

一般社団法人
日本建設機械施工協会誌 (Journal of JCMA)

2024

建設機械施工



Vol.76 No.9 September 2024 (通巻895号)

特集 安全対策・労働災害防止



環境配慮型閉鎖解体工法テコレップLightシステム

巻頭言 情報処理技術の発展と安全

特集技術報文

- 機能共鳴分析手法を用いた建設工事のリスクアセスメント
- 移動式クレーンにおける敷板へのアウトリガー偏心設置の危険性
- AIを用いた船舶検知システム「AI-KEN」
- 環境配慮型閉鎖解体工法テコレップLightシステム
- 「自動運転ローラ」の現場活用
- 除雪作業のメンタルヘルスと働き方改革 他

行政情報

- 建設施工の自動化
- 少子高齢社会、担い手不足等を背景とするヒューマンエラーの防止に関する一考察

交流のひろば

- 特定自主検査をご存知ですか？

すいそう

- 人脈を拡げ、議論を尽くす
- 28年ぶりに道民となり

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 φ2500mm
 杭重量 最大 90ton
 開閉 油圧駆動
 前後スライド範囲 ±900mm 油圧駆動
 左右スライド範囲 ±1000mm 油圧駆動

実績多数

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



洋上風力発電ジャケット基礎杭工事



吉永機械株式会社

〒130-0021 東京都墨田区緑4-4-3 吉永ビル TEL:03-3634-5651
 URL : www.yoshinaga.co.jp

建設機械用
無線操作装置

ダイワテレコン



ICT施工や自動制御に対応可能

ダイワテレコン872

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

取付改造実績

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

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



ハンディータイプ
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処にあたります。(国土交通省各地方整備局との「災害応急対策協定」の締結)
- 付属機関として「施工技術総合研究所」を有しており、建設機械・施工技術に関する調査研究・技術開発にあたっています。また、高度な専門知識と豊富な技術開発経験に基づいて各種の性能試験・証明・評定等を実施しています。
- 北海道から九州まで全国に8つの支部を有し、地域に根ざした活動を展開しています。
- 外国人技能実習制度における建設機械施工職種の技能実習評価試験実施機関として承認されています。

■会員構成

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

■主な事業活動

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

■主な出版図書

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

その他、日本建設機械施工協会の活動内容はホームページでもご覧いただけます！

<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うけたとき。3.死亡し、又は失踪宣言をうけたとき。4.1年以上会費を滞納したとき。5.除名されたとき。○資格喪失時の権利及び義務:資格を喪失したときは、本協会に対する権利を失い、義務は免れます。ただし未履行の義務は免れることはできません。○退会の際は退会届を会長宛に提出しなければなりません。○拠出金の不返還:既納の会費及びその他の拠出金品は原則として返還いたしません。

【個人情報の取扱について】

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

論文投稿のご案内

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

当協会ホームページ <https://jcmanet.or.jp/>

★投稿対象

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

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

★部門

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

★投稿資格

原稿の投稿者は個人とし、会員資格の有無は問いません。

★原稿の受付

随時受け付けます。

★公表の方法

当協会機関誌へ掲載します。

★機関誌への掲載は有料です。

★その他：優秀な論文の表彰を予定しています。

★連絡先

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 (機械振興会館)

日本建設機械施工協会 研究調査部 論文担当

E-mail : ronbun@jcmanet.or.jp

TEL : 03 - 3433 - 1501

FAX : 03 - 3432 - 0289

第2回 一般社団法人日本建設機械施工協会 人材育成助成事業の募集の告知

一般社団法人日本建設機械施工協会（以下「JCMA」という。）は、喫緊の課題となっている担い手育成に重点を置き、建設機械及び建設施工に関する学校教育の優れた取組に対して助成を始めました。

令和6年度 第2回となる人材育成助成事業の対象者を下記のとおり公募いたします。

1. 実施スケジュール

- (1) 公募期限は、令和6年11月22日まで
- (2) 助成対象者の決定は、令和7年3月中旬頃（予定）
- (3) 助成期間は、助成決定年度の年度末から令和8年3月31日まで

2. 人材育成助成事業の対象及び対象者

学校教育の取組として、高校・高等専門学校・大学及びこれらと連携する法人が実施する、「建設機械又は建設施工に関する技術者等の人材育成を行うもの」であって、優れた取組と判断されるものを助成の対象とします。

