半分の波長である $\lambda = 1,450 \text{ nm}$ に大きな吸収が認められている。波長が長くなるにつれ、その光源やセンサ



図一2 円偏光の反射現象

は一般に技術難易度とコストが高くなるといったデメリットが挙げられる。そこで、技術難易度とコストのバランスを鑑みて、 $\lambda = 1,450 \text{ nm}$ の近赤外光を用いたセンサを開発することとした。

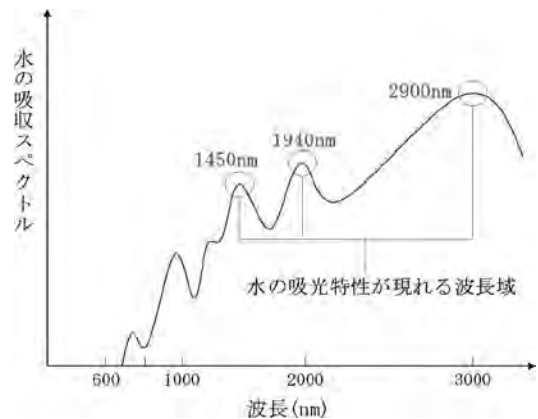
以上のように、 $\lambda = 1,450 \text{ nm}$ の近赤外光を円偏光としてスラブ表面に照射することで、湿潤状態では光の反射量が大きく、乾燥状態では光の反射量が小さくなるという関係性が成り立つと仮定できた。

この関係性を、3章で言及する室内実験で確認し、スラブ表面の乾湿状態を評価できる基礎技術とした。この基礎技術を応用し、図一4に示すような光学センサを開発した。なお、同センサでは円偏光のみの受光量を計測できるように内部で制御しており、光検出器において受光量を電圧に増幅変換する仕様としている。

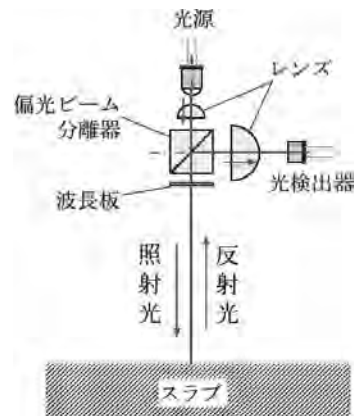
3. 室内実験

(1) 実験概要

開発したセンサの有効性を検証するため、コンクリートの乾湿状態と計測値（電圧値）との関係を室内実験により確認した。試験体としたコンクリートは、



図一3 水の吸光特性



図一4 光学センサの内部機構

平面 100×100 mm, 高さ 50 mm で, 表面に水膜を張り, その直上にセンサを配置して, 計測値を求めた。同状態の変化については, ビデオ撮影による表面変化の目視観察と水の質量変化を電子天秤により測定した。室内実験状況を図-5に示す。なお, 測定環境条件は, 湿度 40~50%とし, 気温 40℃で6回, 23℃で4回の計10回実施した。

計測にあたり, $\lambda = 1,450 \text{ nm}$ の光に加え, 水の吸光特性が認められない $\lambda = 1,300 \text{ nm}$ での計測も同時に行い, 相対的な違いを確認することとした。

(2) 実験結果と考察

2つの波長の光での計測結果の一例を図-6に示す。ここで, $\lambda = 1,300 \text{ nm}$ での計測値を LD1 [mV], $\lambda = 1,450 \text{ nm}$ での計測値を LD2 [mV] とした。どちらの光もスラブ表面の経時変化に応じた計測値の変化が認められるが, LD1 は計測値の大小関係が逆転しているため, 乾湿状態を絶対的に評価することが難しいことが分かる。一方で, LD2 は, 計測値の大小関係が逆転せず絶対評価が可能である。したがって, $\lambda = 1,450 \text{ nm}$ の光の有効性が確認できた。

次に2つの波長の光での計測において, 再現性を検証するために, 各水準の表面に対して, 計測値と水の厚さ(水位)の関係を確認した。なお, 水位を継続して直接計測することは困難であることから, 電子天秤で計測した質量から水位を換算した。LD1 での計測結果と水位の関係の一例を図-7に示す。LD1 での計測値は, 大小関係が逆転しており, さらに実験条件からの規則性が認められないことから, 再現性の確認

には至らないことが分かる。

次に, LD2での計測結果と水位の関係を図-8に示す。LD2での計測値は, 全水準において大小関係

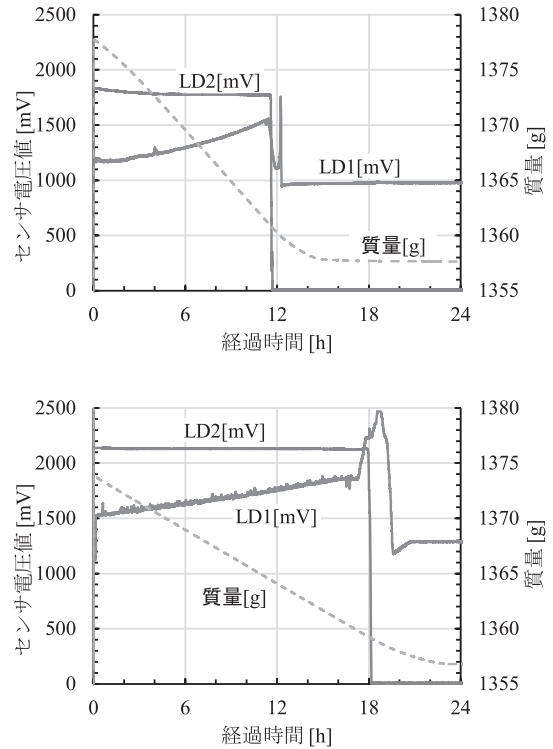


図-6 LD1, LD2 および質量の計測結果 (上) 湿度 50%, 気温 40℃ (下) 湿度 50%, 気温 23℃

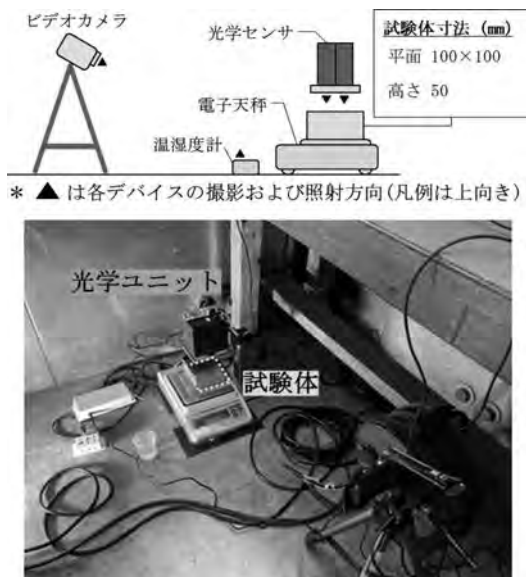


図-5 室内実験状況

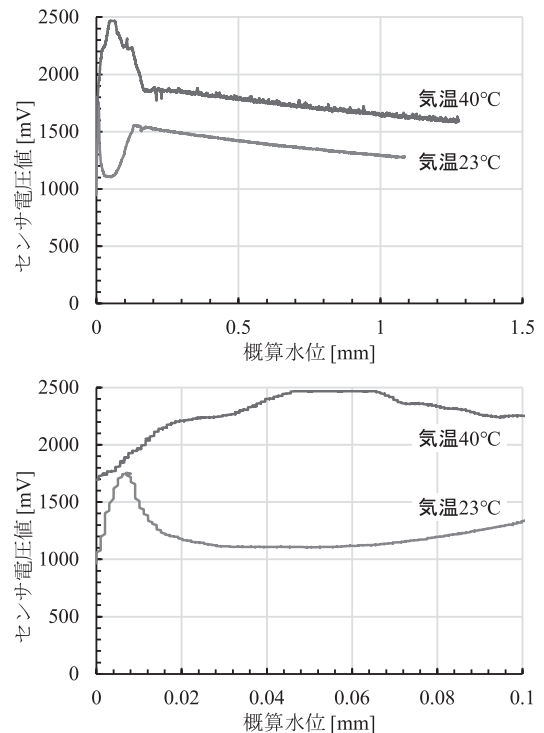
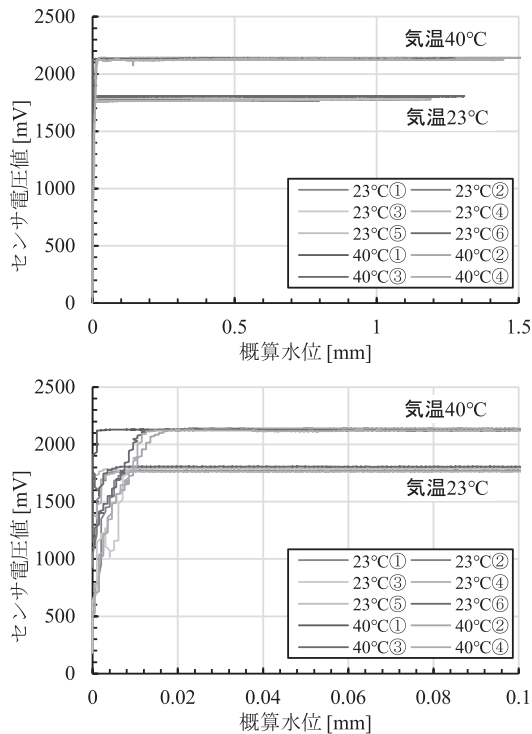


図-7 LD1 計測結果と水位の関係 (2水準) 下段は上段の水位 0.1mm 以下における拡大表示



図一八 LD2 計測結果と水位の関係 (全 10 水準)
下段は上段の水位 0.1mm 以下における拡大表示

が逆転していないことが分かる。さらに、実験に用いた全水準での計測値が 1,750 mV 付近と 2,200 mV 付近の 2 つの範囲に集約されており、概ね良好な再現性を確認できる。2 つの範囲に分かれた主な理由として、気温による影響が考えられるが、計測値の大小関係が逆転していないことから、乾湿状態の評価に影響はないと判断した。

最後に、スラブ表面の乾湿状態と計測値の関係について考察する。スラブ表面の凹凸が水面に露出していない「湿潤状態」、スラブ表面の一部の凹凸が水面より露出した「半乾燥状態」、スラブ表面の多くの凹凸が水面より露出した「乾燥状態」と分類した。「湿潤状態」は計測値が 1,200 mV 以上、「乾燥状態」は 100 mV 以下、「半乾燥状態」は 100 mV～1,200 mV の範囲に収まることを複数の実験結果により確認した。その結果、それぞれのスラブ表面の乾湿状態を定量的に定義するためには、計測値による基準を設定することで工学的に可能であると考察した。

上記の結果と考察から、スラブ表面の乾湿状態を評価する技術として、 $\lambda = 1,450 \text{ nm}$ の近赤外光を用いることとした。また、それによる計測値が同状態を定量的に判断できる根拠であることを確認できた。

4. センサ搭載型自律走行式ロボットの現場適用実験

(1) 自律走行式ロボットの概要

実現場におけるスラブ表面の乾湿状態を評価するために、従来は電極センサを配置する方法が採用されているが、配置手間が発生することが課題であった。そこで、省力化や現場への適用化の観点から、自律走行式ロボットにより評価することが最適と判断した。

自律走行式ロボットとは、走行ロボットが移動する周囲の環境に誘導装置を設置することなく、ロボット本体に搭載したセンサ類により自己位置、あるいは走行路を検出して走行するロボットのことである。現在実用化されている主な自律走行方式には、2次元 SLAM 方式、画像処理・3D モデル比較方式、および 3次元 SLAM 方式があり、いずれも SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) と呼ばれるロボット周囲の環境を計測し、地図を生成しながら、同時に自己位置を同定する技術が基本となっている。今回開発した自律走行式ロボットは、省力化と高い汎用性を考慮した結果、メンテナンスのしやすさとコストを考慮し、2次元 SLAM 方式を採用した。

そして、2章で開発したセンサを自律走行式ロボットに搭載した上で、移動しながらスラブ表面の乾湿状態を評価し、評価結果をマッピング表示するシステム一式の開発を行った。センサを搭載した自律走行式ロボットの外観を図一九に示す。諸元として、サイズは全長 1,400 mm、全幅 750 mm、全高 780 mm、質量は 85 kg、最高走行速度は時速 2.0 km、最小回転半径は 2.0 m である。また、自律走行式ロボットには、ロボ駆動をはじめとした各種操作を制御するパソコンなどの制御部、ロボットの周囲環境を計測する 2D LiDAR およびスラブ表面を評価するセンサを実装した。



図一九 センサ搭載型自律走行式ロボット

(2) 実験概要

開発したセンサとロボットをはじめとするシステム一式の適用性を確認するために、約 860 m² のスラブ面積を有する工事現場での適用実験を行った。対象のスラブに対して一様に散水し、その後の湿潤養生の経時変化を評価することとした。計測回数は3回で、12:30、13:30、14:30の1時間ごととした。

実験手順として、まず自律走行式ロボットを人間による操作で対象スラブ上を隈なく走行させる。この時、自律走行式ロボットに搭載している 2D LiDAR により周辺環境を計測し、ロボットが走行するための地図を作成する。作成した地図は、任意の範囲でグリッド化でき、今回は 1 m 四方をグリッド化した。次に、作成した地図とロボットの自己位置を照合して、走行経路を算出する。そして、ロボットへ走行開始の信号を送ることで、自律走行が開始される。この際、搭載しているセンサにより、1 m 四方のグリッドに応じた自動評価も開始する。また、評価結果を目視結果と比較しやすくするために、3.2 節で定義した、「湿潤状態」を青色、「半乾燥状態」を黄色、「乾燥状態」を赤色として、システム上でマッピング表示できるようにした。なお、ロボットの走行速度と計測頻度の関係上、同じグリッド上で複数回の計測が連続して発生する。その場合、計測値のうち小さいものを評価結果として採用した。計測値が小さいほど、「乾燥状態」に近いことを表し、湿潤養生の品質管理上において安全側の判定とするためである。

(3) 実験結果と考察

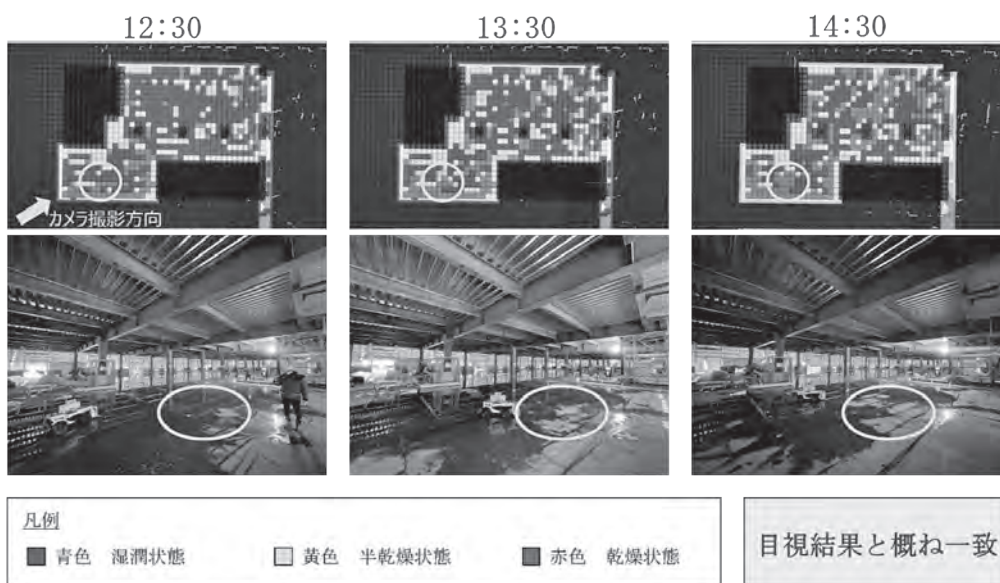
スラブ表面の経時変化について、センサによる評価

結果と目視結果を比較したものを図—10に、各計測時間における評価結果の一覧を表—1に示す。スラブ面積 860 m² の計測範囲に対して、1回あたりの計測に要した時間は約 20 分で、スラブ全体の約 80% の面積を計測することができた。80% 程度の計測面積となった主たる理由は、今回開発したロボットの最小回転半径が 2.0 m であり、測定対象範囲とした外周部分においてロボットが走行できないエリアが発生したためである。

図—10に示す評価結果について、丸印の箇所のように、センサによる評価結果と目視結果が概ね一致していることが確認できる。そして、表—1に示す「乾燥状態」と「湿潤状態」に着目すると、時間経過とともに、それぞれが相反しながら推移しており、評価結果に矛盾が生じていない。また、この確認を容易にするために、「湿潤割合」という指標を設けた。「湿潤割合」とは、評価可能点全てに対し、「湿潤状態」として評価する点の割合と定義した。「湿潤割合」が時間経過とともに一律的に低下していくことが確認できたため、スラブ表面の経時変化を評価できる定量的指標として提案できる可能性がある。

表—1 湿潤評価結果の一覧

計測時間	計測点数		
	12:30	13:30	14:30
乾燥状態	90	118	192
半乾燥状態	35	64	40
湿潤状態	317	261	210
未計測	123	122	123
湿潤割合 (%)	72	59	47



図—10 湿潤評価結果と目視結果の比較

5. おわりに

物流施設をはじめとした、スラブ面積 860 m² のコンクリート表面を対象にした乾湿状態を評価する技術として、近赤外光を照射するセンサを提案した。本報では、センサの有効性の確認を目的とした室内実験と、センサを搭載したロボットをはじめとするシステム一式の適用性の確認を目的とした現場適用実験により、以下に示す事項を確認した。

- i. 光の形状を円偏光にし、水の吸光特性が卓越する $\lambda = 1,450 \text{ nm}$ の近赤外光を用いたセンサにより、スラブ表面の乾湿状態の評価が可能である
- ii. 自律走行式ロボットを用いて、面積 860 m² のスラブ面を約 20 分間で評価できる
- iii. 開発したシステムにより、経時変化するスラブ面全体の乾湿状態をマッピング表示できる

6. 今後の展開

建設現場への実装適用に向けて、散水設備との連携を目指している。得られたスラブ表面の乾湿状態の評価結果を散水設備に連携することで、より高品質な湿潤養生が可能になると考える。加えて、従来の湿潤養生に要した労務の省力化にも寄与できる。その他にも、水を垂れ流しにした従来の散水養生などに比べ

て、必要十分な散水養生が可能となるため、水の省資源化にも寄与することが可能である。

なお、本開発はユアサ商事(株)と共同で実施しているものであり、建設現場への実装適用に向けてブラッシュアップ中である。2023 年度中に散水設備との連携ならびにシステム一式のプロトタイプ開発を完了し、2024 年度中の販売を予定している。

JCMIA

《参考文献》

- 1) NETIS KK-160022-VE, コンクリート養生管理に用いる無線温湿度測定装置, <https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubsearch/details?regNo=KK-160022%20> (2023 年 4 月 19 日確認)
- 2) 郡 政人, 「近赤外分光法によるコンクリート表層部の物性評価に関する研究」, 土木学会年次学術講演会梗概集, pp.7-8, 2012.9

【筆者紹介】

増田 貴之 (ますだ たかゆき)
 (株)奥村組
 土木本部 土木工務部 土木企画課
 主任



中村 裕介 (なかむら ゆうすけ)
 (株)奥村組
 ICT 統括センター イノベーション部
 BIM 推進グループ
 グループ長



世界初、燃料電池を動力源としたラバータイヤ式門型クレーンの開発と実証試験に成功

港湾荷役機器分野で、温室効果ガスの排出量削減に貢献

村山 哲郎・市村 欣也

世界的にサプライチェーンの脱炭素化に取り組む荷主が増える中、海陸の結節点である港湾においても、荷主や船社・物流事業者の要請に対応して港湾施設の脱炭素化に取り組み、競争力を強化していくことが必要である。コンテナターミナルで使用される荷役機器であるラバータイヤ式門型クレーン（以下、RTGC; Rubber Tired Gantry Crane）を対象に、従来のディーゼルエンジン発電機を燃料電池（FC; Fuel Cell）に換装し、荷役を模した連続試験により実証試験を行ったので報告する。

キーワード：荷役機器、クレーン、燃料電池、技術実証

1. はじめに

1950年代に登場した「コンテナ」は物資の輸送に大きな影響を与えた。コンテナという規格化された箱を使うことにより、安全、確実、安定的に貨物を輸送することができるようになったのである。世界のコンテナターミナルにおけるコンテナ取扱個数は、2010年から2020年までの10年間で1.5倍に増加している。特に東・東南アジア地域（日本を除く）の取扱個数は、2010年の約2億6千万TEU^{a)}から2020年には約4億1千万TEUに増加している。一方、2021年の国内港湾のコンテナ取扱貨物量は、2,246万TEU（前年比+3.7%）である。内貿コンテナ取扱貨物量は、455万TEU（前年比+6.6%）と大きな伸びを示し、コロナ禍以前の2019年を上回り、過去2番目に多い貨物量となっている¹⁾。

コンテナターミナルの主な役割は、コンテナ船からのコンテナ積み降ろしやコンテナを一時的に保管する機能を有するほか、国際貨物の輸出入時の保税地域としての役割も果たしている。コンテナターミナルにおいて、コンテナをコンテナ船に積み込むまでの間、あるいはコンテナ船から荷揚げした後に荷主が引き取りにくるまでの間、一時的にコンテナを蔵置しているエリアがコンテナヤード（以下、CY）である。コンテナターミナルの敷地面積の多くを占めるCYでは、コンテナを行き先別、輸出入別、実入り・空コンテナなどで区別されて配置、保管され、これにより、荷主

に対して効率的なコンテナの引き渡しが可能となっている。

CYはより多くのコンテナを蔵置するため、コンテナ間の隙間は最小限であり、積み上げ段数は概ね3～4段程度、海外では6段程度のところもある。そしてこのコンテナのハンドリングを行うための港湾荷役機器が、CY内に設置されたトランスファークレーンである。

トランスファークレーンには走行装置の違いにより、レール式、タイヤ式があり、タイヤで走行するクレーンが本報告のRTGC（写真-1）である。CYにおけるコンテナの蔵置作業にはRTGCが世界中で広く使用されている（写真-2）。

RTGCは、ラバータイヤ式の走行装置を有しているため機動性が高く、作業の繁忙度に応じて必要な蔵置エリアに配置できるため、より少ない設備投資で効



写真-1 ラバータイヤ式門型クレーンとFCPP

a) TEU (Twenty Equivalent Unit) : コンテナ取扱個数の単位 1 TEU は 20 ft コンテナ 1 個のこと、40 ft コンテナ 1 個を 2 TEU とするもの。



写真一 2 CYにおけるコンテナの蔵置作業

率的なコンテナターミナルの運営が可能となる。一方で、機動性を維持するため、RTGCの機上にディーゼルエンジン発電機セット（以下、DGset）を搭載し軽油を燃焼して電力に替え、荷役を行うための各種電動モータを駆動している。

2. 港湾荷役機器の脱炭素化と水素駆動 RTGC の必要性

CYにおいて、RTGCを含む港湾荷役機器から排出される二酸化炭素やディーゼル排気ガス中の有害物質が問題視されており、これまでは、ディーゼルエンジン排出ガス規制が順次強化されてきた。これに対して、DGset及び蓄電池を用いたハイブリッドシステムの採用や排気ガスフィルタの搭載による対策が行われてきた。更に近年では、海外において米国ロサンゼルス・ロングビーチ港にて2030年には港湾の排出ガスをゼロにするクリーン・エア・アクション・プラン（ゼロエミッション化）が推進されており、国内では国土交通省から水素等を活用したカーボンニュートラルポート（CNP）を形成することが報道発表されている（図一1）。加えて、1959年に姉妹港提携を行った

米国ロサンゼルス港と名古屋港では、2020年に「環境面の持続可能性と業務効率分野における、協議、議論、協力及び情報交換」のための覚書を締結し、同枠組みの中においても港湾荷役機器の環境対策の検討が進められている。

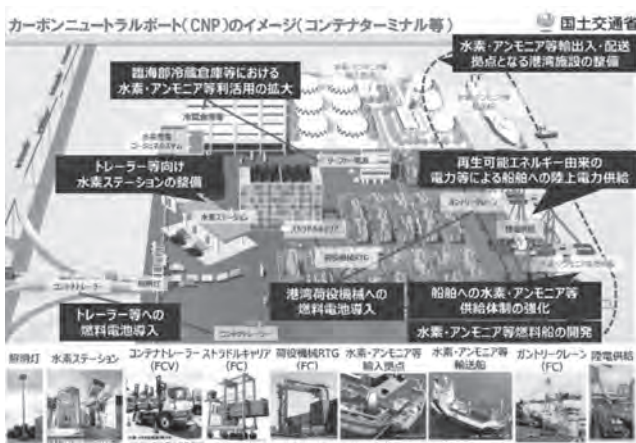
米国においてはクリーン・エア・アクション・プランに基づきロサンゼルス・ロングビーチ港の港湾管理者と、国内においてはカーボンニュートラルポート（CNP）形成の政策決定を受けて主要港湾の関係者と意見交換を行ってきたが、これらの実現には、港湾荷役機器のゼロエミッション化が不可欠であり、中でもコンテナターミナルにおける排出ガスの多くを占めているRTGCを、従来のDGsetによる軽油駆動から、FCパワーパック（以下、FCPP）を搭載し水素燃料に転換することで、ゼロエミッション化することが有効な対策となることが明らかになった。

3. RTGCの水素駆動化による港湾施設のCO₂排出削減効果

DGsetを搭載した従来のRTGCは、排気量14～16L、出力500～550kW程度のディーゼルエンジンを搭載しており、1時間あたり平均的に20Lの軽油を消費している（ハイブリッドタイプのRTGCの場合は上記の半分程度の軽油消費量）。RTGCはターミナルの稼働状況によるが年間4,000時間程度稼働しており、RTGC1機あたり年間80kLの軽油を消費している。環境省の公表資料によると、軽油使用によるCO₂排出係数²⁾は2.58トン/kLであるため、RTGC1機あたり年間80kLの軽油消費に対して206.4トンのCO₂を排出していることになる。現在、日本国内には約480機のRTGCが稼働しており、そのうち約20%がハイブリッドタイプのRTGCとすると下式より、1年間にRTGCが排出するCO₂の総量が89,164.8トンであると計算される。

$$(206.4 \text{ CO}_2 \text{ トン} \times 480 \text{ 機}) \times 0.8 + (206.4 \text{ CO}_2 \text{ トン} \times 0.5 \times 480 \text{ 機}) \times 0.2 = 89,164.8 \text{ CO}_2 \text{ トン}$$

RTGCを水素駆動化することで前述の排出量を大幅に削減することが可能となるため、港湾のコンテナターミナル及び周辺地域の環境改善に寄与することが期待できる。また、RTGCの水素駆動化が全世界に波及すると仮定すると、国内の約20倍、180万トン以上のCO₂削減効果が見込まれる。



図一 1 CNPイメージ（出典：国土交通省）

4. 水素駆動 RTGC の実用化への課題

(1) 燃料電池の特徴

RTGC を水素駆動化するためのキーデバイスが燃料電池である。図-2 に燃料電池セルの発電原理³⁾を示す。燃料電池は水素と酸素から電気化学反応でエネルギーを取り出すため、内燃機関に比べ、エネルギー効率が高いことが特徴である。

(2) RTGC のハイブリッドシステム

RTGC は、コンテナを吊り巻上速度を加速する際に最も多くの電力を消費するため、ピーク電力に対応可能な出力の DGset を選定する必要がある。従来の RTGC では 500 kW 級の DGset を搭載していた。また、コンテナを吊り巻下げる際には、その位置エネルギーによりモータが発電し回生電力が発生するが、従来の RTGC ではこの回生電力を抵抗器で熱に変換して放出していた。近年ではこの回生電力を蓄電池（リチウムイオンバッテリー）に回収し、コンテナを吊り巻上げる際に再利用し DGset をアシストし DGset 定格出力を下げたハイブリッドタイプの RTGC が普及しつつあるが、同ハイブリッドタイプの RTGC の場合であっても、依然として 200 kW 程度の出力の DGset を必要としている。図-3 にハイブリッド RTGC の駆動系構成と FCPP（後述）に換装する機能を示す。

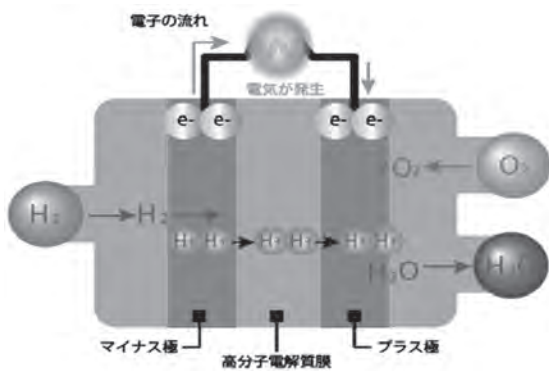


図-2 燃料電池セルの発電原理

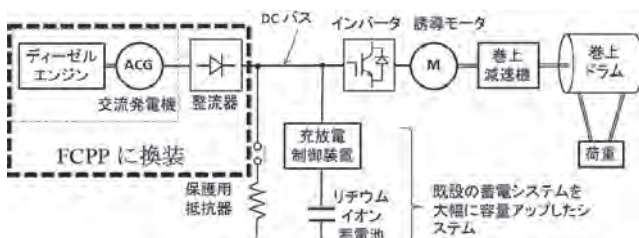


図-3 ハイブリッドRTGCの駆動系構成

RTGC を水素駆動化するために、燃料電池による発電パッケージ（FCPP）を開発した。FCPP の開発にあたり、以下の課題がある。

(3) FCPP 出力と回生エネルギーシステムとのバランス

燃料電池自動車（以下、FCV）では最大出力 120 kW 級の燃料電池を搭載したものが市販されている。この FCV の基幹部品を使うことで、費用対効果に優れ、一定以上の信頼性が期待できる燃料電池が FC モジュールとして外販されている。この FC モジュールでは定格出力を 60 kW とし、負荷変動を抑えた定常連続運転を行うことで、性能低下を抑制する仕様となっている。従って、従来のハイブリッドシステムの DGset より発電出力が小さい。

RTGC の荷役能力の観点では、最大出力を 60 kW で運転する場合、巻き上げ加速時のピーク負荷を賄えず蓄電池の充電率（SOC）が徐々に低下し、荷役作業を継続することが困難になることが考えられる。従ってピーク負荷に対応する蓄電池容量が必要だが、蓄電池を大型化すると、RTGC 上に相応の蓄電池の設置スペースが確保しなければならない。

(4) FCPP の搭載スペースに関する制限

CY において、RTGC は積み上げられたコンテナの間を走行している。そのため、機上に搭載される機器の張り出し寸法が大きい場合、隣接する RTGC や蔵置コンテナと接触する可能性がある。従って RTGC 機上に設置できるスペースに制限がある。

一方で、RTGC への水素の充填頻度を抑え、連続稼働時間を確保するため、RTGC 機上に連続稼働時間相当量の水素を貯蔵する水素タンクを設置する必要がある。水素タンクの貯蔵量は充填圧力が大きく影響を与える。具体的には、70 MPa の充填圧力を持つタンクは同じ大きさの 35 MPa のタンクよりも約 1.7 倍多くの水素を貯蔵できる。FCPP では、70MPa の充填が可能な水素タンクを採用し、スペースの制約に対応している。

以上のように、FC モジュールと蓄電池の出力、設置スペース全てで要求を満たすバランスを見つけなければ水素駆動 RTGC の実用化はできない。

5. FCPP のシステム構成

FC モジュール出力が 60 kW であるため、FC モジュールの出力のみでは荷役に必要な電力を得られないことから、大容量の蓄電池を搭載し回生電力を回収

することで、FC モジュール出力と回生エネルギーシステムとのバランスを確保した。

FCPP は FC モジュール及び FC モジュールを冷却する放熱ユニット、水素有効搭載量を確保した燃料供給システム（水素タンク）で構成される。図-4 に FCPP の搭載図^{b)}を示す。水素タンクを横置き4段で2ユニットとすることで、RTGC に搭載可能なサイズにすることができ、FCPP 内の必要なメンテナンススペースも確保した。

表-1 に FCPP の主要スペックを示す。また図-5 に燃料供給システムの基本構成を示す。タンクは最高70 MPa で水素充填され、燃料供給システム内の減圧弁と FC モジュール内のインジェクタにより二段階で減圧され、FC スタックに供給される。

6. 実証試験

実証試験の成果の一部を報告する。FCPP を搭載した RTGC で連続荷役試験を行い、連続荷役における蓄電池容量と FC モジュールの出力の検証を行った。連続荷役試験は、既存 RTGC の改造 (DGset を FCPP に換装、蓄電池の追加)した試験用 RTGC 用い、港湾でのコンテナ荷役を模した試験（実荷役に用いられているコンテナ、トラック・シャーシを使用）とし、図-6 に示す荷役サイクルを用いた。コンテナ重量は平均コンテナ重量である20トンを使用し、1時間あたりのサイクル数は港湾でのコンテナ荷役で平均的な20サイクルとした。FC モジュール出力を30 kW、40 kW で試験を行い、蓄電池 SOC の変化量を確認した。

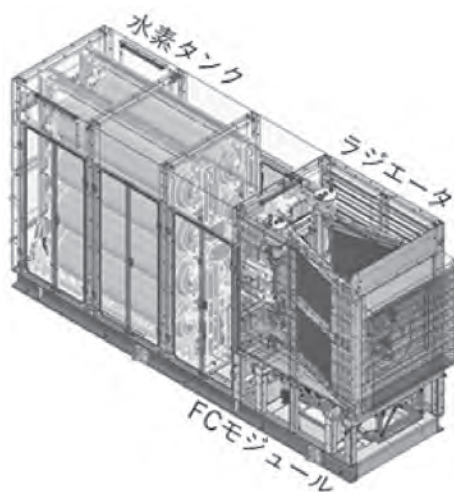


図-4 FCPP 内の機器配置

表-1 FCPP の主要スペック

Item	FCPP	
Type	8 tanks	
Rated power	kW	60
voltage range	V (DC)	400 ~ 750
Dimension (L×W×H)	mm	5,000 × 1,400 × 2,500
Mass	kg	6,800
Hydrogen capacity	kg	75.2 (水素有効搭載量は残圧によって異なる)
RTGCO perating time	hour	16
Ambient temperature	℃	-40 ~ 50
Atmospheric pressure	kPa	60 ~ 105
Allowable tank P.T range	MPa, ℃	0.98~87.6 MPa. abs/ -55 ~ 85℃
Hydrogen quality	-	ISO 14687-2 : 2012 (Type 1, Grade D)
Communication	-	SAEJ2799 (Infrared Communication)
Filling protocol	-	SAEJ2601-1, JPEC-S0003 H35, H70
Filling rate	g/sec	29 min (H70)

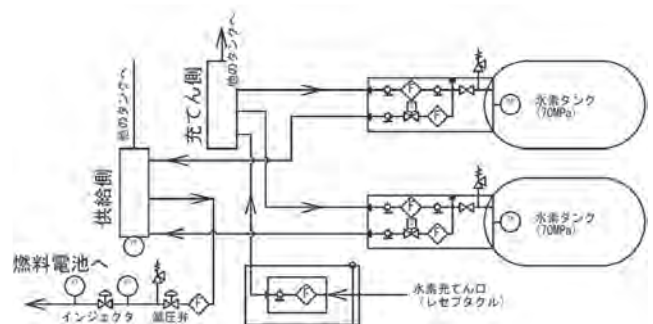


図-5 燃料供給システムの基本構成

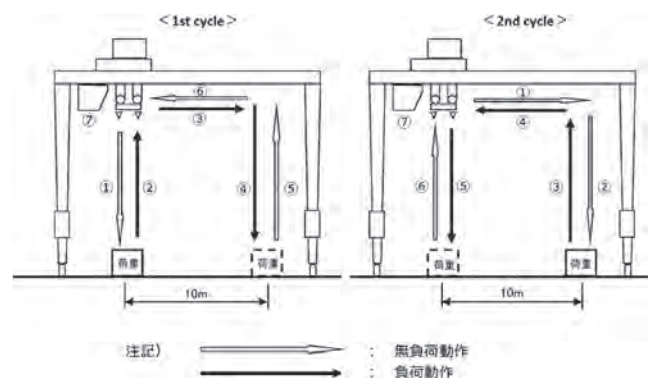
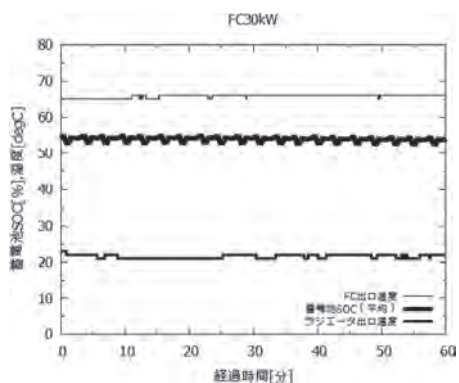


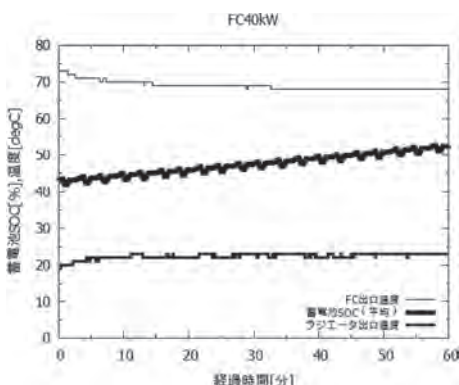
図-6 連続荷役試験の荷役サイクルのイメージ

各 FC モジュール出力での蓄電池 SOC のトレンドを図-7 及び図-8 に示す。連続荷役サイクル後の SOC 変化量は30 kW 出力で1.0%増加、40 kW 出力では11.4%増加が確認された。

b) 図は24年度からロサンゼルス港で実荷役環境下での検証を行うFCPP



図一七 FCモジュール出力 30 kW 試験結果



図一八 FCモジュール出力 40 kW 試験結果

連続荷役試験の荷役負荷変動に対して、蓄電池SOCが変動または低下しないことから、FCモジュールと回生エネルギーシステムとのバランスがとれており、本試験は実際の荷役を模した負荷条件であるが、従来のRTGCと同等の荷役能力を達成していることを確認した。

7. おわりに

本報ではRTGCのDGsetをFCPPに換装しRTGCを水素駆動化した。その後、実際のコンテナターミナルでの荷役を模した試験を行い、水素駆動RTGCが

従来のDGsetを搭載したRTGCと同等の荷役能力であることを報告した。

水素駆動RTGCは24年度からロサンゼルス港において、実荷役環境下での検証を行う予定である。NEDO事業の一環として、豊田通商などの取り組みに参画し2026年3月まで、港湾荷役機器とドレージトラック（コンテナで海上輸送された貨物をコンテナのまま陸上輸送するトラック）を燃料電池により水素駆動化し、港湾における地産地消型クリーン水素サプライチェーンを社会実装し、実証を行う計画である。

最後に、この成果は、(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成事業(JPNP100182)「燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業」の結果得られたものです。深く御礼申し上げます。

JICMA

《参考文献》

- 1) 国土交通省, 流を取り巻く動向について <https://www.mlit.go.jp/common/001354692.pdf>
- 2) 環境省, 算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧 https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calculiran_2020_rev.pdf
- 3) 折橋信行, トヨタにおけるFCV開発について, 低温工学, 2020, 55巻, 1号, p.10-13

【筆者紹介】



村山 哲郎 (むらやま てつろう)
 (株)三井E&S
 成長事業推進事業部
 脱炭素ソリューション部
 ゼロエミ・システムグループ長



市村 欣也 (いちむら きんや)
 (株)三井E&S
 成長事業推進事業部
 マーケティング部
 マーケティンググループ長

山岳トンネル掘削の作業状況を自動分析する AI システム

CyclEye[®]

吉田 健一

社会経済状況の激しい変化に対応するために、国土交通省はデータとデジタル技術を活用したインフラ分野のDXを推進している。その目指すべき将来像実現に向けて、マルチモーダルAIとIoTを用いて山岳トンネル掘削の作業データを自動で取得し、分析後可視化するシステム開発を行っている。トンネル掘削時の画像と音声データを活用することによって画像認識の弱点を克服し、AIによる作業内容推定精度は87%に向上した。掘削サイクルタイムを円グラフ等で見える化するによって、データドリブンな現場マネジメントや生産性の向上効果が期待される。

キーワード：ICT, マルチモーダルAI, 山岳トンネル, サイクルタイム, デジタルトランスフォーメーション (DX), 生産性向上

1. はじめに

インフラ分野において災害対策や老朽化対策の必要性は高まる一方で、その担い手は将来不足することが懸念されている。また、新型コロナウイルス感染症発生を契機とし、公共工事の現場においても非接触・リモート型の働き方に転換するなど、感染症リスクにおいても強靱な経済構造の構築を加速することが求められている。このような社会経済状況の激しい変化に対応するために、国土交通省はデータとデジタル技術を活用したインフラ分野のDXを推進し、生産性向上、安全性向上、および手続き等の効率化を目指している。令和5年度に策定されたインフラ分野のDXアクションプラン(第2版)¹⁾では、建設現場の完全無人化、ロボットの活用、完成検査の遠隔化・自動化、ICT技術による現場管理の効率化など建設現場における目指すべき将来像が示された。

照明や環境が整備され機械や製造ラインが固定された工場でモノを生産する製造業とは異なり、建設現場では天候など環境条件の他、人、資材、機械の配置などがリアルタイムで有機的に変化するため、製造業のノウハウを建設業へ活かすためには多くの技術開発が必要となる。我が国のような山岳地系でインフラ整備を行う際に必要な山岳トンネル工事を例にとると、トンネルを掘り進めていく過程でドリルジャンボやバックホウなどの施工機械、含水爆薬やロックボルトなどの資材が使用される。使用材料の出納やトンネル出来

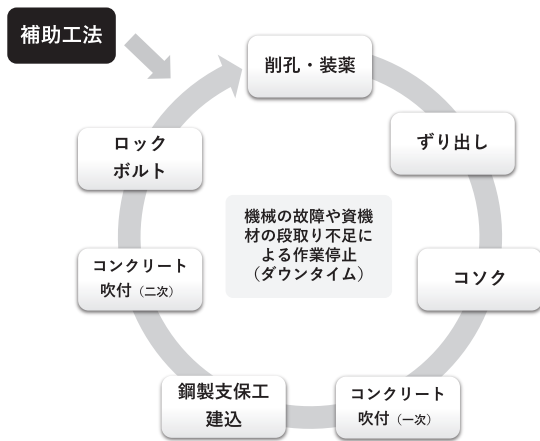
形・品質はデータ化され管理されているものの、将来的にロボットが自分で考えて作業するために必要な掘削作業状況はリアルタイムにデータ化されておらず活用もなされていない。インフラ分野のDX実現のためには、まずそのデータを取得する技術と効率的な施工管理や生産性向上に活かす技術の開発が必要であり、ICT技術に期待が寄せられている。

ICT技術とは、デジタル社会形成基本法でAI、IoT、クラウドコンピューティング関連技術と規定されている。本稿では、ICT技術の基幹技術であるAIとIoTを用いて山岳トンネル掘削の作業データを自動で取得し、分析後可視化するシステムを紹介する。

2. 開発の背景

(1) 山岳トンネル工事の進め方

山岳トンネル掘削作業は、地山の硬軟や支保パターン次第であるが、発破掘削の場合一般的には図-1に示すように削孔と装薬、発破、ずり出し、コソク、コンクリート吹付、鋼製支保工建込、ロックボルト打設および補助工法等、ある一連の作業の繰り返しによって行われる。1サイクルあたり通常1~1.5m間隔で掘り進めていくため、例えば1kmのトンネルを掘る場合、この作業の繰り返しが約1,000回行われる。各作業で使用される施工機械と車両の組み合わせを表-1に示す。



