

一般社団法人
日本建設機械施工協会誌 (Journal of JCMA)

2025

建設機械施工



Vol.77 No.9 September 2025 (通巻907号)

特集 安全対策・労働災害防止



現実空間

デジタル空間

クレーン作業による災害を未然に防止する次世代運転システム(ORCISM™)の取り組みと活用

巻頭言 大学における環境安全教育の事例紹介

特集技術論文

- 動画と静止画によるハイブリッド遠隔コミュニケーションシステム
- クレーン作業による災害を未然に防止する次世代運転システム(ORCISM™)の取り組みと活用
- ホイールローダの安全性向上に寄与する運転支援システム
- AIを取り入れた軌道装置接近警報システムの開発
- 鋼製支保工建込ロボットROBOARCHIによる切羽作業の遠隔化 他

行政情報

交流のひろば

すいそう

- 建設施工の自動化の取組と安全ルール等
- 山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策
- TRD工法協会設立30周年を迎えて
- 原動機付自転車
- トライアスロンの頂点「アイアンマンレース」完走までの道のり

一般社団法人 日本建設機械施工協会

杭打工事用

パイルキーパー

海上・河川等での杭打ち作業用、
パイル保持装置

石狩湾新港洋上風力発電事業工事向け
パイルキーパー

仕様

杭 径 最大 $\phi 2500\text{mm}$
杭重量 最大 90ton
開 閉 油圧駆動
前後スライド範囲 $\pm 900\text{mm}$ 油圧駆動
左右スライド範囲 $\pm 1000\text{mm}$ 油圧駆動

実績多数

海上工事、陸上工事、岸壁護岸工事、海上空港、
ダム湖再生工事、導柵治具、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

◆ 日本建設機械施工協会『個人会員』のご案内

会 費：年間 9,000円(不課税)

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

★個人会員の特典

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

この機会に是非ご入会下さい!!

◆一般社団法人 日本建設機械施工協会について

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

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

一般社団法人 日本建設機械施工協会とは…

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

■会員構成

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

■主な事業活動

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

■主な出版図書

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

その他、日本建設機械施工協会の活動内容はホームページでもご覧いただけます！

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

※お申し込みには次頁の申込用紙をお使いください。

【お問い合わせ・申込書の送付先】

一般社団法人 日本建設機械施工協会 個人会員係

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館2F

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

一般社団法人 日本建設機械施工協会 会長 殿

下記のとおり、日本建設機械施工協会 個人会員に入会します。

令和 年 月 日

個人会員入会申込書

ふりがな			生 年 月 日
氏 名			昭和 平成 年 月 日
勤 務 先 名			
所 属 部 課 名			
勤 務 先 住 所	〒 TEL _____ E-mail _____		
自 宅 住 所	〒 TEL _____ E-mail _____		
機関誌の送付先	勤務先 自宅 (ご希望の送付先に○印で囲んで下さい。)		
そ の 他 連 絡 事 項	令和 年 月より入会		

【会費について】年間 9,000円(不課税)

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

【その他ご入会に際しての留意事項】

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

【個人情報の取扱について】

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

論文投稿のご案内

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

当協会ホームページ <https://jcmanet.or.jp/>

★投稿対象

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

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

★部門

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

★投稿資格

原稿の投稿者は個人とし、会員資格の有無は問いません。

★原稿の受付

随時受け付けます。

★公表の方法

当協会機関誌へ掲載します。

★機関誌への掲載は有料です。

★その他：優秀な論文の表彰を予定しています。

★連絡先

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8（機械振興会館）

日本建設機械施工協会 論文担当

E-mail : ronbun@jcmanet.or.jp

TEL : 03 - 3433 - 1501

FAX : 03 - 3432 - 0289

建設機械・施工に関する、学校教育の取組に対する 人材育成助成（第3回）の公募について

当協会では、令和5年度から、担い手育成に重点を置いた、建設機械・建設施工に関する学校教育の優れた取組に対する助成事業を行っております。

令和7年度につきましても、第3回となる人材育成助成の対象者を公募いたします。

1. 実施スケジュール

- (1) 応募期限は、令和7年11月28日(金)まで
- (2) 助成対象者の決定通知は、令和8年3月下旬頃
- (3) 助成期間は、令和8年度(1年間)

2. 対象及び対象者

学校教育の取組として、高等学校、高等専門学校、大学および、これらと連携した法人(会社・団体)が実施する、「建設機械又は建設施工に関する人材育成を行うもの」であって、以下のいずれか、または複数の項目に関係する取組のうち、優れていると判断されるものを助成の対象とします。

- ① 建設施工に関する生産性向上
- ② 社会資本の維持管理・保全に関する生産性向上
- ③ ①、②に関連する ICT・DX 分野

【過去の助成事例】

過去2年で、高等学校5校、高等専門学校1校、大学1校の合計7校に助成しており、いずれも、地域の建設会社や建機レンタル会社、建設コンサルタント会社、建設業団体等とのタイアップ（共同実施）により助成対象の授業等が行われています。

※学校とのタイアップによる人材育成の取組をご検討の建設業界の会社・団体の方は、まずは学校関係者にご相談ください。(助成主体は学校となります。)

3. 助成金額及び期間等

- ① 助成金額: 1件あたり50万円以内
- ② 助成期間: 1年間(令和8年4月1日から令和9年3月31日まで)
- ③ 助成件数: 5件以内

4. 応募

公募の詳細、採択実績等は、本協会HPに掲載しております。

<https://jcmanet.or.jp/kyokai-katsudo/commendation/josei-jigyo/>

(一社) 日本建設機械施工協会 発行図書一覧表 (令和 7 年 9 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	R7 年 05 月	橋梁架設工事の積算 令和 7 年度版	12,100	10,285	990
2	R7 年 04 月	令和 7 年度版 建設機械等損料表	9,680	8,228	700
3	R7 年 03 月	日本建設機械要覧 2025 年版	53,900	45,100	990
4	R6 年 12 月	建設機械施工ハンドブック (改訂 5 版)	13,200	11,220	770
5	R6 年 05 月	大口径岩盤削孔工法の積算 令和 6 年度版	6,600	5,610	770
6	R6 年 05 月	橋梁架設工事の積算 令和 6 年度版	12,100	10,285	990
7	R6 年 05 月	よくわかる建設機械と損料 2024	7,260	6,171	770
8	R5 年 10 月	道路除雪施工の手引 (第 17 版)	4,950	3,960	770
9	R4 年 03 月	日本建設機械要覧 2022 年版	53,900	45,100	990
10	R3 年 01 月	情報化施工の基礎 ～i-Construction の普及に向けて～	2,200	1,870	770
11	H30 年 08 月	消融雪設備点検・整備ハンドブック	13,200	11,000	770
12	H29 年 04 月	ICT を活用した建設技術 (情報化施工)	1,320	1,122	770
13	H26 年 03 月	情報化施工デジタルガイドブック 【DVD 版】	2,200	1,980	770
14	H25 年 06 月	機械除草安全作業の手引き	990	880	770
15	H22 年 9 月	アスファルトフィニッシャの変遷	3,300	2,970	770
16	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
17	H22 年 7 月	情報化施工の実務	2,200	1,870	770
18	H21 年 11 月	情報化施工ガイドブック 2009	2,420	2,178	770
19	H20 年 6 月	写真でたどる建設機械 200 年	3,080	2,618	770
20	H19 年 12 月	除雪機械技術ハンドブック	3,300	2,970	770
21	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
22	H17 年 9 月	建設機械ポケットブック (除雪機械編)	1,100	990	770
23	H16 年 12 月	除雪・防雪ハンドブック (除雪編) 【CD-R】	5,500	4,950	770
24	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
25	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
26	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
27	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
28	H15 年 6 月	地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル	550	495	770
29	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
30	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
31	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
32	H11 年 5 月	建設機械化の 50 年	4,400	3,960	770
33	H11 年 4 月	建設機械図鑑	2,750	2,475	770
34	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
35	H6 年 8 月	ジオスペースの開発と建設機械	8,470	7,623	770
36	H6 年 4 月	建設作業振動対策マニュアル	6,380	5,742	770
37	H3 年 4 月	最近の軟弱地盤工法と施工例 【CD-R】	10,450	9,405	770
38	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
39		建設機械履歴簿	440	396	770
40	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

安全対策・労働災害防止

巻頭言

4 大学における環境安全教育の事例紹介

割澤 伸一 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 教授・副研究科長

行政情報

5 建設施工の自動化の取組と安全ルール等

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

8 山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策

吉川 直孝 ㈱労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所

特集技術報文

17 生成 AI 技術で安全管理を支援する「安全支援アプリ」を提供開始

平田 弘達 ㈱ EARTHBRAIN ソリューション開発デザイン
箱田 博之 ㈱ EARTHBRAIN DX センタ

22 建設現場の安全品質向上を目的とする生成 AI 活用

佐々木暁子 スパイダープラス㈱ コーポレートブランディング部 広報チーム

27 動画と静止画によるハイブリッド遠隔コミュニケーションシステム

山岳トンネル工事における切羽遠隔臨場の実証

有田 真一 シャープ㈱ 研究開発本部 ソサイエティイノベーション研究所 第三研究室 主任研究員
山田 大樹 鹿島建設㈱ 土木管理本部 土木技術部

33 ドリルジャンボを用いた湧水圧測定技術「T-DrillPacker[®]Jumbo」を開発 短尺ボーリングにより切羽前方の湧水圧を安全かつ容易に測定可能

平塚 裕介 大成建設㈱ 技術センター 社会基盤技術研究部 地盤研究室 地下水チーム
藤田クラウド ア 大成建設㈱ 技術センター 社会基盤技術研究部 地盤研究室 地下水チーム
熊本 創 大成建設㈱ 技術センター 社会基盤技術研究部 地盤研究室 地下水チーム
橋島 秀一 古河ロックドリル㈱ 営業本部特機部 営業課

38 クレーン作業による災害を未然に防止する 次世代運転システム（ORCISMTM）の取り組みと活用

永嶋 充 ㈱大林組 東日本ロボティクスセンター運営管理部 メカトロニクス課 担当課長
佐藤 圭吾 ㈱大林組 東日本ロボティクスセンター運営管理部 メカトロニクス課 係長
仲安 陸 ㈱大林組 本社ロボティクス生産本部 技術開発部 実証実験計画課 職員

44 VR で実際に起こったクレーン事故を体験できる 「リアルな操縦＋危険体験」による効果的な VR トレーニング

瀬戸 豊 シンフォニア㈱ 代表取締役

50 ホイールローダの安全性向上に寄与する運転支援システム 中型ホイールローダ ZW140-7/ZW160-7

小鷹 稔生 日立建機㈱ パワー・情報制御プラットフォームビジネスユニット 開発統括部 車体システム開発部 車体システムグループ

55 AI を取り入れた軌道装置接近警報システムの開発

宮川 克己 ㈱熊谷組 土木事業本部 土木技術統括部 機材部 技術部長

61 新型ラフテレーンクレーン

最大つり上げ荷重 80 t SL-850RfⅢ

齋藤 邦広 ㈱加藤製作所 設計第1部第1課 係長（チームリーダー）

65 鋼製支保工建込ロボット ROBOARCH による切羽作業の遠隔化

宮原 宏史 マック㈱ 代表取締役

投稿論文	71	低自由度モデルによる建設機械用エンジンの排ガス後処理装置と油圧ポンプの振動解析 明井 政博 ヤンマーパワーテクノロジー(株) 杉本 和馬 ヤンマーパワーテクノロジー(株) 岸裏 雅登 ヤンマーパワーテクノロジー(株)
交流のひろば	78	TRD 工法協会設立 30 周年を迎えて 協会員の皆様と取り組んだ施工機と工法の改善 水谷 元彦 コベルコ建機(株) アフターセールス本部カスタマーソリューション部 IT ソリューショングループ長 (工学博士)
ずいそう	86	原動機付自転車 亀井 稔 (株)近畿地域づくりセンター 設計積算部 次長
	88	トリアスロンの頂点 「アイアンマンレース」完走までの道のり 森田 博史 コベルコ建機(株) 生産本部
部会報告	90	令和 7 年度 建設業 ICT 安全委員会・クレーン安全情報委員会 合同見学会 建設業 ICT 安全委員会
	94	太平洋セメント(株)熊谷工場見学会 報告 機械部会 コンクリート機械技術委員会
	97	令和 7 年度 第 135 回建設施工研修会 (映画会) 開催報告 広報部会
CMI 報告	100	除雪ドーザのガイダンスシステムの開発と HUD 用 GUI の検討 山下 和海 (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第三部 研究員 酒井龍之介 (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第三部 研究員
	106	新機種紹介 機関誌編集委員会
統計	107	建設業における労働災害の発生状況と熱中症対策の動き 建設業労働災害防止協会技術管理部
	113	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
	114	行事一覧 (2025 年 7 月)
	118	編集後記 (丹治・小林)

◇表紙画像説明◇

クレーン作業による災害を未然に防止する次世代運転システム (ORCISM™) の
取り組みと活用

写真提供：(株)大林組

クレーン作業を支援し安全性の向上を実現するクレーンマシンガイダンス、技能補完・省人化を実現するクレーンマシンコントロール、生産性向上とセキュリティの確保を実現するクレーンマシンマネジメントの 3 つの技術で構成され、これらをデジタルツイン上で統合し、管理・制御することで、現実空間で「危険な作業ができないクレーン」の実現を目指したシステムである。

巻頭言

大学における環境安全教育の事例紹介

割 澤 伸 一



東京大学では、環境安全本部を設置して、法令遵守の徹底、安全教育の充実、事故災害の再発防止、化学物質の管理、安全衛生システムの活用、産業医巡視などを通じて、環境安全衛生の確保に努めている¹⁾。また、環境安全研究センターを全学センターとして位置付けて設置し、環境安全に関する研究教育、大学で発生する廃棄物の処理、環境問題や安全対策についての検討や提言を行っている。さらに、各部局(研究科等)やキャンパスには環境安全管理室を設置して、それぞれの場所や部局の特性に応じた環境安全活動や安全衛生教育の推進、化学物質管理システムの管理を担当している。各事業場(本郷、駒場、柏、白金台など)には安全衛生委員会を設置して、教職員・学生の環境安全衛生の確保に関する基本対策、危険防止・健康障害防止対策、事故・災害の原因と再発防止対策などを調査・審議して、事業場の長に意見を述べる体制を整えている。

著者が所属する大学院新領域創成科学研究科は、学際性をさらに推し進めた「学融合」という概念で新しい学問を創出することを目指して設置された。研究科の学術分野が多様であるため、施設・設備や防火・防災はもとより、廃棄物・排水、化学物質、バイオ関連物質、高圧ガス、放射線、大型設備など、環境安全に関わる対象が幅広い。また、本研究科は学内でも特に国際色豊かな学生が集まり、修正課程の39%、博士課程の49%が外国人留学生で構成されている。外国人留学生のうち英語を母国語としているのは10%に過ぎず、多くは中国、韓国など東アジア地域出身である。そこで、研究科では母語による講習補助と教材の多言語化を推進している。昨年度の実績によると、中国語による講習会が26回実施され173名の参加があり、学生のニーズが見て取れる。こうした活動には人的資源が欠かさないが、研究科では、学生が知識やスキルを活かして大学業務をサポートするオンキャンパスジョブという制度を活用している。採用された学生は関連する知識やスキルとともに環境安全教育への高い関心を有して

おり、環境安全を学んだ学生がこれから環境安全を学ぶ学生に知識を共有するエコシステムが形成されつつある。これは大学独自の仕組みであるかもしれない。

ここまで述べてきたように、大学として環境安全教育体制を整備し、研究科においては研究分野や研究科構成員の国籍を考慮した独自の取り組みを推し進めている。研究室を運営する立場としては、全学および研究科の取り組みを活用することは大前提であるが、環境安全は現場事案でもある。研究室では、新入生が入ってくる4月と10月に環境安全ガイダンスを実施している。ガイダンスは研究室での研究活動を前提としてより具体的な指導を心がけているつもりではあるが、研究に着手していない新入生にはイメージがしにくいことも多い。また、学生は修士課程2年、博士課程なら3年で卒業していくため、環境安全教育の成果は蓄積されにくい。そこで、著者が学生の頃から受け継いだ研究室での環境安全教育資料の中から、多くのヒヤリハット事例を取り上げて、失敗に学ぶスタイルを取って、安全に関わる興味関心を高める工夫を行っている。失敗は起こってはいけませんが、起こった失敗は二度と起こさないという考えも重要だとの考えに立っている。

私の専門分野は人を対象としたセンシングと感覚フィードバックである。環境安全を対象とした研究にはまだ手がつけられていないが、環境安全教育にはセンシング技術や感覚刺激を伴うフィードバック技術が今後重要な役割を果たすと考えている。最近技術的なアドバイスに関わった研究では、VR技術と視線計測技術を活用して、学生が危険と認識するものが安全管理者が想定するものと異なることが明らかにされている²⁾。新技術を活用した環境安全教育の開発や現場での実践は今後期待されるところである。

1) https://univtokyo.sharepoint.com/sites/EHS_portal

2) 張ほか、環境と安全、2025

行政情報

建設施工の自動化の取組と安全ルール等

中 根 亨

国土交通省では、2024年4月より i-Construction の取組を加速し、建設現場のオートメーション化に取り組む「i-Construction 2.0」を進めており、2040年には少なくとも省人化3割、生産性1.5倍を目指して取組を行っているところ。2025年4月には i-Construction 2.0 の1年目の取組成果をとりまとめるとともに、2025年の取組概要をまとめたので公表した。

キーワード：オートメーション化、自動化、i-Construction 2.0、省人化

1. はじめに

国土交通省では、建設現場の生産性向上の取組として、2016年度より、ICT施工をはじめとする「i-Construction」の取組を進めてきた。

今後、更なる人口減少が予測されるなか、国民生活や経済活動の基盤となるインフラの整備・維持管理を、将来にわたって持続的に実施していくことが必要であり、これまでの取組をさらに一步進め、2024年4月には「i-Construction 2.0」としてとりまとめを行った。

i-Construction 2.0では、2040年度までに建設現場の省人化を少なくとも3割、すなわち生産性を1.5倍向上することを目指し、「施工のオートメーション化」、「データ連携のオートメーション化」、「施工管理のオートメーション化」を3本の柱として、建設現場で働く一人ひとりが生み出す価値を向上し、少ない人数で、安全に、快適な環境で働く生産性の高い建設現場の実現を目指して、建設現場のオートメーション化に取り組んでいくこととしている。

本稿では、「施工のオートメーション化」の一環として位置付けられている「建設施工の自動化」に関する取組を紹介する。

2. 自動施工における協調領域の取組の推進

自動施工に関する技術開発は民間ベースで進められており（競争領域）、国土交通省としては協調領域における取組を推進しており、自動施工を導入した現場の安全ルールの策定を中心として各種取組を進めているところ。

国土交通省ではこうした検討のため、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、関係する業界、行政機関及び有識者の参画のもと、議論を進めてきた。協議会は自動化・自立化・遠隔化施工技術について、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。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、経済産業省、厚生労働省が参画している。

協議会は、自動化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おり、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」

安全・基本設定 WG は協議会と同じ団体等を構成員として設置した。本 WG は「自動施工における安全ルール」を策定することを当面の目的として、検討を進めてきた。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」

施工管理・検査基準 WG は、「安全・基本設定 WG」と同様、協議会と同じ団体等を構成員として設置した。本 WG では将来的には自動施工における施工管

理基準や検査基準の策定に向けた検討を行うものとしている他、令和5年度には自動・遠隔施工の現場検証の実施に向けた検討を行った。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、「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）」を設置した。

「現場普及WG」

本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。国交省内に設置し、実工事で自動化施工技術を使用するため試行工事の設定やモデル現場の選定を担うこととしている。

3. 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した自動化・遠隔化技術の現場検証について述べる。

令和5～令和6年度に、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した。現場検証の結果や参加企業へのヒアリング等を通じ、令和6年度末の安全ルールの改定等を行った。

4. 自動施工における安全ルール

本項では、自動・遠隔施工の安全ルールについて述べる。

自動・遠隔施工は、現場にオペレータを含め人がいないという点が、建設機械に人が乗り込む有人施工と異なる点である。しかし、現場に人がおらず建設機械が稼働している特徴を考慮して整備された体系的な安全ルールは現状では存在していなかった。そのため、一部の自動化施工の現場試行においては、現場ごとに安全対策を検討している実態がある。さらに、どの程度の対策が求められるか判断する基準がないため、検討や関係者との調整において時間を要する他、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ったため、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」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、策定した。

続いて、策定した安全ルールの概要を述べる。

安全ルールは、「自動・遠隔施工を実施する施工会社、ならびに自動施工のためのシステムを構成する機械及びプログラム等の開発者が、安全方策を検討する上で参照する資料」として位置づけるものとしている。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した。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った。安全ルールでは、自動施工を行う区域を「エリア」とし、人や立ち入り制限を目的に「エリア」を次の3つの区域で構成されることとした。

「無人エリア」：自動施工を行うため、原則としてあらゆる人が立ち入らない

「立入制限エリア」：自動建設機械が予期しない動作を行った場合においても、自動建設機械がその範囲を逸脱せず、原則として人が立ち入らない

「有人エリア」：人が搭乗した建設機械が施工を行い、原則として自動建設機械及び遠隔建設機械が立ち入らない

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った。

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、自動・遠隔施工の担当者を「製造者等」「販売者等」「施工者等」「使用者等」と定義し、それぞれがどのような保護方策を担うかを整理している。

そして、自動・遠隔施工における安全方策を、自動施工中の安全を確保するための安全方策「自動施工における安全方策」と使用する自動建設機械や設備に求

める安全方策「自動建設機械や設備に求める安全方策に必要な機能」に分け示した。

「自動施工における安全方策」：施工者等は、「無人エリア」「有人エリア」「立入制限エリア」を必要に応じて設定しなければならないとし、各エリア内の安全管理と運用について示している。

令和6年度末には、機械提供側が実施するリスクアセスメント及び施工者への情報提供に関する事項を追加する改定を行った。「機械の包括的な安全基準に関する指針」（厚生労働省）（H19.7.31）に沿ったリスクアセスメント及び残留リスクの情報提供を行うことを示した。

5. 自動施工の今後について

令和7年5月には、内閣府の規制改革推進会議デジタルAIワーキングにおいて、「デジタル・AI技術を活用した建設機械の安全義務及び技能要件の在り方について」の規制改革提言がなされた。今後、厚生労働省において検討会を設置して議論することとされており、国土交通省も必要に応じて技術的協力をしつつ、議論の推移を注視してまいりたい。

以下、答申を引用する。

※「規制改革推進に関する答申」（令和7年5月28日）
＜基本的な考え方＞

少子高齢化及び人口減少が進展し、建設現場の担い手不足が深刻化する中、その対応として遠隔操作や無人化などのデジタル・AI技術を活用した建設機械（以下「デジタル・AI建設機械」という。）の利用が期待されているが、労働安全衛生法（昭和47年法律第57号）及び同法関係法令（以下「安衛法関係法令」という。）では、遠隔操作などデジタル・AI技術の活用を前提とした労働災害防止のために必要な措置（以下「安全義務」という。）や免許・技能講習の要件（以下「技能要件」という。）が定められていないことから、デジタル・AI建設機械を実際の現場で使用する際に、どのような条件・対応によって安全義務が満たされるのか、また、どのような技能要件が必要なのかが不明確であるため、事業者はデジタル・AI建設機械の利用を躊躇するとの声がある。

こうした状況を踏まえ、安全義務や技能要件を明らかにすることで、デジタル・AI建設機械の更なる技術的発展及び利用を促進し、建設業界の人手不足解消及び生産性向上につなげることが重要である。

以上の基本的考え方にに基づき、以下の措置を講ずるべきである。

＜実施事項＞

a 厚生労働省は、建設機械を含めデジタル・AI技術を活用した機械（以下「デジタル・AI機械」という。）の開発が進んでいることを踏まえ、労働者の安全及び健康を守りつつ、デジタル・AI機械全般の更なる技術的発展及び利用を図る観点から、関係省庁と連携しつつ、安衛法関係法令が適用される機械で遠隔運転・自律運転（以下「無人運転」という。）を行う場合の労働災害防止対策に関する専門家検討会を設置する。当該検討会において、機械の使用が想定される具体的な作業ごとに、作業内容や周辺環境、使用される機械の運転制御方式やその技術水準の実態を把握・確認した上で、作業ごとに必要となる安全義務及び技能要件、機械の技術水準など検討すべき項目を整理する。また、厚生労働省は、関係省庁と連携しつつ、当該専門家検討会による検討・整理の結果を踏まえ、安衛法関係法令に無人運転を行う場合の安全義務や技能要件を明記するなどの具体的な措置を検討し、結論を得次第、所要の措置を講ずる。

b 厚生労働省は、aが措置されるまでの間、現状の安衛法関係法令に基づく機械の無人運転における労働災害防止のために必要な措置に関する相談が労働基準監督署にあった際、労働基準監督署ごとに異なる判断（いわゆるローカルルール）が発生しないよう、労働基準監督署から都道府県労働局を通じ、厚生労働省本省に照会させるなど、集約し、判断の統一性を確保する。

（引用終わり）

JCMA

【筆者紹介】

中根 亨（なかね とおる）

国土交通省 大臣官房

参事官（イノベーション）グループ 施工企画室

課長補佐

行政情報

山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策

吉 川 直 孝

本報は、山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策として、厚生労働省より発出されたガイドラインの技術的背景を整理し、各種対策の有効性を定量的に評価したものである。国際的なリスク低減原則（Hierarchy of Controls）に従ってガイドラインに基づく対策を分類し、施工の自動化・遠隔化技術の事例を紹介した。また、肌落ちの発生確率と間接的に関連する切羽押出し変位に着目し、有限要素解析により各種対策の変位抑制効果を評価した結果、補助ベンチ、長尺フォアバイリング、長尺鏡ボルト、一次吹付け、鏡吹付けが有効であることが確認された。さらに、実施工で見られる補助ベンチの大背を掘削することが切羽の安定性を低下させることも示され、設計段階からの適切な施工機械選定の必要性を示した。

キーワード：トンネル、切羽、肌落ち、肌落ち災害防止対策、施工の自動化・遠隔化

1. はじめに

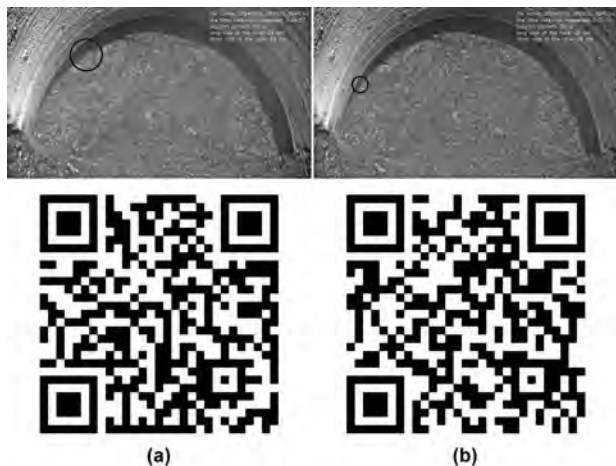
肌落ちとは、トンネル建設工事中において、トンネルの先端部分である掘削面から岩石が落下することをいう。掘削面から岩石が落下し、その直下に作業員がいた場合、重篤な災害となる。岩石が大きく、また落下高さが高い場合、最悪なケースでは死に至る。

図—1 にアップしている動画は、鏡面及びアーチ部からの肌落ち事象を捉えたものである^{1)~3)}。なお、切羽映像上の色変化を数値化する背景差分法⁴⁾により肌落ちの有無を抽出した。図—1 (a) の動画において鋼アーチ支保工の形状（直径）との比較から、肌落ち岩石の重量を概算すると、重さ約 90 kg の物体が

約 4 m の高さから落下することとなる。直下に作業員がいると重篤な災害となる。一方、図—1 (b) の動画は、アーチ部からの肌落ち事象を捉えたものである。結果として、重さ約 80 kg、落下高さ約 2.7 m であった。撮影時は、アタリトリ作業が終了したところであり、この動画の後、鏡面とアーチ部にコンクリートを吹付け、鋼アーチ支保工を建て込む作業に入った。鋼アーチ支保工の脚部を据えるために作業員が肌落ち岩石の落下地点の付近に立ち入る場合もある。もし、その時に、重さ 80 kg の岩石が 2.7 m 上空から落下してしまうと、非常に危険な事象となる。

これらの事象は、施工実績として支保パターン CII-b の鏡面及びアーチ部からの肌落ち事象を捉えたものである。このような場合でも、鏡吹付け及び一次吹付けを実施すれば、図—1 (a) 及び (b) の肌落ち岩石の重量を支持できる^{1), 3)}。

このような肌落ち事象であるが、近年においても実際に肌落ちした岩石が作業員に当たり死傷に至った災害がある。著者が知る限り、2021 年にも 1 件の死亡災害が発生し、2021 ~ 2024 年にかけて、2 件の休業 4 日以上、2 件の不休災害が発生している。統計が少し古い、2000 年 ~ 2010 年において、日本トンネル専門工事業協会が調査した結果、計 47 名の肌落ちによる死傷者が確認された⁵⁾。そのうち、3 名が死亡災害、44 名が死傷災害である。また、施工サイクルのうち、被災した時に従事していた作業の内訳を示すと、「支保工建込作業」と「装薬作業」の作業中の



図—1 肌落ち事象を記録した動画。(a) 鏡面からの肌落ち事象、(b) アーチ部からの肌落ち事象^{1), 3)}

被災が最も多かった⁶⁾。両作業においては、作業員が切羽に近接して作業しなければならない現状がある。

2. 「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」の発出経緯

2016年、厚生労働省は「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」(以下、「ガイドライン」という。)を策定・公表し、以降、2018年及び2024年に改正を行っている⁷⁾。このガイドラインは、山岳トンネル工事の切羽において発生している肌落ち災害への防止対策を目的とした行政施策である。

2016年に発出されたガイドラインの核心的内容は、以下の3点に集約される：(a) 施工の自動化・遠隔化の推進、(b) 切羽への作業員の立ち入り最小化、(c) やむを得ず作業員が接近する場合には肌落ち災害防止対策を徹底することである。これらは、トンネル工事における労働災害リスクの低減に資する基本的方針として、その後の施策にも大きな影響を与えている。

その後、肌落ち災害は減少傾向にあるような印象であるが、それでもゼロにはなっておらず、2017年の肌落ち災害による死亡災害等を受けて、2018年には掘削解放面積の低減を図る掘削工法(補助ベンチ付き全断面工法、ベンチカット工法等)の採用、切羽監視責任者の専任制等についての内容を追記し、ガイドラインが改正されている。

さらに、2021年の肌落ち災害による死亡災害及び不休災害、つづく2022年にも肌落ち災害による不休災害及び負傷災害が発生し、これらの災害を受けて、厚生労働省は安衛研に「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策のあり方についての研究」という行政要請研究の実施を依頼した。これを受け、2022年、安衛研において、「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関する検討会」が設置され、同検討会の結果⁸⁾を受けて、ガイドラインが2024年に改正された。主な改正の要点は以下のとおりである。

- 発注者等が講ずべき措置の新設：設計段階において適切な支保パターンの選定や鏡吹付けの実施について設計図書等に記載するとともに、施工段階においても設計変更に係る施工者との協議等を行うこととしたこと。【ガイドラインの第4】
- 切羽の立入に関連し特段の配慮を必要とする範囲の新設：切羽(天端)からの45度の範囲を特段の配慮を必要とする範囲とし、可能な限り立入りを避けることとしたこと。【ガイドラインの第6の1関係】

- 地山の状況に応じた支保パターンの選定：事業者が現場で出現した地山の状況に応じ適切に支保パターン等を選定できるよう、発注者と必要な情報等を共有の上、十分協議し連携して取り組むこととしたこと。【ガイドラインの第6の5(1)関係】
- 適切なドリルジャンボの選定及び速やかなロックボルトの施工：掘削断面形状等に適合したドリルジャンボを使用するとともに、ロックボルトの施工についても事業者の施工サイクルに従い速やかに一間ずつ行うこととしたこと。【ガイドラインの第6の5(3)関係】
- 鏡吹付けの原則実施：切羽の自立が悪い場合には鏡吹付けを原則実施することとしたこと。【ガイドラインの第7の2(2)等関係】
- その他：最新のデジタル技術等も活用し、各種作業の遠隔化・自動化、各種センサー等を活用した監視・検知等の取組を積極的に進めることとしたこと。

3. Hierarchy of Controls (制御の階層) を用いた肌落ち災害防止対策の整理

肌落ち災害防止対策を考える場合に、Hazard (ハザード、危険源) は掘削面(鏡面及びアーチ・側壁部の素掘り面)である。なぜなら、掘削前には掘削面の前面にあった岩盤が、掘削によりその岩盤が除去されることで前面の支持を失い、不安定な状況となっているからである。作業員がハザード(掘削面)と接触する可能性がある場合、それはリスクとみなされる。リスク低減措置を検討する上での優先順位は、国際的にも国内でも認められている。国際的には、Hierarchy of Controls (制御の階層) として有名であり、図-2に示すように、ハザードの暴露に対する制御を信頼性の高

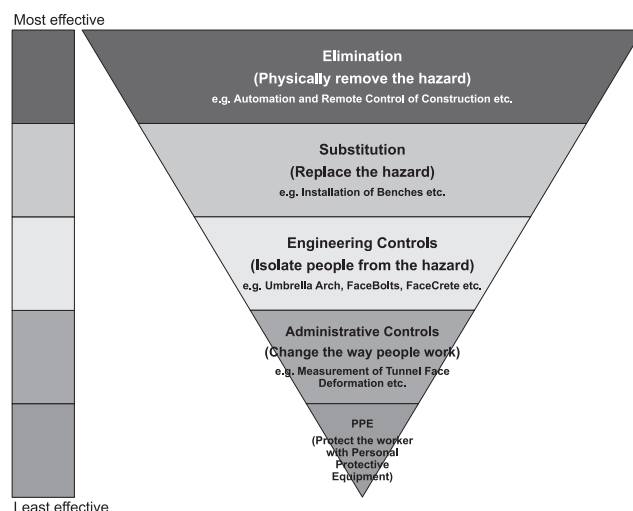


図-2 トンネル建設工事中の肌落ちをハザードとした時の Hierarchy of Controls (制御の階層)⁹⁾ に一部加筆

いものから順に検討することの重要性を示している⁹⁾。

同図から、制御の階層で最も安全対策の信頼性の高いリスク低減措置は、「Elimination（物理的にハザードを除去）」である。トンネル施工において、掘削面を除去することは不可能であることから、ハザード（掘削面）に近づかなくとも施工できるような対策を「Elimination」と考えると、施工の自動化・遠隔化が例として挙げられる。近年では、施工の自動化・遠隔化において、様々な技術が開発され、現場へ導入され始めている。

例えば、山岳トンネルでは、①穿孔、②装薬、③ずり出し、④アタリトリ、⑤吹付け、⑥支保工建込、⑦ロックボルト等の一連の施工サイクルとなっており、それら一連の施工サイクルの自動化・遠隔化技術として、「A4CSEL for Tunnel」¹⁰⁾、「OTISM」¹¹⁾、「シミズ・スマート・トンネル」¹²⁾等が開発または提案されている。

また、穿孔、装薬作業では、国土交通省が「トンネル発破作業の自動化・遠隔化技術の現状」中間とりまとめ（案）を公表しており、同案の中に各自動化・遠隔化技術の概要が整理されている¹³⁾。同案の公表以降も、トンネル全体の電波暗室（内外の電波の行き来が遮蔽された空間）化に成功し、切羽（トンネル掘削の最先端部）全面で使用可能な無線発破システムが開発されている¹⁴⁾。

ずり出し作業及びアタリトリ作業でも、施工の自動化・遠隔化技術が開発されている¹⁰⁾。また、吹付け作業の自動化・遠隔化技術としては、山岳トンネルにおける「コンクリート吹付け機遠隔操作システム（ヘラクレス-Remote）」¹⁵⁾、コンクリート吹付け作業の遠隔操作技術「T-iROBO[®] Remote Shotcreting」¹⁶⁾等、支保工建込作業の自動化・遠隔化技術としては、「クイックテレクター」¹⁷⁾、「T-支保工クイックセッター」¹⁸⁾、「鋼製支保工建込みロボット」¹⁹⁾、「鋼製支保工の自動建込技術（AUTOMATED TUNNEL RIBS）」²⁰⁾等、ロックボルト打設作業の自動化・遠隔化技術としては、6m継ぎ仕様のロックボルト打設専用機「BOLTINGER」²¹⁾、ロックボルトの遠隔打設装置（ボルティングユニット）を2基装備した「2ブームロックボルト打設専用機」による遠隔施工システム²²⁾等が開発されている。

その他、トンネル建設工事での掘削面である切羽の状態をLiDARにより高速・高密度で計測監視するシステム「TFS-Mapper」が開発され、切羽全体に対して、切羽の押出し量やその領域、また、切羽に施工する鏡吹付けコンクリートの厚さなどをリアルタイムかつ定量的に評価することが可能とある²³⁾。また、デジタル技術を活用した「切羽遠隔監視システム」が開発

され、4K画像伝送及びパンチルトズーム機能による湧水箇所や切羽性状の近接目視機能、複数箇所の同時監視機能により「目視で監視する場合と同等以上の安全衛生水準」を達成できる可能性が示唆されている²⁴⁾。

このように多くの技術が日進月歩で開発されており、本報に挙げた技術は全てを網羅しているといえないことに留意する。このような施工の自動化・遠隔化技術を適用することで、掘削面直下に作業員が立ち入る必要のない環境を形成することが大切である。

ここで、ガイドラインの第4には、「発注者においては、施工方法、工期等について、安全で衛生的な作業の遂行を損なうおそれのある条件を付さないように配慮することをはじめ、労働安全衛生関係法令を遵守するとともに、本ガイドライン等に基づき、事業者において的確な労働災害防止措置が講じられるよう、適切な設計図書の作成、必要な安全衛生経費の確保（装薬作業、支保工建込作業、ロックボルト打設作業等の自動化・遠隔化技術、最新のデジタル技術の導入支援等を含む。）等、的確に対応するものとする。」と明記されており、発注者による施工の自動化・遠隔化技術への支援が求められている。

なお、機械が故障した時の非定常作業の安全対策も忘れてはならない。それらを含めてリスク低減措置を検討することが重要である。

次に安全対策の信頼性が高い措置は、図—2から「Substitution（ハザードの変更）」である。ガイドラインでは、掘削断面積を縮小する補助ベンチ付き全断面工法またはベンチカット工法の採用を検討する必要性も謳っている。同工法により掘削面の減少、肌落ちの発生確率の減少、位置エネルギーの低減が達成されることが考えられる。

また、ガイドラインでは、「Engineering Controls（工学的対策）」として、フォアパイリング、鏡ボルト、一次吹付け、鏡吹付け、フォアポーリング等を挙げている。鏡面に対してコンクリートを吹き付けることを「鏡吹付け」、アーチ・側壁部に対して1次的に30～50mmほどの厚さでコンクリートを吹き付けることを「一次吹付け」という。「二次吹付け」とは、一次吹付けの厚さに加えて、トータルとして標準支保パターンで決められた厚さ（50～150mm）まで、残りの厚さを吹付けることをいう。フォアパイリングとフォアポーリングの相違は、長尺のパイプ（12.5m）を使う場合、短尺のパイプ（3m）を使う場合として本報では使い分けている。

さらに、「Administrative Controls（管理的対策）」として、ガイドラインでは、切羽変位計測、切羽監視責任者の配置、立ち入り禁止措置等を挙げている。

日本における現状の施工では、補助ベンチ付き全断面工法において、鏡吹付け及び一次吹付けを施し、切羽監視責任者の配置（デジタル技術による代用が可能な場合もある。）、立ち入り禁止措置を施すことが一般的な肌落ち災害防止対策となっている。

4. 肌落ち災害防止対策の効果について

ここで、「Elimination（物理的にハザードを除去）」として、施工の自動化・遠隔化の安全対策の信頼性が高いことは容易に想像されるが、「Substitution（ハザードの変更）」以下の安全対策の信頼性については定かではない。そこで「Substitution（ハザードの変更）」の補助ベンチ付き全断面工法、「Engineering Controls（工学的対策）」のフォアパイリング、鏡ボルト、一次吹付け、鏡吹付け、フォアポーリング等の効果を数値化することを考える。

Lunardi (2008)¹⁸⁾を参考にすると、肌落ちの発生メカニズムは以下のようなステップで進行すると考えられる。

- 1) 鏡面の岩盤は、発破掘削（または機械掘削）によって、鏡面の前面にあった岩盤の支えを失う。
- 2) 鏡面の岩盤内の岩石が微小に前面に動きはじめ、鏡面の岩盤内の亀裂が拡大・進展する。
- 3) 複数の亀裂が拡大・進展し、それらの亀裂により、鏡面表面の岩石が完全に切羽から切り離された時、その岩石は重力によって落下し、肌落ちに至る。これは、図—3に示すように、Lunardi (2008)の「Fig. 2.1」にある「Ground fall（落石）」及び「Spalling（剥離）」に該当すると考えている。

肌落ちの発生メカニズムが上記のとおりとすると、ステップ2)の時に鏡面を前面に一切動かさなければ、鏡

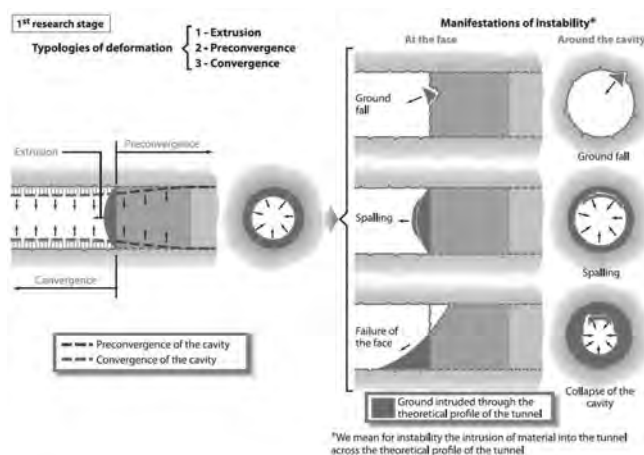
面の岩盤内の岩石は微小にも動くことができず、岩盤内の亀裂が拡大・進展することもないと考えられる。そこで、肌落ち災害防止対策として、非現実的ではあるが、掘削と同時に非常に重厚な対策を施し、一切鏡面を前面に動かさなければ、肌落ちが発生する確率はゼロに近くなると考えられる。つまり、鏡面の水平変位の大きさが、間接的に、肌落ちの発生確率の大きさを表現していると考えられる。これは、Lunardi (2008)²⁵⁾によるADECO-RS (Analisi delle DEformazioni CONTrollate nelle Rocce e nei Suoli, Analysis of COntrolled DEformation in Rocks and Soils)と類似の考えである。

そのため、本報では鏡面の押出し水平変位に着目する。ガイドラインにも管理的対策として、「切羽変位計測」が挙げられており、ガイドラインの対策の範囲内でもある。なお、鏡面の水平変位を一切発生させないことは現実的には不可能なため、鏡面の水平変位に着目し、各種の肌落ち災害防止対策がどの程度の効果（能力）を持っているか、有限要素解析により切羽押出し変位抑制率を算出し数値化する。なお、有限要素解析の解析条件等の詳細は文献²⁶⁾を参照のこと。

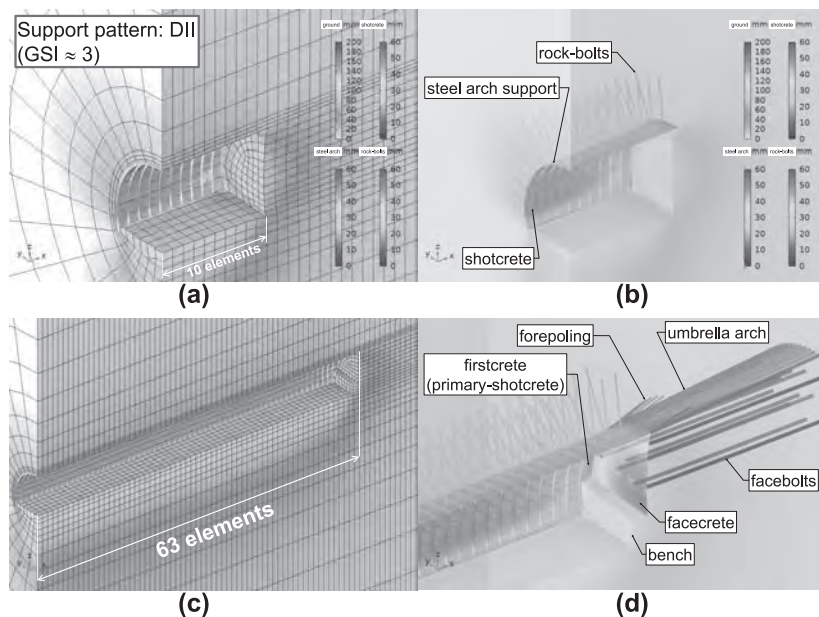
(1) 切羽押出し変位抑制率の算出方法

有限要素解析の手順として、図—4(a)に示すように、yz平面($x = 0$ m)からx方向に10要素分ほど掘削する（例えば、DIIパターンの場合、 $x = 10$ mまで掘削）。トンネル標準内空断面は「監視員通路あり」の「2級A・B」として、半径 $R1 = 5,400$ [mm]の断面である²⁷⁾。掘削と同時に、標準支保パターン²⁷⁾の仕様の支保部材を適用する（図—4(b)参照）。つまり、支保パターンごとに異なる仕様の支保部材を適用することとなる。ここで、FE解析においては、上半及び下半のトンネル掘削半径を有する円周上に吹付けコンクリート、鋼アーチ支保工、ロックボルトを適用した。地山は、Drucker-Pragerの降伏基準にテンションカットオフモデルを適用した弾塑性体として、地山等級ごとに異なる物性値（ヤング率 $E = 150 \sim 5,000$ N/mm², ポアソン比 $\nu = 0.25 \sim 0.35$, 粘着力 $c = 0.2 \sim 4.0$ N/mm², 内部摩擦角 $\phi = 30 \sim 50^\circ$, 引張強度 $\sigma_t = 0.2 \times c$ [N/mm²], 単位体積重量 $\gamma_t = 21.0 \sim 25.0$ kN/m³)を与えている²⁸⁾。一方、各支保部材は弾性体として、ヤング率、ポアソン比、単位体積重量を与えている²⁶⁾。

続けて、x方向に10要素分の掘削を4回繰り返し（DIIパターンの場合、 $x = 50$ mまで掘削）、次にx方向に5要素分の掘削を1回、4要素分の掘削を1回、1要素分の掘削を3回繰り返し（DIIパターンの場合、



図—3 Lunardi (2008)¹⁸⁾の「Fig. 2.1」にある「Ground fall（落石）」及び「Spalling（剥離）」



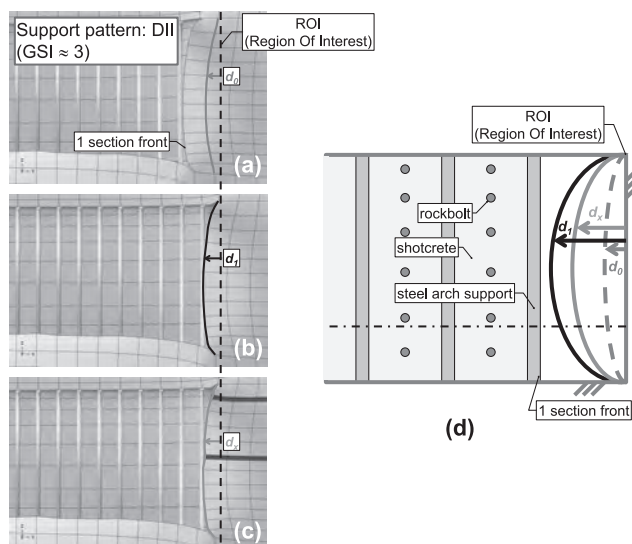
図—4 トンネル掘削，標準支保パターンの適用，肌落ち災害防止対策の適用²⁶⁾

x = 62 m まで掘削)，それぞれの掘削と同時に標準支保パターンを適用する。なお，標準支保パターンを適用する断面はここまでである。この時，x 方向に1要素先の鏡面（DII パターンの場合，x = 63 m）を計測対象面として，その時の切羽押出し変位 d_0 を出力しておく（図—5 (a) 参照）。

さらに，図—4 (c) に示すように，x 方向に1要素分ほど掘削し（DII パターンの場合，x = 63 m まで掘削），標準支保パターンを打設しない無支保の時の計測対象面の切羽押出し変位 d_1 を出力する（図—5 (b) 参照）。このような解析を支保パターンごとに行い，それぞれ d_0 及び d_1 を出力しておく。

最後に，計測対象面の1断面前までの解析結果から，x 方向に1要素分ほど掘削すると同時に，各種の肌落ち災害防止対策のうち1つの対策を施した解析を行い，その時の計測対象面の切羽押出し変位 d_x を出力する（図—4 (d)，図—5 (c) 参照）。なお，図—4 (d) は全ての肌落ち災害防止対策を同時に表示しているが，実際のFE解析では，ここに表示している対策のうち1つの肌落ち災害防止対策を適用した場合の d_x をそれぞれ出力している。

掘削と同時に各種の対策を施しているため，実際の施工とは条件が異なり，切羽押出し変位を過小評価している可能性がある。実際の施工では，例えば，発破掘削後，換気，こそく，浮石除去，ずり搬出，アタリトリを実施した後，切羽の準安定を確保するため，鏡吹付け，一次吹付けが実施される。余掘りを含めた掘削断面積にもよるが，地山等級 DII クラスであれば，発破掘削後，約 90 分後に鏡吹付け及び一次吹付けが



図—5 切羽押出し変位抑制率の算出方法²⁶⁾

実施される²⁹⁾。したがって，実際の施工では，約 90 分間，1断面ほど無支保であることから，その間の押出し変位を計算する必要がある。その後，鏡吹付け及び一次吹付けを適用し，押出し変位の変化を計算する必要がある。これらの値から切羽押出し変位抑制率を算出すべきである。これらの事項は，鏡吹付け及び一次吹付けに限ったことではなく，全ての支保部材に共通して言えることであり，施工プロセスを考慮した時間依存の弾塑性解析，つまり弾粘塑性解析が必要である。しかしながら，弾塑性解析に比べ，弾粘塑性解析を実行する場合，計算コストが著しく増加する。例えば，Neuner, et al. (2020)³⁰⁾ によると，岩盤や吹付けコンクリートの非線形時間依存性材料挙動を考慮する

場合、2次元数値解析に比べ、3次元数値解析は困難で時間のかかる作業と述べている。

そのため、本報告では、まず基本的な弾塑性解析（支保部材は弾性解析）において、各種の対策の効果を計算する。このような基礎的な計算結果が土台となり、本報告以降では、効果のある対策に限った形で、また解析パラメータを限定した形で、弾粘塑性解析による各種の対策の効果の定量評価に繋げる予定である。

時間依存を考慮した材料非線形を取り入れた数値解析としては、例えば、Neuner et al. (2020)³⁰⁾、Kargar et al. (2020)³¹⁾、Graziani et al. (2005)³²⁾ 等が参考になる。

(2) 切羽押出し変位抑制率の算出方法

前項に示した d_0 、 d_1 、 d_x の関係は、図—5 (d) のとおりとなる。

1断面前まで掘削し標準支保を施した場合の計測対象面の変位 d_0 よりも、計測対象面まで掘削し無支保である場合の変位 d_1 の方が x 軸の負の方向に大きくなる。一方、計測対象面まで掘削し同時に肌落ち災害防止対策を施した場合の変位 d_x は、 d_0 と d_1 の間にあると推察される。したがって、 $(d_1 - d_x)$ が肌落ち災害防止対策による切羽押出し変位抑制量である。また、計測対象面に対して標準支保及び肌落ち災害防止対策を未だ施していない時の1断面前からの変位量は $(d_1 - d_0)$ である。 $(d_1 - d_0)$ で $(d_1 - d_x)$ を正規化することにより、切羽押出し変位抑制率 $R_{r,x}$ を算出することができる。つまり、次式のとおりである。

$$R_{r,x} = \frac{(d_1 - d_0) - (d_x - d_0)}{d_1 - d_0} \times 100 = \frac{d_1 - d_x}{d_1 - d_0} \times 100 \cdots (1)$$

ここで、

d_0 ：計測対象面（ROI）の1断面前まで標準支保を施した時の計測対象面の変位、

d_1 ：計測対象面（ROI）まで掘削し、同断面では無支保の時の計測対象面の変位、

d_x ：計測対象面（ROI）まで掘削し、同断面に肌落ち災害防止対策を施した時の計測対象面の変位、

$R_{r,x}$ ：切羽押出し変位抑制率（％）、

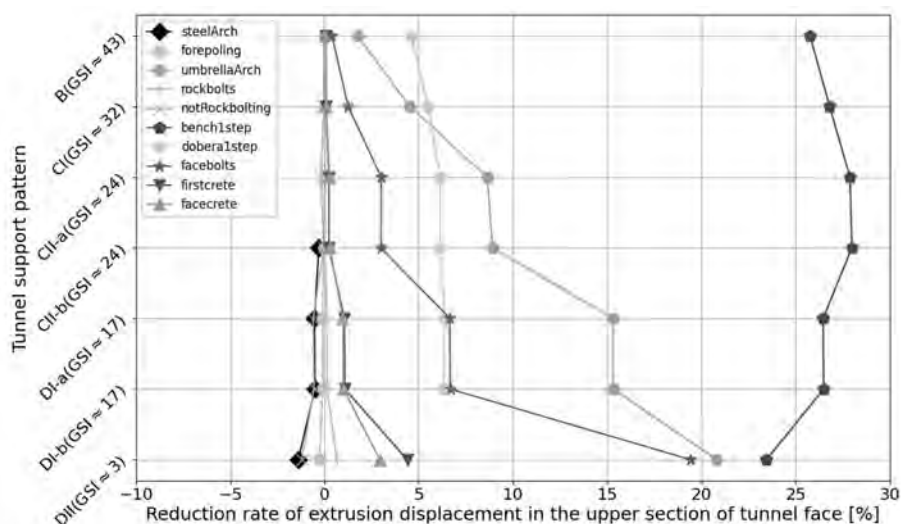
である。

なお、切羽押出し変位の計測点は、鏡面の天端とSLの midpoint を基準として、基準点から0.5 m四方の距離にある点とした。また、それら計測点の変位を出力し、それらの平均値として、切羽押出し変位を計算した。

このように算出した切羽押出し変位抑制率は、1掘進長ほど無支保の場合の変位量に対する肌落ち災害防止対策による変位抑制量の比となり、単純に肌落ち災害防止対策の効果を切羽押出し変位量から算出できる指標となる。

(3) 各種の肌落ち災害防止対策の切羽押出し変位抑制効果

式(1)を用いて、各種の対策の切羽押出し変位抑制率を算出し、支保パターンとの関係を図—6に示す。なお、縦軸は支保パターン（B～DII）だけでなく、海外の基準である Geological Strength Index (GSI)³³⁾ も合わせて示している。なお、補助ベンチを施した解析では、支保パターン DII の時、テンションカットオフモデルにおいて解が収束しなかったことから、テンションカットオフモデルを採用せず、通常の Drucker-Prager モデルで解析を実施して解を得ていることに留意する必要がある²⁶⁾。補助ベンチ上面の坑口側の



図—6 支保パターンと切羽押出し変位抑制率との関係²⁶⁾

要素が引張破壊し、力の釣り合いが取れなくなったものと推察される。

同図において、各種の対策を相対比較すると、非常に興味深い。まず、補助ベンチ (benchstep) が最も切羽押出し変位の抑制に効果があり、約 26% の抑制率となっている。この傾向は、支保パターンによらないことも興味深い。補助ベンチは鏡面前面にベンチを残置するもので、幾何学的なものである。幾何学的なものであるため、補助ベンチの物性値は、地山の物性値と共に変化し、補助ベンチと地山の物性値の相対的な関係は一定である。したがって、支保パターンによらず、ほぼ一定の抑制率を示したものと考えられる。なお、前述したように、補助ベンチの上面が局所的に破壊される可能性もあるため、注意が必要である。