- ① 建設施工の合理化・生産性向上
- ② 社会資本の維持管理・保全技術の合理化・向上
- ③ ①、②に関連する ICT・DX 分野

3. 人材育成助成事業の金額及び期間等

- ① 金額：1件当たり50万円以内
- ② 期間：1年間（令和7年3月末から令和8年3月末）
- ③ 助成件数は、5件以内を予定しております

4. 応募

公募の詳細は、本協会HPに掲載いたします。

<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6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	R6年 5月	大口径岩盤削孔工法の積算 令和6年度版	6,600	5,610	770
2	R6年 5月	橋梁架設工事の積算 令和6年度版	12,100	10,285	990
3	R6年 5月	よくわかる建設機械と損料 2024	7,260	6,171	770
4	R6年 4月	令和6年度版 建設機械等損料表	9,680	8,228	770
5	R5年 10月	道路除雪施工の手引 (第17版)	4,950	3,960	770
6	R4年 3月	日本建設機械要覧 2022年版	53,900	45,100	990
7	R3年 1月	情報化施工の基礎 ~i-Constructionの普及に向けて~	2,200	1,870	770
8	H30年 8月	消融雪設備点検・整備ハンドブック	13,200	11,000	770
9	H29年 4月	ICTを活用した建設技術 (情報化施工)	1,320	1,122	770
10	H26年 3月	情報化施工デジタルガイドブック【DVD版】	2,200	1,980	770
11	H25年 6月	機械除草安全作業の手引き	990	880	770
12	H23年 4月	建設機械施工ハンドブック (改訂4版)	6,600	5,610	770
13	H22年 9月	アスファルトフィニッシャの変遷	3,300	2,970	770
14	H22年 9月	アスファルトフィニッシャの変遷【CD】	3,300	2,970	770
15	H22年 7月	情報化施工の実務	2,200	1,870	770
16	H21年 11月	情報化施工ガイドブック 2009	2,420	2,178	770
17	H20年 6月	写真でたどる建設機械 200年	3,080	2,618	770
18	H19年 12月	除雪機械技術ハンドブック	3,300	2,970	770
19	H18年 2月	建設機械施工安全技術指針・指針本文とその解説	3,520	2,992	770
20	H17年 9月	建設機械ポケットブック (除雪機械編)	1,100	990	770
21	H16年 12月	除雪・防雪ハンドブック (除雪編)【CD-R】	5,500	4,950	770
22	H15年 7月	道路管理施設等設計指針 (案) 道路管理施設等設計要領 (案)【CD-R】	3,520	3,168	770
23	H15年 7月	建設施工における地球温暖化対策の手引き	1,650	1,485	770
24	H15年 6月	道路機械設備 遠隔操作監視技術マニュアル (案)	1,980	1,782	770
25	H15年 6月	機械設備点検整備共通仕様書 (案)・機械設備点検整備特記仕様書作成要領 (案)	1,980	1,782	770
26	H15年 6月	地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル	550	495	770
27	H13年 2月	建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック (第3版)	6,600	5,940	770
28	H12年 3月	移動式クレーン、杭打機等の支持地盤養生マニュアル (第2版)	2,750	2,475	770
29	H11年 10月	機械工事施工ハンドブック 平成11年度版	8,360	8,360	770
30	H11年 5月	建設機械化の50年	4,400	3,960	770
31	H11年 4月	建設機械図鑑	2,750	2,475	770
32	H10年 3月	大型建設機械の分解輸送マニュアル【CD-R】	3,960	3,564	770
33	H9年 5月	建設機械用語集	2,200	1,980	770
34	H6年 8月	ジオスペースの開発と建設機械	8,470	7,623	770
35	H6年 4月	建設作業振動対策マニュアル	6,380	5,742	770
36	H3年 4月	最近の軟弱地盤工法と施工例	10,450	9,405	770
37	S60年 1月	建設工事に伴う濁水対策ハンドブック【CD-R】	6,600	5,940	770
38		建設機械履歴簿	440	396	770
39	毎月 25日	建設機械施工	880	792	770

定期購読料 年12冊 10,032円 (税・送料込)