図一 一般的な発破掘削サイクル

(2) 山岳トンネル工事における生産性向上

生産性という言葉は多方面で使われているが、使う状況や人によってニュアンスが異なる。一般的には、生産性という「付加価値労働生産性」を示す²⁾。この指標は、労働者一人当たりで生み出す成果、あるいは労働者が1時間で生み出す成果を指標化したものであり、労働生産性=付加価値額または生産量など/労働投入量(労働者数または労働者数×時間)で表される³⁾。しかし、工事によって生み出された付加価値額や生産量を常時計算するのは難しく、分子が定まらない。そのため本稿ではシンプルに、生産性=作業量/サイクルタイム(各作業に要した時間)と定義する。ここで、繰り返し行われるずり出しやコンクリート吹付などの作業量は同じ支保パターンにおいて概ね変化がないため、生産性はサイクルタイムのみに着目すればよい。例えば、従来50分かかっていたずり出し作業がある改善によって45分で終了した場合、5分短縮されたので、(50-45)/50=10%の生産性向上と計算できる。

前段の定義より、生産性を向上するためには、サイクルタイムを短縮する取り組みが必要であることが分かった。そのためには、まずサイクルタイムを常時計測してデータ化し、次にデータに基づいてムダ・ムリ・ムラを削減できればよい。一方で、ミキサー車の到着が遅れるなどの資機材の段取り不足、機械の故障や油圧ホースパンク等のトラブルによる作業停止時間(ダウンタイム)は、生産性を低下させる要因となる。従って、山岳トンネル工事の生産性を向上するためには、サイクルタイムとダウンタイムを最小化する現場マネジメントが必要となる。

従来、サイクルタイム計測は掘削担当者が切羽作業付近で時計やノートを用いて人の手で行っていた。しかし、トンネル工事は昼夜を通じて行われるため、こ

表一 各作業で使用される施工機械と車両の組み合わせ

作業内容	施工機械
削孔・装薬	ドリルジャンボ, 火薬運搬車
ずり出し	サイドダンプ, 重ダンプ, バックホウ, プレーカー
コソク	プレーカー, バックホウ
コンクリート吹付(一次)	吹付機, ミキサー車
鋼製支保工建込	吹付機(エレクター)
コンクリート吹付(二次)	吹付機, ミキサー車
ロックボルト	ドリルジャンボ, モルタル台車
補助工法	ドリルジャンボ, 注入台車

の方法では全サイクルを継続的に計測することは現実的ではなく、現状は生産性向上の検討に必要な十分なデータ量を収集できていない。また、トラブル発生時はその復旧が最優先となるため、作業停止時間を計測し統計を取ることもなかった。そこで、人に代わってその業務を担う機械やシステム開発が求められた。

3. AIの活用

(1) 解決のアプローチ

人が掘削作業内容を認識する過程を改めて振り返ると、そこでは主に視覚情報が使われている。なぜなら、表一で示したように、各作業に応じて固有の施工機械と車両の組み合わせがあるため、その作業で使われている施工機械や車両を目視すれば作業内容が概ね把握できるからである。この認知作業の模倣は、深層学習の画像認識技術、主に物体検知・追跡技術を用いることで達成できる。しかし、画像認識技術は視覚的に分かりやすい反面、物体同士が重なってしまうと背後にある物体を検知できなくなる弱点がある。トンネル掘削作業時は狭い範囲で施工機械が輻輳するため、その状況写真を撮影すると頻繁に施工機械の重なりが発生し、次の作業のために待機している施工機械も映り込んでしまう。画像認識技術だけでは作業内容の推定が正しく実行されない可能性があるため、聴覚情報を用いる技術、音声認識技術にも着目した。現場で作業を行う際にはその作業に応じた様々な固有の音が発生する。耳をつんざく削孔音やコンクリート吹付時の重低音、施工機械のエンジン音などである。画像認識技術と音声認識技術の両方を活用することによって、作業内容推定精度が向上すると考えられた。

(2) マルチモーダルAI

画像と音声のデータ取得は、マイクが内蔵された防

水防塵性能のあるクラウドカメラ1台のみで行うことができる。動画データは常時クラウド上にアップロードされるため、そのデータを画像認識AIと音声認識AIでリアルタイム分析することによって、作業内容の推定や施工管理に有益な情報取得が可能となる。このマルチモーダルAIの構造を図-2に示す。

取得データのの前処理として、動画データを画像フレームと音声に分割する。画像フレームデータのリアルタイム分析はYoLov5を用いた物体検知モデルを行い、その出力として現在作業で使われている施工機械の種類や画像内の位置情報を得る。作業内容の推定は、動画と音声の特徴量を利用するAIがそれぞれ出した出力結果を融合し、最終的な出力を得る。動画の特徴量を利用するAIは、物体検知モデルでは注目されない映像内にある全ての情報、例えばドリルジャンボのブームの動きやオペレータの動作なども学習に用いられるため、より多くの情報を活用できる。学習用に選定したモデルは2Dの画像平面情報と1Dの時系

列情報を考慮することが可能なR(2+1)D CNNであり、計算効率がよく過剰適合を緩和することで知られている。

音声認識モデルの学習は、元データを短時間フーリエ変換してメル尺度スペクトログラムを取得しVGGishを活用して行った。VGGishは現実世界の幅広い音声を網羅した学習済モデルである。

翻って、トンネル掘削作業の順番が変わることはない。発破したあとずり出しが行われ、コンクリート吹付後にロックボルト打設作業が行われる。この順番が決まっているというトンネル掘削作業の性質を利用したのが作業履歴参照AIであり、いわば短時間の記憶を持つことができるリカーレントニューラルネットワーク(RNN)が使われている。物体検知・画像認識・音声認識モデルは現時点での情報をリアルタイムに分析する一方で、このモデルは過去の作業の流れも考慮できるため、よりAIの作業内容推定精度を向上させることが可能になる。

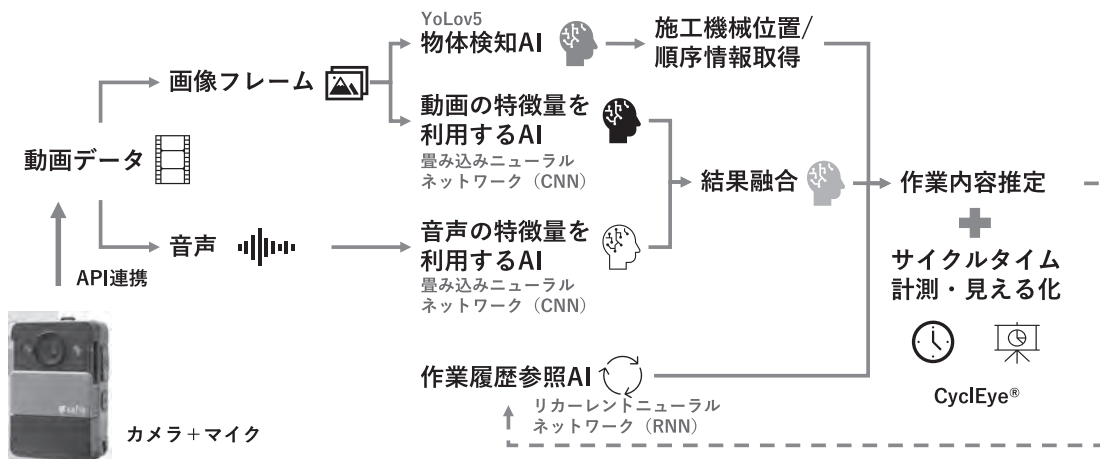


図-2 マルチモーダルAIの構造

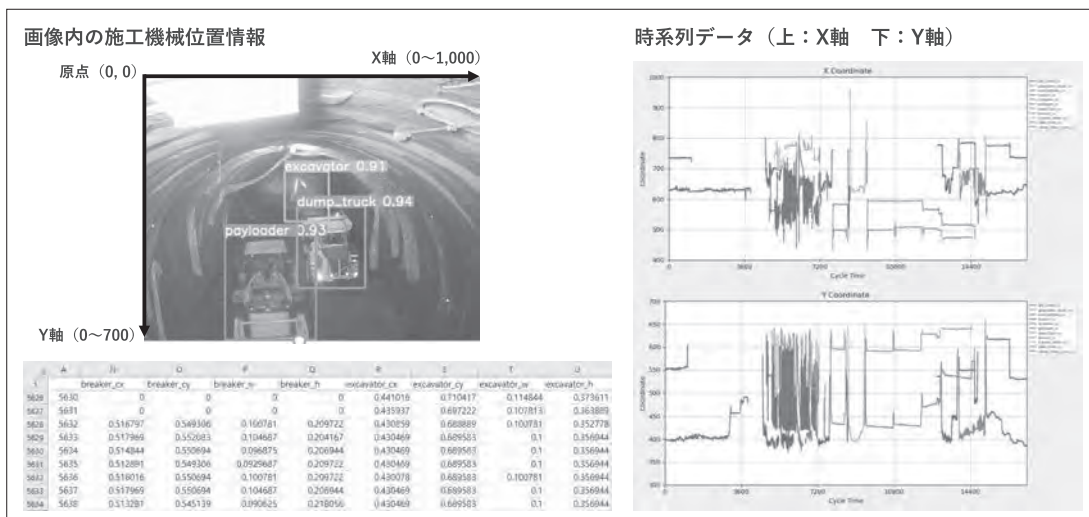


図-3 画像認識技術によって取得したデータ

(3) 取得データ分析事例

図一3は、物体検知 AI がズリ出し作業時の施工機械（バックホウ、サイドダンプ、重ダンプトラック）を認識している様子と、AI を用いて取得できるデータの一例を示している。施工機械を囲む四角は境界ボックスと呼ばれており、検出した物体名と精度の数値が上部に記載される。一般的に、深層学習では精度が90%を超えると高精度と言われる。当 AI の検知結果はすべての施工機械で90%を超えているため、高精度に施工機械の物体検知ができていると言えよう。

画像の左上を原点として、横方向を x 軸 (0~1,000)、縦方向を y 軸 (0~700) とし、境界ボックスの中心ピクセルの位置を常時計算することによって、画像内のどの位置にどの施工機械がいるかが識別できる。さらに、その機械がどのような動きをしているか、または止まっているか等の時系列データを取得することも可能である。

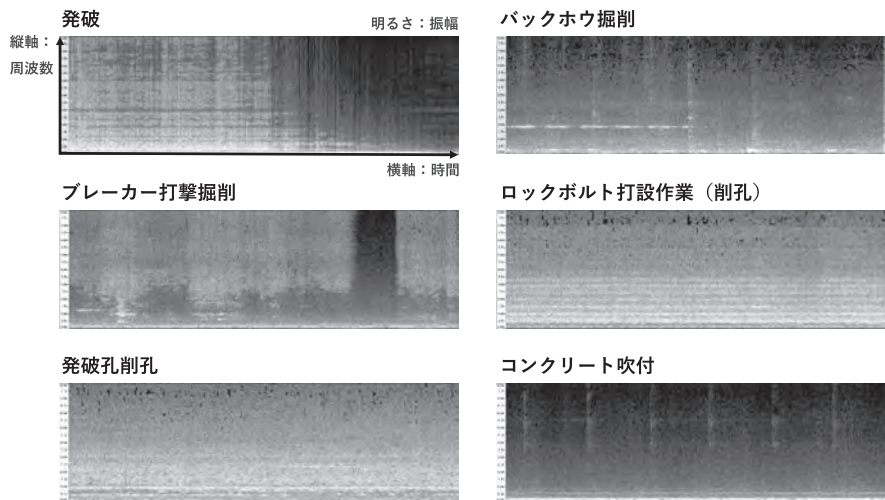
図一4は、作業時に発生する音をスペクトログラム

ムで見える化したものである。スペクトログラムでは、横軸が時間、縦軸が周波数、明るさが波の振幅（強度）として表現される。掘削音、削孔音、吹付音のデータはそれぞれ特徴的であることが分かる。これらを学習データセットに使用した。

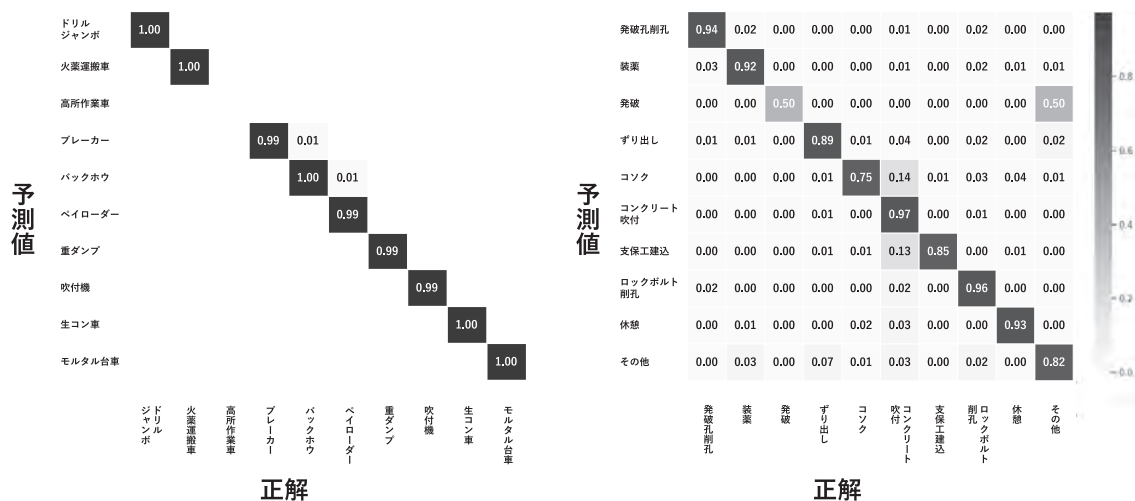
(4) 学習結果

7 サイクル、合計約 28 時間の動画データを学習データとテストデータに分割し、深層学習を行った結果を図一5に示す。左が物体検知の正答率、右が作業内容推定の正答率を示している。学習を繰り返すことによって施工機械の物体検知精度は99%程度まで向上し、実用に十分耐えうるレベルであることが分かる。

作業内容推定に関しては、画像内にあるドリルジャンボの情報だけでなく削孔音の特徴量を活用することで、画像認識だけでは識別が困難だった発破孔削孔作業 (94%) と装薬作業 (92%) を高精度に識別できた。また、物体検知だけでなく動画全体の特徴量を活用す



図一4 音声認識技術によって取得したデータ



図一5 学習結果 (左: 物体検知 右: 作業内容推定)

ることによって、ドリルジャンボのブームの向きが異なる発破孔削孔作業（94%）とロックボルト削孔作業（96%）も高精度に識別できた。一方で発破作業の認識に関しては、発破前は作業員や施工機械を一斉退避させるため画像に施工機械は何も写らず、何も作業していない状況、つまりその他作業と誤検知してしまった可能性がある。全体としては、学習データとテストデータが同じ現場データの場合、87%の正答率（Accuracy：0.87, Recall：0.78,F-score：0.79）となり高精度な統合 AI モデルを構築出来たことが分かる。

4. システムの概要

前述のマルチモーダル AI と、IoT 機器であるクラウドカメラを用いて山岳トンネル掘削の作業データを自動で取得し、分析後可視化するシステムを開発した。ウェブアプリケーション形式にすることによって、現場内外からスマートフォンや PC を用いてリアルタイムに状況を確認することができる。

現在状況の画面を図一6に示す。ここではまず、

クラウドカメラのリアルタイム映像を AI が物体検知している様子が確認できる。その右側には AI による作業内容推定結果（現在の作業）が表示されており、作業開始時刻と経過時間をリアルタイムで計測している。その他、AI とデータ分析によって取得できる重ダンプ搬出回数やそこから推定されるずり出し量、発破時刻なども表示される。

サイクルタイムの画面に遷移すると、ある作業日の昼勤（BBB 班）と夜勤（CCC 班）の AI によるサイクルタイム判定結果が表示される（図一7）。編集機能と CSV 形式による出力機能も実装した。現状の AI の正答率は 100% ではなく誤検知も含まれており、残念ながら 100% この結果を信用することはできない。幸い、動画データは 1 か月間サーバーに保存されているため、期間内であればいつでも見返すことが可能である。AI の判定結果が明らかに間違っている場合は、人が修正できる仕様とした。

各班の作業状況を可視化し比較することによって、競争意識が生まれる。もう少し早く掘りたい、その他（作業停止時間）を少しでも減らしたいというモチベーションが、作業員の能力や時間に対する意識を向上させる。過度の競争はかえって労働災害を発生させる原因にもなるためマイナスであるが、生産性向上を実現するためには適度な競争と緊張感を保つことが重要である。本システム導入により期待される定性的効果としては、①掘削作業の見える化（リモート対応）、②データドリブンな施工管理、③生産性向上（工程先読みによるムダな待機時間の縮減と資機材の段取り不足解消）、④夜間ずり出し量把握による残土運搬ダンプ手配の効率化などが挙げられる。



図一6 現在状況の画面



図一7 サイクルタイムの画面

5. おわりに

深層学習のゴッドファーザーと呼ばれるヤン・ルカン氏は、「現段階では、最も優れた AI システムをもってしても、人間の脳には到底及ばない。人間どころか、猫よりも知能が低い。」と述べている⁴⁾。AI は良心や常識も持たないしこの世界を認識できない。だが、本稿で述べたように AI の用途を特定のタスクに限定した場合、人間をサポートする非常に強力なツールになりうる。人間には 24 時間 365 日映像を見続けて切羽作業内容を記録していくことは現実的に不可能であるが、AI システムにはそれが可能だからである。

本稿では、ICT 技術の基幹技術である AI と IoT を用いて山岳トンネル掘削の作業データを自動で取得し、分析後可視化するシステム CyclEye[®] を紹介した。これまでは、どこに生産性を向上する余地があるかを検討するために必要なサイクルタイムのデータ量が圧倒的に不足していたが、本システムを用いることによってデータの収集、分析、結果表示が自動化され、データドリブンな現場マネジメントの手法を検討することが可能になった。

本システムで取得できる今後活用の余地があるデータとしては、図—3 に示した建設機械の時系列データが挙げられる。将来トンネル掘削の無人化・自動化

を実現させるためには、各施工機械がどのようなフォーメーションを組みながらどのように動くのかをシミュレーション環境下で施工機械に学習させなければならないが、そのための教師データとして利用できる可能性があるからである。本技術開発は ICT 技術による現場管理の効率化で終わるのではなく、その先の建設現場の完全無人化やロボットの活用まで見据えている。国土交通省が目指すインフラ分野の DX 実現に向けて課題は山積しているが、できることを一歩ずつ進めていきたい。

JCMA

《参考文献》

- 1) 国土交通省, インフラ分野の DX アクションプラン第 2 版 (案) について, 2023 年 7 月
- 2) (一社) 日本建設業連合会, 生産性向上推進要綱, 2016 年
- 3) (公財) 日本生産性本部, 労働生産性の国際比較 2021, 2021 年
- 4) Yann LeCun, ディープラーニング 学習する機械, (株)講談社, 2021 年

【筆者紹介】

吉田 健一 (よしだ けんいち)
 (株)大林組
 土木本部 先端技術推進室 技術開発部
 副課長



山岳トンネル用の自動ズリ積込み機

AI 機能搭載のズリ積込み機「AI ロックローダ」の開発

浅沼 廉樹・山田 照之・松尾 陽介

㈱フジタでは、山岳トンネルにおける自動ズリ積込み機「AI ロックローダ」を㈱三井三池製作所と共同開発。本機は、ズリをかき寄せる「掘削ブーム」・機械後方へズリを排出し、ベルトコンベアや重ダンプなどに積込みする「排土ベルコン」・機械運転席前方に配置した「センシング機」から構成され、AIによりズリのかき込みから積込みまでの一連の作業がオペレータ不要となり、省力化・省人化を実現した。また、発破後の掘削ズリを迅速に処理することで、切羽作業エリアを早期解放し、速やかに次工程（支保工作業）へ移行できるため、トンネル掘削のサイクル効率化が可能となった。

キーワード：AI, 省人化, 省力化, サイクルアップ, 早期開放, ズリ積込み

1. はじめに

近年におけるトンネルの技術開発は、穿孔位置誘導から穿孔作業までを可能とした「全自動ジャンボ¹⁾」、穿孔した装薬孔に装薬を行う「遠隔装填装置²⁾」、支保工建込みを行う「完全自動鋼製支保工建込みロボット³⁾」等、トンネル切羽近傍での技術開発が主流となっている（図-1 参照）。

これに対してずり出し作業は、掘削直後のトンネル素掘り面での作業となる事や運搬設備である重ダンプの台数、坑内外への運行サイクル等の制約条件から技術開発が遅れていた。この対策として、長距離トンネルのずり運搬方式では、重ダンプによるタイヤ方式から連続ベルトコンベア方式に変更する等の対策が取られ、ずり出しの効率化を図っていたが、これらの方式でも依然として次工程の支保工作業までのサイクル時間が長くなり、積込み機械（ホイールローダやバックホウ）オペレータの切羽での長時間拘束や掘削ずり運搬待ちによるサイクルロスが発生していた。

2. AI ロックローダの開発

AI ロックローダ（以下、本機）は、鉱山用ロックロー

ダ（㈱三井三池製作所製）を山岳トンネル向けに再設計した機体であり、機体の各軸やジャッキにはセンサを装備する事で作業時の重機挙動を取得できる ICT 建機となっている。本機にセンシング機器（LiDAR、画像センサ、各種センサ等）を搭載することで自動運転を可能とし、合わせて AI を搭載することにより、ずりの掻き寄せから積込みまでの一連の作業がオペレータ不要でずり出し作業における省力化・効率化の向上を目的としている。

(1) システムの概要

本機は、機体前方に仮置きしたずりを掻き寄せるためのバケットが付いた掘削ブームと、掻き寄せたずりを重ダンプや連続ベルトコンベア等に積込むための排土ベルコンで構成される。本体仕様と全景を表-1、図-2 に示す。

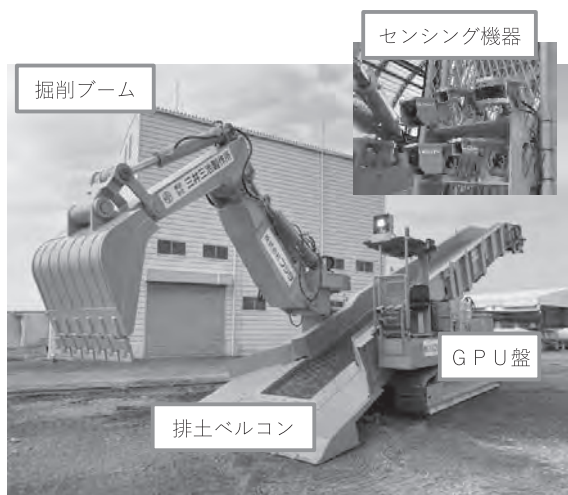
また、機体各軸や油圧ジャッキにセンサを装備する事で作業時の重機動作情報を取得可能とし、機械運転席前方に配置した、ずり計測を行う各センシング機器（LiDAR：三次元点群センサや超音波センサ、画像センサ）から検出したセンサデータを用いる事で、マシンコントロール可能な ICT 建機となっている。このセンサデータを機体後部に配置した GPU 盤（AI 自動

1.発破作業			2.ずり出し作業		3.吹付・支保工建込作業	
穿孔	装薬	発破	ずり出し	支保工 建込	吹付 コンクリート	ロックボルト

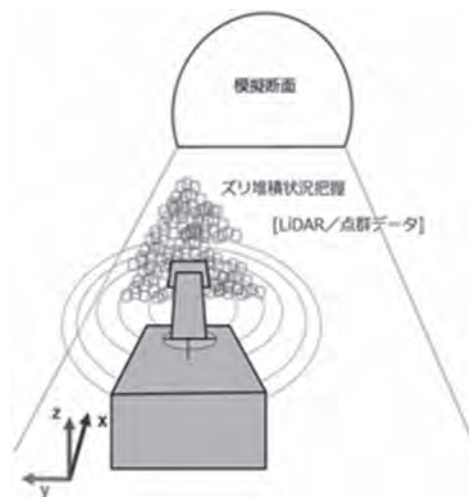
図-1 トンネル施工サイクル

表-1 本体仕様

全長	18.5	m	総重量	50	t
全幅	3.0	m	電圧	AC400 V	
全高	6.1	m	搬送能力	510	m ³ /h



図一 本機全景



図三 自動運転レベル1 (L1)

表一 センサ機器一覧

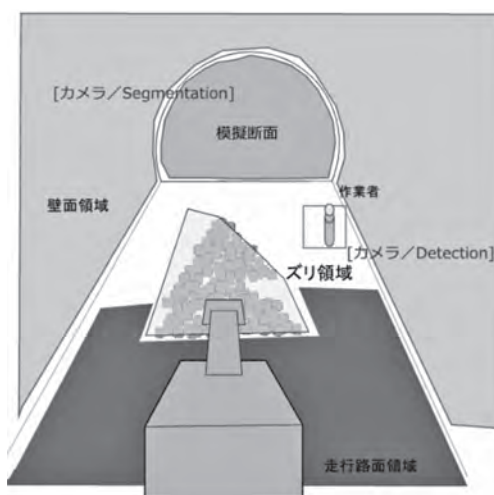
種別	メーカー	型番
ズリ計測用 3次元点群センサ LiDAR	Velodyne	VPL-16
ズリ認識用可視光カメラ 車載カメラ	Leopard	AR0231-GMSL
ズリ認識用赤外線カメラ サーマルカメラ	FLIR	BOSON ADK-VGA
傾斜・姿勢検出 IMU	多摩川精機	TAG264

運転盤)にて解析・判断する事で、AIによる自動運転も可能としている。また、手動運転にも対応しており、緊急時や本機配置場所までの移動など、通常操作を行うことも可能となっている。搭載したセンシング機器を表一に示す。

(2) 自動運転概要

自動運転に関しては、「自動認識レベル」に区分した機能が実装されており、現場実証では各レベルの組み合わせによる動作検証を実施した。

- ・自動運転レベル0 (L0)
バケットの動作を固定し、自動的に繰り返すことでズリ積みを行う。
- ・自動運転レベル1 (L1) (図一3参照)
三次元点群計測センサ (LiDAR) から得られる点群データを基にバケットの移動先 (ズリ位置) を動的に判断し、自動積みを行う。
- ・自動運転レベル2 (L2) (図一4, 5参照)
本体に取り付けたカメラ映像から画像認識機能により、ズリやトンネル壁面・重機・現場作業員などの対象物を認識し、これらの計測データをGPU盤に集約してAIによりズリの認識を行い、的確な動作



図一 自動運転レベル2 (L2)



図一 5 AI解析画面

パターンを解析・実行する事で切羽ずりの効率的な積み作業を行う。

3. 現場運用

(1) 自動運転 (AI) 教師データ取得

AIによる自動運転を行うためには、多くの写真データ (教師データ) の取得が必要なため、あらかじめ施工中の山岳トンネル2現場にて、カメラからトンネル

坑内画像やズリ画像を約 1,700 枚取得した。その後、学習データにのみ過剰に反応し、未知のデータに対応できない“過学習”に注意しながら学習を行った。AIでの学習後の動作結果を以下に示す。

- ・図一六では、切羽面を側壁と一部誤認識しているが、その他は正確に検知していることが確認された。
- ・図一七では、重機と作業員を誤認識なく検知していることが分かる。

このデータを用いて事前学習を行うことで、トンネル現場導入時の AI 教師データの作成期間の短縮を図る。

(2) 模擬トンネルでの検証

本機開発にあたり、(株)三井三池製作所大牟田工場内に模擬トンネル(写真一参照)を構築し、本機の動作確認や各自動運転の検証及び改良を実施した。模



図一六 データ取得後の認識結果①



図一七 データ取得後の認識結果②



写真一 模擬トンネル全景

表一三 作業効率比較 (模擬トンネル)

操作方法	作業効率		備考
手動	100	%	降車位置で操作
レベル0	90	%	
レベル1	41	%	近距離優先
レベル2	検知のみ確認		

擬トンネルは、高さ 6 m、幅 12 m、内空断面積約 55 m² の大きさであり、山岳トンネルを想定して遮光カーテンを用いて坑内照度の調整を行った。

各自動運転による効率比較を表一三に示す。効率の比較については、本機を手動で操作した際、ダンプ 1 台分へ所要時間を 100% とした。また、自動運転では、ズリ掻き込み動作の優先度を本機から遠距離としていたが、ズリをうまく掻けなかった事から、近距離動作優先に変更した。

検証結果として、以下の結果となった。

- ・L0 動作に関しては、固定動作での掻き込みとなる為、手動と同等の効率となるが取りこぼし量も多く見受けられたが、効率比較の差は 10% のみとなった。
- ・L1 動作に関しては、掻き込み動作毎にセンシングを行う為、待機時間が長く感じられたが、1 回当たりの掻き込み量は多く、取りこぼし量も少なく感じられた。
- ・L2 動作に関しては、掘削ズリと路盤との判断ができず掘削ズリの認識確認のみとなった。

(3) トンネル坑内での現場実証

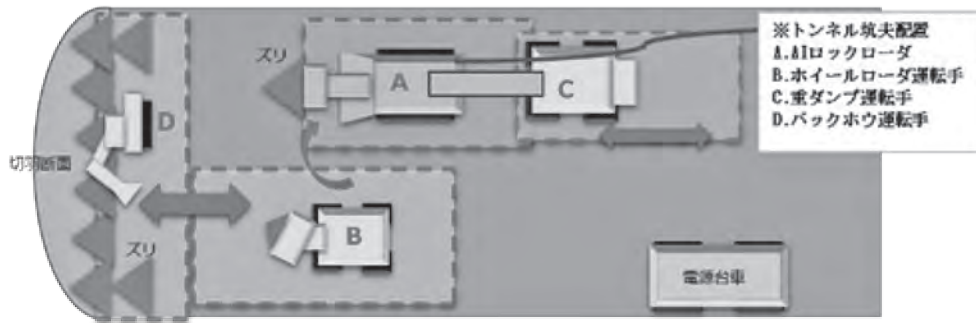
模擬トンネルでの自動運転調整と AI 教師データ更新を行った事から、次に山岳工法の発破掘削により施工する二車線道路トンネル(内空断面積 78.8 m²)において導入し、現場実証および実用化を行った。

運用方法としては、発破後のズリを切羽後方に配置した本機前方仮置き場に投入し、AIによる運搬機械(重ダンプ)への自動ずり積込みを行う。現場実証時のトンネル坑内レイアウトを図一八、写真二に示す。

作業の流れとしては、トンネル発破後に、下記サイクルでずり出し作業を行った。

- ①本機(A)を切羽より約 30 m 後方にセット。
- ②発破後のズリをホイールローダ(B)にて本機前方に積込・運搬を繰り返し実施。
- ③ずり搬送用重ダンプ(C)を排土バルコン後方に配置し、AIによる運転開始。
- ④重ダンプ入替え時、積込みを自動停止して入替え後にAIによる積込み再開。

これらのサイクルを繰り返す事で現場実証を行った。



図一8 坑内運用レイアウト



写真一2 坑内運用状況

(4) トンネル運用結果

トンネル運用結果としては、事前教師データの作成や模擬トンネルでの検証を導入前に行った事で、実トンネルでの導入準備期間の短縮が可能となり、自動運転は正常なことを確認したが、運用を続けて行く中で様々なトラブルが発生したため、以下の改良改善を行った。

- ・ AIによるずり認識について、ずり性状（色味や湿潤等）が変化した場合に AI 認識不良発生。
⇒切羽ずりの再教師データも追加し対応。
- ・ 掻き込み時にブームがスタックしずり出し停止。
⇒バケット動作モニタプログラム（キャンセル動作）を追加。
- ・ ダンプ誘導位置とズリ積み込み状況がわからず重ダンプ入替えにサイクルロス発生。
⇒排土ベルコン下部にライトとセンサを設置し、重ダンプオペレータに明示。

また、実際施工のサイクルの中、ずりを切羽後方に

仮置きする事で切羽の早期開放し、エレクター吹付け機を切羽へ早期に移動することができるようになったため、ずり搬出作業と支保工作業を同時作業可能となった。切羽の早期開放時の運用状況を写真一3に示す。

これにより現場運用結果として、

- ・ AIによるズリ積み込み作業において 60 m³/h の作業能力を確認。
- ・ ずり出し時の切羽早期開放による次工程への移行が可能となった。
⇒ (10%のサイクルアップ達成) (図一9 参照)
- ・ 積み込み作業のオペレータが次作業の支保工作業に従事する事で生産性向上。
⇒ 約 20%の省人化 (班編成：5人→4人に変更) 以上のことが可能となった。



写真一3 切羽の早期開放（支保工作業）

	1.発破作業			2.ずり出し作業		3.吹付・支保工建込作業				
従来	穿孔	装薬	発破	ずり出し		一次吹付 コンクリート	支保工 建込	二次吹付 コンクリート	ロックボルト	
AIロックローダ	穿孔	装薬	発破	ずり出し(仮置き)	一次吹付 コンクリート	支保工 建込	二次吹付 コンクリート	ロックボルト	10%削減	

AIロックローダによるずり出し

図一9 1サイクル当たりの作業時間比較

4. おわりに

ズリ運搬方式にこだわらない新たな手法として「AI ロックローダ」をトンネル坑内へ導入することにより、重ダンプや連続ベルトコンベアの運行サイクルに制約を受けずに切羽のズリを迅速に撤去でき、トンネル発破後の切羽作業エリアの早期解放による次工程の支保工作業へ円滑に移行が可能となった。以下の本機の特徴と今後の展開を述べる。

(1) 本機の特長

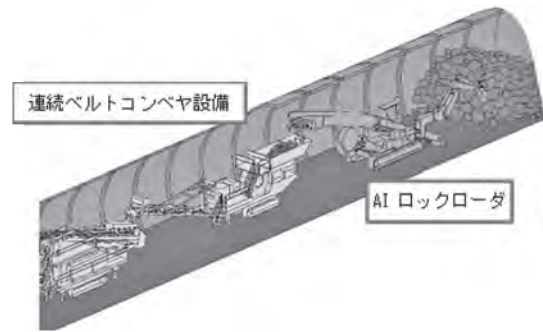
本機は、切羽でのズリ運搬作業の待ち時間が減少することでトンネル工事による施工サイクルタイムを改善するために開発された機械であり、

- ①生産性向上…ズリを後方に仮置きすることで切羽作業エリアの早期開放が可能
 - ②省力・省人化…AI自動運転によるズリの掻き込み・積み込みが可能
 - ③安全性向上…AIセンシングにより人の検知・積み込み機械の自動停止が可能
- という特徴が挙げられる。

(2) 今後の展開

今回の実証運用・検証では、回数を重ねるにつれて各自動運転レベルの作業効率は上昇した。今後も写真データの収集を継続し、AIによる追加学習を行い。ダンプ運搬方式の安全性向上や生産性向上など、自動運転の発展に努めていく。また、今回とはズリ運搬方法が異なる連続ベルトコンベア運搬（図—10 参照）への導入も進めていく所存である。

JCMA



図—10 連続ベルトコンベア運搬方式

《参考文献》

- 1) 永田常雄・大村修一・岩田文吾：削孔支援システム搭載型ドリルジャンボによる発破掘削，土木学会第54回年次学術講演会，VI-198，1999.
- 2) 小笠原裕介・坂下誠・浅井秀明・水谷和彦・五味春香・鈴木麟太郎：自動装薬システムにおける装薬孔位置検出システムの開発，土木学会第78回年次学術講演会，VI-957，2023.
- 3) 遠亮太・水谷和彦・坂下誠・浅井秀明：完全自動鋼製支保工建込みロボットの開発，土木学会第76回年次学術講演会，VI-914，2021.

【筆者紹介】



浅沼 廉樹（あさぬま なおき）
株式会社
土木本部 土木エンジニアリングセンター 機械部
上級主席コンサルタント



山田 照之（やまだ てるゆき）
株式会社三井三池製作所
技術開発部
部長



松尾 陽介（まつお ようすけ）
株式会社三井三池製作所
産業機械技術部 産業機械設計グループ
アシスタントリーダー

AI-ロードヘッダの開発

松尾 陽介

トンネル工事における担い手不足やよりよい作業環境を求める声、AI/IoTを活用した自動化、効率化の機運の高まりを受け、掘削に使用される自由断面掘削機ロードヘッダの付加価値として、離れた場所から機体を操作する遠隔操作機能と切羽における掘削作業を自動で行う自動運転機能を搭載したAI-ロードヘッダを開発したので、その主な特徴と実際の工事現場で行った実証試験の結果を紹介する。

キーワード：自由断面掘削機、遠隔操作、自動運転、省人化、IoT

1. はじめに

AI/IoT技術が身近なものとなり久しいが、土木の現場でも油圧ショベルなどの遠隔化、自動化といった操作技術の高度化が行われている。自由断面掘削機ロードヘッダにおいてはこれまで過掘りを防止するNARAIシステムや切羽におけるドラムの位置を表示するナビゲート機能といった機上での操作をアシストする機能はあったが、それ以上の発展は進んでいなかった。このような背景のもと、昨今のAI/IoT活用の機運を受け、自動で掘削を行う自動運転機能、遠隔から機体の操作を行う遠隔操作機能などを備えたAI-ロードヘッダ（以下、AI-RHという）を開発した（写真—1）。今回(株)安藤・間様のご協力により実現現場での検証を終えることができたのでその概要を紹介する。

2. 開発のねらい

ロードヘッダとは切削チップが配列された半球形の



写真—1 AI-RH

ドラムを回転させながらクローラによって自走し、岩盤や鉱物を縦横無尽に掘削する機械である。ドラムは機体前部のブームの先端に搭載されており、上下左右に振り、前後に伸縮しながら掘削を行う。

AI-RHは国内でメジャーに使用されているロードヘッダS200（以下、ベースとなったロードヘッダという）をベースとし以下の機能を搭載した。

- ①自動運転機能
- ②遠隔操作機能
- ③自己位置推定機能
- ④データ収集機能

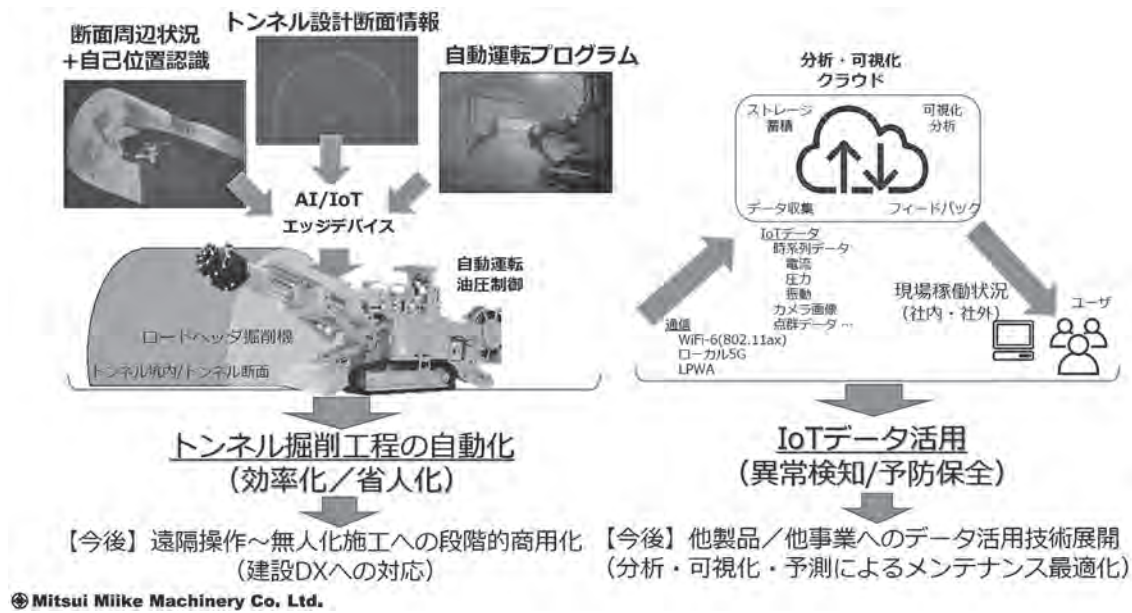
AI-RHは自動運転機能と遠隔操作機能を2つの大きな柱とし、その補助的な機能として自己位置推定機能とデータ収集機能を搭載する。断面周辺状況とトンネル設計断面情報、自動運転プログラムを組み合わせるとトンネル掘削工程の自動化を実現し、工事の効率化、省人化を目指した（図—1）。

3. 主な特徴

AI-RHの各機能の特徴を以下に示す。実現現場で行った検証結果も合わせて紹介する。

(1) 自動運転機能

AI-RHに掘削動作を自動化する自動運転機能を搭載した。機械に増設した自動運転処理PC及び油圧制御用PLCを用いる。①自動運転処理PCに対してあらかじめ設計断面を設定し、設計断面からはみ出さないように考慮した固定ルートをドラムの目標経路として設定する。②自動運転処理PCから油圧制御用PLC



図一 1 AI-RH 概念図

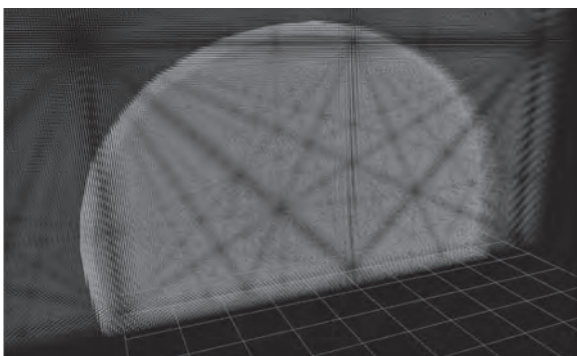
に対して指示を送り、ドラムの目標経路に沿ってドラムを移動させる。③油圧制御用 PLC は、油圧シリンダの電磁弁を制御しドラムを移動させる。各シリンダはストロークセンサーを装備し、そのストローク値を油圧制御用 PLC に常時フィードバックしながら制御する。

ドラムの移動は掘削による負荷を監視し、移動速度を調整しながら行うこととした。

実現場で検証を行った際には機体を切羽の中央に据えてドラムの届く範囲の掘削を行った。掘削の深さは 750 mm とした。手動での掘削と比べると 70% 程度の時間効率を有することが確認された (図一 2)。

(2) 遠隔操作機能

離れた場所に遠隔操作室を設置し、その中で AI-RH を操作する。AI-RH と遠隔操作室は無線と有線の両方を用いて通信し、AI-RH のすべての動作を遠隔で操作することができる。操作は若い人たちがなじみや



図一 2 設計断面

すいように遠隔操作用 PC に接続されたゲーム用のコントローラで行うこととした (写真一 2)。機体の周囲には 10 台+トンネル支保工に取り付けた後方確認用 1 台のカメラと 4 台のミリ波レーダを取り付け、カメラの映像を見ながら掘削、走行を行い、カメラでカバーできない範囲をミリ波レーダで探知し、周囲の安全を確保する (図一 3)。

遠隔で操作する以上、通信に遅延があると非常に危険である。そのため、通信の死活監視機能を搭載しており、通信状況が悪いときには電磁弁が OFF となり動作が停止する。通信が悪い状況が一定時間継続した場合は油圧用の電動機が停止させるようにした。

また、掘削アシスト機能として 3D モデルによって機体から見てドラムがどの位置にあるか表示させ、掘削の助けとなるようにしている (図一 4)。また、LiDAR センサーの点群データを遠隔操作室に表示させることで、周囲の状況をより把握しやすくしている (図一 5)。