続いて、支保パターン DII において、長尺フォアパイリング (umbrellaArch)、長尺鏡ボルト (facebolts) の順に抑制率が高いことが分かる (それぞれ約 21%、約 19%)。同図の凡例には、それぞれ “umbrellaArch” 及び “facebolts” と記載している。しかしながら、支保パターンとの関係性において、補助ベンチとの相違が見えて、とても興味深い。つまり、長尺フォアパイリング (umbrellaArch)、長尺鏡ボルト (facebolts) においては、支保パターンが軽くなる (地山が硬くなる、B に近づく) につれ、対策の効果が低減していることが分かる。長尺フォアパイリング (umbrellaArch) の弾性係数は $2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 、長尺鏡ボルト (facebolts) の弾性係数は $2.0 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ と支保パターンによらず一定であるのに対して、地山の弾性係数は $1.5 \times 10^2 \sim 5.0 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ となり、支保パターンが B に近づくにつれ、地山の弾性係数が支保部材の弾性係数に近づくことが分かる。そのため、支保部材の弾性係数と地山の弾性係数が近づくにつれ、結局のところ、地山の弾性係数によって切羽の押出し変位が決まってしまう、切羽押出し変位抑制率は下がると推察される。

次に、フォアポーリング (forepoling) を見ると、支保パターン DII において、約 -0.3% という押出し変位抑制率であり、ほとんど効果が見られないことが分かる。同図の凡例には “forepoling” と記載している。これは、長尺フォアパイリングの打設長 12.5 m に比べ、フォアポーリングの打設長が 3 m と短いためだと推察される。また、フォアポーリングの打設角度も水平面から 30 度と長尺フォアパイリングの 4 度よりも大きいこともあり、切羽の水平変位の抑制に効果があまり見られなかったと推察される。

次に、一次吹付けと鏡吹付けを見ると、支保パターン DII において、それぞれ約 4.4% と約 2.9% という抑

制率であることが分かる。同図の凡例には、それぞれ “firstcrete” 及び “facecrete” と記載している。一次吹付けは、1 断面ほど無支保だったアーチ・側壁部に対して吹付けコンクリートを打設する行為である。そのため、1 断面前までのアーチ・側壁部の吹付けコンクリートと連続した構造となる。また、一次吹付け厚さは 50 mm であり、鏡面とも接している。つまり、一次吹付けコンクリートは、ある一定の厚さを持って鏡面と接し、1 断面前までのアーチ・側壁部の吹付けコンクリートとも連続するため、鏡面が押し出してくる挙動に対してトンネル軸方向に反力を有している。一方、鏡吹付けはそれ単体ではトンネル軸方向に反力を有していない。そのため、一次吹付けの抑制率が鏡吹付けのそれを上回ったと推察される。

したがって、鏡吹付けと一次吹付けを同時に採用すれば、鏡吹付けもトンネル軸方向に反力を有することとなり、切羽押出し変位の抑制効果が高いと推察される。

(4) 標準支保パターン (ロックボルト) の切羽押出し変位抑制効果

次に、標準支保パターンを 1 つ 1 つ適用した場合も切羽押出し変位抑制率を算出している。

図—6 のロックボルトの抑制率を見ると、DII パターンにおいて、0.6% ほど効果が見られる。同図の凡例には、“rockbolts” と記載している。なお、Vitali et al (2018)³⁴⁾ と文献²⁶⁾ の結果から誤差 2% の範囲内であるが、トンネル横断方向に打設するロックボルトが、トンネル縦断方向の鏡面の押出し変位の抑制にわずかもプラスの効果があることは興味深い。

一方、日本における実施工では、本坑と作業坑 (または連絡坑) で断面の大きさが異なる場合においても、本坑用の大型のドリル・ジャンボを用いて、断面の小さな作業坑 (または連絡坑) におけるロックボルトを打設する状況も散見される。この時、ドリル・ジャンボのガイドシェルが補助ベンチに当たるため、補助ベンチがなくなる距離まで、例えば鏡面から 3 断面分ほどロックボルトを打設しないという施工も見られた。このような施工を想定して、3 断面分ほどロックボルトを打設しないといった解析も実施している。図—6 の “notRockbolting” というプロットがそれに該当し、抑制率は約 -1.2% となる。Vitali et al (2018)³⁴⁾ と文献²⁶⁾ の結果から誤差 2% の範囲内であるが、先ほどの鏡面の直近にロックボルトを打設する場合の抑制率が 0.6% ほどであったのに対して、3 断面分ほどロックボルトを打設しない場合の抑制率は約 -1.2% となり、わずかも鏡面の不安定化を招く可能性がある。

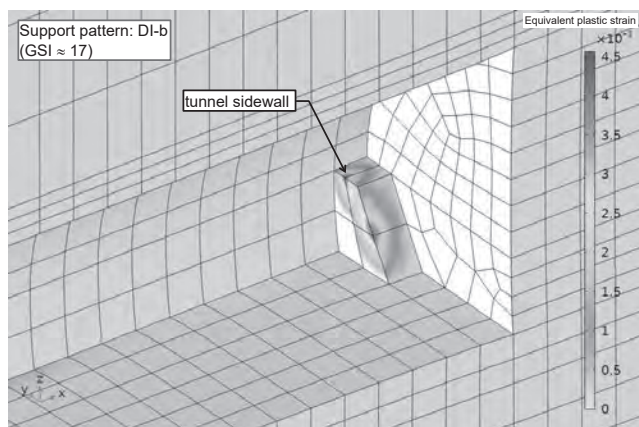
(5) 補助ベンチの大背を掘削する影響

本節では、補助ベンチの大背を掘削する影響を検討する。日本の実施工では、前述したように、本坑と作業坑（または連絡坑）で著しく断面の大きさが異なる場合においても、本坑用の大型のドリル・ジャンボを用いて、断面の小さな作業坑においてロックボルトを打設する状況も散見され、この時、ドリル・ジャンボのガイドシェルが補助ベンチに当たるため、補助ベンチの中央部分（ここでは「大背」という。）を掘削する施工も見られる。

本報では、このような施工も再現した解析を実施した。すなわち、トンネル横断面において、下半の大背を掘削し、下半の土平（tunnel sidewall）を残置するという解析を実施した。下半の土平の上底は1 m、下底は2 mとした。

支保パターン DI-b において、大背を掘削した時の解析結果を図一7に示す。同図は等価塑性ひずみの分布を示している。このような大背を掘削した時の解析結果から、土平の上面及び斜面において、等価塑性ひずみが卓越していることが分かる。大背を掘削することで、土平の安定性が低下することが分かる。なお、支保パターン DII においても同様の解析を実施した結果、テンションカットオフモデルを適用した場合とそうでない場合、両方の条件下において解が収束しなかった。土平の上面または斜面のうちのいずれかが引張破壊し、力の釣り合いが保てなくなったと推察される。

大背を掘削した時の切羽押し変位抑制率と支保パターンの関係も図一6に“doberalstep”として示している。同図から、支保パターンによらず、抑制率が約6%となることが分かる。前述したように、補助ベンチの抑制率が約26%であったことを考えると、20%も低下しており、大背を掘削することで著しく鏡面の不安定化を招くことが分かる。



図一7 大背を掘削し土平を残した場合の解析結果（等価塑性ひずみの分布図）

したがって、ドリル・ジャンボのガイドシェルに合わせて断面形状を決めるのではなく、設計段階または施工計画段階から、適切な補助ベンチを設けたとしても、適切にロックボルトが打設できるよう、適切な大きさのドリル・ジャンボとガイドシェルを事前に用意する必要がある。これにより、大背を掘削することなく、SLとベンチ上面を完全に一致させた施工ができ、鏡面の押し出し変位をある程度抑制した施工ができる。

5. おわりに

本報では、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ついて、厚生労働省のガイドラインの背景・内容を整理するとともに、各種対策の効果を定量的に評価した。肌落ち災害は、現在においても死傷災害につながる重大なリスクであり、特に支保工建込みや装薬作業時において発生する可能性が高い。そのため、作業員が掘削面（鏡面及びアーチ・側壁部）に近接しない環境の構築が重要である。

そのため、ガイドラインの改正経緯を通じて、発注者を含む関係者全体での安全確保の役割が明確化されてきた。特に、施工の自動化・遠隔化技術の導入が「Elimination（物理的にハザードを除去）」として、最も信頼性の高いリスク低減策である。さらに、肌落ち災害の発生確率と鏡面の水平変位に相関があるという仮説のもと、有限要素解析により各種対策の切羽押し変位抑制効果を定量評価した。その結果、補助ベンチが最も高い抑制効果を示し、長尺フォアパイリング、長尺鏡ボルト、一次吹付け及び鏡吹付けの効果も確認された。なお、地山を弾塑性体、支保部材を弾性体、総じて連続体を仮定し、施工状況を極めて単純にモデル化した有限要素解析の結果であることを明記しておく。

また、現場でしばしば見られる補助ベンチの大背掘削が、鏡面の不安定化を招き、変位抑制効果を大きく低下させることも解析により示された。このことから、設計段階及び施工計画段階において、掘削断面に応じた施工機械（特にドリル・ジャンボ）を選定することが不可欠であることが分かった。

今後は、時間依存を考慮した粘弾塑性解析を導入し、施工プロセスの実態に即したより現実的な評価を進めることが求められる。

肌落ち災害のさらなる低減を目指し、発注者・設計者・施工者の三位一体による安全対策の高度化が期待される。

《参考文献》

- 1) 吉川直孝：山岳トンネル建設工事における肌落ち事象と鏡吹付け及び1次吹付けコンクリートの有効性について，安衛研ニュース No.192 (2025-01-10)，[192-2] コラム，2025. https://www.jniosh.johas.go.jp/publication/mail_mag/2024/192-column-1.html. (2025年3月10日閲覧)
- 2) 熊谷幸樹，宮原宏史，吉川直孝：山岳トンネル建設工事における肌落ち事象の画像監視システムの実用化，第80回年次学術講演会概要集，(公社)土木学会，VI-560，2025.
- 3) 吉川直孝，熊谷幸樹，宮原宏史，藤岡大輔，三浦雅也，森崎達之助：山岳トンネル建設工事における肌落ち事象と鏡吹付けおよび1次吹付けコンクリートの有効性，第80回年次学術講演会概要集，(公社)土木学会，VI-561，2025.
- 4) 藤岡大輔，中村隆史，西山哲，中岡健一：画像処理技術を利用したリアルタイム切羽監視システムの開発，第45回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，pp. 55-60，2017.1，<http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00019/2018/45-0055.pdf>. (2025年3月27日閲覧)
- 5) (一社)日本トンネル専門工事業協会：NO.1『肌落ち労働災害防止のハンドブック その2』，http://www.tonnel.jp/htm_tebiki1.html，2012. (2025年7月3日閲覧)
- 6) 吉川直孝，伊藤和也，豊澤康男，堀智仁，玉手聡：トンネルの切羽からの肌落ちによる労働災害の調査分析と防止対策の提案，労働安全衛生総合研究所技術資料，JNIOH-TD-No.2，p.7，<https://www.jniosh.johas.go.jp/publication/doc/td/TD-No2.pdf#zoom=100>，2012. (2025年7月3日閲覧)
- 7) 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，https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_40441.html. (2025年7月3日閲覧)
- 8) 独立行政法人労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所：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関する検討会 報告書，https://www.jniosh.johas.go.jp/publication/houkoku/tunnel_2023.pdf，2023.
- 9) National Institute for Occupational Safety and Health: Hierarchy of Controls，10 April 2024，<https://www.cdc.gov/niosh/hierarchy-of-controls/about/index.html> (2025年7月3日閲覧)
- 10) 鹿島建設㈱：プレスリリース 山岳トンネルの自動化施工システム「A4CSEL for Tunnel」が完成！，2024.7.31. <https://www.kajima.co.jp/news/press/202407/31c1-j.htm> (2025年7月3日閲覧)
- 11) ㈱大林組：安全と品質，生産性を飛躍的に向上させる統合システム「OTISM (オーティズム) Ⅹ」，<https://www.obayashi.co.jp/tunnelworld/system/mountain/> (2025年7月10日閲覧)
- 12) 清水建設㈱：次世代型トンネル構築システム「シミズ・スマート・トンネル」，<https://www.shimz.co.jp/topics/civil/item04/> (2025年7月10日閲覧)
- 13) 国土交通省道路局国道・技術課：「トンネル発破作業の自動化・遠隔化技術の現状」中間とりまとめ(案)を公表します～トンネル発破作業の安全性・生産性を向上する技術の開発・活用の促進に向けて～，https://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_001919.html (2025年7月10日閲覧)
- 14) 戸田建設㈱：トンネル全体の電波暗室化に成功し，無線発破システムを確立 山岳トンネル発破作業の安全性の大幅な向上へ，https://www.toda.co.jp/news/2025/20250627_006081.html (2025年7月10日閲覧)
- 15) 戸田建設㈱，清水建設㈱，西松建設㈱，前田建設工業㈱，エフティーエス㈱：山岳トンネルにおける遠隔施工技術『コンクリート吹付け機の遠隔操作システムを開発』トンネル坑内におけるコンクリート吹付け作業を無線で遠隔化，https://www.toda.co.jp/news/2022/20221214_003154.html (2025年7月10日閲覧)
- 16) 大成建設㈱：コンクリート吹付け作業の遠隔操作技術「T-iROBO® Remote Shotcreting」の本格運用を開始，2022.5.10.，https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2022/220510_8782.html (2025年7月3日閲覧)
- 17) ㈱大林組：山岳トンネル遠隔支保工建て込み技術 クイックテレクター®，https://www.obayashi.co.jp/solution_technology/detail/tech_d268.html (2025年7月3日閲覧)
- 18) 大成建設㈱：トンネル鋼製支保工の建て込み工法「T-支保工クイックセッター」を開発，2021.5.13.，https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/210513_8240.html (2025年7月3日閲覧)
- 19) 水谷和彦，能代泰範，宮原宏史：第22回 国土技術開発賞 優秀賞受賞 鋼製支保工建て込みロボット 山岳トンネル工事の安全性・生産性向上技術，https://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/review/awards/kenmane/kenmane20210115_02.pdf (2025年7月3日閲覧)
- 20) ㈱熊谷組，岡三リビック㈱，伊藤忠丸紅住商テクノスチール㈱：山岳トンネル切羽作業の無人化へ前進 鋼製支保工の自動建込技術を国内初適用～ MACCAFERRI 社技術の実証試験を実施～，<https://www.kumagaigumi.co.jp/news/2025/pr-20250702-003883.html> (2025年7月3日閲覧)
- 21) 大成建設㈱：世界初6m 縦ぎロックボルト打設装置を開発 切羽近傍での作業を完全機械化し，省人化と安全性向上を実現，https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2020/200916_4978.html (2025年7月3日閲覧)
- 22) 清水建設㈱：山岳トンネル工事のロックボルト打設を完全機械化～2ブーム打設専用機を導入し，切羽直下での人力作業を排除～，2022.6.24.，<https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2022/20220624.html> (2025年7月3日閲覧)
- 23) 飛鳥建設㈱：トンネル切羽高速・高密度計測システム：“TFS-Mapper”，https://www.tobishima.co.jp/press_release/detail/20221007142526.html (2025年7月3日閲覧)
- 24) 東急建設㈱：「切羽遠隔監視システム」の試験導入を開始～山岳トンネル建設工事中の死傷災害の防止に期待～，<https://www.tokyu-cnst.co.jp/topics/2804.html> (2025年7月3日閲覧)
- 25) Lunardi, P.: Design and construction of tunnels, Analysis of controlled deformation in rocks and soils (ADECO-RS), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
- 26) Naotaka Kikkawa, Hidetaka SAOMOTO, Kazuya ITOH, Koki KUMAGAI, Atsushi WATANABE, Masaya MIURA: Evaluation of Rock Spalling Prevention Measures Considering Tunnel Face Extrusion in 3d Elasto-Plastic Finite Element Analysis: An Occupational Safety Perspective, SSRN, https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5222635 (2025年7月3日閲覧)
- 27) 東日本高速道路㈱，中日本高速道路㈱，西日本高速道路㈱：設計要領第三集，トンネル，[保全編] [建設編]，令和5年7月版，第2章 p.8，第4章 p.34，2023.
- 28) 日本道路公団：試験研究所技術資料第358号 トンネル数値解析マニュアル，第3章 p.26，1998.
- 29) 東日本高速道路㈱，中日本高速道路㈱，西日本高速道路㈱：土木工事積算基準 令和2年度版，㈱高速道路総合技術研究所，pp. 19-9，19-12，2020.
- 30) Neuner, M., Schreter, M., Gamnitzer, P., and Hofstetter, G.: On discrepancies between time-dependent nonlinear 3D and 2D finite element simulations of deep tunnel advance: A numerical study on the Brenner Base Tunnel, Computers and Geotechnics, Vol. 119, 103355, 2020.
- 31) Kargar, A. R., Haghgouei, H., and Babanouri, N.: Time-dependent analysis of stress components around lined tunnels with circular configuration, considering tunnel advancing rate effects, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 133, 104422, 2020.
- 32) Graziani, A., Boldini, D., and Ribacchi, R.: Practical Estimate of Deformations and Stress Relief Factors for Deep Tunnels Supported by Shotcrete, Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol. 38, No. 5, p. 345-372, 2005.
- 33) Hoek, E. and Brown, E.T.: The Hoek-Brown failure criterion and GSI – 2018 edition, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, Volume 11, Issue 3, pp. 445 – 463, 2019.
- 34) Vitali, O. P. M., Celestino, T. B., and Bobet, A.: 3D finite element modelling optimization for deep tunnels with material nonlinearity, Underground Space, Vol. 3, No. 2, p. 125-139, 2018.

【筆者紹介】

吉川 直孝 (きっかわ なおたか)
 (独)労働者健康安全機構
 労働安全衛生総合研究所



生成 AI 技術で安全管理を支援する 「安全支援アプリ」を提供開始

平 田 弘 達・箱 田 博 之

本報文では、生成 AI 技術を活用したクラウドベースの安全支援システムの開発と実用化について報告する。本システムは生成 AI を用いたシステムであり、現場写真の自動解析、RAG 技術による過去事例・法令検索、チャットによる AI の応答機能を有している。既に複数の企業で導入され、安全管理業務の効率化や安全教育の質向上に寄与することが報告された。本システムを用いることで、生成 AI を用いた現場の安全管理業務支援が可能であることが確認できた。

キーワード：建設，安全管理，生成 AI，リスク診断，RAG，クラウドサービス，画像解析

1. はじめに

建設業界における労働災害発生率は全産業平均と比較して依然として高い水準にあり、特に建設機械の運用に関わる事故は重篤な結果を招くことが多い。厚生労働省の統計によると、建設業における死亡災害は年間 200 件を超え、業界として減少傾向にあるものの、継続的な対策が必要である¹⁾。

建設現場の事故を防ぐためにも、安全管理や教育は重要な要素である。一方で建設業界においても働き方改革推進の取り組みが進められており、人手不足が続く中でも更なる労働時間の削減が求められ、日建連の発出する基本方針においても総労働時間の削減が掲げられている²⁾。熟練技術者の高齢化が進む中で、限られた労働時間内での技術継承がさらに困難となり、若手職員・作業員の安全意識・知識不足が深刻化している。

従来の安全管理手法は、人による目視確認と経験に基づく判断が中心であり、安全管理者の経験や知識に依存する部分が少なくなかった。そこで近年、AI 技術を活用し画像認識や自然言語処理を活用した建設現場の安全管理支援が注目されている。特に、大規模言語モデル (LLM) の発達により、専門知識を要する指導員に近い水準でリスクの特定や法令確認作業を AI が支援することが可能となってきた。

本報文では、建設現場の安全管理の課題解決を目的として開発した、生成 AI 技術を活用した安全支援システムについて、その技術的特徴、システム構成、実用化事例を報告する。

2. システム概要

(1) 基本コンセプト

今回開発したシステムは、安全管理者の判断を代替するのではなく、安全知識を支援することを基本コンセプトとしている。安全管理者の経験と知識を補完し、より確実で効率的な安全管理を実現することを目指している。

(2) 主要機能

本システムにおいてコアとなる AI 機能は以下の 3 つの主要機能で構成される：

①現場理解 AI 機能

- ・現場写真の自動解析
- ・作業環境や設備状況の認識
- ・安全装備着用状況等の実施済み安全対策の認識

②リスク診断 AI 機能

- ・検出された状況に基づく危険箇所の特定
- ・過去に発生した類似の事故事例との提示
- ・関連する法令（安衛法・安衛則）の提示

③チャット AI 機能

- ・リスク診断結果を基に、ユーザーからの質問への回答
- ・RAG データベースに含まれる知識の検索

3. システム構成

(1) 全体アーキテクチャ

全体アーキテクチャを図—1に示す。本システム

はクラウドサービスとして構成されており、Web ブラウザを通じてアクセス可能である。ユーザーは安全支援アプリ（Web アプリケーション）を介して画像をアップロードし本システムを利用する。Web アプリケーションからは AI 安全解析システムに API 経由でリクエストを送り、AI 安全解析システムは RAG 用データベースから必要な知識を検索して診断結果を Web アプリケーションへ返す。この RAG 用データベースには安全衛生法や安全衛生規則といった法令に関する知識や、国土交通省や厚生労働省が公開する過去の事故事例、その他施工現場の安全管理に関するいくつかのガイドラインが含まれている。

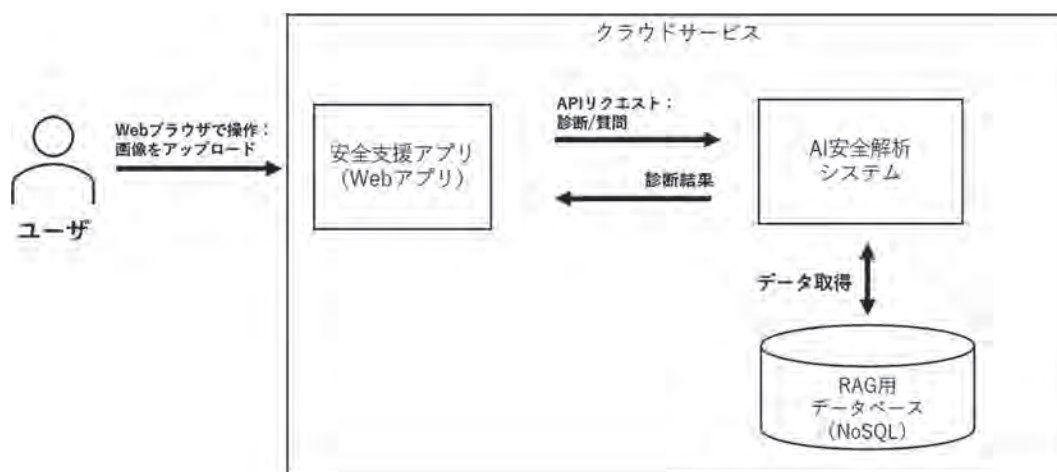
本アーキテクチャの特徴は、クラウドベースであることによる高い拡張性と、Web アプリケーションに

よる端末を選ばないアクセシビリティである。現場のタブレットやスマートフォンからも容易に利用可能であり、インターネット接続があれば場所を問わず安全支援機能を利用できる。

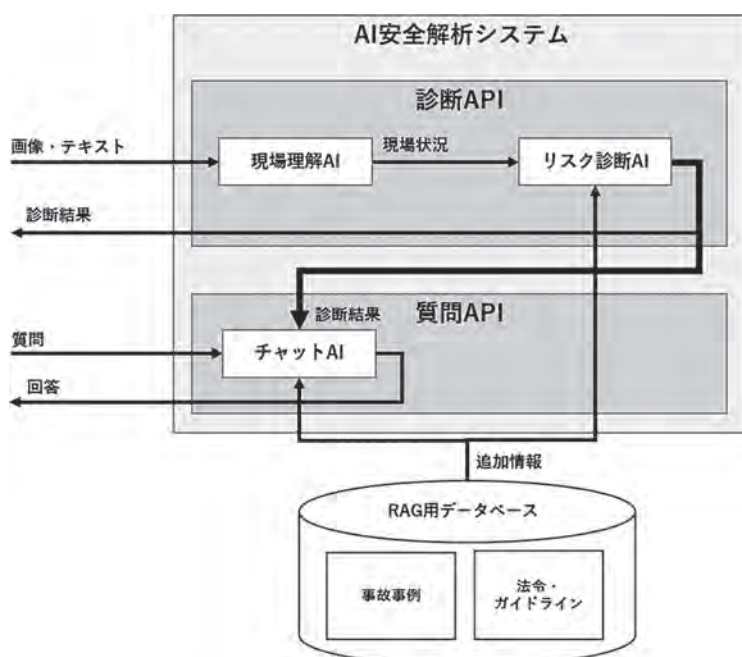
(2) AI 安全解析システムの詳細構成

図一 2 に AI 安全解析システムの内部構成を示す。本システムは診断 API と質問 API の 2 つのメインコンポーネントから構成される。

診断 API では、入力された画像・テキストに対して現場理解 AI が現場状況を解析し、その結果をリスク診断 AI が評価する。リスク診断 AI は、RAG データベースから関連する事故事例や法令等を検索し、総合的な診断結果を生成する。



図一 システム全体構成図



図二 AI 安全解析システム詳細構成図

質問 API では、チャット AI が利用者の質問に対して RAG データベースを参照しながら適切な回答を生成する。Web アプリケーション上でチャット AI を利用するためのテキスト入力欄を設けており、利用者はテキストベースで質問をすることができる。両 API は共通の RAG データベースを参照することで、一貫性のある情報提供を実現している。

(3) RAG 技術の活用

図—3 に、本システムにおける RAG 技術の概要を示す。本システムでは、大量の安全関連データを効率的かつ専門的に活用するために、RAG (Retrieval-Augmented Generation) 技術を導入している。

RAG 用データベースには、国土交通省や厚生労働省などの公的機関が公開する事故事例、建設業労働災害防止協会などの業界団体が発行する安全管理指針、各種施工技術指針などを収集・整理したデータが格納されている。これらのデータは、事前に埋め込み表現モデル (Embedding モデル) を用いてベクトル化されたうえで、データベースに登録される。登録の際には、事故事例の発生状況・原因・対策の構造化や、法令条文とその解説との関連付けなど、建設安全分野の専門性を反映した前処理が施される。

システム実行時には、現場理解 AI が出力する現場状況 (テキスト形式で表現されたもの) を同様に埋め込み表現モデルでベクトル化し、ベクトル検索機能を用いて RAG 用データベースから関連性の高い事故事例や法令・ガイドラインを検索する。本システムでは、

検索結果の精度を向上させるために、意味的類似性に基づくベクトル検索と、従来型のキーワード検索を組み合わせたハイブリッド検索を採用している。

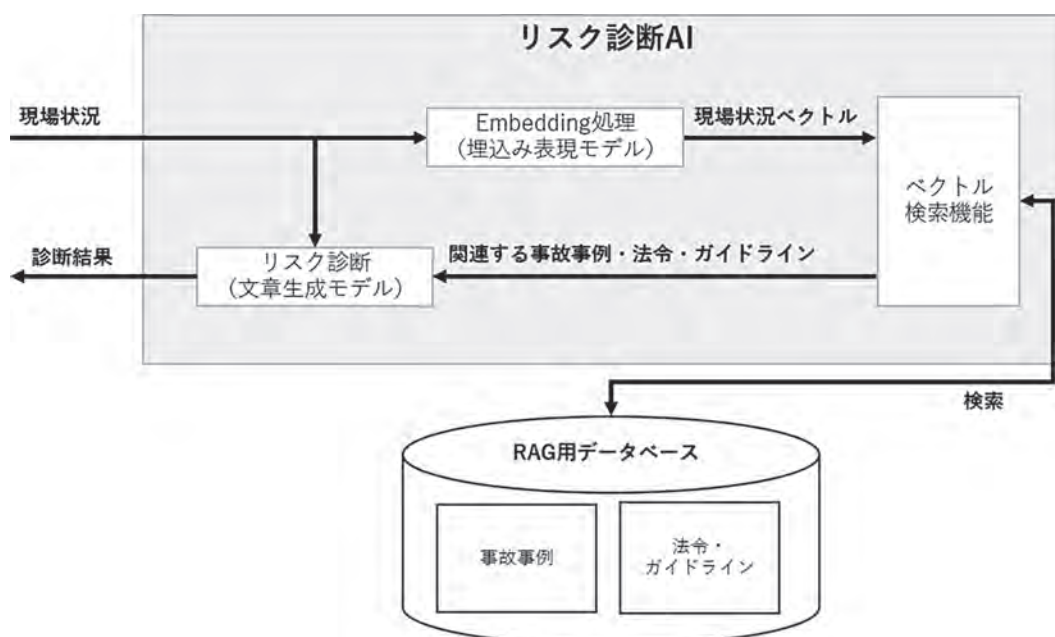
こうして抽出された関連文書と現場状況の情報を入力として、文章生成モデルがリスク診断結果を出力する仕組みとなっている。本システムの大きな特徴は、生成 AI モデル自体への追加学習を行わず、RAG による外部知識の補完だけで高い専門性を実現している点である。これにより、知識の追加・削除が容易となり、利用者からのフィードバックを反映した迅速な改善サイクルが可能となる。また、図—3 はリスク診断 AI における RAG 技術の構造を図示したものであるが、チャット AI においても同様に RAG 用データベースから検索を行い、回答に活用している。

4. 技術的優位点

(1) 画像のみでリスク分析が可能であること

従来の AI システムの多くはユーザーが入力する文章によって AI に状況を理解させていたが、本システムではユーザーがアップロードした画像のみを情報源に、AI が自動的に状況を理解することが可能である。これにより、利用者は AI が現場の状況を理解するために文章を入力する必要がなく、簡便かつ一定の質を保ちながらリスク分析を実行することが可能である (図—4)。

付け加えると、画像だけではなくテキストによる情報の入力も可能であるため、AI が認識しづらい画像



図—3 RAG 技術概要図



図ー4 Web アプリケーション利用時の画面例

についてはテキスト情報を追加することで、より適切なリスク診断の実現を可能としている。

(2) RAG データベースの構築

本システムでは、生成 AI モデル自体への追加学習は実施せず、RAG 技術によるデータ補完で建設業に特化した知識を携えている。RAG データベースには、国土交通省および厚生労働省が公開している建設業における労働災害事例、安全管理や施工技術指針などの公的機関が発行するデータを搭載している。

RAG データベースからの情報検索においては、事故事例については発生状況・原因・対策の構造化、法令・指針については条文と解説の関連付けを行い、検索精度の向上を図っている。公的データの活用により、一般的な生成 AI では対応困難な建設安全分野の専門的な質問に対しても、根拠のある回答を提供することが可能となった。

(3) 出力される文章の高品質化

生成 AI を用いたシステムの弱点として、事実と異なる内容や現実的には考えづらい事柄を生成してしまう、いわゆるハルシネーションの問題がある。本システムにおいても出力される文章の質を高めるための取り組みをいくつか行ってきた。

一つは、建設現場の安全管理経験者による文章の監修である。開発初期段階では、AI が生成する文章が確からしさを欠いており、対策案についても現場で実行できると思えないような内容を提示することがしばしば発生した。それらに対して、経験者の目線から出

力される文章の要件定義を行い、要件を満たすように AI の出力を調整してきた。これにより、利用者からも一定の評価を得られる質の高い文章を生成することが可能となった。

もう一点は、LLM-Ops の導入である。出力される文章の質を担保するために、LLM-Ops ツールを活用し、定常的に出力を評価したうえでプロンプトチューニングや入出力フローの調整を行い、モデルを再学習させることなく品質を維持している。これにより、システムの構成やデータベースの見直しを行った際も、定量的に出力文章の質を評価できるようになり、出力される文章を安定化させることが可能になっている。

5. 導入事例

(1) 導入企業での活用状況

本システムは既に製品として販売を開始しており、複数の建設会社において実際の現場業務に導入されている。導入企業からは、従来の安全管理業務における課題解決に対する評価を得ている。導入効果と評価を表ー1に整理した。

(2) 具体的な利用・活用シーン

本システムの利用者の反応を整理すると、主に以下の3つのシーンでの活用事例が多く報告されている。

①日常的な安全パトロール：従来の目視確認を補完する形での危険要因検出に活用されている。診断結果を PDF データに出力することで現場への周知確認としても有効。

表—1 利用者の評価から主要なものを抜粋

導入効果として 報告されている内容	安全パトロール時の危険要因の見落とし防止に有効
	若手現場監督への安全教育に有効である
	法令が自動で提示されるため、確認作業が効率化された
利用者からの評価・ フィードバック	写真撮影だけで簡単に使用でき、操作性が良い
	類似事例と関連法令が同時に提示され、監督者にとっても学びになる
	暗黙知として理解している内容も明確に言語化してくれるため、リスクの見落としや認識漏れを減らせると感じた

②安全教育・指導：検出されたリスクに対する具体的な対策案と関連法令の自動提示。特に経験の浅い監督者への安全教育・指導をサポートする形で利用している。

③着工前の安全確認：3D モデルや設計図面を画像としてアップロードすることで、計画段階での潜在リスクを事前抽出。施工計画の安全性向上に活用されている。

特に③の着工前の安全確認においては、3D モデルなど施工状況が理解できる画像があれば、それを現場写真の代わりに利用することでリスクの分析が可能であることが確認できた。

6. 今後の展望・開発について

現在、本システムの発展として定点カメラとの連携機能を開発中である。現状の Web アプリケーションでは現場写真のアップロードが必要であるため、写真が取られていない、つまり巡回が不十分な箇所のリスク特定には課題が残る。定点カメラで継続的に建設現場の映像を取得することにより、今まで気づけなかった現場内のリスクに、現場管理者・作業者がともに気づきやすくなるシステムを実現することを目指している。

具体的には、定点カメラからの映像データを生成 AI が継続的に解析し、危険性が高い／低いシーンを特定しながら分析データを蓄積する。これにより、現場の安全性がどの程度なのか、改善すべきポイントがどこなのかをより正確に把握することができる。加えて、定点カメラと本システムが常に連携できていれば、写真のアップロード作業も不要となり、より利便性の高いシステムの提供が可能になると考えている。

7. おわりに

本報文では、生成 AI 技術を活用した建設現場向け安全支援システムの開発と実用化について報告した。本システムは、既に複数の建設現場において安全管理業務に導入され、現場業務の効率化と安全管理の質向上に寄与している。

建設業界における人手不足と安全管理の高度化への要求が高まる中、AI 技術を活用した安全管理の重要性は今後ますます増大すると考えられる。一方で、AI による支援は人の判断を完全に代替するものではなく、人の経験と知識を補完する「協調型 AI」として位置づけることが重要である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 厚生労働省労働基準局 安全衛生部安全課：令和 5 年 労働災害発生状況（別添），2023 年
- 2) 日本建設業連合会：働き方改革推進の基本方針，2017 年

【筆者紹介】

平田 弘達（ひらた こうたつ）
（株）EARTHRAIN
ソリューション開発デザイン



箱田 博之（はこだ ひろゆき）
（株）EARTHRAIN
DX センタ



建設現場の安全品質向上を目的とする生成 AI 活用

佐々木 暁 子

本稿は、建設現場の安全品質向上を目的とした生成 AI 活用の現状と課題を、国内外の事例等に基づいて論じる。生成 AI は危険予知活動（KY 活動）や安全対策の標準化、事故防止に寄与する一方、情報セキュリティや現場適合性、運用ルール整備などの課題も存在する。今後は現場フィードバックを反映した段階的な導入と、産業界全体での知見共有が重要となる。

キーワード：生成 AI 活用、リスク管理、危険予知、知見の平準化

1. はじめに

建設業界は、慢性的な人手不足や高齢化、働き方改革への対応など、さまざまな課題に直面している。特に現場作業における労働災害発生率の高さは、全産業と比較して依然として深刻な水準にあり、安全対策の徹底と品質向上は喫緊の課題である。加えて、現場ごとに異なる作業環境や多様な協力会社が関与するため、情報共有やリスク管理の標準化が難しいという構造的な問題も存在する。

こうした背景のもと、近年ではデジタル技術の導入、とりわけ AI 技術の活用が、生産性向上や現場管理の効率化だけでなく、安全品質の向上にも資するものとして注目されている。従来の画像認識や IoT センサーによる自動化に加え、生成 AI（大規模言語モデル：LLM）を活用した現場支援の取り組みも始まりつつある。生成 AI は、膨大なテキストデータから学習し、自然言語による柔軟な対話や知識生成が可能であり、現場の安全管理やリスク低減の新たな手段として期待されている。

本稿では、建設現場の安全品質向上を目的とした生成 AI 活用の現状と課題について、国内外の先行事例や公的レポートをもとに詳細に概観し、今後の展望についても考察する。

2. 生成 AI の特徴と建設現場安全への応用可能性

(1) 生成 AI の基本的な特徴

生成 AI は、膨大なテキストデータを基に自己学習

し、自然言語による柔軟な対話や知識生成が可能な AI 技術である。OpenAI が開発した GPT-4 などの大規模言語モデル（LLM）は、従来のルールベースや単純なパターンマッチング型 AI とは異なり、文脈理解や推論能力に優れ、ユーザーの問いかけに対して多様かつ創造的な応答を返すことができる（OpenAI, 2023）。

このような生成 AI の強みは、単なる FAQ や定型業務の自動化にとどまらず、現場ごとの状況や過去の事例を踏まえたアドバイスや、複雑な意思決定支援にも応用できる点にある。特に建設現場のように、日々変化する作業内容や多様なリスク要因が存在する環境では、生成 AI の柔軟性と知識集約力が大きな価値を持つ。

2025 年 8 月からは GPT-5 の提供が始まった（図—1）。

(2) 建設現場における安全品質向上への応用

建設現場では、日々の作業記録や KY（危険予知）活動報告、安全指示書、ヒヤリハット報告など、多様な情報が蓄積されている。しかし、これらの非構造化データを十分に活用できていない現場も多く、経験や勘に頼った安全対策が主流となっているケースも少なくない。

生成 AI を活用することで、現場担当者が自然言語で作業内容やリスク要因を入力し、その日の安全対策や注意事項を自動提案させる仕組みの構築が期待されている（国土交通省, 2023）。また、過去の災害事例やヒヤリハット情報を横断的に検索・要約し、現場ごとのリスクに即したアドバイスを得ることも可能となる。さらに、現場で発生した新たなリスクや課題についても、生成 AI を通じて迅速に知見を共有し、全社



図ー1 プロンプト入力に対して表示された回答案（ChatGPT 画面より）

的な安全文化の醸成につなげることができる。

(3) 生成 AI の導入による期待

主に以下の3点である。

- ・安全対策の標準化：個人の経験に依存しがちな安全対策の品質を標準化し、現場ごとのばらつきを抑制する。
- ・負担軽減と意識向上：現場監督者の管理負担を軽減するとともに、作業者の安全意識向上や事故防止に寄与する。
- ・リスク予測の高度化：現場データを AI が分析・活用することで、将来的なリスク予測や未然防止策の高度化が期待できる。

3. 国内外の先行事例と動向

(1) 国内の動向

(a) AI 支援機能による安全対策への取り組み例

筆者の所属するスパイダープラス㈱では、建設 DX サービス「SPIDERPLUS」において、2023 年より ChatGPT（生成 AI）を活用した AI 支援機能の提供

を開始している（スパイダープラス，2023）。この AI 支援機能は、現場監督が日々の作業内容を入力すると、その日に注意すべき安全対策を生成 AI が提案する仕組みである。

従来、危険予知活動（KY 活動）は作業者の経験や知見に依存しやすく、品質のばらつきや形骸化が課題となっていた。AI 支援機能の導入により、現場監督は日々の作業内容からその日に注意すべき安全対策の提案を得ることができ、作業者は AI からの提案を参考にした安全対策を実行できる。これにより、建設現場の事故防止や安全意識のさらなる向上が期待されている。

また、ChatGPT への質問を適切に行うためのテンプレートを定義できる仕組みも導入されている。作業内容を質問フォームに入力し、あらかじめ定義したテンプレートと組み合わせることで、AI による安全対策の提案が表示される。これにより、個人の経験や知見に品質が依存してしまうことや、取り組みの形骸化を防ぎ、日々の安全対策を安定した品質で行うことが可能となる。

(b) その他の国内動向

他にも、大手ゼネコンが BIM データや現場帳票と連携した AI チャットボットの開発・実証を進めている。これらの取り組みでは、現場で発生した安全上の疑問やリスク要因について、AI が過去の事例や社内規定をもとに即時回答することで、現場の安全管理レベルの底上げを図っている。

また、国土交通省も「建設現場の ICT 活用実態調査報告書」（2023 年）において、AI・データ活用による安全管理の高度化を今後の重点施策の一つとして位置付けている。現場での AI 活用事例の収集や、標準化ガイドラインの策定も進められており、今後は中小建設会社への普及拡大も期待される。

(c) 現場の声と導入効果

実際に AI 支援機能を導入した現場からは、「毎日の KY 活動が簡便になり、抜け漏れが減った」「若手作業員でもベテランと同等レベルの安全対策が立てられるようになった」といった肯定的な意見が多く寄せられている。一方で、「AI の提案が現場の実情と合わない場合がある」「操作に慣れるまで時間がかかった」といった課題も指摘されており、現場フィードバックを反映した継続的な改善が求められている。

(2) 海外の動向

(a) Skanska の AI 活用

米国の大手建設会社 Skanska は、現場安全を即時

に支援する AI「Safety Sidekick」を米国内で展開することを 2025 年 4 月に発表している。自社 EHS マニュアル、OSHA 基準等を統合し、モバイル/PC で文脈に応じた安全ガイダンスやタスク別ベストプラクティス、分類・記録支援、PDCA 全段階のサポートを提供。社内生成 AI 群「Expert Sidekicks」の一つとして、データ活用で安全と運用一貫性を強化。全国展開とトレーニングを実施中である。

作業内容に応じたリアルタイムの安全リソースとベストプラクティスを提示し、現場状況に応じた OSHA/Skanska 規程準拠の文脈認識ガイダンスを行うこと、Safety Classification Learning Model による安全分類・記録支援、シナリオベースの方針適用支援、PDCA 全工程を通じた安全活動のアシストがその主な内訳である。

同社の生成 AI システムの一つとして展開し、固有の知見を反映させ、データ活用と業務標準化/一貫性の強化を目指す (Skanska, 2025)。

(b) Turner Construction の AI 活用

米国 Turner Construction は、AI を中核に据え、遅延を平均 25 ~ 30% 削減し、年間 5,000 万ドル超のコスト削減を実現したと報告している。現在も AI で問題を未然に予測・回避し、資源配分を最適化する運用を継続しており、同社は従来の「経験依存・事後対応型」から「予測・予防型」へと運営様式を転換したと位置づけている。安全・品質面では、コンピュータビジョンによるリアルタイム監視を常時運用し、PPE (個人用保護具) 未着用や危険行動を自動検知して即時是正する体制を構築し、運用中である。

ドローンや地上ロボットによる非接触点検を標準化し、高所・狭所での作業員のリスクを低減しつつ、点検時間を大幅に短縮している。

また、計画段階で天候・労務供給・規制要件等を織り込む予測型リスク評価を組み込む運用を継続し、着手前から危険度を体系的に低減させている。

画像解析による自動検査で品質不良を初期段階で検出するなど、手戻りの削減がコスト圧縮にも寄与している。

(c) 欧州における AI 活用の意義

フランスの Bouygues Construction では AI 活用は「建設現場の安全・品質を可視化し、先手介入を可能にすることで事前保証の底上げをするもの」と位置づけている。

同社 R&D ディレクターの Thiebault Clément 氏は実例として、地下駅土留壁の設計最適化で鉄筋約 140 トンを削減しつつ性能を担保した事例が挙げられてお

り、過剰配筋リスクの低減が施工性と出来形の安定にもつながったこと、また、駐車場計画においても AI が配置と階数の最適解を提示し、構造・施工のシンプル化を通じて品質ばらつきと安全リスクの抑制に資するとしている。

総じて AI は広域データの網羅探索と異常検知に強みを持ち、人の現場判断と組み合わせることで、誤検知や過剰介入を抑えつつ実効的な安全・品質マネジメントを実現するものであり高品質で十分量のデータ整備 (何を、どう取得・更新・保管するか基準化) と、R&D による実証で適用領域と限界を見極め、現場オペレーションへ順応展開することが成功の鍵としている。

(d) 海外動向の小括

先述の米国 2 事例を通じた、AI 活用の意義は、現場データと社内規程・外部基準を統合して文脈認識の安全・品質ガイダンスと予測型の計画・最適化を実運用に落とし込み、リアルタイム監視や自動検査・記録支援・PDCA の継続改善を通じて、手戻りや遅延・事故を大幅に抑制しつつコストを恒常的に削減する運営様式への転換を実現することに価値がある。

また、欧州での先行事例においても「安全の先読み」「品質の事前保証」「環境とコストの同時最適化」を加速することに AI 活用の価値があると言える。

国際的には、ISO 45001 (労働安全衛生マネジメントシステム) や ISO 19650 (BIM の情報マネジメント) などの標準規格に基づき、AI・データ活用による安全管理の高度化が推進されている。

欧米の大手建設会社は、これらの国際規格を踏まえた AI 活用の枠組みを構築し、グローバルプロジェクトでの安全品質向上を実現している。

4. 技術的課題と運用上の留意点

(1) 情報セキュリティとプライバシー保護

生成 AI の現場適用においては、現場で扱う情報の機密性が高いため、データのプライバシー保護やセキュリティ対策が不可欠である (IPA, 2022)。設計図面や工程表、事故報告書などの機微な情報が外部に漏洩した場合、企業の信用失墜や法的リスクにつながる可能性がある。特にクラウド型 AI サービスを利用する場合、データの保存先や通信経路の暗号化、アクセス権限管理など、厳格なセキュリティ対策が求められる。

(2) 出力内容の正確性と信頼性

生成 AI が出力する安全対策案の正確性や信頼性の

担保も重要な課題である。AIは膨大なデータから学習しているが、専門的な建設用語や現場固有の事情、最新の法規制などには対応しきれない場合がある（OpenAI, 2023）。AIの提案が現場の実情と合わない場合や、誤ったアドバイスが現場作業に影響を及ぼすリスクも無視できない。そのため、AIの出力結果を鵜呑みにせず、必ず人間による最終確認を行う運用ルールが必要である。

(3) 通信インフラと現場環境への適合

現場によっては通信インフラが不十分な場合もあり、AIサービスの一部機能を端末側でオフライン処理できるようにする、あるいはエッジAI技術を活用するなど、現場の実情に即したシステム設計が求められる（国土交通省, 2023）。都市部の大型現場ではWi-Fiや4G/5G回線が整備されていることが多いが、地方や山間部、地下工事などでは通信環境が不安定な場合も少なくない。

(4) 現場従事者の受容性と教育

AIの導入にあたっては現場従事者のITリテラシーや受容性も大きな要素となる。新しいツールやシステムの導入時には、操作方法の習得や既存業務フローとの調整が必要となり、一時的に現場の負担が増加することもある。このため、導入初期には現場向けの研修やマニュアル整備、サポート体制の構築が不可欠であり、現場の声を反映した段階的な運用が推奨されている。

(5) 法制度・ガイドラインとの整合

AI活用に関する法制度や業界ガイドラインとの整合も重要である。日本国内では、国土交通省やIPA（情報処理推進機構）がAIシステムのセキュリティ対策やデータ利活用に関するガイドラインを公表しており、これらを遵守した運用が求められる。欧米でもGDPR（一般データ保護規則）や各国の労働安全衛生法令に基づくAI活用の枠組みが整備されつつある。

5. 今後の展望と課題

(1) データ活用の高度化とAIの進化

今後は、現場で蓄積される多様なデータ（作業記録、センサーデータ、画像・動画、ヒヤリハット報告など）をAIが統合的に分析し、より高度なリスク予測や未然防止策の提案が可能になると期待される。BIMやIoTとの連携も進み、リアルタイムでの安全モニタリ

ングや、現場状況に応じた動的な安全対策の自動提案が実現するだろう。

また、生成AI自体も進化を続けており、今後は現場ごとのカスタマイズ性や多言語対応、音声入力・出力への対応など、現場ニーズに即した機能拡張が進むと考えられる。

(2) 中小建設会社への普及と産業界全体の底上げ

現時点では、大手ゼネコンや先進的な企業での導入が中心だが、今後は中小建設会社への普及拡大が重要な課題となる。AI活用のノウハウや成功事例の共有、業界横断的な標準化ガイドラインの策定など、産業界全体での知見共有と底上げが求められる。

(3) 人とAIの協働による安全文化の醸成

AIはあくまで現場の意思決定や安全管理を支援するツールであり、最終的な判断や責任は人間が担うべきである。人とAIが協働し、現場の知恵や経験を活かしつつ、AIの知識や分析力を最大限に活用することで、より高次元の安全文化を醸成していくことが重要である。

6. おわりに

建設現場の安全品質向上を目的とした生成AIの活用は、事故防止や安全意識の標準化、現場の知識継承に寄与する可能性が高い。国内外の先進事例では、AIが現場の安全管理を支援し、現場ごとのリスク要因や作業内容に応じた具体的な対策案を自動提案する仕組みが実現しつつある。一方で、情報セキュリティや現場適合性、運用ルールの整備、現場従事者の受容性など、解決すべき課題も多い。

今後は、現場のフィードバックを反映した段階的な導入と、産業界全体での知見共有、法制度やガイドラインとの整合を図りつつ、人とAIの協働による安全文化の醸成を目指すことが重要である。生成AIの進化とともに、建設現場の安全品質向上に向けた新たな可能性が広がっていくことが期待される。

JICMA

《参考文献》

- 1) OpenAI. (2023). GPT-4 Technical Report. https://cdn.openai.com/papers/GPT-4_Technical_Report.pdf
- 2) スパイダープラス(株). (2023). スパイダープラス、建設現場の安全品質向上に ChatGPT を組み込み. <https://spiderplus.co.jp/news/news-release/7939/>
- 3) Skanska. (2025). Skanska launches "Safety Sidekick" AI tool to advance job site safety across the U.S. <https://www.usa.skanska.com/who-we-are/media/press-releases/298531/Skanska-launches->

Safety-Sidekick-AI-tool-to-advance-job-site-safety-across-the-US

- 4) Chief AI Officer.com. (2025). How Turner Construction Cut Project Delays By 30% Using AI.
<https://www.chiefaiofficer.com/post/how-turner-construction-cut-project-delays-30-percent-ai>
- 5) BOUYGUES CONSTRUCTION The Blog "What added value does AI bring to the construction, real estate and urban planning industries?"
<https://www.bouygues-construction.com/blog/en/ia-construction-immobilier-urbanisme/>
- 6) IPA (情報処理推進機構). (2023). AI のためのセキュリティ, セーフティ.
<https://www.ipa.go.jp/digital/ai/security.html>

- 7) 国土交通省. (2025). インフラの事故対策に活用する生成 AI の技術開発実証.
https://www8.cao.go.jp/cstp/bridge/keikaku/r6-h07_bridge_r6.pdf

【筆者紹介】

佐々木 暁子 (ささき あきこ)
 スパイダープラス(株)
 コーポレートブランディング部
 広報チーム



動画と静止画によるハイブリッド遠隔 コミュニケーションシステム 山岳トンネル工事における切羽遠隔臨場の実証

有 田 真 一・山 田 大 樹

近年、建設現場では遠隔臨場による品質・出来形管理の効率化が進められているが、山岳トンネル坑内など高速で安定した通信環境の構築が困難な現場において、動画による遠隔臨場では、動画伝送に起因する画質低下や遅延などの課題があった。そこで、現場の通信状況に応じて動画と高解像度静止画を組み合わせ、限られた帯域でも詳細かつ円滑な情報共有を可能とするハイブリッド遠隔コミュニケーションシステムを開発した。本稿では、システムの概要と特長、山岳トンネル切羽での遠隔臨場における現場実証結果を報告する。

キーワード：遠隔臨場，DX，出来形管理，切羽，岩判定，カメラシステム，動画配信

1. はじめに

山岳トンネル工事では、受発注者の立会のもと、施工中にトンネル切羽の地質状況を確認・評価し、適切な施工方法や支保パターンを決定する必要がある。しかし、刻々と変化する施工や切羽の状況に合わせて関係者の立会時間の調整に手間がかかる。近年、建設現場では品質や出来形管理の立会において、動画を主体とした遠隔臨場による効率化が進められているが、多くの山岳トンネル坑内では高速かつ安定した通信環境の構築が難しく、切羽の地質状況を詳細に把握できる高解像度な動画のリアルタイム共有が実現できていなかった。そのため、限られたネットワーク帯域下でも現場と遠隔地が円滑に情報を共有し、現場の詳細な状態を把握できる遠隔臨場技術の開発が求められてきた。

このような背景から、現場の通信環境に応じて伝送可能な画質の動画と、細部の状況確認が可能な高解像度静止画を組み合わせることで、建設現場のネットワーク環境が良好でない場合においても、現場と遠隔地間で円滑かつ詳細な状態確認を可能とする「動画と静止画によるハイブリッド遠隔コミュニケーションシステム」を開発した。

2. 開発システムの概要と特長

(1) システムの概要

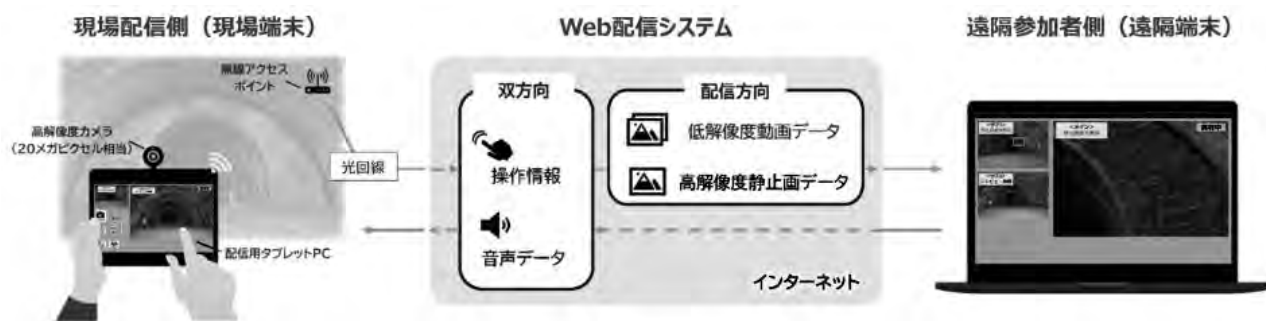
本システムは、動画と静止画の2つの確認手段を組み合わせることで、画質劣化や通信環境の影響を低減

した遠隔コミュニケーションを実現するものである。現場全体の状況把握には、現場の通信環境に応じて伝送可能な画質で配信される動画を用い、切羽の詳細な状態確認には高解像度な静止画を活用する。静止画は静止画ファイル（JPEG）として遠隔地と共有されるため、通信による画質低下の影響を受けず、高画質な画像で細部の状態を確認できる。また、静止画には視認性を高める画像処理を施し、トンネル坑内など照度の低い環境でも細かな凹凸や割れ目が鮮明に判別できるよう工夫している。

(2) システムの構成

システムの構成を図1に示す。現場配信側では、現場説明員がタブレットPCと高解像度カメラで構成された現場端末を用いて、撮影や表示操作を行う。撮影した動画はクラウドサーバー上のWeb配信システムにより、リアルタイムで配信され、現場説明員の操作により必要に応じて高解像度静止画を撮影し、動画配信と並行して静止画データが遠隔参加者側の遠隔端末に共有される。動画と高解像度静止画の撮影は1台の高解像度カメラを制御し、低解像度の動画配信中に静止画撮影操作を行うことで瞬時に高解像度静止画を取得し、動画データの伝送と同時に静止画データを送信する仕組みとなっている。

遠隔地の発注者等の参加者は、専用のソフトウェアを必要とせず、PCやタブレット等の端末からWebブラウザを利用して配信システムにアクセスでき、複数人が同時に閲覧することができる。さらに、現場端末



図—1 システム構成

と各遠隔端末間では、動画・静止画の共有に加え、画面操作情報や相互のポインタ位置の共有、双方向の音声通話も可能となっており、円滑なコミュニケーションを実現している。

(3) 動画と静止画の送信制御

トンネル坑内の無線LAN環境では、壁面反射による電波干渉等で通信速度が大きく変動する場合がある。特に切羽前周辺では通信機器の設置が難しく、切羽から離れた場所に設置したアクセスポイントに接続することが多く、通信への影響が生じやすい。本システムでは、このような通信環境が変動しやすいことを考慮し、以下のような撮影データの伝送制御を行っている。

- ・動画ストリーミング配信では、現場端末と配信サーバー間の通信状況を常時監視し、通信帯域に収まるデータ容量となるよう動画の画質を自動調整して伝送する。
- ・静止画ファイルの送信では、配信サーバーへの送信状況を監視し、通信の影響等で正常送信できなかった場合は自動で再送信を行う。また、サーバー側でファイルの破損を検出した場合は再送信を要求する。