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

特集

安全対策・労働災害防止

巻頭言

4 情報処理技術の発展と安全

広兼 道幸 関西大学 総合情報学部 教授、土木学会 安全問題研究委員会 委員長

行政情報

5 建設施工の自動化

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

10 少子高齢社会、担い手不足等を背景とするヒューマンエラーの防止に関する一考察

河川機械設備を事例に

渡邊 賢一 国土交通省 大臣官房 参事官 (イノベーション) グループ 施工企画室

特集技術報文

15 機能共鳴分析手法を用いた建設工事のリスクアセスメント

友時 照俊 香川大学大学院 工学研究科 博士後期課程

井面 仁志 香川大学 創造工学部 教授

高橋 亨輔 香川大学 創造工学部 准教授

22 移動式クレーンにおける敷板へのアウトリガー偏心設置の危険性

堀 智仁 (財)労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ 上席研究員

27 クローラクレーン後部旋回範囲への立入禁止バーの開発

清水 孝則 (株)竹中工務店 大阪本店 西日本機材センター 開発グループ

31 LiDAR を用いた高所作業車の挟まれ警報装置開発

千野 雅紀 (株)安藤・間 技術研究所 フロンティア研究部 主任

市川 達也 (株)安藤・間 技術研究所 先端技術開発部 主任

35 水中捨石マウンドの施工精度向上及び生産性向上に向けた取り組み

捨石均し機 SEADOM-7 の開発

森 雅宏 五洋建設(株) 土木M&E 本部 船舶O&M 部 係長

38 AI を用いた船舶検知システム「AI-KEN」

那須野陽平 東亜建設工業(株) 土木本部 機電部 研究開発・提案グループ グループリーダー

44 全自動鋼製支保工建込みシステムの開発

五味 春香 前田建設工業(株) 土木事業本部 土木技術部 施工DX 推進グループ 主任

水谷 和彦 前田建設工業(株) 土木事業本部 土木技術部 施工自動化グループ グループ長

春田 克樹 前田建設工業(株) 土木事業本部 土木技術部 施工自動化グループ 主任

49 山岳トンネル用の自動ズリ積込み機の改良

トンネルズリ出し作業の安全性向上による労働災害の防止

石井 翔太 (株)フジタ 土木本部 土木エンジニアリングセンター機械部

浅沼 廉樹 (株)フジタ 土木本部 土木エンジニアリングセンター機械部 上級主席コンサルタント

松尾 陽介 (株)三井三池製作所 産業機械技術部 産業機械設計グループ アシスタントリーダー

54 環境配慮型閉鎖解体工法テコレップ Light システム

都心過密地域にあるSRC建物への適用

市原 英樹 大成建設(株) 建築本部 生産技術イノベーション部 開発機械化推進室 室長

59 「自動運転ローラ」の現場活用

開発から現場適用時の安全対策に関して

伊藤 圭祐 鹿島道路(株) 技術開発本部 技術開発総合センター 機械部 開発設計課 係長

中渡瀬圭吾 鹿島道路(株) 技術開発本部 技術開発総合センター 機械部 開発設計課 機械主任

松本 俊彦 鹿島建設(株) 技術研究所 先端・メカトロニクスグループ 副主任研究員

64 アンカー自動削孔装置の開発および現場適用

既設コンクリート構造物の耐震補強工事に伴う削孔作業の自動化

三澤 孝史 (株)奥村組 技術本部 技術研究所 担当部長

川澄 悠馬 (株)奥村組 技術本部 技術研究所 土木研究グループ 研究員

山口 治 (株)奥村組 東日本支社 リニューアル工事業部 工事支援グループ グループ長

	70	ニューマチックケーソンの自動化施工 ケーソンショベルの自動運転 中川 大地 オリエントタル白石㈱ 技術本部 技術部 機電チーム 主任 根岸 直人 オリエントタル白石㈱ 技術本部 技術部 機電チーム 係長 倉知 禎直 オリエントタル白石㈱ 技術本部 技師長
	74	除雪作業のメンタルヘルスと働き方改革 Jevica ㈱建設IoT研究所 研究員 須田 清隆 ㈱環境風土テクノ 取締役 漆館 直 ㈱堀口組 DX推進室 室長代理 樋口 行平 ㈱アフオードセンス 代表取締役
	80	照明を活用した坑内の安全対策 宮瀬 文裕 清水建設㈱ 土木技術本部 プロジェクト技術部 主査 菊池 順 清水建設㈱ 土木東京支店 横浜土木営業所 工事長 小林 大助 中日本高速道路㈱ 八王子支社 八王子工事事務所 小仏工事区 工事長
交流のひろば	88	特定自主検査をご存知ですか？ 縄田 英樹 (公社)建設荷役車両安全技術協会 常務理事
ずいそう	92	人脈を拡げ、議論を尽くす 「組織人」が「知識人」に脱皮 久武 経夫 エースコンサルタンツ㈱ 東京支店技術顧問
	94	28年ぶりに道民となり 野田 敏宏 日立建機日本㈱ 執行役員北海道支社長
部会報告	96	住友重機械建機クレーン(株) 名古屋工場 見学会報告 機械部会 基礎工専用機械技術委員会
CMI 報告	98	トンネル発破作業の自動化・遠隔化技術 伊藤 良介 (一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第一部
	102	新工法紹介 機関誌編集委員会
	105	新機種紹介 機関誌編集委員会
統計	106	建設業における労働災害の発生状況と 災害防止の最近の動き 建設業労働災害防止協会技術管理部
	111	建設工事受注額・建設機械受注額の推移 機関誌編集委員会
	112	行事一覧 (2024年7月)
	116	編集後記 (赤坂・山本)

◇表紙写真説明◇

環境配慮型閉鎖解体工法テコレップ Light システム

写真提供：大成建設(株)

旧小田急百貨店新宿本館解体工事は2022年10月から2024年3月までの18ヶ月に及び、解体する建物は小田急線新宿駅地下ホーム上に一部構築されていること、四方はJR新宿駅の線路とホーム、大型店舗、1日数万人が往来する歩道・地下道及び車道用ロータリーなどに囲まれているため第三者及び近隣諸施設への影響を最小限に抑えることが最重要課題であった。特異的な立地条件であることから、閉鎖型解体工法が採用され高度な安全性を発揮した。