実現場での実証試験ではトンネル坑口付近に遠隔操作室を設置、約 300 m 先の切羽にある AI-RH を遠隔操作し掘削を行った。掘削についてはカメラ位置の調整などはあるが、問題なく行えることが確認できた。こちらでも機上での操作と比較すると 70% 程度の効率を有することが確認できた。走行についてはカメラの解像度等を減らし、通信量を抑えるようにはしたが通信の遅延などもあり、まだまだ改善の余地が残っている。

今後は、より操作性を高めるために遠隔操作の画面の改良等を行っていく。



写真一三 実証試験時の様子

し、クラウドにアップロード、可視化を行う。アップロードされたデータはWEBブラウザ上で確認できるシステムを構築しており、ネット環境があればどこでもデータを確認することができる。

実現場での検証でも工場内の検証と同様にデータを収集し、持参したモバイル回線を用いてクラウド上にアップロードし、可視化できることを確認した(図7)。

4. その他の変更点

上記の機能を搭載するために、ベースとなったロードヘッドから以下の点を変更している。

(1) 油圧回路

ベースとなったロードヘッドではすべてのシリンダを一つのポンプからの油圧で動作させていた。AI-RH

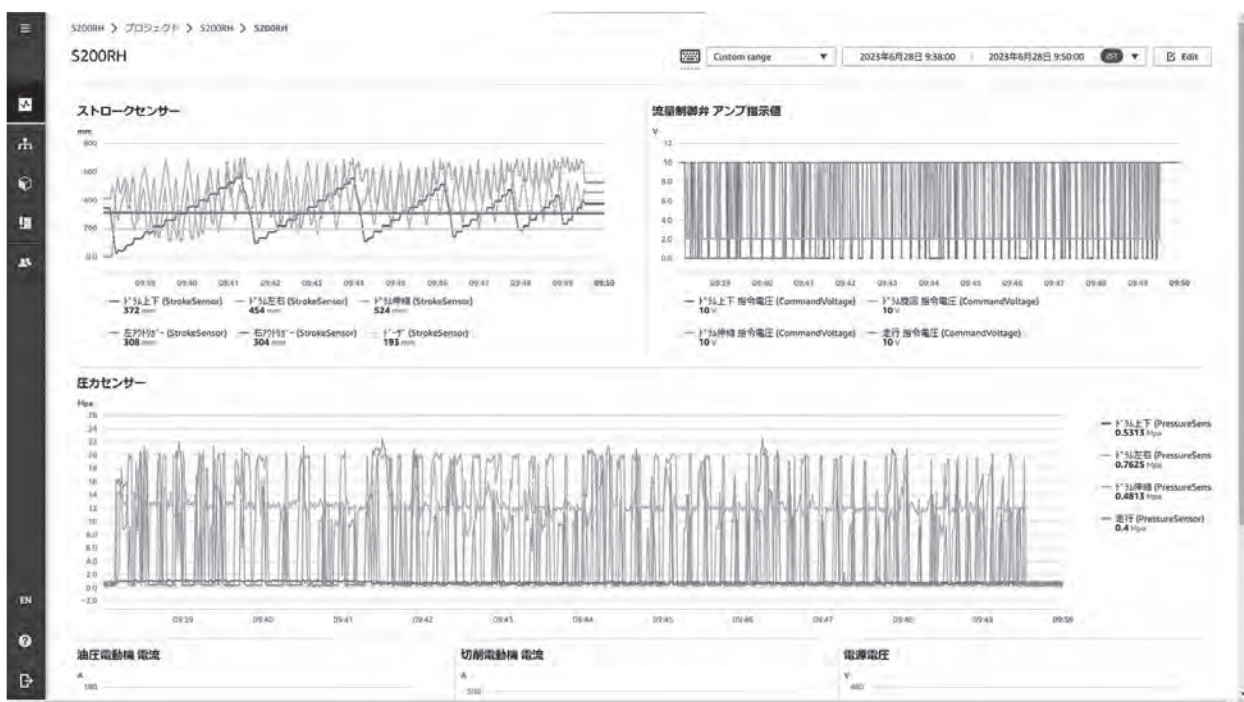
は自動運転時に掘削に使用するドラム上下、左右、伸縮の3種類のシリンダを各々制御するために一つのアクチュエータに対して一つのポンプとし、流量制御できるように変更した。これにより、より精度よくドラム位置の制御ができるようになった。

(2) PLCによる制御

ベースとなったロードヘッドではリレーによる制御を行っており、高度な制御を行うことができなかった。AI-RHを開発するにおいてPLCを搭載した制御盤に載せ替え、PLCで制御することで各センサーとのデータのやり取りや、自動運転プログラム通りに電磁弁を動作させる、ドラムの移動速度を変化させるなどといった制御ができるようにした。

5. おわりに

当社におけるAI、IoTを生かしたAI-ロードヘッド開発への取り組み、実証試験の結果などについて紹介した。実現場における実証試験において、各機能の現場で実際に使ってもらうための課題を確認することができた。AI-ロードヘッドはこれまで、弊社工場内で開発を続けてきたものであり、メーカーとしての考えで機能面や操作性といったところを検討してきた。今回実際に現場で実証試験をさせていただき、現場で使う側の意見を数多くいただくことができ、それを生かして2年後の商品化を目指してさらにより良い



図一七 AI-RH データ可視化画面

ものを目指して開発を進めていく。将来的には一人のオペレータが遠隔操作で複数の現場のロードヘッダを同時に操作するような未来を考えている。

今回実際にトンネル工事が行われている現場を用いた実証試験にご協力いただいた(株)安藤・間様にはこの場を借りて深くお礼申し上げます。

J C M A



[筆者紹介]
松尾 陽介 (まつお ようすけ)
㈱三井三池製作所
産業機械技術部 産業機械設計グループ
アシスタントリーダー



山岳トンネル施工管理システム「Hi-Res」の展開

サイクルタイム取得と電力管理により現場施工の効率化に貢献

涌井 遼平

建設業は人口減少と少子高齢化を背景として労働力不足が問題となっており、これを補うため、DXを活用した生産性向上が強く求められている。また、建設業は経済・社会・環境に多大な影響を及ぼすことから、社会的使命を果たすべくSDGsに積極的に取り組む必要がある。開発した山岳トンネル施工管理システム「Hi-Res」は、山岳トンネル工事の重機・設備の稼働状況を電気的信号で把握することで工種を判別し、効率的な設備稼働を支援するもので、生産性向上と省エネルギー化を実現する。本稿ではその機能と効果について紹介する。

キーワード：Hi-Res、山岳トンネル工事、生産性向上、省エネルギー、換気設備制御

1. はじめに

現在、我が国では人口減少と少子高齢化を背景として産業界における労働力不足が顕在化しつつある。建設業においても例外なく深刻な問題であり、女性労働者や外国人労働者の増強による改善策が図られているが、堅調な建設投資が続くと予想される中、継続的な人口減に伴う就業労働者数の大幅な減少により、労働力不足はますます深刻化すると予想されている。従って、このような状況を打開するため、建設生産プロセスを改変するDXを活用した生産性向上が強く求められている。

また、2015年国連サミットにおいて全会一致で採択された2030アジェンダにおいて、その中核をなすのが「持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals：SDGs）」である。経済・社会・環境に多大な影響を及ぼす建設業は、持続可能な社会の構築のため大きな責任を担っている。特に環境への対応として、脱炭素社会実現に向けた省エネルギーへの取組やCO₂排出量の削減は、工事現場それぞれで率先して取り組まなければならない課題である。

本稿では、上記課題の解決方法として開発した、掘削サイクル時の工種判別と換気設備の効率的運用を目指す山岳トンネル施工管理システム「Hi-Res」（以下「本システム」という）を紹介する。

2. 山岳トンネル工事の課題

(1) 生産性向上に関する課題

山岳トンネル工事にて代表的な工法であるNATMでは、掘削→ズリ出し→（鋼製支保工建込み）→吹付コンクリート→ロックボルト→掘削と、一定の作業（工種）を繰り返しながら掘り進めることになる。この繰り返しの作業（工種）を掘削サイクルと呼び、掘削1サイクルに要する時間をサイクルタイムと呼ぶ。

掘削サイクル内の各工種を効率良く実施し、サイクルタイムを短縮化することは、山岳トンネル工事の生産性向上に大きく寄与する。そのため、作業員が簡易的に手書きする日報（図-1）などからサイクルタイムを分析し作業の最適化を図ってきたが、より精度良く且つ効率的にサイクルタイムを取得する情報技術が求められていた。近年では、トンネル切羽に設置したカメラ映像から作業状況を解析し、掘削サイクル（工種）を判断するなどの新技術導入も進んでいるが、教師データ作成の手間や、判定精度の面での課題がある。

サイクルタイム	掘削区分			
	16	17	18	19
掘削準備				
(削孔・ブレイカー)				
装薬・発破				
ズリ出し				
浮石除去・当取り				
一次吹付				
支保工建込				
二次吹付				
三次吹付				
ロックボルト				

図-1 手書きでの作業日報

(2) 省エネルギーに関する課題

山岳トンネル工事は、掘削サイクル中に稼働する建設機械（ドリルジャンボ・吹付機他）や坑内環境を維持する換気設備（送風機、集塵機）の動力源を電力に依存し、その消費電力量も多いことから省エネルギー化が期待されるものである。これら機械・設備の内、最も消費電力量を伴うものは換気設備であり、現場の条件により異なるが、その総電力量に占める割合は一般に20%～30%程度と高い。

換気設備の仕様計画時には、「ずい道等建設工事における換気技術指針」に従い、建設機械の排ガスやコンクリート吹付に伴うセメント粉塵など、各工種にて生じる想定粉塵量を希釈するために必要な所用換気量の計算を行う。例えば、穿孔時と吹付時に要求される所要換気風量は、作業環境が異なるため差が生じる(表一)。一方で、現実における換気設備の管理では、掘削サイクルに応じて細やかな出力制御を行うことは難しく、所要換気風量を満たす出力設定で稼働を継続している場合が多い。

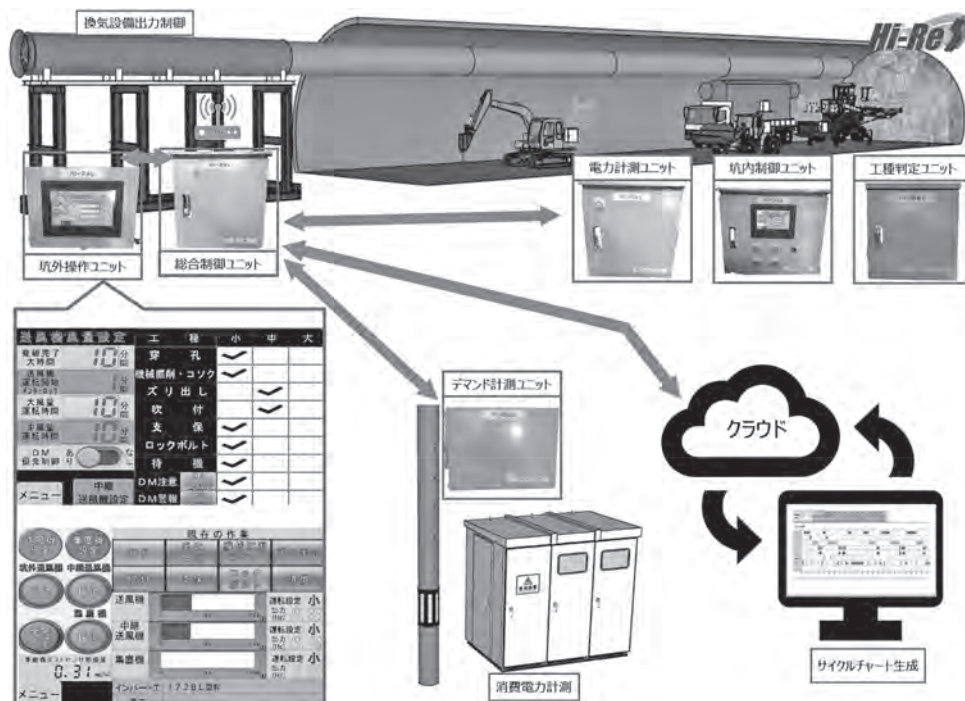
表一 換気指針に基づく発破掘削における所要換気風量の計算(例)

工種	所用換気風量 [m ³ /min]
穿孔	1,118
ズリ出し	1,887
支保工建込	1,184
吹付	2,041

また、既存換気設備（集塵機）の出力調整を自動的に行う一般的な機能として、設備に付帯したダストセンサー（粉塵計測）を用いてのフィードバック制御がある。これは粉塵濃度に応じて集塵機の出力（処理風量）を自動制御するものであるが、集塵機はトンネル切羽から距離があるため、トンネル切羽近傍で発生する粉塵が集塵機に到達するまで一定時間を要す。例として吹付時では、ダストセンサーが反応し集塵機の出力が増加するまでにタイムラグがあり、作業員に適した作業環境を担保することが出来ない。

3. 本システムの全体概要

本システムの全体概要を図一に示す。本システムは、トンネル切羽付近の建設機械に設置し稼働状態を把握する「工種判定ユニット」、現場全体及び各設備の消費電力量を計測する「デマンド計測ユニット」「電力計測ユニット」、各種データの収集と換気設備の集中管理を行う「統合制御ユニット」「坑内・外操作ユニット」で構成される。これらユニットにより工種を判別しサイクルタイムを取得すると同時に、工種に応じた換気設備の出力調整を行うものである。また、取得した各種データはクラウド上に記録され、事務所等にて状況確認を行うことができる。



図一 本システムの全体構成

4. 本システムの機能説明

(1) サイクルタイムチャート表示機能

本システムにおける機能のベースは工種判定にある。山岳トンネル工事の掘削サイクルにおける各工種は稼働する建設機械に依存する。そこで、各建設機械が稼働時に生じる電気信号を利用して工種を自動で判別する方法を検討した。例えば、穿孔時はドリルジャンボ単体が稼働するため、その油圧が稼働した際を工種判定のトリガーとすればよい。このように各工種と特徴的な建設機械を紐付けし、それぞれ稼働をトリガーとして工種を判別する。工種判定の一例を表一2に示す。

判別した工種はクラウド上に1分毎に記録され、チャート図形式で表示される(図一3)。電気信号のon/offや通信の細切れによりサイクルの帯が小間切れとなることもあるが、視覚的にサイクルの全体像を把握することができる。

(2) 換気設備(送風機, 集塵機)制御機能

前述に示す方法で工種を判別するが、工種毎に予め定めた出力設定(周波数の可変)にて換気設備を自動的に調整する。表一3にその一例を示す。換気設備の出力設定は、送風機・集塵機毎に大・中・小の3段階で行うことができる(周波数の設定)。

また、集塵機では前述の制御方法に加え、従来通りのダストセンサーによる制御方法を並行して行う。なお、安全面を考慮し、工種判定とダストセンサーの出力設定を比較し大きい方を選択する。

表一2 工種と建設機械・信号の関係

工種	建設機械	信号(トリガー)
掘削(穿孔)	ドリルジャンボ	ドリフター稼働
ズリ出し	サイドダンプ	エンジン稼働
支保工建込	エレクター付き吹付機	エレクター稼働
吹付	コンプレッサー	コンプレッサー稼働
ロックボルト	ドリルジャンボ	ドリフター稼働 角度センサー
待機	-	信号なし

表一3 工種毎の風量設定(例)

工種	送風機	集塵機
掘削(穿孔)	中	中
発破換気	大	大
ズリ出し	大	大
支保工建込	中	中
吹付	大	大
ロックボルト	中	中
待機	小	小→最小*

*集塵機の小設定は、一定時間経過後に停止(最小)

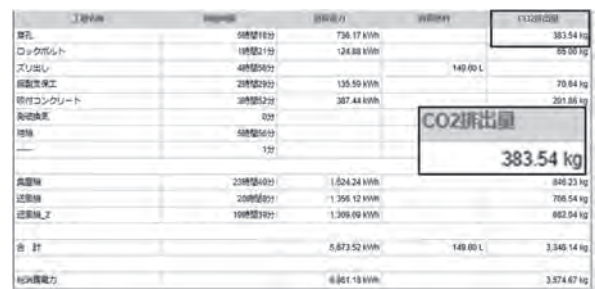
(3) 掘削サイクル時CO₂排出量推定機能

現場全体や各設備の消費電力量、または燃料系重機の稼働時間と時間当たりの消費燃料(建設機械損料やカタログ値を引用)からCO₂排出量を推定する機能である(図一4)。

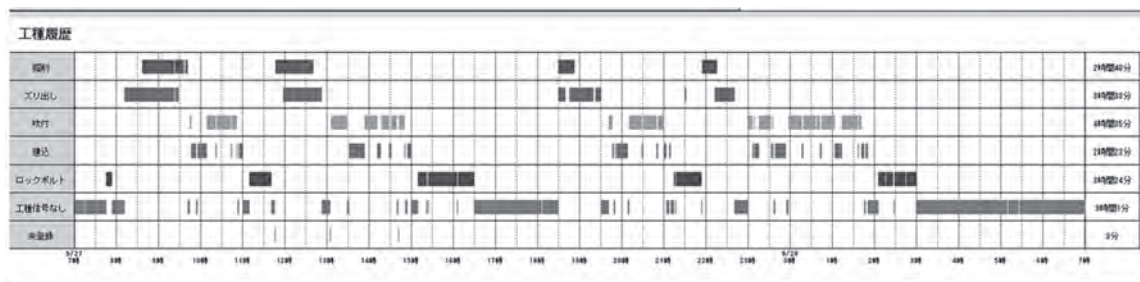
この機能により日・月・年間でのCO₂排出量が集計した結果がクラウド画面上に表示されるが、「数値の見える化」により職員等の環境意識が高まると考える。また、これら数字を分析することで本システムの稼働によるCO₂発生量への低減効果を正確に評価することが出来ることで環境対策強化に繋がる。

(4) 工程管理(斜線工程)機能

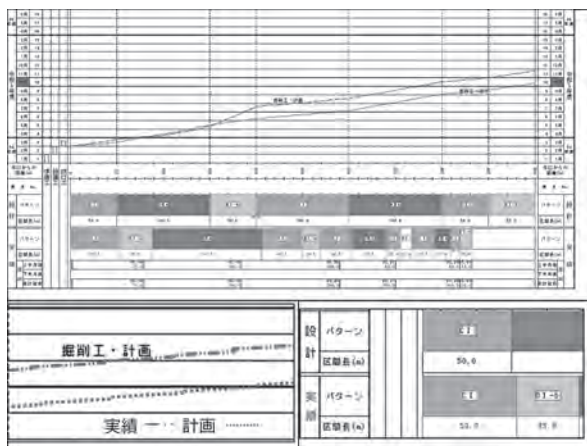
山岳トンネル工事において、進捗を管理するため斜線工程表を用いることが一般的であるが、本システムのクラウド管理画面でその作成支援を行うことが出来る(図一5)。予め設計データを入力した上で、日々実績データを入力すると自動的に斜線工程が更新され



図一4 掘削サイクル時CO₂排出量演算機能



図一3 サイクルタイムチャート図



図—5 斜線工程表作成支援機能



写真—1 実績データ入力状況

る。実績の更新にはクラウド管理画面はもとよりスマートフォンの専用アプリを用いる。導入した現場では、朝にトンネル切羽での進捗を確認した上でアプリへ入力を行うことが慣例となった。また、この記録は事務所に設置したモニター画面に表示され（ホワイトボード機能）、職員間でトンネル切羽の進捗情報を適時共有することが出来る（写真—1）。

5. 本システム導入による効果

(1) 生産性貢献支援

本システムのクラウド画面に表示されるサイクルタイムチャートは、分単位で自動更新される。そのため、作業開始前にクラウド画面を参照すると、職員が常駐していない夜勤の作業状況を視覚的に把握することが出来る。

また、サイクルタイムチャートにより、従来の手書き日報では反映することが出来なかった掘削サイクルの時間配分を正しく把握することで、掘削サイクル以外の付帯作業における工程や進捗予想を組立し易くな

る。ズリ出しの土砂運搬で用いる連続ベルトコンベヤの延伸作業を、掘削サイクルのどの合間に入れるかサイクルタイムチャートを基に検討を行い、よりロスのない計画工程としたことは、本システムを活用した事例の1つである。

工程管理（斜線工程）機能では、日頃発注者との打合せなどで多忙な職員同士が、クラウド画面を通じて負荷なくトンネル切羽の進捗情報を共有することが出来、導入現場において非常に好評である。

(2) 省エネルギーへの効果

本システムの導入を行った2現場の山岳トンネル工事における1年間（2022年8月～2023年7月）の換気設備消費電力量 [kWh] の実績値と、従来の運転方法による推定値（班の交代時間のみ出力を抑制、それ以外は一定出力で管理）を比較した結果、換気設備全体で平均約50%の削減効果があった（表—4）。

これだけ大きな削減効果を得られる理由は、換気設備はインバータによる周波数制御を行っており、理論上消費電力量は周波数と3乗倍の関係にあるためである。つまり、本システムにより所用換気風量を必要としない工種部分の出力を抑制することで、大きく消費電力量を削減することが出来る。

表—4 本システムと従来手法の消費電力量比較

2022/8～ 2023/7	(a)本システム(実績値)		(b)従来手法(推定値)		割合 a/b (%)
	消費電力量 [kWh]				
	送風機	集塵機	送風機	集塵機	
Aトンネル	256,608	115,948	453,199	237,540	54
Bトンネル	187,321	249,166	343,496	549,346	49

6. 今後の技術展開

各種機能を有し多くの副次的な効果を得るICT技術は有効なものであるが、現場にとって「面倒なもの」となるとは、機能を最大限に生かすことが出来ない。その上で本システムは、基本的に導入後の手間を要しないことが特徴である。ただし、現場での導入効果を確認する中で、いくつかの改善点が挙がっている。

例として、工種判定の基礎となるトリガー（工種判定ユニット）の安定性にある。工種判定情報の取得が安定的に行える状態を維持することが本システムの機能を担保する上で重要であるが、作業員により工種判定ユニットを取り外されていた、切羽付近でのWi-Fi通信が途絶えた、などが原因で長期間工種判定がされなかった事象があった。このような外的要因の影響を

排除し、確実にトリガー判定を行える手法を検討することが有効と考える。

今後も様々な現場の実証データを検証することで、よりよい効果的なシステムへ発展していく。

7. おわりに

本システムは、掘削サイクルにおける施工管理（サイクルタイムの取得や職員間の情報伝達）を容易にし、且つ工種に応じて適切な換気風量の自動制御を行う事で、省エネルギー化（電力削減効果）を得ることが出来る。特に電力削減効果は、適切な運用・管理を行う事でその削減率を向上させる。

最後に、SDGsの達成に向けて企業の貢献による社会的価値を創生していくことは非常に重要である。本システムにより工事現場の生産性向上や省エネルギー化を実現することで、社会的価値を享受することが出

来ると考えており、今後も引き続き山岳トンネル工事での導入を促進していく。

謝 辞

本稿は、菅機械工業(株)との共同開発における成果を報告するものである。各種現場検証や効果検証に対してご協力を頂いた。この場を借りて深く感謝申し上げます。

JCMA

【筆者紹介】

涌井 遼平（わくい りょうへい）
（株）安藤・間
建設本部 機電部
主任



トンネル吹付けコンクリートの面的厚さ管理技術

切羽吹付け作業のリアルタイムかつ定量的な管理が可能に

木下 勇人・竹中 計行・宮本 真吾

山岳トンネル工事では、切羽の崩落・肌落ち防止のためにコンクリート吹付け作業を行う。しかし、従来の吹付け作業は、オペレーターが切羽近傍で目視により厚さを確認して施工するものであり、吹付け厚さの定量的な管理が課題とされてきた。筆者らは、レーザー距離計を複数台用いて吹付け厚さを計測するシステムを2021年に開発したが、計測は複数の“点”に留まり、切羽の吹付け状況を“面”で把握できるシステムへの移行が課題として残った。今般、吹付け作業中にコンクリート厚さを面的かつリアルタイムに定量把握できるシステム「T-ショットマーカー フェイス」を開発したので、技術概要と現場実証実験の内容および結果について紹介する。

キーワード：山岳トンネル， NATM， 吹付けコンクリート， 面的計測， 三次元点群， 品質管理

1. はじめに

山岳トンネル工事では、切羽からの岩石落下等（肌落ち）による労働災害の発生が見られ、この肌落ち災害では、その半数近くが死亡または休業1ヵ月以上と重篤度が高い。厚生労働省は、山岳トンネル工事における切羽近傍の労働災害の防止を図るためのガイドライン¹⁾を2016年12月に公表、2018年1月には更なる安全性向上のために改正している²⁾。ガイドラインでは地山状況に応じて適切な切羽への吹付け厚さ（例えば、地山等級Ⅲ又はCクラスで30mm、地山等級Ⅱ又はDクラス以下で50mm）を最低限確保するとあり、当社では、ガイドラインに沿った吹付け作業を行っている。

従来の切羽への吹付け厚さ管理は、吹付けオペレーターが切羽近傍から目視で厚さを確認していた。この方法では、オペレーターの感覚や技量により厚さにばらつきが生じるため、まず複数台のレーザー距離計を用いて吹付け厚さをリアルタイムに計測するシステム「T-ショットマーカー」を開発^{3),4)}し、吹付け厚さの定量的管理を可能とした。これは、レーザーを照射した複数の計測点の厚さ情報から切羽全体の吹付け厚さを類推して管理するものであるが、切羽面積が大きくなると厚さを類推する範囲も同様に大きくなることから、詳細に切羽面全体を計測できるシステムへの移行が課題として残った。

以上から、作業中のコンクリート吹付け厚さを面的

に、かつ定量的に管理できるリアルタイム計測システム「T-ショットマーカー フェイス」を開発した。本報では、開発技術の機能や特長について述べた後、開発に当たってトンネル現場で行った実験内容と結果について述べる。

2. 技術の概要

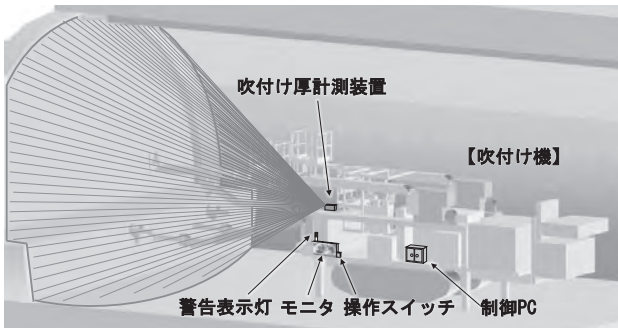
本技術は、コンクリート吹付け作業中の高粉塵環境下で切羽に吹付けられたコンクリートの厚さをリアルタイムに計測し、表示するものである。この技術により、オペレーターは鏡面の吹付け厚さを適宜定量的に把握しながら吹付け操作を行うことができる。本技術が有する主要な機能および特長を以下に述べる。

(1) 吹付け機へのシステム一括搭載

システムの構成機材は、**図—1**および**写真—1**に示すように吹付け厚計測装置、制御PC、モニタ、操作スイッチおよび警告表示灯であり、全ての機材は吹付け機に搭載される。そのため、吹付け機を切羽近傍にセットした後は操作スイッチを押すだけで計測が開始可能であり、施工サイクルに影響を与えることなく即座に吹付け作業が開始できる。

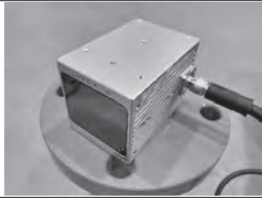
(2) 切羽全体の面的計測

吹付け厚さを三次元で把握するための計測機として、切羽形状を面的かつ高速・高密度に計測可能な



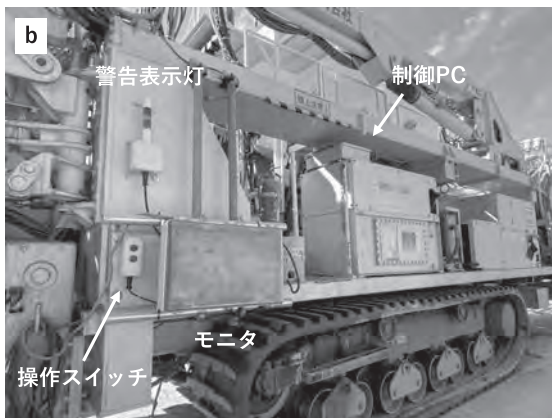
図一 1 T-ショットマーカ― フェイスの概要図

表一 1 3D-LiDAR の諸元

機種名	LIVOX AVIA
外観	
レーザー波長	905 nm
レーザークラス	クラス 1
反射率	190 m@10%, 260 m@20%, 450 m@80%
視野角	H : 70.4 度, V : 77.2 度
距離精度	<20 mm@20 m
ポイント率	240,000 点 / 秒
耐環境性	IP67
寸法・重量	91 × 61.2 × 64.8 mm ・ 498 g



(a) 厚さ計測装置



(b) その他機材

写真一 1 吹付け機へのシステム機材設置状況

(3) リアルタイム計測 & 表示

作業員のボタン操作による計測開始後は、作業中の吹付け厚さは常時計測可能となり、取得した厚さ情報は吹付け機に設置したモニタにカラー表示される(図一 2 参照)。表示画面は約 5 秒間隔で最新情報に更新されるため、オペレーター他の作業員・職員は、吹付け状況をいつでも定量的に確認できる。

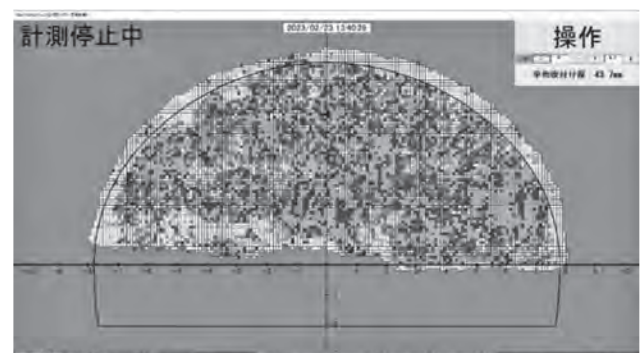
(4) 高精度の吹付け厚計測

図一 3 に吹付け中の吹付け厚さの 3 次元点群データを示す。吹付け厚さを粉塵の中でも高精度に計測するため、粉塵や吹付け材の跳ね返りなどの影響を低減するノイズカットフィルタ機能を装備している。更に 2 軸の傾斜計を計測装置に取り付けて、吹付け厚さの評価時に計測角度のデータによる補正も行っており、精度良く連続モニタリングできるようにしている。

(5) 出来形帳票の自動生成

吹付け作業終了後は、計測結果を整理し、出来形を含めた施工記録を帳票として自動で作成、出力され(図

3D-LiDAR を、後述する現場実験での比較検証結果により選定、採用した(表一 1 参照)。この 3D-LiDAR は、1 秒間に 240,000 点を計測でき、広い視野角を有するため、計測対象の大きい大断面トンネル施工においても 1 台で切羽全体の形状を把握することができる。また、3D-LiDAR を取り付けた吹付け機が、切羽全体を厚さ計測範囲内に収められる位置に確実に停車できるよう、目印となる計測中心を示すレーザーを装備する工夫も施している。



図一 2 吹付け厚さ表示画面

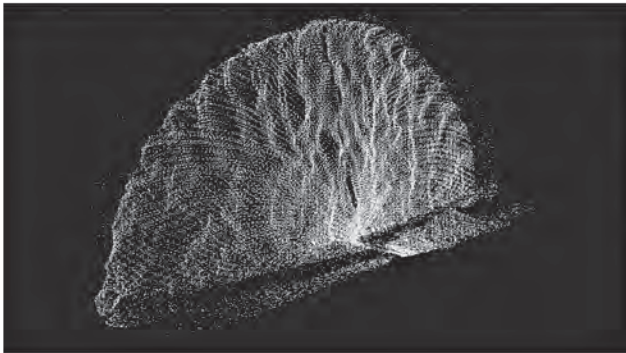


図-3 ノイズカット後の切羽計測点群

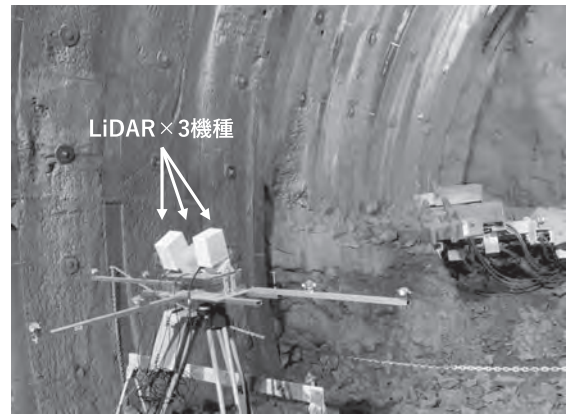


写真-2 機種選定実験状況

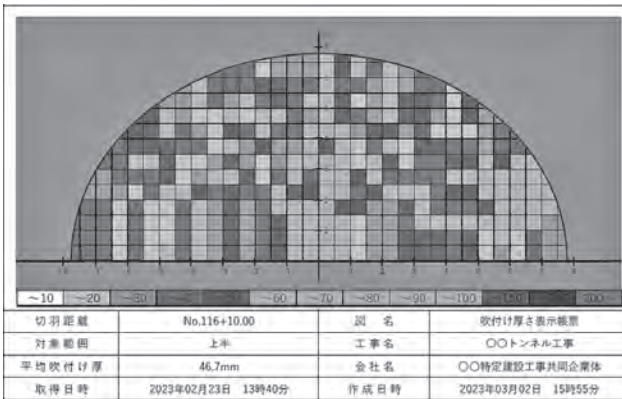


図-4 出来形帳票出力イメージ

一4 参照), 現場管理の利便性, 生産性の向上にも配慮されたシステムとなっている。

3. 現場実証実験

国内山岳トンネル工事現場にて, 次に示す3段階の実験を行って開発を進めた。ステップ1として3D-LiDARの機種選定を目的とした実験を, ステップ2として簡易版のシステム(以降「プロトタイプ」と称す)での性能確認および課題抽出のための実験を, ステップ3として改良を施したシステム(以降「改良タイプ」と称す)での性能確認実験を行った。本章では, これらの各ステップの実験内容と結果について述べる。

(1) 3D-LiDARの機種選定実験

ステップ1では, 3D-LiDARの機種選定実験および選定した3D-LiDARの精度確認試験を実施した。機種選定実験は写真-2に示すように3機種の3D-LiDARを並べ, 現場の高粉塵環境下での性能検証を行った。その結果, 表-1に示したLIVOX社製の3D-LiDARが, 他製品より計測精度や点群データの面的な取得率や計測範囲等で優れていたため, これを選定した。

計測精度については, スラリー急結剤を使用した吹付けコンクリートの施工を実施している2車線道路トンネル工事にて確認した。選定した3D-LiDARと精度を比較するための3Dスキャナ(FARO Focus S150)を吹付け機側方に三脚設置し, 各機器で吹付け前後の切羽面をそれぞれ計測し, その差を吹付け厚として算出した(写真-3)。この精度確認実験では, 3D-LiDARと3Dスキャナにそれぞれ基準点を付与することで, 取得した計測点群をトンネル座標系に変換・統一して比較する手法を採用した。なお, 各測点の吹付け厚の値としては100mm四方内の計測点群の平均値を採用した。この四方内平均値について, 切羽面上の測点24点で比較した結果, 選定した3D-LiDARは3Dスキャナと比較して吹付け厚さを最大13mm, 平均2.3mmの精度で計測可能なことが確認できた(図-5)。

以上の結果から, 3D-LiDARを使用して吹付けコンクリートの施工中に精度よく計測を行い, 吹付け厚さの算出が可能であると判断し, 以降の開発を進めた。

(2) プロトタイプ性能実験

プロトタイプの現場環境下での動作状況と, オペ

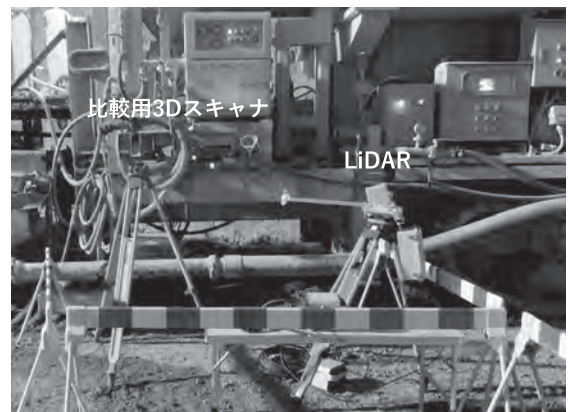
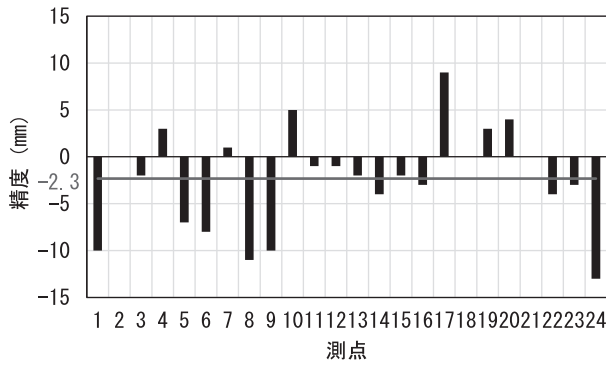


写真-3 計測実験状況

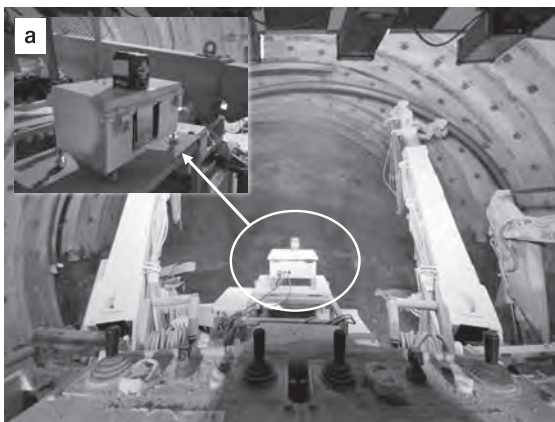


図—5 吹付け厚さ計測結果

レーダーが厚さ情報を参照しながら吹付けが可能であることを確認するために、計測精度の確認実験と同じ現場で検証試験を実施した。

(a) プロトタイプの様相

プロトタイプの厚さ計測装置は、写真—4に示すように3D-LiDARと姿勢補正用の2軸傾斜計、計測中心明示用のクロスレーザー、簡易シャッター筐体で構成し、吹付け機の運転席前方に強力マグネットで固定した。その他のシステム機材は、吹付け機の左側方に集中的に配置し、昇降部付近に制御PCを、前方ア



(a) 厚さ計測装置



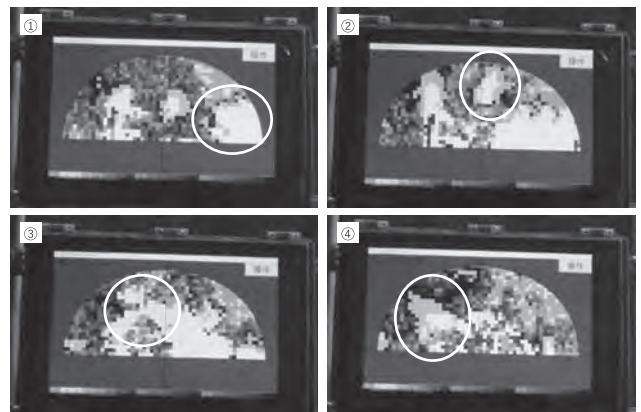
(b) その他機材

写真—4 プロトタイプ設置状況

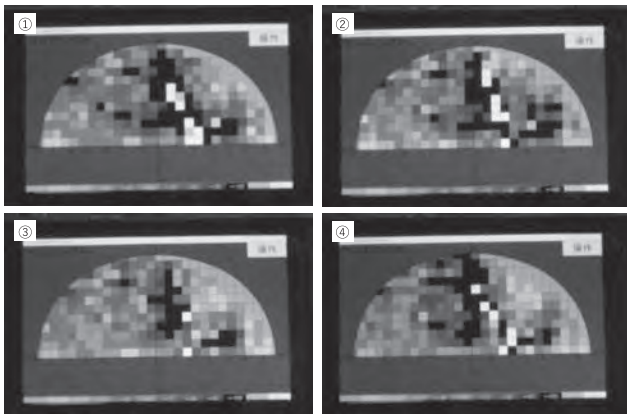
ウトリガ付近に操作スイッチと警告表示灯を、後方ホースリールの傍らに大型モニタをそれぞれ設置した。各機器は吹付け機の電源と連動する仕様とし、吹付け機のエンジン始動と同時に起動し、移動中にセットアップが完了する。吹付け機が切羽に到着した後は、人力で操作スイッチを押下することで警告表示灯の点灯と同時に初期計測を開始し、その後は自動的に常時計測へと移行する。システム稼働中は常に警告表示灯が緑点灯しており、不具合時には赤点滅とアラート音で周囲に知らせる。作業終了時は、再度操作スイッチを押すことでデータが保存されシステムが終了する仕様とした。

(b) プロトタイプの実験結果

実験の結果、計測開始から終了までシステムが正常に動作し、目的に吹付け厚さを計測・評価できることを確認したが、いくつかの課題も確認された。図—6に5秒間隔で更新する連続した4つの厚さ表示画面を示すが、切羽の各所でメッシュの色が一樣に定まらず絶えず変化する事象（以下、「ドリフト」と称する）が散見された。これは、吹付け作業に伴って切羽前方に粉塵が発生し、計測機が徐々に移動する粉塵を捉えた影響と考えられたことから、計測アルゴリズムの見直しを行った。点群の除外条件を検討し、メッシュ毎に5秒後の吹付け厚さが300 mm以下となる点群のみを採用して平均化するアルゴリズムに修正した。同時に、画面に複数の色が存在すると吹付け厚さを確認し難いとするオペレーターからの指摘より、表示色を青色基調に変更した。修正仕様で計測した結果、除外条件の変更により計測値のドリフトは大幅に改善した（図—7参照）。これにより、吹付け作業中の3D-LiDAR計測では、粉塵等の影響と考えられるノイズを除去できると判断できた。また、実験後に厚さ計測装置の防護状況を確認したところ、多量の粉塵の筐体内部への侵入が確認された。さらに、稼働中の3D-LiDARは