(4) 表示画面構成

本システムの表示画面は、現場端末および遠隔端末の双方において、メインウィンドウとサブウィンドウを備え、動画と静止画の両方を表示できる構成となっており、2種類の撮影データを用いて現場状況を確認することができる。動画モードでは、メインウィンドウにリアルタイム配信された動画データを表示し、現場の状況把握に活用する。静止画モードでは、高解像度静止画をメインウィンドウに表示し、切羽の詳細な状態確認や評価に用いることができる。現場端末のボタン操作で動画モードと静止画モードの切り替えが可能で、現場端末の表示に応じて各遠隔端末の表示も連動するため、現場配信側と遠隔参加者側の双方で同じ

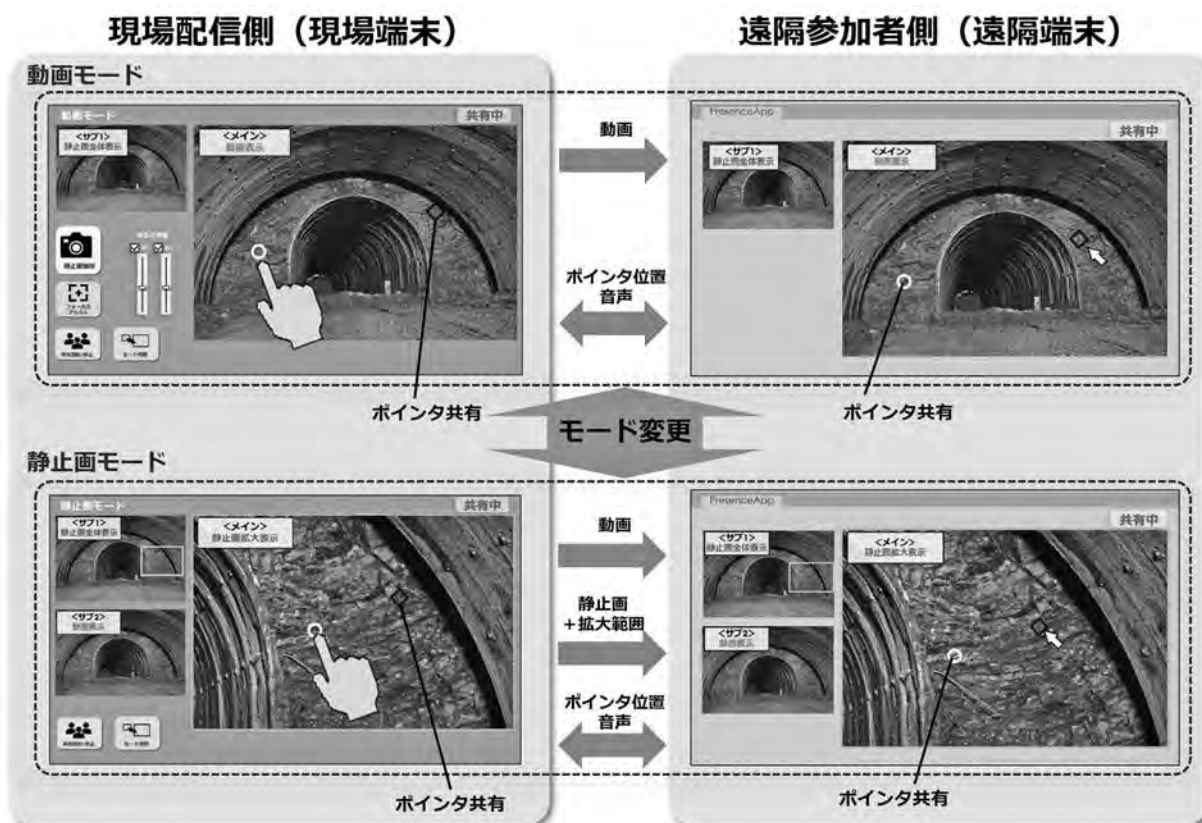
画面を見ながら確認できる（図—2 参照）。

(5) ユーザーインターフェースと操作性

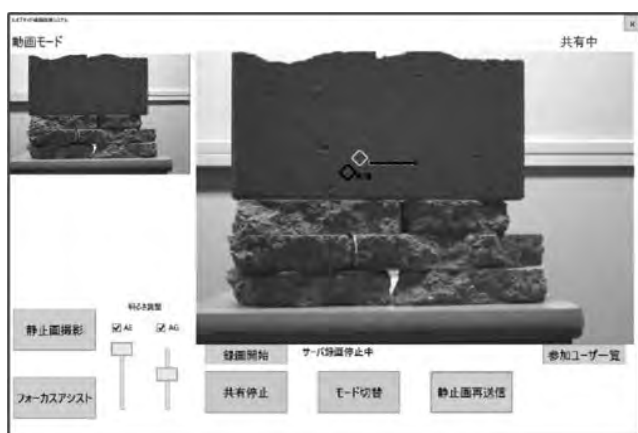
現場端末にはタブレットPCを採用し、タッチ操作による直感的なインターフェースを実装している。動画と静止画表示ウィンドウの下部には各種操作ボタンが配置されており、撮影操作、遠隔端末とのデータ共有・非共有の切り替え、Web配信サーバーへの接続ユーザーの確認、遠隔臨場の録画など、多様な機能をワンタッチで実行できる。また、動画や静止画内の特定位置を指示できるポインタ表示機能を備えており、ポインタにはユーザー名が表示されるため、指示しているユーザーが一目で把握できる（図—3 参照）。

動画モードでは、動画配信中に静止画の撮影が可能であり、撮影後に静止画内容を確認した上で送信操作を行うことで、遠隔端末にも静止画が共有される。なお、現場端末で撮影した静止画を確認し、遠隔端末と共有されるまでの間は、遠隔端末側では動画モードの表示が維持されるため、遠隔参加者の作業確認を妨げない設計となっている。

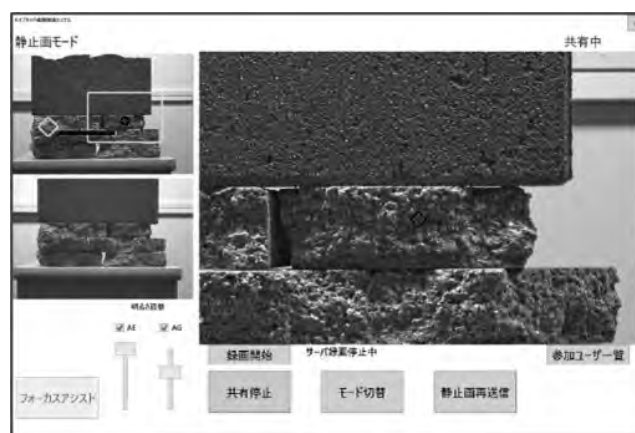
静止画モードでは、静止画の任意範囲を拡大表示できる機能を有している。メインウィンドウには拡大画像が、サブウィンドウには全体画像と拡大範囲枠が表示され、全体画像のうちどの範囲が拡大表示されているか把握しやすくしている（図—4 参照）。拡大表示範囲は現場端末の操作に連動し、リアルタイムで表示が切り替わる。この際、静止画データ自体は既に遠隔端末に共有されているため、最小限の操作情報のみで表示切り替えが実現できる。また、遠隔端末側でも任意範囲の拡大表示が可能であり、現場端末との表示連動を容易に切り替えることができる。静止画上のポインタは全体画像と拡大画像間で連動しており、拡大画像上で指示した位置は全体画像上にも表示される。さらに、拡大画像の範囲外を表示したい場合には、全体画像上でポインタを用いて指示することで、表示範囲を指示することもできる。



図一 2 現場端末と遠隔端末の画面遷移構成



図一 3 現場端末の表示画面例（動画モード）



図一 4 現場端末の表示画面例（静止画モード）

このように、本システムは遠隔臨場を効率的に推進できるよう、現場端末と遠隔端末における情報共有と操作性、視認性を高める工夫をしている。

(6) データ保存とダウンロード機能

遠隔臨場で撮影した静止画や、立会いの様子はサーバー上で音声付きの動画データや高解像度静止画データとして保存でき、後からダウンロードすることができる。遠隔臨場の内容を撮影データとともに記録するため、検査記録としての利用だけでなく、多様な地質評価の教材としても活用できる。地質評価には専門

的な経験が必要だが、過去の立会記録を参照することで、知見の蓄積や教育への応用が期待される。

3. 山岳トンネル工事における切羽の遠隔臨場の現場実証

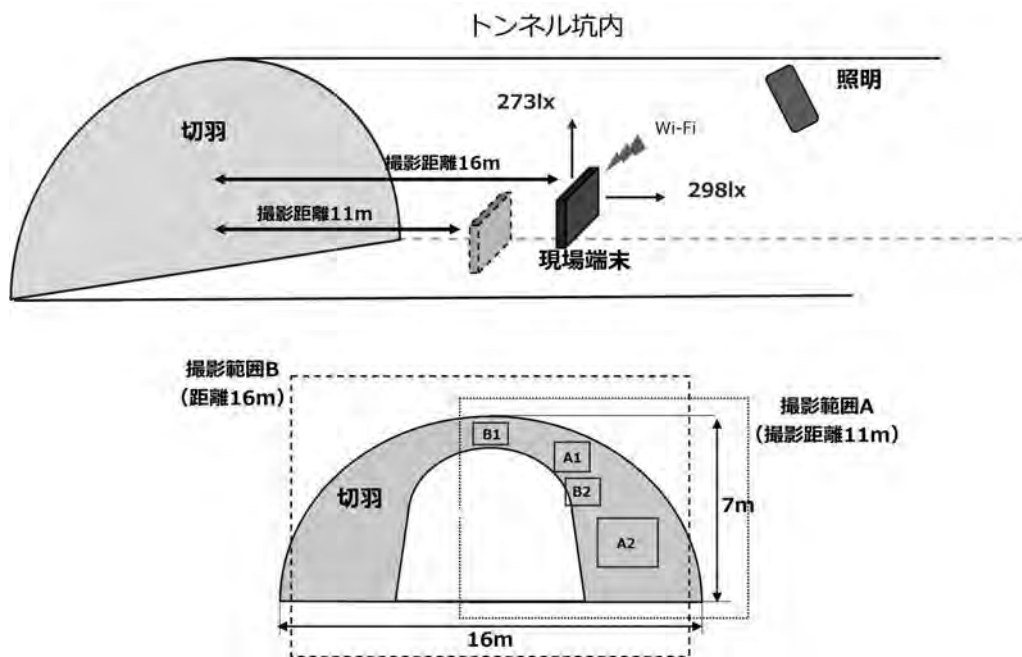
(1) 切羽撮影実験

本システムの現場実証は、滋賀県の新名神高速道路大津大石トンネル工事現場（山岳トンネル）で実施した。切羽は高さ約7m、幅約16m（インバート部除く）であり、日建連の安全対策指針では切羽天端から45°

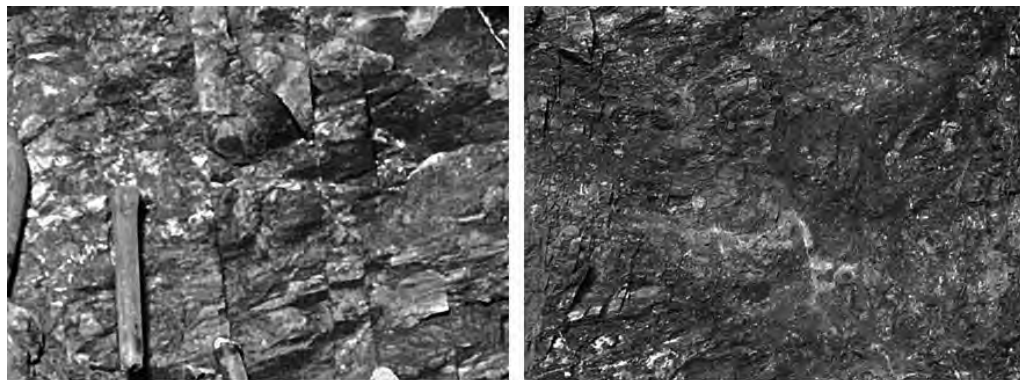
以内、すなわち切羽から7 m 以内は立入禁止区域と定められている。

切羽撮影実験では、立入禁止区域外から現場端末を用いて切羽を撮影し、そのデータをトンネル坑内の無線 LAN を介して Web 配信システムへ送信し、送信された撮影データを評価した。切羽前の撮影場所周辺の無線 LAN 環境は、電波強度や通信速度が変動しており、通信速度が低下する際には、1 Mbps を下回る場合もあった。切羽撮影実験の概要を図一5に示す。立入禁止範囲外の約11 m 地点から撮影した場合、切羽の約半分の範囲が撮影できた（撮影範囲 A）。切羽右肩部を撮影した静止画から領域 A1 と A2 を拡大した画像を図一6に示す。岩盤の凹凸や割れ目の方向など切羽の状態が鮮明に捉えられ、詳細な状態の把握が可能であった。さらに、撮影距離を約16 m まで延

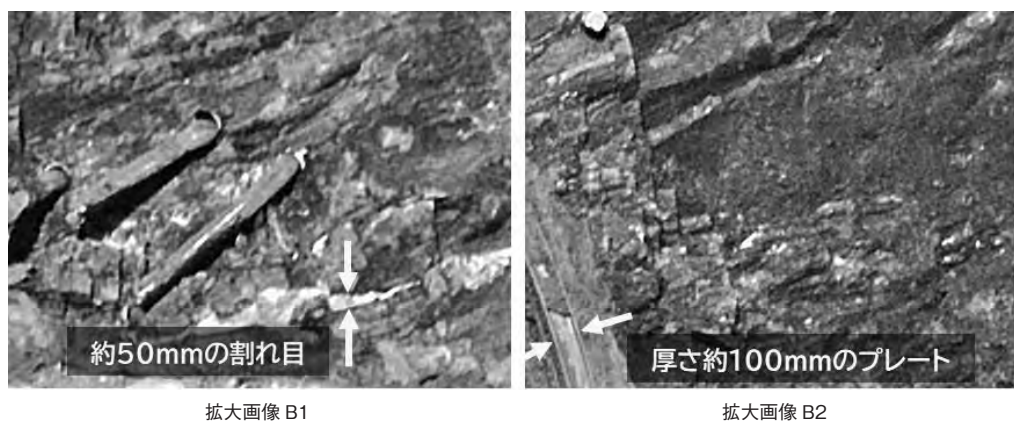
長し、切羽全体を画角内に収めた静止画を取得した（撮影範囲 B）。このとき、現場端末付近の照度は上向き273 lx、水平方向298 lxであった。図一7の拡大画像 B1 は、切羽の天端領域の拡大画像であり、画像から幅約50 mm の割れ目が確認できた。また、拡大画像 B2 は、切羽右肩部の領域の拡大画像であり、画像から厚さ100 mm のプレートが識別できた。切羽観察表の評価区分の一つである「割れ目の頻度」では、5 cm 間隔の割れ目の識別が求められるが、切羽全体を収めた画像においても5 cm 間隔の割れ目が明確に判別できた。トンネル坑内の照度下でも、視認性を向上させる画像処理を施した20メガピクセル相当の高解像度な静止画により、切羽の岩盤状態の詳細な観察や評価に必要な画質が確保されていることが確認できた。



図一5 切羽撮影実験概要



図一6 切羽撮影画像（撮影距離11 m）



拡大画像 B1

拡大画像 B2

図一 7 切羽撮影画像（撮影距離 16 m）



図一 8 遠隔臨場実証のようす（現場配信側）



図一 9 遠隔臨場実証のようす（遠隔参加者側）



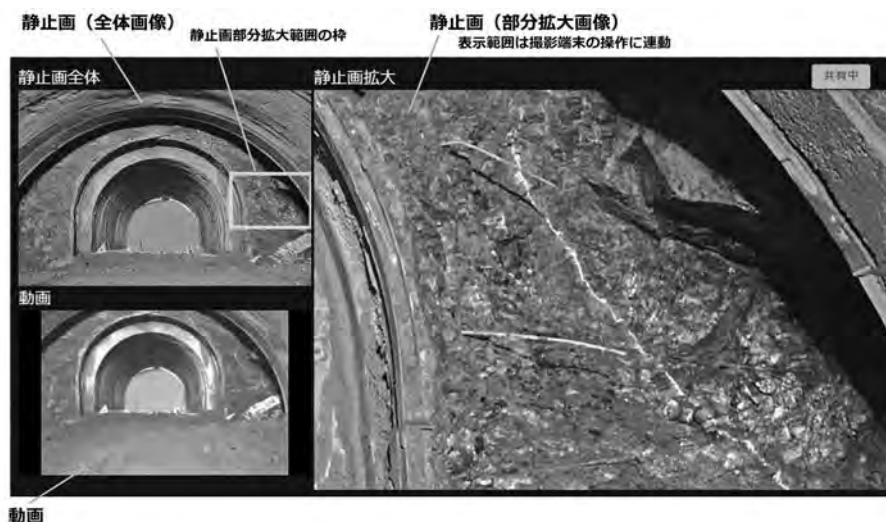
図一 10 遠隔端末画面（動画モード）〔開発中の画面〕

(2) 遠隔臨場の実証実験

遠隔臨場の実証実験では、西日本高速道路㈱の発注者立会のもと、実際の岩判定を模擬して行った。現場配信側では、立入禁止範囲よりも十分に離れ、切羽全体が収まるよう切羽面から 16 ～ 18 m 程度離れた位置から撮影を行った。

図一 8 には現場配信側、図一 9 には遠隔参加者側のようすを示す。図一 10 は遠隔端末の動画モード表

示画面で、メインウィンドウに動画、左上サブウィンドウに静止画が表示される。動画・静止画上で双方向のポインタ表示が可能で、説明位置の指示や撮影希望箇所の指定も容易である。図一 11 は遠隔端末の静止画モード表示画面で、左上サブウィンドウに静止画全体、メインウィンドウに拡大画像が表示される。現場端末のタッチパネル操作により任意範囲の拡大表示ができ、操作に応じてリアルタイムに拡大範囲が更新さ



図一 11 遠隔端末画面（静止画モード）〔開発中の画面〕

れる。高解像度静止画の共有により、切羽全体が収まるように撮影した場合にも拡大画像で細部の凹凸や割れ目などを詳細に確認できる。1回の撮影で広範囲な切羽面の確認が可能であり、拡大範囲を切り替えながら効率的に確認することができる。

(3) 現場実証の結果と効果

現場実証において、発注者から以下のような意見を得られ、本システムの有効性を確認した。

- ・静止画の画質は、岩判定に必要十分なものであった。
- ・実際の岩判定時も切羽面に近づくことは難しいため、画像が明るく肉眼より見やすかった。
- ・送風機や機械待機音が聞こえないため、説明の言葉もクリアに伝わった。

これらの結果から、本システムは山岳トンネル工事における切羽の遠隔臨場で、現場状況の詳細な把握と効率的なコミュニケーションに大きく寄与することが示された。また、切羽から離れた位置から1台の端末を用いて実施できるため、作業の安全性が確保できることも確認された。

本システムの岩判定への導入効果は、発注者・受注者で異なる。発注者には移動時間の削減、受注者には施工の待ち時間の削減が挙げられる。大津大石トンネルでは、発注者事務所と現場間の往復所要時間が1時間30分であり、切羽への移動や作業進捗による待ち時間（平均15分程度）も発生する。岩判定は合計65回実施されており、すべてを遠隔臨場で行えば発注者は移動や待ち時間にかかった約114時間を削減できる。特殊な岩層や崩落・抜け落ちなどの際は現地確認が必要であるため、すべての立会を本システムで代替

することはできないが、通常時は本システムを利用し、特殊な場合のみ現地立会を行うことで、入坑回数の低減、業務効率化および安全性の向上が期待できる。

4. おわりに

本稿では、現場の通信環境で伝送可能な画質の動画と、細部の状況確認が可能な高解像度静止画を用いることで、ネットワーク環境が良好でない場合においても、現場と遠隔地で円滑かつ詳細な状態確認を可能とする「動画と静止画によるハイブリッド遠隔コミュニケーションシステム」を紹介した。トンネル切羽の遠隔臨場実証において、本システムの有効性を確認できた。本システムは山岳トンネルにおける遠隔臨場の高度化に留まらず、限られた帯域で詳細確認が必要な遠隔臨場や点検、近接が困難な現場での確認、遠隔での安全パトロールなど、様々な遠隔コミュニケーションの高度化・効率化に寄与することが期待される。

J C M A

〔筆者紹介〕

有田 真一（ありた しんいち）

シャープ(株)

研究開発本部 ソサイエティイノベーション研究所

第三研究室

主任研究員



山田 大樹（やまだ たいき）

鹿島建設(株)

土木管理本部 土木技術部



ドリルジャンボを用いた湧水圧測定技術「T-DrillPacker[®]Jumbo」を開発 短尺ボーリングにより切羽前方の湧水圧を安全かつ容易に測定可能

平 塚 裕 介・藤田クラウドディア・熊 本 創・棚 島 秀 一

大量湧水の発生が懸念される山岳トンネル工事を安全・確実に施工するため、ドリルジャンボを用いて切羽前方の湧水圧を測定する技術「T-DrillPacker[®]Jumbo」（以下、本技術）を開発した。従来、施工中の切羽からドリルジャンボで施工した短尺ボーリングの湧水圧を測定するためには、切羽直下にてパッカーの設置などの長時間の人力作業が必要であり、安全性や労力に課題があった。本技術はドリルジャンボのガイドシェルを用いてパッカーの設置・回収、拡張などを行い、従来よりも安全かつ容易に湧水圧の測定を可能としたものである。本稿では、技術の概要ならびにトンネル工事での適用事例について報告する。

キーワード：山岳トンネル，ドリルジャンボ，短尺ボーリング，湧水圧，パッカー

1. はじめに

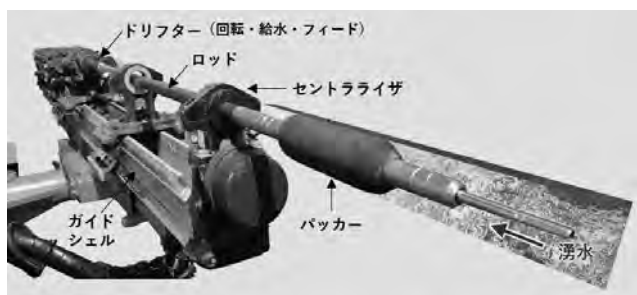
トンネル工事を困難にする大きな要因の一つとして湧水がある¹⁾。特に断層破碎帯や未固結地山等における突発的な高圧・大量の湧水は、施工性の低下や切羽の崩落^{2), 3)}などを引き起こし工事の安全性や工期・経済性の面で重大な問題となる⁴⁾。工事を安全・円滑に進めるため、事前に湧水発生個所の位置や、湧水量・湧水圧を把握し、適切な対策を計画することが重要である^{5), 6)}。切羽前方調査の一つとして、トンネル施工機械であるドリルジャンボで施工する数十m程度の短尺ボーリングがある⁷⁾。ボーリング孔の湧水圧を正確に測定するためには、パッカーを用いた調査が望ましいが^{8), 9)}、切羽直下にて1～2名の作業員がパッカーの設置から、拡張、回収まで全ての作業を人力で長時間行う必要があり、安全性や労力面の課題から、従来、実施が困難であった（図—1）。そこで、筆者らは短尺ボーリングの正確な湧水圧をドリルジャンボを用いて従来よりも安全・容易に測定できる技術を開発した¹⁰⁾。本稿では、技術

の概要ならびに大量・高圧湧水が懸念された山岳トンネルにて適用した事例について報告する。

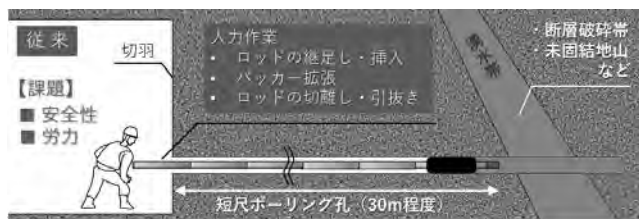
2. 本技術の概要

(1) 特徴

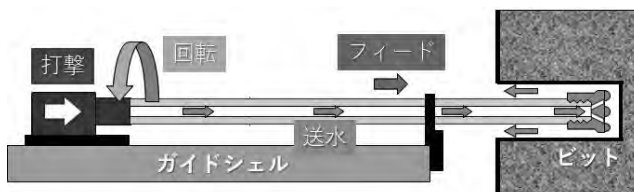
図—2に本技術の概要を示す。ドリルジャンボは、削孔用アーム（ガイドシェル）を用いて火薬の装薬やロックボルト設置のための孔などを削孔する¹¹⁾。図—3にガイドシェルの機能を示す。削孔は推力（フィード）でビットを岩盤に密着させ、同時に打撃力と回転



図—2 本技術の概要



図—1 従来の湧水圧測定方法



図—3 ガイドシェルの機能

力を与えて行う。また、削孔中の孔内の掘り屑（カッティングス）の排出やビット冷却のために送水も行われる¹²⁾。本技術は、これらガイドシェルの「フィード」, 「回転」, 「送水」機構を活用してパッカーの設置・回収と拡張を機械で行う。これにより、湧水圧の測定に際し、切羽直下での人力作業が大幅に軽減され、安全性が向上する。

(2) 測定手順

以下に測定手順を図—4 とともに示す。

①パッカー挿入

先端にパッカーを取り付けたロッドを、フィード機構を用いてボーリング孔へ挿入する（図—4 a）。1 本目のロッド挿入後、ドリフターを後退させて次のロッドをセットし、ネジで接続して前方に送り込む（図—4 b）。ネジの接続・切り離しは、図—5 に示す油圧セントライザでロッドを把持しながらドリフターを回

転させて行う。

②測定ユニットの取付け

最後に接続したロッドの後端に、後述する「測定ユニット」を接続する（図—4 c）。

③パッカー拡張、湧水圧測定

測定ユニットに圧力計やバルブ類を取り付けた後、ドリフターからパッカーへ送水加圧し、パッカーを拡張する（図—4 d）。その後、測定ユニットに取り付けたバルブを閉塞し、測定区間の湧水圧を計測する。

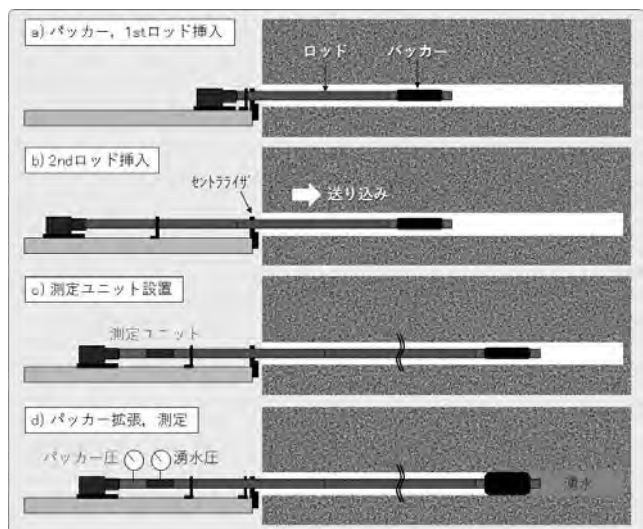
④パッカー収縮・回収

パッカー圧測定器に取り付けたバルブを開放し、パッカー圧ラインの水を排水し、パッカーを収縮する。バルブや圧力計、測定ユニットを取り外した後、①と逆の手順でロッド、パッカーを順次回収する。

(3) 装置の構成

(a) 測定ユニット

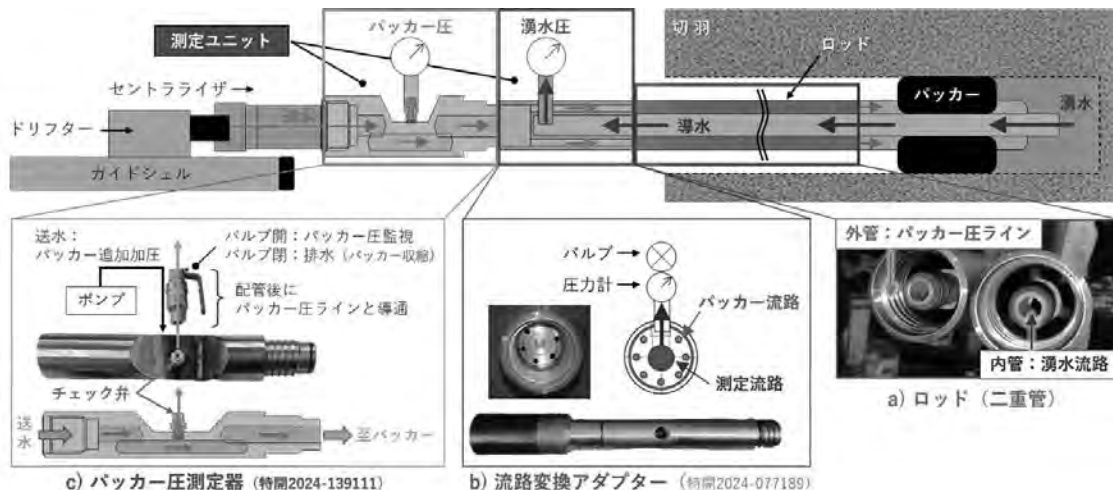
図—6 に測定ユニットの概要を示す。ロッドはパッカーを膨らますためのパッカー圧ライン（外管）と、測定区間の湧水を圧力計まで導水する測定流路（内管）



図—4 測定手順



図—5 油圧セントライザ



図—6 測定ユニット

から構成される二重管構造になっている（図—6 a）。

ドリフターから供給された水は、流路変換アダプタ（図—6 b）を通じて、パッカー圧ラインに分配される。パッカー拡張後の測定区間の湧水は、測定流路（内管）を通り、流路変換アダプタ内の複数ある小孔のパッカー圧ラインの間を縫うようにして圧力計まで導水され、これら2つの流路が干渉することなく湧水圧を測定できる。

湧水圧を長期間モニタリングする際は、パッカー圧を監視し、低下が見られる場合は再加圧する必要がある。図—6 c に示すパッカー圧測定器は、パッカー拡張後に計器類を接続することでパッカー圧ラインと導通するチェック弁構造となっており、パッカー圧の監視や再加圧を可能としたものである。

（b）セントラライザ

通常のスセントラライザは削孔ロッドの外形に合わせて把持部（ブッシュ）の形状は六角形である。パッカーロッドは円形であるため、図—7 に示す専用のブッシュを開発した。これは、円形の把持部にロッド表面にくい込む歯が施されており、パッカーロッドを供回りなく確実に把持することができる。

油圧スセントラライザが搭載されていないドリルジャンボでは、ロッドの把持が不可能である。そこで、ガイドシェルに着脱が容易な「水圧式スセントラライザ」を新たに開発した（図—8）¹⁴⁾。本装置は、シリンダーとヒンジ構造を備えており、シリンダー下部の配管から給水すればピストンが上方に移動し、スセントラライザが開放され、上部の配管から給水すれば、スセントラ

ライザを閉じられる。本スセントラライザは油圧源の増設なく容易に導入可能であり、手押しポンプ操作のみで作業員が容易に取扱い可能である。また、配管を長くすれば切羽から離れた位置で安全に開閉することができる。

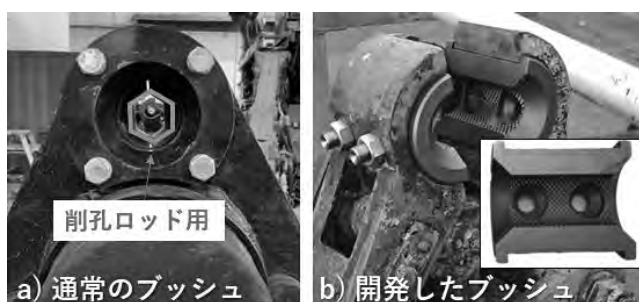
（c）ロッドのネジ形状

本技術は、ロッドの締め付けをドリルジャンボの強い回転力で行うため、ネジ部の破損などのトラブルを防止するには、ネジの形状が重要な要素となる。本技術では、二重管ロッドのネジ形状として削孔ロッドで実績のあるロープネジを採用した（図—9）。この滑らかなネジ形状とネジ部の先端のリード部より、機械によるロッドの継ぎ足しを円滑に行うことができる。

3. 現場適用

（1）試験概要

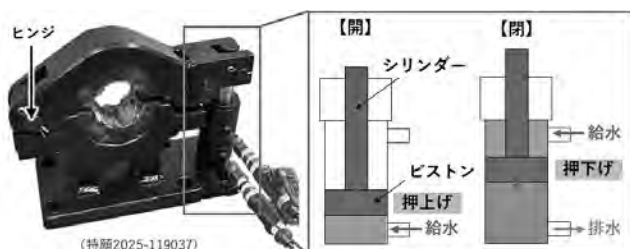
本技術を国内の道路トンネル工事にて実施した短尺ボーリングに適用した。本現場の地質縦断図を図—10 に示す。調査位置付近には硬質な砂岩層が広く分布し、直近の切羽は鋼製支保工を設けず施工され、湧水もなかった（写真—1 a）。しかし、既施工区間の実績では泥岩の介在に伴う破碎部から時折湧水が発生しており、今回の試験位置は、高土被り（320 m）で、想定地下水位が高いこともあり、多量湧水の発生が懸念されていた。そこで、前方の地質・湧水状況の調査を目的に実施した短尺ボーリング（長さ 21 m、孔径 64 mm）に本技術を適用した¹⁵⁾。



図—7 油圧スセントラライザの把持部（ブッシュ）



図—9 ロッドのネジ形状



図—8 水圧式スセントラライザ



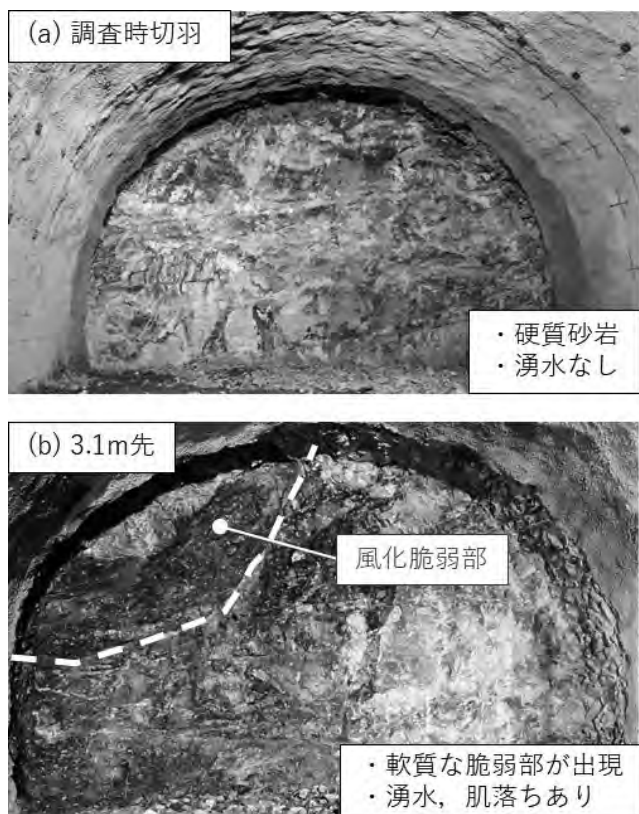
図—10 適用現場の地質縦断図

(2) 試験結果

図一 11 に短尺ボーリング削孔中に得られた穿孔速度や湧水量の測定結果を示す。削孔深度 10 m 以降で穿孔速度の増加および穿孔エネルギーの減少が見られ、地山の軟質化が認められた。削孔時に採取したスライム観察でも同深度付近で褐色風化を伴う岩片や断層岩粒子が見られ、岩質変化が確認された。また、削孔中に削孔ロッド (L=3.0 m) 1 本毎にボーリング口元で湧水量を測定した結果、削孔深度 12 m 以降で湧

水が発生し、削孔終了時点で 27 L/min の湧水が確認された。これらの結果より、現切羽の 10 m 前方での地山の脆弱化と湧水増加が懸念されたため、この区間を対象に本技術による湧水測定を実施した。

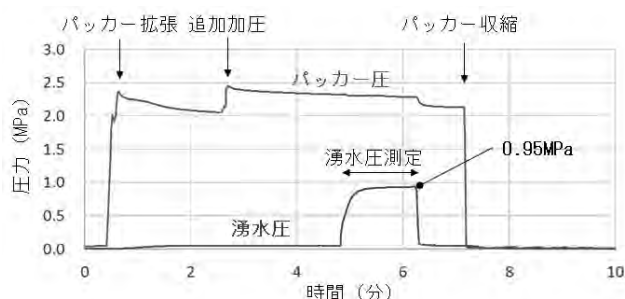
湧水圧の測定状況を写真一 2 に示す。湧水区間の手前にパッカーを設置した後、ボーリング口元から排水される湧水を目視で監視した結果、パッカー拡張後に湧水が止まったことから、パッカーが確実に拡張していると判断した。図一 12 に湧水圧ならびにパッカー圧の測定結果を示す。パッカー圧が 2 MPa 以上で維持できていることを確認した後、バルブを閉塞して湧



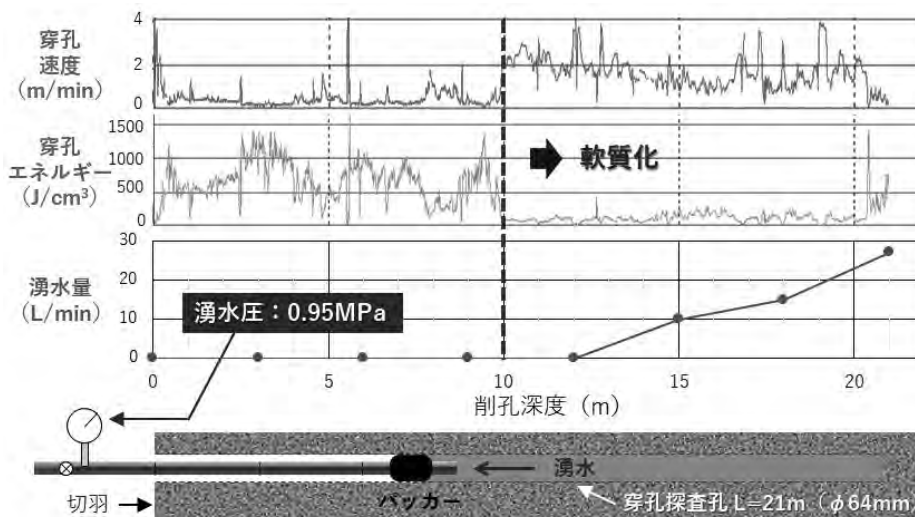
写真一 1 試験時ならびに試験後の切羽状況



写真一 2 湧水圧測定状況



図一 12 湧水圧測定結果



図一 11 短尺ボーリングの穿孔速度・エネルギー、湧水量

水圧の測定を開始した。その結果、0.95 MPa の高压湧水が観測された。

(3) 試験後の切羽状況

写真—1 b に試験後のトンネル施工における切羽状況を示す。切羽を 3.1 m 掘削した地点で風化を伴う脆弱部が左肩部に出現し、肌落ちと少量の湧水も発生した。この脆弱部の岩盤強度はドリルジャンボの削孔データから軟質と評価された¹⁶⁾。本技術で確認された高压湧水の存在も考慮し、この段階で支保パターンのランクアップ（鋼製支保工追加，上下半分掘削）と各種対策工の準備を行った。

その後、数 m 掘進した地点で脆弱部と肌落ちがさらに拡大し、切羽湧水量も増加した。そこで、先行して準備した対策工のうち、注入式フォアボーリングと水抜きボーリングを速やかに実施し、切羽の安定化をはかりながら掘削を進め、脆弱区間を安全に施工することができた。本技術により、切羽前方の湧水状況を事前に把握することで、早期に適切な対策工を準備・実施することができ、安全・円滑なトンネル掘削に貢献できることが示された。

4. おわりに

山岳トンネル工事の切羽から行われる短尺ボーリングの湧水圧を、ドリルジャンボを用いて安全・容易に測定する技術を開発した。本技術を、湧水が発生している短尺ボーリングに適用した結果、脆弱区間の湧水圧を測定することができた。本測定結果は、試験後のトンネル掘削時に確認された脆弱区間に対する早期の対策検討に繋がり、安全・確実なトンネル掘削に役立てられた。今後は、高压・大量湧水が予想される山岳トンネル工事で本技術を積極的に活用し、安全で効果的な湧水対策に役立てていく予定である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書 [共通編]・同解説／[山岳工法編]・同解説，pp.325, 2016.
- 2) 平野太一，奈良 聡，吉永浩二，大谷達彦，原島 大，山田宏道：スコリア地山におけるトンネル掘削時の湧水対策，土木学会第 78 回年次学術講演会，VI-287, 2023.
- 3) 佐藤 勉，久下 敦，狩野 亮：地すべりが懸念される坑口部と多量湧水区間を各種対策工を用いて掘削－河津下田道路 河津トンネル逆川地区－，トンネルと地下，第 53 巻，1 号，pp.19-30, 2022.

- 4) 土木学会：トンネル標準示方書 [共通編]・同解説／[山岳工法編]・同解説，pp.33, 2016.
- 5) 土木学会：山岳トンネルの補助工法－2009 年版－，トンネルライブラリー，第 20 号，pp.205, 2009.
- 6) 山岳トンネル先進ボーリング連載講座小委員会：山岳トンネル先進ボーリング入門 (4)－施工計画の基本および得られる情報と効果 (1)－，トンネルと地下，第 39 巻 12 号，pp.942, 2008.
- 7) 「地下水対策」連載口座小委員会：トンネルにおける地下水対策 (5)－山岳トンネルと地下水－，トンネルにおける地下水対策 (5)－山岳トンネルと地下水－，520 号，Vol.44, No.11, pp.63-74, 2013.
- 8) 村山秀幸，丹羽廣海，伊東佳彦，岡崎健治，山崎秀策：坑内水平ボーリング削孔中における湧水圧の測定方法について，土木学会第 71 回年次学術講演会，VI-393, pp.785-786, 2016.
- 9) Xialin Liu : Predicting tunnel groundwater inflow by geological investigation using horizontal directional drilling technology, Advances in Civil Engineering, Volume 2022, Article ID 6578331.
- 10) 藤田クラウドディア，平塚裕介，熊本 創：ドリルジャンボによる短尺ボーリングの湧水圧測定技術の開発，第 78 回年次学術講演会，VI-284, 2023.
- 11) 市来孝志，山上順民，坂井一雄，刀根航平：コンピュータジャンボの削孔データから換算した強度物性による地山評価の試み，土木学会第 79 回年次学術講演会，III-262, 2024.
- 12) 箱崎 武：ドリルジャンボの安全作業，社団法人日本建設機械化協会東北支部 支部だより，Vol.150, pp.18, 2007.
- 13) 羽柴公博，福井勝則，小泉匡弘：打撃式油圧さく岩機による穿孔過程，Journal of MMIJ, 133 巻 9 号，pp. 223-229, 2017.
- 14) 藤田クラウドディア，平塚裕介，熊本 創，安倍 徹：ドリルジャンボを用いた湧水圧測定技術 T-DrillPacker®Jumbo の適用性向上，土木学会第 80 回年次学術講演会，VI-1270, 2025.
- 15) 藤田クラウドディア，平塚裕介，熊本 創，安倍 徹：ドリルジャンボを用いた湧水圧測定技術 T-DrillPacker®Jumbo の現場実証試験，土木学会第 79 回年次学術講演会，VI-370, 2024.
- 16) 市来孝志，山上順民，坂井一雄，刀根航平：コンピュータジャンボの削孔データから換算した強度物性による地山評価の試み，土木学会第 79 回年次学術講演会，III-262, 2024.

〔筆者紹介〕

平塚 裕介 (ひらつか ゆうすけ)
大成建設(株)
技術センター
社会基盤技術研究部
地盤研究室 地下水チーム



藤田 クラウドディア (ふじた くらうでいあ)
大成建設(株)
技術センター
社会基盤技術研究部
地盤研究室 地下水チーム

熊本 創 (くまもと そう)
大成建設(株)
技術センター
社会基盤技術研究部
地盤研究室 地下水チーム

櫛島 秀一 (ぬでじま しゅういち)
古河ロックドリル(株)
営業本部特機部
営業課

クレーン作業による災害を未然に防止する 次世代運転システム（ORCISMTM）の取り組みと活用

永 嶋 充・佐 藤 圭 吾・仲 安 陸

建設業界では少子高齢化と労働力の減少が深刻化しており、生産性向上と安全性確保が喫緊の課題となっている。この状況を打開するため、現場の省人化や技能補完を可能にする次世代クレーン運転システム「ORCISM」（以下、次世代クレーン運転システム）を開発した。

次世代クレーン運転システムはデジタルツイン技術を核に、ガイダンス、コントロール、マネジメントの3機能を統合し、生産性向上と安全性向上を同時に実現するとともに、危険な作業を未然に防ぎ、省人化、技能補完が可能になる。さらに、単なる生産性や安全性だけでなく、作業員がより快適に働ける建設現場の環境構築にも貢献している。建設現場の未来を支える重要な開発技術である次世代クレーン運転システムについて、国内外での導入実績とともに紹介する。

キーワード：クレーン技術、デジタルツイン、自動化施工、運転支援、安全管理技術、技能補完、技能継承

1. はじめに

建設業の働く人の数は、2023年度時点でピーク時の1997年と比較して30%減少している。また、全体の約36%が56歳以上であるのに対し、29歳以下は約11%と、他業種と比較して高齢者の引退と若年者の不足により、業界全体の少子高齢化の進行が加速している。こうした労働力の減少は、工期の遅れをもたらす可能性がある。また、技能継承が上手くいかず、今まで起こらなかった操作ミスなどのヒューマンエラーの発生による災害が懸念される。こうした操作ミスは、一旦起きれば重大災害につながりかねない。このような背景から、生産性の向上、高齢者の作業の負担軽減を目的とした快適な環境の構築と、未熟練者に対する技能補完、安全性の確保が課題となっている。

このような建設業の課題に対して、国土交通省では2016年にi-Construction、2024年にi-Construction 2.0を策定している。i-Construction 2.0では、2040年度までに建設現場の省人化を少なくとも3割、すなわち生産性を1.5倍向上することを目指し、「施工のオートメーション化」、「データ連携のオートメーション化」、「施工管理のオートメーション化」を3本の柱として、建設現場で働く一人ひとりが生み出す価値を向上し、少ない人数で、安全に、快適な環境で生産性の高い建設現場の実現を目指して、建設現場のオートメーション化に取り組む方向性が示された¹⁾。

本稿では、このような課題を解決するために開発したクレーン作業による災害を未然に防止する次世代運転システムについて紹介する。

2. 次世代クレーン運転システムについて

次世代クレーン運転システムは、「危険作業ができないクレーン」を目指して開発したシステムである。

本システムは、クレーン作業を支援し安全性の向上を実現するクレーンマシンガイダンス、技能補完・省人化を実現するクレーンマシンコントロール、生産性向上とセキュリティの確保を実現するクレーンマシンマネジメントの3つの技術で構成されている（図—1）。これらは、単一で適用するよりも、組み合わせで適用することで、大きな効果が得られる。そのため、3つの技術をデジタルツイン上で統合し、管理・制御することで、現実空間で「危険な作業ができないクレーン」を実現することができる。

本システムでは、施工現場におけるヒト・モノ・コト情報を収集し、現場のあらゆる情報をデジタル化したうえで、現実空間と同期させたデジタルツインを活用している（図—2）。

デジタルツインの構築には、最新のセンシング技術を用いて、クレーンの位置や動作、吊荷の種類、姿勢など、クレーンとその周辺環境をデジタル空間に正確かつリアルタイムに再現する必要がある。本システム

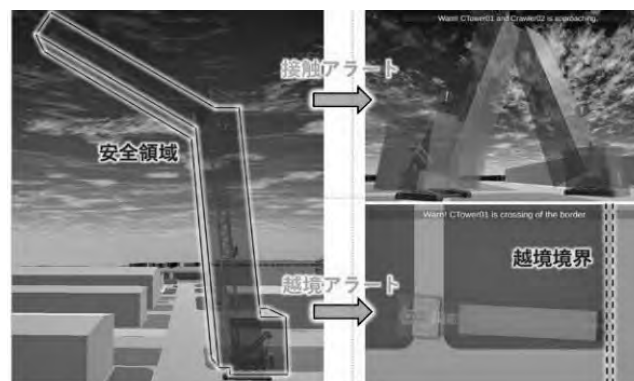


図ー1 次世代クレーン運転システム概念図



図ー2 デジタルツイン（現実空間（上）とデジタル空間（下））

では、高精度な各種センサと GNSS 測位情報に補正情報を加える技術（RTK 測位方式）を活用することにより、デジタルツインを構築する（図ー2）。これにより、計画から設計、施工計画・管理、完成後の維持管理を含めて、一気通貫で活用することができる。加えて、さまざまなアプリケーションを操作し、施工の安全や品質、生産性の管理まで多岐にわたる業務を効率化することができる。



図ー3 衝突・越境防止エリア設定

（1）クレーンマシンガイダンス

現実空間と同期するデジタル空間内では、クレーン同士や障害物との衝突防止や越境防止エリアの設定、目に見えない電波干渉防止区域の設定などもデジタルツイン上に可視化することが可能である（図ー3）。クレーンマシンガイダンスは、デジタル空間内でこれらのエリアの接触を検知してアラートを発することで、接触・衝突事故を防止する。また、デジタル空間上には位置情報を持った BIM などの 3D モデルも反映可能であり、指定部材をデジタル空間上で選択することで目的地までの操作指示値を表示することも可能である（図ー4）。これらの情報は汎用パソコンやタブレット端末で何処でも容易に確認し共有することができるため（遠隔可視化機能）、工事関係者がリアルタイムに現場の状況を把握することができ、迅速な意思決定や安全管理が可能となる。



図一4 作業半径・旋回指示値表示

(2) クレーンマシンコントロール

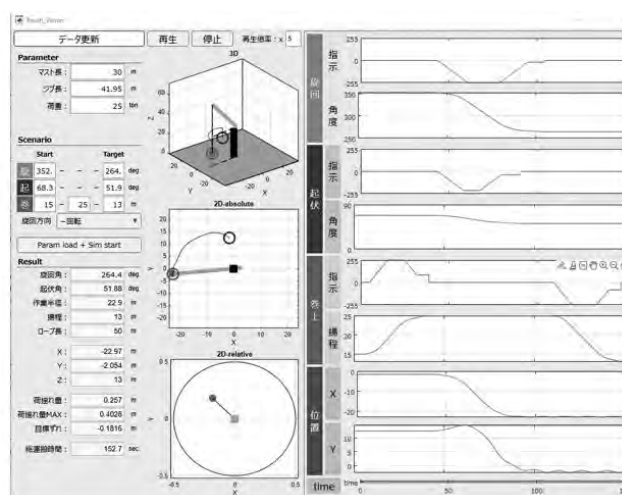
デジタルツインは、現実空間の情報をリアルタイムにデジタル空間に反映するだけでなく、デジタル空間上のクレーンモデルの動きを現実空間に反映させることも可能である。

クレーンマシンコントロールは、デジタル空間の情報を活用し、現実空間のクレーン動作に反映させることで、クレーン作業の操作補助・支援と省人化を実現する。

クレーンマシンコントロールでは、デジタルツイン上の任意点（指定部材）を選択することで、任意点間の自動運転が可能である。この自動運転では、機械の特性を踏まえたうえで、クレーンをモデル化し事前にシミュレーションしたデジタル空間上の動きを現実空間に反映させることで、吊り荷の振れ防止とクレーン動作を最適化することが可能である（図一5）。

これらの自動制御技術を応用し開発を進めることで、操作中に吊り荷の振れが生じた場合に自動で荷振れを小さくする制御が可能となる。加えて、デジタルツイン上でクレーンと周辺の障害物との接近を検知した場合に、接触しないように安全な減速停止制御を実現する。このように、この荷振れ防止と安全な減速停止技術は、自動運転だけでなく搭乗運転や遠隔運転にも適用することが可能であり、未熟者の操作技能を補完することで、安全性を向上させ、施工品質を維持することができる。

クレーンにフックを常に追従するカメラや3Dライダーを搭載することによる吊荷の方向・形状の把握、AI画像認識技術による人検知技術を組み合わせ、吊荷周辺の障害物を検知し吊り荷との接触を防止する。これらの技術は、自動運転の安全技術として利用できるだけでなく、搭乗運転や遠隔運転におけるオペレータへの技能補完として活用することも可能である。



図一5 クレーンモデルによる事前シミュレーション



図一6 クレーン稼働状況可視化例

(3) クレーンマシンマネジメント

クレーンマシンマネジメントは、稼働状況の可視化、自動点検及び故障予測、オペレータ認証機能、周辺環境のマッピング、施工計画のシミュレーションを有する技術である。

クレーンの稼働データをリアルタイムで取得し、可視化することが可能である。この機能により、クレーンの稼働状況を監視し、効率的な運用管理が可能となる（図一6）。また、熟練者の運転技術をデジタル化することにより、データを蓄積し分析することで、クレーンマシンコントロールの技能補完技術の向上につながる。

クレーンマシンマネジメントでは、自動運転技術を活用し、クレーンの日常点検を実施する自動点検機能がある。自動で点検を行うことで、オペレータは点検のためにクレーン運転席に行く必要がなくなる。また、同じ動作で定量的に点検を行うことで、従来の目視点検において生じていたオペレータの技量によるばらつきを防止できる。点検結果はデジタル上で承認・保管され、施工管理がデジタル化される。また、日常点検に加え、重要な点検項目に関しては常に状態監視

を実施している。定量的に行われた日常点検のデータを蓄積・分析することで、異常・故障を早期に検知する故障予測につなげる。

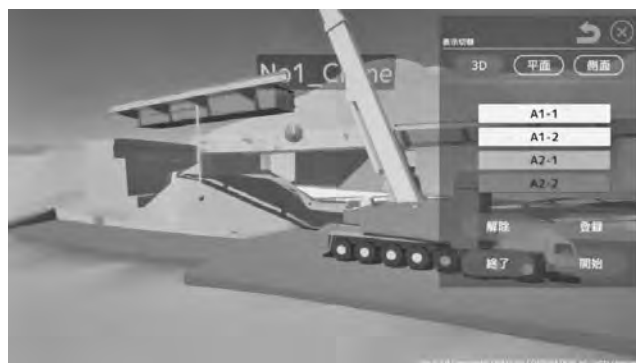
施工計画のシミュレーションは、デジタルツイン上で事前にクレーンの設置位置や軌跡を設定することで、施工計画上のクレーン動作をデジタルツイン上で再現する機能である。シミュレーションした軌跡はマーカーでデジタルツイン上に表示することが可能であり、自動運転のルート指定や遠隔・搭乗運転時の安全管理として使用することが可能である。また、クレーン能力による設置計画や出来高管理システムと連携することで、設置計画から事前シミュレーション、施工管理、出来高管理までが可能となり、技術者の煩雑な業務負荷を軽減し、安全や品質に関して創造的な課題解決に集中することができる。

3. 次世代クレーン運転システムの活用

(1) クレーンマシンガイダンス

これまでに、クレーンマシンガイダンスは63台の各種クレーンに導入されている。例えば、橋梁現場では下部工（アバット・ピア）および架設上部工のBIMによる施工データや、現場のクレーン、周辺環境をすべてデジタルツイン上でリアルタイムに再現し、オペレータへの補助と遠隔地からのクレーン作業監視を行った（図－7）。具体的には、吊荷の両端にGNSSを取り付け、吊荷の位置・方向を取得し、事前に計画した作業経路から閾値以上離れた場合にオペレータへ警告を出し、作業の安全性を確保した。この事前計画の際にはシミュレーションによって施工計画が行われ、安全かつ最適な架設計画の立案が可能となり、クレーン作業計画業務を4割短縮することができた。さらに、作業の様子をデジタル空間上でリアルタイムに反映し、シミュレーションによる架設計画を表示することで、遠隔地から現場作業の安全管理を行い、現場の越境防止監視員1人を削減し省人化を達成している。これにより、施工管理に加えて、施工計画から出来高管理まで3Dデータによるデジタルツインを用いて一気通貫で活用することができた。

そのほかにも、クレーンマシンガイダンスによってクレーン複数台のブームが干渉しないように監視することや、障害物との接近アラートを発報すること、さらにはAIカメラによるクレーン周辺や吊荷下の人検知など、多様なシチュエーションに対応した安全管理が可能となる。さらに、自動自律運転と組み合わせることで、さらなる生産性の向上が期待できる。