2024年(令和6年)9月号PR目次
【ア】朝日音響㈱……………後付8
【カ】コベルコ建機日本㈱……………後付1

コマツカスタマーサポート㈱…表紙4
【ク】大和機工㈱……………表紙2
㈱鶴見製作所……………後付6

【ハ】baum China 2024 ……表紙3
【マ】マシンケアテック㈱……………後付3
マルマテクニカ㈱……………後付5

三笠産業㈱……………後付4
【ヤ】山崎マシーナリー㈱……………後付2
吉永機械㈱……………表紙2

巻頭言

情報処理技術の発展と安全

広 兼 道 幸



近年では、AIの実用化や情報処理技術の発展に伴い、建設現場においてもDXの重要性が認識されるとともに、建設機械が無人化・ロボット化され、遠隔操作により作業員が危険な箇所に入ることなく実施される作業が増えている。また、様々なセンサによってリスクを事前に検知して、機械の動きを止めたり、警報を鳴らすことによって危険を知らせるなどの仕組みが取り入れられ始めている。このように「建設機械に着目した安全対策」はAIや情報処理技術の発展とともに今後も進み、労働災害を未然に防ぐ対策として様々な取り組みが実施され、死傷者の減少に貢献していくことが期待されている。

このように、様々な「建設機械に着目した安全対策」への取り組みが実施されているものの、なかなか死傷事故が減少していないのも事実である。これは、建設プロジェクトは原則として一回限りである、その生産プロセスは分節している、組織が臨時的に編成・分立している、多様性と多目的性が内在しているなど、様々な理由の中で、特に単品生産の建設プロジェクトにおけるモノづくりの現場では最終的に作業員が関与する機会を完全にゼロにはできないことが理由の一つとしてあげられる。これは、単品生産の工場での作業環境とは異なり、建設現場においてはすべての現場で共通した危険を回避するための仕組みの構築が難しい点にある。このような状況の中で、「建設機械に着目した安全対策」を充実させていくことはもちろん重要ではあるが、同時に、「人間に着目した安全対策」も地味ではあるが着実に継続していくことが重要であると考えられる。これは、近年の建設現場における労働力不足から、作業員の高齢化や外国人労働者が増加している中で、自然災害の復旧・復興、異常気象やコロナ禍などの作業環境の影響もあり、特に重要な喫緊の課題である。地球温暖化の時代が終わり、地球沸騰化の時代の到来が叫ばれる中で、熱中症などについては、基準を設けて自分で自分の健康状態を判断し、危険な状態で

あれば休憩や水分、塩分をとるなどして対応する仕組みが定着してきた。しかし、建設現場において多発する墜落・転落・転倒などの事故は、作業中や移動中にバランスを崩して発生するケースが多く、当日の健康状態などによって、バランスを崩しやすい状態か否かを評価したり、作業環境の中でバランスを崩しやすい箇所を見える化することにより、これらの事故を未然に防ぐ方法の一つとして、人間の行動や状況のセンシングに関する技術の発展が望まれる。

以上のように、建設工事における安全を考えていくためには、科学技術システムの運営、管理、実務、作業に携わる人々が、情報技術やロボットなどの力を借りて、一体となって安全を支え、不断に「安全文化」を醸成する活動が重要であると考えられる。

土木学会の安全問題研究委員会では、土木工事安全小委員会と地域安全小委員会を設置して、労働災害や自然災害などにおける死傷者の減少に資する方策に関する調査・研究を実施している。その活動の一環として、毎年、建設工事や自然災害における安全問題について意見交換できる場として、安全問題討論会(<https://committees.jsce.or.jp/csp02/node/45>)を実施している。今年は、12月16日(月)に開催予定である。関心のある方は、ぜひとも参加していただきたくお願い申し上げる。また、土木工事安全小委員会では、かるた遊びを通じて多くの方々に建設工事の安全管理への関心を持っていただくために、様々な現場実務の場面に着目した「建設工事安全かるた」(<https://committees.jsce.or.jp/csp03/node/15>)を刊行して、建設現場や教育現場での活用に取り組んでいるところである。こちらについても、興味をお持ちの方は利活用にご協力いただき、ご意見等を委員会にフィードバックして頂ければ幸いである。

—ひろかね みちゆき 関西大学 総合情報学部 教授、
土木学会 安全問題研究委員会 委員長—

行政情報

建設施工の自動化

中 根 亨

国土交通省では、令和6年4月に「i-Construction 2.0」を発表し、建設現場において2040年度までに少なくとも省人化3割、すなわち生産性向上1.5倍を目指すこととした。その一環として自動施工の導入促進のための取り組みを実施しており、本稿においてはその概要を紹介するものである。