図—6 厚さ表示画面の経時変化



図一七 除外条件変更後の厚さ表示画面の経時変化

非常に高温となることも確認された。以上から、高温多湿かつ高粉塵環境となる実際の吹付け作業での長期運用に耐えうる仕様への改良が必要と判断した。

(3) 改良タイプ性能実験

改良タイプの実現場への適用性の確認を目的に、前述のプロトタイプと同じ現場にて性能実験を実施した。

(a) 改良タイプの変更点

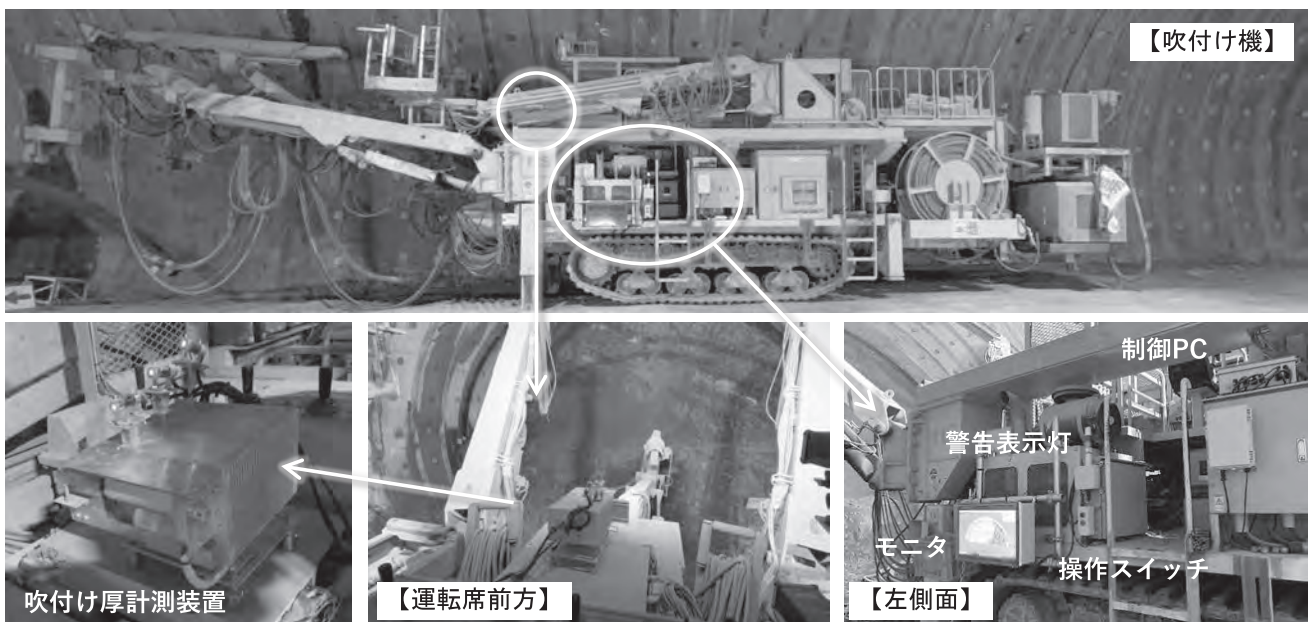
改良タイプのハード面の変更点は、写真一五に示すように筐体をアルミ製に変更して放熱性能の向上を図るとともに、計測に合わせて自動で開閉する電動シャッターを装備して、筐体内部への粉塵の侵入を極力低減する仕様とした。また、モニタの設置位置を後方ホースリール部から前方アウトリガ付近へと変更することで、吹付けオペレーターが作業中に容易に厚さ情報を確認できるようにした。また、計測中心明示用レーザーは視認性を確保するため、レーザーポイン

ターを並べて設置する仕様とした。

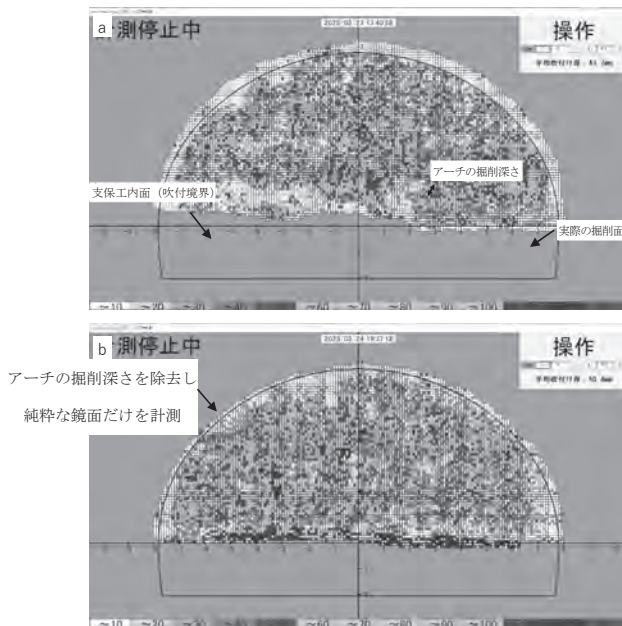
改良タイプのソフト面の変更点は、作業中の粉塵量は使用するコンクリート材料や温度変化により大きく変動するため、点群の除外条件を現場で容易に変更できる仕様にした。また、吹付け厚さの色表示やメッシュの大きさ等も現場で容易に変更できる仕様にした。

(b) 改良タイプの実験結果

複数回の吹付け作業中の実験から、本システムは高粉塵環境下においても安定的な面的計測が可能であることを確認した。吹付けオペレーターが作業中にモニタで容易に厚さ情報を確認でき、点群の除外条件を現場条件に合わせて設定することで、計測値のドリフトもほとんど発生しないことを確認した。また、実験終了後に筐体内部を確認したが粉塵の侵入は見られなかった。しかし一方で、課題として、アーチ付近の地山をどれだけ吹付けても吹付け厚さ表示が変化しない事象が確認された。図一八は吹付け中の厚さ表示画面であり、支保工内面位置を黒線で表示しているが、黒線より外側のメッシュ色がほとんど変化しなかった。これは、支保工設置のために深く掘り込まれるアーチ付近は粉塵が滞留しており、初期値計測時にこの滞留粉塵を計測することが原因と考えられた。そこで、アーチ周辺についてはノイズカットのための点群の除外条件をさらに追加した。点群除去に使用する基準点を中央の1点から、センターより左右に30度、60度のアーチ付近に左右それぞれ2点ずつ追加した。これにより、純粋な鏡面を正確に計測可能なことを確認した。



写真一五 改良タイプの設置状況



図一 8 プログラム修正前後の吹付け厚さ表示画面

4. おわりに

山岳トンネルのコンクリート吹付け作業の効率化と安全性の向上を目的にコンクリート吹付け厚リアルタイム面的計測システム「T-ショットマーカー フェイス」を開発した。開発したシステムは、現場の吹付け粉塵環境下における性能確認実験により、高精度に面的計測が可能であることを確認した。今後は、本技術を全国の山岳トンネル工事に展開し、各現場の環境や施工条件に合わせた改良を加えながら、吹付け作業の完全自動化も見据え、吹付け作業の更なる効率化と

安全性の向上を実現していきたい。

JCMA

《参考文献》

- 1) 厚生労働省：山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン，2016.12.26
- 2) 厚生労働省：山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン（改正），2018.01.18
- 3) 竹中計行，宮本真吾，宮原宏史，富川章：レーザーを用いた吹付け厚さモニタリングシステムの開発，土木学会第76回年次学術講演会，VI-439，2021
- 4) 木下勇人，竹中計行，宮本真吾，宮原宏史，富川章：山岳トンネルのコンクリート吹付け厚リアルタイム面的計測システムの開発，土木学会第78回年次学術講演会，VI-997，2023

【筆者紹介】



木下 勇人 (きのした はやと)
大成建設㈱
技術センター 生産技術開発部 地下空間技術開発室
主任



竹中 計行 (たけなか かずゆき)
大成建設㈱
技術センター 生産技術開発部 地下空間技術開発室
課長



宮本 真吾 (みやもと しんご)
大成建設㈱
土木本部 土木技術部 トンネル技術室
課長

掘削具合の可視化技術「SP-MAPS」を トンネル切羽に適用

掘削すべき“アタリ”箇所がプロジェクションマッピングで一目瞭然

邊 見 涼

山岳トンネル工事における発破掘削では、掘削仕上げとして、ずり出し後にブレイカーを用いて覆背面あるいは掘削内空断面に干渉する地山を除去するアタリ取り作業を行う。従来のアタリ取り作業では、掘削直後の不安定な切羽直近での目視による確認作業が発生するため、より安全な確認方法が求められていた。また、定量的な管理方法の開発も求められていた。本稿では、3D レーザースキャニング技術とプロジェクションマッピング技術をアタリ取り作業に活用した切羽版 SP-MAPS について紹介する。本システムはスキャナを用いて計測したトンネル掘削形状と設計形状の比較結果を基に、掘削の過不足量に応じて色分けしたマッピング画像を作成し、掘削素掘り面に照射することで、アタリ箇所を可視化する技術である。

キーワード：山岳トンネル，アタリ取り，プロジェクションマッピング，3D レーザースキャナ，切羽

1. はじめに

山岳トンネル工事における発破掘削工法では、発破実施後に、トンネルの設計掘削線の内側に残留した地山（アタリ）をブレイカー等で掘削し、設計掘削形状を満たすように地山を整形するアタリ取り作業を行う。従来のアタリ取り作業では、ずり出し完了後に、作業員が目視でトンネル切羽の素掘り面の掘削状況を確認し、アタリと思われる箇所をレーザーポインターにより重機オペレータに明示することが一般的である。しかし、このような方法では切羽からの肌落ちが発生した場合に作業員が巻き込まれる危険性があるなど、災害の発生リスクを十分に下げることができなかった。また、厚生労働省は山岳トンネル工事の切羽でたびたび発生する肌落ち災害の重篤度の高さから、平成 30 年に山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドラインを改正し、肌落ち災害の防止を図るために肌落ちが発生する切羽への立入を原則として禁止し、切羽に立ち入る機会を減らすために切羽における作業は可能な限り機械等で行うよう求めている¹⁾。そのため、アタリ取り作業においても作業員が切羽に立ち入る必要のないよう、目視に代わる管理方法が求められていた。

一方で、この従来のアタリ取り作業では、掘削の出来形を目視のみで確認することとなるため、その精度は作業員の経験や感覚に依存し、定量的に掘削出来形

を把握することが困難である。そのため、アタリ取り作業の繰返しによるサイクルタイムの増加や余掘りの発生に伴う吹付けコンクリート量の増加にもつながるため、効率的に余掘り量を低減する手法の開発も求められた。

上述のようなアタリ取り作業時の課題を背景にして、山岳トンネルの掘削出来形管理時の安全性、生産性向上を目的に、3D レーザースキャニング技術とプロジェクションマッピング技術を活用した計測照射システム切羽版 SP-MAPS を開発した²⁾。

2. 切羽版 SP-MAPS の概要

SP-MAPS[®]「Scanning and Projection MAPing System」(以下、本システム)とは、3D レーザースキャナ(以下、スキャナ)で対象の形状を計測し、パソコンで処理した計画掘削ラインとの差異をプロジェクタで対象に照射して見える化するシステムである(図一



図一 計測照射システムの概要

1)。これまで山岳トンネルのインバート掘削工事、ニューマチックケーソン工事に適用されてきた^{3), 4)}。

切羽版システムは、これまでの技術を山岳トンネル工事のアタリ取り作業に展開し、スキャナを用いて計測したトンネル掘削形状と設計形状の比較結果を基に、掘削の過不足量に応じて色分けしたマッピング画像を作成し、掘削素掘り面に照射することで、アタリ箇所を可視化する技術である。

(1) 機器構成

図-2 に切羽版システムを構成する機器、図-3 にシステム使用時の配置図を示す。本システムは、スキャナ、プロジェクタ、測量用のプリズム、ノートPC、測量機器(トータルステーション)から構成され、重機の往来の激しい切羽近傍において、掘削サイクルに極力影響を与えることなくシステムを運用するために、短時間での計測、照射を行うことが課題であった。そのため、トータルステーション以外の機器を車両に搭載することで機動性を確保した。また、一度に広範囲を照射し、かつ照射した画像の視認性を確保するために、プロジェクションマッピング用のプロジェクタ



図-2 切羽版システムの構成機器

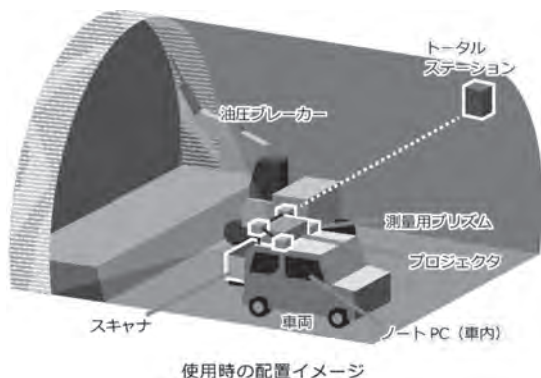


図-3 システム使用時の配置図

は高輝度 (15,000 lm) のものを採用し、単焦点レンズを取り付けている。施工中の坑内で使用するため、プロジェクタは防塵・防滴仕様の保護容器に格納した。

(2) 開発への取り組み

(a) 機器の改良

切羽版システムの開発にあたって、開発初期の機器構成ではプロジェクタに電力を供給する際に、外部電源を使用していたため、計測時には都度接続が必要となり、手間と時間を要していた。そこで、大容量のバッテリーを車内に設置し、計測から照射に至る一連の作業を格段に効率化した。

(b) 専用ソフトの開発

切羽版システムでは点群の分析や照射画像の作成において、システムを導入する現場ごとにトンネルの設計データ(トンネルの線形座標、計画掘削断面形状)の作成や変更を行う必要がある。当初は、専門技術者が手作業でトンネルの設計データの作成、更新を行っており、この作業に約3時間を要していた。この問題を解決するために、山岳トンネル工事の測量・計測データの収集・管理を行う施工管理システムと連携させ、線形データや断面形状情報の更新を簡易に行う線形・支保データ書き込みソフトを開発した(図-4)。このソフトにより、トンネルの設計データの作成や更新に要する時間が約1分まで短縮した。また、ファイルの出力にはボタンを1個押下すれば良いため、切羽版システムを使用する現場の関係者がトンネルの設計データを作成、更新できるようになった。

(3) 現場での使用時の流れ

切羽版システムの現場での使用時のフローを図-5に示す。

- ① ずり出し後、機器を搭載した計測用車両を切羽近傍に配置する。
- ② 車内に設置したノートPCの操作により、車両上部



図-4 線形・支保データ書き込みソフトの画面

に取り付けた4個のプリズムのうち、3個をトータルステーションによって測量することで、車両の自己位置を特定し、計測用・照射装置の基準点座標を取得する。

- ③車両後方に設置したスキャナの計測により、切羽の掘削素掘り面の形状データ（点群データ）を取得する。
- ④ノートPCで測量結果をもとに点群データの座標変換、掘削の計画掘削断面のデータと点群の比較が行われ、計画面からの距離に応じた色の情報が点群データに付与される。その後、色情報が付与された点群とプリズムの測量結果から、アタリ取りが必要な箇所を示すカラーコンター画像を作成される。
- ⑤高輝度プロジェクタにより、アタリ取りが必要な箇所を示す画像が切羽の掘削面に照射される。画像はマゼンタ、緑、青の3色で構成されており、マゼンタは掘削が必要な箇所、緑と青は計画掘削断面に対して内空が確保されている箇所(緑:余掘り量小、青:余掘り量大)を意味する。
- ⑥照射された画像をもとに、油圧ブレイカーのオペレータはアタリと判定されたマゼンタ色の地山を油圧ブレイカーで掘削する。
- ⑦再び③、④、⑤の作業を行い、マゼンタが照射されていた地山が緑もしくは青に変わればアタリ取り作業を終了し、計測用車両を撤収する。

フロー②でノートPCによりシステムの開始ボタンを押下後、車両上部のプリズムの測量から素掘り面のスキャンを経て、画像の照射までは自動で行われ、所要時間は約50秒である。また、アタリ取り作業が進み照射する画像を更新する際に、車両の位置を移動させていない場合は、トータルステーションによるプリズムの測量を省略できるため、約30秒で画像の自動更新および照射を行うことができる。そのため、作業員は掘削面に照射された画像から、掘削の過不足量を

連続的に視認しながら、仕上げ掘削を行うことができる。

3. 現場適用と成果

(1) 適用事例

これまでに、切羽版本システムを三遠南信自動車道三遠道路2号トンネル工事と東海北陸自動車道真木トンネル工事に適用した。本稿では真木トンネル工事での適用事例について述べる。

東海北陸自動車道真木トンネルは富山県南砺市に位置し、トンネル延長1,578m、掘削断面積77m²の2車線高速道路の2期線トンネルである。地質は主に濃飛流紋岩類の流紋岩および流紋岩質凝灰岩が主体であり、部分的に安山岩が貫入している。設計時の地山等級はCⅠとCⅡが大部分を占めていたが、切羽評価の結果、DⅠが主体である。切羽では140L/minの湧水を伴う天端崩落も発生しており、切羽近傍での作業を極力減らす工夫が求められていた。

(2) 成果

図-6に掘削の過不足の判定後の点群、図-7に真木トンネル工事での切羽版本システムの使用状況を示す。現場適用の結果、画像の照射により作業員による明示がなくとも重機オペレータにアタリ箇所を伝達できた。そのため、アタリ取り作業時に掘削状態を確認する作業員が不要になったことで、作業員が切羽内に立ち入る作業を1日あたり約2時間(1名×30分×4回)削減することができ、切羽での肌落ち災害防止に寄与することができた。また、出来形確認作業の効率化に伴い、不安定な素掘り面の露出時間が減り(標準サイクルタイム25分⁵⁾から8分短縮、約32%削減)、早期にトンネルの安定を図ることができた。さらに、アタリ取りが必要な箇所を正確に掘削することが可能

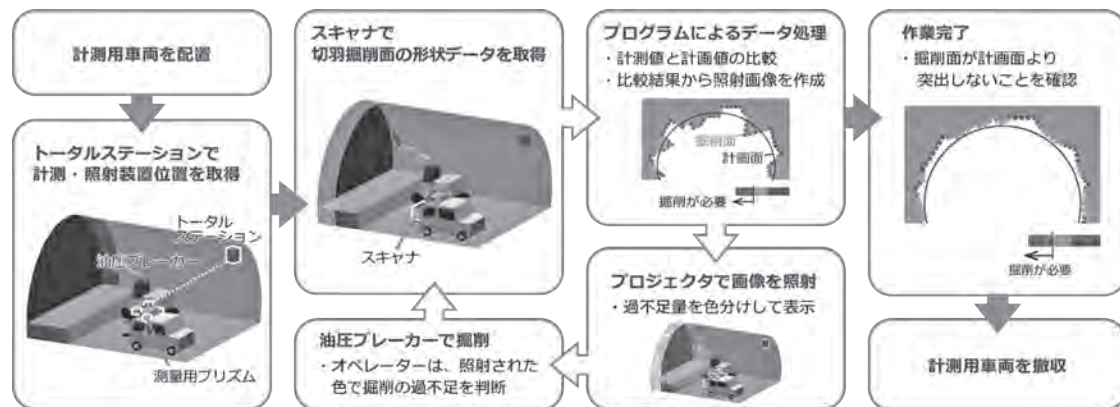
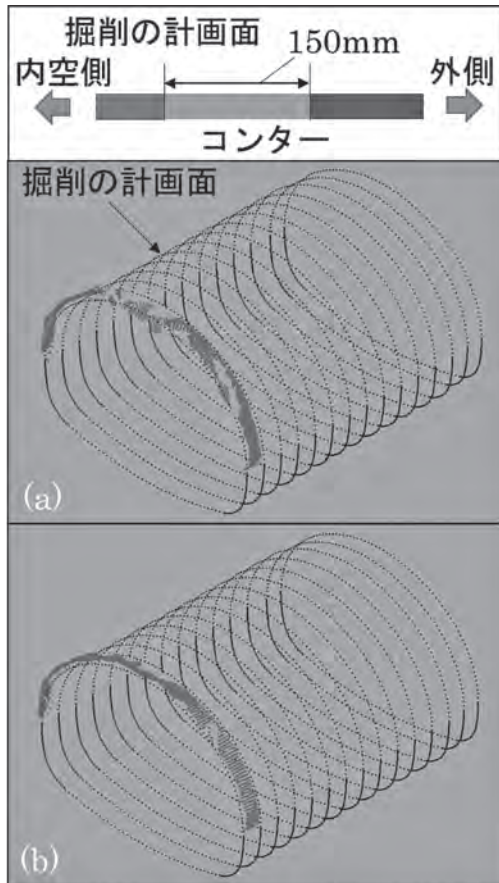
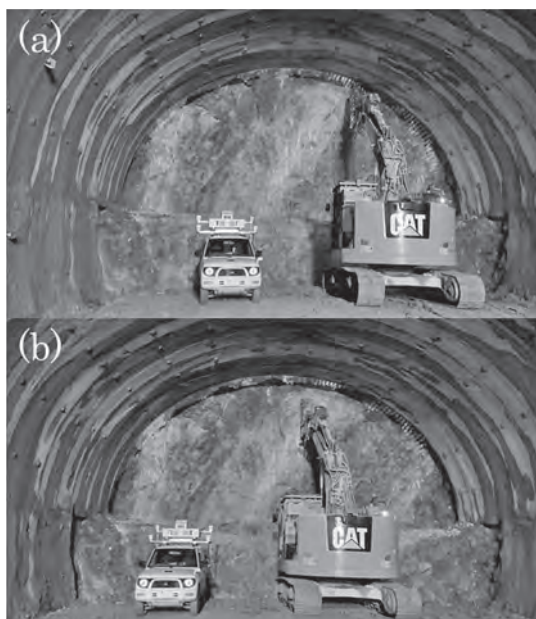


図-5 切羽版本システムの現場適用フロー

となったため、余掘り量が減り（従来比17%低減）、ずりの搬出量や打設するコンクリート量を削減した。システムの適用により、安全性と生産性の両面から大きな効果を得ることができた。



図一六 掘削の過不足の判定後の点群
(a: アタリ取り前, b: アタリ取り後)



図一七 本システムの使用状況
(a: アタリ取り前, b: アタリ取り後)

(3) 今後の課題

切羽版本システムは機器を車両に搭載したことで重機の往来の激しい切羽近傍において短時間での計測、照射が可能となった。しかし、現状のシステム構成では車両を切羽に近づける際に人が運転する必要がある。また、システム操作は車両に搭載したノート PC によって行うため、計測開始時まで人が車両近くに留まる必要がある。そのため、車両を遠隔操作可能なロボットへ置換することや、ノート PC の操作を遠隔で行うなどの改良を進めている。

また、システム運用時には車両を切羽近傍に固定させるため、車両との干渉を防ぐため、ブレーカーの作業範囲が制限される場合もある。システムの小型化、またはブレーカーの作業に影響がない位置から照射ができるようなシステムの開発を進めていく。

さらに、今後の展望として、切羽版本システムは平滑なトンネル内空断面形成に寄与することが確認できたため覆工背面の吹付け面の平滑化にも適用可能であると考え、切羽版本システムを吹付け面の平滑性の判定に応用した技術の開発にも着手している。

4. おわりに

本稿では、山岳トンネル工事のアタリ取り作業に3D レーザースキャニング技術とプロジェクションマッピング技術を活用した計測照射システム「切羽版 SP-MAPS」の概要と現場適用による効果について紹介した。本システムの導入により、切羽直下での作業員の目視確認作業を不要にし、余掘り量を削減するなど、安全性と生産性の両面から大きな効果を得ることができた。

現在、山岳トンネル工事では、引続き重篤災害発生率の下げ止まりや、人手不足や熟練技能労働者の離職による生産性の低下が課題となっている。本システムを改良しつつ、水平展開を進め、山岳トンネル工事全体の安全性・生産性のさらなる向上に努めていく所存である。

最後に、切羽版 SP-MAPS の開発にあたり現場における検証にご協力いただきました発注者の皆様をはじめ、関係者各位に厚く御礼申し上げます。

JCMA

《参考文献》

- 1) 厚生労働省：山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドラインについて、p.3, 2018.
- 2) 田中頼之、他：プロジェクションマッピングを活用した掘削仕上げ可視化システムの開発、土木学会第77回年次学術講演会、VI -922, 2022.

- 3) 青野泰久, 他: 3D スキャナとプロジェクションマッピング技術を組み合わせたトンネルの掘削管理, 地盤工学会誌, Vol.68, No.1, pp.28-31, 2019.
- 4) 石川七恵, 西川泰司, 石井洋一, 遠藤和雄, 橋本喜祐: ニューマチックケーソン掘残し部の可視化技術, 土木学会第76回年次学術講演会, 2021.
- 5) 土木工事積算基準令和4年度版 第19編 トンネル工 9. 爆破掘削方式 (補助ベンチ付き全断面掘削工法), pp.19-12.



[筆者紹介]

邊見 涼 (へんみ りょう)

清水建設㈱

土木技術本部 地下空間統括部 トンネル設計グループ



屋外型拡張現実 AR システム Trimble SiteVision

AR を活用して 3 次元データを現地で可視化

鈴木 勇 治

ICT 活用工事、BIM/CIM、インフラ DX などにより現場のデジタル化が進み、設計から工事竣工まで 3 次元データが重要な位置を占めている。なかでも、測量、出来形管理、建機施工が 3 次元データを基本として進むこと、現地では丁張が削減されたことで、工事の正確な完成イメージや工事進捗のイメージが、図面と照らし合わせた目視確認では困難となっている事に加え、他者との共通認識を持ち難くなった。

屋外型拡張現実 AR システム Trimble SiteVision は、精度の高い GNSS 測位を受けたタブレットやスマートフォンのモニタ上で、正確な位置に 3 次元データを投影するシステムであり、施工位置出し、施工精度確認、進捗確認や工事に関する合意形成の促進などに効果が得られる。技術紹介に併せて導入効果について紹介する。

キーワード：ICT 活用、インフラ DX、BIM/CIM、3 次元データ、AR、可視化

1. はじめに

令和 5 年度で i-Construction は 8 年目を迎えている。これまでの ICT 活用工事では、2025 年度までに建設施工を 20% 効率化するなどの目的の下で、主な施工現場作業の 5 場面において、3 次元計測技術、3 次元データ、ICT 建機施工といった直接的な技術が投入されてきた。これにより、国土交通省直轄工事における ICT 活用率が向上し、県市町など地方自治体発注工事においても効果が得られている例が挙げられている。しかし、i-Construction が立ち上がった当初から大きく懸念されている“人材不足”が、建設業界のみではなく日本社会全体の喫緊の課題となっていることに加え、働き方改革が更なる拍車をかけていることに起因して、日本社会のインフラ整備持続が危機的な状況となっている。そのため、作業効率向上と省人化が望めると共にデジタル時代に見合うツールの活用が必須とされている。

また、ICT は要所活用に留まることなく、一連の作業や現場全体を見据えた活用が望まれていることで、各場面を繋ぐ 3 次元データの活用が要求されると共に、BIM/CIM においても 3 次元データの活用が義務項目として掲げられている。

屋外型拡張現実 AR システム Trimble SiteVision (以下本システムという) とは、AR を活用したモバイル機器を通して現場で 3 次元データを可視化する技術で

あり、ICT 活用工事の 3 次元設計データをはじめ、作成した様々な 3 次元データを現地の位置(座標など)に合わせて表現する、3 次元データの目視確認を可能とするシステムである。

なお、AR (Augmented Reality = 拡張現実) とは、**図-1** に示すように、モバイルのモニタに映る現実の風景に、3 次元モデルやアニメーションなどの仮想データを重ね合わせるシステムを指すもので、MR (Mixed Reality = 複合現実) などと表現されることもある。

2. 本システムの概要

本システムの機器構成は、**図-2** に示すように、GNSS 受信機 (アンテナ)、モバイルタブレットまたはスマートフォン (以下モニタという)、ハンディステックまたは計測用ポールで構成されており、GNSS 位置情報に加えてモニタが捉えている映像の方



図-1 AR (Augmented Reality = 拡張現実)



図一 本システム構成



図五 本システムによる状況

向を感知して、モニタ映像の位置に合わせて正確な3次元データを表現することが出来るシステムである。

例えば図一3の様に現状地形に対して天端の盤下げと拡幅を計画している工事について、従来の施工方法では丁張を設置して施工位置や形状、高さを示して、これらの丁張を指標として設計図面を目視確認することで施工形状がイメージできるが、ICT活用工事などでは、3次元データを活用しながら作業の効率化を図るために丁張を設置しない場合が多く、この場合では完成形状をイメージし難くなることに加えて、複数人のイメージに差異が生じる可能性がある。この現場の3次元設計データを現地に重畳すると図一4の様になるが、デジタルデータは目視することが出来ないため、ARを活用した本システムを通して見ると図一5の様に可視化することが可能となる。

3. 活用事例

搭載する3次元データは、一般的な3次元モデルを



図一 施工位置と丁張



図四 3次元設計データ重畳状況

搭載することが可能であるので、ICT活用工事で作成する立体形状の表面のみを表現するサーフェスデータの他に、内面形状や複数層の情報を持つ複雑な3次元データなどを搭載することが出来て、現場状況や目的などに合わせて表現することが可能である。以下に様々な表現方法を紹介する。

図一6は、道路土工現場に対して、路体、路盤や水路などの工種に応じて色を分けると共に、データごとにレイヤを分けることで、モニタ表示で選択しながら表示することが出来る。

図一7は、道路改良工事のボックスカルバート工事の現場で、この3次元データでは標高差や法面形状を視覚的に分かりやすくする事を目的として等高線表示としている。

図一8は、都市計画道路（高架橋）現場で、このデータは実際の色に近い色彩で表現していることで、工事関係者以外の一般の方でも完成イメージを持ち易くなっている。通常の都市計画表現方法では、鳥観図などを作成した俯瞰する表現としていることが多いが、このように人の目線からあらゆる方向に対しての目視確認が可能となることで、位置関係を確認できるだけでなく、共通イメージを持つことが実現できる。

図一9は、地下埋設物の電線共同溝を示すデータを搭載した状況であるが、データは地下に存在するため地表面との位置関係が分かりにくいので、円形や矩形で任意の大きさや深さで、映像内に掘削をイメージした処理を行うことで地表と地下との位置関係が明確に確認できるようになる。

図一10は、PDFの2次元データを搭載した状況を示している。座標を持たない建築現場や、3次元データを作成するまでもない構造物の位置出しなど簡易的に利用する場合に、通常利用される2次元のPDFデータを取り込み、現地位置に整合させることで、PDFデータ上での位置出しや工事確認が可能となる。

以上のように、データの表現を適切に設定することで、施工位置の確認、施工済み箇所の位置確認、既存



(現地状況のみ)

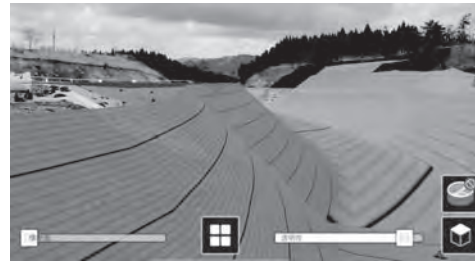


(3次元データ重畳状況)

図一六 道路土工現場の例



(現地状況のみ)

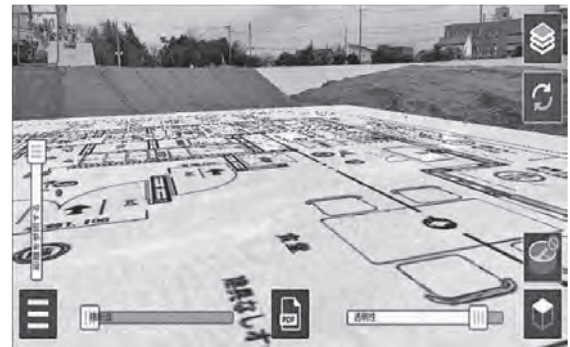


(3次元データ重畳状況)

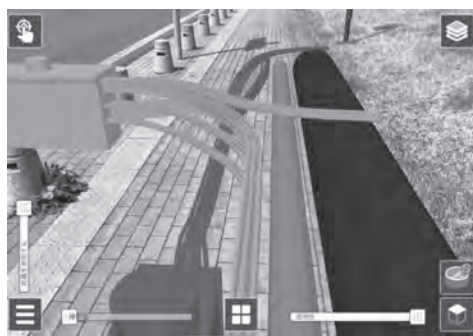
図一七 道路改良工事 ボックスカルバート新築工事の例



図一八 都市計画道路（高架橋）現場の例



図一十 PDF データ活用状況の例



(データ全形表示)



(地盤掘削表示)

図一九 地下埋設（電線共同溝）現場の例

構造物や現地形との位置確認など工事の要点に対する活用の他に、近隣説明など工事図面を見慣れていない一般の方にも正確な情報を伝えることが出来てスムーズな合意形成を図ることが出来る。

4. 簡易計測機能

本システムは、GNSS 受信機の位置情報を利用して、GNSS 測量用ローバー並みの測位精度における計測を実施することが可能である他に、使用する

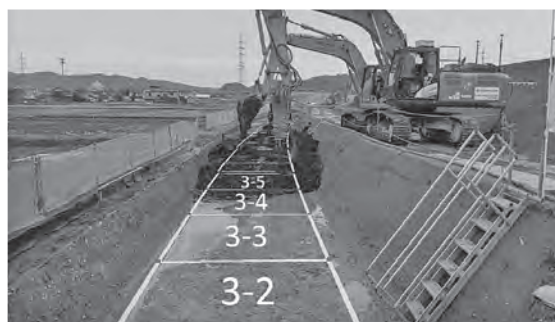
るモニタでLiDAR機能を搭載している機種であれば、精度の高いレーザー計測を実施することが出来る。主な計測機能を下記に示す。

【単点計測・切盛高計測】単点計測は目的箇所1点に対する3次元座標計測で、切盛高計測は単点計測と3次元設計データとの比高を求めることが出来る。図一11に切盛高計測の状況を示す。

【2点間計測・連続計測】2点間計測は、単点2点間の長さ、比高、勾配を求めるもので、連続して観測することで延長が求まる。

【面積計測・体積計測】面積計測は、連続計測で包括した範囲の面積を求めるもので、体積計測は包括した立体物の体積を求めることが出来る。図一12に体積計測の状況を示す。図一12の計測の場合では、砕石材料底面部をGNSSローバー機能で計測し、立体表面はLiDAR機能で計測を行ったが、立体表面の計測にあたっては、モニタ上で計測点に対するTIN（不等三角網）形状が示されるので、実際の形状と計測した形状の差異を確認しながら、実形状に近いデータを取得することが可能である。

【施工箇所マーキング機能】図一13は地盤改良工事の状況を示すもので、施工が完了した範囲を個別に



図一13 施工位置マーキングの状況

マークすると共に番号を付している状況である。

5. 導入効果

新たなるインフラ整備では、様々な3次元モデルを取り扱うことが進められており、施工の場面に留まらずに設計や都市計画、維持管理などインフラ整備を取り巻く広い環境での活用が推奨されている。デジタル時代の建設産業では、3次元設計データを始めとする3次元モデルを搭載したデジタルツールを利用することで、作業性向上や省人化などに効果があるが、3次元モデルはデジタル機器の中に存在するため、現地での確認が容易に行えないことが欠点であり、このことは、設計情報が確認しにくいばかりではなく、共通認識にズレが生じやすくなることに加えて3次元データのミスに気が付きにくい特徴がある。

ARを活用した本システムは、GNSS位置情報による正確な3次元モデルの表示を現地で実現できる特徴があることで、データの正確性確認や工事の位置出し、施工箇所の確認、作業者間の共通認識を図るほかに、図面を見慣れていない一般の方が目視で正確なイメージを掴むことが出来るので、都市計画説明や近隣への工事説明に大きな効果がある。

また、建設業界への新規参入者に対しては、デジタルツールを多くの場面で繋いだシステムが中心となつて、ICTを効果的に活用した仕事を確立することが、新世代に対する仕事の魅力向上につながり、これからの業務遂行には不可欠であると考えられる。

6. おわりに

とある機関にTrimble SiteVisionを紹介した際に、「便利になるという意味では十分な装置であるが、これによって作業の効率化、残業が不要になる効果は低く、2024年問題には寄与しないと思う。」という意見を頂いたが、位置出しや施工箇所の検出として活用す



図一11 切盛高計測の状況



図一12 体積計測の状況

るだけでも、作業時間短縮と人員削減に大きな効果が得られ、また、3次元データを現場に投影して直接的に確認することでミス未然に防止することは、確実な作業工程の実現に繋がり2024年問題の対応への一隅になると考える。課題解決に向けた直接的な技術を確実に遂行するには、裏方の技術が重要であるという事を改めて感じる。

建設施工現場の仕事は大きく変わり始めている。ICT活用工事の推進では、従来の常識にICTを場面ごとに適用してきたが、次の時代はICTを中心とした仕事の連携、手間作業のデジタル化に向けた展開を推進し、建設業に係る仕事の新たな魅力を生み出す

ことが重要と考える。

今般、本原稿を執筆するにあたり、実際の現場の声を参考にさせて頂きました。日頃より私共を支えて頂いている皆様に敬意を表します。

JCMA

【筆者紹介】

鈴木 勇治 (すずき ゆうじ)
サイテックジャパン(株)
ICT推進企画室 室長



点群データを利用した施工事例

3次元点群クラウド「TRANCITY」の活用

芝 寛・井口重信・松本裕樹

JR 東日本の建設部門では、スマートプロジェクトマネジメントを実現するために、工事記録、品質確認の効率化や遠隔臨場等に貢献することを目的とした3次元点群クラウド「TRANCITY」を活用したデジタルツインに取り組んでいる。本報では、「TRANCITY」の概要とともに具体的な取り組み事例について紹介する。

キーワード：スマートプロジェクトマネジメント，ICT，デジタルツイン，BIM/CIM，点群データ，3次元点群クラウド

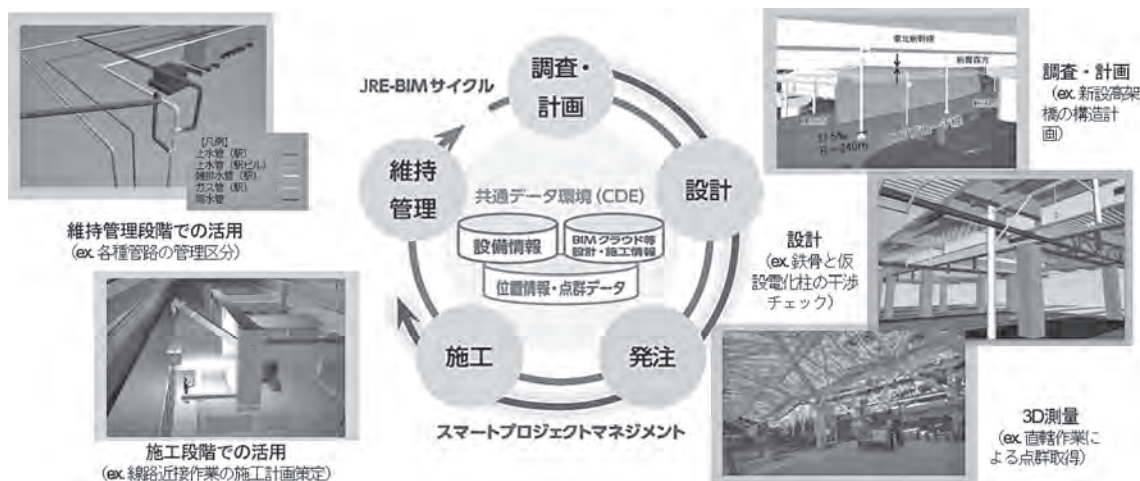
1. はじめに

JR 東日本の建設部門では、調査計画、設計、発注、施工、維持管理までの一連の流れを BIM や ICT 技術を活用し生産性向上を図る「スマートプロジェクトマネジメント」の実現に向け、さまざまな取り組みを実施している（図—1）。これまで、2016年の発注図書や図面、工事・品質記録等を保存するデータクラウドの試行から始まり、近年では完成検査での点群の活用、工事写真への3次元点群クラウド「TRANCITY」（以下、本ソフトウェアという）¹⁾を活用したデジタルツインなどに取り組んできた（図—2）。以下に、本ソフトウェアを活用した施工事例を報告する。

2. 本ソフトウェアの概要と活用事例

(1) 本ソフトウェアの概要

本ソフトウェアは、JR 東日本発のスタートアップ会社である「CalTa」社が提供するウェブブラウザ上でのサービスで、撮影した動画をアップロードすることで点群や3次元画像などに変換し、インターネットに接続できる環境があれば、どこからでも確認することが可能なサービスである（図—3）。縮尺や座標の設定などの事前準備は必要になるが、その後は数分の動画撮影のみで、自動で位置情報が紐づいた点群や3次元画像などを整理することができる。また、上記以外にも、点群と静止画像、BIM モデルを重畳表示す



(注) JR東日本では、土木・建築問わず「BIM」と呼称しています

図—1 JR 東日本における BIM/CIM の取り組み



図-2 これまでの主な取り組み



図-3 本ソフトウェアの概要

る機能や、寸法、面積、体積などの計測機能などもあり、有効活用することによるスマートプロジェクトマネジメントの推進が期待されるものである。

(2) 工事写真の代替に関する試行

(a) 試行の概要

工事の施工記録としての工事写真の管理については、工事完了時の確認用には用いられるが、あまり活用場面が少ない。一方で、撮影に関しては施工会社に撮影から帳票の整理まで多くの苦労がかかっている(図-4)。そこで、工事終了後も活用可能で、かつ、簡易に撮影・記録として残せるように、本ソフトウェアを活用した工事写真の代替を試行している。

新しい工事写真のイメージを図-5に示す。着手前、施工中、施工後といった現地状況が、3次元地図上に座標による位置情報と時系列の情報とともに記録される。点群データも併せ持つことから、撮影範囲内については任意の箇所の寸法計測が可能である。そのため、スタッフ、テープといった寸法値の目安となるようなものを設置する必要がない。さらに、撮影経路も表示され、撮影箇所からの静止画も点群などと重畳して表示できるため、点群では確認できないような詳細部分は静止画で確認が可能である。

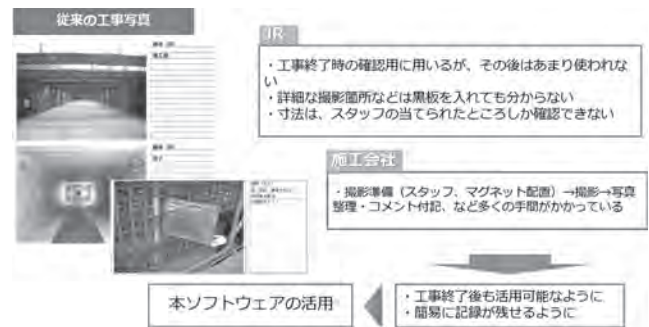


図-4 従来の工事写真の課題

(b) 試行件名とマニュアル(案)

2022年10月～3月末までの6カ月間で、弊社が実施している7プロジェクトにおいて試行を実施した。試行にあたっては、撮影方法などをまとめたマニュアル案(図-6)を作成したうえで、実際に撮影レクチャーするなどの導入支援を行いながら実施した。

(c) 実施例

試行プロジェクトにおける実施例を図-7に示す。いずれも、写真のように見えるが点群と3次元画像(フォトグラメトリ)が重畳表示された状況であるため、本ソフトウェア上では3次的に閲覧が可能である。試行では、各施工段階で撮影した動画を本ソフトウェアにアップロードすることで、従来の工事写真台帳の代替とした。

(3) レーザースキャナで取得した点群の共有管理
完成検査等の検査業務では、地上設置型レーザースキャナなどで取得した詳細かつ高精度な点群が必要となる。このような点群は、大容量データとなるため、データ送受信、アップロードやダウンロードといった

施工会社と工事監督社員、そして検査員間のデータの受け渡しが非効率となる課題があった。本ソフトウェアは3次元データクラウドでありビューワーとしても活用できるため、クラウドに保存することで、特別なソフト等を使用することなく、各自がweb上で出来形寸法を確認することが可能となった(図-8)。