図－7 国交省発注の橋梁上部工架設現場

(2) カメラ追従による安全管理

次世代クレーン運転システムの安全管理技術の一つとして、カメラ追従機能がある。遠隔運転席や現場事務所から安全管理をする際、クレーンでの作業が常時カメラに映るようにPTZカメラを制御する。カメラはフックの位置情報やブーム先端の位置情報を基に制御される。さらに、クレーンマシンガイダンスで設定した越境防止ラインや障害物の位置情報とクレーンの位置情報が接近すると、カメラのズーム制御により危険な作業を明確に管理者に伝えることができ、安全性が向上する。本システムはすでに9現場で使用され、安全管理技術として普及を目指している。これにより、管理者の現場作業を省力化し、建設現場のリモート化・オフサイト化を推進している。

(3) 天井クレーンの自動化

山岳トンネル現場においては、バッチャープラントの荷揚げ作業を自動化した。バッチャープラントでは、吹付用生コンクリート材料である粗骨材・細骨材をプラント上部ホッパーへ天井クレーンを使用して荷揚げをし、計量後にミキサを用いて製造することが一般的である。このクレーン作業を自動化することにより、従来の方法に比べて1日3名の省人化を達成している。稼働実績は揚重回数累計2万回以上、運転時間は1,200時間以上に及ぶ。後付けのため、多くの既存天井クレーンに適用可能であり、現時点で14現場に



図—8 天井クレーン自動化

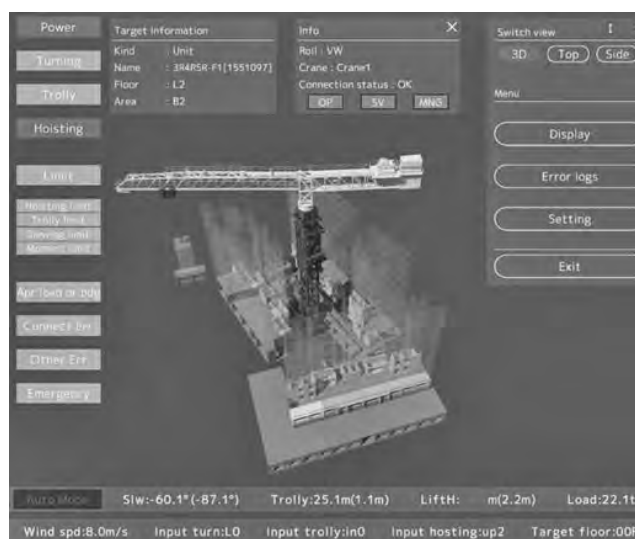
実装し、標準技術としての普及に向けて順次適用中である（図—8）。

（4）海外での活用事例

建築現場では、タワークレーンや移動式クレーンで次世代クレーン運転システムを活用している。シンガポールの現場では、各種センシング技術を用いてデジタルツインを構築し、デジタル空間上での安全管理、水平式タワークレーンの自動運転とスカイジャスター®（吊荷方向制御装置）の連携を行った。当時は、シンガポール国内において自動運転の安全ルールが定まっていなかった。そのため、関係省庁と議論を重ねて安全ルールを策定し、自動化施工の普及に貢献した。シンガポールでは広くユニット工法が用いられており、始点と終点の任意点間移動を自動運転で行い、スカイジャスターによりユニットを決められた方向に制御して積み上げていく工法で施工した（図—9）。ユニットには個別 ID が付与されており、BIM の設計データとの整合性を判断でき、施工後の品質管理（トレーサビリティの確保）も可能となる。また、スカイジャスターにより、吊荷の方向・位置のリアルタイム情報がデジタルツイン上に表示される。このように、現場のリアルタイム情報を活用し、自動化施工に活用した。また、自動運転は事前シミュレーションにより最適な経路や制御量を算出し、作業効率、準備作業も含めると搭乗運転と同等レベルでの施工を実現した。これにより、約 300 日で 462 ユニットを自動運転で施工した。さらに、施工中はデジタルツインを活用し、日本国内から現場への遠隔監視サポートを実施し、安全品質を確保した。このタワークレーン自動運転は、国内外含め 4 箇所における業務で適用されており、今後も積極的に導入を進めていく。

（5）自社での実運用

門型クレーンを自動化し、タワークレーンのマスト



図—9 シンガポール現場

を積み上げて保管する作業を行っている。専用の把持装置とスカイジャスターも同時に適用し、従来はクレーンオペレータと玉掛技能者が必要だったが、自動化により 1 人の管理者のみで行うことが可能となり、4 名の省人化を達成している。

また、タワークレーンによる作業は遠隔操作により行っている。敷地内に遠隔操作室を設けてオペレータがそこから 2 台のタワークレーンを切り替えながら作業することで、運転席までの移動時間を削減し、運転席まで梯子を登らなければならない多大な労働負荷を軽減した。2024 年度から定常作業の完全遠隔化を実現し、従来の搭乗運転と同等の作業効率を維持しながら、オペレータが快適に業務に従事できる環境を整備した。

遠隔操作ができるだけでなく、タワークレーンの自動点検も行っている（図—10）。自動点検はすでに 300 回（1 年分）の点検を実施しており、蓄積したデータは故障予測に活用される。自動点検により、遠隔操作オペレータは点検のためだけにクレーン運転席に行



図-10 自動点検

く必要がなくなり、完全な遠隔化を実現した。

4. 今後の取り組み

本稿では、クレーン作業による災害を未然に防止する次世代クレーン運転システムについて紹介した。デジタル空間を活用した技術により、現場従事者の負担軽減と労働環境の改善が期待される。また、熟練者の技能をデジタル化することで、未熟練者の技能を補完する制御を行い、次世代に継承することで、技術伝承と人材育成を促進し、品質を確保しつつ、クレーン作業による災害をなくし、安心・安全で持続可能な建設工事に貢献していく。

しかしながら、この目標を当社単独では早期に成し遂げることは困難であり、発注者、機械メーカー、レ

ンタル会社はもとより、スタートアップ企業など建設業界以外の力も借り、一体となって進める必要がある。これにより、自動化・自律化の開発が加速し、生産性のさらなる向上を通じて、持続可能な未来の実現につながると考えている。

J C M A

《参考文献》

- 1) i-Construction 2.0 ～建設現場のオートメーション化～, URL: <https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001738240.pdf>, 国土交通省

【筆者紹介】

永嶋 充 (ながしま みつる)
 ㈱大林組
 東日本ロボティクスセンター運営管理部
 メカトロニクス課
 担当課長



佐藤 圭吾 (さとう けいご)
 ㈱大林組
 東日本ロボティクスセンター運営管理部
 メカトロニクス課
 係長



仲安 陸 (なかやす りく)
 ㈱大林組
 本社ロボティクス生産本部
 技術開発部 実証実験計画課
 職員



VR で実際に起こったクレーン事故を体験できる 「リアルな操縦+危険体験」による効果的な VR トレーニング

瀬戸 豊

本稿では、小型移動式クレーンの安全教育を目的に開発された VR 訓練システムについて報告する。本システムは、実際のクレーン用操縦機器と VR システムを連動させ、過去に発生した実例をもとに構成された事故シナリオを体験できる点に特長がある（図—1）。従来の座学や映像視聴型訓練と異なり、操縦中に突如として事故が発生するリアリティによって、作業員の危険認識力と判断力を高めることができる。特に「自分の操作が原因で事故が起きる」という実感が、行動変容を促す要因となる。建設会社や鉄道関連事業者にとって、より実践的で定着率の高い安全教育手段として、本システムの活用可能性を提示する。

キーワード：小型移動式クレーン、VR 安全教育、危険体験シミュレーション、建設業の労働災害防止、リアル体験型トレーニング、感電体験機器

1. はじめに

(1) 背景と課題

(a) 建設現場におけるクレーン事故の実態

建設業界において、小型移動式クレーンは住宅地や狭隘地での作業を中心に広く使用されているが、その操作性の手軽さと引き換えに、重大な事故を招くリスクが常に存在している。特に、クレーンの転倒、荷の接触、感電などの事象は、わずかな操作ミスや確認不足に起因することが多く、事故事例の分析からは人的要因が共通の背景にあることが明らかとなっている。厚生労働省の労働災害統計によれば、クレーンに関連する死亡・重傷事故は依然として高水準にあり、安全対策のさらなる高度化が求められている。

(b) 現行の安全教育の限界

建設機械操作に関する現行の教育手法は、座学とビデオ教材、ならびに実機による基本操作訓練が中心で

ある。しかし、これらは「安全の知識」を伝達する手段としては有効である一方、あくまで「第三者としての学習」に留まりがちである。これでは、作業員の深層にある危機意識を喚起するには不十分である。自らの行動が事故の引き金となりうることを「体感」として理解することで、安全行動は初めて習慣として根付く。

(2) 技術の進展と新しい訓練の可能性

(a) VR 技術と XR デバイスの発展

近年、XR（VR/AR/MR）技術の進展は著しく、産業界においても教育・訓練分野での応用が急速に進んでいる。特に、没入感の高いヘッドマウントディスプレイ（HMD）の普及により、従来の「疑似体験」をはるかに超える「模擬実体験」が可能となっている（写真—1）。

(b) 教育分野への応用事例

航空、自動車、医療などの分野ではすでに、実機を



図—1 VR 内の小型移動式クレーン



写真—1 VR と専用デバイスを使用した訓練の様子

用いた訓練の補完あるいは代替としてVR訓練が導入されており、実際の作業に近い環境で、コストと安全性を両立した教育が進められている。建設分野においても、足場の組立訓練や感電事故再現などのVR事例が報告されており、今後ますますその重要性は高まると考えられる。

(c) 本システム開発の目的と着眼点

本稿で紹介する「小型移動式クレーンVR訓練システム」は、こうした背景を踏まえ、「リアルな操縦」と「突発的事故体験」を融合させることで、作業員に対して強い当事者意識を植え付け、実際の行動変容を促すことを目的として開発された。本システムでは、過去の具体的な事故を再現するシナリオをベースとし、VR内の事故と操縦体験を同期させることで、単なる「見て学ぶ」教育から、「体験して学ぶ」教育への転換を目指している。特に、自身の操作が原因となって事故が発生するというストーリー展開により、現実の現場での操作にも慎重さと注意力が反映されることが期待される。

2. システムの構成と訓練シナリオ

(1) システム構成の概要

(a) ラジコン型操作システムとVR連動の特徴

本VR訓練システムは、現場で実際に使用されているラジコン型クレーン操作機と、VRゴーグルを用いたVR映像とを同期させた構成を採用している。機材構成としては、ラジコンとVRゴーグルを接続するノートパソコン、までを含めて一式となる(写真-2)。

ユーザーは、実際のラジコンと同じ古河ユニックのジョイスティック式ラジコン、あるいはVR訓練用に開発した特製の選択スイッチ式ラジコンのいずれかを手に取り、VR空間内で小型移動式クレーンの操作を行う。ラジコンの操作は即座にVR内のクレーン挙動に反映され、荷の吊り上げ、旋回、ブームの伸縮など、実作業に即した挙動が再現される(写真-3、4)。

本訓練モードは、実機の操作感とVRによる没入体験の両立により、机上の学習では得難い臨場感をもたらす。特に「危険体験シナリオ」はすべて、このラジコン型操作機を用いたインタラクティブなVR体験として設計されており、訓練者は「操作ミスが直接事故に繋がる」という構造を通じて強い当事者意識を得る(写真-5)。

(b) クレーン操作の延長線上での事故演出

ラジコン型操作機からの入力リアルタイムでVR空間に反映され、ユーザーがブームを伸ばす、荷を吊る、旋回するなどの操作を行うと、VR内のクレーン



写真-2 機材構成



写真-3 古河ユニック製ラジコン



写真-4 VR専用選択スイッチ式ラジコン



写真-5 古河ユニック製ラジコンを使用したVR訓練の様子

も同様の挙動を取る。加えて、ワイヤーで吊るクレーン特有の「揺れ」を物理演算シミュレーションにより正確に再現している。VRのシナリオ内では事故につながるような「不適切な操作」—たとえばアウトリガーの未展開や定格荷重の超過—を実際に行うことによりVR空間内で事故が発生する体験として設計されている。



写真—6 古河ユニック佐倉工場での取材の様子

一般的な映像視聴型の危険体験とは一線を画すものであり、訓練者にとっては「自分の操作が事故を引き起こす」という直接的な責任感を伴った体験となる。

(c) 危険体験はラジコン操作機に限定

なお、本システムは別途、レバー操作によるクレーン操縦訓練も備えているが、危険体験シナリオに関しては一貫してラジコン操作型 VR 訓練に限定されている。これは、現場でのクレーン操作の 90% がラジコン型操作機によって行われているためである。

(d) クレーンメーカーによる監修

危険体験シナリオを作成するにあたっては、小型移動式クレーンのトップメーカーである古河ユニック㈱により、事故事例の再現、事故原因の分析、事故を回避するためのポイントなどについて専門的な立場からの監修を受けて開発している（写真—6）。

(2) 危険体験シナリオの設計思想

(a) 実際の事故を再構成したシナリオ設計

本システムでは、労働災害として報告されている過去の実例をもとに、危険体験のシナリオが構成されている。各シナリオでは、「危険を予見できなかった」「不注意な操作を行ってしまった」等、現実の事故で繰り返されるミスが忠実に再現されており、それを訓練者自身の操作によって体験するシナリオ構成となっている（図—2）。

(b) 自らのミスで事故が起きる「当事者体験」

たとえば、アウトリガーが十分に展開されていない状態で吊り上げや旋回を行いクレーンが転倒する。あるいは、上方に電線が通っている事を失念して操作を続け感電事故に遭う。こうした誤操作はすべて、訓練者自身のラジコン操作によって引き起こされる（写真—7）。

(c) 多様な作業シーンの再現

訓練シナリオは、建設現場、高圧電線下、工場敷地内での作業など、多様な現場を想定して設計されている。これにより、特定条件下における判断力や操作の



図—2 VR 内第三者目線での事故の振り返り



写真—7 VR 内クレーン転倒事故の本人目線の様子

注意点を、状況別に習得できる構成となっている。

(d) 着座でも可能な危険体験

VR 表現はリアリティが利点である反面、リアルすぎるが故に現実の環境でも体が反応してしまって転倒する、といったアクシデントも他社事例で報告されている。そのため、本システムにおいては事故体験を着座でも行えるモードを用意し安全性に配慮している。

(3) 危険体験シナリオの具体例

(a) 公開済みシナリオ①：アウトリガー張り出し不足による事故事例

鉄骨の荷下ろし作業時にアウトリガーを張り出すのを怠ったことによりクレーンが転倒し、吊り荷と荷台から滑り落ちて来た鉄骨に挟まれた事故事例。

(b) 公開済みシナリオ②：高圧電線へのブームの接触による事故事例

農作物をトラックに積み上げている過程で、遠くの荷物を吊るために伸ばしたブームを起こした際に上方の高圧電線に接触し感電した事故事例（図—3）。

(c) 公開済みシナリオ②の体験拡張版：高圧電線へのブーム接触による感電事故（感電デバイス連動）弊社開発の感電体験デバイス「UNAGI」と連動。



図ー3 高圧電線への接触による事故事例の一場面



写真ー8 感電体験装置を指に巻いた感電事故体験

VR内で電線にブームが接触すると、現実の指先に安全な微弱電流が流れ、感電を体感できる構成。視覚と触覚が統合された学習によって、感電の怖さと作業環境の安全確認の重要性が強く印象付けられる（写真ー8）。

(d) 開発中シナリオ①（2025年秋公開予定）：定格荷重超過による荷の激突事故

作業終盤でブームを伸ばしたことでオーバーロード状態となったが、そのまま作業を継続したことでトラックの傾斜を招き荷台から滑り落ちた木材、吊っていた木材の両方に激突された事故事例。

本章では、VR危険体験シナリオがいかにして構築され、ユーザーの操作がどのように事故演出と結びついているかを詳述した。次章では、これら体験型訓練によって得られる教育効果、および現場での導入結果について考察する。

3. 訓練効果の分析と導入の展望

(1) 実証的評価の初期観察

(a) 関係者によるテスト体験の概要

本システムは現在、正式な実証実験や企業導入に先立ち、クレーン教育機関の指導者、小型移動式クレーンの操縦者、鉄道関連事業者等、業界の専門的知見を有する関係者を対象としたテスト体験を継続的に実施している。これらの体験は、展示会・個別デモンスト

レーション等を通じて行われ、累計で数十名以上の専門家に体験いただいている。

(b) 得られているフィードバック

現時点で得られている意見には、以下のような特徴的なフィードバックが挙げられる：

「あらかじめ事故が起きるとわかっていても、実際にその瞬間を体験すると恐怖を感じる」

「荷が崩れる・当たる・感電するというVR上の出来事が、想像よりもリアルだった」

「ラジコンの操作によって、自分が事故を起こしてしまうという感覚が強く残る」

「吊り荷の揺れや地面の傾斜など、現場でよくある“ヒヤリ”がうまく再現されている」

このような反応は、体験者が単に映像としてではなく、事故の当事者としての臨場感を得ていることを示しており、本システムの設計思想が正しく機能していると評価できる。

(c) 今後の機能面の課題

現時点ではまだ、リアルな事故体験を提供するにとどまっているが、建設会社などの企業が本格的にこのシステムを安全性向上のために導入する場合、各作業員の体験状況の把握や安全性向上についての効果測定をデータ的に行える必要性が考えられる。そのため現在、本システムの利用データ集計機能の開発を進めている。

(2) 導入検討と現場からの期待

(a) 現場関係者の反応と受容性

テスト体験に参加した関係者からは、導入に対する前向きな姿勢と期待が確認されている。特に鉄道インフラや高圧電線の近傍で作業を行う業者においては、「実際の感電体験が伴うVR」は、従来の座学や安全ビデオでは伝えきれなかった危機意識の醸成に有効であるという意見が多く見られた。

また、建設会社の安全教育担当者からは、「吊り荷の揺れ」「アウトリガー未展開」「過積載」といった、日常的に起こりうるリスクを安全な環境下で模擬的に体験させられる手段として有用であるとの評価が得られている。

(b) 教習・訓練機関からの導入相談

いくつかの教習・訓練機関や職業訓練機関においては、本システムの貸出または常設導入に関する相談も寄せられている。特に「事故体験は、現実においては容易に実施できず、多くのバリエーションとなると不可能に近い」という意見が印象的であり、今後の教材設計の一部として、VRによる感情刺激・身体刺激が

有効であるという仮説を裏付ける結果となっている。

(c) 今後の導入と継続評価の展望

正式な導入にあたっては、VR 体験の設置環境など運用面での整備も求められるが、何よりもシステム機材一式が軽量の構成（ノートパソコン、ラジコン、VR ヘッドセット）であることから、さほど広い場所も必要とせず持ち運びも用意である。また、導入時にはそれらの設置や利用方法に関する導入サポートも行っており、既存の導入先においても一般のクレーン作業者にスムーズに利用されている。

(3) 今後の課題と応用展望

(a) シナリオの多様化と現場課題への適応

現段階で実装済みの危険体験シナリオは、代表的な災害事例をもとにした限定的な構成となっているが、今後はより広範な作業条件や業種に適合するコンテンツの拡充が求められる。具体的には、以下のような視点からシナリオの多様化が必要である。

- ・夜間・悪天候・視界不良といった「環境要因」を含む事故再現
- ・隣接作業・第三者接近・外部交通との関係を含む「複合リスク」
- ・特定業種（鉄道、電力、橋梁施工など）に特化した状況設定

これらの拡張により、個々の現場で実際に直面するであろう「潜在的リスク」に対して、より高い現実適応力を養う訓練が実現できると考えられる。

(b) より多くの事例を継続的に体験できる仕組みと体験の習慣化

事故の起こる状況や原因は一様ではない。また、一度体験しても長い時間が経過した後には記憶が薄れていくことも懸念される。クレーン作業者の安全意識向上に対する有効性を高めるならば、より多くの事故体験を、継続的に、数多く提供していく必要がある。これを、クレーン実機で行おうとするのは現実的ではなく、VR 訓練の有用性を生かすべきある。

本システムでは、そのようなサイクルを実現するために、継続的に事故体験を追加していき、それらをサブスクリプション型式（月払い費用の中ですべての事故体験を利用できる）で提供する。現在、年3作品のペースで開発を進めており3作品目となる次回の事故体験は2025年9月に提供開始予定である。

(c) 企業内教育システムとしての仕組みの整備

昨今の企業内教育は集合研修から職場単位での分散研修、さらには Web システムを利用した個人レベルでの学習(WBT)へと顕著な変化を遂げている。クレー



写真—9 職場内でVR訓練を一人で行うクレーン作業者

ンの訓練に関しても、各作業者の体験学習記録を管理集計するシステムで全作業者の体験状況の「見える化」を実現することで、本VR訓練システムは建設機械の分野におけるVR式のWBTを提供できるものと考えている（写真—9）。

4. おわりに

建設現場における災害の多くは、作業手順やルールを「知っている」にもかかわらず、「できていなかった」ことに起因する。そこには、知識と行動の間にある心理的なギャップ——すなわち、「自分ごととして危険を認識できていない」という課題が横たわっている。

本システムのVRによる危険体験を制作し、何度もテストを行いながら感じたのは、「死亡に至る事故というものがいかに静かに呆気なく起こるか」という点である。ドラマや映画で描かれるような、危険を彷彿させる前触れの演出など一切なく、死亡事故は起こる。そしてその時、ほぼ何が起こったのか分からないまま当事者は命を落とす。

本稿で紹介した小型移動式クレーンVR訓練システムは、そうしたギャップを埋めるための新たなアプローチである。特に、ラジコン型操作機を用いたインタラクティブな危険体験により、「自分の操作が事故を引き起こす」という感覚を身体的・感情的に伴って習得できる点は、従来の座学や映像教材にはない特徴である。

危険体験というものは、ウィルスに対する予防接種にたとえることができる。毎年、微妙に変化するインフルエンザウィルスに対し私たちは予防接種を受ける。危険な事故にも多くの種類のものがあり、典型的な事故の危険性は学んでも、日々変化する現場においてはどのような事故が起こっても不思議ではなく、そ

のためにクレーンの事故も後を絶たないのではないだろうか。

予防接種で免疫を得るように、より多くの事故事例を操縦者の立場で体験することは自らの危険予知能力を強化することにつながるものと考え。臨場感ある「体験」を継続的に行うこと。それこそが、次代の安全教育のあり方であり、労働災害ゼロを目指す現場に必要とされる進化であると確信している。

J C M A



【筆者紹介】
瀬戸 豊（せと ゆたか）
シンフォニア(株)
代表取締役



ホイールローダの安全性向上に寄与する 運転支援システム

中型ホイールローダ ZW140-7/ZW160-7

小 鷹 稔 生

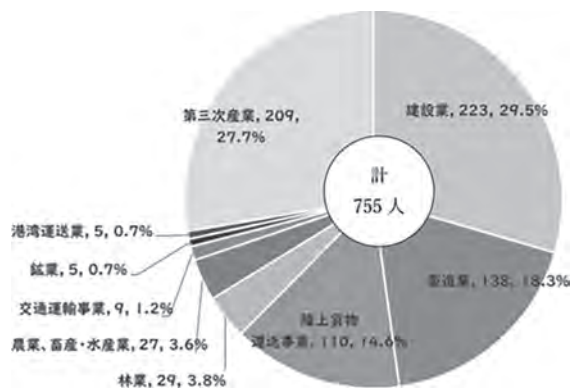
労働災害における建設業が占める割合は高く、災害が多く発生していることが課題である。施工現場における安全対策のほかに、建設機械としても安全性を向上させることが課題解決への貢献となる。中型ホイールローダ ZW140-7/ZW160-7（以下、本機種）に周囲環境の視認性向上と後方衝突リスクの被害軽減に寄与できる運転支援システムを搭載し市場導入した。本稿では、新型ホイールローダに新たに搭載した運転支援システムの概要と特徴について報告する。

キーワード：ホイールローダ、運転支援、周囲視認、衝突被害軽減、自動減速

1. はじめに

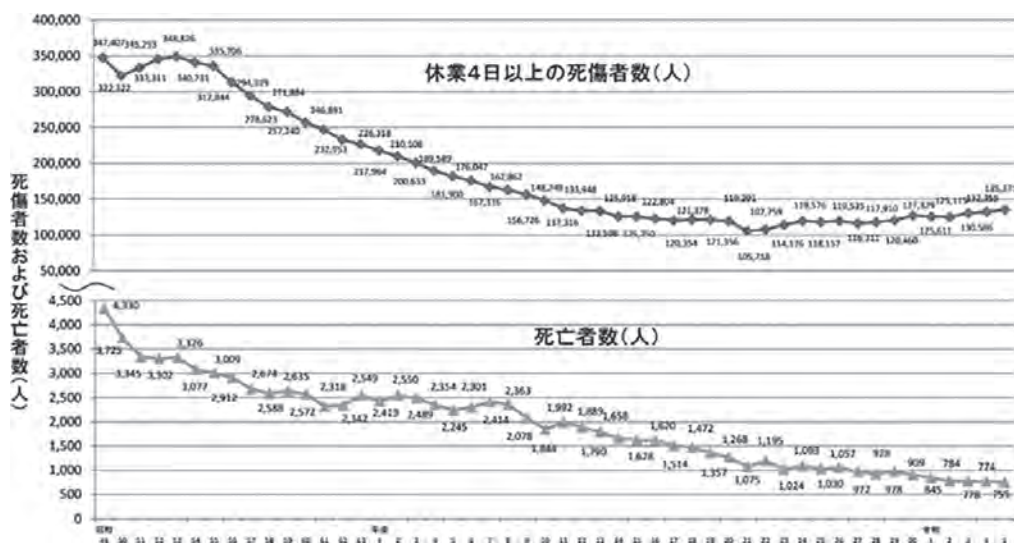
国内の労働災害の発生状況を見ると、労働災害による死者数は減少傾向となっているが、休業4日以上の死傷者数の推移は長期的には年々減少傾向にあったものの、2000年代以降は横ばいとなり、近年においては若干の増加傾向となっている（図－1）。全産業別の内訳で見ると、建設業は全体の3割程度となっており、高い割合を占めている（図－2）。

建設機械に着目すると、車両系建設機械による災害の起因として、「はさまれ・巻込まれ」、「激突され」を合計した割合が5割近くになり（図－3）、車両系



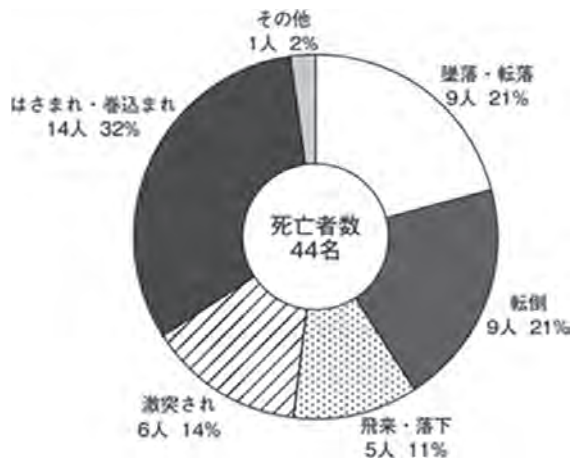
出典：建設業労働災害防止協会
建設業における労働災害の発生状況（令和6年）

図－2 業種別労働災害発生状況



出典：厚生労働省 労働災害発生状況

図－1 労働災害による死者数、死傷者数の推移



出典：建設荷役車両安全技術協会 令和5年災害統計

図—3 車両系建設機械等の種類別・事故の型別分類

建設機械による周囲者や障害物との衝突防止が課題となっている。施工現場における安全対策向上への取り組みが必要であるほかに、建設機械としても安全性を向上させることを目指した開発を継続することが重要な取り組みである。

2. 周囲環境視認性向上に寄与する運転支援システム

(1) 「AERIAL ANGLE®」の概要

周囲者や障害物と機械との衝突による事故を未然に防ぐことを目的として、オペレーターの周囲安全確認を支援するシステムである「AERIAL ANGLE®」(以下、本視認システムという)が市場導入されている。本視認システムは車体に複数の広角カメラを搭載し各カメラの画像を変換・合成することで車体を中心に上空から見下ろしたような映像を専用のコントローラで生成することで周囲の俯瞰映像を運転席に設置したモニタ画面に表示するシステムである。オペレーターは、周囲者や障害物との位置関係など、車体の周囲状況をモニタ画面からひと目で把握することが可能となる。本視認システムを装備したダンプトラック、油圧ショベル、タイヤローラがこれまで市場導入されている。

ホイールローダにおいても安全性向上のため車体周囲の視認性を良くしたいという要求は以前からあり、窓ガラスの拡大や車体形状の工夫により直接視界の改良を重ねてきた。さらなる視認性の向上を目的に、ZW-7型シリーズでは本視認システムをホイールローダに適用する開発を行い市場導入している。

また、2025年から日本国内販売を開始した本機種(図—4)においては標準装備とした。ホイールローダ用に開発した本視認システムはカメラを後方1台、



図—4 中型ホイールローダ



図—5 カメラ搭載位置



図—6 運転室内

左右側各1台の計3台で構成したシステムとしている(図—5)。さらに、前方カメラを追加して計4台のカメラによるシステムを構成することで、前方視認性を向上させた「AERIAL ANGLE® (360°)」(以下、本全周囲視認システムという)を開発、オプション装備として設定した。

(2) 本視認システムの特徴

本視認システムは周囲カメラ、運転室内に設置したモニタディスプレイとモニタ画面操作を行うマルチファンクションコントローラで構成されている(図—6)。側方カメラはキャブ上面高さで、側面からオフ

セットした位置に専用ブラケットを介して装着されている。これにより、目視や後写鏡で視認しにくい後タイヤ側面付近を映像から視認することができ、周囲者の巻き込み、衝突リスクの低減に寄与する(図—5, 7)。

各カメラから出力された映像から画像合成コントローラが車体周囲の俯瞰映像を生成している。俯瞰映像は後方映像と側方映像のラップ部分を独自の画像技術で処理することで、各カメラ映像との境界がないシームレスな俯瞰映像表示となっている。俯瞰映像は運転席右前方に設置したモニタディスプレイに表示される(図—7, 8)。視線移動が極力少なくなる位置に設置することで、運転中においてもオペレーターは容易に周囲状況を確認することができる。

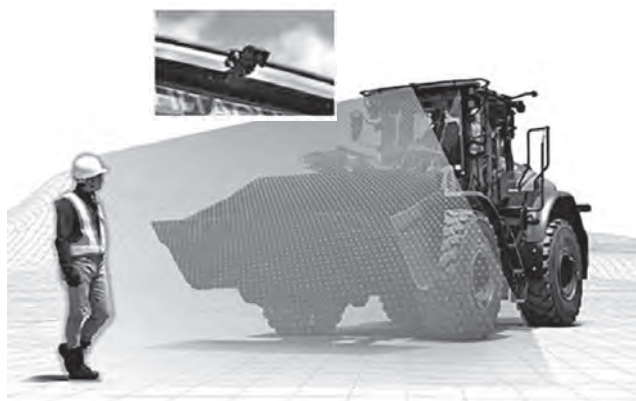
表示される映像は俯瞰映像と後方視界映像を並列表示または、後方視界映像のみの表示を運転席右側アームレストに装備されたマルチファンクションコントローラを操作することで切り替えることができる。運転状況に合わせた適切な表示切り替えを行うことが可能である。また、並列表示時であっても、後進操作に連動して後方視界映像に自動切り替えを行う設定が可能で、掘削・積込み作業などで頻繁に後進する場面において有効である。

(3) 本全周囲視認システムの特徴

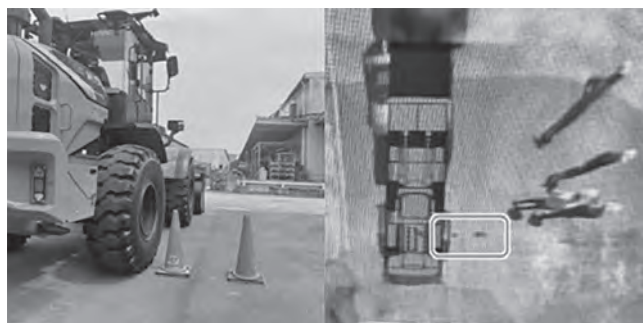
ホイールローダは車体前方に装着されるバケットを様々な種類のアタッチメントに交換することが可能である。アタッチメントの形状によっては前方視界に影響することがあるが、そのようなアタッチメント装着時でも前方視界を確保したいという市場要求があった。この市場要求に対応するため、前方カメラを追加装着し、全周囲の映像表示ができるように機能拡張したのが本全周囲視認システムである。

本全周囲視認システムはオプション装備として市場導入した。前方カメラはキャブ上部に装着している(図—9)。これにより、オペレーター目線より高い位置からの映像が得られることから、目視では視認しにくいバケットエッジ先端部分や、バケット、前タイヤ付近の障害物などの視認性が向上する。

モニタディスプレイの表示映像の切り替えは、前方カメラ映像、拡大俯瞰映像を追加した4種類から選択が可能である(図—10)。表示される映像の種類が追加されることで、運転状況に適した周囲映像を選択することが可能となっている。



図—9 前方カメラと視界イメージ



図—7 側方カメラによる周囲映像



図—8 モニタディスプレイ映像



図—10 映像切り替え

3. 後方衝突被害軽減に寄与する運転支援システム

(1) 後方障害物検知システムの概要

ホイールローダの標準的な作業である掘削作業や、掬った扱い物のダンプやホッパーなどへの積込作業では後進することも多く、後方への注意不足により障害物との衝突事故につながるリスクが高まる。本機種では後方障害物検知システム（以下、本検知システムという）をオプション装備として設定した（図—11）。

後進時の事故軽減に対応することを目的とし、車体後方にある障害物との衝突被害軽減に寄与する運転支援システムである。前項の本視認システムが人による安全確認を補助する装置であるのに対して、本検知システムは機械からオペレーターへ警報通知することにより事故を未然に防ぐことを目的にしている。車体後部に物体検知センサ（ミリ波センサ）を装着し（図—12）、後進中に物体を検知した際に運転室内のブザー鳴動、モニタディスプレイへの画面表示によりオペレーターへ注意喚起とブレーキ操作を促す。



図—11 本検知システム



図—12 物体検知センサ（ミリ波センサ）

さらに、追加オプション装備として衝突リスクが高まったとシステムが判断したときには、後進中の車体を自動的に減速する制御を追加した後方衝突被害軽減装置（自動減速）（以下、本自動減速システムという）を開発、市場導入した。車体が自動減速することにより、オペレーターによるブレーキ操作が促されることになり衝突リスク低減に寄与する。

(2) 本検知システムの特徴

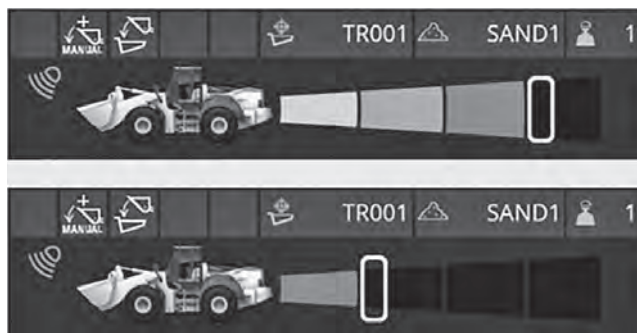
本検知システムはミリ波センサにより車両後方の物体との距離を検知している。ミリ波センサは、検知物体にミリ波の電波を照射して反射してきた電波を検出し、往復に要した時間を計測することで検知物体までの距離を計測する。雨・雪・霧といった天候、建機の稼働現場に多い粉塵などの影響を受けにくいことがミリ波センサの特徴である。

コントローラにより車両速度と検知物体との計測距離から衝突リスクが演算され、運転室内の警報音とモニタディスプレイのインジケータ表示が衝突リスクに応じて段階的に変化する（図—13）。これにより衝突事故の危険度がオペレーターへ注意喚起される。このときの警報音は衝突リスクに応じて断続周期が変化する。モニタディスプレイのインジケータ表示はバーレベルと色が変化して視覚的にオペレーターへの通知を行う。

建屋内など周囲に壁などがある作業環境で稼働する場合、過剰に警報が発報される懸念がある。物体の検知範囲を適切に制限することで狭小な場所を通過する作業現場でも対応できるようにしている（写真—1）。

(3) 本自動減速システムの特徴

本自動減速システムは警報だけでなく自動減速制御を行うことを追加したシステムである。オペレーターが警報通知に従いブレーキ操作ができなかった場合でも衝突の発生確率が低減され、万が一の衝突時でも被害を軽減することにより安全性を向上させる。



図—13 インジケータ表示



写真—1 検知範囲の制限

本機種の動力伝達装置はHST (Hydro-Static-Transmission)である。HSTはアクセルオフやニュートラル時はブレーキ力 (HST ブレーキ) が発生する特徴がある。システムが衝突リスクの最も高くなった段階と判断したらニュートラルとし、HST ブレーキが作動して車体が減速される。同時にモニタディスプレイのアイコンインジケータが点滅して減速制御中であることをオペレーターへ通知する。最終的に車両が停止したときは、前後進レバーを操作すれば減速制御が解除され、運転を再開することができる。

さらなる特徴として、車体が停止しているときにオペレーターが後進操作を行った際に、後方の物体が検知されて衝突リスクが高いとシステムが判断したときは、ニュートラルを保持することにより車両を発進さ

せないことを目的とした後進発進抑止制御が備わっている。

4. おわりに

新型ホイールローダに搭載した安全性向上に寄与する運転支援システムについてまとめた。建設機械の運転支援システム開発の動向をみると、自動車業界などにおいて開発がけん引されているセンサ技術や画像処理による周囲認識技術の急速な進歩によるところがある。この分野では建設機械をターゲットとしているスタートアップ企業も育っている。また、コモディティ化することにより部品のコストも引き下げられている。

先進技術の動向を注視しながらそれらの建設機械への適用を検討していくことが必要と考えている。運転支援システムは、将来的には建設機械の遠隔・自動化システムにおける安全性の担保にも利用できると考えられる。今後も、建設現場の課題に対応できる商品やソリューションを提供していく。

J C M A

【筆者紹介】

小鷹 稔生 (こたか としお)

日立建機㈱

パワー・情報制御プラットフォームビジネスユニット

開発統括部

車体システム開発部 車体システムグループ



AIを取り入れた軌道装置接近警報システムの開発

宮 川 克 己

近年では、労働災害の低減のため建設機械作業範囲内への人の立ち入りに対して警報装置や停止装置等が装備されているが、多くは土工事や舗装工事用機械への装備が一般的である。そこでシールド工事において資機材を搬送する軌道装置を対象として、軌条（レール）内に立ち入った人を検知して機関車運転手に警報を発する軌道装置接近警報システム（以下「本システム」という）を開発した。人物検知はカメラ画像を用いて軌条内にいる人だけを認識してシグナル警報を発するものである。本システムは試験運用を経て現場での本格運用を開始したので報告する。

キーワード：接近警報システム，軌道装置安全対策，AI 人物検知，脱着可能カメラ，無線ハイビジョンカメラ，長距離無線 LAN

1. はじめに

厚生労働省発表の令和5年の労働災害発生状況では、死亡者数は過去最少となったものの業種別では建設業の発生件数が最も多く¹⁾、また、業種や状況は不明だが事故の起因物が軌道装置のはさまれ・巻き込まれの労働災害件数は14件となっている²⁾（図—1）。そこでシールド工事では必要不可欠な軌道装置の安全対策を講じることとし、本システムを開発した。

2. 開発の目的

はさまれ・巻き込まれ等機械との接触に対する安全策は各種センサー技術が進み、最近ではカメラによる

測距技術も一般的になっておりエリア検知にも多数利用されている。そこで、脱着可能なカメラと警報出力をユニット化させ、建設機械の機種やサイズに関わらず使用できる汎用的な警報装置の開発を目的とする。

本システムでは、レール工法で使用する軌道装置を対象とし、軌道装置の運転席より高い被牽引車（ずり鋼車など）により前方視界が遮られた場合の安全性の向上を図り、編成長の増減に影響することなく運用を可能とする警報システムとした。

3. 本システムの特徴

(1) システム概要

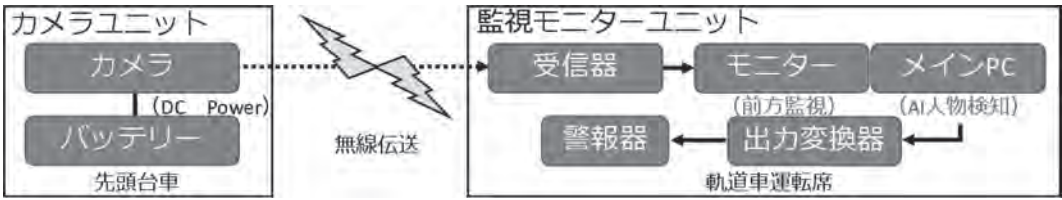
本システムは、シールド坑内の軌条内に立ち入った人物を検知させ、検知した際には警報を発令させるもので、視認部のカメラユニットと運転席の監視ユニットで構成する。両ユニット間は、無線伝送とし、ユニット間の離隔や軌道装置編成数を任意にできる特徴を持つ。人物検知は、監視ユニット側で受信したハイビジョン映像で前方監視を行いながら、その映像を基にAI人物検知を行う。さらに、AI処理結果から出力変換を行って警報器を働かせオペレーターに知らせるものである（図—2）。

(2) システム構成

視認部のカメラユニットは、軌道装置の先端部に専用架台を設けマグネットで取り付ける着脱可能方式と



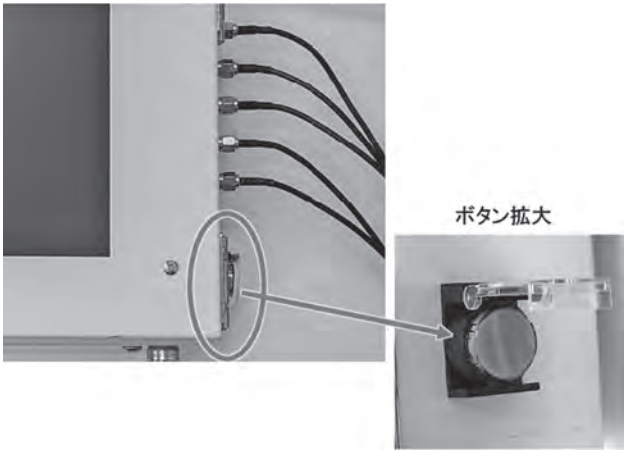
図—1 軌道装置の事故型別グラフ



図ー2 システム構成図

表ー1 ユニット仕様

カメラユニット	型式	英 TERADEK 社の CONNEX OUTDOOR	
		カメラ トランスミッター	レシーバー
	入力	視野角：105 度	5 GHz (RF)
	出力	5 GHz (RF)	720P60
	サイズ	95 mm×56 mm×85 mm	126 mm×93 mm×19 mm
	重量	405 g	331 g
	耐候性	防滴仕様	
	伝送距離	300 m (見通し)	
	入力電源	7-17 V DC	
	消費電力	5 W	
監視ユニット	主 PC	Intel Core i7	
	メモリ	8 GB	
	外部メモリ	1 TB SSD	
	サイズ	117 mm×51 mm×112 mm	
	モニター	9 インチ	
	解像度	1,024 × 600	
	警告表示	2 色積層シグナルタワー	



写真ー1 起動スイッチ

しており、軌道装置の編成に柔軟に対応できる。ユニットには無線カメラと電源用バッテリーを収納し、箱外に専用の送受信アンテナを取り出してある。

監視ユニットは、監視モニターを兼ねたメイン PC と無線カメラ用受信器、警報出力用出力変換器、警報用シグナルタワーを搭載する。また、監視ユニット側も箱外に専用アンテナを取り出して無線伝送を円滑にさせている。

(3) システム仕様

本システムの主な仕様は表ー1 の通り。

(a) カメラユニット

無線カメラは、HDR (High Dynamic Range) カメラで、ユニットにはカメラ専用バッテリーを内蔵する。バッテリー容量は約 7 時間で、監視ユニット側でバッテリー電圧表示を行い規定値以下に電圧が低下すると動作を停止する。

(b) 監視ユニット

機関車本体電源が投入されるとシステムと OS が自動起動する。OS シャットダウンは箱外に専用ボタンを設けている (写真ー1)。また、USB ハブ経由で 1 TB の SSD にカメラ映像を録画、保存機能を持つ。

保存は、撮り込み動画と AI 検知処理した動画の両方としている。

撮り込み動画は、以降の精度向上用に学習データの意味合いで保存している。カメラ受信機には HDMI 出力を備える。機関車本体が直流なので、ユニット内蔵機器は全て直流電源としている。

(c) 警報表示器

警報表示として 2 色の積層タイプのシグナル灯を設けブザー音と点滅で警報する。シグナル色は通常時「緑」で人物検知時「赤」としている。

(4) アプリケーション

人物検知アプリケーションは、安全通路等の軌条より外にいる人物には反応せず、軌条内にいる人物のみを検知する。検知エリアの範囲は任意に設定可能で、検知機能のオン・オフ設定を設けることで、単なる前方監視用カメラとしての運用も可能である。使用する人物検知 AI は、現場から取得した画像データを用いて深層学習技術を活用し、シールド坑内専用の AI モデルを学習させる。アプリケーションはまず、この AI を用いて画面全体の人物有無の分析を行う (写真ー2)。その後、エリアを限定したマスク処理 (写真ー3) を用いて検知エリアを軌条内だけに設定することで、設定エリア外の人物検知を除外し、軌条内にいる人物のみを検知するようにする (写真ー4)。また、検知精度は AI の判別閾値を変更することで精度の緩和や



写真—2 人物検知



写真—3 マスク画像処理



写真—4 軌条内人物検知

引き締めを行うことも可能としている。留意点としては、学習データとの画像が異なると識別が困難となるため、カメラの設置位置を、学習データ取得時と同じ高さにする必要がある。

4. 要素実験

機器選定に先立ちシールド坑内での要素実験を行った。開発の主目的である軌道装置の編成増減に対応させるため有線伝送はまず除外して、カメラ画像の伝送方法を決めるために、2通りの方法を選定し通信距離の比較を行った。

- ・WEBカメラ用長距離無線LAN伝送
- ・無線ハイビジョンカメラでの直接伝送

実験場所は、セグメント内径 $\phi 2,550$ mm、覆工は基本コンクリートと曲線部のみ鋼製セグメントで、急曲線 R25 m を含み、切羽には 14 台の後続台車が延長

約 74 m あるシールド坑内である（図—3）。

実験は、障害物（後続台車）のある切羽付近、見通しのきかない R25 m 曲線長 32 m の鋼製セグメント区間、コンクリートセグメントの直線区間の 3 箇所距離の計測を行った。

（a）切羽付近の測定

長距離無線LANは後続台車終端部（NO.14 台車）に受信機とモニターを固定し、アンテナを切羽前方に移動させ、無線ハイビジョンカメラは、カメラを後続台車先端部（NO.1 台車）に固定し、受信器とモニターを後方へ移動させ通信画像が乱れるところの距離を測定した（図—4）。

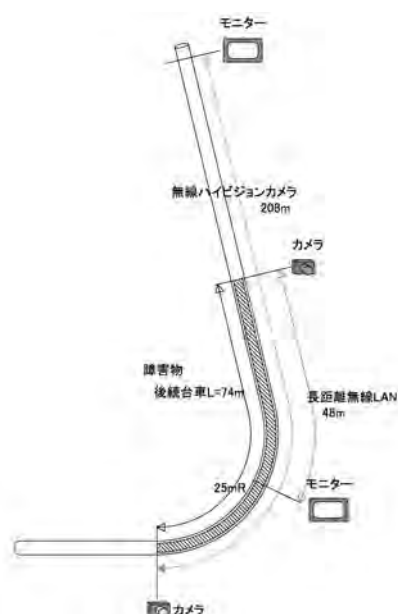
（b）曲線部の測定

曲線端部に受信機とモニターを固定し、全く見通せない状態でアンテナを移動させた。

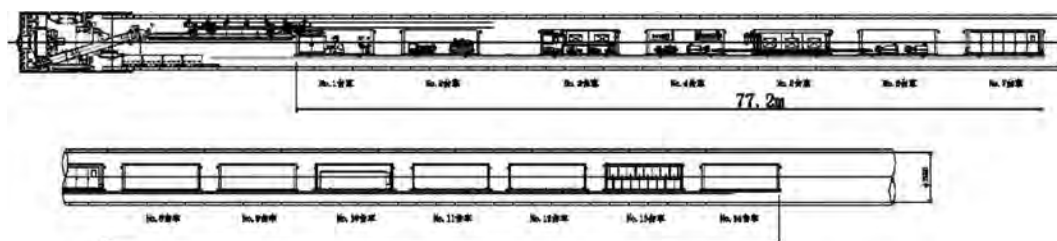
（c）直線部の測定

直線部では、受信機固定部前方に取って障害物（バッテリー機関車）を置いた状態で計測した。

実験に使用した長距離無線LANは、NETIS登録のマルチポプルータ MR300 を使用した（写真—5）³⁾。当仕様概要は屋外対応（IP66）で、周波数帯は免許不



図—4 測定箇所図



図—3 後続台車編成図



写真—5 マルチポップルーター MR300



写真—6 CONNEX Outdoor カメラとレシーバー

表—2 伝送可能距離

	長距離無線 LAN	無線ハイビジョンカメラ
切羽付近	48 m	208 m
曲線部	84 m	186 m
直線部	80 m	182 m

要の 5.470-5.725 GHz (W56), アンテナの指向性能が 13 dBi (23°) を取って上向き状態で実験した。一方の無線ハイビジョンカメラは, CONNEX OUTDOOR を使用した (写真—6)⁴⁾。各測定結果は表—2 の通りであった。

実験結果より, 無線ハイビジョンカメラの性能が非常に優れ, 坑内の悪条件でも通信距離が長いことが確認されたため, 使用機器は無線カメラでの直接伝送方式を採用することとした。

5. 試作機の製作と試験運用

画像伝送方式が決まり, 使用機器も決定したので, 機器類を収納できる各ユニットを製作した。ケースは金属製とし, 専用アンテナを函外に外出しさせ, 監視



写真—7 本システム試作機



写真—8 カメラユニット (試作機)



写真—9 監視ユニット (試作機)

ユニットにはシグナルタワーも取り付けした(写真—7)。

完成した試作機ユニットを用いて画像処理のための教師データの取得を目的としてシールド坑内にて画像録画を行った。撮影は, カメラユニットを走行させながら, カメラ前方で立位, 座位, しゃがみ込み, 前向き, 後ろ向きのみならず枕木から頭部のみ飛び出した状態等様々な体位撮影と, 異なる服装や複数人の重なり状態など出来る限りの画像撮影を行った。

取得した画像データを基に監視ユニット内 PC にディープラーニングで画像認識を AI 学習させ, マスク処理を行った後, 学習終了した本システムで実際の軌道装置に各ユニットを搭載し試験走行を行った (写真—8, 9)。試験結果は坑内照度や対象人物の体勢など状況によっては認識精度が弱い部分があったもの



写真—10 人物検知画像

の、目的である安全通路上の人物の非検知、軌条内の人物の検知という結果を得ることができた（写真—10）。この試験運用結果より、本システムは機能を満たすと判断でき、現場実装することとした。

6. 現場実装

(1) 実装に向けた改良

試験運用を経て現場実装に向け実験用プロトタイプモデルから実装用モデルに改良・再製作を行った。最も大きな改良点は、ユニットの小型化で特に軌道編成の最前部に設置するカメラユニットは資機材の積み込み、荷下ろしの際に接触損傷をさせないように可能な限り小型にした。監視ユニットも狭い運転席スペースを考慮してモニターを基盤の状態でケースに直に取り付け等ユニットの小型化を図った（図—5、写真—11）。

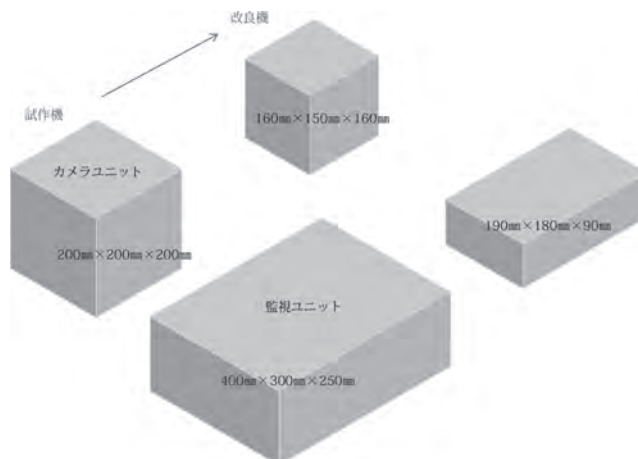
また、試験運用時の人物検知ですり抜けが見られたため、更に AI の追加学習及び AI 検出の閾値調整を行い精度の向上を図った。

(2) 現場実装

現場実装は、セグメント内径φ3,500 mm で、掘削土砂はズリ鋼車搬送方式の現場で運用開始した。使用前の懸念事項として、試験運用時のセグメント内径に比べ直径で約 500 mm 大きい坑内断面であるため試験運用検知モデルではカメラ画像が異なり人物検知が不能となる心配があったが、現場試運転では問題無く人物検知ができることが確認でき運用可能と判断した。

カメラユニットには専用の台座を複数作成し、ユニット本体にマグネットを取り付けることで1基のカメラユニットで軌道編成が変わっても本体を付け替えることで対応できるようにした。

実際に本システムを搭載、運用して約3ヶ月経過し



図—5 システム改良図



写真—11 本システム実装機



写真—12 使用状況

た使用状況の確認をしたところ、当初から懸念していた通りカメラユニットの衝突損傷が見られた。その他掘削土砂こぼれによる水洗浄水等のカメラユニット内への水混入、監視ユニットの汚損等劣悪な状態（写真—12）で機能不全な状態であったため、一時撤収し対策を講じている最中である。

(3) 現場実装の途中経過

使用環境に対してのハード対策が実作業現場では想定以上に苛酷であったのでシステム全体を激しい使用に耐えうる頑強な物に対処する必要が生じた。特に浸水対策は必須である。また、カメラユニット内に収納しているバッテリーの充電手間が、ユニットを小型化したため煩雑でやりづらいことも判明したため、もっと簡易に充電できる機能が必要と思われる。

7. おわりに

要素実験、試験運用を経て本システムの信頼性と有用性は確認できたが、誤検知や検知不足等が完全には排除されておらず、あくまでも安全運行を補完するシステムと認識している。現場実装においては、実際に現場運用して判明する種々の問題点が生じ、これらをフィードバックしている現状ではある。今後改良を重ね本システムが有効に活用できるように注力しているところである。

また次のステップとして、検知精度の更なる向上を図り、軌道装置の自動走行システムの安全装置の一環として本システム導入も視野に入れており、本システムで自動走行時の前方監視を行い軌条内の人物や物体を検知した際は、監視ユニットの出力信号を利用して機関車側に制御指令を出すことで自動走行制御に反映させることを考えている。

最後に本システム開発に当たり、(株)アクティオに多大な協力をいただき感謝する。

J C M A

《参考文献》

- 1) 令和5年の労働災害発生状況を公表
厚生労働省労働基準局安全衛生部安全課
令和6年5月27日付報道発表資料
- 2) 令和5年事故型別起因物別労働災害発生状況（12月末累計） 職場のあんぜんサイト労働災害統計「労働者私傷業報告」による死傷災害発生状況（令和5年確定値） 死傷災害統計確定値
- 3) NETIS 新技術概要説明情報より写真借用
- 4) CONNEX Outdoor カタログより写真借用

【筆者紹介】

宮川 克己（みやがわ かつみ）
(株)熊谷組
土木事業本部 土木技術統括部 機材部
技術部長



新型ラフテレーンクレーン

最大つり上げ荷重 80 t SL-850RfⅢ

齋 藤 邦 広

ラフテレーンクレーンは走行用運転室と操作用運転室が同じで、機動性に優れた移動式クレーンであり、日本国内の道路事情、狭い建設現場に合わせて日本独自の進化を続け、今や建設現場をはじめとした作業現場ではなくてはならない存在となっている。特に最大つり上げ荷重 80 t のクラスは、ゼネコンの現場やプラント等で使用されることも多い。

今回、従来機のモデルチェンジとして環境配慮型エンジンを搭載し SL-850RfⅢ（以下「本機種」という）を開発したので、本機種の特徴および搭載した機能について解説する。