キーワード：自動施工、共通領域、i-Construction 2.0

1. はじめに

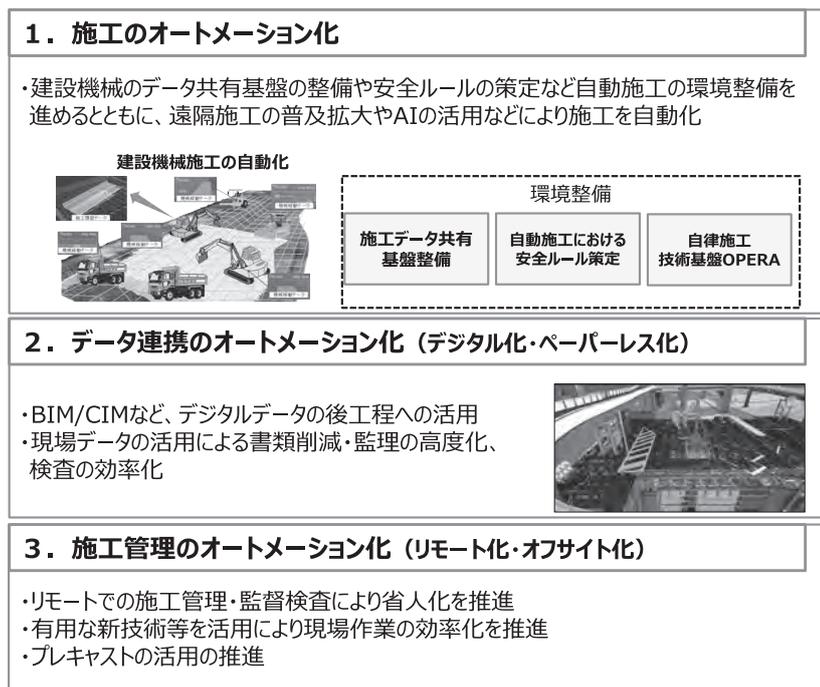
国土交通省では、建設現場の生産性向上の取り組みとして、2016年度より、ICT施工をはじめとする「i-Construction」の取り組みを進めてきた。

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、これまでの取り組みをさらに一歩進め、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（図－1）。

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」に関する取り組みを紹介する。



建設現場のオートメーション化を実現

図－1 i-Construction 2.0 建設現場のオートメーション化

2. 自動施工における協調領域の取り組みの推進

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り組みを推進しており、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り組みを進めているところである。

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（図-2）。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。国土交通内に設置し、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。

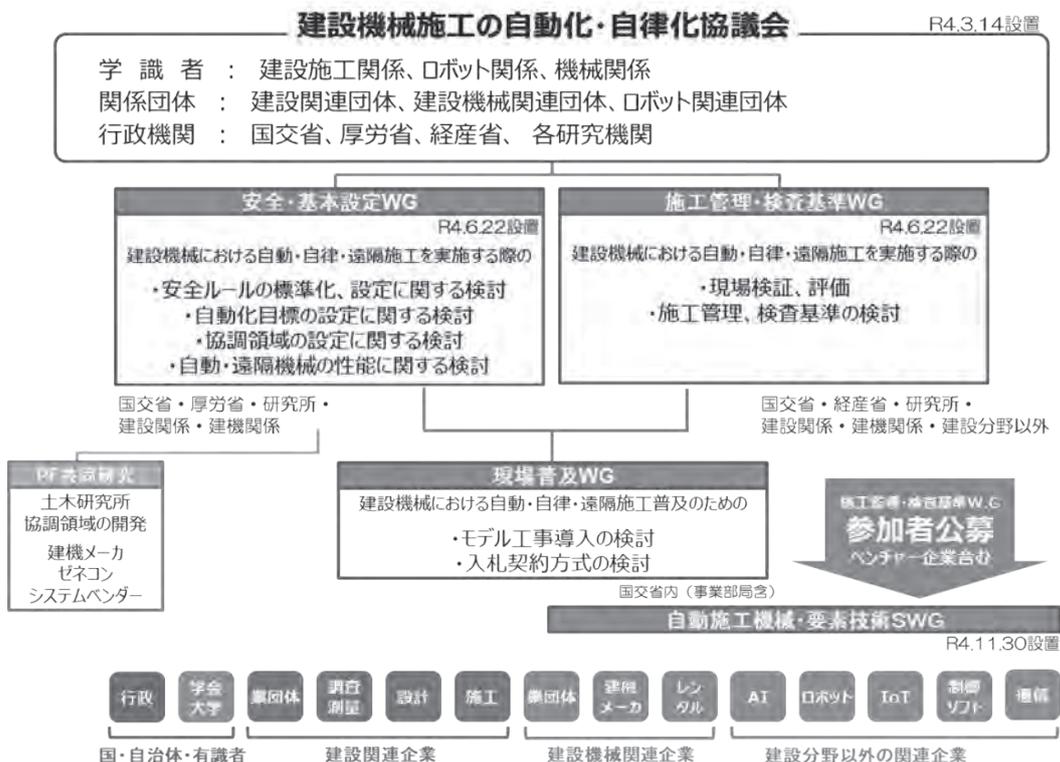


図-2 建設機械施工の自動化・自律化協議会の体制

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。現場検証の実施に当たっては、「現場検証の実施方針」「安全ガイドライン」を作成しており、検証参加者がこれらを参考にしつつ実施計画書を作成し、現場検証を実施した。