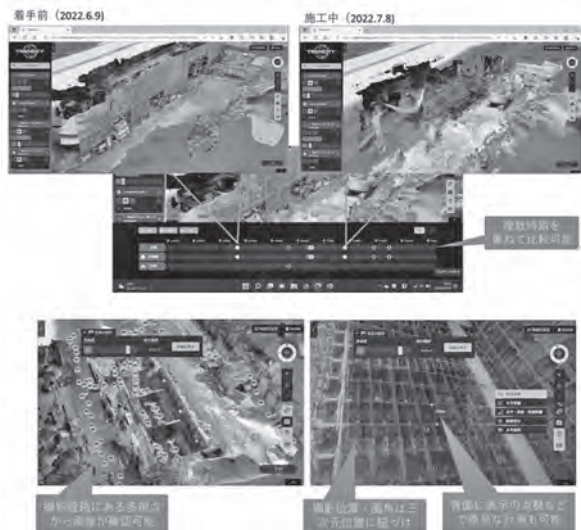


図-5 新しい工事写真のイメージ

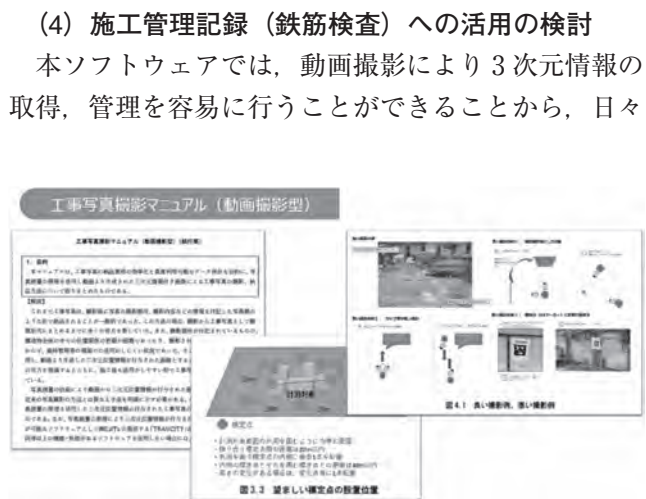
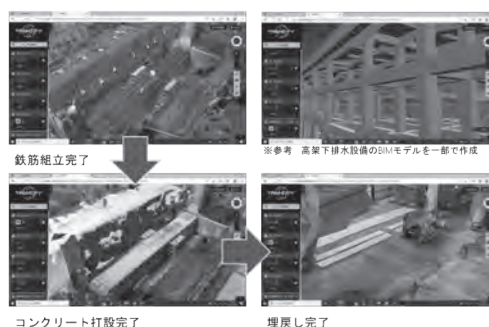


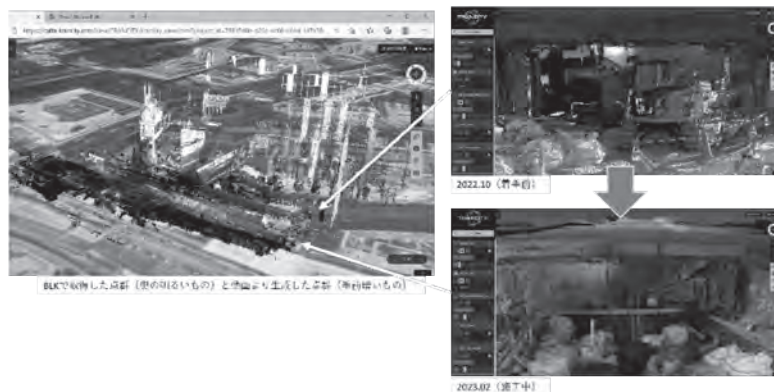
図-6 撮影方法をまとめたマニュアル案



(a) 武蔵小杉駅 (貯留槽)



(b) 新潟連立 (地中梁)



(c) 渋谷駅南口駅舎

図-7 本ソフトウェアの試行例



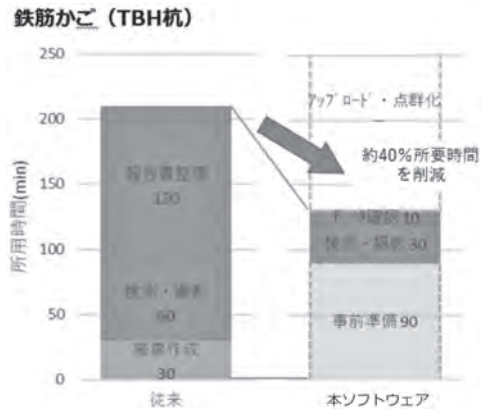
図一八 レーザースキャナで取得した点群の活用

の施工現場における施工監理業務の効率化を目的として、鉄筋検査への活用を試行した(図一9)。その結果、例えば杭鉄筋やスラブ鉄筋などの多段配筋ではなく比較的疎な鉄筋配置のものについては活用可能であること、例えば梁鉄筋などの複数配筋で比較的密な鉄筋配置のものやフレア溶接サイズなどミリ単位の精度で確認が必要なものについては活用が難しいことが確認できた。そして、活用が可能なものについては、約40%程度の生産性向上効果が期待できることがわかった(図一10)。現在、精度の検証を行い、本ソフトウェアへの代替可能項目の整理を行っている。

3. ロボット×デジタルツイン

(1) 自動ドローン×本ソフトウェア²⁾

水力発電設備の大規模取替工事において、発電機の撤去・復旧時の施工段階では、工事監督が現場で構造物の寸法や鉄筋の種類・位置が設計図通りかなどの品質確認を行う。従来は、監督員の勤務する事務所から



図一10 鉄筋検査における生産性向上効果

工事現場への移動と確認作業に時間を要していた。そこで、本現場では、映像データの取得に自動ドローンを、一日の作業が始まる朝と、昼間の休憩時間に10分程度、現場内を自動で巡回し、撮影動画を自動で本ソフトウェアにアップロード・点群処理を行い、人手に頼らず現地の3次元データの取得を行う実証実験を行った。日々の撮影データが本ソフトウェアに自動アップロードされ、遠隔地である事務所にて構造物の寸法や鉄筋検測などへ活用した(図一11)。

(2) 4足歩行ロボット×本ソフトウェア³⁾

建設現場の把握方法の近未来形として、4足歩行ロボットにアクションカメラを取り付けて撮影した動画から点群・3次元画像を生成する実証試験を実施した。

対象の施工現場には事前に、ARマーカーを設置し別途測量を実施しておき、4足歩行ロボットがARマーカーが設置された空間を歩いて撮影することで、現地の動画を取得した。4足歩行ロボットの歩行速度や撮影場所の違いなどによる点群生成精度に与える影響を検証したが、歩行速度が遅いモードで人の視界が確保できる程度の明るさの環境下であれば、点群生成が可能であった。また、人が歩いて撮影するよりも一定速度で画角が固定されるため、点群生成精度の向上も図ることができた(図一12)。



図一九 鉄筋検査への活用



図一11 自動ドローンによる遠隔地管理イメージ



図一12 カメラ搭載 Spot による動画撮影と点群



図一13 ヘビ型ロボットによる管内および管路ルートの3次元化

(3) ヘビ型ロボット×本ソフトウェア

鉄道施設における通水または排水のために敷設されている横断排水路の伏び管内部の調査にヘビ型ロボット⁴⁾を活用した。ヘビ型ロボットを伏び内に搬入して埋設管内部を撮影し、撮影した動画から点群・3D画像を本ソフトウェアにより生成した(図一13)。管路内の撮影映像から管の食い違いや破損、土砂堆積などを確認したうえで、本ソフトウェアの3次元地図上に点群・3次元画像を生成することで、変状位置や各箇所寸法の計測を実施でき、管路全体のルートを地図上で確認することが可能となった。

4. おわりに

構造物の位置や形状を、3次元点群クラウド

「TRANCITY」上に再現することで、これまで必要としていた位置情報の不可や寸法注釈などが不要になり、記録作業の効率化とその後の高度な利活用が期待される。また、自動ドローン、4足歩行ロボット、ヘビ型ロボットなど各種移動デバイスに撮影機器を取り付け撮影することで、人が行けなかった箇所や行きにくかった箇所の3次元化や、遠隔での管理などを可能にすることが出来た。今後は、これらの活用がより身近になるとともに、さらに高度な活用が進むことが期待される。

JICMA

《参考文献》

- 1) <https://calta.co.jp/service/#sec1>
- 2) https://www.jreast.co.jp/press/2020/20210226_ho04.pdf
- 3) <https://www.takenaka.co.jp/news/2021/09/02/>
- 4) https://www.hibot.co.jp/pdf/HB_SoryuC_light_jp.pdf

【筆者紹介】



芝 寛 (しば ひろし)
東日本旅客鉄道(株)
東京建設プロジェクトマネジメントオフィス
企画戦略ユニット企画戦略・DX (DX/JRE-BIM)



井口 重信 (いぐち しげのぶ)
東日本旅客鉄道(株)
東京建設プロジェクトマネジメントオフィス
企画戦略ユニット企画戦略・DX (DX/JRE-BIM)
マネージャー



松本 裕樹 (まつもと ゆうき)
CalTa(株)
事業部
マネージャー

ローカル 5G を活用した自動走行及び 4K 映像の実証実験に関する取り組み

畑 本 浩 伸・飛 鳥 馬 翼

大規模災害が発生した後は復旧作業が行われ、作業中の二次災害を回避する方法の1つとして、安全な場所からの建設機械の遠隔操作が挙げられる。複数台の建設機械を使って土砂を運搬する場合、同一運搬経路の往復作業に対しての作業者による操作疲労の低減を目的とした自動走行システムの利用が望ましい。従来は建設機械に搭載されたカメラからの低解像度の映像が遠隔操作室に集約されていたが、現場の状況判断を詳細に把握するためには、カメラ映像の高度化が必要と考えられる。本稿では、先端の無線通信システムであるローカル 5G を活用した自動走行及び 4K 映像伝送の実証実験に関する取り組みについて紹介する。

キーワード：ローカル 5G, 無人化施工, 遠隔操作, 自動走行, 4K 映像

1. はじめに

台風や地震や火山などの自然災害に対して、災害補修時における二次災害予防のための無人化施工技術が開発されている。無人化施工では、車載カメラや周囲の固定カメラ、さらには GNSS (Global Navigation Satellite System) 等の情報通信機器が搭載された建設機械が利用され、それらの情報が安全な場所にある遠隔操作室へと情報が集約されている。土木現場における情報通信システムのさらなる高度化を図るためには、4K カメラを用いた映像の高品質化、建機の傾きや振動などの現場情報のフィードバックが行われる。このときの情報量の増加に伴い、従来よりも高速で低遅延の伝送が可能な無線通信システムが必要になる。

電気通信事業者によって近年、日本各地で運用が行われている第五世代無線通信システム (5G) は、超高速で超低遅延、そして多数同時接続の無線通信の実現が可能なシステムである。加えて、地域や産業の個別ニーズに応じて地元企業や自治体などが主体となって 5G システムを構築する「ローカル 5G」^{1), 2)} に注目が集まっている。建設業界においても、施工時のデジタルトランスフォーメーションを加速するための1つの選択肢として、複数の企業が無線局免許の取得に動いている報道発表が行われていた。ローカル 5G は免許制度によって利用場所の周波数占有が可能であり、無線 LAN (Local Area Network) システムのような周辺の無線局からの同一チャンネル間干渉を気にする必

要がないメリットがある。

本稿では、ローカル 5G を用いた建設機械の自動走行及び 4K 映像伝送に関する(株)熊谷組の取り組みについて紹介する。

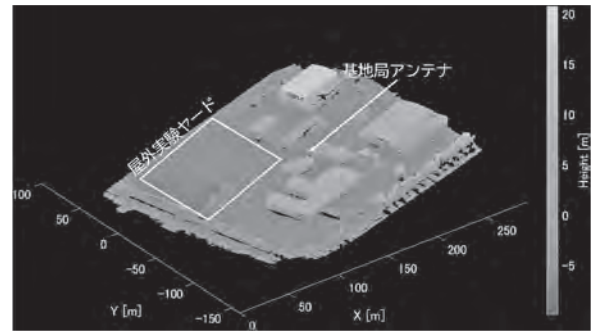
2. システム構成

茨城県つくば市の熊谷組技術研究所にローカル 5G を構築した。所内の屋外実験ヤードには遠隔操作室及び、不整地運搬車が配備されている。ヤード近くの建物屋上に基地局用のアンテナを設置し、指向性パターンを屋外実験ヤードに向けるものとする(写真-1)。

図-1に、建設機械と遠隔操作室間のシステムブロック図を示す。同図より、上り回線の場合、車載カメラの映像、GNSS 情報、車両の加速度情報などの情報パッケージが LAN を通じてスイッチングハブに集約され、5G 用の通信端末を使って無線の変調信号が送信される。操作室側では基地局のアンテナでパッケージが受信され、5G 基地局の無線機器によって復調された後、サーバー及びルーターを経由して復号されたパッケージがディスプレイ上の映像や、加速度再現装置での重機の傾きとして出力される。なお、重機側に 360 度カメラが設置されていれば、全方向映像を遠隔操作室側のヘッドマウントディスプレイ上で把握できる。下り回線の場合、遠隔操作室における操作レバーの情報、あるいは制御 PC によるルート指示情報が基地局を通じて、端末へと受信される。このとき、建設機械



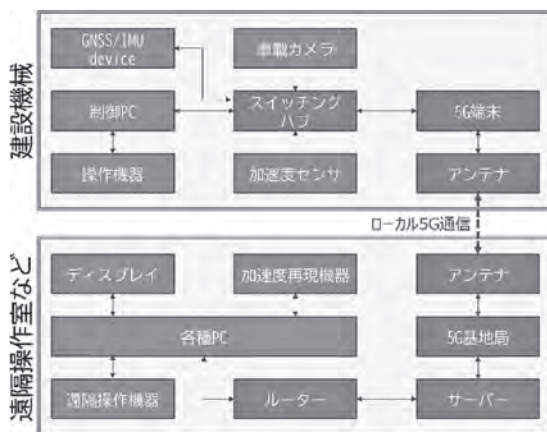
写真一 屋外実験ヤードに指向性を向けた基地局用のアンテナ



図二 計算機シミュレーション評価のための技術研究所点群データ

表一 計算機シミュレーションにおけるパラメータ

パラメータ	数値	備考
搬送周波数	4.85 GHz	ローカル 5G 用の周波数帯
送信電力	23 dBm	上りリンク
アンテナ利得	0 dBi / 17 dBi	端末 (建機) / 基地局
ケーブル損失	3 dB	
雑音指数	8 dB	
アンテナ高	3 m	端末 (建機)
絶対温度	300 K	雑音電力計算に利用
電波伝搬モデル	拡張坂上モデル	無線回線設計に利用される数式



図一 建設機械と遠隔操作室間のシステムブロック図

が遠隔操作、あるいは自動走行として動き、無人化施工が実現できる。

3. 通信品質の評価

(1) 計算機シミュレーション評価

技術研究所内の屋外実験ヤードにおけるローカル 5G の通信品質をシステム構築前に把握するため、回線設計で用いられる無線通信機器等のパラメータを利用しつつ、計算機シミュレーションによる事前の品質評価を行った。図二に、計算機シミュレーション評価のための技術研究所点群データを示す。屋外実験ヤード内の点群データの位置情報を使うことで、基地局と端末間の距離を計算できる。さらに各種実験結果を通じて、周波数や距離やアンテナ高で関数化された電波伝搬の数式 (拡張坂上モデル)³⁾ を使うことで、伝搬損失を計算することができる。

表一に、計算機シミュレーションにおけるパラメータを示す。搬送周波数は 4.85 GHz、送信電力は 23 dBm (端末側)、端末と基地局のアンテナ利得は 0 dBi と 17 dBi、ケーブル損と雑音指数はそれぞれ

3 dB と 8 dB とした。アンテナ高さは建設機械 (端末側) を 3 m とした。伝搬損失の計算結果を使って、各点群から基地局に対する受信信号電力を算出できる。受信信号電力を情報理論における通信路容量の数式⁴⁾ に入力することで、理論上の上限値となる理想スループットを計算した。なお、変調方式や通信路符号化のパラメータによって、実測値は理論値よりも低く制限される。

図三に、屋外実験ヤード内部の理想スループットのカラーマップと、累積分布関数 (CDF: Cumulative Distribution Function) 特性を示す。各地点の無線端末からパケットを送信した場合の上り回線の数値であることに注意が必要である。なお、CDF は屋外実験ヤード内部のデータのみ使用している。同図より、CDF1%、10%、50% 値はそれぞれ 28、36、64 Mbps となっており、実験ヤード内のほとんどの場所で高スループットを期待できる。4K 映像伝送に必要な伝送速度を 40 Mbps とした場合、85% 以上の場所で 4K 映像を遅滞なく遠隔操作側で確認できた (CDF15% で 40 Mbps となる)。

(2) 屋外実験ヤードと周辺における実測評価

屋外実験ヤードにおける通信品質の理論値を把握した後、歩行による無線端末と基地局間の移動通信実験を行った。図四に、上り回線における実測スループッ

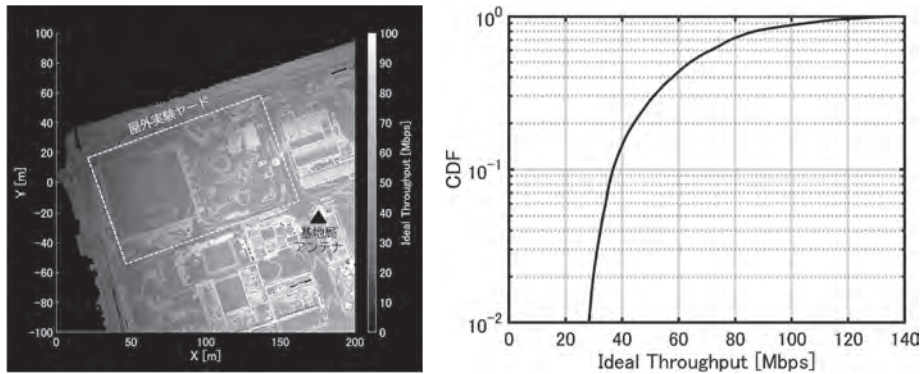


図-3 屋外実験ヤード内部の理想スループットのカラーマップ (左) と累積分布関数特性 (右)

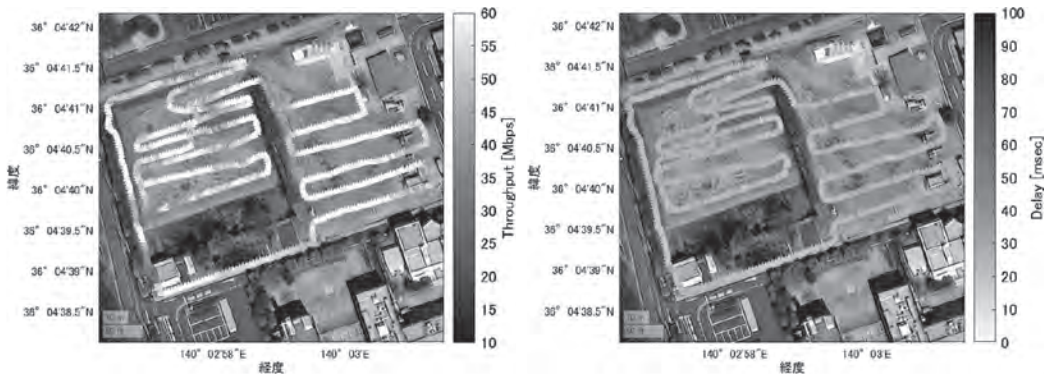


図-4 上り回線における実測スループット特性 (左) と遅延特性 (右)

ト特性と遅延特性を示す。同図のスループット特性より、ヤード内の数多くの場所において 40 Mbps 以上の伝送速度を達成可能であることを確認した。なお、ヤード外の建物の影となる場所においては、見通し外の通信となるためスループットが低下する。また、遅延特性においては、大半の場所で 50 msec 以下の遅延となることを確認した。建設機械と遠隔操作室間が見通しである限り、少なくとも 1 台の建設機械が 4K 映像を伝送する際に特段の遅延が発生しないと予想できる。

4. 自動走行並びに映像伝送の評価

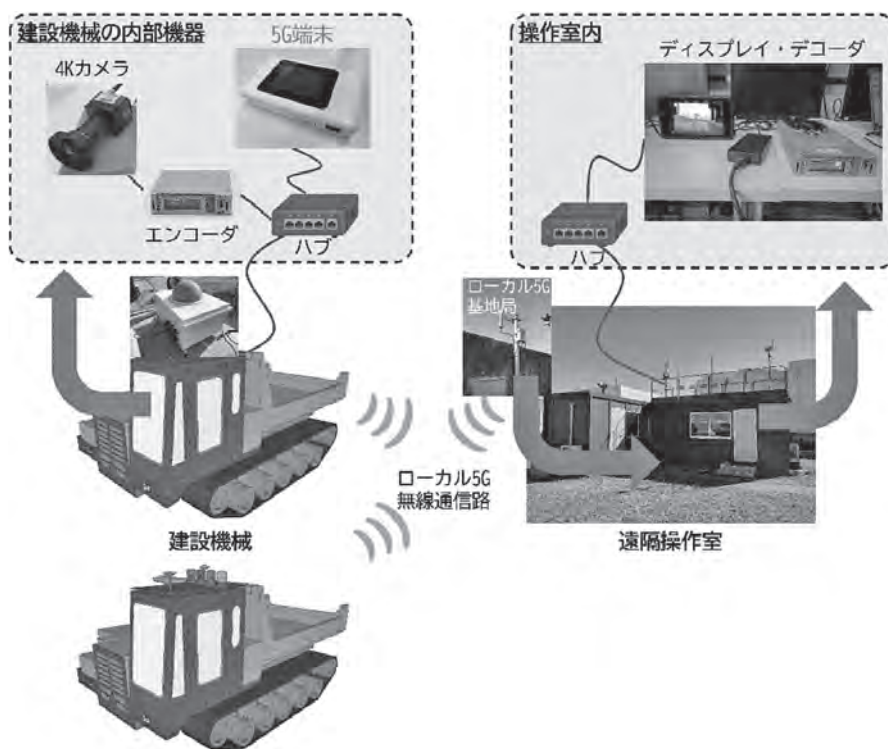
技術研究所内におけるローカル 5G の基本的な通信品質を把握した後、自動走行⁵⁾並びに映像伝送の評価を行った。図-5 に、屋外実験ヤードでの建設機械の自動走行並びに映像伝送実験における構成図を示す。同図より、2 台の不整地運搬車を用意し、4K カメラ、エンコーダ、ハブ、ローカル 5G 端末を配置し、遠隔操作室側にデコーダ、ディスプレイを設置した。屋外実験ヤード近くの建物の屋上に基地局用のアンテナが配備され、受信パケットが遠隔操作室へと転送されている。12G-SDI 規格の映像信号がエンコーダを通じて LAN で伝送可能なパケットに変換され、デコー

ダ側ではパケットがディスプレイで表示可能な 12G-SDI 信号へと逆変換されている。

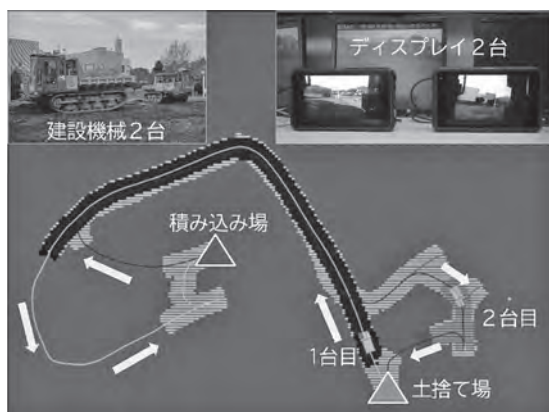
図-6 に、建設機械 2 台の自動走行マップと遠隔操作室側の 4K 映像を示す。同図では、屋外実験ヤード内部に土砂運搬の積み込み場と土捨て場が設定され、往路と復路で一部共通した場所を走行することになる。このとき、車両同士が経路内で衝突しないように、あらかじめ走行先の一部のエリアを予約し、他の車両が通過できないようにする。車両 2 台が自動走行する際、走行可能な範囲 (予約した範囲) が太い帯状の点集合として表現される。図-6 では 1 台目の車両が土捨て場から出発し、積み込み場への共通ルートを予約していることがわかる。なお、2 台目の車両は土捨て場に向かっている途中となる。ローカル 5G 環境下において特段の遅延なく、自動走行ができることを確認した。車両 1 台の 4K 映像伝送を遠隔操作室側のディスプレイで確認することもできた。車両 2 台の 4K 映像伝送の場合、スループットが低下した際にディスプレイ出力に遅延が発生するケースがあることを確認した。

5. おわりに

高速で低遅延な無線通信が可能なローカル 5G シス



図一五 屋外実験ヤードでの建設機械の自動走行並びに映像伝送実験における構成図



図一六 建設機械2台の自動走行マップと遠隔操作室側の4K映像

《参考文献》

- 1) 畑本浩伸, 飛鳥馬翼, 竹下嘉人, 天下井哲生, 古川敦, 北原成郎: 屋外実験ヤードにおけるローカル5Gの通信品質に関する理論と実測特性の比較検討, 土木学会第77回年次学術講演会, VI-749, 2022.
- 2) 畑本浩伸, 飛鳥馬翼, 久保田恭行, 天下井哲生, 古川敦, 北原成郎: ローカル5Gを活用した自動走行及び4K映像伝送に関する屋外実証実験, 土木学会第78回年次学術講演会, VI-791, 2023.
- 3) K. Kitao and S. Ichitsubo: Path Loss Prediction Formula for Urban and Suburban Areas for 4G Systems, Proc. IEEE 63rd Vehicular Technology Conference, 2006.
- 4) 「ワイヤレス通信工学」三瓶政一, オーム社, 2014年
- 5) H. Hatamoto, K. Fujimoto, T. Asuma, Y. Takeshita, T. Amagai, A. Furukawa and Shigeo Kitahara: A study on an Autonomous Crawler Carrier System with AI based Transportation Control, 2020 Proceedings of the 37th ISARC, Kitakyushu, Japan.

テムの無人化施工技術への適用を検討した。熊谷組技術研究所の屋外実験ヤード内における計算機シミュレーションによる理想スループットの評価と、歩行による基本的な通信品質の実験評価を行った。屋外実験ヤード内で建設機械2台の自動走行が特段の遅延なく動作することを確認した。加えて、建設機械内に設置した4Kカメラ映像を遠隔操作室側のディスプレイで出力できることを確認した。これからも最新の無線通信システムを用いた様々な実証実験を行い、無人化施工技術の高度化に寄与していきたい。

最後に、本実験にご協力頂きました京セラ(株), 日本電気(株)の関係者各位に感謝いたします。

【筆者紹介】



畑本 浩伸 (はたと ひろのぶ)
 (株)熊谷組
 土木事業本部 土木DX推進部 企画推進グループ
 グループ課長



飛鳥馬 翼 (あすま つばさ)
 (株)熊谷組
 土木事業本部 土木DX推進部 DX推進グループ
 係長



自動運転バスに使われるLiDARセンサー 応用技術と遠隔監視・操作技術

陣 鎌 真 一・田 中 健一郎

本稿では、自動運転シャトルバスで使われているLiDAR応用技術と遠隔監視・遠隔操作技術について紹介する。まず前者は、物体認識と自己位置推定・環境地図作成といった自動運転の外界認識に関する基礎技術や仕組みを紹介する。また後者は、遠隔地のモビリティの監視・操作する際の機器構成やデータ送受信の流れ、データの内容について紹介する。

キーワード：自動運転，LiDAR，物体認識，自己位置推定，遠隔監視，遠隔操作，FMS

1. はじめに

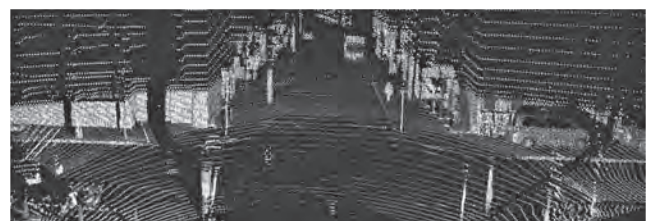
株式会社マクニカでは、GAUSSIN MACNICA MOBILITY社が開発・製造している自動運転シャトルバス「NAVYA」(写真—1)を利用し、日本を始めとした世界各地で自動運転によるモビリティサービスの提供、またその実証実験、更にMaaS (Mobility as a Service) の実証実験を行っている。過去より、茨城県境町、羽田イノベーションシティなどで自動運転バスとして定期的に運行している他、2023年に入ってから、茨城県常陸太田市、北海道当別町、長野県上田市などで各自治体と連携した実証実験を行っている。本稿では、このNAVYAの自動運転シャトルバスでも使われているLiDAR応用技術と遠隔監視・遠隔操作技術について、取り組みを紹介する。



写真—1 自動運転シャトルバスを利用した境町での定常運行

2. 自動運転の仕組みとLiDARの応用技術

コンピュータが自動運転を行う仕組みは、基本的には認知・判断・制御という3つに大別できる。このうち認知、すなわち外界認識は、障害物との距離や相対速度を認識したり、走行路や周辺環境を認識したりする部分のことを指す。前者は物体認識、後者は自己位置推定・環境地図作成と言い換えることができる。ここでキーとなるセンサーがLiDARである。LiDARは、Light Detection And Rangingから作られた造語であり、レーザーで対象物の位置・距離を測定するセンサーである。レーザーを用いた測量技術は建設・土木でもよく用いられているが、自動運転で用いられるLiDARは、いわゆる3D LiDARと呼ばれるもので、昨今では非常に高解像度になっており、カメラの画像のような情報が得られる(図—1)。3D LiDARで得られるデータは、点群と呼ばれる3次元情報であり、カメラのように1視点ではなく、上面や側面から見ることができる。また、反射率などの情報も得られ、走行路の白線や道路標示などを見分けることができる。このように、LiDARはコンピュータの眼としての役割を持っている。



図—1 ビューワーで見た点群データ



図一2 自動運転シャトルバスのセンサー構成

図一2は、NAVYAの自動運転シャトルバスのセンサー構成を示している。車両の周辺をくまなく監視するため、複数台のLiDARで死角が無くなるようにしている。また、LiDAR以外のさまざまなセンサーを組み合わせて使われている。

3. 物体認識

前項で説明した通り、LiDARで得られる情報は点群と呼ばれるデータで、その中から障害物などを認識するには、後段のコンピュータでデータ処理が必要である。例えばある高さのデータを抽出すれば、周囲の障害物までの距離を測定できるため、壁にぶつからないように自走するロボットなどに応用できる。もちろん現実には障害物は壁のように床から同じ形状で上方まで延びているとは限らず、背の低い障害物、空洞のある障害物などさまざまなため、3D LiDARによって高さ方向の形状も把握して障害物を避ける必要がある。また、静止物だけでなく動体を避けようとする、どの点群が動体か切り分け、その動体にぶつからないように最も近い部分までの距離を測定しつつ、時間的な処理を行うことにより、どのような経路をたどって動いていたか、さらにその先にどのように動くのかの推定を行う。このように、経路をたどることを追跡、どのように動くのか推定することを予測と言う。さらに物体が人なのか車なのかなど、予め決めておいた分類のどれに該当するか推定することを識別と言い、物体認識の中でも検知・識別・追跡・予測のように処理をそれぞれ区別して呼ぶことが多い。NAVYAの自動運転のアルゴリズムを例に挙げると、セーフティゾーンを3種類定義し、例えばセーフティゾーン3に障害物が検出されたら減速のみ、セーフティゾーン1に障害物が検出されたら停止というような制御を行っている(図一3)。ただし、実装されているアルゴリ



図一3 セーフティゾーン

ズムはもう少し複雑で、動体の場合は上述の追跡・予測を行って判定している。

物体認識の応用範囲は広く、ショベルカーやクレーンなど、旋回時に周辺の建物や人などに当たらないようにしたり、セキュリティカメラのように、交差点や踏切などがあるエリアに侵入した人などを検知したり、空港などで人を検知・追跡し混雑状況を把握するような人流分析にも応用されたりしている。さらに、検知対象を車やバイクとして、交差点や高速道路の交通量監視、逆走検知、踏切など危険エリアへの侵入検知、駐車場の空き情報案内など、さまざまな分野に応用が可能である。

4. 自己位置推定と環境地図作成

物体認識と並ぶLiDARの応用分野に、自己位置推定・環境地図作成がある。

自己位置推定には、GNSSやオドメトリを利用したものが知られているが、LiDARが注目を集めているのはその精度である。自動運転車両の多くにLiDARが使われているのは、走行しながら自車位置を正確に精度よく認識する必要があるためである。LiDARは、優れた空間認識センサーであり、視野角360°の回転

式LiDARであれば1秒間に10～20回という頻度で、100 m先でも数 cm という精度で周辺の3D点群情報が得られる。この3D情報から特徴点を抽出し、あらかじめ作成しておいた高精細地図と照らし合わせて、自分自身がどこにいるか推定を行っている。NAVYAの自動運転アルゴリズムでは、GNSSおよび補正情報が受信できているときにはGNSSベースで、GNSS受信感度が悪くても、上述のようにLiDARから得られる周辺の点群情報と高精細マップとの違いが一定以上であればLiDARベースで、一定値以下でもさらに低い基準値以上かつオドメトリが使える場合は、これらを組み合わせて自己位置推定が途切れにくいようにしている。これは、ビルの谷間やトンネルのようにGNSSが届かないところや、駐車車両や街路樹などでLiDARから得られる情報と高精細地図との違いが多い場合などでもサービスを継続し続けられるようにするためである。

環境地図は、GNSSやIMUを組み合わせてLiDARの点群データによって作成していく。NAVYAの自動運転シャトルバスも、自動運転を行うルートで、まずはこの環境地図作成を行う必要がある。

5. 遠隔監視技術

冒頭に言及した通り、(株)マクニカでは自動運転、MaaSなどの実証実験に多数取り組み、これらの社会実装に取り組んでいる。自動運転バスが運転手による運転操作が必要ない、いわゆる完全ドライバーレス状態でサービスが提供できることとなると昨今の運転手不足に対する解決策の一つになると考えられている。

ここで新たに検討すべき点として、サービス提供中の車両などの管理、またその車内などの状態などの監視についてである。自動運転バスは自動運転に必要なセンサー、その他機材などが搭載されており、車両を含めハードウェアとソフトウェアのかたまりである。それらの必要な機能が損なわれた場合、また車内での不審者の行動や急病の乗客への対応など不測の事態が発生した場合に、車内・車外の状況を確認し、適切な処置を行うといった、今まで運転手が行っていた柔軟な対応を行う必要がある。つまり、運転手の代わりに車両、その他サービス提供状態を遠隔から監視・管理する技術、いわゆるFMS (Fleet Management System) が必要となる。我々の開発しているFMSでは、表1のようなデータを対象とし遠隔監視を行っている。図1-4は、実際の表示画面の例である。

このような遠隔監視の技術は、自動運転バスのみならず、

表1 FMSに用いられるデータ

データ種類	概要
カメラ映像	車室内、車両進行方向、車両後方等の映像。これらの映像は、リアルタイムに何らかの問題が発生した場合の状況確認や対応に用いられ、一定期間保存され、過去の状況確認のために利用したりする。
GNSS (GPS)	衛星測位による緯度・経度データ。監視対象のモビリティがどこを走行中であるかを確認する。
走行車両関連データ	ドアの開閉、車速、アクセル、ステアリングなどの状態情報。発車時にドアが正常に閉じられているか確認したり、車速、アクセル開度、ステアリング角度などから走行状況を確認したりする。
SOC/燃料計	電気自動車はState Of Charge (充電率)、内燃機関車両は残燃料等、走行可能時間等を確認する。



図1-4 遠隔監視アプリケーション

ならず、建設機械など様々なモビリティでの遠隔監視にも適用が可能である。実際(株)マクニカでは、車両側、すなわちエッジ側への各種センサー設置、データの収集とクラウドへのアップロード、そして可視化アプリケーションの提供など、ワンストップで提供している。

遠隔監視の課題は、一人の担当者(遠隔監視者)が複数のモビリティをどうやって現実的に監視できるようにするか、また得られたデータをどのように活用していくか、という2点である。前者については、車両からのデータまたはそれを処理して得られたデータに対してあるしきい値を設定し、それを上回る/下回るといったルールベースの判定により遠隔監視者に対してハイライトするといったことが考えられているが、例えばカメラ映像データをAIを用いて分析する場合、精度、実装方法、コストなど最適化が必要となる。後者については、得られたデータをビッグデータ的に解析したりしてその先に発生し得る問題の回避やリスクの最小化につなげることが期待されているが、どの

ようなデータを収集し、どのアルゴリズムで処理をするかといった検討が必要である。

6. 遠隔操作技術

前述のとおり、完全ドライバーレスとして運行をするためには、今まで運転手が行っていた柔軟な対応をどのように行うかという課題があり、遠隔監視だけでなく遠隔操作も必要になる。

図-5は、遠隔監視・遠隔操作の構成の一例である。遠隔にあるモビリティを操作するためには、遠隔監視というモビリティから監視・操作側へのデータの流れと、監視・操作側から遠方のモビリティへのデータの流れを合わせて検討する必要がある。具体的には、何のデータを送る必要があるのか、そしてどのような通信方式で送るのかである。

例えば、前項で述べた通り、遠隔監視技術によってカメラ映像などで現場の状況を確認・理解し、遠隔監視者が手元にあるコントローラーなどから操作入力を行い、それらが再度クラウドを介してモビリティに伝送され、その入力に従いモビリティが動作を変える。操作入力には、停止／再起動は2値のデジタル信号、他方ステアリング、アクセル／ブレーキなどリニアな制御が求められる信号である。現システムはこれらをCAN通信でデータ収集端末に集約し、Wi-Fiなどの構内インフラや4G/5Gなどの公衆通信経路でインターネットに接続し、クラウドにアップロードを行い、クラウドを経由して監視端末にダウンロードしている。同様に、カメラ映像はストリーミングデータとしてデータ収集端末に取り込み逐次アップロードを行い、クラウドを経由して監視端末にダウンロードされている。これらは、図-4のように統合された監視

画面で表示が可能であり、操作用にカメラ映像、車速、ステアリング舵角など遠隔操作に合わせた配置・大きさに変更することが可能である。

遠隔操作のキーポイントは、遅延時間である。上述のとおり、現場の状況はカメラ映像などで判断するが、遅延が大きければ手遅れになってしまい適切に対処ができない。同じ理由で、操作してから遠隔現場のモビリティが動くのが遅いと、現場の状況が変わってしまう可能性があり、非常に危険である。また、オペレーターがスムーズに違和感なく操作できなければ、うまく操作できず、効率も上がらない。よって、オペレーターのフィーリングに影響を与えない程度の遅延に抑える必要がある。しかしながら、上述のとおり、カメラ映像など現場の情報を伝えるときの遠隔現場から監視サイトまでの伝送遅延、監視PCでの処理遅延、更に監視者の操作入力を現場のモビリティに伝える伝送遅延、遠隔現場のPCが処理してアクチュエータが動くまでの処理遅延など、さまざまな遅延が合計されるため、非常に難易度が高い。そこで我々は、パートナー企業の独自技術を使用した低遅延伝送を利用し、実用に足る性能を得ている。

また、操作対象のモビリティはさまざまであり、安全装置、衝突軽減システムなどそれぞれのモビリティの装備を使用する場合、それぞれモビリティ別で対応が必要である。

7. おわりに

NAVYAの自動運転シャトルバスは、すでに多くの自治体・事業者向けに実証実験を行っているが、定常運行を行っている境町含めて事故は全く起こしていない。これは、車両やセンサーなどのハードウェア、

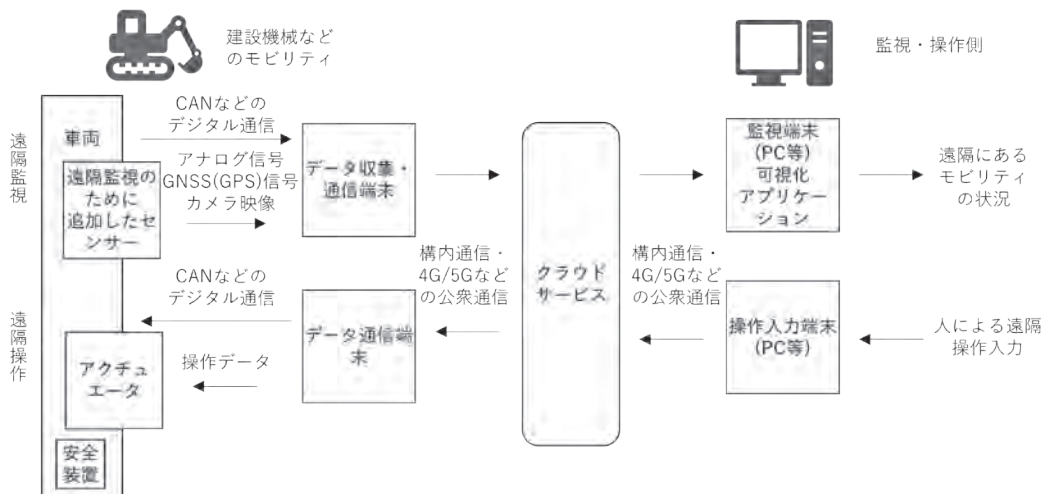


図-5 遠隔監視・遠隔操作の構成例

自動運転含めたソフトウェアなど NAVYA の自動運転シャトルバスが優れたパッケージであることと、運用におけるノウハウの積み上げができていたためだと考える。さらに本稿でも紹介した通り、実際の運行時に必要となる技術の開発を進めており、自動運転社会を実現する担い手として社会課題の解決に貢献していきたい。

JCMA

《参考文献》

・(株)マクニカウェブページ (<https://www.macnica.co.jp/business/maas/products/133978/>)

【筆者紹介】

陣鎌 真一 (じんがま しんいち)
(株)マクニカ
イノベーション戦略事業本部
スマートシティ & モビリティ事業部
DX ソリューション部
部長代理



田中 健一郎 (たなか けんいちろう)
(株)マクニカ
イノベーション戦略事業本部
スマートシティ & モビリティ事業部
DX ソリューション部
課長



ずいそう

今どきのクラブ事情

西村 貴信



私は、地元の少年野球チームにコーチとして関わって20数年。昭和の野球オヤジです。ここ数年（7～8年位）で部員数の減少とそれに伴う練習の時間、内容の変化などで思う事、又、同様の現象が他チームにもあって今後の部活動（団体活動）に対する不安などをこの場をお借りして記述させていただきます。

私がこの野球チームにコーチとして入部したきっかけは、他の多くのコーチの方々と同じだと思いますが、息子が小学校の野球部に入部し、6年生になると試合にも出る機会が増えて応援がてら試合観戦、練習見学をするようになりました。見学や応援をしているとどうしても野球オヤジとしては息子の守備・打撃に何かとあーだこーだと注文を入れてしまい、それを見て当時の監督さんに声を掛けられたのが入部のきっかけとなりました。お父さんコーチ1人誕生です。

20数年前の練習ですから、一にも二にも気合と根性。厳しい、きつい練習もありましたが部員のちびっ子達は元気で一生懸命、それも楽しそうに野球をやっていました。一時部員数も4～6年生で50名を超える年も有り、監督、コーチも10人程、あとお母さんを中心に保護者の方々が多数関わって運営されていました。チーム構成も6年生のAチーム、5年生のBチーム、4年生のCチームでそれぞれにお父さんコーチと子供がチームに在籍していないコーチの方（フリーコーチと呼んでいます）とで運営し、コーチの人数も30人近くになりコーチの人数だけ今も続いています。息子がいる6年生のチームはレベルも高く、勝ち試合が多かったのを覚えています。コーチ、保護者の方達との飲み会も多々あって中々風通しの良いチーム構成でした。私もまだまだ打って、投げて、走って、ようするに動いていましたね。“野球”やってる感が強かったなあ～。

ところがです。いつしか新入部員がやってこない！！

体験会を開催しても参加者が来ない。体験会参加賞としてお菓子袋を用意しても野球心は釣れない。

いうまでもなく野球は9人でプレーするスポーツ。そこに控え選手も必要です。最低12人、できれば15

人は1チームにいてほしい。各学年でチームができていたのに、いつしかAチームにBチームの選手が入ってもらい試合をする様になり、それが今ではAチームの構成は6年生、5年生、そして場合によっては4年生以下の子供達も。どうしてこうなってしまったのか？