キーワード：移動式クレーン、ラフテレーンクレーン、ジブ、ホースガイド、ホースドラム、アクセサリライト

1. 特徴および機能

走行時の安全装置として、アクセサリライト、坂道発進補助機能を搭載した。より排ガスがクリーンな EU Stage V に適合したエンジンを搭載し車両全長を短縮した。

ジブは安全性が高く、省スペースで装着・格納ができる 3 段式の EJIB（当社愛称）を採用し、回動リンク式ジブホースガイドを採用してジブ装着格納の作業性および安全性の向上、ブーム先端の省スペース化を図った。



写真—1 公道走行姿勢

2. 機種概要

本機種は、クレーン型式 KR-80H-F2、キャリア型 YDS-KRC030（類別 0001）として、平成 26 年ディーゼル特殊自動車排ガス規制、EU Stage V に適合したエンジンを搭載した最大つり上げ荷重 80 t の 4 軸ラフテレーンクレーンである。従来機に対して、LED アクセサリライト、坂道発進補助装置や回動リンク式ジブホースガイドを搭載した。公道走行時の外観を写真—1 に、主な仕様を表—1 に示す。

3. 特徴および機能

(1) エンジン変更 ECO モード

エンジン変更に伴い省エネ化、低騒音化のためク

レーン作業時のエンジン回転数を従来機の $1,700 \text{ min}^{-1}$ から $1,580 \text{ min}^{-1}$ に変更した。エンジン回転数減により油圧の流量が減少するためメインポンプの押しのけ容積を増加することでウインチモータの巻上ロープ速度を維持、旋回モータ減速機の減速比を変更することで旋回速度を維持した。

燃費低減のためクレーン作業時に一定時間操作をしないとメインポンプがアンロードされる機能に加え旋回用プランジャポンプの傾転を最小にする機能を追加してエネルギー損失を低減した。

全長を従来機に対し 0.27 m 減の 12.99 m にして設置スペースの低減を図った。

表—1 主要諸元

クレーン型式	KR-80H-F2
ブーム最大つり上げ荷重	80.0 t×2.2 m (前方左右各15°の旋回範囲のみ)
ジブ最大つり上げ荷重	4.2 t×72°
ブーム長さ	10.0 m～45.0 m
ジブ長さ	9.52 m～18.0 m
ブーム起伏角度	0°～84°
ジブオフセット	5°～60°
最大地上揚程 ブーム／ジブ	46.0 m／64.0 m
最大作業半径（全周） ブーム／ジブ	40.0 m／55.1 m
巻上ロープ速度（主巻） （補巻）	130 m/min（5層目） 120 m/min（4層目）
旋回速度	1.85 min ⁻¹
後端旋回半径（カウンタウエイト無） （カウンタウエイト付）	3.55 m 3.90 m
アウトリガ最大張出幅	7.6 m
エンジンメーカー	カミンズ
エンジン型式	QSL9-4C
総排気量	8.849 L
最高出力	246 kW/2,000 min ⁻¹
最大トルク	1,636 N・m/1,100 min ⁻¹
タイヤ	385/95 R25 170E ROAD
最高走行速度	49 km/h
登坂能力	0.53（tan θ）
最小回転半径 4輪操向／8輪操向	11.8 m／7.4 m
軸距	2.39 m
全長×全幅×全高 （走行姿勢）	12.99 m×2.85 m×3.75 m
車両総重量（走行姿勢）	41,155 kg

(2) 回転リンク式ジブホースガイド

ジブ装着格納作業時の油圧ホース掛け回し作業を容易かつ安全にするため回転リンク式ジブホースガイドを採用した。

高揚程が必要となる作業ではブームの先端にジブを装着する。ジブはブーム先端のシャフトにジブの足を勘合させそれを軸に回転することでジブの振出格納および角度変更が可能である。ジブは油圧シリンダにより起伏、伸縮が可能で油圧源から油圧ホースを介してブーム横に設置したホースリール、ブーム各段のホースガイド、ブーム先端ホースドラム、ジブ根本側ホースドラムを通してジブに油圧を供給する。ブーム作業時はジブを格納しているためホースリールからジブ根本側ホースガイドにのみ油圧ホースが掛け回されており、ジブ作業時にはブーム先端ホースドラムとブーム各段のホースガイドに油圧ホースを掛け回す必要がある。

従来機ではジブ根本側ホースドラムとブーム先端

ホースドラムが設けられ、ジブ装着時はジブ根本側ホースドラムに掛け回された油圧ホースをホースリールから1.5 m程度引き出してブーム先端のホースドラムに掛け回していた（写真—2）。ホースリールはゼンマイ式に比べ小型かつ軽量の油圧モータ式を採用しておりエンジン停止時は引き出しても巻き取られることはないため作業性は良いがゼンマイ式に比べ引き出す力が若干大きい。油圧ホースを引き出す量が多くブーム各段のホースガイドへ横から入れる作業も必要だった。

本機種はブーム先端ホースドラムを廃しジブ側のホースドラムに機能を集約することで作業性の向上を図った。ジブ側のホースドラムは回転軸側とリンク先端の2個のホースドラムで構成される。回転軸側ホースドラムをジブ回転軸と同軸上に配置し、リンク先端側ホースドラムを格納位置から上方に回転することで従来機のブーム先端ホースドラムと同位置である展開位置へ移動させることで同等の機能を持たせた（写真—3～7）。両ホースドラムにはあらかじめ油圧ホー



写真—2 従来機種のホースガイド



写真—3 本機種のホースガイド（格納位置）



写真—4 本機種のホースガイド（展開中）



写真—7 本機種のホースガイド（ジブ横抱き）



写真—5 本機種のホースガイド（展開位置）



写真—6 本機種のホースガイド（設置完）

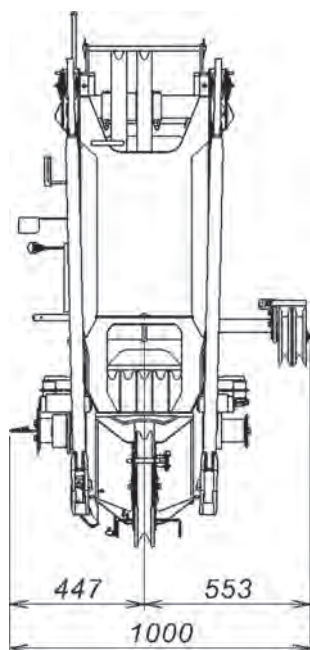
スが掛け回されており油圧ホースを直接手にもって掛け回す必要が無く、格納位置と展開位置でホース長さがほぼ同じになるように配置することで油圧ホースの引き出し量を最小限にした。ゼンマイ式ホースリールを採用する機種ではリンクをブーム前方に回転させる機構を採用しているためホースを引き出す量が多くなるが本機種に採用する油圧モータ式ホースリールは引き出す際にゼンマイ式より力を必要とするためリンクをブーム後方側に回転させることで油圧ホースを引き出す必要を無くしている。ブーム各段のホースガイドを下側が開く構造にすることでリンクを展開位置にすると同時に油圧ホースがホースガイド内に配置されるため油圧ホースをホースガイド内に配置する作業を省略可能にした。作業高さは従来機と変わらないが作業性の改善により安全性が向上した。

ブーム先端に設置していたジブ用ホースドラムをジブ根本側に移設しジブと共に格納可能とすることにより、運転者の死角となるブーム先端左側面の突出幅の減少（図—1, 2）を可能にし、ブーム作業時における障害物との接触の可能性を小さくして狭小部での作業性を改善した。

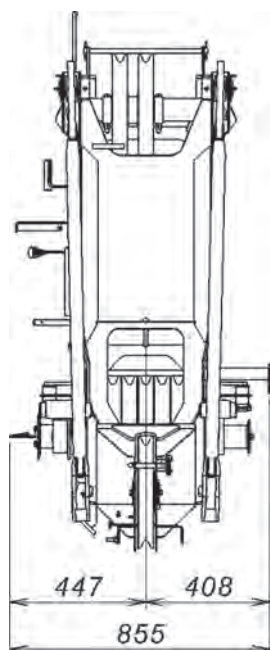
本機構は当社特許技術（特許 7575967, 特許 7612457）である。

(3) LED アクセサリライト

走行の安全性を向上させるため青色 LED のアクセサリライトを設定した。ヘッドランプ間距離が大きく左右で別車両と誤認されるおそれがあるため、アクセサリライトをヘッドランプ間に配置して車両の形状を示すことで昼・夜間問わず、対向車等の周囲に対する



図ー1 従来機のboom先端幅



図ー2 本機種のboom先端幅

被視認性を向上させ、大型車両走行の注意喚起を促す(写真ー8, 9)。運転席内のスイッチによりオンオフ可能である。

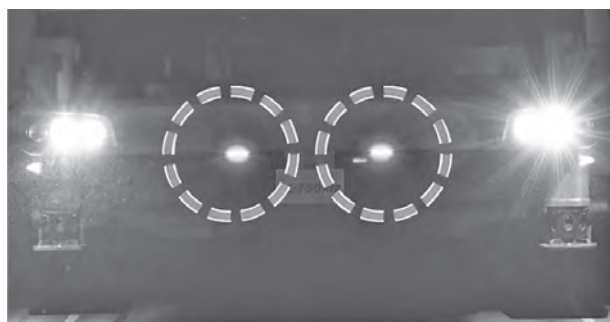
4. おわりに

ラフテレーンクレーンは登場から様々な法規の改正と工法の変化に対応して進化を続けている。近年、オペレータの負担を減らすことと、クレーン作業の安全性向上のための機能と環境対策への要求が高くなっている。その中でも80tクラスのクレーンは車体が大きく自ずと付属する部品も重く大きくなるため作業性の向上は安全性の向上にもつながる。さらなる高機能・高性能を目指しつつ、安全で安心して使える移動式クレーンの開発に取り組んでいく所存である。

JCM A



写真ー8 アクセサリライト（昼間点灯時）



写真ー9 アクセサリライト（夜間点灯時）

【筆者紹介】

齋藤 邦広（さいとう くにひろ）
 (株)加藤製作所
 設計第1部第1課
 係長（チームリーダー）



鋼製支保工建込ロボット ROBOARCH による 切羽作業の遠隔化

宮 原 宏 史

山岳トンネル建設工事における切羽からの肌落ちは、死傷災害の原因ともなりうる山岳トンネルに特有の災害である。その防止のため「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」が2016年12月26日に発出され、2024年まで数度の改正がなされているが、残念ながらいまだ災害の発生は続いている。

そこで、リスクアセスメントの観点から最も有効な対策である切羽への立入禁止措置を、最も危険な作業である支保工建込において実現すべく開発された「鋼製支保工建込ロボット ROBOARCH (ロボアーチ)」を開発し現場導入を行った。その結果、切羽への立入人数ゼロを実現し、標準的な施工と比較し22分の時間低減効果を確認した。

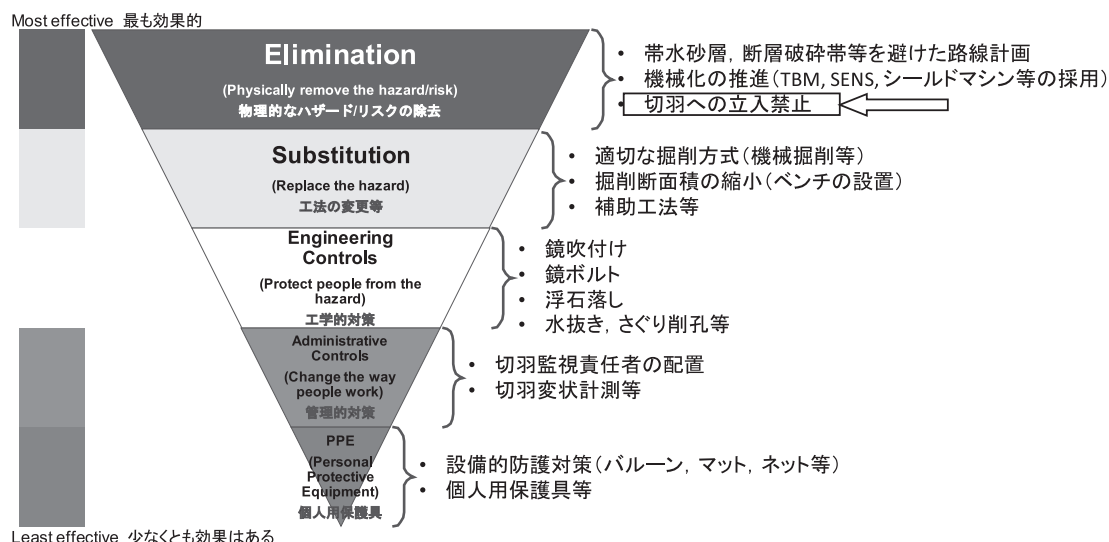
キーワード：安全、肌落ち災害、肌落ちガイドライン、鋼製支保工、エレクター一体型吹付ロボット

1. はじめに

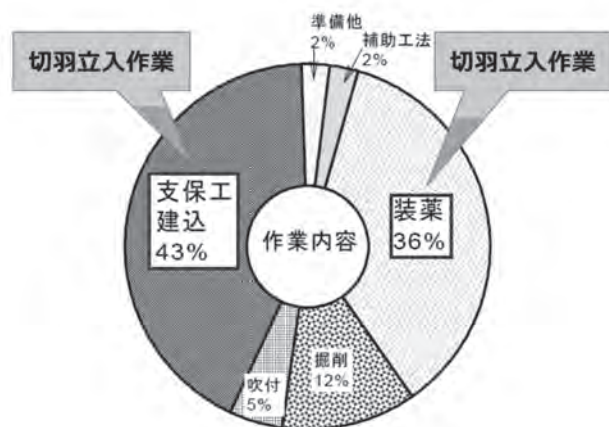
山岳トンネル建設工事における切羽からの肌落ちは、死傷災害の原因ともなりうる山岳トンネルに特有の災害である¹⁾。様々な関係機関の尽力により2016年12月26日に発出された「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」(以下GL)は、2024年まで数度の改正が行われ施工環境はより安全側に変化し、切羽監視責任者の専任や鏡吹付けの実施が広く行われるようになった。しかしながら2025年現在においても肌落ち災害事例の報告は続

いており、さらなる対策が求められている。

ここで山岳トンネル工事における各種対策を災害リスクアセスメントの考え方に当てはめた例を図—1²⁾に示す。このうち施工時に取ることが可能な最も効果的な対策は「切羽への立入禁止」であり、さらにトンネルにおける労働災害に関する分析結果³⁾(図—2)によると、災害が最も多い作業は「支保工建込」であることがわかる。一方で標準的な設計および施工方法⁴⁾に基づいた支保工建込作業状況(上半)をみると(図—3)、主に①測量レーザー光目視確認、②高さ、幅の調整、③天端ボルト締結、④金網、つなぎ材の設置



図—1 肌落ち災害防止対策の優先順位²⁾

図-2 トンネルにおける労働災害に関する分析結果³⁾図-3 標準的な設計、施工方法⁴⁾に基づいた支保工建込作業状況（上半）

時は切羽直下に作業員が侵入せざるを得ず、災害防止のためには切羽監視責任者と熟練作業員の経験と勘に頼らざるを得ない状況であった。

そこで①～④の作業を切羽へ侵入することなく行うことを実現すべく、古河ロックドリル製エレクター一体型吹付ロボット（MTH1220 型）をベースに「鋼製支保工建込ロボット ROBOARCH（ロボアーチ）」（NETIS 登録番号 KT-230301-A）を開発し現場導入を行った。本稿が肌落ち災害減少の一助となれば幸いである。

2. 開発技術の説明

図-4 に開発技術の全体イメージを示す。支保工建込作業（上半）における切羽への立入禁止を実現するためには、測量方法、エレクター一体型吹付ロボット、支保部材、作業手順についての開発が必要であった。以下詳細に説明する。

(1) 自動追尾式トータルステーションと高性能エレクター一体型吹付ロボットの連動

主に①測量レーザー光目視確認、②高さ、幅の調整

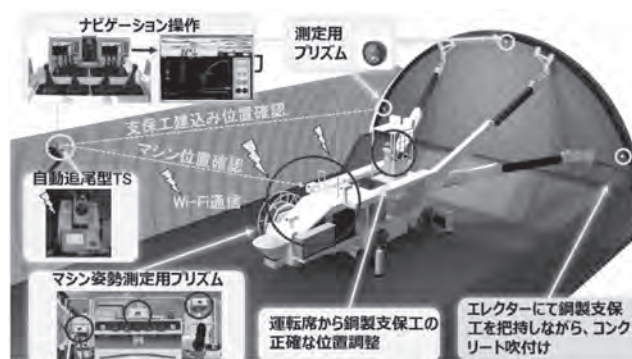


図-4 開発技術による支保工建込状況

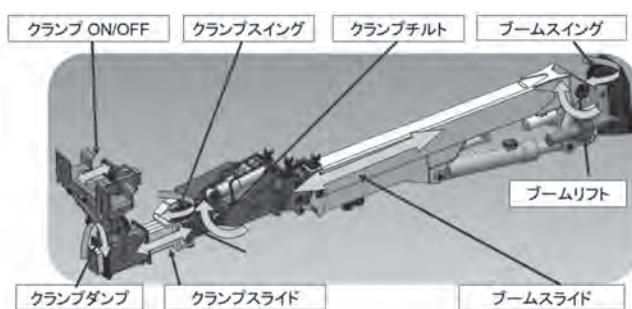


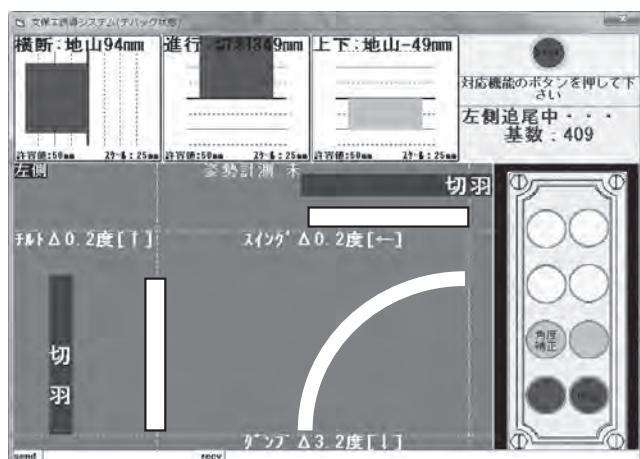
図-5 ブーム各関節とセンサー



図-6 マグネット基台付きプリズム

作業を遠隔化するために、坑内に設置された自動追尾式トータルステーション（以下 TS）と、マシン位置姿勢計測プリズムおよびブーム各関節に角度、伸縮センサーが内蔵（図-5）され、微小動作モードを備えた高性能エレクター一体型吹付ロボット（以下ロボット）を連動制御する手法を採用した。

まず、TS によりマシン位置姿勢計測プリズムが計測され、ロボットの位置と姿勢が計測される。その後 TS は支保工の所定位置に取り付けられたマグネット基台付きプリズム（図-6）の自動追尾を開始し、プリズム座標値を基に建込む支保工と設計値との差をリ



図一七 運転席表示画面

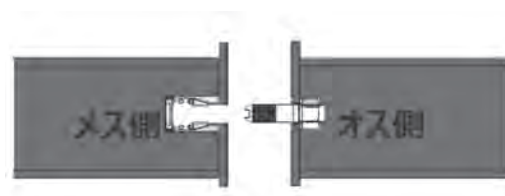


図一八 プリズム回収用ウインチとワイヤー

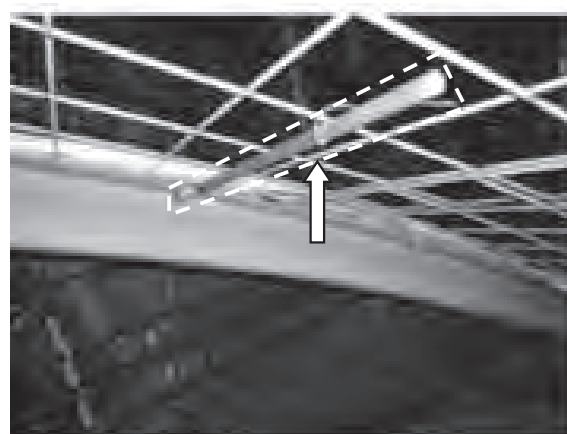
アルタイムに運転席モニター（図一七）に表示する。さらにロボット姿勢とブームセンサー値を合成し、支保工とトンネル設計値との角度差もリアルタイム算出、表示され、作業員は切羽に侵入することなく支保工の高さ、幅、傾きの数値確認が可能となり、微小動作モードにより位置調整が素早く行える。マグネット基台付きプリズムは支保工キャッチ部に備えられたウインチとワイヤー（図一八）により吹付開始前に自動回収が可能となっている。

(2) 自動建込用鋼製支保工

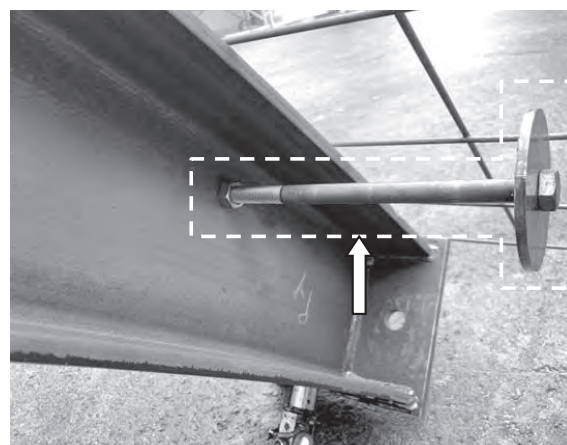
さらに③天端ボルト締結、④金網、つなぎ材設置を遠隔化するために自動建込用鋼製支保工を開発した。天端部にはクイックジョイント（図一九）を備え、作業員によるボルトナット締結作業を省略することができる。また金網をロボットの後方駐機中に支保工に一体化することを可能にするため、金網のたわみ防止材を備えている（図一十）。さらにH鋼ウェブ部から坑口方向に延びる頭付きアンカー（図一十一）を片側3～5本（支保工サイズにより異なる）備え、坑口側の既設支保工と締結することなく吹付コンクリート内に



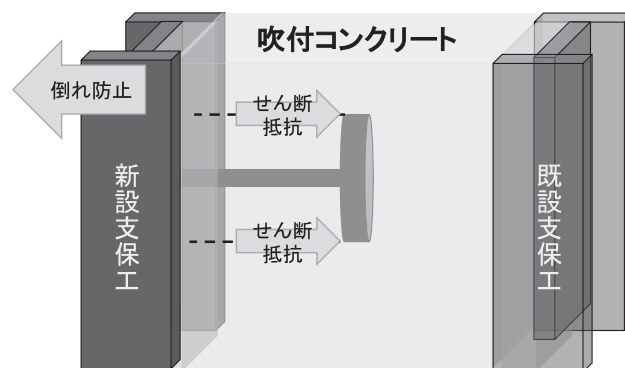
図一九 天端部クイックジョイント



図一十 金網たわみ防止材



図一十一 頭付きアンカー



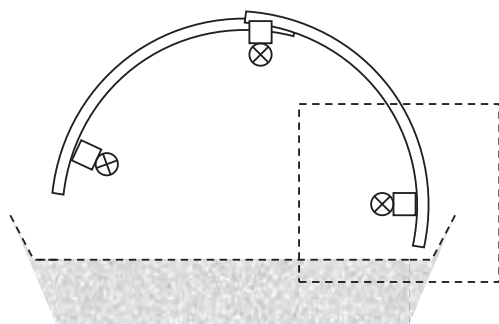
図一十二 頭付きアンカーによる倒れ防止状況

呑ませる（図一十二）ことにより支保工の倒れ防止を実現している。

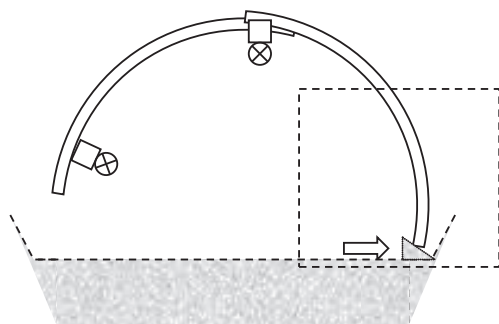
(3) 作業手順

切羽への立入禁止を実現するために、作業手順についても開発が必要であった。様々な試行錯誤を経て、下記手順を採用した。カッコ内の所要時間は導入現場における平均的な数値（CⅡパターン 60 m² クラス）である。標準的な手順との大きな相違点は天端締結前に根足の位置を決め、皿板（支保工の高さ調整のためのスペーサー）に代わり吹付コンクリートを吹き込むという点である。

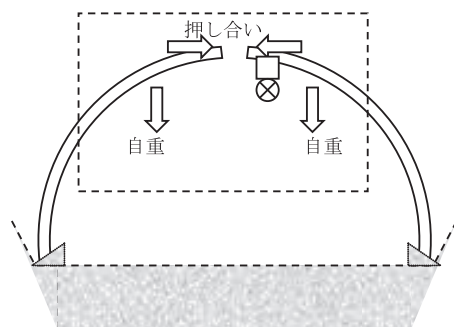
- (a) 右側の根足位置を画面表示に従い調整する（所要時間 1 分 30 秒）（図—13）。
- (b) 根足位置確定の後にプリズムをウインチで回収し、皿板の代わりに支保工重量を吹付コンクリートで支えるために右根足部分に吹付コンクリートを吹き込み支保工根足部を支える（図—14）。



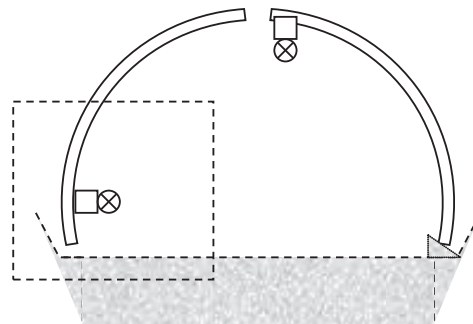
図—13 右根足調整



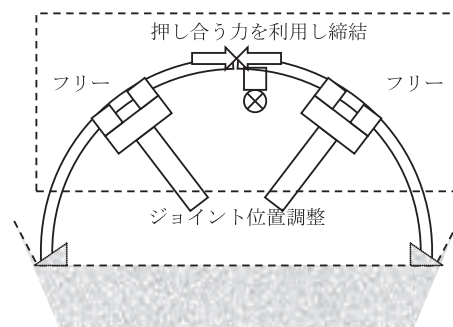
図—14 右根足吹付



図—15 左根足調整

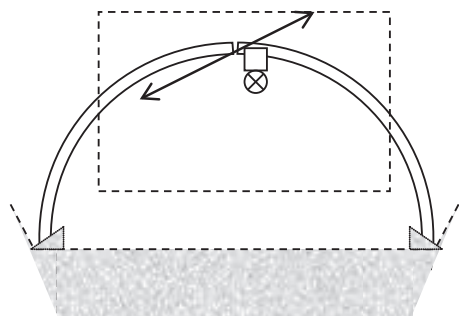


図—16 左根足吹付



図—17 締結

- (c) 右根足吹付中に左根足位置を画面表示に従い調整する（所要時間 4 分 30 秒）（図—15）。
- (d) 右根足と同様に左根足部分を吹付コンクリートで支える（図—16）。
- (e) 左根足吹付が完了間近になると、天端締結を開始する。天端締結はエレクターブームで左右から押し込むというより、根足部で支えられた支保工が自重でジョイントを押し込んで締結しているイメージである。このとき、エレクターブームの支保工クランプはフリーであり、支保工の動きをガイドする役目を果たしている（所要時間 6 分 20 秒）（図—17）。
- (f) 締結後は、天端の進行方向調整を行い、プリズムを外した後にアーチ部吹付を開始する（所要時間 7 分 50 秒）（図—18）。



図—18 進行調整

※注意：つなぎ材は存在しないため，エレクトラブームで把持を続け，吹付で自立可能な状況までブーム運転席にオペがいる必要がある。

3. 効果

開発技術を複数のトンネル工事現場に適用した結果，以下の結果を得た。

(1) 安全性向上

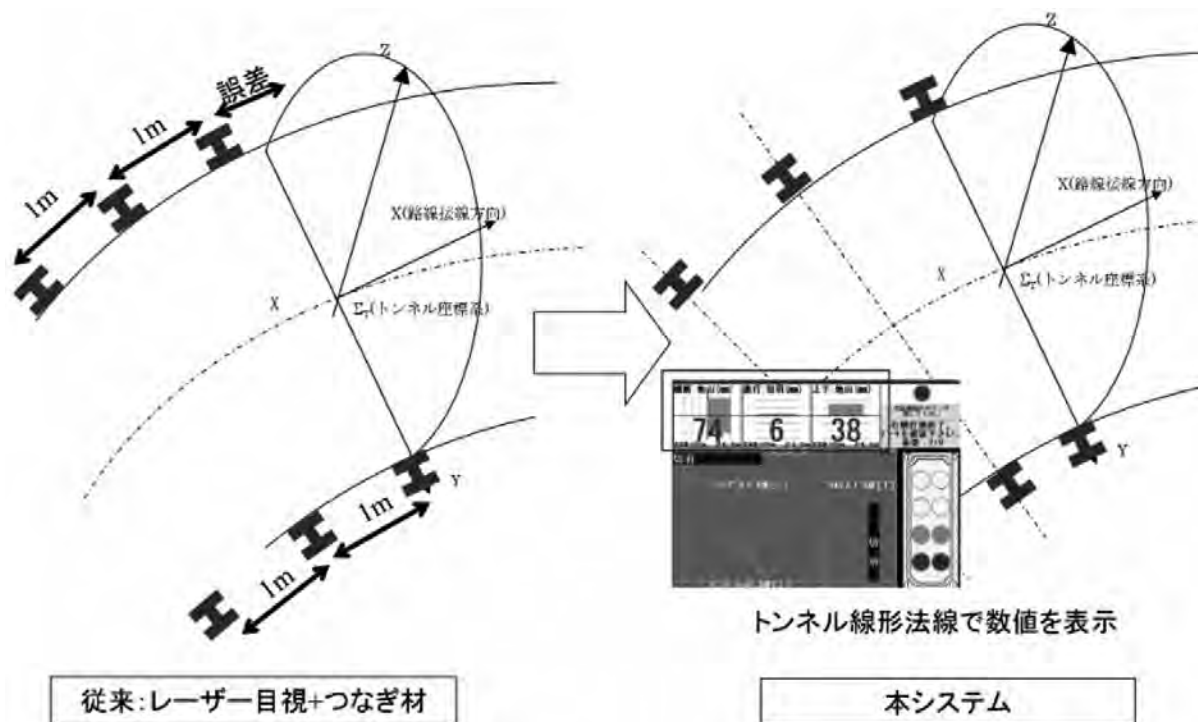
作業員は、「開発技術を使用したほうが安全である」と評価しており，実験，試験施工という認識はなく従来手法に代わり施工を行っている。GL 記載の「切羽における作業はできる限り機械等で行うようにし，既に一般化している浮石落しの機械化や機械掘削の採用にとどまらず，例えば，装薬作業の遠隔化，支保工建込み作業等の完全な機械化等を積極的に進めること。」に照らすと，上半支保工の施工に際し，一切切羽に立ち入らず施工が可能であり，現場の標準的な施工方法として採用できる技術である。

(2) 生産性向上

CII パターンにおける標準的な施工時間で，一次吹き完了から二次吹き開始までが7分50秒で完了しており，CII 発破掘削標準サイクル⁵⁾30分（支保工準備10分，建込20分）と比較し約22分/基の低減効果が見込まれ，国土交通省が進める i-Construction による生産性向上の観点から見た効果も備えている。

(3) 支保工建て込み精度の向上

つなぎ材を用いることなく進行，幅，高さ全てを座標管理することの効果として，図—19に示すような，曲線部に見られるトンネルの歩み誤差に起因する支保工位置ずれが解消された。座標管理の効果は斜坑門における支保工建込みににおいてより顕著な効果を発揮⁶⁾するが，地山の無い空間に設置されるため倒れ防止にはつなぎ材の設置が必要となる（図—20，21）。



図—19 トンネルの歩み誤差に起因する支保工位置ずれの解消効果

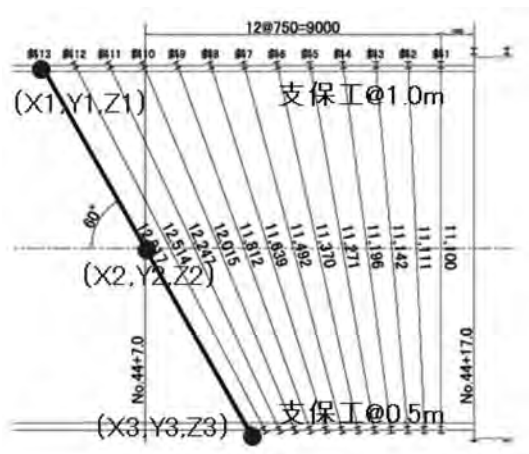


図-20 斜坑門における支保工設置位置



図-21 開発技術による斜坑門施工状況

4. 課題

拡幅断面に開発技術を適用する場合、TSを拡幅側根足マグネット基台付きプリズムの視通がとれる位置に設置する必要がある、測量作業が増大する。また下半支保工の設置に関しては①クイックジョイントを重力に反する方向に差し込むことの困難性、②肌落ち発生時の落石が持つ位置エネルギーが上半と比較し低いこと、により導入が見送られているが、今後の開発課題として取り組む所存である。

5. おわりに

以上、「鋼製支保工建込ロボット ROBOARCH (ロボアーチ)」を開発、導入した結果、以下の知見を得た。

- (1) 支保工建込み作業 (上半) において、切羽への侵入人数をゼロにすることを実現した。
- (2) 開発技術により CII 発破掘削、60 m² クラス断面において、22 分 / 基の時間低減効果を確認した。
- (3) 拡幅断面、下半等の施工への適用には更なる開発が必要である。

謝 辞

共同開発者である古河ロックドリル(株)の各位には様々な機器開発のご協力を頂いた。また専用支保工の開発に当たっては(株)マシノの各位よりご協力を頂いた。ここに深甚なる感謝の意を表するとともに、厚く御礼申し上げる次第である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 菊池二二年, 横山英樹, 石田誠一, 吉川直孝, 三浦正博, 西田進, 木部哲実, 武田正実, 岩下秀伸, 森崎達之助, 池田康浩: トンネル工事における肌落ち労働災害防止のハンドブックその2, (一社) 日本トンネル専門工事業協会, 2012.
- 2) 吉川直孝, 大幡勝利, 平岡伸隆, 濱島京子, 清水尚憲, 豊澤康男: トンネル建設工事における設計段階からの安全衛生対策の検討, 「労働安全衛生研究」, Vol. 13, No. 1, pp. 79-84, 2020.
- 3) 吉川直孝, 伊藤和也, 堀智仁, 玉手聡, 豊澤康男: トンネル切羽の肌落ちによる死傷災害の調査分析と安定対策の検討, 土木学会論文集 F6, Vol. 67, No. 2, pp. I_125-I_130, 2011.
- 4) (公社) 土木学会編: 2016 年制定 トンネル標準示方書 [共通編]・同解説/[山岳工法編]・同解説, (公社) 土木学会, 2016.
- 5) 国土交通省: 土木工事積算基準, 建設物価調査会, 2007.
- 6) 賀川昌純, 五對将之, 水谷和彦, 高原克己: 偏圧地形坑口の斜め支保工を切羽無人化建込みロボットで施工ー県道吉間田滝根線広瀬1号トンネル工事ー, トンネルと地下, Vol. 51, No. 4, 土木工学社, pp. 57-66, 2020.4

【筆者紹介】

宮原 宏史 (みやはら ひろふみ)
マック(株)
代表取締役



|| 投稿論文 ||

低自由度モデルによる建設機械用エンジンの
排ガス後処理装置と油圧ポンプの振動解析明井 政博¹・杉本 和馬²・岸裏 雅登³¹ ヤンマーパワーテクノロジー(株) (〒526-0111 滋賀県長浜市川道町 1009-2)

E-mail: masahiro_akei@yanmar.com

² ヤンマーパワーテクノロジー(株) (〒526-0111 滋賀県長浜市川道町 1009-2)

E-mail: kazuma_sugimoto@yanmar.com

³ ヤンマーパワーテクノロジー(株) (〒526-0111 滋賀県長浜市川道町 1009-2)

E-mail: masato_kishiura@yanmar.com

本論文では、建設機械に搭載されるディーゼルエンジンの排ガス後処理装置と油圧ポンプの振動特性をエンジンの搭載設計の初期段階で予測する手法について述べる。排気システムと油圧ポンプシステムおよびエンジン本体を3質点系の回転運動モデルで表現した。3質点モデルと3D CAE (Computer Aided Engineer-ing) の解析結果と解析時間を比較することにより、3質点モデルの妥当性と有効性を示した。

キーワード: Diesel engine, Coupled vibration, Exhaust-gas aftertreatment device, Hydraulic pump, Reduced model, Vibration analysis

1. 緒論

建設機械用ディーゼルエンジンの排ガス規制は、2013年に北米の Tier IV 規制、2019年に欧州 StageV 規制が導入され、Diesel Particulate Filter(以下、DPFと記す)などの排ガス後処理装置の装着が一般化している。DPFでは、排ガス中の粒子状物質(Particulate Matter, 以下、PMと記す)をフィルター部で捕集し、堆積したPMの燃焼処理(再生処理)をおこなう。再生性能の観点からエンジンの排ガス温度の低下をできるだけ抑えるために排ガス後処理装置をエンジンに直接支持する構造を採用することが多い。排ガス後処理装置をエンジンに直接支持する場合、エンジンのシリンダ内の燃焼圧力や往復動部の慣性力により発生した次数成分の加振力と排ガス後処理装置を支持する構造体(以下、排気システムと記す)の固有振動数の一致により共振が発生することがある。この共振は、しばしば排気システムの耐久性に影響を与える¹⁾。さらに、排ガス後処理装置の搭載レイアウトによっては、油圧ポンプ部の支持構造体(以下、油圧ポンプシステムと記す)の振動モードと連成振動がおこる。

エンジンメーカーは、排気システムの設計を担うが、油圧ポンプシステムは車体メーカーの設計領域である。したがって、排気システムと油圧ポンプシステムの連成振動

を設計段階で予測するためにはエンジンメーカーと車体メーカーが共同で取り組む必要がある。

建設機械用のエンジンの搭載設計では、車体メーカーとエンジンメーカーが情報を交換し、車体メーカーで吸気、排気、冷却、動力取り出し部などのエンジンと車体のインターフェースの設計をおこなう。エンジンを搭載した後に品質目標を満足できない場合は車体メーカーとエンジンメーカー共に大きな開発の手戻りにつながるため、エンジンの搭載設計の初期に設計の方向性を判断することが重要である。近年、製品開発の現場では、初期段階での設計手法として、1D CAE(1D Computer Aided Engineering)を活用する取り組みがおこなわれている^{2), 3)}。1D CAEとは、シンプルな物理モデルを用いることにより開発の初期段階でシステム全体を評価する設計支援方法である。エンジンの搭載設計においてもエンジンメーカーと車体メーカーが開発初期段階で、エンジンを搭載した時の性能、品質を予測できる手法が求められる。

本論文では、排気システムと油圧ポンプシステムの連成振動の振動特性をエンジンの搭載設計の初期段階で予測する手法について述べる。排気システムと油圧ポンプシステムおよびエンジン本体を3質点系の回転運動モデルで表現する。さらに、3質点モデルと3D CAEの解析結果および解析時間を比較することによりモデルの妥当

性と有効性の確認をおこなった。

2. 方法

2.1 開発プロセスと提案手法

本論文で提案する手法を用いた開発プロセスを図-1に示す。上部が従来の開発プロセスであり、下部が提案手法を用いた開発プロセスである。従来のプロセスでは、車体メーカは、エンジン仕様の選定が終わった後、エンジンとのインターフェースの設計をおこなう。車体メーカで設計が完了した後、エンジンメーカに3Dモデルを渡し、エンジンメーカは、品質確認のために詳細解析をおこなっていた。詳細解析の結果を用いて、エンジン側と車体側で設計、解析の試行錯誤を繰り返す。下部に示す提案手法を用いたプロセスでは、エンジンメーカは、エンジン仕様の選定終了後、車体側の設計パラメータを用いて、シンプルな解析を短時間でおこない、設計の方向性を判断する。設計初期の段階で設計の良否を判断しているため詳細設計段階での試行錯誤がなくなり、開発の効率化につながる。

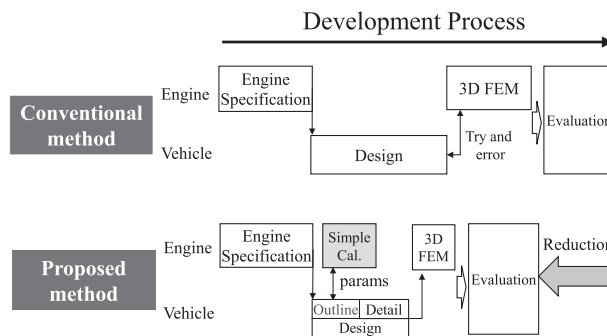


図-1 開発プロセスと提案手法

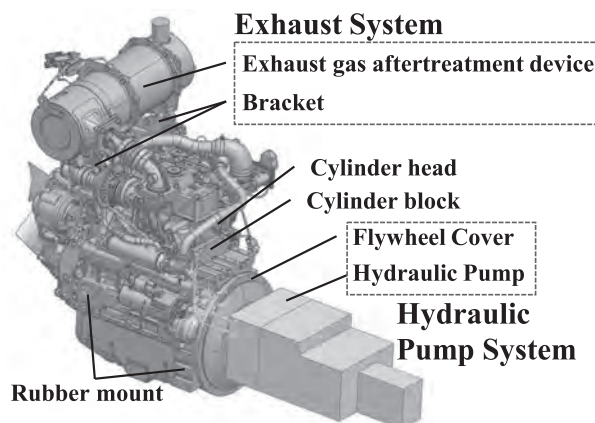


図-2 エンジン構造

2.2 低自由度化の指針

エンジンが車体に搭載された時の構造を図-2に示す。エンジン全体は、防振ゴムで支持されている。排ガス後処理装置は、ブラケットを介してシリンダヘッドに直接取り付けられている。また、油圧ポンプは、フライホイールカバーに片持ちで支持されている。通常フライホイールカバーと油圧ポンプは車体メーカの設計領域である。本論文で提案する低自由度化の指針を示す。図-3のように後処理装置、エンジン本体、油圧ポンプを質点とした3質点系のモデルに置き換える。

油圧ポンプは、片持ちで支持されているため、油圧ポンプが上下方向と左右方向に動く二つの振動モードが低次に現れる。また、後処理装置の中心軸をエンジン左右方向に対して平行に後処理装置を配置した場合、後処理装置が前後に動く振動モードが現れる。この後処理装置が前後に動く振動モードと油圧ポンプが上下に動く振動モードが連成する。それらの運動を表現するために pitching 方向の回転運動モデルとした。

2.3 3質点モデルの定式化

図-4のような3質点モデルを考える。エンジン本体を質点1とし、質点1の重心位置を原点と定義する。質点1には、トルク T が作用し、排気システムを質点2、油圧ポンプシステムを質点3とする。質点1は、回転バネ剛性 k_1 と回転減衰 c_1 で地面に取り付けられている。

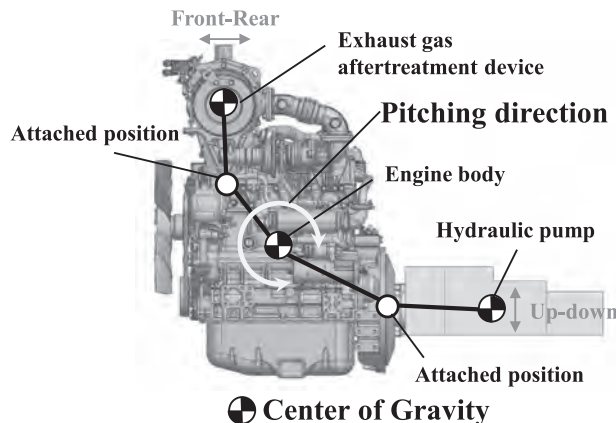


図-3 3質点モデル化の指針

質点2, 3は、それぞれ回転バネ剛性 k_2, k_3 と回転減衰 c_2, c_3 で質点1の重心からそれぞれ l_{12}, l_{13} の位置で結合している。各質点の重心位置の座標をそれぞれ $x_{1g}, y_{1g}, x_{2g}, y_{2g}, x_{3g}, y_{3g}$ とすると運動エネルギー K は、以下となる。

$$K = \frac{1}{2} I_1 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} I_2 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2)^2 + \frac{1}{2} m_2 (\dot{x}_{2g}^2 + \dot{y}_{2g}^2) + \frac{1}{2} I_3 (\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_3)^2 + \frac{1}{2} m_3 (\dot{x}_{3g}^2 + \dot{y}_{3g}^2) \quad (1)$$

ここで、

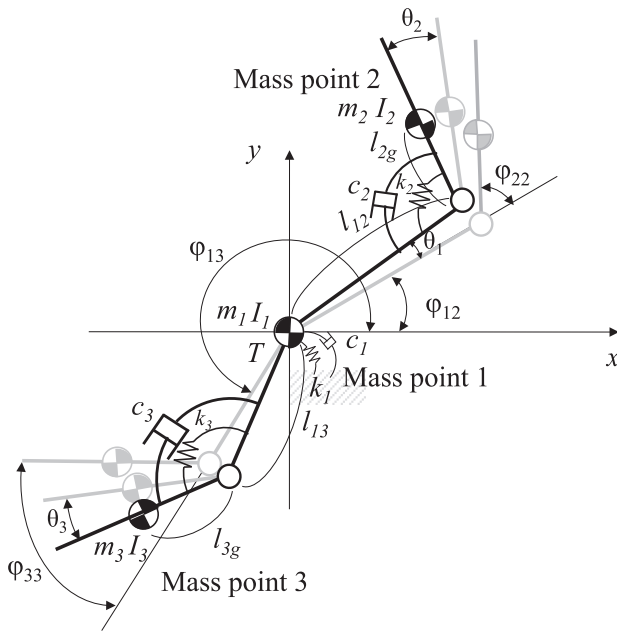


図-4 3質点モデル

I_1, I_2, I_3 : 各質点の重心回りの慣性モーメント

m_1, m_2, m_3 : 各質点の質量

$\theta_1, \theta_2, \theta_3$: 各質点の角変位

である。質点2および質点3の重心位置の速度は、

$$\begin{aligned} \dot{x}_{2g} = & -l_{12}\dot{\theta}_1\sin(\varphi_{12}+\theta_1) \\ & -(\dot{\theta}_1+\dot{\theta}_2)l_{2g}\sin(\varphi_{12}+\theta_1+\varphi_{22}+\theta_2) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \dot{y}_{2g} = & l_{12}\dot{\theta}_1\cos(\varphi_{12}+\theta_1) \\ & +(\dot{\theta}_1+\dot{\theta}_2)l_{2g}\cos(\varphi_{12}+\theta_1+\varphi_{22}+\theta_2) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_{3g} = & -l_{13}\dot{\theta}_1\sin(\varphi_{13}+\theta_1) \\ & -(\dot{\theta}_1+\dot{\theta}_3)l_{3g}\sin(\varphi_{13}+\theta_1+\varphi_{33}+\theta_3) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \dot{y}_{3g} = & l_{13}\dot{\theta}_1\cos(\varphi_{13}+\theta_1) \\ & +(\dot{\theta}_1+\dot{\theta}_3)l_{3g}\cos(\varphi_{13}+\theta_1+\varphi_{33}+\theta_3) \end{aligned} \quad (5)$$

となる。ここで、

l_{2g}, l_{3g} : 質点2, 3の取り付け点から重心までの距離

$\varphi_{12}, \varphi_{13}$: 質点1と質点2, 3の取り付け角度

$\varphi_{22}, \varphi_{33}$: 質点2, 3の取り付け点と重心位置の角度である。

式(1)に式(2)～(5)を代入し、 θ_1, θ_2 を微小振動とした場合、 θ_1, θ_2 とその微分の2次の項までの近似とすると、運動エネルギー K は、

$$\begin{aligned} K = & \frac{1}{2}I_1\dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2}(I_2+m_2l_{2g}^2)(\dot{\theta}_1+\dot{\theta}_2)^2 \\ & + \frac{1}{2}m_2l_{12}^2\dot{\theta}_1^2 + m_2l_{12}l_{2g}\dot{\theta}_1(\dot{\theta}_1+\dot{\theta}_2)\cos\varphi_{22} \\ & + \frac{1}{2}(I_3+m_3l_{3g}^2)(\dot{\theta}_1+\dot{\theta}_3)^2 + \frac{1}{2}m_3l_{13}^2\dot{\theta}_1^2 \\ & + m_3l_{13}l_{3g}\dot{\theta}_1(\dot{\theta}_1+\dot{\theta}_3)\cos\varphi_{33} \end{aligned} \quad (6)$$

となる。ポテンシャルエネルギー U は、以下となる。

$$U = \frac{1}{2}k_1\theta_1^2 + \frac{1}{2}k_2\theta_2^2 + \frac{1}{2}k_3\theta_3^2 \quad (7)$$

散逸エネルギー D は、

$$D = \frac{1}{2}c_1\dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2}c_2\dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2}c_3\dot{\theta}_3^2 \quad (8)$$

となる。

ここで、ラグランジュ運動方程式は、ラグランジアン $L=K-U$ 、散逸エネルギー D 、一般力 Q_i を用いて次式で表すことができる。

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_i}\right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_i} + \frac{\partial D}{\partial \dot{\theta}_i} = Q_i \quad (9)$$

式(6)～(8)を式(9)に代入すると、

$$\begin{aligned} & (I_1 + I_2 + m_2l_{2g}^2 + m_2l_{12}^2 + 2m_2l_{12}l_{2g}\cos\varphi_{22} \\ & + I_3 + m_3l_{3g}^2 + m_3l_{13}^2 + 2m_3l_{13}l_{3g}\cos\varphi_{33})\ddot{\theta}_1 \\ & + (I_2 + m_2l_{2g}^2 + m_2l_{12}l_{2g}\cos\varphi_{22})\ddot{\theta}_2 \\ & + (I_3 + m_3l_{3g}^2 + m_3l_{13}l_{3g}\cos\varphi_{33})\ddot{\theta}_3 \\ & + k_1\theta_1 + c_1\dot{\theta}_1 = T \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & (I_2 + m_2l_{2g}^2 + m_2l_{12}l_{2g}\cos\varphi_{22})\ddot{\theta}_1 \\ & + (I_2 + m_2l_{2g}^2)\ddot{\theta}_2 + k_2\theta_2 + c_2\dot{\theta}_2 = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} & (I_3 + m_3l_{3g}^2 + m_3l_{13}l_{3g}\cos\varphi_{33})\ddot{\theta}_1 \\ & + (I_3 + m_3l_{3g}^2)\ddot{\theta}_3 + k_3\theta_3 + c_3\dot{\theta}_3 = 0 \end{aligned} \quad (12)$$

で表現することができる。

$\theta_1 = \Theta_1 e^{j\omega t}, \theta_2 = \Theta_2 e^{j\omega t}, \theta_3 = \Theta_3 e^{j\omega t}, T = T_0 e^{j\omega t}$ とし、式(10)、

(11)、(12)を解くと

$$\Theta_1 = \frac{T}{\left((-\omega^2 A + c_1 j\omega + k_1) - \frac{B^2 \omega^4}{(-\omega^2 D + c_2 j\omega + k_2)} - \frac{C^2 \omega^4}{(-\omega^2 E + c_3 j\omega + k_3)} \right)} \quad (13)$$

$$\Theta_2 = \frac{B\omega^2}{(-\omega^2 D + c_2 j\omega + k_2)} \Theta_1 \quad (14)$$

$$\Theta_3 = \frac{C\omega^2}{(-\omega^2 E + c_3 j\omega + k_3)} \Theta_1 \quad (15)$$

となる。ここで、

$$\begin{aligned} A = & I_1 + I_2 + m_2l_{2g}^2 + m_2l_{12}^2 + 2m_2l_{12}l_{2g}\cos\varphi_{22} \\ & + I_3 + m_3l_{3g}^2 + m_3l_{13}^2 + 2m_3l_{13}l_{3g}\cos\varphi_{33} \end{aligned} \quad (16)$$

$$B = I_2 + m_2l_{2g}^2 + m_2l_{12}l_{2g}\cos\varphi_{22} \quad (17)$$

$$C = I_3 + m_3l_{3g}^2 + m_3l_{13}l_{3g}\cos\varphi_{33} \quad (18)$$

$$D = I_2 + m_2l_{2g}^2 \quad (19)$$

$$E = I_3 + m_3l_{3g}^2 \quad (20)$$

である。

2.4 各パラメータの入力

前節での定式化に従い各パラメータを入力すれば、各質点の振動応答を算出することができる。各質点の質量特性、取り付け位置は、3Dモデルから算出された設計値を入力する。減衰の値は、過去に加振試験などで実測した経験的な数字を用いて入力する。エンジンの支持剛性 k_1 は、エンジン全体の慣性モーメントと防振系の固有振動数から算出する。エンジンの防振系の固有振動数は、20 Hz以下に設定されることが多い。よって、防振系の固有振動数を20 Hzと仮定して、 k_1 を決定する。防振系の固有振動数とエンジンの全体の質量特性からエンジンの支持剛性 k_1 を算出する。排気システムの支持剛性 k_2 は、図-5に示す排気システムのみのサブシステムを考え、FEM(Finite Element Method)にて固有振動数を計算する。FEMで算出されたサブシステムの固有振動数、質量特性、支持点から重心までの距離を用いて、 k_2 を逆同定する。通常、開発済みのエンジンモデルを車体メーカーに供給することが多いため、あらかじめ k_2 を同定し、パラメータ化する。油圧ポンプシステムの支持剛性 k_3 は、車体メーカーごとに変更されるためにエンジンメーカーで同定することが困難である。そこでフライホイールカバーの設計パラメータから支持剛性 k_3 を推定する方法を検討した。推定方法の詳細を次節にて述べる。

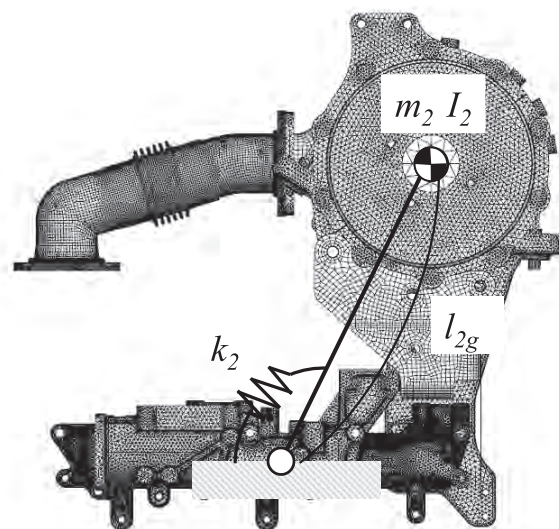


図-5 排気システムのみのサブシステム

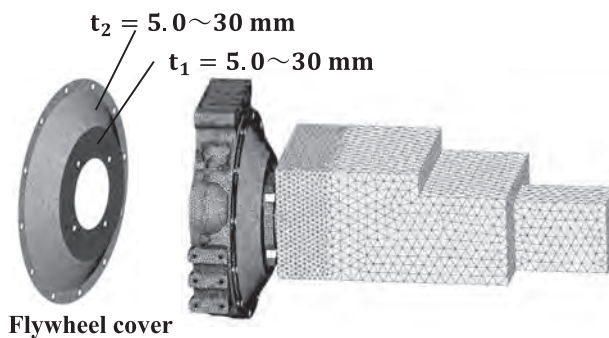


図-6 油圧ポンプシステムのみのサブシステム

2.5 油圧ポンプシステムの支持剛性の算出方法

前節で述べたように油圧ポンプシステムの支持剛性は、車体メーカーごとに異なるためにエンジンメーカーでは、車体メーカーの設計が完了するまで把握することができない。車体メーカーの設計初期に油圧ポンプシステムの支持剛性の目標をエンジンメーカーから提示することが望ましい。そこで、図-6に示す代表的な油圧ポンプシステムのサブモデルを作成し、FEMにて固有振動数を計算した。支持剛性に影響を与える形状パラメータとして、フライホイールカバーの径、肉厚、リブの有無などが考えられる。今回提案する低自由度化の計算手法は、設計初期の段階で使用する手法であるため、リブの有無は、検討対象外とした。事前検討によりフライホイールカバーの肉厚が固有振動数に対して感度が高いことが判明しているため、フライホイールカバーの肉厚をパラメータ化した。油圧ポンプ取り付け部 t_1 とそれ以外の肉厚 t_2 を代表寸法とした。 t_1 と t_2 をそれぞれ5 mmから30 mmまで5 mmおきに変更し、固有振動数を計算する。この時、質量、慣性モーメントは、一定値で計算をおこなった。