(1) 現場検証の実施方針

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

検証技術は、自動・遠隔施工に必要となる機能や性能を追加装備する技術を対象としており、既存の各種センサ類の組合せに加え、専用ソフトや制御システム等、多種多様な要素技術を想定し募集した（例：安全技術、動作・操作関連技術、周辺環境認知技術、通信技術等）。

(2) 現場検証の実施

今年度実施する現場検証の参加者募集を令和5年7月から8月にかけて実施した結果、計17件の応募があり、その全てを令和5年度の現場検証の実施対象として決定した。現場検証は令和5年11月から令和6年2月にかけて実施した。

各現場検証の実施結果から複数の実施者で共通・類似している安全方策を、自動施工のエリア区分に関するものや障害物検知に関するものなど、整理し安全ルールへ反映した。

現場検証の結果の整理により、安全ルールに記載した項目について抜粋して述べる。

(a) エリア区分

自動施工実施時において、無人エリアと有人エリアを設定し人と機械を区域によって分離する方策は多くの実施者に共通しており、エリア区分の方法もカラーコーンやカメラを使用する方法が多く採用されていた。GNSSによって機械の位置を管理し、システム上でエリア管理を行う実施者もあった。これらのエリア管理の他、ダンプトラックの土砂の積み下ろしなど、有人建設機械が一時的に立ち入ることを想定し、無人

建設機械と有人建設機械が同一エリアに存在する混在エリア（複数の呼び方あり）を設定する実施者も少なからずあった。

この検証結果及びその整理をふまえ、安全ルールでは、自動施工を行うための区域を「無人エリア」「立入制限エリア」「有人エリア」の3つで構成されることとし、施工者等が自動施工を実施する際は必要に応じて、設定しなければならないとした。

(b) 非常停止

自動施工中に不測の事態が発生した際に建設機械を停止する方策について、現場検証実施者の手法を整理した。建設機械本体や操作装置に非常停止機能を設ける他、通信の途絶や電源の喪失など自動施工に関する制御が不能となった際も非常停止する機能を備えた実施者も複数者いた。

この検証結果及びその整理をふまえ、安全ルールでは、自動建設機械の非常停止システムを具備しなければならないとし、冗長性を確保すべく複数の方法によって非常停止することが望ましいとした。なお、その場合は遠隔地から非常停止システムを動作できる機能が使用する無線と別回線による非常停止システムの可否を検討することが望ましいとした。

令和6年度においても、安全ルールの改訂や安全に関する機械の機能要件の策定のため、7月に現場検証の公募を開始したところである。

4. 自動施工における安全ルール

本項では、令和5年度に策定した自動・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、現場毎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（図—3）」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る。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る。

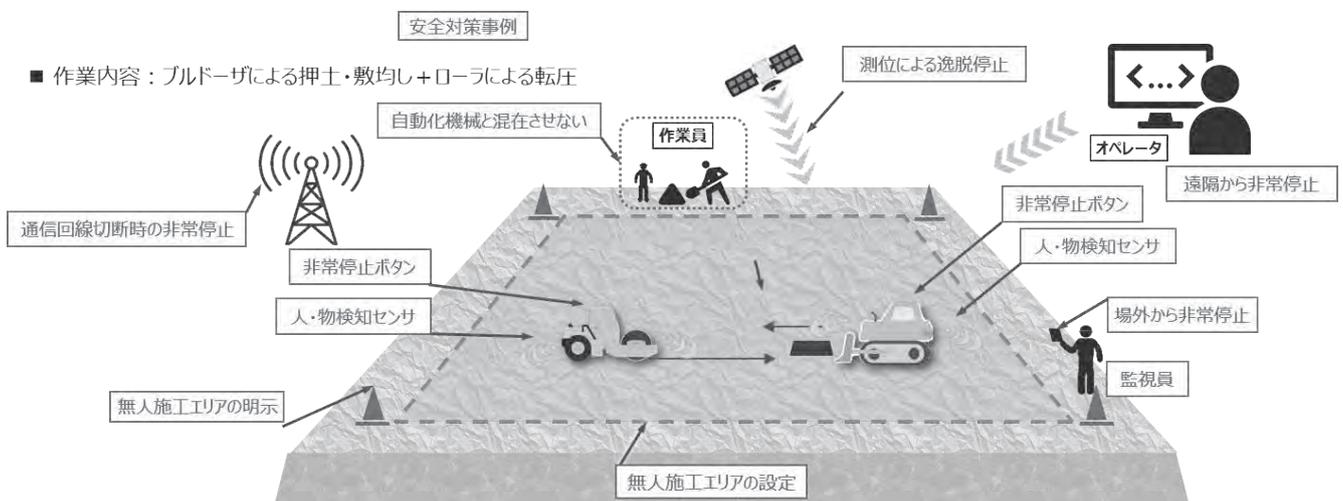
必要な保護方策の内容や担い手が従来の有人施工と異なることから、自動・遠隔施工の担当者を「製造者等」・「販売者等」・「施工者等」・「使用者等」と定義し、それぞれがどのような保護方策を担うかを整理している。