①部員減少のはじまり

Jリーグ？ワールドカップ？サッカーブームの到来。

②それまで少数派

学習塾に通う子の増加

※勉強とスポーツは両立できるとよく聞くが！？

③各種スポーツクラブの台頭

スイミング、テニス、バドミントン、卓球、陸上、ラグビー、ダンス、スケボー、クライミング、etc

④部活動に対する親の関わり方の変化

①～②は私もよく把握していません。

③各種スポーツクラブ

今どき子供達の選択肢は20数年前に比べてかなりの拡がりがあると思います。2つ、3つ掛け持ちも有りです。同じ様に習い事も多種になり、そこにテレビゲームなども参戦し既に「各種スポーツクラブの台頭」どころの話ではありません。いいなあ、今どきの子供達は！！



写真-1



写真—2



写真—3

④親の関わり方の変化

これが一番難しい問題と思います。

まずもって少子化。子供が少なくなりました。各学年のクラスが減っています。学校によっては統合するくらい。運動会も競技が減っていると聞きます。又、団体活動にできれば参加したくない親御さん。これは各御家庭の事情もあってしょうがない事でもあります。私の近辺では以前より各町内の子供会も減少しています。

これらの現象は限られた地域だけなのでしょうか？野球部の部員数減少の理由がここにあるのなら哀しいなあ。

しかし、③が一番の理由なら野球オヤジとして寂しくも納得します。野球以外で何かやっている、楽しんで活躍している、その子にとって幸せな事です。

部活動、確かにコーチのボランティア活動と親御さんのボランティア的協力が無くしては成り立ちません。

母代表、会計さん、お茶当番、配車係、チームとしてもなるべく以前よりは親御さんの関わり方を軽減してきましたが、今後もこれらを考えて負担を減らす様努力はしないとイケないし、その事により1人に負担

増になってはイケないし、野球部の運営についての悩みは尽きませんが、より良い運営方法をコーチの皆さん、親御さん達と意見調整しながら探っていきたいと考えています。

今年3年生の新入部員が10人程入部しました。ここ最近では奇跡。

やっぱりWBCの効果絶大！！

ありがとうございます。大谷翔平選手。チームジャパン！！

久しぶりのCチーム結成なるか！？

Cチームコーチ陣よろしくお願ひします！の心情になります。

何よりも一番大事な事は子供達が自分でやりたい事を親御さんの理解、応援を得てやり通す事と自分は思っています。皆さんの地域ではどうでしょうか？学校のグラウンドにちびっ子達の元気な声が響いていますでしょうか？

子供達が何か部活動を始めるにあたってその選択肢に“野球”があったなら野球オヤジ……幸せです。

ずいそう

チャレンジ！

池田 知 明



1. 出会い

幼かった子供のころ、風車や凧揚げ、シャボン玉などで遊んでいたことを思い出します。当たり前のことですがこれらの遊びには自然の力である風が関係していました。しかし年齢を重ねるにつれて、自然の力より必要な時に必要なだけ得ることのできる、便利な電気や機械による動力に頼ることが当たり前になりました。そのような中で改めて自然の力に回帰して楽しむことになるとは思っていませんでした。

50歳も半ばを過ぎ、膝や腰など体のあちこちで痛みを感じるようになりました。何をやるにも「ヨイショ！」「痛たたた！」などの言葉が自然と口から漏れ出るようになりました。父親の時代であれば定年退職となり次のステップに向かって進んでいるところですが、人生100年時代、私はまだ半分を越したところに過ぎず、まだまだ先の長い人生が残っています。周りの先輩方が生き活きと事業や趣味に取組まれ、次のステージを謳歌している姿を見ている中で、後輩の私が守りに入るにはまだ早い、何かチャレンジしなくては身体も頭も凝り固まってしまうと考えるようになりました。

このような意識が芽生えた中で、以前子供とドライブに行き浜辺を散歩していた時に目に入った「体験ウィンドサーフィン」の看板を思い出しました。これまで、マリンスポーツは年に1回か2回程度シュノーケリングを行う程度でしたので、海の上で体力や体幹を求められるウィンドサーフィンを、この年齢から始めることは可能なのか、また、若い人達ばかりでおじさんは仲間に入れないのではないかなどの不安を過りましたが、キラキラと輝く海の上を色とりどりの花びらのようなセイルが乱舞する風景を見て、まずは行動あるのみとショップの扉を押し開けました。

2. ウィンドサーフィンとは

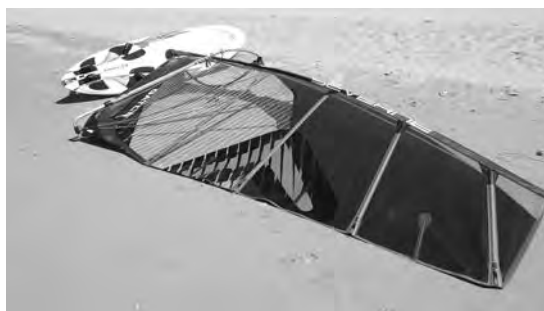
1967年ごろにアメリカから日本に上陸し約50年が経過しました。ウィンドサーフィンはボード、マスト、セイル、ブームの大きくは4点で構成されています。

風があればどこにでも自由に動けるわけではなく、時計を例にすると、12時の方向にボードの先端が向いているとして、12時の方向から6時に向かって風が吹いてくるのであれば、10時半～1時半の間の45度がデッドゾーンとなり身動きが取れなくなってしまいます。理解はしているのですが、行きたい方向に無理やり向かおうとしてこのデッドゾーンに入り込み、身動きが取れなくなることがよくあります。これまでの人生でも条件が整わない中で無理やりに事を急ぐとスムーズに乗り越えることができない経験を積み重ねてきたはずですが、その経験を活かせず後から反省することとなります。

ウィンドサーフィンを取組む年齢層は幅広く、私がお世話になっているショップでは10代から70代までの方々が楽しんでいます。最近では60代から始められる方も多くなっています。逆に若年層の実施人口が低下しており、ウィンドサーフィンにおいても高齢化の波が押し寄せているようです。ウィンドサーフィンでは「スピード」「ジャンプ」「波乗り」など趣向にあった乗り方を楽しむことができますので、各々が年齢や体力に合わせて自然環境の状況を確認しながら無理なく取組めます。その為最近では生涯スポーツとして増加しているとも考えられます。

3. ゲレンデについて

ウィンドサーフィンを実施するゲレンデは九州北部沿岸に広がる玄界灘に面した福津市の宮地浜です。九州は海に囲まれており、海岸ではどこでもウィンド



写真一 愛用の道具

サーフィンができるように思われますが、風、波、浜辺から海までの距離など適したところは限定されています。宮地浜は過去に某航空会社が解散した人気グループを起用し「光の道」としてコマーシャルで使用したことで有名な宮地嶽神社の鳥居の建つ海岸です。余談ですが世界遺産に認定された宗像大社の近隣にあるこの宮地嶽神社には三つの日本一があります。一つ目は「大注連縄」二つ目は「大太鼓」三つ目は「大鈴」です。このように三つの日本一のある宮地嶽神社へ続く参道の始まりである宮地浜は風光明媚な海岸であり、適度な風が入り、波が穏やかで海までの距離が短いウィンドサーフィンに適した海岸となっています。晴天時に海から望む宮地山の眺めは、真っ青の背景に深い緑が浮き出た、まるで絵画のように美しい風景を映し出します。

4. 魅力

ウィンドサーフィンでは二つの魅力があります。一つ目は電気や機械による動力ではなく簡単な構造の道



写真一 海上から宮地山を望む



写真二 宮地嶽神社参道からゲレンデを望む

具により、自然の力を受けて海の上を自由に滑走できることです。

日頃の仕事では、電気や機械による動力を扱い、自然の驚異に挑むことはあっても、自然を楽しむことはありません。しかしそのような日常とは対比的に、大海原の真ん中に身を置き、その日、その時々で目まぐるしく変化する波・風に対して、日常使わない感覚を最大限に研ぎ澄まし、自然の力を借りて海の上を滑走する時の刺激と上手くできたときの爽快感は感無量です。

このようにお話しすると、如何にも波の上を颯爽と風を受けて滑走しているかのようなようですが、現実には人生と同じように甘くはなく、波に揉まれ、風に煽られ、マストに一本背負いされ海面に打ちつけられています。それもまた毎回勉強であり童心に帰ったような楽しさを感じております。

二つ目は会社組織外での肩肘を張らない人間関係です。ウィンドサーフィンを楽しむことを求めて集まった仲間が、老若男女に関係なく互いに声を掛け合い、また、何度も失敗している状況を見ると、教えを請わなくても見ていた誰かが助言するなど、自然に湧き出るコミュニケーションも魅力的です。会社でも同様な環境があるべき姿であり、改善の一つのヒントにしたいと考えています。

5. おわりに

変化を避け、現状維持を求める気持ちが優勢となる中で、新しいことを始めることには相当な内面的力が必要となります。しかし、新しい扉を押し開けることで、自身を活性化でき、今後の人生を豊かにできることは間違いありません。今後はウィンドサーフィンを楽しみながらも、さらにチャレンジを続け、新しい扉を見つけては押し開いていきたいと思っております。是非、ウィンドサーフィンに少しでもご興味をお持ちいただいた方は始めてみませんか。一緒にチャレンジしましょう。

——いけだ ともあき (株)IHI インフラ建設 九州支店 支店長——

部 会 報 告

日立建機(株)常陸那珂臨港工場 コマツ茨城工場 見学会 報告

機械部会 ダンプトラック技術委員会

1. はじめに

JCMA 機械部会のダンプトラック技術委員会では、トラクタ技術委員会と合同で令和5年9月11日に茨城県茨城港（常陸那珂港区）に隣接する日立建機(株)常陸那珂臨港工場とコマツ茨城工場の工場見学会を実施した。見学の内容について報告する。

2. 見学会スケジュール

- 9:30～10:00: JR 勝田駅集合→日立建機(株)常陸那珂臨港工場に移動
- 10:00～11:40: 常陸那珂臨港工場見学
- 11:40～13:30: 昼食→コマツ茨城工場に移動
- 13:30～15:10: コマツ茨城工場見学
- 15:10～15:40: コマツ茨城工場→JR 勝田駅に移動, 解散

3. 日立建機(株)常陸那珂臨港工場見学

(1) 工場概要

日立建機(株)常陸那珂臨港工場は、2008年に稼働を開始し、300tを超えるACホイールモータ駆動のリジッドダンプトラック、40～120tクラスの大型油圧ショベル、鉱山等で使用される190～800tの超大型油圧ショベル、大型ホイールローダ等を生産している。約26.8万m²の広大な敷地に製缶工場、第二製缶工場、超大型組立工場、大型ショベル組立工場、大型塗装工場の5つの工場建屋が建てられ、建屋内には、機種毎の組立ラインや組立セル等の製造設備が効率的にレイアウトされている。従業員は約800名在籍し、設備運用の教育を行うトレーニングセンターや食堂等の厚生施設も充実している。

(2) 超大型組立工場見学 (写真-1)

リジッドダンプトラック組立ラインでは、組立～試験～出荷状態への分解に至るまで7ステージの組立工程に分業され、1cm/min程度の比較的ゆっくりとしたラインスピードで生産されている。リジッドダンプ

トラックは、仕向け先毎にベッセル（荷台）やタイヤの仕様が異なる為、出荷時はベッセルとタイヤは組付けされずに出荷される。塗装も含めて工場出荷→船積までトレーラ台車で移動される。超大型油圧ショベルの組立は、機種毎に組立セルが分れており、1セル5名体制で上部旋回体の組立～試験が行われる。上部体のみで出荷され、インドネシアで製造された下部体と仕向け先で全体の組立が行われる。その為、日本で超大型油圧ショベルの完成体が見れる事は殆どないとの事だった。

(3) 大型ショベル組立工場見学

大型油圧ショベルの組立は、本体組立とアタッチメント組立の2ラインに別れて生産されている。本体組立ラインは6ステージあり、大型油圧ショベルは、足回りまで組立後、自走して建屋横の検査場で完成検査を行う。

両工場共に整理整頓が行き届き、安全で効率的な生産を意識されていると感じた。



写真-1 日立建機(株) リジッドダンプトラック組立ライン



写真-2 日立建機(株)常陸那珂臨港工場 集合写真

4. コマツ茨城工場見学

(1) 工場概要

コマツ茨城工場は、2007年より真岡工場の分工場として操業を開始。現在は35万m²の敷地に組立工場、溶接工場、管理・開発棟、試作工場、試験センター、テストコース、厚生棟、トレーニングセンターを配置し、30～150tリジッドダンプトラック6機種、25～40tアーティキュレートダンプトラック2機種、7～23m³ホイールローダ5機種、モーターグレーダー等を生産している。開発センターを製造部門の近くに配置する事で開発～試験～生産～検査～出荷まで一貫した生産体制を確立し、製造時に発生した問題の開発陣へのフィードバックを早め、開発部門と生産部門の一体化に努めている。また、省エネ照明導入、太陽光パネル整備、自走出荷による輸送効率向上、リフレッシュ事業等、サステナブルな社会を実現する為の取り組みも積極的に行っている。

(2) 組立工場見学 (写真-3, 4)

組立工場には中型組立と大型組立の2つのラインを併設。中型組立ラインでは、リジッドダンプトラック、モーターグレーダー、ホイールローダ等の複数機種を1つのラインで生産する混合ラインとなっている。茨城工場で生産する機種は、全て受注生産の為、ライン投入時から機種名、仕様、シリアルNoと併せて客先名まで把握し、常にお客様を意識しながら組立を進めている。主要コンポーネント（大物製缶構造物、アクスル等）は自社生産にこだわり、品質向上・コスト改善への取り組みを追究している。また、手持ち物品の重量規制や高所作業時の専用リフター配置、工場通路の指差し呼称等、工場内の安全活動も徹底されていた。検査工程では、工場建屋内に設けられた試験用ベンチルームでシャーシダイナモによる出力試験が実施さ



写真-3 コマツ 中型組立ライン



写真-4 コマツ茨城工場からの出荷ルート



写真-5 コマツ茨城工場 集合写真

れ、180項目もの検査をクリアした機械が出荷される。

5. おわりに

両工場共に常陸那珂港区に隣接している為、完成車に近い形で出荷→船積が出来ることが最大のメリットとなっている。出荷工数やリードタイム短縮に貢献するだけでなく、輸送効率の大幅な改善が、環境負荷軽減にも繋がっていると感じた。巨大建機の生産現場見学も勉強になったが、両工場の安全や環境に対する取り組みも知る事ができ、非常に有意義な見学会だった。最後に日立建機(株)常陸那珂臨港工場、コマツ茨城工場の皆様には、今回の見学会を快く受入れて頂いた事に深く感謝し、厚く御礼申し上げます。

JCMMA

【筆者紹介】

尾形 淳 (おがた じゅん)
 (株)加藤製作所 設計第4部
 専任課長
 (一社)日本建設機械施工協会
 機械部会 ダンプトラック技術委員会 委員



構造実験におけるデジタル画像相関法（DIC）を用いた 変形挙動計測の取り組み

井上 一磨

近年、3D スキャナーや画像処理・解析によって対象物全体の変形挙動を把握するための計測技術の開発が進んでおり、これらのいくつかは実用化され、様々な実験や計測に適用されてきている。施工技術総合研究所においても、構造実験や実橋梁のモニタリング等でこれら計測技術を用いた計測を実施してきている。本稿では、このような計測技術のひとつとして、対象構造物の変形やひずみ量を画像解析によって面的に計測することができるデジタル画像相関法（DIC）を適用した計測事例を紹介する。

キーワード：デジタル画像相関法、画像計測、変位計測、ひずみ計測、3次元計測

1. はじめに

橋梁分野において構造物の老朽化を背景に維持管理に着目した検討が進められてきている。施工技術総合研究所においても、維持管理に関する新たな補修・補強技術に着目した構造実験や材料試験、実際に損傷が発生しているような橋梁の状態モニタリングなどの業務を多く実施してきている。これら業務では、対象とする試験体や構造物の構造的挙動を的確かつ正確に把握することが求められており、多種多様な計測技術を用いて、応力や変形などの各種データの取得が行われる。

応力挙動を把握する手法として従来から、ひずみゲージを用いるひずみ測定方法が一般的である。しかし、この方法では、ひずみゲージを設置した位置の局所的なデータしか取得できないため、広範な計測を行うためには多数のひずみゲージを貼付する必要がある。ゴムのように弾性係数が極めて小さい材料については、ひずみゲージが変形に追従できず計測できないこと、コンクリート部材ではひずみゲージ貼付位置にひび割れが発生した後はひずみゲージが破断して計測ができないことなどの課題がある。

他方、変形挙動を把握する手法としては、接触式もしくは非接触式（レーザー）の変形計を用いることが一般的であるが、この手法についても変位計を設置した位置でのデータしか取得できず、多点でのデータ取得には多くの変位計を設置しなければならず、多くの手間とコストがかかる課題がある。

近年、3D スキャナーや画像処理・解析によって対

象物全体の変形挙動を把握するための計測技術の開発が進んでおり、様々な実験や計測に適用されてきている。本稿では、このような計測技術のひとつとして、対象構造物の変形やひずみ量を画像解析によって面的に計測することができるデジタル画像相関法（DIC；Digital Image Correlation method¹⁾）を適用した計測事例を紹介する。

2. デジタル画像相関法（DIC）の概要

DICとは、あらかじめランダムな模様（ドット）を塗布した対象物を変形前後に画像を撮影し、それらの画像を解析することで対象物の変位およびひずみを算出する計測方法である（図-1参照）。DICを用いることで、1度の計測で広範囲の変位・ひずみデータの取得ができ、また、ひずみ分布を見ることで複雑なひび割れの発生・進展を把握することができる。カメラを2台使い、ステレオで撮影することで、3次元の挙動（奥行き方向の変形）を計測することも可能である。このように、画像によって広範囲の変形挙動が把握可能なことの他に、材料特性の影響を受け難く、大変形

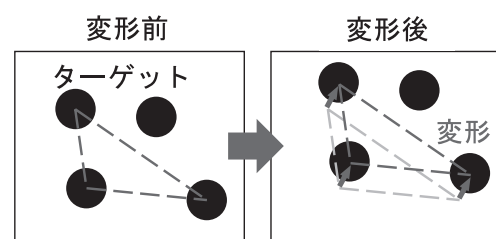


図-1 DIC計測の原理

が生じる場合にも対応できることも大きな特徴である。施工技術総合研究所が所有する DIC システムの仕様を表一に示す。

3. 計測事例

ここでは、DIC システムを適用した、施工技術総合研究所で実施したゴム支承、コンクリート梁、鋼部材を対象とした荷重試験での計測事例を紹介する。

(1) ゴム支承のせん断荷重試験²⁾

ゴム支承に鉛直力とせん断力が同時に荷重された場合の、ゴム支承の変形に伴う表面のひずみ分布を把握することを目的として実施した荷重試験の事例である。

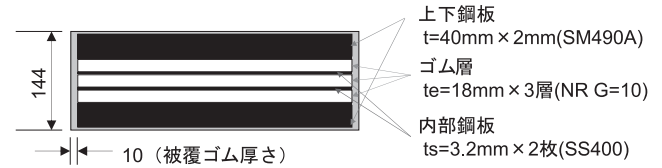
試験体概要図を図一に示す。3層の積層ゴム支承を対象とし、被覆ゴムありとなしの試験体を対象とした。荷重方法としては、鉛直方向に最大鉛直荷重 1,920 kN まで荷重し、鉛直荷重を作用させたまません断方向に ± 37.8 mm 変形させた (図一参照)。DIC の計測は、ゴム支承の側面を対象とした。

DIC による計測結果の一例として、図一に面外変形のコンターを示す。これらのコンター図は奥行き方向の変位量を示しており、鉛直荷重の最大値作用時と鉛直荷重を作用させながらせん断方向に変形させた際の結果を示している。これらの図より、面外方向の変形を分布として取得することができていることがわかる。また、被覆ゴムありよりも被覆ゴムなしのほうが面外変形は大きい結果となっており、被覆ゴムによってゴム支承表面の面外方向の変形が緩和されていたことがわかった。

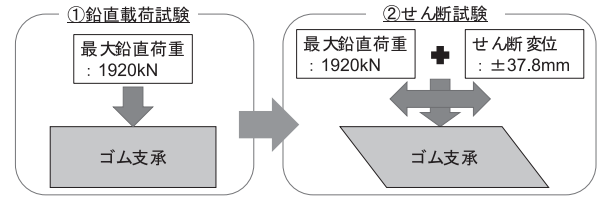
DIC と型取りゲージの面外変形の計測結果の比較を図一に示す。これは、被覆ゴムなしの試験体中央位置の結果である。この結果から、面外変形については、DIC でも精度よく計測できていることがわかった。

以上のように、DIC では、ゴム材料の変形を計測する手法として適用可能であることが示された。ま

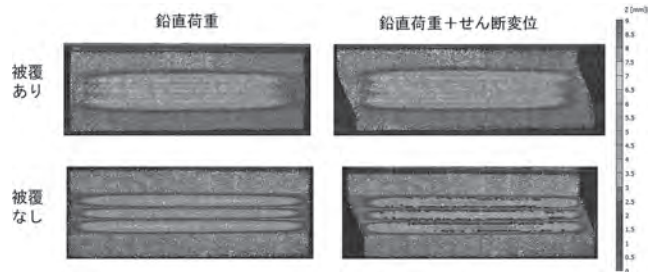
た、ひずみゲージでは計測できないゴム材料のひずみについても、本計測結果からひずみ値を求めることができる。



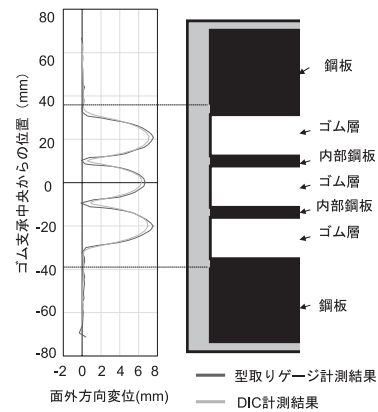
図一 2 ゴム支承試験体概要



図一 3 荷重方法



図一 4 被覆の有無による面外変形量の比較



図一 5 面外変形の DIC と型取りゲージの計測結果の比較 (被覆ゴムなし)

表一 1 DIC システムの仕様

計測機器	型式	仕様
計測ソフト	VicSnap-9 (correlated SOLUTIONS)	アナログデータと同期可能 サンプリング速度：1 Hz 程度
解析ソフト	Vic-3D 7 (correlated SOLUTIONS)	カメラ 2 台を使用した 3 次元の解析が可能
高解像度カメラ	Grasshopper3 GS3-U3-123S6M (FLIR)	1,200 万画素 (4,096 × 3,000 pixel)
高解像度カメラ	CSI-5MP (correlated SOLUTIONS)	500 万画素 (2,448 × 2,048 pixel)
ノート PC	Dell precision 7510 (Dell)	プロセッサ：Intel (R) Core (TM) i7-6920HQ 実装メモリ：16.0 GB システムの種類：64 ビット

(2) コンクリート梁の4点曲げ載荷試験

コンクリート梁の4点曲げ載荷を実施し、DICによる計測において、コンクリート材料に着目して各パラメータが計測精度に与える影響について検証したものである。

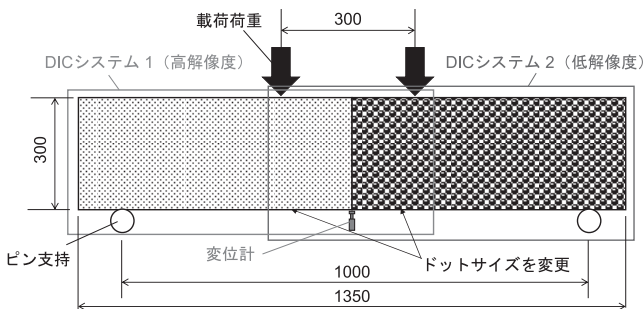
試験状況を写真—1に、試験概要を図—6に示す。この実験では、長さ1,350 mm、幅225 mm、高さ300 mmのコンクリート梁を用いた。支持点にはピンを設置し、支間長は1,000 mm、等曲げ区間は300 mmとした。DICの計測では、ドットの大きさやカメラの解像度をパラメータとした。試験体左側はドットを細かくし（径0.5～1.0 mm程度）、右側はドットを粗くしている（径2.0～3.0 mm程度）。また、左側の計測では解像度の高いカメラ（1,200万画素）を使用し、右側の計測では比較的解像度の低いカメラ（500万画素）を使用した。左右のカメラの画角は試験体中央で重なるように設定した。

試験機荷重150 kN時のDICによるひずみ分布(Von Mises)を図—7に示す。試験機荷重150 kN時では目視でひび割れを判断できていなかったが、DICの結果から等曲げ区間でひび割れが発生していると推定される。また、カメラの解像度が高いほうがひび割れの発生状況がより鮮明に把握できることがわかる。

DICと変位計による試験体中央位置の鉛直方向変



写真—1 試験状況



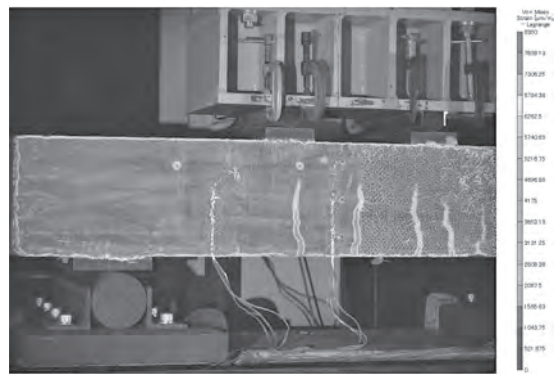
図—6 コンクリート梁載荷試験概要

位の計測結果を図—8に示す。この図より、DICの計測結果が変位計の計測結果と同程度であることがわかる。また、ドットの大きさやカメラの解像度によって変位の計測結果には大きな差が生じていないことがわかる。

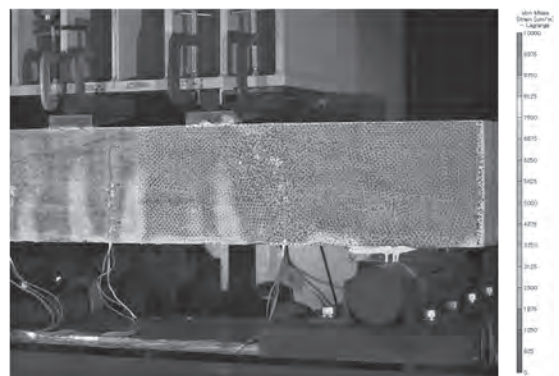
(3) 異種金属の突合せ溶接継手試験体の引張試験³⁾

ステンレス鋼と炭素鋼の突合せ溶接継手を対象とした引張試験について紹介する。この実験は、異種金属の突合せ溶接部の引張強さや溶接部周辺の変形挙動について着目した実験である。

試験体概要を図—9に、DIC計測状況を写真—2

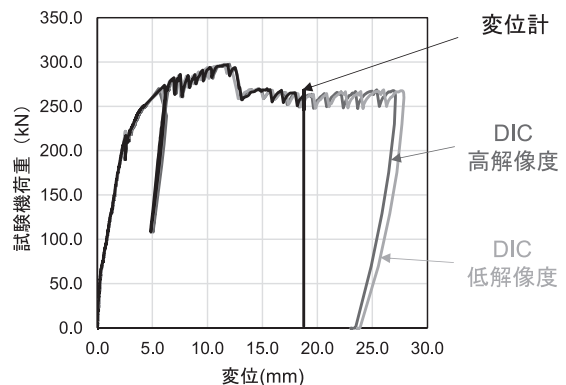


(1) 高解像度カメラ



(2) 低解像度カメラ

図—7 画素数の差によるひずみ分布の比較 (Von Mises)



図—8 変位計とDICの変位計測結果

に示す。SUS304とSM400、SUS821L1とSM490Yの組み合わせのステンレス鋼と炭素鋼の組み合わせの試験体を用いた。引張試験時のDICのひずみ計測結果として降伏時のひずみ分布を図-10に示す。これらの結果から、各鋼種や溶接部のひずみを降伏領域まで計測できていることがわかる。また、ひずみのコンター図を見ると、鋼種や溶接部で発生ひずみが異なっていることがわかり、異種金属の溶接部の変形状を確認することができたと考えている。

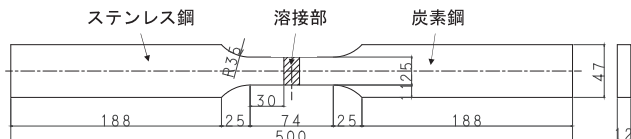


図-9 試験体概要

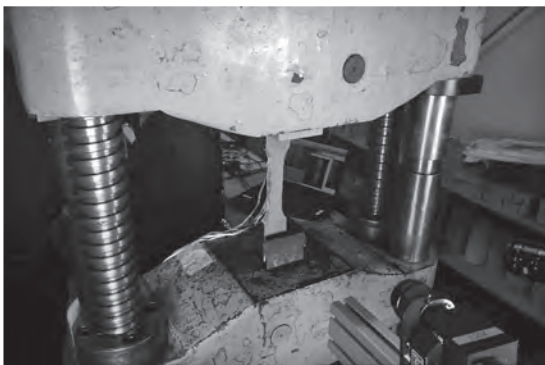


写真-2 試験状況

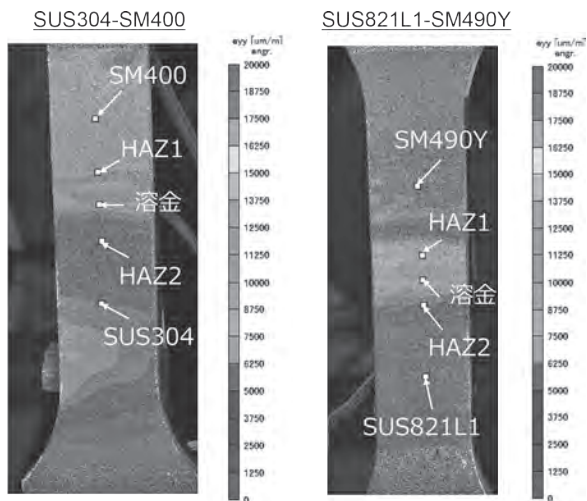


図-10 DICによるひずみ計測結果

4. おわりに

DICを用いることで、今まで計測が困難であった材料や大変形領域の挙動の計測が可能となり、ひずみおよび変位を広範囲に把握することができる。ただし、DICの計測には大量の画像の取得が必要となり、取得データが膨大になるにしたがって解析に時間を要するといった課題がある。しかしながら、AIやデータ処理技術が発展してきている昨今の背景から、ひずみゲージや変位計といった計測方法からDICをはじめとした画像計測技術を用いた計測方法が今後主流となると思われる。また、ここでは説明を省略したが、実橋等の屋外での現場計測においては様々な課題もある。今後、計測精度が高く、広範囲かつ3次元の計測が可能なDICが実際の橋梁等の現場で適用できれば、より高度な実橋モニタリングが可能となると思われる。

当研究所では、様々な大型実験を始めとする調査研究を行っており、より良い研究成果を得るために実験や試験技術を進歩させるとともに、新しい計測技術の適用にも注視しながら業務を進めて行きたいと考えている。

JCMA

《参考文献》

- 1) 出水享, 松田浩, 戸次翔, 森崎雅俊, 内野正和, 伊藤幸広, 森田千尋: デジタル画像相関法のひずみ計測向上に関する基礎的研究, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.68, No.2 (応用力学論文集 Vol.15), I_683-I_690, 2012.3.
- 2) 井野裕輝, 小野秀一, 渡邊晋也, 今井隆, 原暢彦: デジタル画像相関法を用いたゴム支承の変形計測, 土木学会第73回年次講演会, I-418, p.835-836, 2018.8.
- 3) 荒牧聡, 下里哲弘, 小野秀一, 志村保美, 松下裕明: 3次元画像相関法によるステンレス鋼と炭素鋼との溶接継手の引張特性, 鋼構造論文報告集, 28巻, p.747-753, 2020.11.

【筆者紹介】

井上 一磨 (いのうえ かずま)
 (一社) 日本建設機械施工協会
 施工技術総合研究所 研究第二部
 研究員



04-455	トンネル覆工コンクリート 全自動打設システム	鹿島建設
--------	---------------------------	------

▶ 概 要

少子高齢化により建設業界の技能労働者不足が深刻化している。また、山岳トンネルにおける覆工コンクリートの施工は、移動式型枠（セントル）内で窮屈な姿勢での作業が生じ、技能労働者にとって大きな負担であると同時に、その技量によって品質が左右され、ばらつきが生じやすい。本システム（図-1）は、各種技術および装置を結集し、セントル内での作業を一切必要としない覆工コンクリートの自動打設を実現することで、高い品質を確保しつつ、施工の省力化および省人化と、それによる安全性の向上を図るものである。

▶ 特 徴

本システムでは、覆工用中・高流動コンクリートを、ポンプによる圧送から打設口の切替え、型枠バイブレータの操作までを自動制御しながら打ち込める。

(1) 覆工用中・高流動コンクリート技術

覆工用中流動コンクリートは軽微な締固めで充填できるコンクリートであり、覆工用高流動コンクリートは締固め不要を実現する流動性の高いコンクリートである。その技術的課題は、ブリーディングや材料分離の抑制、可使用時間の確保と所定の強度発現性の両立等であるが、これらを同時に実現する高性能AE減水剤を開発・実用化している。

(2) コンクリートポンプ2台を連携させた打設制御装置

大量・高速打設に対応するため、コンクリートポンプ（以下、ポンプ）を左右に1台ずつ配置した。覆工用中・高流動コンクリートは普通コンクリートに比べて流動性が高く型枠に作用する圧力が大きくなるため、左右均等に打ち上げることが重要な

管理項目となる。そこで、型枠表面に設置した複数の高さ検知センサでコンクリートの打上がり高さを検知し、各ポンプの吐出量を自動で切替え制御することができる装置を開発した。

(3) 新しい打設配管装置（回転式打設口）

本装置は、回転式打設口を主部材とするものである。回転式打設口は、(2) 打設制御装置と連動して、打込み時には打設口が型枠内部に接続し、打込みが完了すると回転して型枠表面で接続口の蓋が閉まる。それと同時に、次の打設口への配管ルートが開通される構造となっている。これにより、打設中の配管内に残留するコンクリートの回収や配管清掃が不要となる。

(4) 型枠バイブレータ完全自動制御装置

従来、覆工用中流動コンクリートの締固めは、型枠バイブレータで行われ、その制御を人が操作盤を介して手動で行っている。また、覆工用高流動コンクリートでは、締固めが不要なものの美観向上を目的に天端部では型枠バイブレータを稼働させている。そこで、型枠バイブレータを完全自動制御する装置を開発し、人による操作を不要とした。本装置は、稼働のタイミングや振動時間をパターン化して事前に設定することにより、(2) 打設制御装置と連動して、コンクリートの打上がり高さに応じて自動で型枠バイブレータを稼働させることができる。

▶ 用 途

- ・ NATM による山岳トンネル工事

▶ 実 績

- ・ 新名神大津大石トンネル（NATM、総延長約 1.6 km）
- ・ 新名神宇治田原トンネル（NATM、総延長約 1.8 km）

▶ 問 合 せ 先

鹿島建設(株) 土木管理本部 土木工務部トンネルグループ
〒107-8477 東京都港区赤坂 1-3-8
TEL：03-5544-1111（代）

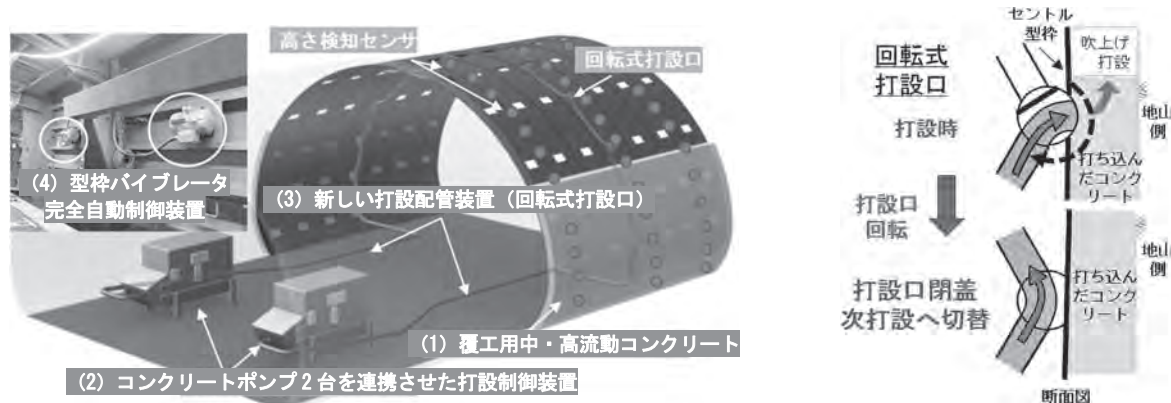


図-1 トンネル覆工コンクリートの全自動打設システム

新工法紹介

04-456	切羽版 SP-MAPS	清水建設
--------	-------------	------

概要

山岳トンネルの掘削出来形管理におけるあたり取り作業では、作業員が切羽直近にて目視であたり箇所を判断し、油圧ブレイカーのオペレータに指示することが一般的である。しかし、この目視での確認方法は、掘削直後の不安定な切羽直近での作業のため、目視に代わる安全な確認手法が求められていた。また、従来手法では、定量的に掘削出来形を把握することが困難であったため、繰り返し作業によるサイクルタイムの増加や余掘りの発生に伴うコストの増加の懸念があった。

そこで、作業員を要さず切羽素掘面の掘削状況を精緻に把握できる切羽版 SP-MAPS を新たに開発した (図-1)。

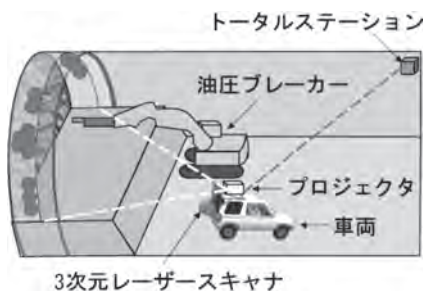


図-1 切羽版 SP-MAPS の使用イメージ

切羽版 SP-MAPS は、3次元レーザースキャナを用いて計測した掘削形状と設計形状の比較結果を基に、掘削の過不足量に応じて色分けしたマッピング画像を作成し、掘削素掘り面に直接照射することで、掘削の過不足量を可視化する技術である (図-2)。

本システムは、3次元レーザースキャナ、照射用プロジェクタ、SP-MAPSの座標取得のための測量用プリズム、ノートPC、測量機器 (トータルステーション) から構成され、測量機器を除くすべての機器を計測車両に搭載して使用するため、

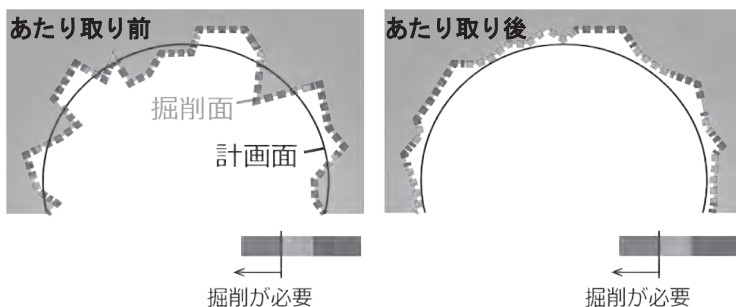


図-2 掘削の過不足を示す画像の照射



図-3 切羽版 SP-MAPS の機器構成

設置・撤去が容易である (図-3)。計測車両は、ずり出し後、切羽近傍に移動させ、ノートPCでの操作により、測量から画像照射までをシステムが自動で行うことができる。

特徴

- ・切羽直近で掘削状況を確認する作業員が不要となり、あたり取り作業の安全性が飛躍的に向上する。
- ・1回の計測・照射にかかる時間は約50秒、車両の位置を変えず照射画像を更新する場合には約30秒となり、リアルタイムに近い管理が可能である。
- ・マッピング画像は連続的に更新・表示されるため、掘削の過不足量を確認しながら掘削でき、作業の効率化と余掘りの発生を抑制できる。
- ・実証試験結果から、従来手法と比べて、あたり取り作業の時間を約32%削減、余掘り量を約17%低減できる。

実績

- ・東海北陸自動車道 真木トンネル工事
- ・三遠南信自動車道 三遠道路2号トンネル工事

問合せ先

清水建設(株) 土木技術本部 地下空間統括部
〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16-1
TEL: 03-3561-3887



図-4 切羽版 SP-MAPS 使用状況

▶ 〈05〉 クレーン、インクラインおよびウインチ

23-〈05〉-02	古河ユニック 乗車型ミニ・クローラクレーン URW370C シリーズ	'23.1 発売 マイナーチェンジ
------------	--	----------------------

2.93 トン吊りの乗車型ミニ・クローラクレーンである。

不整地でも移動に容易なクローラを備え、車体の四隅に格納式アウトリガを設けており、クレーン作業時に伸展、設置して作業を行う移動式クレーンである。

クレーンブームと干渉の恐れがある狭小な現場作業での安全性を高める「作業範囲制限装置」を標準装備し、「ブーム高さ制限機能」「作業半径制限機能」「ブーム長さ制限機能」「ブーム角度制限機能」「旋回角度制限機能」を備える。各制限範囲は任意に設定が可能である。

「ブーム全自動格納機能」を標準装備している。ブームの格納操作はスイッチ1つで行うことができ、作業終了時の撤収作業の効率化を図っている。

手動操作のほか、遠隔送信機を用いた無線操作も可能である。遠隔送信機に設けた液晶ディスプレイ表示は、従来の各種状態表示に加え、現在つり上げている荷重とつり上げ可能な荷重を強調した「つり荷重の拡大表示」も選択可能である。つり荷重の表示は従来通り10 kg 単位で表示される。

また、機材の搬入が難しい山岳地等での使用に対して、ブームやアウトリガなど主要パーツが取り外せ、分解搬送が可能な「分解仕様（オプション）」を改良した。分解後の各パーツの質量を1t未満に抑え可搬性を向上させたほか、各部品構造の見直しにより分解作業時間を約40%、組立作業時間は約30%削減^(※1)した。

ディーゼルエンジン仕様のほか、電動パワーユニット併用仕様があり、電動パワーユニット駆動時は排気ガスを出さずクリーンである。

※1 自社従来機との比較（自社テスト基準による）。実作業では作業条件により異なる場合がある。

表—1 URW370C シリーズの主な仕様

	URW376C4 ^(注1)	URW375C4 ^(注1)
ブーム段数	6	5
最大クレーン容量 (t) × (m)	2.93 × 2.5	2.93 × 2.5
最大地上揚程 (約) (m)	14.9	12.6
最大地下揚程 (約) (m)	18.7	15.6
最大作業半径 (m)	14.45	12.14
フック巻上速度 ^(注2) (m/min)	17	17
ブーム伸長速度 (m)/(s)	10.98/23	8.76/20
ブーム長さ (m)	3.63 ~ 14.61	3.54 ~ 12.30
ブーム上げ速度 (度)/(s)	0 ~ 80/10	
旋回範囲/速度 (度)/(rpm)	360 (連続)/2.5	
走行速度 (km/h)	0 ~ 3	
登坂能力 (度)	23 (直進傾斜角にて)	
クローラ接地圧 (kPa)	36.7	36.2
過負荷を防止するための装置	定格荷重制限装置 (ML 停止型) 定格荷重指示装置 (ML 警報型)	
全長×全幅×全高 (格納姿勢) (m)	4.34×1.3×1.8	4.25×1.3×1.72
質量 (t)	3.925	3.88
価格 (税抜) (百万円)	11.615	12.615