算出された固有振動数と代表寸法 t_1 、 t_2 との関係式を作成することにより支持剛性 k_3 を求める。油圧ポンプシステムの支持剛性とフライホイールカバーの形状寸法の

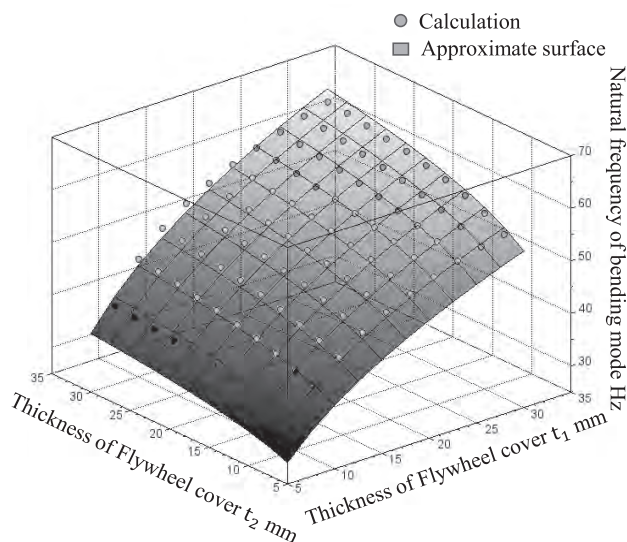


図-7 フライホイールカバーの形状寸法との固有振動数

関係を図-7に示す。プロット点は、各条件での固有振動数の解析結果である。各条件の解析結果を用いて、近似曲面を作成した。この近似曲面を用いることにより、 t_1 および t_2 から支持剛性を算出することができる。

また、フライホイールカバーの材質と油圧ポンプの取り

付けフランジ部の材質を変更し、固有振動数を計算する。フライホイールカバーのヤング率 E_{fvc} と油圧ポンプの取り付けフランジ部のヤング率 E_{hyp} を用いて、式(21)に示すような等価剛性 E_{eq} を用いた。

$$\frac{1}{E_{eq}} = \frac{1}{E_{fvc}} + \frac{1}{E_{hyp}} \quad (21)$$

図-8 は、等価剛性と固有振動数の関係を示す。プロット点は、解析結果であり、破線は、1/2 乗に比例する曲線である。等価剛性と固有振動数の関係は、1/2 乗に比例する関係であることがわかる。すなわち、フライホイールカバーと油圧ポンプの取り付けフランジ部の材質がわかれば、あらかじめ特定の材質で計算していたモデルとの剛性比から支持剛性を見積もることができる。

その他のパラメータとして、油圧ポンプの取り付けボルトの本数などが考えられる。本論文では、取り付けボルトの本数が4本の時を対象としている。取り付けボルトの本数が2本の場合、前述した油圧ポンプシステムの支持剛性とフライホイールカバーの形状寸法の関係を同様の手法で算出することが必要である。

2.6 低自由度化の精度と有効性の方法

3 質点モデルの精度を確認するために 3D CAE、すなわち FEM を用いて周波数応答解析をおこなった。FEM モデルを図-9 に示す。エンジン本体は、集中マ要素でモデル化する。排気システムと油圧ポンプシステムは、2 次元、3 次元要素を用いてモデル化する。エンジンは防振ゴムで支持されているためスプリング要素を介して拘束する。重心点にモーメントを負荷し、各周波数における各部の振動応答を解析した。周波数範囲は 1 ~ 200 Hz とした。

また、本手法の有効性を確認するために FEM と 3 質点モデルでの解析時間を比較した。

3. 結果と考察

3.1 3 質点モデルと 3D CAE の解析結果の比較

3 質点モデルで計算した振動応答を図-10 に示す。各部の振動応答は、三つの共振点が現れる。15 Hz 付近の共振は、防振系の共振であり、三つの質点が同位相で振動する剛体モードである。71 Hz の共振は、油圧ポンプシステムが主として振動する。この振動モードは、エンジン本体と排気システムと逆位相で振動する一節の振動モードである。また、116 Hz の振動モードは、エンジンと排気システム、油圧ポンプシステムが逆位相で振動する二節の振動モードとなる。

3 質点モデルと 3D CAE の振動角振幅の比較結果を図

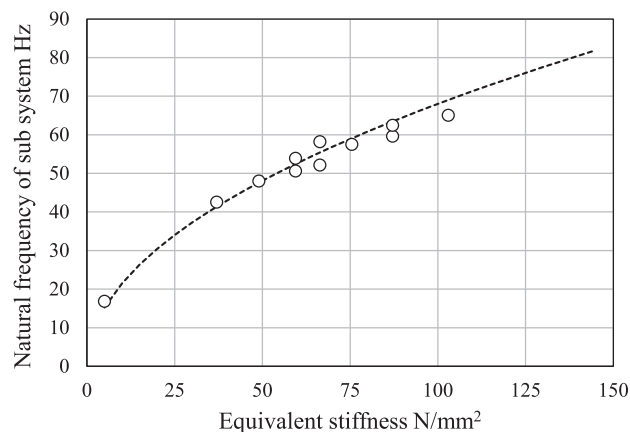


図-8 等価剛性と固有振動数

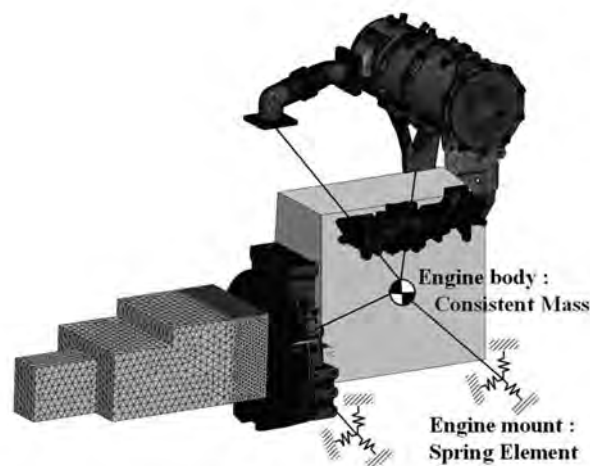


図-9 FEM モデル

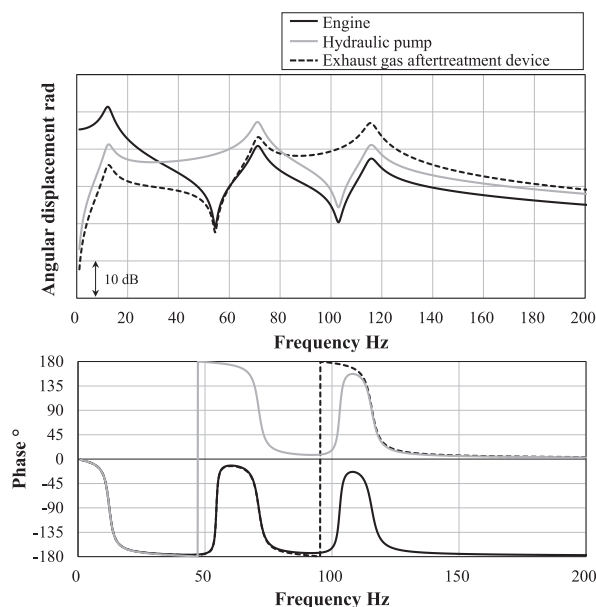


図-10 振動応答結果

-11 に示す。油圧ポンプシステムが主として振動する一節の共振周波数は、3 質点モデルで 71 Hz、3D CAE で 73 Hz となった。共振周波数の両者の誤差は、3%であっ

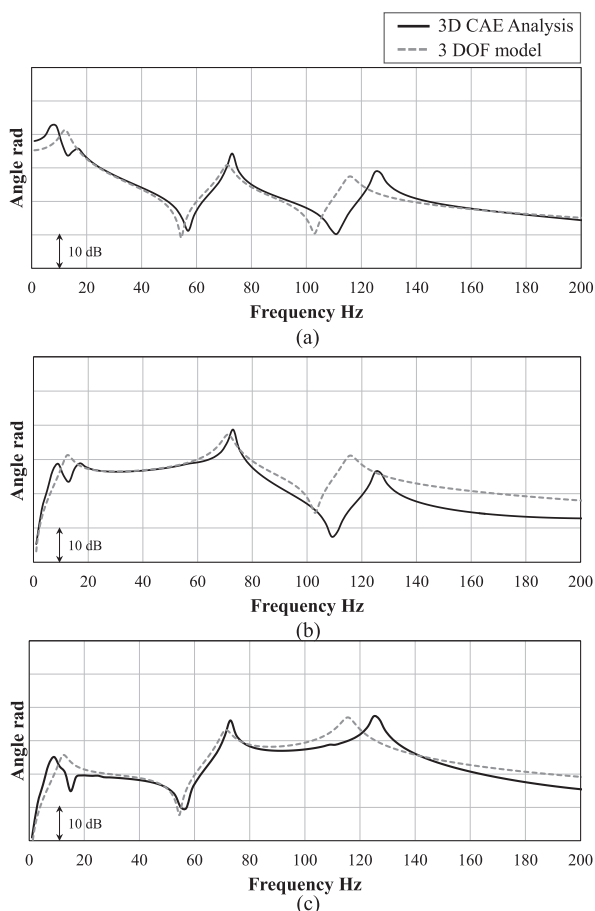


図-11 3質点モデルと3D CAEの計算結果の比較
(a) エンジン, (b) 油圧ポンプシステム, (c) 排気システム

た。エンジンと排気システム、油圧ポンプシステムが逆位相で振動する二節の共振は、3質点モデルで116 Hz、3D CAEで125 Hzとなった。共振周波数の両者の誤差は、7%であった。図-12は、各共振点での振動形態を示しており、いずれの共振点においても3質点モデルと3D CAEで振幅と位相がよく一致している。

以上より、エンジン、排気システム、油圧ポンプシステムを低自由度化した3質点モデルで、3D CAEと同等の結果を得ることができることを示した。

3.2 3質点モデルの有効性

図-13は、3D CAEと3質点モデルを用いた時の解析時間の比較である。解析時間は、1条件を計算に要する時間である。3質点モデルを用いた場合、3D CAEに比べて1/10以下の時間で計算することができる。解析結果が目標を満たさない場合は、試行錯誤を繰り返すため、図に示した時間の試行錯誤の回数に乗じた時間を要する。3質点モデルでは、CADを使って入力パラメータを算出する事前処理の時間が主で入力と同時に結果を算出することができる。また、使用する油圧ポンプの質量特性が決まれば、フライホイールカバー肉厚と使用する

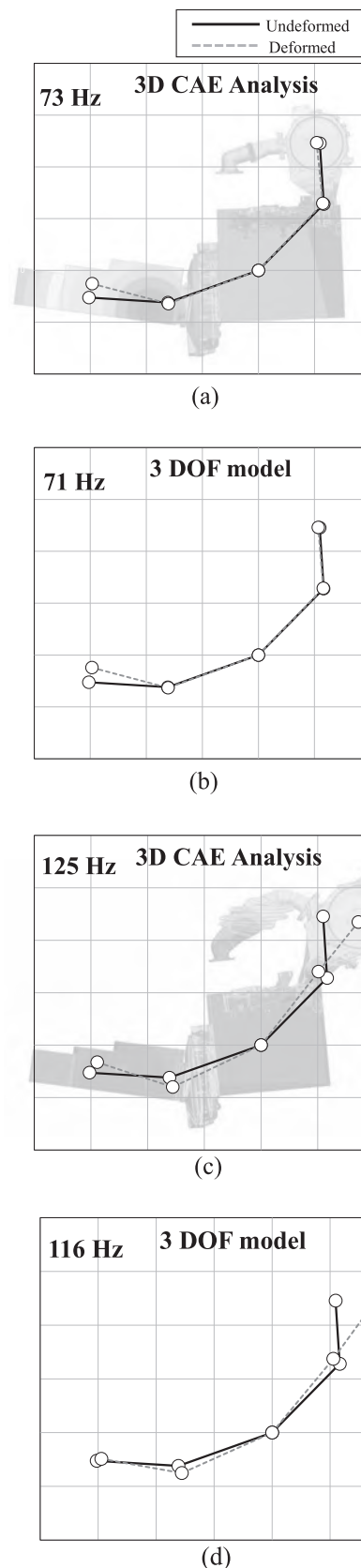


図-12 3質点モデルとFEMの計算結果の比較
(a) 3D CAE 73 Hz, (b) 3質点モデル 71 Hz,
(c) 3D CAE 125 Hz, (d) 3質点モデル 116 Hz

材料を瞬時に判断することができるため、大幅に開発効率を向上させることができる。

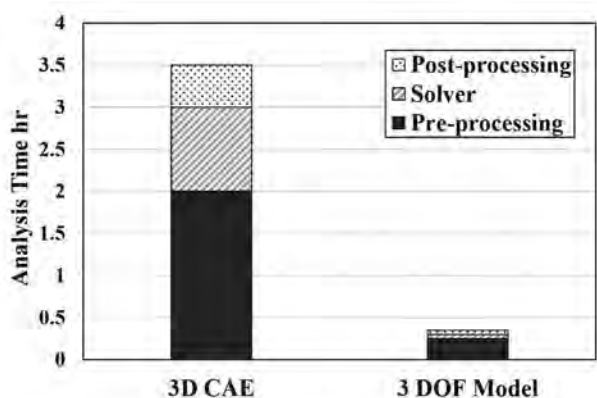


図-13 3 質点モデルと 3D CAE の解析時間の比較

4. 結論

本論文では、建設機械に搭載されるディーゼルエンジンの排ガス後処理装置と油圧ポンプの連成振動の振動特性を 3 質点系の回転運動モデルで表現し、エンジンの搭載設計の初期段階で予測する手法を提案した。以下に結論を記す。

- ・油圧ポンプの支持剛性を予測するために、支持構造体であるフライホイールカバーの代表寸法と材質をパラメータ化した。
- ・3 質点モデルと 3D CAE で固有振動数の誤差は、7% 以内であった。また、各共振点での振動形態は、振幅と位相がよく一致している。
- ・提案手法である 3 質点モデルを用いた場合、3D CAE に比べて 1/10 以下の時間で計算することができる。3 質点モデルを設計の初期段階で用いることにより、開発効率を向上することができる。

参考文献

- 1) 川下道宏, 大野孝之, 星暁生, 伊藤健児, 下平貴之, 熊井真次: 実機に搭載された多層ペローズ排気管の破損メカニズムの解明, 日本機械学会論文集, Vol.87, No.898, pp.21-35, 2021.
- 2) 大富浩一: 1DCAE によるものづくりとひとづくり～原理原則で考える 1DCAE ～, 精密工学会誌, Vol.89, No.2, pp.159-119, 2023.
- 3) 中西勝哉, 由潤稔: 1DCAE と 3D CAE の融合, 日本機械学会誌, Vol.120, No.1188, pp.30-31, 2017.

(2025.3.31 受付, 2025.7.23 採用決定)

VIBRATION ANALYSIS OF EXHAUST GAS AFTERTREATMENT DEVICE AND HYDRAULIC PUMP OF ENGINE FOR CONSTRUCTION MACHINE USING REDUCED ORDER MODEL

Masahiro AKEI¹, Kazuma SUGIMOTO² and Masato KISHIURA³

¹ Industrial Power Products Business, YANMAR POWER TECHNOLOGY CO., LTD.

² Industrial Power Products Business, YANMAR POWER TECHNOLOGY CO., LTD.

³ Industrial Power Products Business, YANMAR POWER TECHNOLOGY CO., LTD.

This paper describes a method for predicting the vibration characteristics of the coupled vibration that are the exhaust gas aftertreatment device and hydraulic pump. These devices are attached diesel engine that installed on construction machinery. The exhaust system, hydraulic pump system, and engine body are represented as 3 DOF system rotational motion model. The validity and effectiveness of the 3 DOF model was demonstrated by comparing with the analysis results and time of 3D Computer Aided Engineering (CAE).



TRD 工法協会設立 30 周年を迎えて 協会員の皆様と取り組んだ施工機と工法の改善

水 谷 元 彦

地中連続壁工法の1つである TRD 工法 (Trench cutting Re-mixing Deep wall method) であるが、1995 年の TRD 工法協会設立以降、協会員である施工会社と施工機メーカーが一緒になって工法の拡大とともに直面した数々の課題にチャレンジしてきた。それら課題の対策を施工ノウハウの充実化と周知活動、施工機械への機能 UP という形で解決し、今日までの安定した施工方法として確立してきた。本稿では施工機メーカー側の立場である筆者が関わってきたいくつかの開発事例を紹介し、TRD 工法 30 年の歴史を施工機性能向上という視点で振り返る。

キーワード：連続地中壁工法，施工管理，安全性向上

1. はじめに

2025 年 2 月 14 日、東京都内において TRD 工法協会設立 30 周年記念パーティが開催された。パーティには、発注者、学術団体、報道関係者などの多くのご来賓、協会員の参加のもと、盛況のうちに終わった。

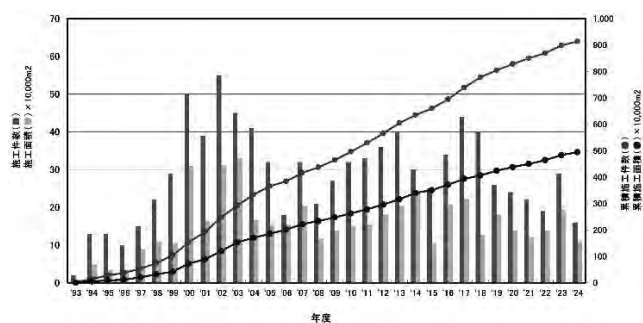
20～30 年前に初めて TRD 工法施工機を目にし、機械の組立や施工状態までの各種段取りおよび施工方法を、施工機の製造会社である我々とともに一から経験されてきた懐かしい方々とここまでの工法発展を共有することができ有意義な時間を過ごすことができた。30 年に及ぶ協会全体で施工技術の普及に努めた結果、今日までに多くの施工実績 (図—1) を積み重ねることができている。この過程における協会員、関係各位の計り知れないご尽力に対し、深い感慨と感謝を覚えるものである。パーティの中盤に主に工法黎明期に関わったメンバーの 1 人として恐縮ながら筆者も

拙い現場での思い出話をさせていただいたが、改めて 30 年間に直面してきた施工上の課題とその対応についていくつか紹介していく。

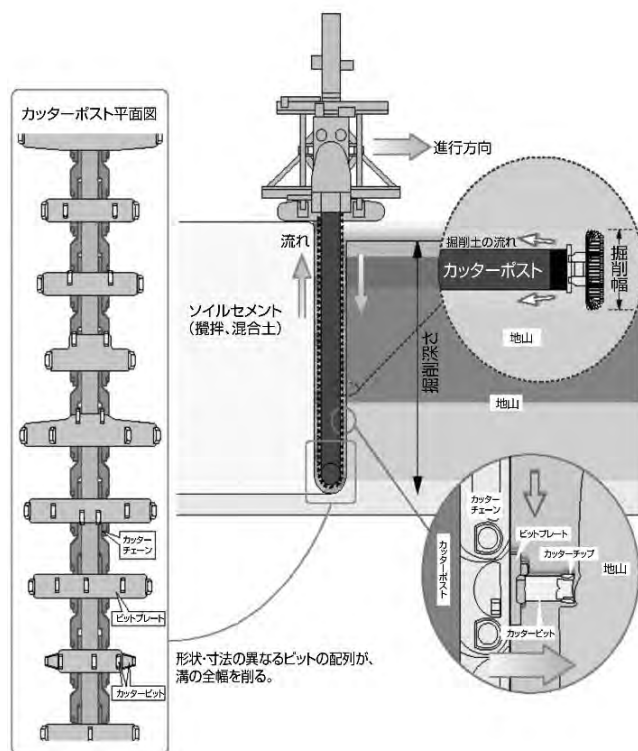
2. TRD 施工方法概要

TRD 工法は地中連続壁工法のうち、掘削対象地盤の土砂とセメント固化材を原位置で攪拌、固化させるソイルセメント連続壁工法の 1 つである。施工原理を図—2 に示すが、チェーンソウ状のアタッチメントを地中に鉛直に突き刺し、チェーンに取り付けたカタビットを主に横方向に押し付けることで等厚の溝を掘り進め、地盤土砂とチェーンソウ先端から吐出される固化材とを攪拌することで均質なソイルセメント壁を造成することができる。

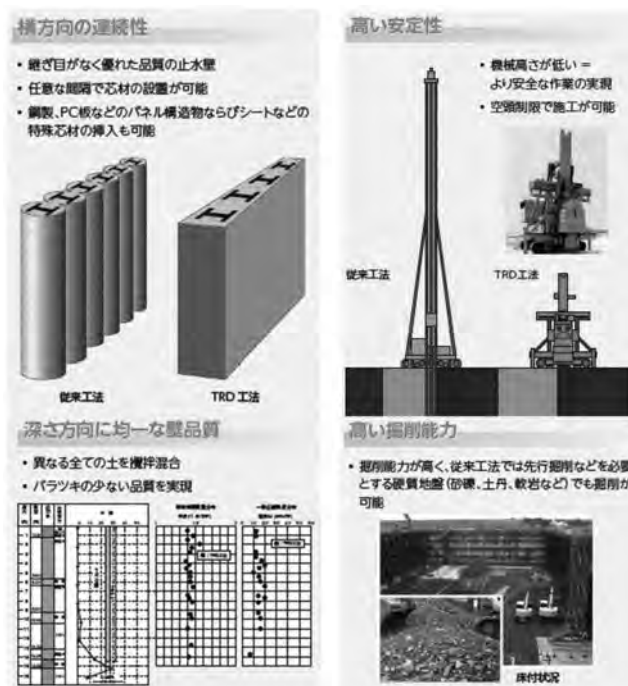
実際の施工では浅い施工深度時は掘削しながら造成も同時に行う 1 パス施工、一般的には地山掘削と造成とを分けて行う 3 パス施工が多く採用される。詳細の施工方法説明は協会 HP に動画等が UP されているのでご参照されたい。TRD 工法の特徴としては図—3 に示す通り、等厚の地中壁ができ、H 型鋼などの芯材間隔の自由度が高いこと、また地上から下端部までが複数の地層、土質に分かれていても掘削中に上下に攪拌することでの強度や透水係数等の均質性が高いこと、そして施工中は重心が地表より低く転倒絶無で安全性の点で非常にすぐれた工法となっている。デメリットとしては施工機特性上、地中壁が短いピッチで



図—1 TRD 工法の施工件数と施工面積推移*



図一 2 TRD 施工方法原理*



図一 3 TRD 工法の特徴*

表一 1 TRD 施工機の種類

機械名	壁厚	最大壁深度	総質量	平均接地圧
TRDⅠ型機	450~700mm	20m	64.3t (仕様 深度20m、壁厚450mm)	90kN/m ²
TRDⅡ型機	550~700mm	35m	140t (仕様 深度35m、壁厚550mm)	158kN/m ²
TRDⅢ型機	550~850mm	60m	162t (仕様 深度60m、壁厚550mm)	171kN/m ²

方向が変わるような狭い現場等で段取り時間が非常に多くなることである。

3. TRD 施工機

TRD 施工機は上記の TRD 工法のために特化した建設機械となっている。表一 1 に示す通り、対象施工深度、掘削幅別に 3 種類に大別される。

TRDⅠ型はショベル本体ベースの小型機で、低空頭仕様や地中控え護岸壁施工仕様等（写真一 1）のアタッチオプションがある。低空頭仕様は橋梁下の工事等、高さ制限がある現場に対応し、地中控え護岸壁施工仕様は河川の護岸工事において斜め形状の地中壁を造成するための専用アタッチメントとなっている（NETIS KT-980128）。

TRDⅡ型は 1992 年に最初に TRD 施工機として開発された機械でクローラークレーンがベースであり、ベースマシン中央にあるウインチから繰り出されるワイヤーにより掘進機構とカッターポストを昇降する機構



写真一 1 地中控え護岸壁施工時の TRDⅠ型*

となっている（写真二）。

TRDⅢ型は後述する TRDⅡ型での施工上の課題解決のために 1997 年に初号機が開発され、何度かのマイナーチェンジやオプション追加を繰り返し、TRD 施工機的主力機として今日に至っている（写真三）。



写真—2 TRD II型*



写真—3 TRD III型*

TRD 施工機の役割を機能的に説明すると大きく 4 つに大別される。

- 1) 地中に入ったカットポスト・チェーンを施工計画通りに横方向及び上下にガイドする機能
- 2) カットポストを地盤に対して横方向、上下方向に押し付ける機能とその反力を受け止めるための本体重量及び動力源
- 3) カッタチェーンを回転する機能及び動力源
- 4) 掘削状況の可視化機能（各種センサによる）

本稿では筆者が関わってきた TRD III 型における各種課題への対応を中心に説明をしていく。

4. TRD III 型開発経緯

前述の通り、工法協会設立前の 1992 年に TRD II 型（当時の呼称は TRD25）が開発され、市場に投入された。当時の呼称の通り、標準仕様での掘削深度は約 25 m である。この機械は通常のクローラクレーンのように機械中央部にウインチを備えたベースマシンがあり、写真—2 に示す通り、リーダ上部と掘進機構上部に多数のシーブを備え、ワイヤの巻き取り、繰り出しにより上下する機構を具備していた。

TRD 工法協会設立前後での施工深度は比較的低深度の現場が多かったが、実績を重ねるごとに案件によっては 35 m を超える深度や砂礫地盤を含む硬質地盤の現場も出てきており、主に下記の課題解決が急務となった。

- 1) 地中部分の掘削精度の可視化
- 2) 所定深度までの自力建込機能
- 3) 門型フレーム端部での昇降動作

次節より 1 つ 1 つの課題に対しての対応を説明する。

（1）地中部分の掘削精度の可視化

TRD II 型の標準深度以下で、かつ比較的軟らかい地盤であれば、面外変位も小さく、カットポスト中に

設置した二軸傾斜計の一点での測定でカットポストの面内面外の傾きを把握することで十分であったが、掘削深度が徐々に深くなり、かつ地盤が硬い場合等は施工が進むにつれて面外変位が大きくなり、横方向への掘削や、引き抜き時に土圧影響の大きな抵抗を受けることで施工効率の低下、最悪時にはカットポスト引き抜き、別工法で再度周辺地盤での建込穴掘削などで手戻りが生じる場合があった。

上記の問題に対してはカットポストの傾きや変位を複数の深度でリアルタイムに可視化するための新機能で対応することとなった。筆者が所属するコベルコ建機ではクレーンやショベルでも多くの種類の傾斜計やポテンショメータを用いてきていたが、TRD の施工精度を担保できる傾斜計は部品設定されておらず、精度及び耐振性を考慮して「地すべり計測用の多段傾斜計の複数利用」で対応することとした。

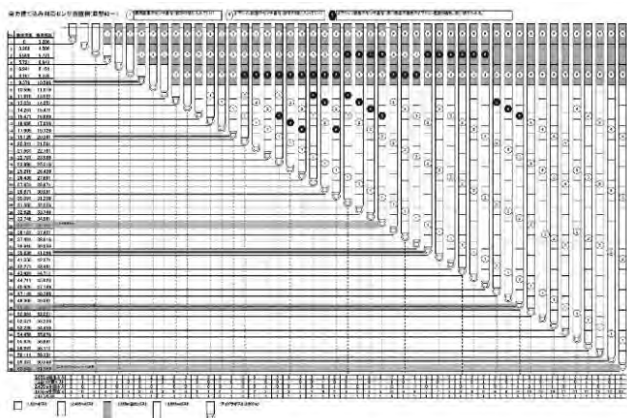
上記多段傾斜計は高粘度流体中に 2 軸の振り子の根元にひずみゲージを貼り合わせた構造を持った長い円筒状の傾斜計であり、 ± 5 度という狭い角度範囲ではあるが、TRD 施工で求められる面外精度 1/250 ~ 1/500 に対して 10 倍以上の分解能を持つもので TRD の測定には適したものだ。一方で取り扱いには注意が必要であり、運搬中の多段傾斜計の姿勢を維持し、かつキャリブレーションを行うための専用のトランクケースを準備した（写真—4）。

TRD III 型では図—4 に示すように 60 m までのカットポスト構成と地上の掘進機構に 1 個、地中のカットポスト内部に最大 6 個の計 7 個の多段傾斜計を搭載することとした。

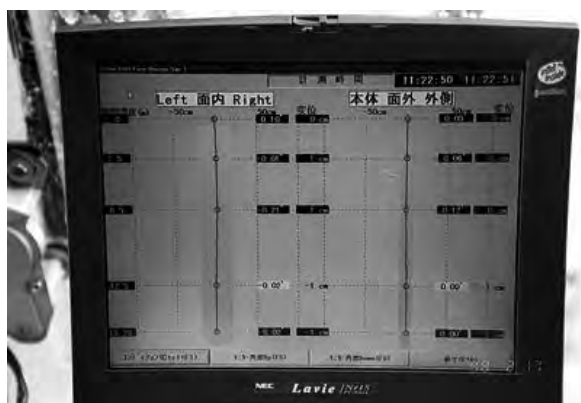
傾斜計信号はカットポストから運転席までアナログの多芯ケーブルで伝達され、運転席に装着された動歪み計を通じて運転席内部に設置されたノートパソコン



写真—4 多段傾斜計用専用トランクケース



図—4 掘削深度 60 m までのカッターポスト構成と多段傾斜計設置資料 (TRD III 型仕様書抜粋)



図—5 PFM モニタ画像例

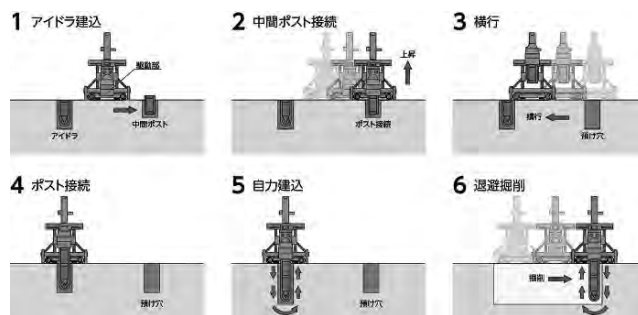
の専用ソフトにてオペレータにカッターポスト変形状態をリアルタイムにモニタ可能 (図—5) とした。これにより面外方向では壁精度を管理, 面内方向では地盤に対してのカッターポストを巧みに傾けて地盤に接触させることで 60 m を超える深度においても安定した掘削を実現できるようになった。

この機能はカッターポストフォルムモニター (以後 PFM) として TRD III 型の標準仕様として設定され, 当時先に市場に出ていた TRD II 型にも後付け採用された。

(2) 所定深度までの自力建込機能

TRD II 型では掘削開始時では全旋回等の他工法を用いて掘削深度までの建込穴を掘ったのちに, そこに何分割かに分けて組み立てられたチェーン付きのカッターポストを大型クローラークレーン等で建て込むやり方が一般的であった。この方法の利点は掘削開始時にカッターポストが土留め用ベントナイト液の中で地盤土圧を受けずに精度を保ったまま所定深度まで組立可能な点である。

しかしながら地中壁施工の始点において毎回他工法



図—6 カッターポストの自力建込工程イメージ※

が必要となることで施工全体のコスト増加及び工程期間的にも長くなることから, 「TRD 施工機のみで自力で所定掘削深度までを掘削できないか?」という要望が高まってきた。自力建込機能とは掘進機構にアイドラポスト, カッターポストを 1 本ずつ接続し, カッターポスト 1 本分の深さまで掘削し, 施工機が新しいカッターポストを接続した状態で地中にある掘削済みのカッターポストとを接続し, 所定深度までこの作業を繰り返す工程である (図—6)。

ワイヤ方式の TRD II 型でも自力建込は可能ではあったが, ワイヤ吊り下げでは自重以上の押し付け力をかけることができない。また現場条件で門型フレームの端部で建て込む場合においてはウインチから繰り出されたワイヤを斜めにかける必要があるが基本的には不可能である。

これらの課題克服のために TRD III 型ではウインチワイヤでの昇降ではなく, リードに取り付けられた 2 本の昇降スライドシリンダ (2 段式) により 5 m のストロークで掘進機構が上下できるようになった。また TRD II 型で存在したリード上端部のシーブブロックや掘進機構上部のシーブブロックも不要となり, 構造上もシンプルになる。

昇降シリンダの強力な引き抜き力は毎日の施工開始時に一晩のうちに地盤土圧で締められたカッターポストの縁切り作業時においても大きな力を発揮すること, また何よりも下方向にも荷重をかけられることで硬質地盤における自力建込掘削時に大きなアドバンテージを得ることになった。

(3) 門型フレーム端部での昇降動作

昇降スライドシリンダによる掘進機構の上下作業はウインチと違って門型フレーム端部での昇降動作も可能となり, 施工現場特性上敷地ギリギリ位置からの地中壁造成も可能となった。

5. 施工機メーカーによるソフト的な支援活動

TRDⅢ型の普及により、施工実績としては最大掘削深度 60 m を超える事例や硬質地盤における施工実績も増え始めた。現場開始前に協会の現場担当者からは主に下記の要請があり、施工機メーカーとして対応してきた。

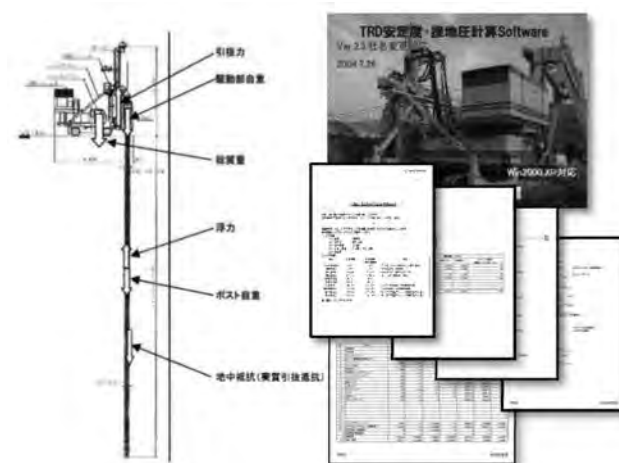
(1) 安定度計算 PC アプリケーション（施工機メーカー社内利用）

TRD 施工機の場合、接地面に一番圧力がかかるケースは毎日の施工開始時のカットポスの縁切作業時の昇降シリンダ出力最大時である（人が畑の大根を引き抜くときに地面を足で押し付ける原理と同じ）。またカットポスト長さや掘削液比重、門型フレームの左右位置等様々な条件を加味して平均接地圧、最大接地圧を計算し、協会のご依頼に対して回答してきた。はじめはエクセルマクロで計算していたが、社内的には PC アプリ化することで迅速かつ正確に回答できるようになった。現場ではこの接地圧計算値を参考に TRD 施工機の前側クローラ接地面等に必要に応じて低層地盤改良等を行う場合もあった（図一七）。

(2) 掘削性能推定 PC アプリケーション（協会向け）

現場実績が増えてくるとより深く、また硬質地盤での現場採用が増えてきた。そのような場合、TRD 施工機が 1 日にどのくらいのパフォーマンスを出せるかを事前に把握することが重要となる。1 日の施工量を決定するのは対象地盤における横方向の地山掘削速度が最も重要な指標となる。例えば深度が深く硬質な地盤の場合は 1 日単位での造成、地山掘削のパターンでなく、数日間地山掘削に集中し、ある程度の既掘削区間を確保したのちに、固化材投入しながらの造成作業を集約的に行い、その後再び複数日数の地山掘削を行うような施工計画を立てる場合もある。そこで当社では標準貫入試験結果と施工条件（掘削幅、掘削深度、対象施工機）を入力し、対象地盤においてどのくらいの水平方向の地山掘削速度を得られるかについて土質力学に基づく理論演算を行った。

当初は協会の問い合わせ毎にエクセルマクロに条件を入れて個別に回答してきたが、2002 年には各深度の土質と N 値を入力し、施工条件を設定すれば推定水平方向の掘削速度が算出できる TRDEST なる PC アプリケーション（図一八）を開発し、工法協会を通じて協会に配布した。理論演算ではあるが、各施工現場での施工実績での水平方向掘削速度（図一九）も

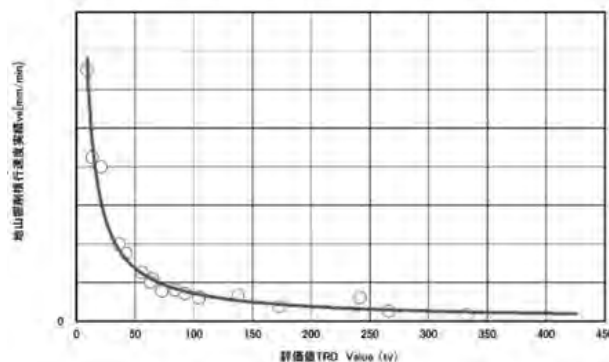


図一七 最大引張力発生時に TRD 施工機に加わる力の参考図と安定度計算ソフトウェアと計算結果例



図一八 TRDEST アプリケーションと計算結果事例

掘削性能推定評価値(TRD Value tv)と地山掘削横行速度veの関係(99.4.1更新版)



図一九 理論値と水平方向掘削速度の相関図

フィードバックし、一定の補正演算を行っている。

6. 掘削状況の可視化のさらなる改善

TRDⅢ型の導入後 5 年経過し、施工上の課題が顕在化したため施工機メーカーとして、施工モニタリングシステムの抜本的改善を図ったコベルコトータルモニタリングシステム（以後、KTMS）を開発した。KTMS の

可視化部分における改善項目のいくつかを紹介する。

- 1) 自力建込時の傾斜モニタリング機能強化
- 2) 多段傾斜計キャリブレーション機能強化
- 3) TRD 施工局面に最適化された支援機能

(1) 自力建込時の地中部傾斜モニタリング強化

TRDⅢ型が市場に投入され、自力建込によるカットポスト建込が普及したが、TRDⅢ型の初期の自力建込中は地上部分にある掘進機構の1か所の傾斜計角度を見ながら所定深度までのカットポストを掘り進めた後、面外方向に反った状態で建て込んでしまう事例があった。当時のアナログタイプのPFMシステム(多段傾斜計測定システム)は微弱なひずみゲージベースのアナログタイプであったため、絶縁不良リスクを少なくするために極力、コネクタによる接続部を減らした構成であった。そこで所定深度を掘った後に、数十mのケーブルと一体となった多段傾斜計を中間ロッドを挟みながら一気に挿入して通常施工時は複数の多段傾斜計によりモニタリングを実現してきた。

そこで2002年に多段傾斜計のデジタル化を図り、配線がデジタル2線式となり、絶縁不良リスクが大幅に低減したことで、1つ1つのカットポストに多段傾斜計や中間ケーブルを追加しながら自力建込を行うシステムに改善した。また後述記載の通り、自力建込の段取り用の専用画面(図-10)や自力建込掘削中の専用画面(図-11)も準備し、所定深度までカットポスト傾斜を確認、補正しながらの掘削を支援できるようになった。

(2) 多段傾斜計キャリブレーション機能強化

KTMS導入以前もアナログタイプのPFMにて写真-4に示すアルミトランクケースを用いたキャリブレーションを行っていたが、ゼロ点算出方法はシステム計測値と野帳を用いて手計算で導出後、システムに入力するやり方であった。KTMS導入時には図-12に示す多段傾斜計専用キャリブレーション画面で手順を追って多段傾斜計をトランクケースに設置しながらゼロ点計測およびシステムインプットをKTMSソフトウェア上で完結できるようになり、作業性の改善を図った。

(3) TRD 施工局面に最適化された支援機能

KTMSではTRD施工の日々の作業工程に合わせた専用画面を準備(図-13)し、次に示すような工程に応じた画面により最適な情報をオペレータに提供することでTRD施工をより円滑に進めることができるようになっていく。

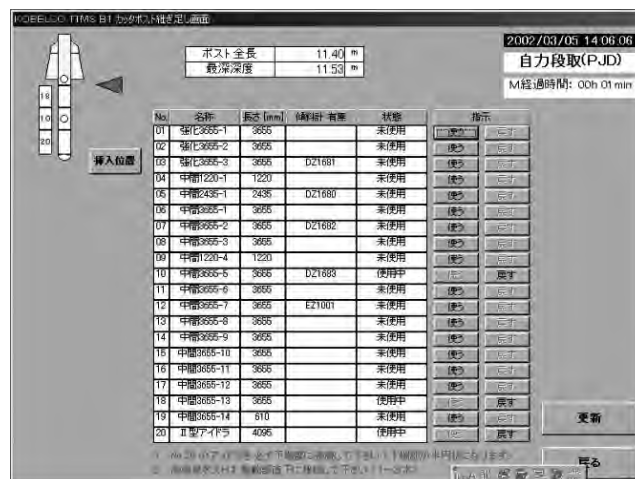


図-10 自力建込段取り画面事例



図-11 自力建込(貫入)画面事例

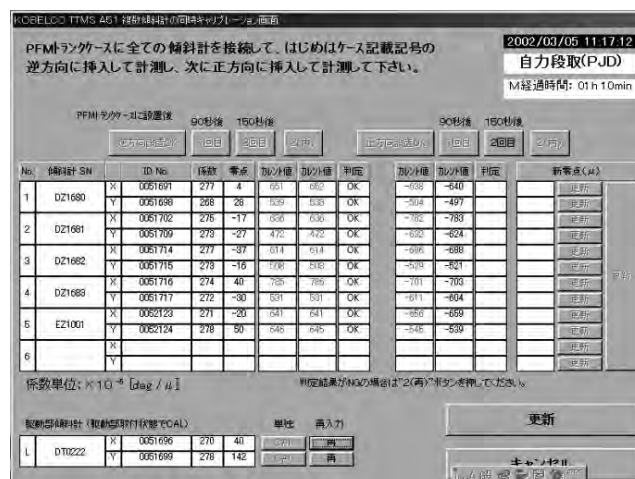


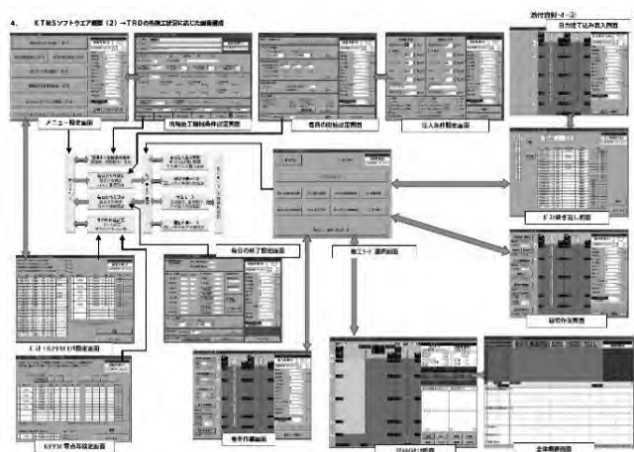
図-12 KTMS 多段傾斜計キャリブレーション画面

・ 施工開始時の縁切作業画面

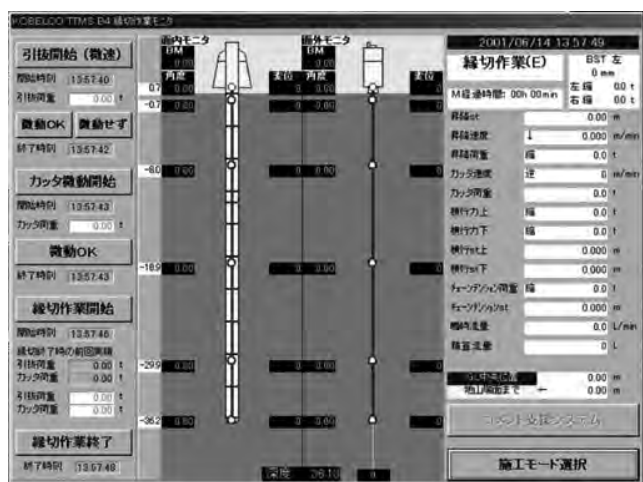
縁切作業におけるカット回転、昇降動作を支援し、確実にポストと土砂の縁切ができているかをモニタで確認することができる画面(図-14)。

・ バックスティ補正作業画面

左右のバックステイストローク、圧力の差がないか？



図—13 KTMS ソフトウェア構成画面



図—14 縁切作業画面

掘進機構の鉛直が保たれているかをチェックする画面。

- ・自力（建込）段取画面

カッタポストの繋ぎこみと多段傾斜計のセッティングを支援する画面。

- ・自力建込（貫入）画面

下方への自力建込時のカッタポスト状況や各アクチュエータ出力をモニタリングする画面。

- ・通常施工画面（地山掘削、造成等各種モード有）

面内、面外傾斜や各種アクチュエータの出力、ストローク回転数等を確認しながら掘削作業、造成作業等を支援する画面。

- ・施工終了時の養生画面

1日の施工終了時にセメント固化材投入位置や地山掘削面から確実に退避されているかを確認し、かつ所定の養生作業を円滑に行うための専用画面。

以上、KTMSによる施工時の可視化支援の一部を紹介したが、KTMSは2002年以前に出荷されたTRDⅢ型にも後付け改造で一部機能を移植可能であり、

TRDⅢ型であればほぼすべて自力建込時のモニタリング等が可能となっている。

7. 工法適用範囲の拡大に向けて

前項までは主に可視化改善中心の改善であるが、TRDⅢ型において現在では標準仕様に近い機能となっているハード的な追加改善例について紹介する。

(1) 掘進機構の面内8度傾斜対応

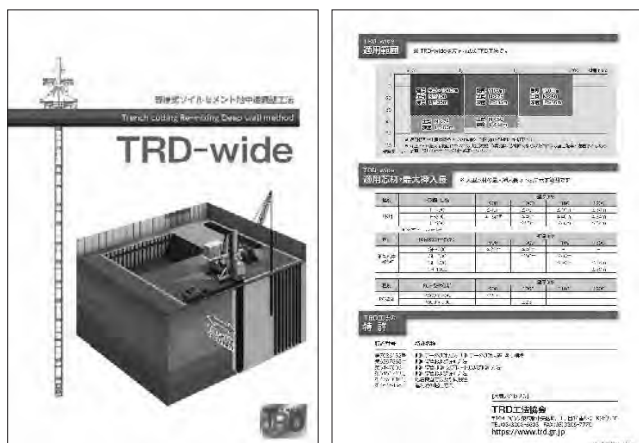
坂道部分での施工や通常水平基面上での施工における面内方向における掘削自由度を高めるために掘進機構の振り子角度幅を広げる改造オプションを2002年に開始した。それまでは掘進機構は最大でも約±3度程度しか傾けられず、実質的な坂道施工の許容範囲は±1.5度程度であったが、±5度程度の傾斜面においても地中壁施工を可能とするために掘進機構のガイド部分や各種シリンダのブラケット部が複雑化し、組立時の注意点は増えるものの±8度の面内傾斜角度（写真—5）を実現した。のちに後付け対応工事も多く受注し、2012年からは標準仕様として設定するに至った。

(2) TRD-Wide 工法

TRD工法は主に仮設壁に採用されることが多い工法ではあるが、TRDⅢ型の最大掘削幅は当初875mmであり、本設壁に採用されるにはもう一段の掘削幅の拡幅が必要となった。施工機メーカーとしても地盤状況によっては875mm幅以上の掘削が可能であること



写真—5 掘進機構8度傾斜出荷試験状況



図—15 TRD-Wide 工法※

は掘削理論上や事前の実験施工で把握できていたこともあり、それまでの掘削幅の制約となっていた掘進機構の構造を改造することで900 mm～1,200 mmの掘削幅に改造できるオプション改造を2018年から開始した。また協会においてもTRD-Wide 工法（図—15）として定義し、積算条件等の整備も行い、徐々に適用例を増やしつつある状況である。

8. おわりに

ここまで、TRD 施工機メーカー側から筆者が関わったシステム面やハード面の改善事項を紹介してきた。

30年を経た今、工法黎明期に作業現場でお客様とともに各種作業や運転支援を行った貴重な経験が、お客様の要望を具現化する上で重要であったことを改めて感じる次第である。TRD 施工機の出荷納入指導時には、お客様もまだ手探り状態であったが、現在では多数の現場で実績を上げ、各種システムも筆者の予想を超えて使いこなされており、感無量である。引き続きTRD 工法が今後も社会インフラの充実に貢献していくことを願って止まない。最後に TRD 工法協会事務局から各種資料をご提供いただいたことに感謝して本稿の終わりとさせていただきます。

J C M A

《参考文献》

※ TRD 工法施工協会ホームページから引用
(工法協会ホームページリンクのQRコード)



【筆者紹介】

水谷 元彦（みずたに もとひこ）
コベルコ建機(株)
アフターセールス本部カスタマーソリューション部
ITソリューショングループ長（工学博士）



ずいそう

原動機付自転車

亀井 稔



総排気量 50 cc 以下の原動機付自転車(原付一種)(以下「原付」という。)は、学科試験だけで取得出来る原付免許や普通免許に付帯する免許で運転することが可能であり、国民の足として欠かせない乗り物である。

今、50 cc 以下の原付バイクが絶滅の危機にある。2025 年 11 月から適用される新しい排出ガス規制に、現行の 50 cc 以下モデルでは対応させることが技術や費用面で難しいためだ。

16 歳から原付に乗っている私にとって、50 cc 以下の原付がなくなるのは残念でならない。

◆私と原付バイク

私は、高校がバイク通学 OK だったので、16 歳で原付免許を取り、ヤマハ・GT50 (通称：ミニトレ) 77 年式の中古を購入した。

当時の原付は、速度制限装置(現行国内モデルは時速 60 km に到達するとリミッターが作動し、失速するしくみを導入)が導入されておらず最高速度が時速 70 km 以上出た。友達と信号から次の信号までの速さを競ったり、交通量の少ない田舎道をアクセル全開で走ったりしたことを懐かしく思い出す。このミニトレは、就職を機に高校の友人に譲ってしまった。今考えると残しておけば良かったと思っている。

就職して神戸に住むことになった。神戸は坂が多く駅の駐輪場は、自転車より原付バイクが多い土地柄だ。成人を機に、中学生の頃から欲しかったホンダ・モンキー 75 年式の中古を購入した。このモンキーは、神戸、姫路、枚方(大阪府)、奈良、福井と転勤の地で通勤や日常の足として活躍してくれた。製造から 20 年が経ち故障が多くなったことから、95 年に新車のモンキーを購入した。

75 年式はその後もち続け、部品を集めてレストアを楽しんでいたが、2009 年 4 月 25 日の深夜に自宅で盗難に遭い「突然の別れ」となった。

現在は、95 年に購入したモンキーと職場の同僚から譲り受けた 78 年式モンキーの 2 台を所有している。

◆原付は難しい乗り物

考えてみると原付とは難しい乗り物である。最高速

度が時速 30 km に制限されている。車にとって道路を 30 km で走られたら遅くて邪魔な存在であり、障害物以外の何物でもない。そのため、どんどん車に追い抜かれ、原付ライダーはとても怖い思いをする。流れに乗るためスピードを出すとスピード違反で捕まる。私も、何度かスピード違反で捕まった。

◆なぜ「原動機付自転車」なの？

原付がなぜ時速 30 km に制限されているのか。そしてなぜ「原付二輪」でなく「原動機付自転車」という正式名称なのかも、原付免許が誕生した頃の原付バイクに起因している。

原動機付自転車の起源は、自転車に“あと付け”で小型のガソリンエンジンを取り付けた乗り物で、当初法規制上は、自転車と同じ軽車両扱いで運転免許が不要であった。原付免許は、1952 年(昭和 27 年)に 14 歳以上を対象とする「許可制」となり、時速 30 km 規制もこの時に定められた。

原動機付自転車の語源になったと思われる代表的な車両は、ホンダ・カブ号 F 型(写真—1)である。

“自転車オートバイ”とも呼ばれたこのモデルは、1952 年(昭和 27 年)に発売され、全国の自転車店を販売網として、エンジンやタンクなどの部品をダンボール箱に詰めて発送し、市販の自転車に取り付けて販売された。2 スト 49 cc で最高出力は 1 馬力、最高速度は 35 km/h (メーカー発表値)であった。



CUB F

1952.06

写真—1 Honda バイク製品アーカイブ「カブ号 F 型」

◆スーパーカブの登場

1958年（昭和33年）に、これまでの自転車用補助エンジンから車体・エンジンを含め専用設計されたホンダ・スーパーカブ C100（写真—2）が発売された。4スト49ccで最高出力は4.5馬力、最高速度は70 km/h（メーカー発表値）であった。

スーパーカブは、ビジネスや庶民の頼れる足として広まり、2017年にはシリーズの世界生産累計台数が1億台を超え、世界で最も売れたバイクとなった。

スーパーカブの登場を機に、他メーカーも専用設計の機種を販売するようになり「自転車スタイル」が減少していった。こうした状況を受け、1960年（昭和35年）に道路交通法が施行され、現行の16歳以上を対象とする「免許制」となったが、最高速度は時速30 kmのまま見直されず現在に至っている。

◆50 cc 以下の原付が販売終了

2022年11月に施行された「排出ガス規制」は、世界で最も厳しいヨーロッパの「EURO5」と同等とされている。50 cc 以下の原付バイクについては、3年間の猶予が与えられたが、その期限が2025年11月に迫っている。

2025年11月から適用される排出ガス規制は、排気量の小さい50 cc エンジンでは浄化技術とコストを両立しながら規制をクリアすることが困難になり、メーカー各社は2025年10月末をもって販売終了を発表している。

◆「新基準原付」が誕生

こうした状況を受けて、これまでの総排気量50 cc 以下の車両に加え、総排気量が50 cc を超え125 cc 以

下の車両でも最高出力が4 kw（5.4 ps）以下（「新基準原付」）であれば原付免許で運転できるよう法体系が改正され、2025年4月1日から施行された。なお、「新基準原付」には、30 km/h 規制や二段階右折、二人乗り禁止など今までどおりの交通ルールが適用される。

◆低出力モビリティの多様化

私が原付免許を取った1980年は、二輪車の国内販売台数約236万台のうち、約198万台（約84%）を50 cc 以下の原付が占めていた。

しかし、1986年のヘルメット着用と二段階右折の義務化や2006年の道交法改正により、二輪車への駐車違反の取り締まりが強化され、町中の移動手段として使われる原付にとって、大きな制約となり、2023年には国内販売台数約41万台のうち、約9万台（約22%）に減少している。一方、「低出力モビリティ」は多様化している。電動アシスト自転車は、原付に比べて出力や最高速度は劣るが、免許不要といった利便性を理由に販売台数は50～60万台となっており、二輪車の市場規模を上回っている。

また、16歳以上なら免許不要で乗ることが出来る「特定小型原動機付自転車」に区分される電動キックボードも普及している。

◆原付バイクを後世に

昭和から平成にかけて販売された原付をふりかえると、50 cc 以下の市場がほぼ国内に限定される中で、ロードスポーツにオフロード、アメリカン、ビジネス、レジャー、スクーターと、ありとあらゆるジャンルの車両がそろい、アルミフレーム、4バルブエンジン、前後連動ABSなど、“たかが50 cc”に惜しげも無なく技術が投入されてきた。

排出ガス規制の適用でメーカーが製造・販売を終了する中で、おそらくこれからは作られることがないだろう。私は、現存する50 cc 以下の原付バイクが「バイク遺産」として1台でも多く後世に引き継がれることを願っている。

バイクは単なる移動手段ではなく、多くのライダーにとって「趣味」や「生きがい」となっている。「環境保護」と「バイク文化」が共存できるよう、持続可能なバイクライフを楽しんでいきたいと思う。

写真：本田技研工業(株) HP <https://global.honda.jp/>



Super Cub C100

1958.08

写真—2 Honda バイク製品アーカイブ「スーパーカブ C100」

——かめい みのる（株）近畿地域づくりセンター 設計積算部 次長——

ずいそう

トライアスロンの頂点 「アイアンマンレース」完走までの道のり

森 田 博 史



私のアイアンマンレース完走の道のりの始まりは2010年、会社の同僚が参加した広島での宮島国際パワートライアスロン大会の応援でした。3人でチームを組んで、スイム2.5キロ、バイク55キロ、ラン20キロの合計77.5キロのコースを制限時間の7時間以内にゴールを目指します。テレビカメラやFMラジオの取材を受けるなど正に選手は主役で応援者の私は脇役でした。会社の同僚のチームは無事に制限時間以内に完走し、その夜の打上げには私も参加しました。その時に私は少々酔っぱらって「来年、私は選手で参加する!」と宣言してしまいました。これが私のアイアンマンレースの始まりでした。正に、15年前、40歳の事でした。

翌年2011年の参加に向け、まずはチームメンバー探しから始まりました。私は学生時代に競泳をしていた事もあり、私はスイム担当が確定で、バイク、ランの選手を探していました。そこでトラブルが発生。3月に趣味でやっていた小型バイクのレースで転倒し鎖骨の靭帯断裂のケガをしてしまい全治10か月。大会は6月、あと3か月で完治は見込めず、スイム担当は断念し、ラン担当のメンバーに変わってもらい私はラン担当となりました。何とか完走しましたが、制限時間の数分前のギリギリのゴールでした。

宮島国際パワートライアスロン大会にて2012年はラン、2013年は念願のスイムで参加し、2014年には念願の個人参加を果たし、無事にゴールしました。それ以降は個人で数多くのトライアスロンに参加し、全て完走し、2015年以降は駐在先のアメリカでレースに参加していました。いよいよアイアンマンレースに近づいて行くことになりました。

アメリカの駐在先であったサウスカロライナ州の日本企業会の会合に参加した際、自己紹介でトライアスロンが趣味である事を話しました。その後、一人の男性から「私も同じ趣味です」と言われ、是非、一緒に練習やレースに参加しようと誘われました。それが運命でした。その男性は友人3人と一緒にアイアンマンレースに参加している、まさに「鉄人」だったのです。



写真—1 2011年 初めてのトライアスロン



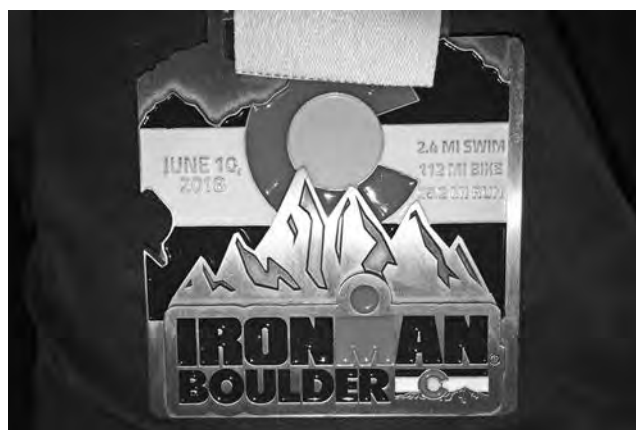
写真—2 宮島トライアスロンの私

その後、その男性の友人含め、数多くのトライアスロンレースに参加しましたが、2017年のある日の事でした。その男性から「来年コロラド州、ボルダーでアイアンマンレースあるから参加しましょう!」と誘われました。アイアンマンレースの事を聞くと、なんと、スイム3.8キロ、バイク180キロ、ランは42.195キロ、合計226キロ、制限時間17時間、更には標高2,000メートルという超過酷なレースだったのです!