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。

「自動建設機械や設備に求める安全方策に必要な機能」：主に自動施工実施者が、自動施工の実施にあたり、使用する自動建設機械や設備に求める安全方策に必要な機能を示している。

主に、非常停止システム・自動停止などのイレギュラーな事態が発生した場合に停止する機能を自動施工実施者は具備することとし、その他、表示灯等で示す



図—3 無人施工エリア（点線の内側）の模式図と保護方策のイメージ

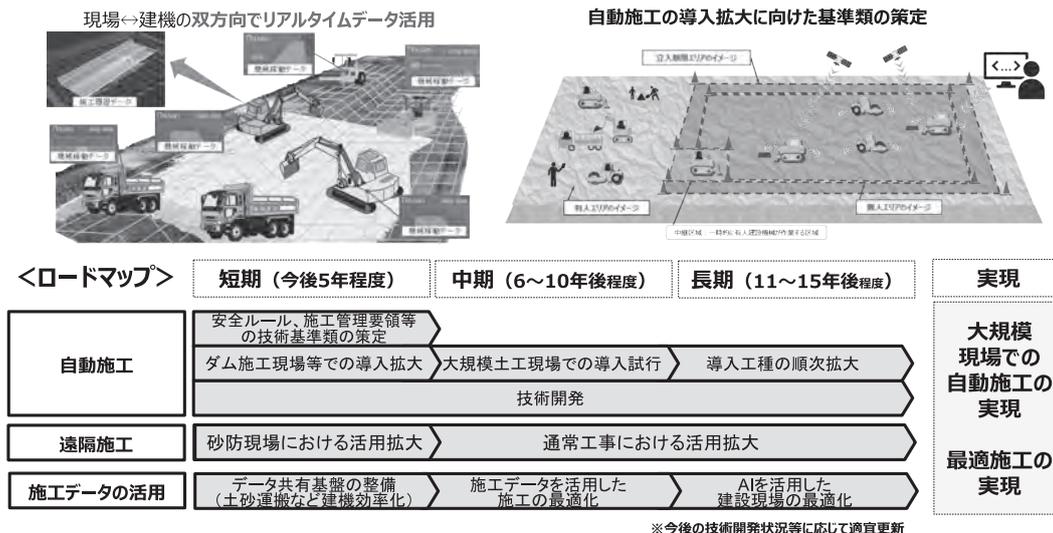


図-4 施工のオートメーション化に関するロードマップ

情報の具備や人・障害物検知機能の仕様、無線通信網についても整理した。自動・遠隔施工の分野においては日々の進歩が目覚ましいため、技術の発展に伴い安全ルールが陳腐化することを防ぐため、安全ルール策定後も安全・基本設定WGにてフォローアップを継続していく。そのため、実際に適用している施工現場の調査・ヒアリング等を行い、そこで得られた知見に基づき、安全ルールの改定や対象の拡大を図っていく。

5. 自動施工の今年度の取り組みと今後について

今年度は「安全ルール ver.1.0」を現場検証や実工事を踏まえて改訂を行う予定であり、併せて安全に関する機械の機能要件の検討を進める予定である。

今後、短期的にはダム現場での活用拡大を目指しつつ、中長期的には大規模な土工を中心に適用工種の拡大を図ってまいりたい（図-4）。

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

少子高齢社会，担い手不足等を背景とするヒューマンエラーの防止に関する一考察

河川機械設備を事例に

渡 邊 賢 一

河川ポンプ・ゲート設備等の河川機械設備は，整備後50年以上経過した施設が今後急増する。

一方，我が国の少子高齢化の現状等から，河川機械設備に関わる官民の機械技術者や操作員の確保が今後一層厳しくなることや，これらに起因するヒューマンエラーの発生も高まるのが容易に想定される。

そこで，機械設備を事例として，過去の故障事例等から一般化した複数のヒューマンエラー発生シナリオを想定し，安全工学の観点から，ヒューマンエラー防止のための対策等を論じる。シナリオ分析に当たっては，施策効果分析の観点も含めるものとし，ロジックモデル等も活用するものとする。

キーワード：安全工学，ヒューマンエラー，河川機械設備，ロジックモデル

1. はじめに

河川ポンプ・ゲート設備等の河川機械設備は，整備後50年以上経過した施設が今後急増する。河川機械設備は，複数の装置が連動して機能を発揮するプラント設備であり，かつ，出水等の際にその設置目的に応じた機能を確実に発揮することが求められている。