(注1) ディーゼルエンジン仕様

(注2) フック巻上速度：ロープ掛数4、ドラム巻層4

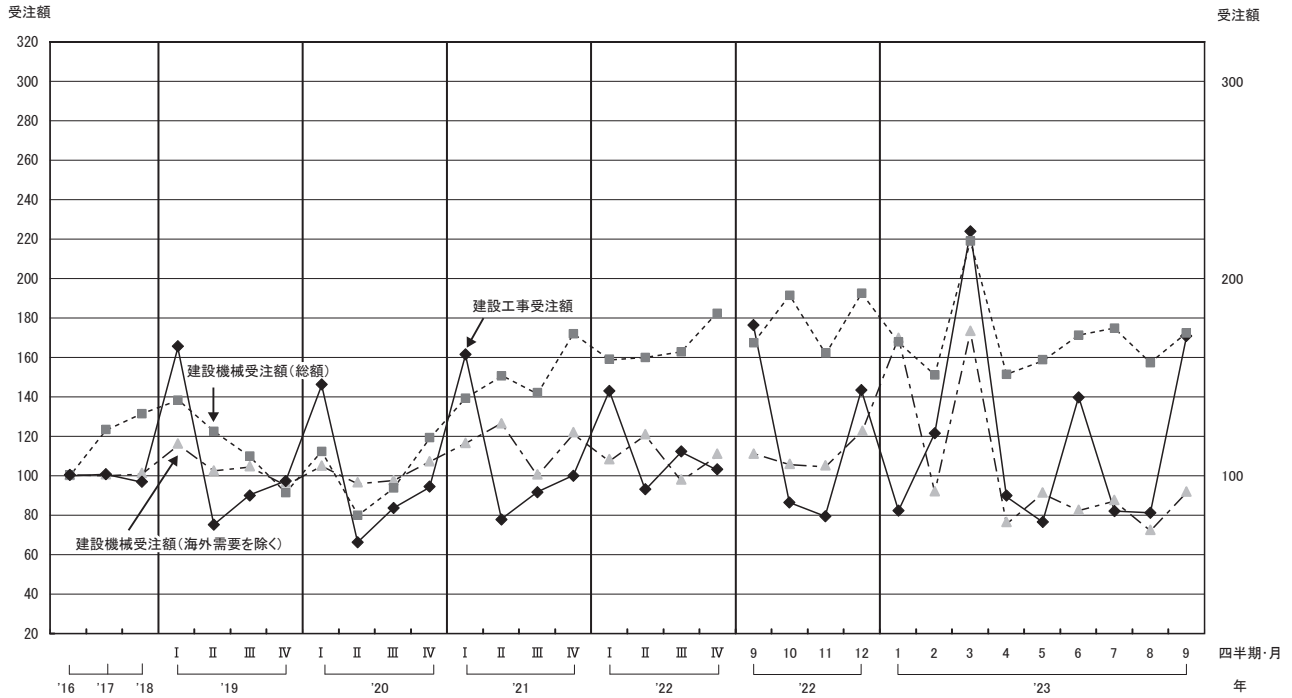


写真—1 古河ユニック URW376C4 乗車型ミニ・クローラクレーン

問合せ先：古河ユニック株 営業企画部販売促進課
〒100-8370 東京都千代田区大手町二丁目6番4号(常盤橋タワー)
TEL：03-6636-9526
E-mail：u-hansoku-g@furukawakk.co.jp

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 2016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 2016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							
2016年	146,991	99,541	17,618	81,923	38,894	5,247	3,309	98,626	48,366	151,269	134,037
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
2022年 9月	21,617	13,586	3,925	9,661	5,298	680	2,052	13,970	7,647	208,186	15,244
10月	10,520	7,331	1,341	5,991	2,426	413	351	7,400	3,120	208,774	9,760
11月	9,636	6,849	1,908	4,941	2,121	385	282	6,736	2,900	206,833	11,819
12月	17,593	14,275	5,184	9,091	3,208	540	-430	13,048	4,544	207,841	16,317
2023年 1月	10,021	6,986	1,556	5,430	2,452	336	248	6,867	3,154	207,251	10,213
2月	14,867	9,285	1,928	7,358	5,010	372	199	9,662	5,204	209,850	12,419
3月	27,481	18,606	4,053	14,553	7,409	674	791	17,187	10,294	214,894	21,223
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	-	-

建設機械受注実績

(単位：億円)

年 月	16年	17年	18年	19年	20年	21年	22年	22年 9月	10月	11月	12月	23年 1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
総 額	17,478	21,535	22,923	20,151	17,646	26,393	29,024	2,439	2,790	2,361	2,804	2,445	2,198	3,197	2,214	2,308	2,494	2,549	2,289	2,516
海 外 需 要	10,875	14,912	16,267	13,277	10,966	18,737	21,816	1,832	2,211	1,788	2,130	1,509	1,694	2,246	1,795	1,807	2,042	2,070	1,894	2,013
海外需要を除く	6,603	6,623	6,656	6,874	6,680	7,656	7,208	607	579	573	674	936	504	951	419	501	452	479	395	503

(注) 2016～2018年は年平均で、2019～2022年は四半期ごとの平均値で図示した。
 2022年9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

(2023年10月1～31日)

機械部会



■機械部会 幹事会

月 日：10月3日(火)(会議室, Web 並行開催)

出席者：椎名徹副部長ほか17名
議 題：①副部長より挨拶 ②各技術委員会委員長よりR5年度上期の活動報告, 下期の活動についての説明と審議 ③事務局からR5年度上期の機械部会の活動実績(数値データ), 各委員会のトピックスについて報告

■油脂技術委員会

月 日：10月5日(木)(会議室, Web 並行開催)

出席者：石川広二委員長ほか25名
議 題：①燃料エンジン油関係：カーボンニュートラル燃料の動向に関する報告 ②高粘度指数作動油関係：規格内容のアンケート集計結果報告 ③規格普及促進関係：新規摩擦材の追記にともなうJCMAS改正の件, オンファイル状況の報告, JAMA エンジンオイルセミナー関連(LCM WGの参加について) ④JCMASの改正について：進捗状況の報告, ペンディング事項について ⑤その他：油脂技術委員会の運営体制と役割分担について, ホームページの更新について, 令和5年度活動について

■機械整備技術委員会

月 日：10月10日(火)(会議室, Web 並行開催)

出席者：小林一弘委員長ほか9名
議 題：①電動建機のシステムに関する資料作成について討議 ②建設機械整備技術者および, ICT 担当者の雇用状況に関する議論 ③見学会候補地について議論

■トラクタ技術委員会

月 日：10月11日(水)(会議室, Web 並行開催)

出席者：大場元樹委員長ほか7名
議 題：①GX 建設機械認定制度について：建設施工の地球温暖化対策検討分科会(9/19開催)の概要報告 ②各社トピックス：ヤンマー建機「トラックローダの履帯機構(Posi-Track)についての紹介」

■トンネル機械技術委員会 機械設備改善WG

月 日：10月12日(木)(会議室, Web 並行開催)

出席者：椎橋孝一郎リーダほか14名
議 題：①メンバーより提出された機械設備改善調査票について記載内容の説明と議論 ②調査票のまとめ方に関する討議 ③今後の進め方について議論

■トンネル機械技術委員会 積込・運搬機械調査WG

月 日：10月13日(金)(会議室, Web 並行開催)

出席者：浅沼副委員長ほか13名
議 題：①積込・運搬機械に関する技術紹介と意見交換：サンドビック(株)の技術紹介, (株)アクティオの技術紹介 ②WGの運営方法に関する議論

■トンネル機械技術委員会・幹事会

月 日：10月18日(水)(会議室, Web 並行開催)

出席者：丸山修委員長ほか11名
議 題：①第4回WGの報告と今後の進め方について議論 ②技術講演会について：講演者選定の状況確認, 当日までの実施事項などの確認 ③CNに対応した建設機械施工を推進するための要望事項について議論

■基礎工用機械技術委員会 見学会 新名神高速道路 大戸川橋ほか2橋(PC上部工) 工事 見学

月 日：10月20日(金)

参加者：樗沢淳一副委員長ほか13名
見学内容：PRC 連続箱桁橋を移動作業車を用いて各橋脚上から順次, 張出し架設工法で構築する工事

■コンクリート機械技術委員会

月 日：10月25日(水)(会議室, Web 並行開催)

出席者：篁谷武委員長ほか9名
議 題：①前回の議事録確認 ②技術発表：日工(株)「大型連続ミキサと運用事例紹介」 ③標準部からの情報共有：「ISO/TC 195/SC 1 国際バーチャル総会(9/15(金)) 概要報告」

■除雪機械技術委員会 見学会

■コマツ栗津工場 見学

月 日：10月30日(月)

参加者：坂井幸尚委員長ほか26名
見学内容：ホイールローダ, モータグレーダ, 油圧ショベル, ブルドーザ等の生産工場の見学

■除雪機械技術委員会 見学会

■岩崎工業(株) 見学

月 日：10月31日(火)

参加者：坂井幸尚委員長ほか26名

見学内容：除雪トラック生産工場の見学

標準部会



■ISO/TC 214 昇降式作業台親委員会及び傘下のWG 1 高所作業車作業グループ総会

月 日：10月2日(月)夜～6日(金)夜

出席者：日本は出席見送り

場 所：英国ロンドンの英国規格協会BSI

議 題：
WG 1 高所作業車 議題：①開会(出席者点呼・ISO 行動規範確認・議事案採択) ②DIS 18893 投票結果及び各国意見対応検討 ③DIS 16368 「高所作業車-設計, 計算, 安全要求事項及び試験方法投票結果及び各国意見対応検討」 ④他の案件(CD 18878 運転員の教育・今後の業務候補「頭上の障害物検知」など) ⑤各国標準化状況報告 ⑥次回会合・その他・閉会

親TC 214 議題：①開会(出席者点呼・ISO 行動規範確認・議事案採択・決議起草委員指名・幹事国報告・連携報告など) ②WG 1 報告(FDIS 16368 日程含め了承の旨決議) ③ISO/TC 110/SC 2 主導のMPEPs 標準化報告 ④次回会合, その他, 決議承認, 閉会

■ISO/TC 127/SC 3/WG 13-ISO 6750 運転取扱説明書 国際WG (Web 会議)

月 日：10月3日(火)夜

出席者：事務局など出席

場 所：Web 上 (ISO Zoom)

議 題：①開会(出席者点呼, 議事案採択など, ISO 行動規範確認, 前回議事録確認など) ②ISO/TR 6750-2 参考文献リストの見直し必要性及び次の段階 ③ISO 6750-1 の改正可能性 ④会議まとめ, 次回会合, その他

■ISO/TC 127 インド国際総会(親委員会及びSC 1～SC 4 分科委員会総会並びにCAG 議長諮問グループ会議)

月 日：10月8日(日)～12日(木)

出席者：日本・小塚大輔(コマツ) 首席代表など日本代表9名(対面)+2名(Web), 海外から対面出席30名程度, Web 出席20名弱

場 所：インド・ニューデリー及びWeb 上 (ISO Zoom)

議 題：
CAG (10月8日) 議題：①開会(会議の事務的事項, 出席者自己紹介及びCAG メンバ確認, CAG 会議の目的確認及び議事案採択, ISO/TC 195 建設用機械及び装置との連携関係を議事に

含めるべきとのフランス意見など)

②各SCの重要事項 ③今後のWG計画：後任国際議長候補のMoughler氏がWG日程をWeb上でアクセス可能な形で提示 ④現状各案件の問題点 ⑤新業務候補など ⑥先々の総会場所：中国が長沙市での開催を申し出 ⑦次回CAG会合、その他など

親TC 127総会(10月9日午前及び12日)

議題：①開会 ②CAG会議報告 ③ISOの最新動向紹介 ④TC直属作業グループ及び特設グループ報告 ⑤各分科委員会SC報告 ⑥連携報告 ⑦新業務候補(インドから機械式衝突軽減技術標準化意向示唆、フランスから水素駆動関連を示唆、関連して日本がISO/TC 197水素技術の連携代表引き受け) ⑧次回会合(中国が長沙市での開催を申し出も、今回は本来欧州の順番) ⑨決議承認 ⑩閉会

SC 1総会(10月9日午後) 議題：①開会 ②役職者人事 ③作業グループ及び業務項目活動報告及び対応 ④定期見直し ⑤連携報告 ⑥今後の業務候補 ⑦決議採択後閉会

SC 2総会(10月10日) 議題：①開会 ②傘下の作業グループなど及び業務項目の報告 ③連携報告 ④役職者人事 その他(新業務候補、次回会合、その他、決議採択)

SC 3総会(10月10日午後遅く及び11日午前) 議題：①開会 ②WG及び業務項目活動状況報告及び対応 ③定期見直し ④役職者人事 ⑤決議採択後閉会

SC 4総会(10月11日午後) 議題：①開会 ②WG及び業務項目の進捗状況報告及び対応 ③決議採択後閉会

■ ISO/TC 195 親委員会

月日：10月17日(火)・23日(月)(予備日①)・26日(木)(予備日②)

出席者：佐々木正博委員長(ファーストループテクノロジー)ほか28名

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：①2023年9月に開催されたTC 195・傘下SC総会(バーチャル)の報告 ②2023年3月～9月に開催されたWG会議(バーチャル)の状況報告 ③各分科委員会案件の審議

■ ISO/TC 214/WG 1 高所作業車WG国際会議

月日：10月17日(火)日本時間では夜
出席者：カナダMcGREGORコンビナー(Skyjack社)・米国MOSS幹事・米国GROATプロジェクトリーダー(IPAF)など海外(米国・英国・カナ

ダ・オーストラリアなど)から12名、

日本からは事務局1名出席

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：①開会(出席者点呼、ISO行動規範確認、議事案採択など) ②ISO/DIS 18893投票時各国意見に対応検討、日本は離隔距離の意見について説明 ③次回会合の要否(10月26日に次回開催)

■ ISO/TC 195/SC 3/WG 2 穿孔及び基礎工用機械-安全国際バーチャルWG会議

月日：10月18日(水)夜

出席者：山本卓也委員(技研製作所)ほか17名

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：WD 20770-1～-6コメント審議(続き)

■ ISO/TC 82/SC 8/JWG 4 遠隔操縦、自律式及び有人操縦鉸山機器の相互運用性の仕様JWG国際会議

月日：10月24日(火)日本時間では夜

出席者：日本からは岡ゆかりコンビナー(コマツ)など4名出席、ISO/PWI 24446(プラスチックホルドリール-電子運転インターフェースの仕様-第1部：機械操作インターフェース)のPLのJoshua Leeman氏(Rio Tint)など海外(米国・オーストラリアなど)から7名程度出席

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：①開会(ISO行動規範確認、出席者点呼、議事案採択その他) ②コンビナー及びプロジェクトリーダーの報告 ③ISO/PWI 24446案文に対する意見検討 ④今後の予定・次回会合などまとめ

■ ISO/TC 195/SC 1 委員会

月日：10月25日(水)

出席者：川上晃一委員長(日工)ほか10名

場所：協会会議室及びWeb上(ISO Zoom)

議題：①SC 1バーチャル総会(9月15日(金))詳細報告・宿題事項対応協議 ②TC 195国際バーチャル総会(9月21日(木))ほか概要報告 ③標準部会令和5年度上半期活動状況報告

■ ISO/TC 195/SC 3/WG 1 穿孔及び基礎工用機械-商業仕様国際バーチャルWG会議

月日：10月25日(水)夜

出席者：山本卓也委員(技研製作所)ほか9名

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：CD 11886意見照会結果確認

■ ISO/TC 127/SC 3/JWG 16-ISO 23870 走行式機械-高速相互接続-セキュリティ特設会合

月日：10月25日(水)日本時間では夜
出席者：米国Jessop LUESCHOW幹事(Deere社)など海外(米国・ドイツ・スウェーデン・ニュージーランド・イタリア・韓国・英国など)から約20名程度、日本から庄司裕之委員(コマツ)・藤本光一氏(クボタ、農業機械関係者)など3名出席

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：Cross Domain Identity Management(様々なドメイン間でのID管理)についての関連専門家からの説明

■ ISO/TC 214/WG 1 高所作業車WG国際会議

月日：10月26日(木)日本時間では夜
出席者：カナダMcGREGORコンビナー・米国MOSS幹事・米国GROATプロジェクトリーダーなど海外(米国・英国・カナダなど)から約10名程度、日本からは事務局出席

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：①開会(出席者点呼、ISO行動規範確認、議事案採択など) ②ISO/DIS 18893についてPLのMaintenanceに関する修正案の検討(付記：会議紛糾して結論に至らず、今後、意見聴取(投票)を実施方向となった)

建設業部会



■ 2023年機電技術者のための講演会

月日：10月6日(金)

参加者：森田将史部会長ほか153名(会場18名・Web参加者114回線(同時視聴者22名))

参加方法：機械振興会館6階6D-1, 2, Web参加(Zoom 500回線)

講演：①『宇宙建築ベンチャー企業「OUTSENSE」の折り技術と取り組みのご紹介』[講演者] ㈱OUTSENSE代表取締役/CEO高橋鷹山様 ②『日立建機のカーボンニュートラルに向けた取組』[講演者] 日立建機㈱コンストラクションビジネスユニット電動建機開発センター長 新留隆志様

■ 建設業部会

月日：10月11日(水)

出席者：森田将史部会長ほか27名(内Web参加者9名)

議題：①部会長挨拶 ②R05年度活動体制 ③R05年度活動計画・実績：

(1)2023.08.30～31 現場見学会の報告、
 (2) R05 年度 合同部会 ④ R05 年度
 上期各 WG 活動報告 ⑤その他 建設
 業部会外活動報告：(1) R05 年度建設
 施工と建設機械シンポジウム、(2) R05
 年度 建設施工の地球温暖化対策検討
 分科会、(3) R05 年度 研究開発等助
 成検討委員会 (旧 研究開発助成委員
 会)、(4) R05 年度 標準部会関連委員
 会 ⑥その他 意見交換：(1) 施工デー
 タの API 連携に関する協議会のご紹介

■クレーン安全情報 WG

月 日：10月24日 (火)

出席者：猪又勝美主査ほか9名

議 題：①クレーンの最新動向ヒアリン
 グ (コベルコ建機) ②10/11 建設業
 部会報告 ③建機工相談：移動式ク
 レーン定期自主検査制度の更新講習テ
 キスト改訂に伴う JCMA 編集物の事
 事故例提供について ④事故事例発表
 ⑤その他

■機電交流企画 WG

月 日：10月27日 (金)

出席者：落合博幸主査ほか8名 (内
 Web参加者3名)

議 題：①10/6 2023 年度機電技術者の
 為の講演会アンケート等終了後報告
 ②10/11 建設業部会報告 ③令和5年
 度若手現場見学会 (横浜環状南線桂台
 T) の開催計画について ④令和5年
 度 (2024 年) 第24回機電技術者意見
 交換会開催計画について ⑤その他

■三役会

月 日：10月31日 (火)

参加者：森田将史部会長ほか3名

議 題：①10/11 建設業部会報告・反省
 ②10/24 クレーン安全情報 WG 報告
 ③10/27 機電交流企画 WG 報告
 ④その他 (横浜環状南線桂台トンネル
 見学、合同部会の準備)

レンタル業部会



■レンタル業部会

会 議：コンプライアンス分科会

月 日：10月3日 (火) (Web会議併用)

出席者：飛山分科会長ほか11名

議 題：①分科会長挨拶 ②「お客様の
 安全技術情報の集約とプラットフォーム
 化の検討」の進め方等について
 ③レンタル業としてのトラック輸送業
 における運賃について ④レンタル業
 部会令和5年度上半期事業報告書(案)
 について ⑤各社からの報告事項・情
 報交換

各種委員会等



■機関誌編集委員会

月 日：10月4日 (水)

出席者：中野正則委員長ほか25名

議 題：①令和6年1月号 (第887号)
 計画の審議・検討 ②令和6年2月号
 (第888号) 素案の審議・検討 ③令
 和6年3月号 (第889号) 編集方針の
 審議・検討 ④令和5年10月号～令
 和5年12月号 (第884～886号) 進
 捗状況報告・確認 ※通常委員会及び
 Zoom にて実施

■新工法調査分科会

月 日：10月18日 (水)

出席者：石坂仁分科会長ほか3名

議 題：①新工法情報の持ち寄り検討
 ②新工法紹介データまとめ ③その他

支部行事一覧

北海道支部



■令和5年度建設工事等見学会

月 日：10月3日 (火)

見学場所：仁木トンネル工事現場、コマ
 ツ IoT センター

出席者：村上昌仁広報部会長ほか24名

■令和5年度除雪機械技術講習会(第6回)

月 日：10月18日 (水)

場 所：帯広市 (とち館)

受講者：169名

内 容：①除雪計画 ②除雪機械の取り
 扱い ③除雪の安全施工 ④冬の交通
 安全 ⑤除雪の施工方法

■令和5年度除雪機械技術講習会(第7回)

月 日：10月27日 (金)

場 所：小樽市 (小樽経済センター)

受講者：109名

内 容：上記第6回と同じ

■令和5年度除雪機械技術講習会(第8回)

月 日：10月31日 (火)

場 所：札幌市 (北海道経済センター)

受講者：152名

内 容：上記第6回と同じ

■第2回企画部会

月 日：10月20日 (金)

場 所：札幌市 (センチュリーロイヤル
 ホテル)

出席者：柳原優登企画部会長ほか11名

内 容：①令和5年度上半期事業報告
 ②令和5年度上半期経理報告 ③令和
 5年度下半期主要行事計画 ④第2回
 運営委員会次第(案) ⑤その他

■第2回運営委員会

月 日：10月25日 (水)

場 所：札幌市 (センチュリーロイヤル
 ホテル)

出席者：柳屋勝彦支部長ほか16名

内 容：①令和5年度上半期事業報告
 ②令和5年度上半期経理報告 ③令和
 5年度下半期主要行事計画 ④その他

東北支部



■除雪講習会

⑥横手 (1) 会場

月 日：10月3日 (火)

場 所：秋田県横手市 秋田ふるさと村

受講者：265名

⑦横手 (2) 会場

月 日：10月4日 (水)

場 所：秋田県横手市 秋田ふるさと村

受講者：233名

⑧秋田会場

月 日：10月5日 (木)

場 所：秋田県秋田市 秋田テルサ

受講者：142名

⑨会津 (1) 会場

月 日：10月10日 (火)

場 所：福島県会津若松市 会津アピオ

受講者：181名

⑩会津 (2) 会場

月 日：10月11日 (水)

場 所：福島県会津若松市 会津アピオ

受講者：138名

⑪山形 (1) 会場

月 日：10月17日 (火)

場 所：山形県山形市 山形ビッグウイ
 ング

受講者：184名

⑫山形 (2) 会場

月 日：10月18日 (水)

場 所：山形県山形市 山形ビッグウイ
 ング

受講者：196名

⑬新庄 (1) 会場

月 日：10月19日 (木)

場 所：山形県新庄市 新庄市民プラザ

受講者：114名

⑭新庄 (2) 会場

月 日：10月20日 (金)

場 所：山形県新庄市 新庄市民プラザ

受講者：111名

⑮岩手 (1) 会場

月 日：10月24日 (火)

場 所：岩手県滝沢市 岩手産業文化セ
 ンター

受講者：439名

⑯岩手 (2) 会場

月 日:10月25日(水)

場 所:岩手県滝沢市 岩手産業文化センター

受講者:441名

⑦宮古会場

月 日:10月27日(金)

場 所:岩手県宮古市 陸中ビル

受講者:201名

■ ICT, UAV (i-Construction) 基礎技術講習会 (主催:東北土木人材育成協議会)

【座学】東北地方整備局における i-Construction の取り組み, R4 みちのく i-Construction 奨励賞紹介, 各県・仙台市における取り組み, 3次元測量の概要と留意点(3次元測量の基礎知識, 安全対策, 事例等), ICT 活用工事の監督・検査の留意事項, 点群ソフト, 3D 設計データ, ICT 建機, ICT 技術の適用(計測技術の選定)

【実習】実施工現場での実習, UAV レーザ測量概要説明及び実演, 遠隔臨場事例紹介及び実演

①山形県会場

<座学>

月 日:10月11日(水)

場 所:山形市 山形県庁 講堂

受講者:58名

<実習>

月 日:10月12日(木)

場 所:山形市 馬見ヶ崎川河川改修工事現場

受講者:52名

②福島県会場

<座学>

月 日:10月17日(火)

場 所:福島市 福島テルサ

受講者:48名

<実習>

月 日:10月18日(水)

場 所:郡山市 コマツ IoT センタ福島

受講者:43名

③青森県会場

<座学>

月 日:10月19日(木)

場 所:青森市 県民福祉プラザ

受講者:75名

④岩手県会場

<座学>

月 日:10月26日(木)

場 所:岩手県滝沢市 岩手産業文化センター

受講者:32名

<実習>

月 日:10月27日(金)

場 所:岩手県滝沢市 岩手産業文化センター

受講者:26名

■令和5年度 基礎技術講習会 (インフラDX)(主催:東北土木技術人材育成協議会)

【座学1】インフラDX 概論 講師:東北地方整備局 企画部

【実習1】DX 技術実践 MR 体験, VR 体験, 遠隔臨場体験ほか 講師:東北地方整備局・JCMA 東北支部

【座学2】BIM/CIM 概論 講師:(一社)建設コンサルタンツ協会 東北支部

【実習2】BIM/CIM・点群体験実践演習 講師:JCMA 東北支部

⑥6回目

場 所:東北技術事務所 研修棟

月 日:10月16日(月)

受講者:19名

■インフラDX 研修 (主催:人材育成推進会議構成会社(全6社))

<技術紹介・実演>

月 日:10月26日(木)

場 所:仙台市 公益ビル3階会議室

内 容:①クラウド技術を活用した遠隔VRシステム ②屋外型拡張現実ARシステム ③AI配筋検査端末 ④デジタルツインを用いた遠隔臨場

受講者:33名

■石巻工業高等学校 特別授業

受講生土木システム科2年生32名

<座学>

月 日:10月27日(金)

場 所:石巻工業高等学校

内 容:①ICTを活用した建設技術 ②ICT施工の3次元測量 ③レーザースキャナーによる計測デモンストレーション

<実習>

月 日:10月30日(月)

場 所:㈱佐藤工務店 三本木ヤード

内 容:①ICT建機操作体験 ②TS・GNSS ローバー測量実習 ③UAV飛行デモンストレーションと体験操縦

北 陸 支 部 

■除雪機械安全施工技術講習会(魚沼会場)

月 日:10月2日(月)

場 所:魚沼市地域振興センター

受講者:192名

■除雪機械安全施工技術講習会(富山会場①)

月 日:10月10日(火)

場 所:富山産業展示館

受講者:105名

■除雪機械安全施工技術講習会(富山会場②)

月 日:10月11日(水)

場 所:富山産業展示館

受講者:105名

■除雪機械安全施工技術講習会(新潟会場①)

月 日:10月16日(月)

場 所:新潟県建設会館

受講者:107名

■除雪機械安全施工技術講習会(上越会場①)

月 日:10月17日(火)

場 所:上越商工会議所

受講者:97名

■除雪機械安全施工技術講習会(上越会場②)

月 日:10月18日(水)

場 所:上越商工会議所

受講者:65名

■除雪機械安全施工技術講習会(村上会場)

月 日:10月19日(木)

場 所:村上市民ふれあいセンター

受講者:73名

■除雪機械安全施工技術講習会(長岡会場)

月 日:10月20日(金)

場 所:ハイブ長岡

受講者:168名

■除雪機械安全施工技術講習会(能登会場)

月 日:10月24日(火)

場 所:石川県立生涯学習センター能登分室

受講者:44名

■除雪機械安全施工技術講習会(金沢会場)

月 日:10月25日(水)

場 所:石川県地場産業振興センター

受講者:67名

■除雪機械安全施工技術講習会(新潟会場②)

月 日:10月31日(火)

場 所:新潟県建設会館

受講者:124名

■けんせつフェア北陸2023 in 金沢(屋外展示会場(ICT展示))

月 日:10月4日(水)~5日(木)

場 所:石川県産業展示館

出展者:北陸支部会員8社

来場者:5,000名

■JCMA 北陸支部現場見学会

月 日:10月12日(木)

場 所:コマツ粟津工場(石川県小松市符津町23), 防衛省航空自衛隊小松基地(石川県小松市向本折町戊267)

出席者:北陸支部会員11社18名

中 部 支 部 

■ICTを活用した建設技術講師協力

①愛知県建設技術研修(ICT施工)

月 日：10月4日（水）

開催方法：Web方式による講義

受講者：愛知県職員47名

②中部地方整備局「ICT施工講習会」

月 日：10月6日（金）

場 所：中部インフラDXセンター

受講者：自治体職員等対面39名及び

Web約100名

■学生のためのICT講座講師協力

①三重大学

月 日：10月16日（月）

受講者：教職課程科7名

②愛知工業大学

月 日：10月23日（月）

受講者：工学部土木工学科1年約110名

③愛知県みよし市立南部小学校

月 日：10月24日（火）

受講者：小学6年生54名

■第1回部会長・副部会長会議

月 日：10月25日（水）

出席者：川西光照企画部会長ほか8名

議 題：上期事業報告及び上期経理概況について

■道路除雪講習会 高山会場

月 日：10月27日（金）

場 所：岐阜県高山市飛騨・生活文化センター

受講者：71名

関西支部



■建設施工研修会

月 日：10月19日（木）

場 所：建設交流館 グリーンホール

参加者：50名

内 容：第55回建設施工映画会

スマートコンストラクションムービー

「Hello New World」以下22編

■広報部会

月 日：10月19日（木）

場 所：建設交流館 グリーンホール

参加者：木村泰男広報部会長以下6名

内 容：①「建設技術展2023近畿」

②「ふれあい土木展2023」③「JCMA 関西」について

■建設用電気設備特別専門委員会（第491回）見学会

月 日：10月20日（金）

場 所：①関西電力の水力発電所 蹴上発電所 ②鳥津製作所 創業記念資料館

中国支部



■2023年度i-Construction施工講習説明者認定試験・更新講習

月 日：10月13日（金）

場 所：広島県情報プラザ

受験者：42名

受講者：56名

■第2回広報部会

月 日：10月31日（火）

場 所：Web会議

出席者：錦織豊部会長ほか8名

議 題：広報誌（CMnavi）65号の編集と66号の編成について

四国支部



■建設インフラDXソリューションセミナー2023

月 日：10月3日（火）

場 所：サン・イレブン高松大・中ホール（高松市）

参加者：70名

主催者：（一社）日本建設機械施工協会

四国支部・福井コンピュータ(株)

内 容：①四国地方整備局におけるインフラDXについて ②これからのDX時代を生き残るために ③現場の見える化、大伸建設流 ④BIM/CIMの活用について ⑤FCソリューションのご紹介 ⑥施工現場が楽になる建設DXとは！

九州支部



■九州建設技術フォーラム2023

月 日：10月11日（水）～12日（木）

場 所：福岡国際会議場

主催者：九州建設技術フォーラム実行委員会

開催テーマ：インフラ分野で深化するDX

■企画委員会

月 日：10月17日（火）

場 所：宝ビル11F 1106会議室

出席者：11名

議 題：①令和5年度JCMA九州支部の主要行事予定について ②JCMA認定講師試験と更新講習 応募開始 ③ICT技術講習会 聴講者募集状況 ④R5建設行政講演会 日時 ⑤会員向け講習会等の取組メニュー検討 意見交換

■令和5年度i-construction（ICT施工）技術講習会

開催場所及び参加者：

長崎会場（R5.10.24）47名

鹿児島会場（R5.10.30）53名

宮崎会場（R5.10.31）88名

内 容：①国・地方自治体の取組 ②ICT施工の実践：インフラDX、3次元計測、ICT建設機械、3次元データの効果的活用、施工計画・実地検査

編集後記

新型コロナウイルス発症のリスクも下がり、デスクワークもリモート化、オンライン会議などは定着し、電子データでの会計処理化など、より電子化、効率化を求めた社会になっている状況であります。建設現場でも、人手不足の解消、作業の効率化、安全対策などの取組みがさらに進められている状況です。本号のテーマは先端建設技術であります。AIや画像センサ、LiDAR距離計などを使用した、建設現場での遠隔操作、自動化運転、建設機械の実証実験、開発の状況などを紹介しています。人の操作で行っている作業を、各センサによる検出、認識で操作指令を出すなど、様々な状況を網羅する技術の進歩は加速してきている状況です。巻頭言では筑波大学の油田名誉教授にご執筆をいただきました。自動運転の難しさ、人と仕事の分担をどうするかを述べられています。実際に現場で起こる様々な状況を全て認識、予想することはまだ完全にできない状況です。機械が判断できない状況になった場合、どう対

応するかが主題となるのではないのでしょうか。よりセンサ類の精度を上げ、リスクを下げ、機械が自ら判断して機能を停止するなどの精度が求められてきますが、反面、機器設定のコスト高額化も考慮しなければなりません。操作スキルも上げることが必要となってきます。人材も減少、高年齢化が進み、簡単な操作で作業できないと、せっかくの機能も行えなくなってしまいます。人材の育成も非常に大きな課題であります。財政難で公共事業費が縮小されて、十分な人員と予算を確保できない中、行政機関、大手建設会社、建設機械メーカーによる遠隔化、自動化、自立化はまさに進めていかなければならない機能となっています。各社様々な協業を行い、技術を進歩させておりますが、共通ルールの作成も必要となると思います。人が建設現場でどうすれば効率的になるかは各社同じ問題です。いかにアナログな作業を変えることができるか、いかに効率的に作業できるかによると思います。最後になりますが、貴重なお時間を割いていただき、ご執筆いただいた方々にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

(宮川・大竹)

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

渡邊 賢一	国土交通省
槻瀬 誠	農林水産省
木村 桂一	(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)
宇野 昌利	清水建設(株)
加藤 友希	(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)
飯田 宏	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

1月号「建設機械特集」予告

・建設機械施工分野の最新取組 ・中小企業イノベーション創出推進事業 (SBIR) ・0.28 m³油圧ショベル用マシンガイダンスと安全機能 ・フル電動ミニショベルの研究 ・新型ミニショベル 3.0tと3.5tの商品紹介 ・ホイール式油圧ショベル ZX125W-7 ・後方超小旋回型マテリアルハンドリング機 SH235XLC-7 ・大型油圧ブレーカによる破碎作業の効率化~100t級油圧ショベル用ブレーカ Fxj1070aの開発 ・TS160-3Guardman ・不整地運搬車 MST110C ・設置占有幅削減と作業領域拡大を実現する新型橋梁点検車 ・大型トラック搭載型クレーン『ユニッククレーン 新型G-FORCE』 ・新型ラフテレーンクレーン~最大つり上げ荷重25t SR-250R II

【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75巻第12号 (2023年12月号) (通巻886号)

Vol.75 No.12 December 2023

2023 (令和5)年12月20日印刷

2023 (令和5)年12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; <http://www.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
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

“建設機械施工” 既刊目次一覧

2023年1月号(第875号) ~ 2023年12月号(第886号)

2023年1月号(第875号)

表紙写真

後方超小旋回型油圧ショベル オフセットブーム仕様機

写真提供：日立建機(株)

建設機械 特集

- ◆巻頭言
新年のご挨拶金井道夫 /4
建設機械施工分野の合理化に向けて
- ◆行政情報
施工DX チャレンジ2022山下尚 /5
地上の施工技術の革新と宇宙開発への挑戦
- ◆行政情報
ICT活用により作業装置を自動化した福前正 /10
除雪トラックの概要報告
- 油圧ショベル PC78US-11松田直綱 /15
- 後方超小旋回型油圧ショベル
オフセットブーム仕様機 ZX135USOS-7神谷象平 /20
- ブレードマシンコントロール機能搭載の
後方超小旋回ミニショベル岡崎耕平 /23
ヤンマーバックホウ「Vi030-6 ブレード3DMC仕様」
- 安全性と作業効率を向上した新型ラフテレーンクレーン有馬邦裕 /27
クレボ G5 GR-160N-5
- 「安全性」「快適性」「機能性向上」を追求した石山賢治 /32
不整地運搬車 IC75-5/IC100-5
- 小型トラック架装用ユニッククレーン
新型 G-FORCE：アウトリガ張出幅拡大による河田良宣 /37
クラス最高のつり上げ性能の実現
- 建築分野における BIM 活用のための
クレーン施工計画支援ソフトウェア岡田精一 /41
K-D2PLANNER®高松伸広
- プラストホールドリル稼働サポートシステム五味敏彦 /47
F-MICAS
- 障害撤去および拡底杭施工に対応した
リダグ式アースドリル SDX407-2河原井猛 /51
- 次世代ホイールローダの開発
Cat 中型ホイールローダ 966/972/980/982富永安生 /56
- ◆交流のひろば
建設機械の稼働監視による建設DXへの取り組み齊藤光彦 /60
藤岳志
- ◆ざいそう クレー射撃とわたし中山由起枝 /65
- ◆JCMA 報告
「令和4年度 建設施工と建設機械シンポジウム」企画部 /68
開催報告—優秀論文賞2編・論文賞2編、および
優秀賞(開発ポスター部門)2編を表彰—
- ◆JCMA 報告
令和4年度第132回建設施工研修会(映画会)松本寛子 /73
開催報告
- ◆部会報告
ジック(株)建機・特殊車両向け機械部会 /76
衝突軽減システムのデモンストラティブ見学会報告
- ◆CMI 報告
トンネル点検プラットフォームの開発と寺戸秀和 /81
作業効率の検証
- ◆新工法紹介機関誌編集委員会 /86
- ◆統計 令和4年度(2022年度)建設投資見通し国土交通省 /87
総合政策局
建設経済統計調査室
- ◆統計 建設機械産業の現状と今後の予測機関誌編集委員会 /94
- ◆統計 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 /99
- 行事一覧等(2022年11月) /100
- 編集後記(花川・本間) /104

2023年2月号(第876号)

表紙写真

断面規模の小さい長距離水路トンネルにおける生産性向上の取り組み

写真提供：(株)安藤・間

地下・地中構造物 特集

- ◆巻頭言 都市部の地下・地中工事と地下水龍岡文夫 /4
- ◆行政情報
無電柱化の取組荒谷芳博 /5
新設電柱の抑制に向けた対応方策
- 深層混合処理工法のリアルタイム足立有史 /9
先端位置計測システムの開発と現場適用グエンホンソン
- あらゆる地山に対応した熟練技能を必要と垣見康介 /14
しない発破掘削技術の開発福田本啓志
差し角自動制御システム<プラストマスタ®>松本
- 都市部での大深度地下構造物構築における和家由宜 /20
高品質確保のための施工上の工夫
- 国内最大級!大深度で3,700m³に及ぶ凍結工法田中悠一 /26
- 非開削トンネル構築技術
「角形エレメント推進工法」の施工実績田中宏典 /32
藤川博樹
- 「シミズ・シールドAI」によるシールド機増田湖一 /39
自動運転の実証
- 北海道新幹線羊蹄トンネル(比羅夫)の川西健之 /44
SENS 施工に伴う機械設備
- 断面規模の小さい長距離水路トンネルにおける中西大介 /50
生産性向上の取り組み多宝
水海川導水トンネル工事の例
- 幹線道路直下での地下鉄駅の構築
シンガポール地下鉄トムソン線 T212 工区林伸幸 /58
- 小型施工機による地盤改良自動打設システム吉浦彰洋 /64
GeoPilot®-AutoPile の適用範囲の拡大
- ◆交流のひろば
都市部の地下空間の有効活用貢献する多種多様な西沢雅之 /68
シールドマシン 複雑化する
制約条件やニーズに対応した特殊機械・施工方法
- ◆ざいそう 絵画でストレス発散菅高道 /74
- ◆ざいそう コロナ禍での単身赴任・食生活渡部純 /75
- ◆ざいそう コロナ禍での第二の人生を楽しむ玉田一雄 /78
- ◆JCMA 報告
一般社団法人日本建設機械施工協会 /80
令和5年新年賀詞交歓会報告
- ◆部会報告 (株)日立建機カミーン本社工場見学会報告機械部会 /82
- ◆部会報告
2022年 ISO/TC127 土工機械委員会 活動報告標準部会 /85
- ◆統計 建設業の業況について機関誌編集委員会 /92
- ◆統計 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 /99
- 行事一覧(2022年12月) /100
- 編集後記(畠島・阿部・加藤) /104

2023年3月号(第877号)

表紙写真

新幹線高架橋上のコンクリート製電柱建て替え状況

写真提供：東日本旅客鉄道(株)

鉄道建設技術・保線技術 特集

- ◆巻頭言
鉄道に求められる変革とパラダイムシフト…金山洋一/4
- ◆行政情報
鉄道の防災・減災ならびに災害復旧等に…森田早紀/5
関する国土交通省の取り組み
- 狭隘な駅改良工事等における機械式深礎工法の開発…湊田憲二/9
Shinso-MaN 工法 金木戸素子
- JR 予讃線直上における大断面鋼床版箱桁…志村郁夫/14
(撥型)の送り出し架設
- 新たな設定替手法の試み…大崎将裕/19
- 弾直スラブ軌道の防振効果…渡邊秀/24
- 新幹線建設における電車線柱施工用車両の開発…吉永孝司/29
- 地震対策を推進する新幹線電柱建替用車両の導入…村上智美/34
渡邊泰史
- 在来線における電動式の軌道自動自転車導入…黒谷俊輔/39
- 新幹線保守用車の紹介
新幹線用確認車 R600 新幹線用電気作業車 MKW…藤川央玖人/43
- 列車巡視に活用可能な線路周辺画像解析エンジンの開発…清野水野/50
暁修
- 駅周辺整備の現状と課題…秋村成一郎/55
- ◆交流のひろば
鉄道・運輸機構改革プラン 策定2年目を迎えて…大谷直輝/61
- ◆ずいそう ケガの功名、摩天楼へ…瀧本順治/65
- ◆ずいそう
フォルクスワーゲンビートルとの26年…岩崎洋二/68
- ◆部会報告 機電技術者のための講演会報告…建設業部会/71
- ◆部会報告
(株)新来島サノヤ造船 水島製造所見学会報告…機械部会/79
- ◆部会報告
2022年 ISO/TC 195 建設用機械及び…標準部会/83
装置委員会 活動報告
- ◆新工法紹介…機関誌編集委員会/86
- ◆新機種紹介…機関誌編集委員会/89
- ◆統計 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/92
- ◆統計 令和4年度 主要建設資材需要見通し…国土交通省/93
不動産・建設経済局
建設市場整備課
- 行事一覧(2023年1月)…/98
- 編集後記…(平田・細田)/102

2023年4月号(第878号)