約1年間の過酷な練習を終え、友人3人と一緒に2018年6月10日のアイアンマンレースのスタートを迎



写真—3 2018年アイアンマンレースのゴール後



写真—4 アイアンマンレースの完走メダル

えました。朝6:30にスイムをスタートし、8:00ごろに炎天下でバイク。14:30に足がガクガクで、最後のマラソンをスタート。半分ジョグして、半分歩いて、21:00に真っ暗の中でゴール。タイムは制限時間以内の14時間30分で完走しました。友人3人も全員ゴールして最高の時間を過ごしました。

私はアイアンマンレース以外のトライアスロンではレース後半は、あと半分でレースが終わるという寂しい気持ちになりますが、アイアンマンレースでは、早

く終わって欲しい！二度と参加しない！という思いになりました。2019年に日本に帰任した事もあり、この大会以来、アイアンマンレースには参加していません。もし一緒に完走した、あの友人3人から、アイアンマンレースに誘われたら、エントリーしてしまうかも…。誘わないで欲しい反面、誘いを待っている自分がいます…。

——もりた ひろし コベルコ建機(株) 生産本部——



部 会 報 告

令和7年度 建設業 ICT 安全委員会・クレーン安全情報委員会合同見学会

建設業 ICT 安全委員会

1. はじめに

2025年6月20日、建設業部会は令和7年度 建設業 ICT 安全委員会・クレーン安全情報委員会合同見学会を実施した。参加者は事務局を含め23名。

2. 展示会概要

見学会は第7回国際建設・測量展 (CSPI-EXPO2025) が6月18日から21日に開催された幕張メッセで行われた。建設業界、測量業界の製品・技術・サービスが集まる機会として、出展社と来場者の商談の場・情報交換 (意見交換) の場となり、業界全体の課題解決・生産性向上に繋がる展示会が開催された。また、今回が初となる一般公開も最終日に開催され、開催4日間における来場者数は約57,000人規模となった。

3. 見学会概要

見学会では、初めにタダノ(株)のブースでは移動式クレーン遠隔操作システム「CRANET」の遠隔操作でのラフタークレーンのデモンストレーション、さらに電動ラフテレーンクレーンや展示物を見学した。その後は西尾レントオール(株)の除雪ドローンやレーザーレイアウトシステム、チルトローテータなどを見学した。山崎マシナリー(株)は電動ホイールローダ、電動バックホウの各機械を見学した。最後はコベルコ建機(株)のDX Solutionや各種ブースの説明、K-DIVEの説明体験をした。

4. 見学内容

(1) 移動式クレーン遠隔操作システム

移動式クレーンの運転席とその周囲に設置された複数台のカメラによって撮影された映像を、インターネット通信網を経由して離れた場所にあるコックピットへリアルタイムに送信し、専用のモニタへ映し出している。より実際の移動式クレーンの運転席の作業環境に近い形で、コックピットのレバー・スイッチから



写真—1 国際建設・測量展の様子



写真—2 国際建設・測量展会場の様子



写真—3 国際建設・測量展会場の様子



写真-4 タダノ(株) CRANET 実演



写真-6 西尾レントオール(株)のブース説明①



写真-5 タダノ(株)屋外ブースでの説明



写真-7 西尾レントオール(株)のブース説明②

送られる信号を遠隔の実機に伝えてクレーン操作を可能としている。

現在、環境や通信の設備・状況にもよるが0.2～0.3Sの遅れがある。また、遠隔での運転効率の低下はあるが、数時間の運転により実際の運転効率へ90%程度近づいている。さらに、クレーン検査や届け出については、あくまで実証実験としての扱いで運用している。

(2) 電動ラフテレーンクレーン

この機械は2023年にフル電動ラフテレーンクレーンとして販売された。また、CO₂排出ゼロと低騒音を目的としたe-PACKは、外部電源により電動ポンプを作動させることでエンジンを始動させることなくクレーン作業を可能としている。さらにバッテリー式e-PACKを新たに開発中である。

(3) 除雪ドローン

西尾レントオール(株)が取り扱う除雪ドローンは、小型無人除雪機で遠隔操作型である。特長は4モーター

ドライブ、最小回転半径は0.6mで小回り、200mm段差を越える不整地対応である。また、稼働時間は3時間で、充電はAC100Vで6～10時間の仕様である。今後は自動運転機能モデルを予定している。

(4) レーザーレイアウトシステム

投影型現実(PR)の技術を活用し、レーザーにより図面全体を床や天井に図面通りの照射が可能である。また、2人で行っていた墨出し作業を1人で行うことにより、作業時間の短縮や人件費の削減が可能となる。さらに、機器の操作性が良く誰でも簡単に墨出し作業が出来る。

(5) 電動ホイールローダ、バックホウ

山崎マシナリー(株)は、VOLVO社製の電動ホイールローダL120と電動バックホウEC230を屋外展示場にて説明した。海外では主流になってきている電動重機について、国内普及を進めている。

電動ホイールローダは最長9時間の運転時間が可能



写真一八 山崎マシナリー(株)屋外ブースで試乗



写真一〇 コベルコ建機(株)ブースツアーでの説明②



写真一〇 コベルコ建機(株)ブースツアーでの説明①



写真一〇 コベルコ建機(株)屋外ブースにて展示用トラック内での説明

であり、1回の充電で1日作業が出来る。電気代と燃料消費量を比較した場合、5年間で1,080万円に相当するエネルギーを削減する事が出来る。

(6) ドローンによるクレーン点検

コベルコ建機(株)は、ドローンを活用したクレーンの点検ソリューションを開発している。ドローンは自動飛行ではあるが写真撮影システムから自動的に異常を検出が出来るシステムについては検討している。

(7) K-D2 PLANNER

クレーン施工計画に活用されている K-D2 PLANNER は国内クレーンメーカーのモデルにも対応し、たわみや3Dによる視覚的な干渉チェックを可能としている。検討結果のエビデンスを残せる機能については、施工ステップに応じたチェックを行うことで手戻りの防止に繋がると感じた。



写真一二 コベルコ建機(株)屋外ブース展示トラック内でのK-DIVE試乗

(8) K-DIVE

安全性の確保、生産性の向上、多様な人材活用で効率化を目的に開発された、重機の遠隔操作システムの K-DIVE を開発している。微細な振動も伝えるモーションシートは、体験操作した際にも現地状況が非常に伝わってくることを感じた。また、遠隔コクピットに配

置されたモニターは、7台であるが、俯瞰視点のカメラは基本設定としており増設も可能としているが、通信距離や速度遅延については、70～80 km 圏内で0.2 mS 程度の状況から、増台による操縦への影響は検討が必要である。

5. おわりに

本見学会では、建設業界が抱える労働人口減少、安全対策、若手の育成、生産性向上などの問題解決のため、最先端での ICT 技術開発の導入や最新技術の実証実験、DX 推進に伴う i-Construction 2.0 に向けた、建設現場における省人化対策に取り組む多くの技術や製品について知見深めることが出来ました。また、今後は誰でも簡単に利用・操作する事が出来るシステムへの革新がより求められると感じました。

最後に、大変お忙しい中、本見学会にご協力いただいたタダノ(株)、西尾レントオール(株)、山崎マシナリー(株)、コベルコ建機(株)の皆様に、厚く御礼申し上げます。



写真— 13 集合写真（山崎マシナリー(株)屋外ブース前）

〔筆者紹介〕

鈴木 孝英（すずき たかひで）
西松建設(株)
土木事業本部 機材部 機電課
（一社）日本建設機械施工協会
建設業 ICT 安全委員会
委員



部 会 報 告

太平洋セメント(株)熊谷工場見学会 報告

機械部会 コンクリート機械技術委員会

1. はじめに

JCMA 機械部会のコンクリート機械技術委員会では、令和7年6月23日に太平洋セメント(株)熊谷工場(埼玉県熊谷市三ヶ尻 5310) への見学会を実施した。参加者はコンクリート機械技術委員会の13名及び委員会関連企業より参加の2名を含む総勢15名での参加であった(写真-1)。

2. 見学スケジュール

令和7年6月23日(月)

- | | |
|---------------|---------------------------------|
| 12:30 | JR 籠原駅(南口) 集合 |
| 12:40 ~ 12:50 | カヤバ様社有車とタクシーにて太平洋セメント(株)熊谷工場へ移動 |
| 13:00 ~ 13:10 | 会社・製品並びに熊谷工場概要説明 |
| 13:15 ~ 15:00 | 工場見学および質疑応答 |
| 15:10 ~ 15:20 | JR 籠原駅へ移動・解散 |

3. 太平洋セメント(株)

- 設立：1881年5月
- 代表取締役社長：田浦良文
- 資本金：862億円
- 売上高：8,963億円(2025年3月期連結)
- 本社：東京都文京区小石川1-1-1
文京ガーデンゲートタワー

4. 熊谷工場

- 概要：所在地 埼玉県熊谷市三ヶ尻 5310
敷地面積 41万m²
生産能力 2百万トン/年
- 生産製品：ポルトランドセメント類
高炉セメント

コンクリートとして使用される割合の高いセメント



写真-1 参加者集合写真



写真-2 セメントサイロ群

を主に生産しており、その主原料である石灰石は「国内自給率100%の天然資源」という、日本において輸入に頼らない工業資源はまれである。熊谷工場はその石灰石を埼玉県と群馬県の鉾山から得ている内陸型の工場で、サービスステーション機能も併せ持っている。そして最大の特徴は、都市ごみ焼却灰の原料資源化事業で、埼玉県で発生する量の年間約6.9万トン(約40%)を処理している。また、廃プラスチック類や廃タイヤを燃料として活用するなど無害にリサイクルして、環境負荷の低減や循環型社会へ貢献している。

5. 工場見学

説明会でお話いただいた製造部長の田中様の案内で工場を見学させていただいた。当日は直前まで土砂



写真一三 説明会風景

降りの雨であったが、幸い見学の際には雨もやんで広い敷地内を濡れずに移動することができた。最初に工場全体を上から見下ろすことができる原料および焼成工程の建屋の屋上にエレベーターで昇って行われた。

原料工程で作られた粉体原料は空気の圧力で持ち上げられてサスペンションプレヒーターにて余熱・仮焼される。主原料は石灰石で、その他に粘土、珪石、鉄原料、リサイクル原料等が調合されて原料ミルで乾燥・粉砕されて粉体原料となっている。その後、セメント製造工程の心臓部に当たる直径5.5m・長さ100mの巨大な筒状のロータリーキルンで、1,450℃という高温で原料の焼成を行い、それを空冷式のクーラーで急冷することで、セメントの中間製品であるクリンカが出来上がる。実際にこのロータリーキルンを間近で見るとその大きさに圧倒されると共に、外に放出される熱量もとても高く、そのエネルギーの凄さを体感した。

この工程では二酸化炭素CO₂が相当量排出されていて、高温にするための化石エネルギーが必要なこと



写真一四 田中様説明風景



写真一六 サスペンションプレヒーターとロータリーキルン（地上から）



写真一五 写真一四の左上方に見えているサスペンションプレヒーターの最上部



写真一七 ロータリーキルン（上から）

と、主原料の石灰石が焼成工程において脱炭酸反応するからである。特徴としては、原料由来のCO₂排出割合が約60%と多いことであり、太平洋セメントグループとしてカーボンニュートラル実現に向けた革新技術の開発に取り組んでいるとのことであった。見学の終盤には、その技術の内、熊谷工場内で行われている試験についての説明があった。一つは排出不可避なCO₂を回収して、化学吸収法による分離回収設備で液化し貯蔵するというもので、もう一つは回収したCO₂を炭酸塩化（固定化）する技術で、消波ブロックやインターロッキングブロックといった製品で従来製品との性能評価を行っていた。コストや設備等の部分で多少の課題はあるにせよ、これから数多く使われていくようであった。

6. おわりに

仕事柄普段から目にすることの多いコンクリートの材料となるセメントがどのように作られているのかを実際の製造工場で見させていただくと共に、とてもわ

かりやすくご丁寧な説明をいただき大変勉強になりました。自分が所属する会社におきましても、自社の製品が少しでも効率良くコンクリート製造現場で使っていただけるかを考えるととても有意義な機会となりました。原料や燃料はもとより、排出ガスまでもリサイクルしてより良いセメント製造へのあくなき努力は並大抵ではないと感じ、2050年のカーボンニュートラルを必ず実現できると思える工場見学となりました。

最後になりましたが、今回の見学会におきまして、ご説明およびご案内をしていただきました太平洋セメント(株)熊谷工場田中製造部長様はじめ、太平洋セメント(株)関係者の皆様に、この場をお借りしまして厚く御礼申し上げます。

【筆者紹介】

大塚 伸夫（おおつか のぶお）
三笠産業(株)
技術研究所 品質管理部
（一社）日本建設機械施工協会
機械部会 コンクリート機械技術委員会
委員



部 会 報 告

令和 7 年度 第 135 回建設施工研修会（映画会）開催報告

広報部会

1. はじめに

建設施工研修会は、協会内の広報部会における事業活動の一環として、昭和 55 年度以来、各種の工事記録や施工法などの紹介を目的にあらゆる建設会社から記録映像を借用し、『最近の機械施工』と題した「映画会」という位置づけで開催を続けております。

現在は「建設施工研修会」と改名し、上映内容の範囲拡大と共に建設会社以外からも多くの映像をご提供いただき、近年において製作された新工法・新機種などに関する映像は「先端技術、環境、安全・安心に配慮した機械・施工・技術等及び新工法」へと多角的な視点から技術を深掘り紹介し、建設の機械施工の進化を追い続けることで135回目を迎えることになりました。

本年も、各支部の協力を得て全国 5 会場（東京本部：6/25、東北支部：7/7、四国支部：8 月下旬、中部支部：9/25、関西支部：10/15）で順次開催が計画され、多

くの会員様に有意義な情報共有の場を設けることができ、事務局としては大変感謝しております。

東京本部は本年も引き続き通常参加と Zoom 配信のハイブリッド開催にいたしました。

今回も多くの業種からご提供いただいた動画の一部を、写真—1～4 にてご紹介します。

2. 東京会場開催報告

【概 要】

令和 7 年度 第 135 回建設施工研修会実績

開 催 日：2025 年 6 月 25 日（水）

場所・参加方法：機械振興会館 地下 3 階 研修-1 号
会議室（定員 60 名／120 収容部屋）、
Zoom 配信（上限 500 ライセンス可）

時 間：13：10～16：00

プ ロ グ ラ ム：表—1 の通り



写真—1 建機メーカー提供動画（コベルコ建機株）



写真—3 建設会社提供動画（鉄建建設株）



写真—2 情報機器メーカー提供動画（福井コンピューター株）



写真—4 レンタル会社提供動画（レンタルのニッケン株）

聴 講 者 数：通常聴講 10 名，WEB 聴講 91 ライセンス（1 ライセンス複数聴講人員は不明）

映像は、12 の会員組織（建設機械メーカー 4 社から 9 タイトル，情報機器会社 3 社から 3 タイトル，建設会社 5 社から 11 タイトル，レンタル会社 1 社から 2 タイトル）から，合計 25 タイトルのご提供いただきました。

3. 過去からの傾向

事務局として過去の上映実績を辿った時，2022 年度は建設業に関わるあらゆる業種において「取得データを可視化」する技術開発」が盛んでした。

建設業界の 2024 年問題として一般的にも有名となった「人手不足」という大きな業界課題解決まで 1 年を切った 2023 年度は，「可視化データを異業種のプログラムで活用開始する」ことが主流に。ICT 技術の開発・現場導入・点群データの活用，デジタル化技術の促進という『点』と，一見すると対極的な現場技

表－1 第 135 回建設施工研修会（映画会）プログラム

No.	タ イ ト ル	制作年	上映時間	提供会社
1	K-DIVE [®] ～次の遠隔現場は「林業」～	2025年	5分	コベルコ建機(株)
2	水素燃料電池ショベル 試作機を開発	2024年	2分	コベルコ建機(株)
3	SK160BR-7 Blade Runner [商品紹介]	2024年	2分	コベルコ建機(株)
4	VisionLink [®] Productivity を使った Cat [®] グレード 3D 機能のご紹介	2024年	2分	キャタピラージャパン（同）
5	BIM/CIM 活用：軽量盛土工法でやってみた！	2025年	12分	福井コンピューター(株)
6	小規模工事における ICT 活用 ～小型 ICT バックホウによる作業土工～	2024年	20分	サイテックジャパン(株)
7	TLS Kinematic App ～地上型レーザーの新たな運用手法～	2025年	3分	リーグルジャパン(株)
8	圧入の自動化・遠隔化の取り組み	2025年	3分	(株)技研製作所
9	圧入工法の現在	2025年	6分	(株)技研製作所
10	RED HILL 1967	2024年	3分	(株)技研製作所
11	機械式駐輪場「エコサイクル TM 」 ～地上に文化を，地下に機能を～	2025年	5分	(株)技研製作所
12	災害対策工法「圧入」 ～能登半島地震復旧工事～	2025年	5分	(株)技研製作所
13	地盤改良機遠隔施工技術（仮）	2025年	3分	(株)不動テトラ
14	重機レーザー計測システムと共有データ環境 R-CDE の連携	2025年	4分	(株)フジタ
15	全自動現場巡視ドローンと現場点検アプリの連携	2025年	2分	(株)フジタ
16	鉄道高架橋のプレキャスト化への取り組み（仮称）	2025年	6分	鉄建建設(株)
17	シーコム工法（SeaComb Method） ～I 形鋼材を用いた複合構造橋脚～	2024年	7分	五洋建設(株)
18	『A4CSEL in NARUSE 自動化施工システムによる「現場の工場化」』	2023年	4分	鹿島建設(株)
19	『A4CSEL 造成工事への本格適用を開始』	2024年	4分	鹿島建設(株)
20	『山岳トンネルの自動化施工システム「A4CSEL for Tunnel」が完成！』	2024年	6分	鹿島建設(株)
21	『一車線規制で床版取替が可能な「スマート床版更新（SDR）システム」を開発』	2022年	5分	鹿島建設(株)
22	建築スマート生産現場紹介	2023年	6分	鹿島建設(株)
23	新型マニピュレータ溶接ロボット	2024年	3分	鹿島建設(株)
24	スカイランナー Apollo，スカイテーブル Diana	2024年	7分	レンタルのニッケン(株)
25	柵とバリケード	2024年	6分	レンタルのニッケン(株)

術の「省人技術開発」の『点』の足し算が、機械の自動化・自律化の「模索」を色濃く感じさせられました。

2024年度は「建設機械自体の電動化の進歩」という新たな要素の掛け算により、予てから建設業に携わる人々が最終目標としていた「生産性向上」の具現化を「実感」できるフェーズによりやく「辿りついた」よう見受けられました。

4. 今年度の特徴と今後について

25本の上映動画からは、『真のDX』というゴールテープを切るかの如く、業界が一丸となって駆け抜けている様を彷彿とさせるイメージを受けました。

建設業に関わる全業種が「自動操作・遠隔操作技術の向上」、「通信技術の活用」、「カーボンニュートラルを意識したエネルギー開発・活用」、「AI技術の導入の一般化」が当たり前となったことで、複雑で人と時間を要していた多くの途中段階作業を支援ロボットに任せられる技術開発が活発化し、画期的に「省人化」+「作業の合理化」=「生産性向上」の『ワンセット化』を実現に導けたことが、現場に還元できる技術の提供

に拍車をかける相乗効果を生んだのだらうと強く感じられました。ここ数年、提供本数の少なかった建設会社からの映像が今年は多かったのが、前述の象徴ではないかと捉えられました。

ただ、増え続ける便利で高度な技術の利用によって、全ての建設関係者が同一の費用対効果を楽しむという現実問題を、『発想の転換』で飛びこえる、シンプルながらもあえて「アナログ寄り」で便利な開発を手掛ける技術の紹介動画もあり、「ものづくり」が仕事である会員各社の揺るがない「お客様に寄り添った姿勢」を垣間見れたことは、とても大切・且つ貴重でした。

今後、地球に優しいエネルギー開発が「スタンダード」な時代を迎えた時、開発される商品にも幅が出てくる未来が訪れ、本企画の上映動画も「業界を明るく魅せる」訴求力のあるラインナップが揃うように変化を遂げるのではないかと期待が膨らみます。

【筆者紹介】

松本 寛子（まつもと ひろこ）
（一社）日本建設機械施工協会
業務部



除雪ドーザのガイダンスシステムの開発と HUD 用 GUI の検討

山下 和海・酒井 龍之介

近年、除雪機械への適用が進められている作業装置の自動制御システムは、吹雪時の自車位置把握に有効であることが確認されているが、機材が高価で、除雪ドーザへの適用は進んでいない。

本稿では、除雪ドーザの実際の姿勢を画面上に反映可能なガイダンスシステムの開発と、ヘッドアップディスプレイ（HUD）を用いた表示手法を検討した。

ガイダンスシステムの開発では、6 軸加速度計による作業装置の姿勢と GNSS 測位に基づく自車位置情報の入力処理、周辺構造物の表示、接近警告などの動作確認を行った。

HUD の適用検討では、グラフィカルユーザインタフェースの配色案について、夜間及び昼間の環境にて比較評価し、改良の方向性を明らかにした。

キーワード：除雪、維持用機械、除雪ドーザ、アプリケーション、ガイダンス、ヘッドアップディスプレイ

1. はじめに

国土交通省では、2016 年 4 月より i-Construction（建設生産システム全体の生産性向上の取り組み）を行ってきた¹⁾。

筆者らは、それらの取り組みの一環である除雪機械の作業装置を自動で制御するシステムの開発^{2), 3)}の事業に参画してきた。

これまで国土交通省主導で開発を行ってきた ICT 除雪機械の自動制御システムは、ロータリ除雪車および小形除雪車、除雪トラック、除雪グレーダを対象としており⁴⁾、除雪ドーザを対象とした自動制御システムの開発はされていなかった。

また、システムを構成する機材が高価であるため、除雪ドーザを多く配備している地方自治体への普及には時間を要すると考えられる⁵⁾。

筆者らは、ICT 除雪機械の現場導入に携わる中で、除雪機械の自動制御システムの一部であるガイダンスシステム（地図上に自車位置を表示するシステム）が吹雪の状況下でオペレータが自車の位置を把握する際に役立つというコメントを多く耳にしたことから、高価な機材を用いた自動制御システムではなく、自己位置の表示のみを目的とした安価なガイダンスシステムの開発を行うこととした。

除雪ドーザ向けのガイダンスシステムの先行事例として、自己位置推定結果に基づき夏場の周辺画像を表示する技術⁶⁾や、3次元のベクトルデータを表示し、車

両と道路構造物の接近をオペレータに通知する技術^{7), 8)}などがあるが、いずれのアプリケーションも、実際の除雪ドーザの作業姿勢が、アプリケーション上に表示されたドーザのモデルに反映される仕組みに放っていないようである。除雪ドーザによる除雪作業では、作業姿勢によって、障害物と接触するかもしれないかが決まるため、作業装置の姿勢の把握が重要となる。

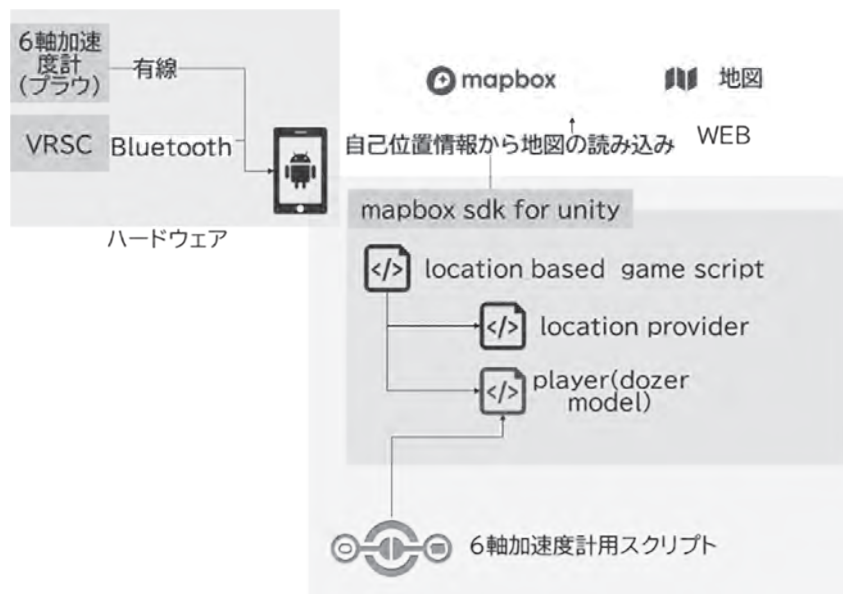
そこで、本検討では、安価な機材で除雪ドーザの自己位置と作業姿勢をオペレータに通知することのできるガイダンスシステムの開発と、ガイダンスシステム表示に対する HUD（ヘッドアップディスプレイ）の適用について検討した。

2. ガイダンスシステムの構成

本ガイダンスシステムは、除雪ドーザのブラウに取り付けた 6 軸加速度計から入力される姿勢情報と GNSS 受信機から入力される位置情報を Android 端末内にインストールしたアプリケーションにより処理することで、自己位置の表示とブラウ姿勢の表示を行う。

Android 端末にインストールするアプリケーションのプラットフォームは Unity (Editor Version 2021.1.24f1) を採用し、GNSS の自己位置推定に基づく自己位置周辺の地図表示には、Mapbox SDK for Unity (Mapbox 社) を活用した。

なお、6 軸加速度計から入力される姿勢情報の処理には Serail Port Utility Pro v2.81 (WIZAPPLY Co.,



図一 除雪ドーザ用ガイダンスシステムの構成概要

Ltd.) を使用した。

除雪ドーザ用ガイダンスシステムの構成概要を図一1に示す。

3. ドーザモデルとあたり判定

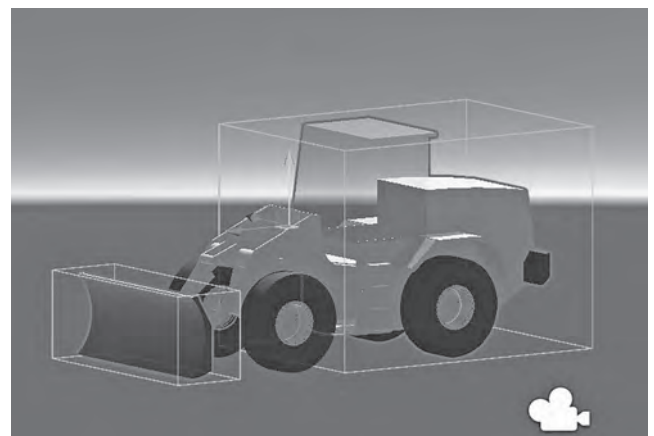
本アプリケーション内の除雪ドーザの三次元モデルの各部寸法は、8t級 (CAT910) アングリングブラウを参考とした。

8t級を選択した理由は、国内3社が製作または販売している除雪ドーザの中で、共通して製作されている除雪ドーザのうち最も小さい仕様であり、APを選定した理由は、サイドスライドアングリングブラウやマルチアングリングブラウなどの他の仕様と比較して構造と動作が単純だと考えられるためである⁹⁾。

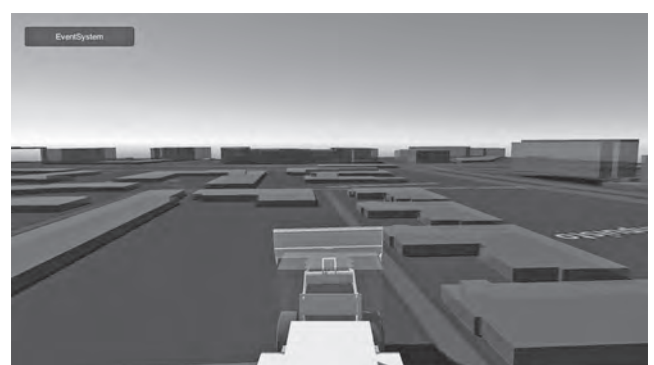
また、周辺の構造物と、除雪ドーザとの接触を推定するため、ソフトウェア内のドーザの3Dモデルに対して、あたり判定 (Collider) を設定した。

除雪ドーザの接触事故の事例としては、ブラウが構造物に接触する事例¹⁰⁾や、雪を積み上げたあと、除雪ドーザが後退する際に車両後方が構造物や通行者に接触する事例¹¹⁾があるため、車体とブラウの2分割であたり判定を設定した (図一2)。あたり判定は、除雪ドーザのモデルよりも前後、左右方向に0.5mずつ大きく設定した。

また、画面に表示する地図上の建物にも同様にあたり判定を設定し、除雪ドーザのモデルに設定されたあたり判定の範囲が、地図上の構造物のあたり判定に接触すると、警告音を吹鳴させる方式とした。



図二 Colliderの設定



図三 シミュレータ上での動作検証 (6軸加速度計からの有力に基づき作業姿勢が変化)

なお、ガイダンスシステムは、Unityの再生モード (Unity Editor内で直接プロジェクトを実行することができる) にて、姿勢情報の入力処理および、自車の周辺構造物の表示、地図上の構造物との接近警告などの動作確認を行った (図一3)。

4. ガイダンス画面表示手法の検討

除雪ドーザの運転室は、視界確保のために窓が大きくとられ、インストルメントパネルは最小化されている。ロータリ除雪車や除雪トラックでは10インチ程度の大型ディスプレイをダッシュボード上やインストルメントパネルに設置することが可能であるが、除雪ドーザにはメータパネルや視界を遮らずに設置できる場所がない。そこで、視界を遮らないガイダンス表示装置として、ヘッドアップディスプレイ（Head-Up Display, HUD）を検討した。

HUDは、運転席と対面するフロントガラスなどに虚像を投影し、運転者の視線や焦点を大きく移動させることなく、必要な情報を伝達することができる装置である。近年、完成車メカによる乗用車への標準搭載も進んでおり、車両速度や運転支援システムの通知表示、ナビゲーションの補助などとして使われる。

HUDは、液晶パネルなどに表示した映像をミラーによって透過性のある面に投影する仕組みである。フロントガラスに直接投影するダイレクトタイプと、コンバイナと呼ばれる小型の半透明パネルに表示するコンバイナタイプの2種類に分かれる。いずれのタイプでも、投影先が透明であることから、HUDの光源の明るさに限界があることから、グラフィカルユーザインタフェース（GUI）はコントラストの大きいデザインである必要がある。乗用車では、黒色背景に白色系の文字やアイコンを表示することが一般的である。また、投影する映像が運転手による路面などの認識を妨げないように、面的なオブジェクトを用いたGUIは避けられる。路面の視認性と、ガイダンス装置の機能性を両立するGUIデザインの基礎的な方向性を明らかにするため、除雪ドーザガイダンスGUI案を複数作成し、主観評価を行った。

(1) 除雪ドーザガイダンスGUI案の作成

本ガイダンスシステムは、表1に示す要素でGUIが構成され、表中①の配色（図4）である。これらの構成要素を満たしたうえで、要素の塗りつぶし色や縁取り色を変化させたGUI案を複数作成した（表中②～⑨、図5、6）。GUI案の配色はコントラストが大きくなるよう白色と黒色を基本とし、除雪作業中に接触の危険がある建物縁や走行時に目安となる道路端は、明度が高い白色とした。なお、表下のカラーコードはGUI案を液晶ディスプレイ上で表示した際の色を示しており、HUDに投影される色とは異なる。

表1 ガイダンスGUIの構成要素と配色パターン

要素	① (従来)	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
空	青緑	濃紺				黒			
地面	明灰	黒				濃紺			
道路	白	濃灰	明灰	濃灰	明灰	濃灰	明灰	濃灰	明灰
道路縁	青	白							
建物	濃灰	濃灰		明灰		濃灰		明灰	
建物縁	なし	白							
除雪 ドーザ モデル	黄／青／濃灰								

黒：#000000、濃紺：#44546A、濃灰：#262626、明灰：#F2F2F2、白：#FFFFFF



図4 GUI案①の配色

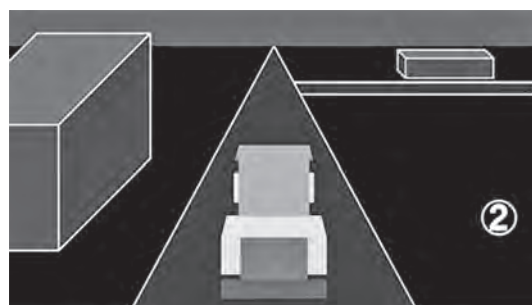


図5 GUI案②の配色



図6 GUI案⑨の配色

(2) 評価条件

評価対象は、HUDに表示されるGUIの視認性と、HUDを通した路面の視認性のふたつとした（表2）。評価は昼間と夜間に行い、それぞれの項目に対して、主観評価により表3に示す3段階で評価した。

表一 2 視認性評価項目

	評価項目	条件
HUD に表示される GUI	羞明 ^a の少なさ	昼間
	道路端の視認性	昼間, 夜間
	建物位置の視認性	昼間, 夜間
	自己位置・方向のわかりやすさ	昼間, 夜間
HUD を通した路面	舗装路面の視認性	昼間, 夜間

a まぶしいこと。

表一 3 主観評価基準

評価	評価基準	点数
良	見やすい・わかりやすい	1
可	見える・わかる	2
不可	見えにくい・見えない・わからない	3



図一 7 検証機材と据付状況

(3) 評価方法

評価は、構内道路上に停車させたバン型車両のダッシュボードに、コンバイナタイプの HUD (HUDWAY CAST) を据え付けて実施した。タブレット端末に表示したガイダンス GUI 案をスクリーンミラーリング機能により HUD に伝送して表示し (図一 7)、太陽光や街灯光が評価者や HUD に直射して視認性が低下しないよう留意した。

(4) 評価結果

主観評価の結果を表一 4 に示す。また、一例として、GUI 案④のときの画面構成と検証風景を図一 8 に示す。

GUI ①は、白色や淡色の背景を多用していることから、昼間は外界の明るさと一体となり視認性が低く、夜間はコンバイナ全体が発光しているように見えるため、HUD を通した路面の視認性が低い結果となった。GUI 案②～⑨は、①と比較すると良い評価である。特に、④は地面や道路色が暗色で建物が明色のため、道路端部や建物縁のコントラストが大きく、視認性が高かった。一方で、面的な白色オブジェクトは光量が多いため透過せず、路面の視認性が低かった。特に夜間は強く発光して見えるため、オブジェクト境界がわかりにくくなった。また、GUI 案②～⑨は地面と空の

表一 4 主観評価結果

評価項目	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
羞明の少なさ	2	1	1	1	2	1	1	1	1
道路端視認性 (昼)	3	1	1	1	1	1	2	1	1
道路端視認性 (夜)	2	1	1	1	1	1	1	1	1
建物位置視認性 (昼)	3	2	2	1	1	2	2	1	1
建物位置視認性 (夜)	2	2	2	2	2	2	1	2	2
自己位置・方向のわかりやすさ (昼)	2	1	2	1	2	1	2	1	2
自己位置・方向のわかりやすさ (夜)	2	2	2	1	3	1	2	1	2
舗装路面の視認性 (昼)	2	1	1	1	1	1	2	2	2
舗装路面の視認性 (夜)	3	2	2	1	3	3	3	3	3
得点	21	13	14	10	16	13	16	13	15
得点 (昼)	12	6	7	5	7	6	9	6	7
得点 (夜)	9	7	7	5	9	7	7	7	8



図一 8 GUI 案④と検証状況 (昼)

表一 5 GUI 改良要素

改良項目	改良前	改良案
空の着色	あり	なし
建物の着色	白黒	黄 (#FFFF00), 黄緑 (#99FF33), シアン (#00FFFF), マゼンタ (#FF66FF), 薄橙 (#FFCC66), 桃 (#FF99CC), 薄青 (#66CCFF), 緑 (#33CC33)
建物端線色	白	マゼンタ, 黄緑, 灰 (#404040)
道路着色	なし	青グラデーション (基本色: #00FFFF, #33CCFF, #0000FF, #3366FF)

色を区別して作成したが、GUI 上の空はガイダンスに不要な情報であり、濃紺色であっても路面の視認性が低くなることから、地面と同色の黒色が望ましいと考えられる。

(5) GUI 改良

(4) より、白色系のオブジェクトに彩度をもたせる、空と地面の色を黒色に統一するなどの改良を施した GUI を検討した。改良要素は表一 5 に示す項目である。項目順に改良前と改良案を HUD に投影し、要素単体の視認性と路面の視認性の観点から比較した。

(6) 改良 GUI 評価結果

GUI 改良項目の評価結果を表一 6 に示す。建物の着色は、シアンやマゼンタなどの高彩度な色は、建物

表—6 評価結果

改良項目	改良前	改良案
空の着色	あり	なし
建物の着色	白黒	薄橙（#FFCC66）
建物端線色	白	白
道路着色	なし	青グラデーション（#33CCFF）



図—9 GUI 案③⑧と検証状況（夜）

表—7 主観評価による比較

評価項目	②	④	⑥	⑧	③⑧
まぶしさ ^b	1	1	1	1	1
道路端視認性（昼）	1	1	1	1	1
道路端視認性（夜）	1	1	1	1	2
建物位置視認性（昼）	2	1	2	1	1
建物位置視認性（夜）	2	2	2	2	1
自己位置・方向の わかりやすさ（昼）	1	1	1	1	1
自己位置・方向の わかりやすさ（夜）	2	1	1	1	3
舗装路面の視認性（昼）	1	1	1	2	1
舗装路面の視認性（夜）	2	1	3	3	2
得点	13	10	13	13	13
得点（昼）	6	5	6	6	5
得点（夜）	7	5	7	7	8

b まぶしさは、「まぶしい」ほど得点が高く（視認性が低いと評価）、「まぶしさを感じない」ほど得点を低く（視認性が高い）して評価した。

部が塗りつぶされて見えることから HUD を通した路面の視認性が低かった。彩度を落とした淡色では路面の視認性が高く、特に外部環境との区別がしやすい薄橙色を採用した。道路の着色は、カーナビゲーションシステムなどを参考にして青色のグラデーションを試行したところ、GUI 上の道路の視認性と路面の視認性がいずれも高かったことから、4 種類の基本色を比較して最も視認性が高い #33CCFF を基本色としたパターンを採用した。以上の結果を受けて作成した GUI 案③⑧を図—9 に示す。

GUI 案③⑧に対して、(2) と同様の主観評価を実施した。評価結果と (4) の比較を表—7 に示す。②～⑨と比較し、着色を変更した建物位置の視認性が向上した。また、空と地面の色を黒色同色にしたことから路面の視認性は高い状態を維持した。一方で、夜間の自己位置・方向はわかりにくかった。これは、道路の着色と車両モデルの着色のコントラストが小さいこ

と、道路が発光して見えることにより車両モデルが認識しづらかったことによる。

(7) HUD の利用検討結果

ガイダンス画面表示手法としての HUD の利用検討では、GUI による昼夜の視認性を主観評価により検証した。コントラストが大きい GUI の視認性は高かった一方で、白色や高彩度のオブジェクトは夜間強く発光して見えることから境界がわかりづらく、建物の塗りつぶし色は淡色が適していることがわかった。路面の視認性が高い色は黒色であり、濃紺色は適さなかった。本検証は舗装路面上で実施したが、実作業環境への適応性を向上させるため、積雪路面や雪壁直前、逆光条件での検証も今後行う方針である。また、実際の建設機械に HUD を設置して作業装置の視認性が確保されることの確認も併せて行っていきたい。

5. おわりに

本稿では、安価な機材で除雪ドーザの自己位置と作業姿勢をオペレータに通知することのできるガイダンスシステムの開発とガイダンスシステム表示に対する HUD の適用について検討した。

ガイダンスシステムの開発については、Unity Editor 内の仮想環境にて、6 軸加速度計からの入力処理および、自車の周辺構造物の表示、地図上の構造物との接近警告などの動作確認を行った。

HUD の適用検討では、各 GUI 案について、夜間及び昼間の環境にて比較評価し、HUD の活用を前提とした GUI 改良の方向性を明らかにした。この結果を受けて、ガイダンスソフトウェアの GUI に反映するほか、Android 端末へのインストールおよび実車への搭載、現場における作業装置の視認性評価など、残存した課題を解決するため、開発を進めていきたい。

J C M A

《参考文献》

- 1) 国土交通省. i-Construction 2.0 ～建設現場のオートメーション化～. 2024 年 4 月 16 日.
- 2) 国土交通省北海道開発局. i-Snow. 国土交通省北海道開発局. (オンライン) 2023 年 12 月 13 日. <https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/jg/gijyutu/splaat0000010dmm.html>.
- 3) 国土交通省北陸地方整備局道路部道路管理課. ICT 除雪機械の開発. 雪のトップランナー～道路除雪の役立ち情報を発信！～. (オンライン) 2025 年 7 月 16 日 (参照日). <https://www.hrr.mlit.go.jp/road/toprunner/202101.html>.
- 4) 北海道開発局の除雪自動化の取り組み. 小野寺敬太. 札幌：内閣府宇宙開発戦略推進事務局, 2023. みちびき講演会 2023 in 北海道. ページ: 31.
- 5) (一社)日本建設機械施工協会北陸支部 永雪部会. 道路除雪オペレータ実態調査報告. 新潟市：(一社)日本建設機械施工協会 北陸支部

氷雪部会, 令和5年.

- 6) マルマテクニカ. スマート除雪ナビ. マルマテクニカ HP. (オンライン) 2025年7月16日(参照日). <https://www.maruma.co.jp/product/snow-removal-navi/>.
- 7) ダイナミックマッププラットフォーム(株). NEWS「除雪支援システム」実証実験について. ダイナミックマッププラットフォーム HP. (オンライン) 2022年01月14日. <https://www.dynamic-maps.co.jp/news/2022/0114.html>.
- 8) 山田充, 山崎貴志. 除雪車オペレータ用道路付属物位置情報提供アプリの開発. 札幌市:(国研)土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム, 2022.
- 9) (一社)日本建設機械施工協会東北支部 監修:施工部会. 除雪機械仕様一覧表. 仙台市:(一社)日本建設機械施工協会東北支部, 令和3年.
- 10) (一社)日本建設機械施工協会北陸支部 氷雪部会. 参考文献・除雪工法. 北陸支部 文献・報告書. (一社)日本建設機械施工協会北陸支部. (オンライン) 2019年2月. <https://jcma-hokuriku.info/wp-content/uploads/2019/02/jiko.pdf>.
- 11) 読売新聞. 除雪車が後退. 新聞配達を手伝う女性にぶつかり死なす. 読売新聞オンライン. 2022年12月3日, ページ: <https://www.yomiuri.co.jp/national/20221203-OYT1T50067/>.
- 12) (一社)日本建設機械施工協会北陸支部 氷雪部会. 道路除雪オペレータ実態調査報告. 新潟市:(一社)日本建設機械施工協会北陸支部 氷雪部会, 平成30年.
- 13) 国土交通省. 道路機械オペレータ調査結果(直轄国道除雪業者).
- 14) 三英技研. 事業案内. 除雪支援. 三英技研 web サイト. (オンライン) 2025年5月1日. <https://sanei.co.jp/snowplow/>.

[筆者紹介]

山下 和海(やました かずみ)
(一社)日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所
研究第三部
研究員



酒井 龍之介(さかい りゅうのすけ)
(一社)日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所
研究第三部
研究員



新機種紹介 機関誌編集委員会

▶ 〈01〉ブルドーザおよびスクレーパ

24-〈01〉-01	コマツ ブルドーザー D375A-8R	'24.12 発売 新機種
------------	-------------------------------	------------------

新型のブルドーザーである D375A-8R は、ロックアップ機能付き自動変速パワートレインを備え、さらに後進時のエンジン出力を従来機比で 20% アップしたことで、ドーピング作業のサイクルタイムを短縮し、生産性を従来機比で最大 18% 向上している。

耐久性では、従来機のメインフレームでクリティカルな溶接継手構造を刷新し、耐久寿命を従来機比 2 倍に延長している。

ラジエータには、目詰まりしにくい独立コアチューブ方式を採用し、ラジエータ清掃頻度を低減している。またコア破損時には破損個所のコアチューブのみを交換可能とし、修理性を向上している。

ブレードリンク構造には、従来構造に対し節点数を減らした新構造を採用し、ブレード横揺れのガタ量、およびシム調整や給脂等の作業負荷を低減している。

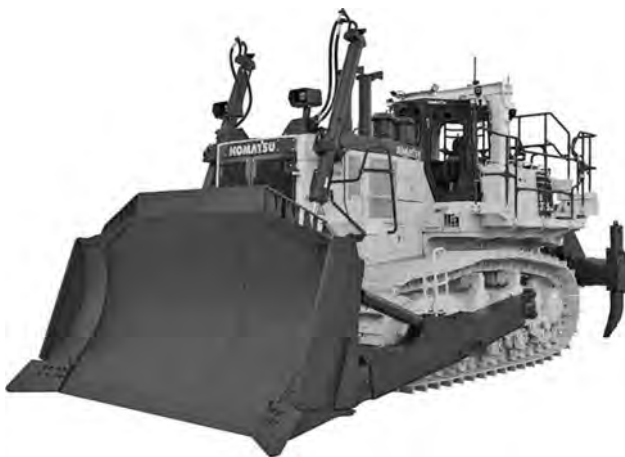
居住性では、運転席と車体を接続するキャブダンパマウントのストローク量を約 2.5 倍に拡大し、さらにサスペンション揺動域の最適化とショルダパッドの追加により、乗り上げと落下時のショックを低減している。また新型モノコックキャブの採用により気密性が向上し、ダスト進入が抑制され、運転室内の騒音レベルが従来機に対し 5 dB (A) 低減している。

安全性では、整備用プラットフォームと大型化したハンドレールの標準装備、油圧ラダーのオプション装備により、従来機よりも安全な昇降経路と整備スペースを確保している。

運転操作性では、完全電子コントロール化による作業機のセミオート化と多機能化で利便性が向上し、遠隔操作への拡張も可能としている。

表—1 D375A-8R の主な仕様

機械質量 (kg)	77,490
※セミ U ブレード+マルチリッパ	
エンジン出力 グロス (kw[PS]/min ⁻¹)	578[786]/1,800
エンジン出力 ネット (kw[PS]/min ⁻¹)	558[759]/1,800
※ JIS D 0006-1 (冷却ファン最低回転時)	
全長/全幅/全高 (mm)	10,270/4,775/4,280
ブレード容量 (m ³)	18.5
接地長/履帯幅/リンクピッチ (mm)	3,980 / 610 / 280
接地圧 (kPa)	157
走行速度 1 速 前進/後進 (km/h)	0 ~ 3.5 / 0 ~ 4.6
走行速度 2 速 前進/後進 (km/h)	0 ~ 6.8 / 0 ~ 8.9
走行速度 3L 速 前進/後進 (km/h)	0 ~ 8.0 / 0 ~ 9.7
走行速度 3 速 前進/後進 (km/h)	0 ~ 11.8 / 0 ~ 15.8
最小旋回半径 (m)	4.2
ブレード 上昇量/下降量 (mm)	1,690 / 735
ブレード チルト量 (mm)	1,170
価格 工場裸渡し消費税抜き (百万円)	165



写真—1 コマツ ブルドーザー D375A-8R

問合せ先：コマツ サステナビリティ推進本部

コーポレートコミュニケーション部

〒105-8316 東京都港区海岸 1-2-20 汐留ビルディング

E-mail : JP00MB_cc_department@global.komatsu

建設業における労働災害の発生状況と 熱中症対策の動き

建設業労働災害防止協会技術管理部

1. はじめに

建設業における労働災害は長期的に減少傾向にある中、最近の状況は、死亡災害については、令和3年から2年連続で増加の後、令和5年は過去最少（223人）となりましたが、令和6年は9人増の232人となりました。休業4日以上の死傷災害については、令和4年から2年連続で減少となりました。

しかしながら、最近では熱中症による労働災害が増加傾向にあり、本年6月には熱中症対策強化の義務付けの規則改正が施行されました。

本稿では、令和6年の建設業における労働災害の発生状況の特徴とともに、熱中症による災害発生状況、対策強化の概要を紹介します。

2. 建設業における労働災害の発生状況

(1) 死亡者数、死傷者数の推移及び全産業に占める割合

ア 死亡者数

建設業における労働災害の過去10年間の推移（図-1）を見ると、死亡者数については、増減を繰り返しながらおおむね減少傾向にあります。令和5年は、前年より大幅に減少し、223人と過去最少となりました。令和6年の死亡者数は、232人と対前年で9人（4.0%）の増加となりましたが、過去2番目に低い水準となりました。

ただし、全産業の死亡者数（746人）に占める割合は、再び3割強（31.1%）となり（令和5年は3割を下回っていました（29.5%））、

全産業死亡災害発生状況【2024年】



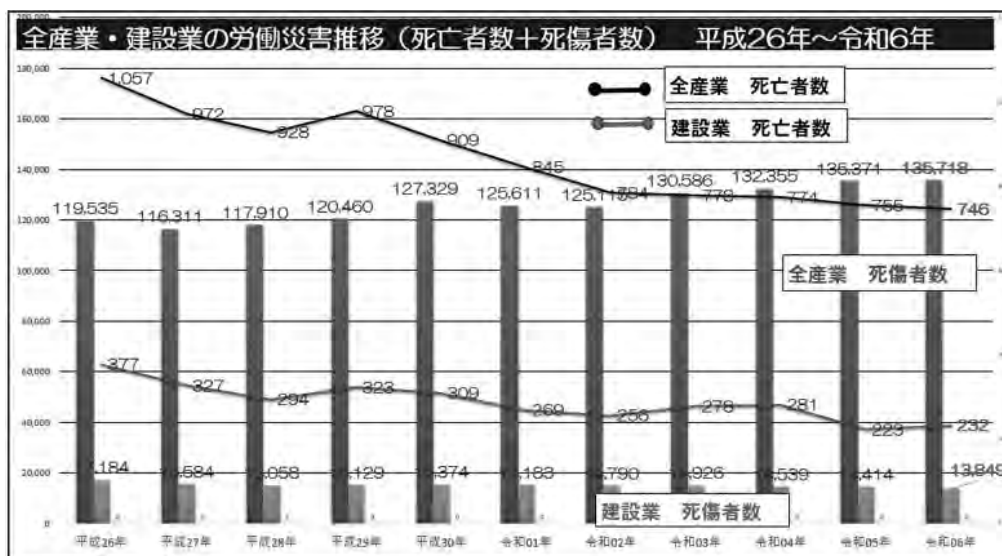
図-2 業種別死亡災害発生状況（令和6年）

業種別では、最も多く、高い割合を占めている状況は変わりません（図-2）。

イ 死傷者数

休業4日以上の死傷者数の推移については、平成30年と令和3年は増加しましたが、おおむね減少傾向にあり、令和4年からは3年連続で減少し、令和6年は13,849人と前年比565人（3.9%）減少となりました。

なお、全産業の死傷者数は、長期的に増加傾向にあり、令和6年は全産業の135,718人に対して建設業は13,849人で、その占める割合は10.2%と、令和5年の10.6%より小さくなりました（図-1, 3）。



新型コロナウイルス感染症のり患によるものを除く（令和2年～4年）。

図-1 全産業及び建設業における労働災害発生件数の推移

統計

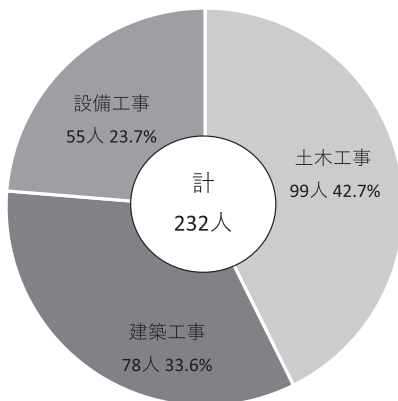
全産業死傷災害発生状況（休業4日以上）



図一 3 業種別休業4日以上の死傷災害発生状況（令和6年）

（2）死亡災害の特徴（令和6年の対前年との比較）

ア 工事の種類別に見ると、土木工事 99 人（42.7%）（対前年 12 人増）が最も多く、次いで建築工事 78 人（33.6%）（対前年 20 人減）、設備工事 55 人（23.7%）（対前年 17 人増）の順となっています（図一 4）。



図一 4 工事の種類別死亡災害発生状況（令和6年）

イ 死亡災害の事故の型別増減の特徴

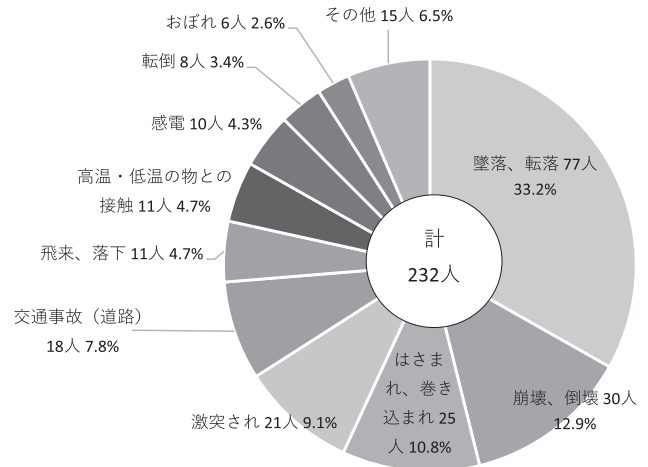
死亡災害を事故の型別で見ると、「墜落・転落」が 77 人（33.2%）で最も多くなっていますが、これまで 4 割を占めていたものが対前年で 9 人減少し、3 割強となりました。

次いで、「崩壊・倒壊」が 30 人（12.9%）と多く、対前年で 12 人増加しました。

3 番目に、「はさまれ・巻き込まれ」が 25 人（10.8%）で、対前年比で 12 人増加し、これら 3 種類の事故の型で、132 人と建設業全体の 6 割弱（56.9%）を占めています（図一 5）。