表紙写真

長崎駅(新幹線)及び周辺整備

写真提供：(株)鉄道建設・運輸施設整備支援機構

都市環境の向上, 都市基盤整備 特集

- ◆巻頭言
時代の転機における都市基盤整備に向けて…出口敦/4
- ◆行政情報
道路空間の利活用を推進するためのガイドラインの策定…椎名大介/5
関係省庁が連携して「居心地が良く歩きたくなる」石井大克
まちなか創出を推進
- ◆行政情報
「道の駅」第3ステージの取組紹介…高橋慶/9
これまでの振り返りと2025年に向けた展望
- 竹芝地区における都市基盤・環境整備とエリア…鹿毛瑛文/15
マネジメントを中心とした生きた景観づくりの取組み
- 西九州新幹線の駅舎及び周辺整備…立花貴光/20
北川裕一郎
- 橋脚工事における型枠の工夫による生産性向上…神崎恵三/26
北陸新幹線高架橋工事の施工事例
- 横環南戸塚 IC 改良(その1)工事…佐々木博行/33
国道1号切り回し道路の設計と施工 川添陽生
- 福島県浪江町における「なみえスマートモビリティ」…原加代子/38
による地域活性化への取り組み
- 大断面シールド工事における発達立坑躯体等の…金野正一/43
直接切削と狭隘な作業基地内での施工
環状7号線地下広域調節池(石神井川区間)の建設
- シールド機を用いた地中接合工事の現場報告…水谷英徳/50
[T-BOSS/S方式]
- 白川「緑の区間」における水辺の賑わいを…白川「緑の区間」/55
創出するための地域活動 利活用推進協議会
- 川崎カーボンニュートラルコンビナート構想…篠原顕/60
- 日本一超高層現場における DX チャレンジ…井上慎介/66
村松慶紀
- ウェルビーイングとカーボンニュートラルの実現に向けて…真下浩明/72
大規模複合施設「横浜シンフォステージ」の開発 山田知之
- ◆交流のひろば
直撃雷被害を軽減する dinnteco 避雷針の…米田稔/76
効果と特徴
- ◆ずいそう 島の暮らしに息づく唄と祭り…速水研太/81
- ◆ずいそう 味噌ラーメンと日本酒…平清二郎/83
- ◆JCMA報告
ゆきみらい 2023 in 会津…企画部/85
除雪機械展示・実演会 開催報告
- ◆部会報告
ISO/TC127(土工機械)(親委員会及び各分科…標準部会/92
委員会)傘下の作業グループ2023年1月~2月
東京国際 WG会議報告
- ◆新工法紹介…機関誌編集委員会/101
- ◆統計 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/103
- 行事一覧(2023年2月)…/104
- 編集後記…(出口・飯田)/108

2023年5月号(第879号)

表紙写真

下流水槽内にて放水トンネル施工用シールドマシンの設置状況

画像提供: 東京電力ホールディングス(株)

地球温暖化対策・環境対策 特集

- ◆巻頭言 脱炭素を実現するエネルギーシステム ……山 地 憲 治 /4
- ◆行政情報 GX 建設機械認定制度 ……須 山 友 貴 /5
- ◆行政情報 「みどりの食料システム戦略」の実現に向けた…齊 賀 大 昌 /10
取組状況
- 需要側から考えるカーボンニュートラル ……下 田 吉 之 /15
- 大成建設のカーボンニュートラルへ向けた取組み ……豊 村 裕 /20
- 橋梁工事におけるブルーカーボン保全の事例
多摩川スカイブリッジ建設における干潟保全事例の紹介 ……岩 本 裕 之 /25
- 農業との連携によるカーボンニュートラルシナリオ
2030年に向けた石炭火力発電のトランジション策 ……内 藤 敏 /30
- ビオトープを活用した生物多様性保全の取組み ……長 千 佳
鈴 木 奨 士
富 山 陽 子 /36
- グリーンイノベーション基金事業における
カーボンネガティブコンクリートの開発 ……坂 井 吾 郎
取 山 剛 明 /42
- グリーンイノベーション基金事業によるCO₂を
最速・最大で固定させるコンクリートの開発 ……白 岩 誠 史 /49
- 高炉スラグ微粉末を高含有した低炭素型
コンクリートの実工事への適用
ECM(エネルギー・CO₂ ミニマム)コンクリート ……辻 大 二 郎
小 島 正 朗 /55
- カーボンニュートラル社会の実現に向けた
コンクリート材料の開発 ……田 中 寛 人
神 代 泰 道
並 木 憲 司 /61
- 福島第一原子力発電所
ALPS 処理水希釈放出関連施設の設置工事の概要 ……荒 川 大 樹
神 田 誠 誠
古 川 園 健 /67
- 建築物ライフサイクルCO₂の評価ツール「TLCAシミュレーター
CO₂」の開発
調達から解体までのCO₂排出量と削減効果の算出がスピーディに ……信 藤 邦 太 /72
- バッテリー式フォークリフト FE25/30-2 製品紹介 ……中 澤 慶 一 /78
- 5tクラスバッテリー駆動式ミニショベルの開発 ……高 橋 究 /84
ZX55U-6EB
- ◆交流のひろば 気候変動の影響と適応に関する動向 ……町 村 輔 /90
- ◆ずいそう ベットとの暮らしを考える ……佐 藤 和 郎 /95
- ◆ずいそう 前立腺迷走記 ……渡 邊 直 樹 /98
- ◆部会報告 鉄建建設(株) 建設技術総合センター見学会報告 ……機 械 部 会 /101
- ◆統 計 令和5年度 公共事業関係予算 ……機関誌編集委員会 /105
- ◆統 計 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 /112
- 行事一覧 (2023年3月) …… /113
- 編集後記 ……(赤坂・漆戸) /118

2023年6月号(第880号)

表紙写真

都市部交差点直上でのPC橋梁撤去技術

写真提供: 阪神高速道路(株)

維持管理・長寿命化・リニューアル 特集

- ◆巻頭言 想定外 ……内 田 裕 市 /4
- ◆行政情報 持続可能なインフラメンテナンスの実現に向けて…中 村 憲 明 /5
地域インフラ群再生戦略マネジメントの推進
- コンクリート床版内部の状態把握に向けた…渡 邊 晋 也
新たな微破壊調査方法 ……内 谷 田 倉 美 生 /11
- 超高耐久床版による床版取替工事 ……岡 野 雅
蓼野第二橋(下り線)床版取替工事 ……福 木 寺 泰 久 幸 /18
- 「床版カールカット工法」により ……高 島 英 一
床版撤去作業の生産性を20%向上 ……吉 浦 伸 明 /24
- 橋梁リニューアル統合管理システムの開発 ……日 暮 一 正 /28
- 都市部交差点直上でのPC橋梁撤去技術
阪神高速14号松原線 喜連瓜破高架橋架け替え工事 ……島 田 哲 治 /34
- 斜張橋の多機能型斜材点検ロボットの開発 ……原 田 耕 司 /39
コロコロチェッカー[®]
- 高所作業車型トンネル点検システムによる打音検査と近接
目視の機械化 ……井 上 大 輔 /44
一般道路トンネルにおけるiTOREL高所作業車型の機能紹介
- トンネル覆工を安全かつ高速で更新するトンネル
更新工法の開発 LCR-Speed工法(Lining Concrete
Renewal - Speed Method) ……杉 田 崇 誠
西 脇 敬 一 /51
- 光ファイバセンサを用いたインフラ維持管理 ……今 井 道 男
曾 我 部 直 樹
新 井 崇 裕 /57
- 通水状況で水路トンネル内部の変状を ……森 充 広
調査する無人調査ロボット ……中 山 岩 宣 庸 博 /63
- ダム貯水池3Dマッピング技術
遊漁用魚群探知機のダム貯水池堆砂状況調査への適用 ……長 田 実 也 /69
- 下水道管路内水位のモニタリング技術の開発
メイン機器とバックアップ機器を併用した効率的な
水位モニタリング ……山 口 裕 治
南 澤 雲 樹 俊 /74
- 自律飛行型ドローンによる火力発電所煙突
内部点検の効率化 ……森 井 祐 介 /78
- 「ドラレコ×AI」を活用した空港滑走路面の調査及び点検
空港に導入、そして道路への展開 ……池 田 直 隆 /83
- ラバーコーン・矢印板自動設置・回収車両 ……中 尾 和 広
ロボコーン・ロボアロー ……貞 野 昌 則 /88
- ◆交流のひろば 「全自動ドローンシステム」の活用拡大へ向けた検討 ……上 原 広 行 /94
ダム施設点検にて災害を想定した被災・復旧等の
経過撮影を無人化
- ◆ずいそう 趣味は良き哉 ……谷 倉 泉 /98
- ◆ずいそう 山を想う -山に抱かれて- ……山 口 是 治 /101
- ◆CMI報告 はく落発生抑制等に資するトンネル覆工技術 ……鈴 木 健 之 /106
を対象とした新技術導入促進の取り組み
- ◆新機種紹介 ……機関誌編集委員会 /112
- ◆統 計 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 /113
- 行事一覧 (2023年4月) …… /114
- 編集後記 ……(松本清・松本政) /118

2023年7月号(第881号)

表紙写真

建設機械向け遠隔操作システム

写真提供：(株)EARTHBRAIN・コマツ

建設施工のDX 特集

- ◆巻頭言
ケタ違い技術によりインフラとDXの融合をめざす…佐藤 寿延 / 4
- ◆行政情報
国土交通省におけるインフラ分野のDXの…森下 博之 / 5
推進に向けた取り組み
- ◆行政情報 ICT 建設機械認定制度 ……中根 亨 / 10
- 建設DXを実現するソリューション開発手法…井川 甲作 / 15
体制・技術
- 屋内外のパーソナルモビリティ自律走行の…小林 哲雄 / 23
実現に向けデジタルツインの構築と実証…鈴木 真太郎
秋田 亮平
- 建設施工段階における汎用デジタルツインの…湯浅 知英 / 28
構築とその実務利用…山 中 哲 志
- 生産性向上に資するサプライチェーンマネジメント…天下井 哲生 / 34
システム開発…竹下 来子
加久保田 恵行
- 山岳トンネルCIM総合管理システムによる…原 久純 / 39
現場管理の高度化…諏訪 至生
吉 平 安
- 協調運転制御システム「T-iCraft®」を…佐野 和幸 / 46
南摩ダム本体建設工事に導入…佐藤 幸
中 村 凌
- CAT COMMAND コンソールとステーション…松村 秀雄 / 52
普段づかいの遠隔操作システム
- 遠隔操作システムと稼働データを用いた現場改善…佐々木 均 / 57
ソリューションK-DIVE®～働く人を中心とした…岩 田 藍
- 現場のテレワークシステム～
- UAVグリーンレーザ計測の建設工事への…澤城 光二郎 / 62
適用性検証報告
- AIによるシールド工事の生産性向上の取り組み…安井 克豊 / 67
- ◆交流のひろば
デジタルツインを構築するVR・CG技術の最新動向と…松田 克巳 / 72
自動運転・モビリティプロジェクトへの適用
- ◆ずいそう 釣って、喰う！ ……上田 隆 / 78
- ◆ずいそう 佐渡にこいちゃ ……石山 剛 / 80
- ◆JCMA 報告
第12回通常総会・第46回理事会報告 …… / 82
- ◆JCMA 報告
令和5年度 日本建設機械施工大賞 受賞業績 …… / 86
- ◆CMI 報告
全国道路施設点検データベース ……石原 廣和 / 96
トンネルデータベースの構築
- ◆新工法紹介 ……機関誌編集委員会 / 102
- ◆統計 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 / 103
- 行事一覧 (2023年5月) …… / 104
- 編集後記 ……(岡本・室谷) / 108

2023年8月号(第882号)

表紙写真

55t級リジッドダンプによる自動運転システム開発

写真提供：大成建設(株)

土工事 特集

- ◆巻頭言 土工事での締固めを見直す ……古関 潤一 / 4
- ◆行政情報
道路土工構造物技術基準の改定に向けた方向性…渡邊 一弘 / 5
- ◆行政情報
宅地造成及び特定盛土等規制法の施行…宮川 武広 / 9
危険な盛土等を全国一律の基準で包括的に規制
- 55t級リジッドダンプによる自動運転システム開発…青木 浩章 / 14
田村 藤生
遠 藤 亮 雄
- 品質向上と計測管理の省力化を実現する…田中 博之 / 20
地盤改良工管理技術の開発 ……三浦 国雄
地盤改良施工管理システム「OGIMS™」…稲 川 雄 宣
- 溶融スラグとバイオ炭を用いた脱炭素型地盤…西田 榮佑 / 26
改良工法の開発…長澤 正剛
衣 川 明 央
- 土質定数推定システム「サウンディングAI」…秋本 哲平 / 31
熊 谷 隆 宏
- 薬液注入工法の改良効果評価手法「ジオレジスタ法」…下坂 賢二 / 37
小型動的コーン貫入試験と電気検層法を用いた…村田 芳康
改良効果確認…大 野 康 年
- スタビライザのICT化「浅層改良管理システム」…橋本 明広 / 42
による位置精度および生産性向上の検証…衣 川 剛 央
- 液化化対策でCO₂を地中貯蔵
丸太打設液化化対策&カーボンストック ……沼田 淳紀 / 48
(LP-LiC) 工法
- ◆交流のひろば
土木の始まりと人とのかかわり ……池田 智 / 53
～土木工事の歴史と進化
- ◆ずいそう 未来予測ゲーム ……黒川 洋之 / 56
- ◆ずいそう ゴルフと人生を楽しむ ……岡 忠志 / 57
- ◆部会報告
北海道新幹線 後志トンネル(天神)他工事 ……機械部会 / 59
見学会報告
- ◆部会報告
ISO/TC 127 (土工機械)/SC 2(安全性・人間工学…標準部会 / 62
通則分科委員会)/WG 24(機能安全)作業グループ
2023年5月東京国際WG会議報告
- ◆部会報告
令和5年度 第133回建設施工研修会 ……広報部会 / 66
(映画会)開催報告
- ◆CMI 報告
石張護岸での堤防除草作業効率化の検証 ……宇田 陽亮 / 69
井野 歩 惟
- ◆新工法紹介 ……機関誌編集委員会 / 74
- ◆新機種紹介 ……機関誌編集委員会 / 79
- ◆統計 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 / 84
- ◆統計 主要建設資材価格の動向 ……機関誌編集委員会 / 85
- 行事一覧 (2023年6月) …… / 89
- 編集後記 ……(山本・佐藤) / 94

2023年9月号(第883号)

表紙写真

移動式クレーン Mastertech 7200G NEO 安全性向上機能の紹介
写真提供:コベルコ建機株

安全対策・労働災害防止 特集

- ◆巻頭言
働く人に寄り添う労働安全を目指して……北 條 理恵子 /4
Well-beingの定量化と行動分析学による
職場環境の最適化
- ◆行政情報
建設業における安全衛生をめぐる現状 ……高 松 達 朗 /5
木 下 誠 一
- ◆行政情報
建設機械の安全装置に関する技術 ……能 登 眞 澄 /11
(NETIS テーマ設定型)の取り組み
- AIを活用したクレーン自動操縦技術の研究 ……神 田 真 輔 /17
- 移動式クレーン Mastertech 7200G NEO ……山 藤 千 明 /22
安全性向上機能の紹介
- 小型振動ローラ向け衝突被害軽減アシスト装置…山 口 滋 彦 /30
- 産学連携による5Gを活用した重機の遠隔操縦 ……埴 田 翔 /34
システムに関する検討
- 自走式ロボットによる路面マーキング作業の… 駒 坂 翼 平 /39
安全性および作業効率の向上 立 花 洋
- 高所法面におけるV字吊ワイヤー遠隔操作 ……藤 中 裕 幸 /44
油圧ショベルの開発経緯と現況 清 水 明 彦
- 自動運転ブルドーザーによる、敷均し運転の最適化
建設機械の自動施工を実施し、安全な施工環境構築 ……花 木 直 樹 /49
を目指して
- 「フックの掛け先が無い現場」に対応する常設型転落防止システム 竹 内 元 起 文 /54
高所安全対策設備の常設による墜落・転落事故防止の取り組み ……中 大 尾 林 典 達
- MR技術を活用した施工現場における ……中 静 真 吾 /61
生産性向上に関する取り組み
- 出水警報システム「T-iAlert®River」の河川工事への適用 大 野 剛 浩 太 郎 /66
出水を事前に把握し河川工事の安全管理に寄与する ……飯 山 浩 百 合 子
システム 高 遠 山 正 恭
- 生体センシング機能付骨伝導ヘッドセットを…平 野 朝 士 利 /72
利用した安全管理 宇 野 昌
- 労働災害知識モデルに基づく安全AIシステムの開発…高 藤 淳 史 /76
鈴 木 理
- ◆交流のひろば
人と委ねあう関係を築く移動ロボットの研究 ……長谷川 孔 明 /83
- ◆ずいそう 山城めぐり ……福 田 泰 宏 /86
- ◆ずいそう 我が家のふたごちゃん ……亀 田 慎 司 /88
- ◆CMI報告
テーマ設定型「建設機械の安全装置に…永 沢 薫 我 /91
関する技術」の取り組み 山 田 風
- ◆統 計
建設業における労働災害の発生状況と…建設業労働災害 防 止 協 会 技 術 /95
第9次建設業労働災害防止5か年計画 管 理 部
- ◆統 計 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 /99
- 行事一覧(2023年7月) …… /100
- 編集後記 ……(丹治・丑久保) /104

2023年10月号(第884号)

表紙写真

コロナ禍を乗り越え、北スマトラに全長10kmにおよぶ水力発電所を建設
～アサハン第3水力発電所 Lot I 土工事～

写真提供:清水建設株

海外 特集

- ◆巻頭言 建設業の国際化に向けた2つの課題…伊 達 重 之 /4
- ◆行政情報
我が国のインフラ海外展開の取組 ……工 藤 拓 也 /5
インフラシステム海外展開戦略2025の
2023年追補
- ◆行政情報
国土交通省インフラシステム海外展開行動計画
(令和5年版)の策定「我が国企業による受注を…馬 籠 恭 平 /11
目指す主要プロジェクト」93プロジェクト指定
- シンガポール・クロスアイランド線ブンゴル…湯 上 繁 信 /16
分岐線(P103工区)工事
- コロナ禍を乗り越え、北スマトラに全長10kmにおよぶ
水力発電所を建設 ……高 岡 秀 明 /23
アサハン第3水力発電所 Lot I 土工事
- ウクライナ危機直後の海外工事経験記録…嘉 門 淳 /30
新ダイルート堰群建設事業
- インドネシア・パティンバン新港開発事業
第1期開発事業 パッケージ1・ターミナル建設工事…野 元 義 一 /34
- 米国におけるTRD工法による大規模 ……勝 倉 茂 /40
堤防漏水対策適用事例
- 世界の主要建機メーカーの動向…岡 本 直 樹 /46
- 海外におけるBIM活用プロジェクトと建設DXのご紹介…木 村 博 之 /55
- 自治体SDGs モニタリングツール
情報収集からモニタリング・評価、 ……遠 藤 和 重 /62
そして可視化と情報発信へ 浦 上 奈 々
- ◆交流のひろば
知を深め 技を磨き 世界に羽ばたく ……森 山 浩 光 /71
- ◆ずいそう 郷土史に埋もれた秘匿基地…岩 本 英 司 /78
- ◆ずいそう 車は買わない・借りる時代に?…山 下 耕 治 /81
- ◆部会報告
岐阜工業㈱ 木曽屋工場・関鍛冶伝承館見学会報告 ……機 械 部 会 /82
- ◆部会報告
ISO/TC 127(土工機械)(親委員会及び各分科…標 準 部 会 /85
委員会)傘下の作業グループ2023年7月東京
国際WG会議報告
- ◆CMI報告
小型輪荷重走行試験機を用いたRC床版の…橋 本 雅 行 /89
疲労耐久性評価 菊 地 新 平
松 本 政 徳
- ◆新工法紹介 ……機関誌編集委員会 /93
- ◆新機種紹介 ……機関誌編集委員会 /98
- ◆統 計 建設企業の海外展開 ……機関誌編集委員会 /101
- ◆統 計 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 /104
- 行事一覧(2023年8月) …… /105
- 編集後記 ……(宇野・京免) /108

2023年11月号(第885号)

表紙写真

火力発電所における海洋土木構造物の大規模プレキャスト化施工
写真提供：大成建設㈱

港湾・海洋・海岸施設 特集

- ◆巻頭言
これからの建設機械の新造・改造に向けて…岩 波 光 保 /4
- ◆行政情報
港湾における i-Construction, インフラ分野の…村 上 亮 太 /5
DX 推進に向けた取組
- ◆行政情報
コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の…国土交通省
設計施工ガイドラインの概要…海洋・環境政策課
技術企画室 /9
- 新潟海岸(西海岸地区)大規模侵食対策事業…宮 坂 義 朗 /14
美しい砂浜を将来に引き継ぐ取り組み
- 高知県須崎港における生物共生を考慮した港湾整備…永 友 繁 /21
- 長崎港における人流・交流を核とした賑わい創出…梯 浩 史 郎 /26
PPP / PFI 事業の導入可能性検討
- 浚渫工事の水中可視化システム
マシンガイダンス+マルチビームソナーの…新 開 貴 行 /32
河床可視化技術
- 火力発電所における海洋土木構造物の…加 藤 弘 之 明 /38
大規模プレキャスト化施工…井 野 勢 辰 也
武豊火力発電所ブレース工事
- 工場製作部材を用いたユニット式
プレキャスト栈橋工法の開発…池 野 勝 哉 /44
PC-Unit 栈橋工法®
- 1,250 t吊自己昇降式作業台船「柏鶴」…湯 浅 大 樹 /51
- 港の基盤・空間デジタル化技術…伊 藤 輝 /56
- 高性能水中位置管理機能搭載ブロック
据付支援システム…土 屋 洋 /64
WIT B-Fix Neo
- マルチビーム測深機を用いた施工管理システム…橘 田 隆 史 /69
佐々木 智 弘
坂 元 賢 司
- 表層型メタンハイドレート回収技術…望 月 幸 司 /74
大口径海底掘削装置…岩 本 幸 介
- ◆投稿論文
建設機械施工における安全確保に関する一考察…茂 木 正 晴 崇 /81
—無人建設機械の導入と活用に向けて—…油 田 信 一
- ◆交流のひろば 海の地図 PROJECT…高 柳 茂 暢 /91
- ◆ざいそう レザークラフトと私…穴 井 秀 和 /95
- ◆ざいそう ワンコのいる人生(ペットから家族へ)…宮 崎 弘 樹 /98
- ◆部会報告 成瀬ダム堤体打設工事 現場見学会…建 設 業 部 会 /100
- ◆部会報告
(株)三井三池製作所 九州事業所 見学会 報告…機 械 部 会 /103
- ◆新工法紹介…機 関 誌 編 集 委 員 会 /106
- ◆統 計
建設業界における外国人材の受け入れについて…渡 瀬 友 博 /107
- ◆統 計 令和5年度(2023年度)建設投資見通し…国 土 交 通 省
総 合 政 策 局 /113
建 設 経 済 統 計 調 査 室
- ◆統 計 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 /120
- 行事一覧(2023年9月)… /121
- 編集後記…(穴井・松澤) /126

2023年12月号(第886号)

表紙写真

トンネル覆工コンクリートの全自動打設システム
写真提供：鹿島建設㈱

先端建設技術 特集

- ◆巻頭言
建設機械の自動運転の難しさ…油 田 信 一 /4
建設現場での臨機応変な働きを目指す
- ◆行政情報
建設機械施工の自動化・自律化協議会の取組…日 出 山 慎 人 /5
吉 田 真 人
- 山岳トンネル坑内にて油圧ショベルを無線で遠隔操作
無人化施工システム「Tunnel RemOS-Excavator…山 本 悟 /10
(トンネルリモス-エクスカベータ)」を開発
- 建設車両シミュレータにおける受動的…西 岡 右 平 /15
身体揺動の模擬生成
- シールド工事で測量機器の盛替え不要の自動連続測量システム
ステレオカメラ自動測量システム「MWMS™(マムシステム)」…山 崎 友 誉 /24
の開発
- トンネル覆工コンクリート全自動打設システム…松 本 修 治 成 /29
の施工実績…手 塚 康 吾 坂 井 吾 郎
- コンクリート湿潤養生…増 田 貴 之 介 /37
自動認識ロボットの開発…中 村 裕 介
- 世界初、燃料電池を動力源としたラバータイヤ式
門型クレーンの開発と実証試験に成功…村 山 哲 郎 /43
港湾荷役機器分野で、温室効果ガスの排出量削減に貢献…市 村 哲 也
- 山岳トンネル掘削の作業状況を自動分析する…吉 田 健 一 /48
AIシステム CyclEye®
- 山岳トンネル用の自動ズリ積み機
AI機能搭載のズリ積み機「AIロックローダ」…浅 沼 廉 樹 /54
の開発…山 田 照 陽 尾 介
- AI-ロードヘッダの開発…松 尾 陽 介 /59
- 山岳トンネル施工管理システム「Hi-Res」の展開
サイクルタイム取得と電力管理により現場施工の…涌 井 遼 平 /64
効率化に貢献
- トンネル吹付けコンクリートの面的厚さ管理技術
切羽吹付け作業のリアルタイムかつ定量的な…木 下 勇 人 行 /69
管理が可能に…竹 中 本 真 吾 宮 本 真 吾
- 掘削具合の可視化技術「SP-MAPS」をトンネル切羽に適用
掘削すべき「アタリ」箇所がプロジェクションマッピングで…邊 見 涼 /75
一目瞭然
- 屋外型拡張現実 AR システム Trimble SiteVision…鈴 木 勇 治 /80
AR を活用して3次元データを現地で可視化
- 点群データを利用した施工事例
3次元点群クラウド「TRANCITY」の活用…芝 井 口 重 信 /85
松 本 重 裕 樹
- ローカル 5G を活用した自動走行及び…畑 本 浩 伸 翼 /90
4K 映像の実証実験に関する取り組み…飛 鳥 馬
- ◆交流のひろば
自動運転バスに使われる LiDAR センサー…陣 田 鎌 真 一 /94
応用技術と遠隔監視・操作技術…中 鎌 真 一
- ◆ざいそう 今どきのクラブ事情…西 村 貴 信 /99
- ◆ざいそう チャレンジ!…池 田 知 明 /101
- ◆部会報告
日立建機㈱常陸那珂臨港工場 コマツ茨城工場…機 械 部 会 /103
見学会 報告
- ◆CMI 報告
構造実験におけるデジタル画像相関法(DIC)…井 上 一 磨 /105
を用いた変形挙動計測の取り組み
- ◆新工法紹介…機 関 誌 編 集 委 員 会 /109
- ◆新機種紹介…機 関 誌 編 集 委 員 会 /111
- ◆統 計 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 /112
- 行事一覧(2023年10月)… /113
- 編集後記…(宮川・大竹) /118

FA機器の最適無線化提案

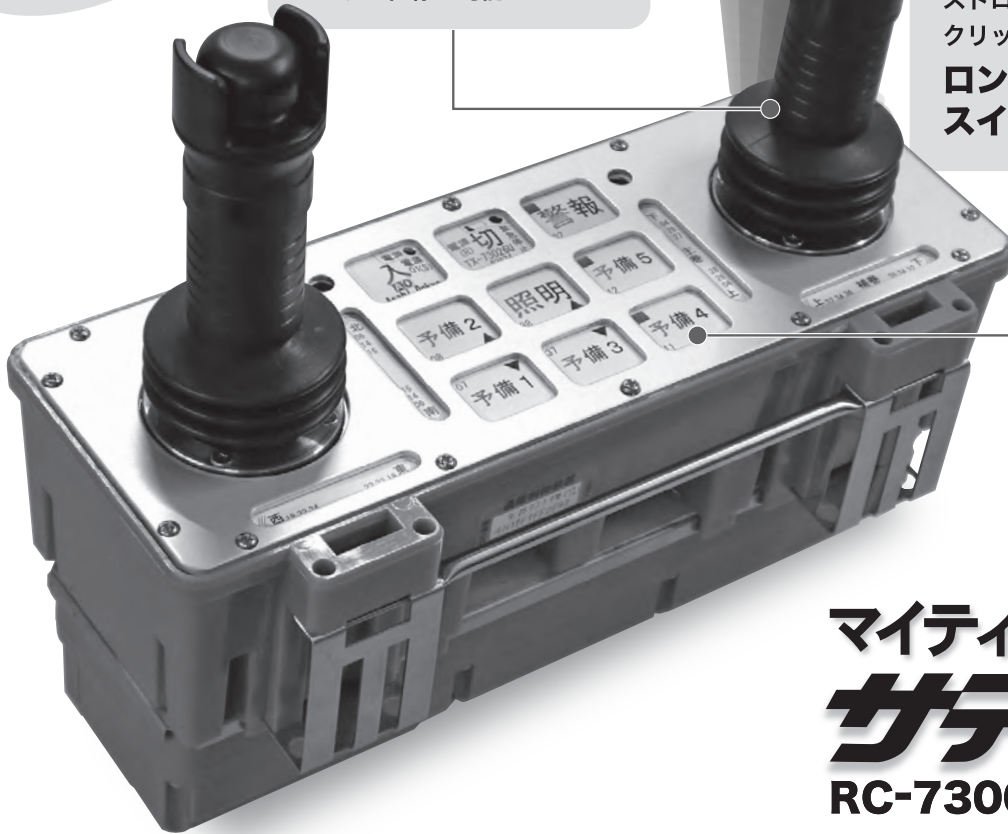
クレーン・搬送台車・建設機械・特殊車両他
産業機械用無線操縦装置

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
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

変革は今ここから始まります。 ボルボ・バッテリー駆動コンパクトライン登場



私たちは、持続可能な世界を実現するための対策を早急にとる必要性があります。

ボルボ建機グループは、皆様の事業発展に貢献する幅広い電動式建設機械製品を提供していきます。

ADD POWER TO YOUR BUSINESS

Now we expand our electric range.



L25エレクトリック

運転質量5.4トン／1.0m³BK／モーター出力駆動系：
22kW／作業装置14kW／リチウムイオンバッテリー／
車載普通充電器／外部急速充電器／連続稼働時間：8時間
(作業内容により異なります。)／騒音レベル86.3dB



ECR25エレクトリック

運転質量：2.7トン／バケット容量：0.092m³／
モーター出力18kW／リチウムイオンバッテリー／
車載普通充電器／外部急速充電器／連続稼働時間：4時間
(作業により異なります。)／騒音レベル：84dB

本製品の詳細情報に関しては、下記へご連絡下さい。
ボルボ建機日本正規ディーラー

山崎マシーナリー株式会社

〒438-0216 静岡県磐田市飛平松216-1
TEL : 0538-66-1215
<https://www.y-machinery.jp>

第一東洋株式会社

〒701-0202 岡山県岡山市南区山田2117-65
TEL : 086-282-0141
<https://daiichi-toyo.co.jp>



V O L V O

GOMACO

Gomaco社の舗装機器は、どんなスリップフォーム工法にも対応します。



Commander III

最も汎用性の高い機種です。一般道路舗装のほか、路盤工事、河川工事、分離帯・縁石などの構造物構築に最適です。



RTP-500

長ブームの砕石・コンクリート搬入機です。このほかにも、ロック・ホッパーなどへの舗装支援機器として、どんなスリップフォーム機械にも対応可能です。



マシンケアテック株式会社

〒361-0056 埼玉県行田市持田1-6-23
TEL:048-555-2881 FAX:048-555-2884
URL: <http://www.machinecaretech.co.jp/>

遠隔始動排水システム

人に依存したポンプ設備の運用管理から、IoTを活用した遠隔一元管理へ

省人化による
人手不足解消！

遠隔操作で
安全確保！

IoT活用による
遠隔一元管理と
リアルタイム対応！

近年の
水害対策

集中豪雨や台風に備えた浸水対策、BCP 対策には仮設ポンプ設備が有効とされ採用される機会が増えています。しかし、まだまだ課題も多くあるのが現状です。

仮設ポンプ
設備の課題

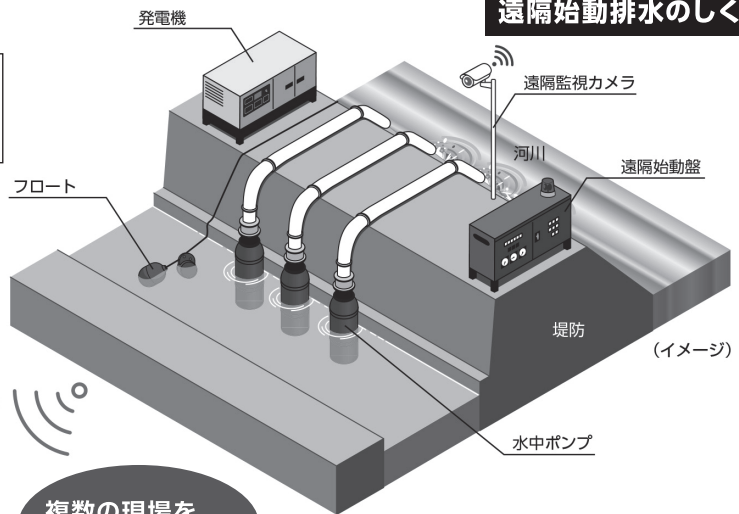
- ・ 人手不足による現場対応の遅れ
- ・ 豪雨のたびに現地へ急行
- ・ 水位が上昇した危険な現場での作業
- ・ 点在する現場の状況把握

スマホでかんたん遠隔操作！水害対策の現場の課題を解決！

詳しくは動画をご覧ください！



遠隔始動排水のしくみ



STEP 1 フロートにより水位上昇を検知
豪雨などによる河川、水路の水位上昇をフロートが検知します。

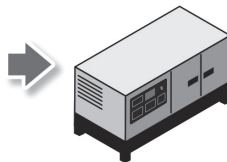


STEP 2 管理者にメールで通知
水位上昇を検知すると、管理者にメールで通知され、現場の状況確認を促します。



STEP 3 PC・スマホで現場の状況確認
現場に設置されている遠隔監視カメラの映像や水位状況を、危険な現場に向かず安全に確認できます。

複数の現場を
スマホ1台で運用！



STEP 4 発電機を遠隔始動
排水が必要な場合は、その場で発電機を始動でき、水位上昇にリアルタイムに対応できます。



STEP 5 ポンプが自動で排水開始
発電機を始動させると、自動的にポンプが排水を開始。水位が下がるとポンプと発電機が自動で停止します。



株式会社 鶴見製作所

大阪本店：〒538-8585 大阪市鶴見区鶴見4-16-40 TEL.(06)6911-2351 FAX.(06)6911-1800
東京本社：〒110-0016 東京都台東区台東1-33-8 TEL.(03)3833-9765 FAX.(03)3835-8429

北海道支店：TEL.(011)787-8385 東京支店：TEL.(03)3833-0331 北陸支店：TEL.(076)268-2761 近畿支店：TEL.(06)6911-2311 四国支店：TEL.(087)815-3535
東北支店：TEL.(022)284-4107 北関東支店：TEL.(028)613-1520 中部支店：TEL.(052)361-3000 中国支店：TEL.(082)923-5171 九州支店：TEL.(092)452-5001

杭打工専用

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 φ2500mm
 杭重量.....最大 90ton
 開閉.....油圧駆動
 前後スライド範囲.....±900mm 油圧駆動
 左右スライド範囲.....±1000mm 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、導棒治具、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)



ハンディータイプ
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

精密さとパワーで建設の現場を支える。

発電機・溶接機・コンプレッサは抜群の性能を誇るデンヨー製品で!



発電機

図書館内並の低騒音を実現!
静音発電機マーリエ



50Hz-7m
43dB

DCA-25MZ

溶接機

最大溶接電流500A&インバータ制御
炭酸ガスエンジン溶接機



溶接電流 500A
(炭酸ガス/カウジンク手溶接)

交流電源
三相 25 kVA

DCW-500LSE

コンプレッサ

アフタクーラ/アフタウォーマ内蔵
電子制御で低燃費&低騒音



DIS-670LS-D

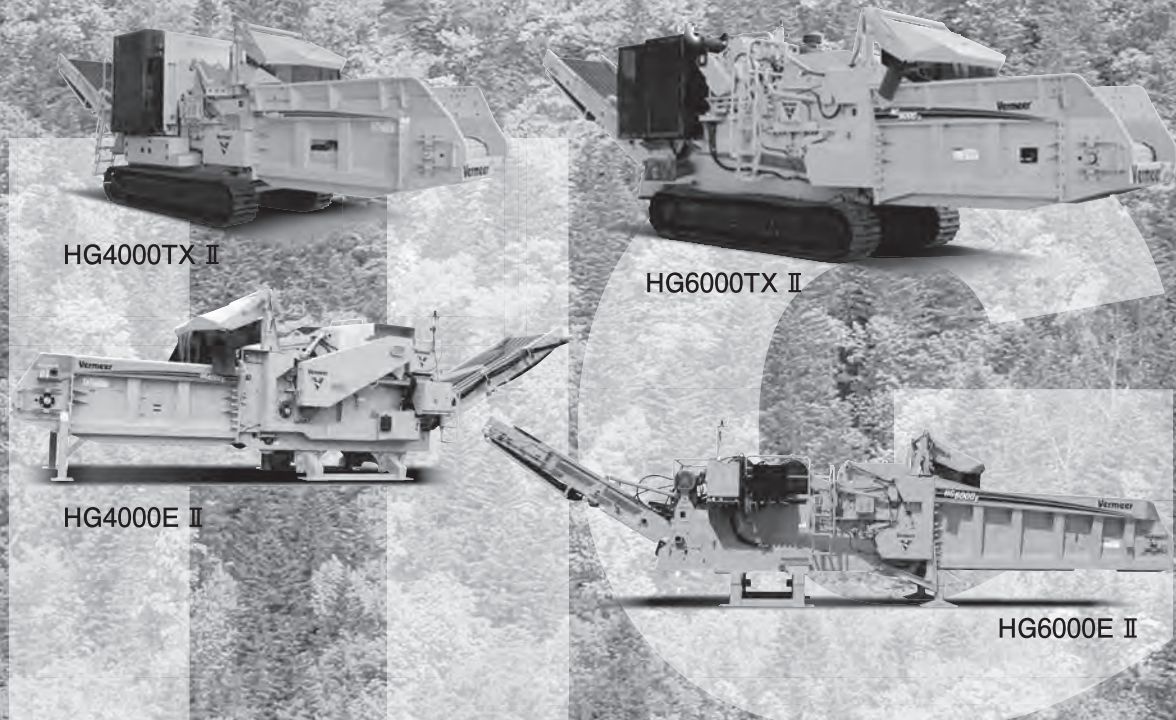


●技術で明日を築く

本社：〒103-8566 東京都中央区日本橋堀留町2-8-5
TEL:03(6861)1122 FAX:03(6861)1182
ホームページ: <http://www.denyo.co.jp/>

札幌営業所 011(862)1221 東京支店 03(6861)1122 大阪支店 06(6448)7131
東北営業所第1課 019(647)4611 横浜営業所 045(774)0321 広島営業所 082(278)3350
東北営業所第2課 022(254)7311 静岡営業所 054(261)3259 高松営業所 087(874)3301
信越営業所 025(268)0791 名古屋営業所 052(856)7222 九州営業所 092(935)0700
北関東営業所 027(360)4570 金沢営業所 076(269)1231

マルマテクニカのホリゾンタルグラインダー



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。



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

Mikasa

http://www.mikasa.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

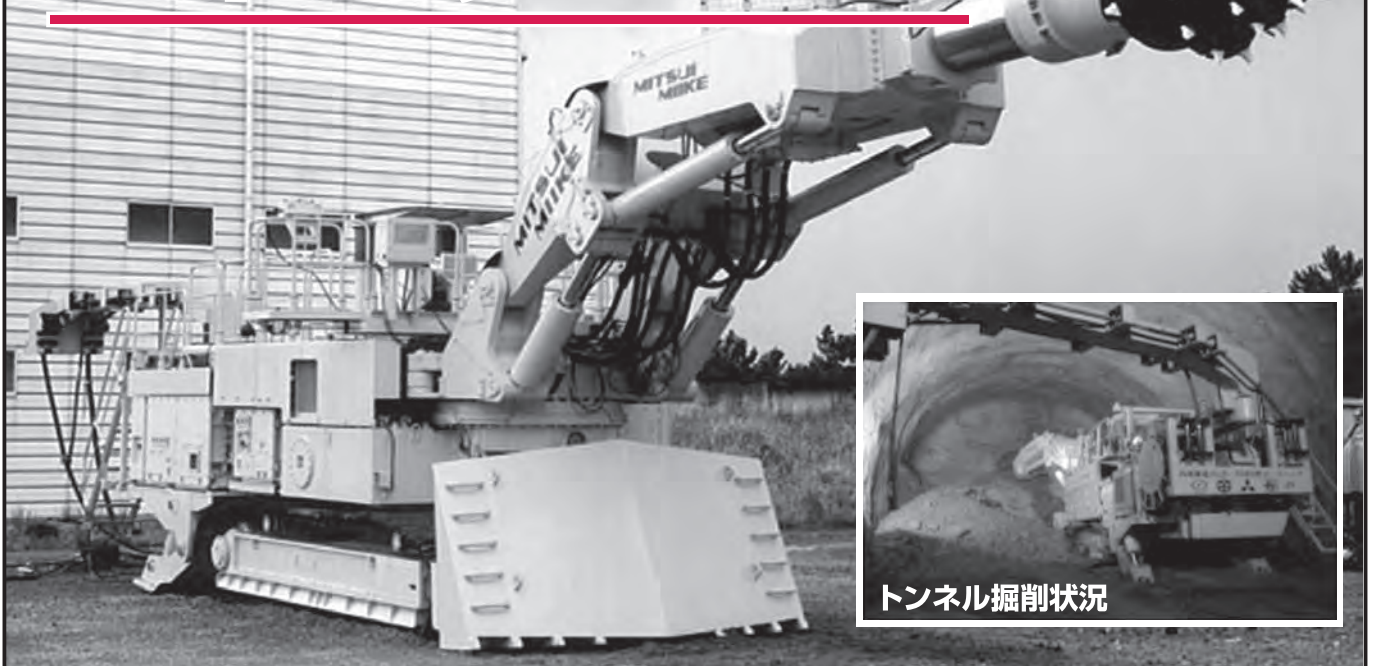
北関東営業所 TEL: 0276-74-6452
長野出張所 TEL: 080-1013-9542
中部営業所 TEL: 052-504-3434
金沢出張所 TEL: 080-1013-9538

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

全断面对应トンネル高速施工掘進機

ロードヘッドSLB-350S



大断面トンネルの高速施工を目指して

特 徴

- 国内最大の350/350kW定出力型2速切換式電動機を搭載しており、軟岩トンネルはもとより、中硬岩トンネルにおいても十分な掘削能力を発揮します。
- 切削部には中折れブームを採用しており、ベンチ長は最大5mまで確保できます。又、中折れブームを取り外しての全断面掘削、及び上半掘削も可能です。
- 中折れブームの取り外し、及び低速掘削を行うことにより、機体安定性と掘削トルクが増加し、中硬岩トンネル掘削時において高い効果を発揮します。(硬岩用ドラム使用)
- 油圧式のスライドデッキを機体両サイドに装備しており、機体幅より各々1mの張り出しが可能であるため、下部掘削時等におけるオペレータの視界が大幅に改善されます。
- ^{※1,2}ディーゼルエンジンの搭載により、ロードヘッド単独での走行が可能です。

よって、機体移動に際し配線替えや別途発電機の準備が不要となり、作業時間が短縮されます。

※1 ディーゼルエンジンはオプション仕様となります。

※2 揺寄・コンペヤ仕様の場合、ディーゼルエンジンは搭載されません。



製造・販売・レンタル及びメンテナンス

 株式会社 三井三池製作所

本店/〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館
TEL.03-3270-2005 FAX.03-3245-0203

<http://www.mitsumiike.co.jp>

E-mail : sanki@mitsumiike.co.jp

A WIRTGEN GROUP COMPANY

 **WIRTGEN**



信頼のインテリジェンス

▶ www.wirtgen.com/milling

ヴィルトゲン新型路面切削機はデジタル化された切削システムで作業を効率化し、生産性を向上します。切削品質も最適化され、必要に応じて書面レポートを自動作成するオプションも実現します。経験豊富なユーザー様の情熱に傾聴し、効率的にデザインに取り入れて更なる革新を共に目指します。

ヴィルトゲン・ジャパン株式会社

東京都千代田区神田神保町2-20-6・tel 03-5276-5201・fax 03-5276-5202・www.wirtgen-group.com/japan

雑誌 03435-12



4910034351237
00800

「建設機械施工」

定価 八八〇円 (本体八〇〇円 + 税10%)