増加した事故の型は、次のとおりです。

- ①「崩壊・倒壊」：12 人増（18 → 30）
- ②「はさまれ・巻き込まれ」：12 人増（13 → 25）
- ③「激突され」：11 人増（10 → 21）



図一 5 死亡災害の事故の型別内訳（令和6年）

これに対して減少しているものは次のとおりです。

- ①「墜落・転落」：9 人減（86 → 77）
- ②「飛来・落下」：10 人減（21 → 11）
- ③「交通事故（道路）」：7 人減（25 → 18）

（3）三大災害の発生状況

建設業に特有の死亡災害リスクの高い三大災害（墜落・転落災害、建設機械・クレーン等災害、倒壊・崩壊災害）の状況（令和6年）については、次のとおりで、「墜落・転落」は対前年で減少していますが、「建設機械・クレーン等災害」、「倒壊・崩壊災害」いずれも対前年で増加しています。

- ①「墜落・転落災害」：77 人（対前年 9 人減）
- ②「建設機械・クレーン等災害」：90 人（対前年 9 人増）
- ③「倒壊・崩壊災害」：30 人（対前年 12 人増）

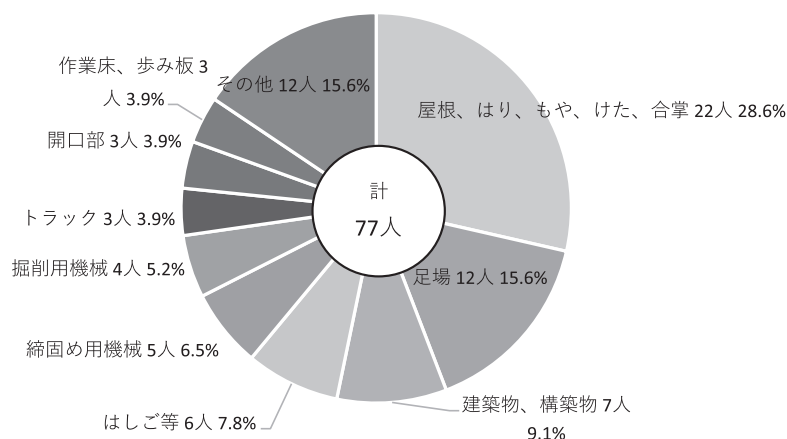
ア 「墜落・転落災害」77 人の内訳は、「屋根、はり、もや等」22 人、「足場」12 人、「建築物、構築物」7 人、「はしご等」6 人と続き、これらで全体の 3 分の 2 を占めています（図一 6）。

イ 「建設機械・クレーン等災害」90 人の内訳は、「掘削用機械」18 人、「トラック」18 人、「締固め用機械」8 人の 3 種類で約半数を占めています。特に「掘削用機械」は、対前年比 10 人増となっています。

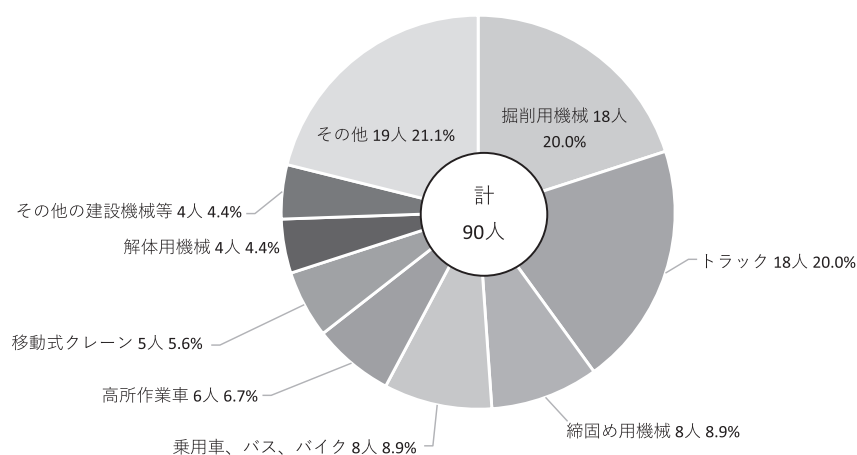
「建設機械・クレーン等災害」の増加は、機械災害に多い事故の型である「はさまれ・巻き込まれ」「激突され」の増加も影響しているものと思われます（図一 7）。

注）「三大災害発生状況」は、「図一 5 死亡災害の事故の型別内訳（令和6年）」により作成しています。「墜落・転落災害」と「倒壊・崩壊災害」の件数は事故の型別の分類ですが、「建設機械・クレーン等災害」の件数は起因物による分類です。そのため、「建設機械・クレーン等災害」の件数には、「墜落・転落災害」と「倒壊・崩壊災害」の件数が重複計上されています。

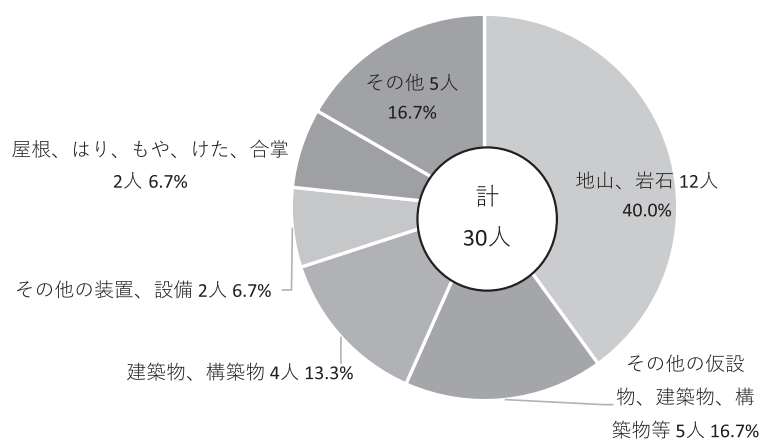
ウ 「倒壊・崩壊災害」30 人の内訳は、「地山、岩石」12 人、「その他の仮設物、建築物、構築物等」5 人、「建築物、構築物」4 人で



図一六 墜落・転落災害の内訳 (令和6年)



図一七 建設機械・クレーン等災害の内訳 (令和6年)



図一八 倒壊・崩壊災害の内訳 (令和6年)

7割を占めています。特に「地山、岩石」は、対前年比3人増となっています(図一八)。

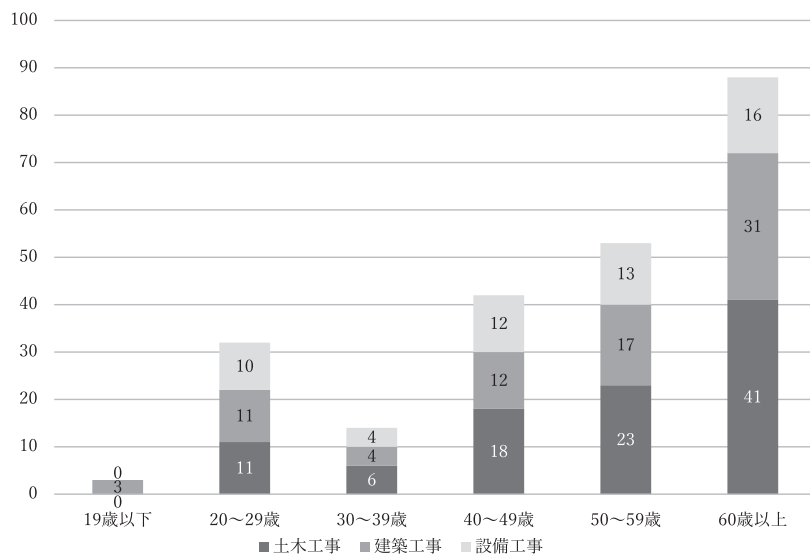
(4) 年齢別の死亡災害の特徴

ア 年齢別死亡者数(令和6年)は、60歳以上が88人(37.9%)

と最も多くなっています。次いで、50歳代53人、40歳代42人、20歳代32人、30歳代14人の順となり、30歳代が最も少なくなっています(図一九)。

工事の種類別でも60歳以上がいずれの工事でも最も多くなっており、特に土木工事においては41人と、60歳以上の死亡者全

統計



図一 9 年齢別・工事の種類別死亡災害発生状況（令和 6 年）



図一 10 年齢別死者数及び死傷者数の比較（令和 6 年）

体の半数近くを占めています。

イ 年齢別の死亡者数と死傷者数との比較（令和 6 年）

年齢別割合で死亡者数と死傷者数を比較すると、60 歳以上で死亡者数 88 人（37.9％）に対して、死傷者数 3,429 人（24.8％）と、60 歳以上の高齢者の死亡者数の割合が死傷者数よりも 1.5 倍も高い状況にあり、高齢者の方が死亡災害のリスクが高いことが分かります（図一 10）。

(5) 月別死亡災害発生状況

月別の死亡災害発生状況は、令和 6 年においては、9 月 27 人、7 月 25 人、10 月 24 人の順に多くなっています（図一 11）。

過去 3 年を比較すると、ばらつきは大きいものの、6 月～9 月の夏から秋にかけて多い傾向にあり、熱中症による死亡者数が建設業で 7、8 月に多く発生していることから、その影響も考えられます。

(6) 工事の種類別、事故の型別死亡災害発生状況（令和 6 年）

（表一 1）

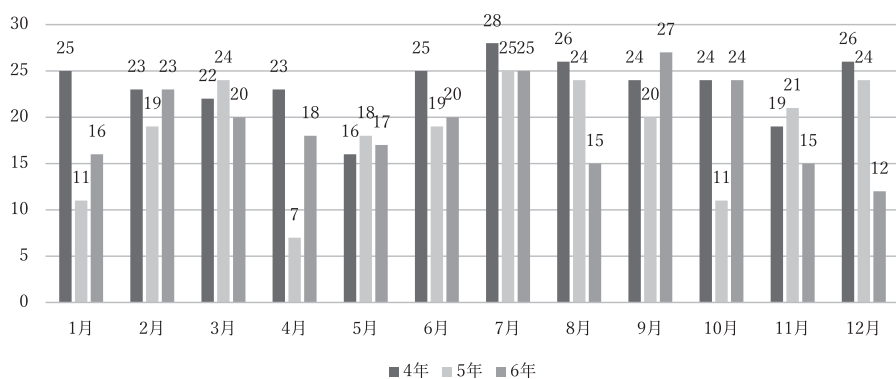
ア 土木工事

土木工事 99 件のうち、事故の型別では「墜落・転落」(21) が最多ですが、「はさまれ・巻き込まれ」(15)、「激突され」(14)、「崩壊・倒壊」(13)、「交通事故（道路）」(9) と続き、事故の型は多様な状況です。

工事の種類別では、「その他土木工事」(35) に次いで、「道路建設工事」(20) が多く、「土地整理土木」(9)、「上下水道」(7) と続きます。

イ 建築工事

建築工事 78 件のうち、事故の型別では「墜落・転落」(38) が全



図一 11 月別死亡災害発生状況（令和 6 年）

表一 建設工事の種類別・事故の型別死亡災害発生状況（令和6年）

※ 新型コロナウイルス感染症のり患による労働災害を除いたもの。

事故型	1 墜落・転落	2 転倒	3 激突	4 飛来・落下	5 崩壊・倒壊	6 激突され	7 はさまれ・巻き込まれ	8 切れ・こすれ	9 踏み抜き	10 おぼれ	11 高温・低温の物との接触	12 有害物等との接触	13 感電	14 爆発	15 破裂	16 火災	17 交通事故（道路）	18 交通事故（その他）	19 動作の反動・無理な動作	90 その他	99 分類不能	計
業種																						
01 水力発電所	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
02 トンネル建設工事	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
03 地下鉄建設工事	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
04 軌道建設工事	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
05 橋梁建設工事	2	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6
06 道路建設工事	4	1	0	2	2	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	20
07 河川土木工事	0	1	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5
08 砂防工事	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
09 土地整理土木	4	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	9
10 上下水道	0	1	0	0	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	7
11 港湾海岸	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4
99 その他土木	7	3	0	2	5	5	5	0	0	1	2	0	0	0	0	0	4	0	0	1	0	35
01 土木工事	21	6	1	6	13	14	15	1	0	6	3	0	0	0	0	0	9	2	0	2	0	99
01 鉄骨・鉄筋家屋	10	0	0	0	3	4	1	0	0	0	3	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	24
02 木造家屋建築	4	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	9
03 建築設備工事	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	6
09 その他の建築工事	21	0	0	1	3	3	2	0	0	0	3	1	1	1	0	0	3	0	0	0	0	39
02 建築工事	38	1	0	1	9	7	4	0	0	0	6	1	4	1	0	0	5	0	0	1	0	78
01 電気通信工事	3	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0	13
02 機械器具設置	6	0	0	1	2	0	3	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2	1	0	1	0	18
09 その他の建設	9	0	0	2	5	0	2	1	0	0	0	1	2	1	0	0	1	0	0	0	0	24
03 その他の建設	18	1	0	4	8	0	6	1	0	0	2	1	6	2	0	0	4	1	0	1	0	55
03 建設業小計	77	8	1	11	30	21	25	2	0	6	11	2	10	3	0	0	18	3	0	4	0	232

体（78）の半数と多くを占めており、「崩壊・倒壊」（9）、「激突され」（7）と続きます。

工事の種類別では、「その他の建築工事」（39）の他「鉄骨・鉄筋家屋建築工事」（24）が多くを占めます。

ウ その他の建設工事（設備工事関連）

その他の建設工事 55 件のうち、事故の型別では「墜落・転落」（18）が最も多く、「崩壊・倒壊」（8）、「はさまれ・巻き込まれ」（6）、「感電」（6）と続きます。

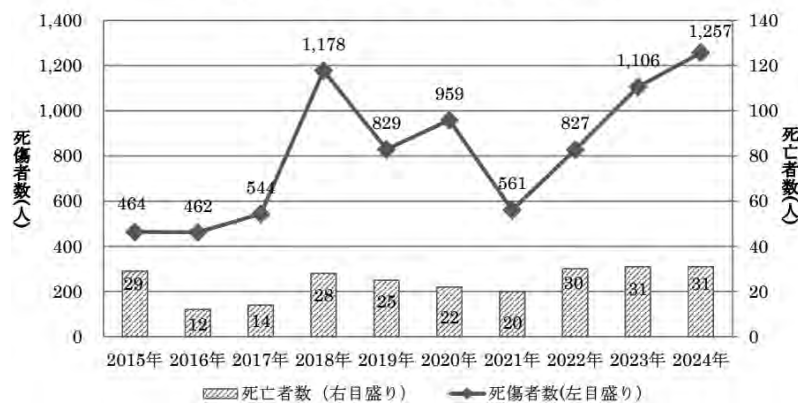
3. 建設業における熱中症対策

（1）熱中症による労働災害発生状況

職場における熱中症による死傷者数は、全産業で見ると過去4年間で急激に増加しており（令和3年 561 人から令和6年 1,257 人と2倍以上の増加）、死亡者数についても、過去3年、30 人以上となっています（図—12）。

建設業においても熱中症による労働災害が増加傾向にあり、業種別では最も多くなっています（表—2）。

職場における熱中症による死傷者数の推移



図—12 職場における熱中症による死傷者数の推移

統計

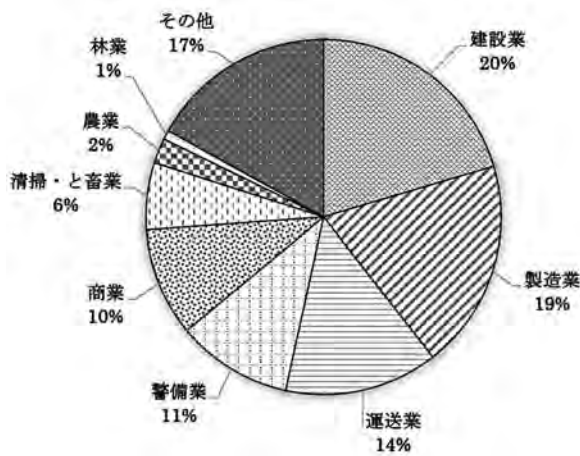
ア 死亡者数について、過去5か年の累計では54人と全産業134人に対して4割を占め、令和6年も10人と全産業31人に対して3割強、いずれも業種別では最も多くなっています。過去5年では令和4年の14人が最も多いですが、10人台で推移しています。

イ 休業4日以上死傷者数について、過去5か年の累計では961人

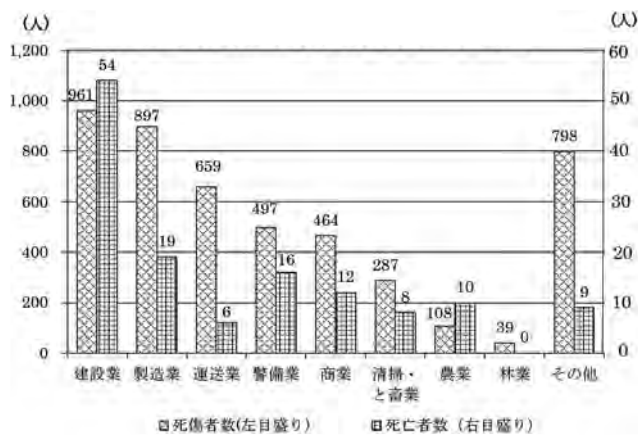
表一 熱中症による休業4日以上死傷者数（死亡者数）の業種別の状況（令和2年～6年）

業種	建設業	製造業	運送業	警備業	商業	清掃・と畜業	農業	林業	その他	計
2020年	215 (7)	199 (6)	137 (0)	82 (1)	78 (2)	61 (4)	14 (1)	7 (0)	166 (1)	959 (22)
2021年	130 (11)	87 (2)	61 (1)	68 (1)	63 (3)	31 (0)	14 (2)	7 (0)	109 (0)	561 (20)
2022年	179 (14)	145 (2)	129 (1)	91 (6)	82 (2)	58 (2)	21 (2)	6 (0)	116 (1)	827 (30)
2023年	209 (12)	231 (4)	146 (1)	114 (6)	125 (3)	61 (0)	27 (4)	9 (0)	184 (1)	1,106 (31)
2024年	228 (10)	235 (5)	186 (3)	142 (2)	116 (2)	76 (2)	32 (1)	10 (0)	232 (6)	1,257 (31)
計	961 (54)	897 (19)	659 (6)	497 (16)	464 (12)	287 (8)	108 (10)	39 (0)	798 (9)	4,710 (134)

※（ ）内の数値は死亡者数で内数である。



図一 13 熱中症による業種別の死傷者数の割合（令和2年～6年計）



図一 14 業種別の熱中症による死傷者数状況（令和2年～6年）

と全産業4,710人に対して2割を占め（図一13）、業種別では製造業と並んで最も多くなっています（図一14）。令和6年は228人と近年では最多の令和2年（215人）を上回りました。直近の過去4年で見ると明らかに増加傾向にあります（表一2）。

(2) 職場における熱中症対策の強化

令和7年6月1日に改正労働安全衛生規則が施行され、熱中症の重篤化による死亡に至らせないため、事業者が熱中症対策が罰則付きで義務付けられました。

改正の概要は、熱中症のおそれがある作業を早期に見つけ、その状況に応じ、迅速かつ適切に対処することにより、熱中症の重篤化を防止するため、「体制整備」「手順作成」及びこれらの「関係者への周知」を行うことが事業者が義務付けられています。

対象となる作業は、「WBGT28度以上又は気温31度以上の環境下で、連続1時間以上又は1日4時間を超えて実施が見込まれる作業」となります。

当協会においては、建設現場での熱中症対策のため、このたびの対策強化の改正規則の内容を含め、管理者や作業員向けの教育や専門家による技術指導・支援、周知啓発活動等を行っています。

以下のポスターは、多くの作業員が見る場所に掲示することで周知に役立つものであり、他の書籍や用品とともに当協会でも頒布しています。



[熱中症関連用品は当協会ホームページを参照] ⇒



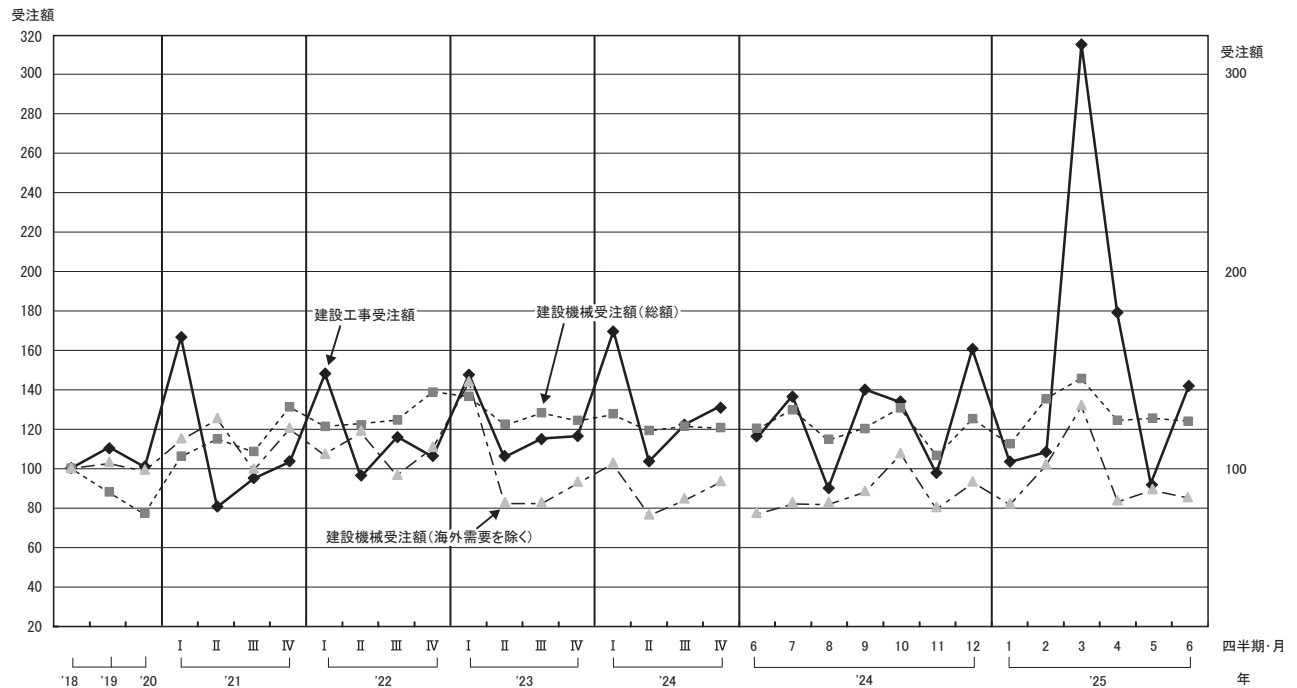
4. おわりに

建設業における労働災害防止対策については、建設業事業者の皆様方の自主的な安全衛生活動を基本としつつ、建災防としましては、関係行政機関はもとより、発注機関や研究機関、関係団体等との連携を図りながら取組を進めたいと考えています。関係者の皆様のご協力が必要不可欠となりますので、今後も建災防の活動に対し、一層のご理解ご協力を賜りたくお願いいたします。

統計 機関誌編集委員会

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 2018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 2018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							
2018 年	142,169	100,716	24,513	76,207	30,632	8,561	5,799	95,252	46,914	166,043	141,691
2019 年	156,917	114,317	24,063	90,253	29,957	5,319	7,308	109,091	47,829	171,724	150,510
2020 年	143,170	97,457	19,848	77,610	35,447	5,225	4,175	91,725	51,443	171,740	141,261
2021 年	157,839	111,240	22,528	88,713	38,056	4,671	3,874	106,034	51,806	192,900	137,853
2022 年	165,482	119,900	33,041	86,862	33,436	5,252	6,898	114,984	50,496	207,841	130,901
2023 年	172,094	121,790	31,098	90,690	40,060	5,360	4,883	117,929	54,164	217,576	161,186
2024 年	187,396	132,025	33,408	98,615	42,398	5,500	7,476	126,223	61,174	235,561	167,675
2024 年 6 月	13,725	9,632	2,221	7,410	2,638	460	995	9,394	4,332	229,504	15,537
7 月	16,233	13,082	3,830	9,252	2,234	408	509	12,558	3,675	234,172	10,884
8 月	10,745	7,213	1,676	5,537	2,389	649	494	6,982	3,764	232,972	12,542
9 月	16,514	11,835	3,195	8,640	4,410	470	-200	10,698	5,816	232,437	17,302
10 月	15,846	11,841	2,704	9,137	2,733	444	829	11,419	4,427	236,704	11,626
11 月	11,564	8,959	2,356	6,603	1,812	422	372	8,371	3,193	234,464	13,818
12 月	19,091	14,266	3,888	10,378	3,534	488	803	14,240	4,850	235,561	19,602
2025 年 1 月	12,259	8,279	2,122	6,157	2,879	375	726	8,349	3,910	235,097	12,905
2 月	12,799	8,434	3,150	5,284	3,685	471	208	8,355	4,444	234,077	14,368
3 月	37,390	26,169	4,898	21,271	9,848	477	896	25,046	12,344	248,241	24,117
4 月	21,213	18,621	2,385	16,236	1,902	498	192	17,785	3,428	258,165	9,965
5 月	10,828	7,964	1,911	6,053	1,663	376	824	6,774	4,053	257,065	11,738
6 月	16,817	12,555	2,919	9,635	2,902	534	827	11,805	5,012	－	－

建 設 機 械 受 注 実 績

(単位: 億円)

年 月	18 年	19 年	20 年	21 年	22 年	23 年	24 年	24 年 6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	25 年 1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
総 額	22,923	20,151	17,646	26,393	29,024	29,315	28,042	2,291	2,476	2,190	2,298	2,504	2,038	2,389	2,146	2,582	2,775	2,379	2,393	2,364
海 外 需 要	16,267	13,277	10,966	18,737	21,816	22,627	22,097	1,863	2,018	1,731	1,809	1,909	1,593	1,873	1,692	2,017	2,044	1,917	1,899	1,895
海外需要を除く	6,656	6,874	6,680	7,656	7,208	6,688	5,945	428	458	459	489	595	445	516	454	565	731	462	494	469

(注) 2018～2020 年は年平均で、2021～2024 年は四半期ごとの平均値で図示した。

2024 年 6 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

行事一覧

(2025年7月1～31日)

機械部会



■基礎工事用機械技術委員会

月 日：7月9日（水）（会議室での対面開催）

出席者：越田健委員長ほか24名

議題：①株技研製作所による技術プレゼン（会社概要、DX圧入施工の現場実証、ジャイロプレス工法、スキップロック工法概要、RED HILL1967の紹介）②今後の進め方、スケジュールの確認

■基礎工事用機械技術委員会・JCMAS「基礎工事用機械作業エネルギー消費量試験方法」作成WG

月 日：7月10日（木）（会議室、Web併行開催）

出席者：濱口貴和WGリーダほか11名
議題：①株技研製作所様作成のJCMAS草案の検討 ②今後の進め方、スケジュールの確認

■トンネル機械技術委員会・シールド計測技術WG

月 日：7月11日（金）（会議室、Web併行開催）

出席者：椎橋孝一郎副委員長ほか12名
議題：①WG名称の決定とリーダ選出 ②調査活動の進め方について議論 ③スケジュールの確認

■ショベル技術委員会

月 日：7月17日（木）（会議室、Web併行開催）

出席者：安部敏博委員長ほか8名
議題：①「JCMASに基づく『エネルギー消費量試験方法』のISO化」進捗状況の情報共有 ②次期排出ガス規制に関する情報提供 ③各社トピックスの進め方

■トラクタ技術委員会

月 日：7月18日（金）（会議室、Web併行開催）

出席者：川上純樹委員長ほか14名
議題：①各社トピックス（ヤンマー建機：電動コンパクトホイールローダについて）②JCMAS H022見直し検討WGに関する討議 ③次期排出ガス規制に関する情報提供

■路盤・舗装機械技術委員会

月 日：7月23日（水）（会議室、Web併行開催）

出席者：美野隆委員長ほか14名

議題：①令和7年度の活動計画の進捗状況の確認 ②第1回総会（9/24（水））の発表内容、時間割について議論 ③令和7年度見学会候補先の選定 ④シンポジウム実行委員の選任

■トンネル機械技術委員会・幹事会

月 日：7月24日（木）（会議室、Web併行開催）

参加者：浅沼廉樹委員長ほか10名

議題：①第1回WG（シールド計測技術に関する調査WG）の結果報告 ②見学会候補地の検討 ③技術講演会の日程と講演内容について議論

■情報化機器技術委員会

月 日：7月25日（金）（会議室での対面開催）

出席者：嶋田健二郎委員長ほか10名

議題：①DX推進に関する調査項目の具体的設定 ②規制・規格の最新情報の共有 ③見学会に関する議論 ④その他情報交換

■原動機技術委員会

月 日：7月31日（木）（会議室、Web併行開催）

出席者：小林喜美頼委員長ほか29名
議題：①国内次期排出ガス規制についての情報交換（5団体協議（6/25（水））の概要報告、次期ディーゼル特殊自動車基準改正連絡会（7/18（金））の概要報告、陸内協別添43改正WGの活動状況の情報共有）②海外排出ガス規制の動向についての情報交換（北米での状況）③カーボンニュートラルに関する情報交換

標準部会



■ISO/TC 195/SC 1 コンクリート機械委員会

月 日：7月2日（水）

出席者：川上晃一委員長（日工）ほか16名

場所：協会会議室及びWeb上（ISO Zoom）

議題：①TC 195 国際会議（9月8日～11日）・SC 1 総会（9月10日～11日）@ローマ対応協議ほか

■ISO/TC 127 国内委員会総会

月 日：7月3日（木）

出席者：後藤優太（コマツ）委員長ほか29名

場所：Web上（ISO Zoom）

議題：①親TC 127、SC 1～SC 4活動計画及び審議状況報告 ②投票案件 ③その他

■ISO/TC 127/SC 1/WG 6 ISO 11152 エネルギー消費試験方法 国際ハイブリッドWG会議

月 日：7月9日（水）～11日（金）

出席者：（対面）米国Crowell コンビナー、正田明平プロジェクトリーダー（JCMA事務局）ほか10名、（Web）5名

場所：機械振興会館会議室及びWeb上（ISO Zoom）

議題：①2025年6月WG意見照会コメント審議 ②Wacker Neuson 社提案によるショベル用燃費計測試験法の審議 ③今後の予定：次回WG（9月4日・5日バーチャル）

■ISO/TC 214/WG 1 - ISO/AWI 21455 高所作業車—操縦装置—操作力、操作行程、位置及び操作方法 国際バーチャルWG会議

月 日：7月22日（火）夜

出席者：米国より McGregor コンビナー（Skyjack 社）、米国 Moss 氏（AEM事務局）、日本より正田明平（JCMA事務局）ほか12名

場所：Web上（ISO Zoom）

議題：①ISO 21455改訂コメント審議 ②今後の予定：次回WG（11月中旬、フランス）

■ISO/TC 127/WG 17 ISO/TR 5757 回生可能エネルギー貯蔵システム RESS の土工機械への適用 国際バーチャルWG会議

月 日：7月23日（水）夜

出席者：米国 Spomer コンビナー（Bobcat 社）、日本から小塚大輔委員（コマツ）ほか14名

場所：Web上（ISO Zoom）

議題：①電動化技術関係規格の改訂優先度審議 ②今後の予定：次回WG（9月4日・5日バーチャル）

■JIS 原案作成分科会

月 日：7月24日（木）

出席者：本池氏（日本規格協会）ほか6名

場所：Web上（Zoom）

議題：JIS A 8339「クイックヒッチの安全性」/JIS A 8330-5「前面窓ガラスデフロスタ試験方法」の改正原案の精査

■ISO/TC 127/JTF 1 トラクションバッテリーに関するTC 127とTC 82業務の重複と相違点 国際ジョイントタスクフォースバーチャル国際会議

月 日：7月29日（火）夜

出席者：米国から K. Lueschow TC127側共同コンビナー（Cat 社）、中国から Meng TC82側共同コンビナー

(CMAC：中国鉱山製品安全認証センター)、日本から岡ゆかり TC 127/SC 3 国際議長 (コマツ) ほか 22 名

場 所：Web 上 (ISO Zoom)

議 題：① TC82 による坑内鉱山機械・電動建機試験標準提案の詳細審議

②今後の予定：次回会議 (2025 年 9 月 23 日 中国上海 ISO/TC 82 総会と併催)

建設業部会



■建設業 ICT 安全委員会 (Zoom 開催)

月 日：7 月 15 日 (火)

出席者：伊勢卓矢委員長ほか 6 名

議 題：①「ICT を用いた安全対策機器情報」(DB) 掲載内容の再確認について ②その他

■令和 7 年度若手現場見学会

月 日：7 月 24 日 (木)

参加者：篠宮政幸機電交流企画委員長、古口光委員長ほか 37 名

見学場所：港区港南二丁目 (品川駅構内)

見学概要：①東京都の連続立体交差事業に伴う京急八ツ山橋りょうの架替え工事：JR 東日本在来線 (山手・京浜・東海道) および東海道新幹線上空における長大鋼桁の急曲線送り出し ②品川駅北口における人工地盤新設工事：バスターミナル・タクシープールなどの交通広場を目的とした人工地盤を品川駅北口に新設するもの

発注者：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 品川プロジェクトセンター

施工者：①鉄建建設・大林組・京急建設 共同企業体 ②鉄建建設・大林組建設 共同企業体

■三役会

月 日：7 月 29 日 (火)

出席者：坂下誠部会長ほか 4 名 (内 Zoom2 名)

議 題：① 6/30 機電交流企画委員会の報告 (7/24 若手現場見学会、機電職就活ガイド改訂進捗、10/9～10 機電技術者意見交換会計画等) ② 7/15 建設業 ICT 安全委員会 ③その他 (11/21 建設業部会見学会等)

各種委員会等



■機関誌編集委員会

月 日：7 月 2 日 (水)

出席者：中野正則委員長ほか 27 名

議 題：①令和 7/10 月号 (第 908 号) (解体、3R、建設発生土・廃棄物処理) 計画 ②令和 7/11 月号 (第 909 号) (港

湾・海洋・海岸施設) 素案 ③令和 7/12 月号 (第 910 号) (先端建設技術) 編集方針 ④令和 7/7 月～令和 7/9 月号 (第 905～907 号) 進捗状況報告 ⑤令和 8 年 特集テーマ (案) について ※通常委員会及び Zoom にて実施

支部行事一覧

北海道支部



■令和 7 年度除雪機械技術講習会 (第 2 回)

月 日：7 月 1 日 (火)

場 所：札幌市 (北海道経済センター)

受講者：114 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

■建設技術担い手育成プロジェクト (苫小牧工業高等専門学校出前授業 (座学))

月 日：7 月 1 日 (火)

場 所：苫小牧工業高等専門学校

受講者：創造工学科 (都市・環境系) 4 年生 36 名

内 容：① ICT を活用した建設技術 (座学) ② ICT 施工事例 A (座学) ③ ICT 施工事例 B (座学) ④ ICT 遠隔操作機械の概要 (座学)

講師等：鈴木勇治プロジェクトリーダー ほか

■令和 7 年度 インフラ DX・ICT 施工推進連絡会

月 日：7 月 7 日 (月)

場 所：札幌市 (かでの 2・7 道民活動センター)

出席者：谷崎敏彦座長ほか 39 名

内 容：①インフラ DX・i-Construction に関する情報連絡 (北海道開発局、北海道、札幌市、JCMA 北海道支部) ②令和 6 年度インフラ DX・ICT 施工推進連絡会活動報告 ③令和 7 年度インフラ DX・ICT 施工推進連絡会の事務局体制 (案) ④令和 7 年度インフラ DX・ICT 施工推進連絡会活動計画 (案) ⑤その他

■建設技術担い手育成プロジェクト (苫小牧工業高等専門学校出前授業 (実習))

月 日：7 月 8 日 (火)

場 所：苫小牧工業高等専門学校

受講者：創造工学科 (都市・環境系) 4 年生 36 名

内 容：① ICT 建設機械 (3DMC) を使用した操作 ② 3 次元レーザスキャナー (モバイル) を利用した計測 ③建設 VR ④ UAV 計測

講師等：笹原久之プロジェクトサプリーダー ほか

■第 2 回広報部会広報委員会

月 日：7 月 25 日 (金)

場 所：北海道支部会議室

出席者：村上昌仁広報部会長ほか 10 名

議 題：①支部だより No.130 号の編集について ②工事現場等見学会について ③支部講演会講師の選定について ④建設機械施工ずいそうについて ⑤その他

東北支部



■令和 7 年度 建設 ICT 基礎セミナー

内 容：①令和 7 年度の ICT 活用工事 東北地方整備局の取組みと今後の展開 ②令和 6 年度の ICT 活用工事 県の取組みと今後の展開 ③施工者による事例発表 ④ ICT 活用工事の基礎知識 【その 1：定義と基準類の解説等、その 2：3 次元出来形管理、その 3：ICT 建機施工、その 4：3 次元データ、その 5：衛星測位の基礎知識】

主 催：東北地方整備局、青森県・秋田県・岩手県・山形県・宮城県・福島県、東北建設業協会連合会、JCMA 東北支部

講 師：①東北地方整備局 ②各県担当者 ③各県の施工者 ④ JCMA 東北支部 情報化施工技術委員会メンバー

①岩手会場

月 日：7 月 2 日 (水)

場 所：岩手産業文化センターツガワ未来館アピオ

受講者：46 名

②秋田会場

月 日：7 月 3 日 (木)

場 所：秋田市 秋田県 JA ビル

受講者：17 名

③福島会場

月 日：7 月 23 日 (水)

場 所：会津アピオスペース

受講者：35 名

④青森会場

月 日：7 月 25 日 (金)

場 所：青森市はまなす会館

受講者：51 名

⑤宮城会場

月 日：7 月 30 日 (水)

場 所：フォレスト仙台

受講者：60 名

⑥山形会場

月 日：7 月 31 日 (木)

場 所：山形市 山形国際交流プラザ ビッグウイング

受講者：40名

■令和7年度 除雪講習委員会

月 日：7月4日（金）

場 所：東北地方整備局会議室

出席者：東北地方整備局 松本章 道路情報管理官ほか10名

内 容：令和7年度除雪講習会実施計画について説明し了承を得た

■令和7年度 第17回建設施工研修会

月 日：7月7日（月）

場 所：仙台市 フォレスト仙台

内 容：建設施工技術に関する技術映画全25本を上映

参加者：63名

■令和7年度 建設機械施工技能実習評価試験（7月宮城定期試験）

月 日：7月9日（水）～11日（金）

場 所：CAT 宮城教習センター

受験者：学科71名、実技74名（掘削、押土・整地、積込み、締固め）

■令和6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】遠隔VRシステム体験ほか（講師：JCMA 東北支部）

【実習2】3次元測量（講師：JCMA 東北支部）

【実習3】遠隔臨場（講師：JCMA 東北支部）

【実習4】遠隔臨場・鉄筋探査（講師：JCMA 東北支部）

③3回目

月 日：7月10日（木）

場 所：東北技術事務所 研修棟

受講者：20名

④4回目

月 日：7月17日（木）

場 所：東北技術事務所 研修棟

受講者：18名

■秋田工業高等専門学校「3次元測量研修」

月 日：【座学】7月11日（金）・【実習】7月18日（金）

場 所：【座学】秋田工業高等専門学校内・【実習】恋地スキー場跡

内 容：【座学】ICTの必要性、国が進めるICT、3次元測量技術、ICT建機ほか・【実習】GNSS・AR計測体験、ICTバックホウ試乗体験、ドローン体験フライト

受験者：土木・建築系4年生47名

北 陸 支 部

■令和7年度 第1回普及部会

月 日：7月3日（木）

場 所：興和ビル10F大会議室

出席者：本間部会長ほか9名

内 容：①令和7年度事業計画について

②令和7年度事業の進め方（討議）：R7除雪機械安全施工技術講習会の計画について、ニイガタ除雪の達人選手権について、建設技術報告会について、現場見学会について、親睦行事の実施について

■令和7年度 第1回建設機械整備技術委員会

月 日：7月3日（木）

場 所：興和ビル10F大会議室

出席者：水澤委員長ほか19名

内 容：①令和7年度事業計画について

②標準作業工数表（除雪機械編）の改訂の必要性について ③建設機械整備作業（点検整備、修理等）の効率化の検討について ④除雪機械整備実態調査アンケートのとりまとめについて

■路面消・融雪施設等設計要領改訂事務局打合せ

月 日：7月17日（木）

場 所：興和ビル5F会議室

出席者：編集委員会事務局7名

内 容：①改訂一次案意見照会の状況確認 ②次回編集委員会・幹事会合同会議のスケジュールについて ③現状の懸案事項と今後の進め方について

■令和7年度 北陸技術事務所専門防災エキスパート（機械・電通）意見交換会

月 日：7月28日（月）

場 所：北陸技術事務所1F大会議室

出席者：浦澤事務局長（参加者合計21人）

内 容：①北陸技術事務所事業概要及び災害対応事例について ②北陸地方防災エキスパートの概要と活動について ③TEC-FORCEの増強による新たな応援体制の構築について ④（機械・電通班別）専門防災エキスパート業務内容について

中 部 支 部

■建設機械整備技能検定実技試験

月 日：6月30日（月）～7月3日（木）

場 所：愛知県三河高等技術専門学校

受験者：1級44名、2級144名

■DX・施工部会 建設インフラDXソリューションセミナー

月 日：7月14日（月）

場 所：吹上ホール

参加者：89人

■広報部会

月 日：7月24日（木）

出席者：森山浩司ほか7名

議 題：令和7年度の部会活動及び「中部支部ニュース」第44号について

■技術・調査部会

月 日：7月28日（月）

出席者：宮内秀弘ほか8名

議 題：令和7年度 技術講演会・技術発表会について

関 西 支 部

■広報部会

月 日：7月11日（金）

場 所：大阪関西万博

出席者：木村泰男広報部会長以下5名

視 察：2025年日本国際博覧会（未来館）を視察

■建設用電気設備特別専門委員会（第506回）

月 日：7月14日（月）

場 所：中央電気倶楽部 会議室

議 題：①競争法コンプライアンス規定、プライバシーポリシー確認 ②前回議事録確認 ③講演会・見学の選定 ④JEM-TR236（建設工事用400V級電気設備施工指針）審議 ⑤その他

■「緊急災害応急対策業務に関する協定書」に基づく操作訓練講習会

月 日：7月23日（水）

場 所：近畿地方整備局近畿技術事務所

議 題：①災害対策用機械による応急復旧活動について ②災害対策用機械操作訓練 ③無人化施工機械操作訓練

中 国 支 部

■第1回企画部会

月 日：7月31日（木）

場 所：広島YMCA会議室

出席者：玉田一雄部会長ほか4名

議 題：①令和6年度活動の総括について ②令和7年度中国地整との意見交換会について ③中国地整との防災協定関係と情報伝達訓練について

■令和7年度建設機械施工管理技術検定試験 第二次検定（実技）監督者事前説明会

月 日：7月31日（木）

場 所：広島YMCA会議室

出席者：清水芳郎試験実施責任者ほか8名

内 容：実施要領説明

四 国 支 部

■共催事業「ドローン操作訓練」

月 日：7月1日（火）

場 所：国営讃岐まんのう公園（多目的

広場)

共催者：(一社) 建設コンサルタンツ協会 四国支部, (一社) 四国クリエイト協会, (一社) 日本建設機械施工協会 四国支部, (一社) 日本補償コンサルタンツ協会 四国支部, (株)建設マネジメント四国

参加者：共催団体から3社25名, ドローン6機

内 容：公園休園日を利用して, 災害発生時に迅速に対応するため, 各社所有のドローンを用いて訓練を実施

■「建設現場の生産性向上セミナー in 高松」

月 日：7月24日(木)

場 所：建設クリエイティブ5階会議室 (高松市)

参加者：10名

主催者：(一社) 日本建設機械施工協会 四国支部・西尾レントオール(株)

内 容：①業界の動向と最新情報 ②チルトローテータで省人化!

九 州 支 部



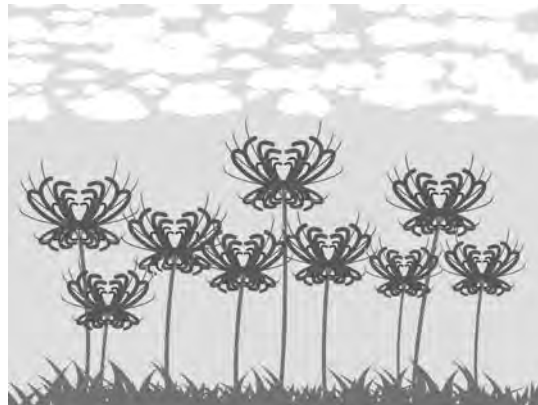
■企画委員会

月 日：7月15日(火)

場 所：宝ビル1106会議室

出席者：原尻企画委員長ほか9名

議 題：①令和7年度九州支部主要行事予定について ②令和7年度建設機械施工管理技術検定試験について ③「令和7年度 DX・ICT 技術講習会」について ④技術部会からのお知らせ ⑤今後のJCMA主催「技術講習会」等に向けて ⑥その他



編集後記

今年の夏は、各地で40度を超えるような観測史上最高気温を記録する異常な暑さに見舞われました。気象予想では本号が出版される頃においても平年より気温が高いとされており、年を追うごとに暑さが厳しくなっていることを実感します。6月からは職場の熱中症対策が義務化されるほど事業継続にあたっては大きなリスクとなっています。

本号は「安全対策・労働災害防止」がテーマです。

労働災害は減少傾向にありますが、安全への取り組みには終わりはなく、従来の安全に対する取り組みに加え、ICTやAIなど新たに開発されている技術の活用が進められています。自動運転など、無人となることでリスクが減少する一方で、今までにない技術や現場環境の下で発生する新たなリスクへの対処も求められており、安全に関するガイドラインの策定や対策も進められています。

巻頭言では、東京大学の割澤先生から「大学における環境安全教育の事例紹介」と題して寄稿いただきました。大学においては、学術分野が多様で取り組む環境安全の対象も幅広く、また外国人留学生など多様な人材の国籍・背景を考慮した独自の環境安全教育体制を整備するなど安

全への取り組みをご紹介いただきました。人材の多様化など取り巻く環境について建設業界にも通ずる内容ではないかと感じています。

行政情報では、人口減少が予測される中インフラ整備・維持管理の持続のために、省人化・生産性向上として進められている自動化や遠隔操作において従来にはなかった危険事象への安全確保が求められており、国土交通省の取り組みや安全ルールの策定についてご紹介いただきました。

また、一般には目にすることのない山岳トンネル工事で進められている施工の自動化・遠隔化技術を通じた災害防止対策への具体的取り組み事例をご紹介いただきました。

特集報文では生成AIを活用した安全管理支援や安全教育の質向上への取り組み、VRでのクレーン危険体験や、現実空間と同調させたデジタルツインを活用したクレーンの安全管理・制御システムの構築、トンネル工事において安全性が課題となる切羽作業での作業、計測、臨場などの遠隔化についての具体的取り組み、建設機械の安全機能など様々な分野、技術について広く寄稿いただきました。

最後になりましたが、突然のご依頼にもかかわらず快くお受けいただいた執筆者の皆様、関係者の皆様には心より感謝申し上げます。

(丹治・小林)

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	田中 康之
田中 康順	中岡 智信
渡邊 和夫	見波 潔

編集委員長

中野 正則 日本ファブテック(株)

編集委員

吉田 真人	国土交通省
大津 太郎	農林水産省
早矢仕 明	(独)鉄道・運輸機構
岡本 直樹	(一社)日本機械土工協会
丹 秀男	鹿島建設(株)
田村 憲	大成建設(株)
岡田 雄大	清水建設(株)
田下依莉花	(株)大林組
鈴木 秀之	(株)竹中工務店
小林 茂樹	(株)熊谷組
田浦 義真	(株)奥村組
京免 継彦	佐藤工業(株)
加取 新	鉄建建設(株)
副島 幸也	(株)安藤・間
眞鍋 匠	五洋建設(株)
那須野陽平	東亜建設工業(株)
佐藤 裕	日本国土開発(株)
丑久保吾郎	(株)NIPPO
室谷 泰輔	コマツ
二塚 勇吾	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

10月号「解体、3R、建設発生土・廃棄物処理特集」予告

・福島第一原発事故で発生した除去土壌等のこれまでの取り組みとこれから ・第五次循環型社会形成推進基本計画 ・精密衝撃破砕工法による馬蹄形ジベル式合成桁橋のRC床版解体・撤去 ・鉄骨ブラズマ切断装置を用いた環境配慮型超高層建物解体工法 ・世界最大級の超大型解体重機を用いた煙突解体 ・打撃速度可変型油圧ブレーカの紹介 ・JIS規格外フライアッシュを用いたCSG配合検討とダム本体への適用 ・解体建物の構造部材を新築へ生かすリユースの取り組み ・軽油代替燃料を用いた建機運用実験 ・環境負荷を大きく低減する地盤改良工法「リソイルPro工法」を開発 ・ハイパースペクトルを用いた災害廃棄物の種類と量の推定 ・廃棄物処理施設整備の最前線 ・カーボンニュートラルに向けた建設現場の新たな取り組み

【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77巻第9号(2025年9月号)(通巻907号)

Vol.77 No.9 September 2025

2025(令和7)年9月20日印刷

2025(令和7)年9月25日発行(毎月1回25日発行)

編集兼発行人 金井道夫

印刷所 日本印刷株式会社

発行所 本部 一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番8号 機械振興会館内

電話 (03) 3433-1501; Fax (03) 3432-0289; <https://jcmanet.or.jp/>

施工技術総合研究所 〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154

電話 (0545) 35-0212

北海道支 部 〒060-0003 札幌市中央区北三条西2-8

電話 (011) 231-4428

東北支 部 〒980-0014 仙台市青葉区本町 3-4-18

電話 (022) 222-3915

北陸支 部 〒950-0965 新潟市中央区新光町 6-1

電話 (025) 280-0128

中部支 部 〒460-0003 名古屋市中区錦 3-7-9

電話 (052) 962-2394

関西支 部 〒540-0012 大阪市中央区谷町 2-7-4

電話 (06) 6941-8845

中国支 部 〒730-0013 広島市中区八丁堀 12-22

電話 (082) 221-6841

四国支 部 〒760-0066 高松市福岡町 3-11-22

電話 (087) 821-8074

九州支 部 〒812-0013 福岡市博多区博多駅東 2-4-30

電話 (092) 436-3322

本誌上への広告は  有限会社 サンタナ アートワークス までお申し込み、お問い合わせ下さい。

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町 2-21-5 井手口ビル 4F TEL: 03-3664-0118 FAX: 03-3664-0138

E-mail: san-mich@zam.att.ne.jp 担当: 田中

Mikasa 

<http://www.mikasa.jp>

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

タンピングランマー

MT-55H



MVC-e60

NETIS No. KT-210039-A



MRH-603DS-SS

NETIS No. KT-190125-VE



MUV-Fe32



MT-e55

NETIS No. KT-210039-A

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	北関東営業所 TEL:0276-74-6452	中国営業所 TEL:082-875-8561	沖縄出張所 TEL:080-1013-9328
札幌営業所 TEL:011-892-6920	長野出張所 TEL:080-1059-2116	四国出張所 TEL:087-868-5111	
仙台営業所 TEL:022-238-1521	中部営業所 TEL:052-504-3434	九州営業所 TEL:092-431-5523	
新潟出張所 TEL:080-1049-0634	金沢出張所 TEL:080-1013-9542	南九州出張所 TEL:080-1013-9547	

V O L V O



次世代 ショベル 20t Electric

強化された知的ソリューションが安全性を向上させ、障害物検知機能の追加により現場の事故回避を支援。事故ゼロビジョンへ向けたステップを促進。サイクルタイム短縮、電気効率向上、稼働時間増加、メンテナンスコスト削減を実現した設計。スマートな操作を実現するアップグレードされた機能で、迅速かつ効率的な作業に役立ちます。



EC230FL Electric

機械重量：23.1t
バケット容量：0.48-1.44m³
バッテリー：リチウムイオン
充電環境：車載充電／外部急速充電
稼働時間：約6～8時間
充電時間：250kW DC急速充電 90分
40kW DC充電 9～10時間

株式会社 ボルボ・グループ・ジャパン

本製品の詳細情報に関しては、下記へご連絡下さい。

正規ディーラー：山崎マシーナリー株式会社

〒430-0928

静岡県浜松市中区板屋町 111-2 アクトタワー 20F

TEL：053-401-3111



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/>

建設機械施工

広告掲載のご案内

月刊誌 建設機械施工では、建設機械や建設施工に関する論文や最近の技術情報・資料をはじめ、道路、河川、ダム、鉄道、建築等の最新建設報告等を好評掲載しています。

■職業別 購読者

建設機械施工／建設機械メーカー／商社／官公庁・学校／サービス会社／研究機関／電力・機械等

■掲載広告種目

穿孔機械／運搬機械／工事用機械／クレーン／締固機械／舗装機械／切削機／原動機／空気圧縮機／積込機械／骨材機械／計測機／コンクリート機械等

広告掲載・広告原稿デザイン——お問い合わせ・お申し込み

サンタナアートワークス

広告営業部：田中 san-mich@zam.att.ne.jp

TEL:03-3664-0118 FAX:03-3664-0138

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-21-5 井手口ビル4F

建設機械施工 カタログ資料請求票

本誌に掲載されている広告のお問い合わせ、資料の請求はこの用紙を利用し、ファクシミリなどでお送りください。

※カタログ／資料はメーカーから直送いたします。 ※カタログ送付は原則的に勤務先にお送りいたします。

お 名 前： 所 属：

会社名(校名)：

資料送付先：

電 話： F A X：

E-mail：

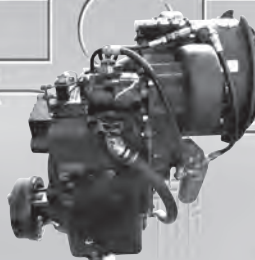
	広告掲載号	メーカー名	製品名
①	月号		
②	月号		
③	月号		
④	月号		
⑤	月号		

FAX 送信先：サンタナアートワークス 建設機械施工係 FAX:03-3664-0138

MARUMA

あらゆる建設機械／シールドマシン・・・ 油圧機器の整備・再生

各種トランスミッション整備と相談に応じます。



建設機械用ZFトランスミッション

点検・整備は、日本ではマルマのみが対応



建設機械のあらゆる油圧機器

斜板式ダブルポンプ



斜板式ピストンポンプ



斜軸式ピストンモータ



シールドマシン用油圧機器



シールド用ジャッキ

電動モータ付ピストンポンプ

建機と共に半世紀以上。確かな「信頼」をお届けします！

整備・再生された各Ass'yは、自社独自開発の多機能油圧機器試験機により性能を確認。各テストのデータはデータベースとして保存され、出荷後、マッチング調整や、搬送されてきた同等品の確認テストに活用します。この万全を期した体制がマルマの高い信頼性の由縁です。



MH-R220は従来の油圧ドライブ型油圧機器試験機に比べ、インバータ制御電動モーター駆動、及びエネルギー回生回路の採用により大幅な消費電力量の削減を実現しました。大型油圧ポンプの試験も可能です。



マルマテクニカ株式会社

本社・相模原事業所 営業部 整備油機課

〒252-0331 神奈川県相模原市南区大野台6-2-1

TEL042 (751) 3809 FAX042 (756) 4389

E-mail:yuki@maruma.co.jp

東京工場 〒156-0054

E-mail:tokyo@maruma.co.jp

名古屋事業所 〒485-0037

E-mail:n-service@maruma.co.jp

東京都世田谷区桜丘1-2-22

TEL03 (3429) 2141 FAX03 (3420) 3336

愛知県小牧市小針2-18

TEL0568 (77) 3311 FAX0568 (77) 3719

URL <http://www.maruma.co.jp/>

決断。

現場を変えたい
皆さまとともに
3D施工を標準へ



- 3D機能標準化により、現場の生産性を向上
- ジオフェンスなどの機能により、安全性を向上
- 油圧システムを刷新し、作業量アップと燃費低減を実現
- 運転席を刷新し、快適な居住空間の実現

新世代油圧ショベル PC200i-12

3Dマシンガイダンス、ペイロード機能を標準搭載。
業界初3Dマシンコントロール選択可能システムで利用時払いも可能。

コマツカスタマーサポート

〒108-0072 東京都港区白金1-17-3 <https://kcsj.komatsu/>



KOMATSU
Creating value together

雑誌 03435-9



4910034350957
00800

「建設機械施工」

定価 八八〇円 (本体八〇〇円 + 税10%)