一方，我が国の少子高齢化の現状などから，河川機械設備に関わる官民の機械技術者や操作員の確保が今後一層厳しくなることや，これらに起因するヒューマンエラーの発生も高まるのが容易に想定される。

そこで，国土交通省が管理する河川機械設備を事例として，故障事例等から着想を得て一般化したヒューマンエラー発生シナリオに基づき，安全工学の観点等から，因子や原因を分析し，ヒューマンエラー防止のための対策等を論じる。分析に当たっては，施策効果分析の観点も含めるものとし，ロジックモデル等も活用するものとする。

なお，本稿の内容は，著者個人の見解であり，所属する組織を代表するものではない。

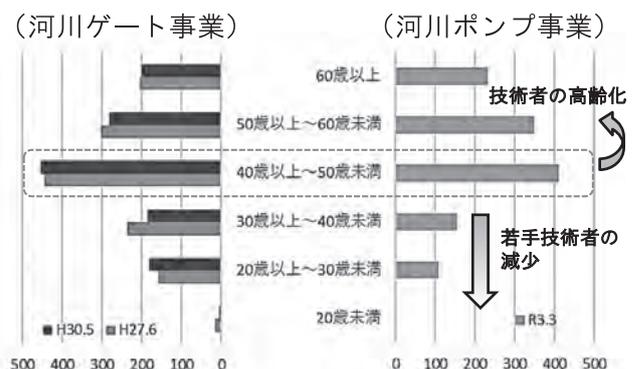
2. 河川機械設備の現状と今後のあり方

2021年2月に国土交通大臣から社会資本整備審議会長に「河川機械設備のあり方」について諮問がなされ，「社会資本整備審議会 河川分科会 河川機械設備小委員会」が2021年3月に設置され，計8回の小委員会を経て，2022年7月に河川機械設備のあり方に

ついて基本的な考え方を示し，答申をとりまとめた¹⁾。

本答申では，大更新時代を迎える河川機械設備の整備・更新において，確実な施設機能の確保により持続的な安全・安心と危機対応力の向上を目指すために，「システム全体の信頼性の確保」，「担い手不足等に対応した遠隔化・自動化・集中管理への移行」，「技術力の維持向上」の3つの視点から，今後の河川機械設備のあり方について提言がなされ，国土交通省は，この提言に基づき，河川機械設備に係る施策を推進している。

ここで，本答申では，担い手（機械技術者・操作員）不足の深刻化が指摘され，機械設備の機能を維持するためには，専門知識を持つ技術者等による年点検の実施，さらにその結果に基づく診断での判断を踏まえた適切な修繕等が必要である点は指摘されており，また，今後の担い手不足に備え，地方公共団体や企業に対する技術者育成や技術力の維持向上，新技術導入のための取組，故障・誤操作事例の蓄積・管理・分析（デー



図一 河川機械設備に従事する技術者の年齢構成¹⁾

タベースの整備)も示されている(図-1)。

しかし、言及されているものは中長期的な取り組みであり、短期間に、かつ直接的に現れる担い手不足や高齢化の影響やその対策等については、必ずしも具体的に言及されていない。このため、本稿では、影響が直接的に現れ、かつ、計測可能な事象で、安全工学等の分野で先行研究が豊富なヒューマンエラーに着目し、河川機械設備において発生する構造や原因、対策・施策を考察する。

3. 既往研究レビュー ～ヒューマンエラー～

小松原²⁾はヒューマンエラーを「不適切行為」と幅広く捉えて対策を講じることを説いている。

ヒューマンエラー防止のためには、当事者である人間を取り巻く全ての要素を含めて考えていく「ヒューマンファクター」の考え方があり、F.H.HawkinsのSHELモデルや、図-2に示す東京電力ヒューマンファクター研究室のm-SHELモデル³⁾などがある。

m-SHELモデルの中心のLは作業者本人(lifeware)を表し、周囲のS、H、E、L、mは以下に示す。



図-2 m-SHELモデルと分析手法³⁾

S:ソフトウェア (software)。作業手順や作業指示の内容。それが書いてある手順書や作業指示書。作業指示の出し方、教育訓練の方式など、ソフトウェアにかかわる要素。

H:ハードウェア (hardware)。作業に使われる道具、危機、設備などハード的な要素。

E:環境 (enviornment)。照明や騒音、温度や湿度、作業空間の広さなど、作業環境にかかわる要素。

L:周りの人たち (liveware)。その人に指示、命令をする上司や、作業を一緒に行う同僚など、人的な要素。

m:マネジメント (management)。現場を管理する権限のある人。

また、小松原は人間特性から見たヒューマンエラーの種類を図-3のように分類している。

小松原は、ヒューマンエラーの背後要因(行動形成因子)のうち、代表的な要因を以下のように整理している。

- ①体調、気分、意欲、心配ごとなど、その人自身の内的要因
- ②作業環境、作業条件などの外的要因
- ③作業時刻、残業時間などの時間要因

そして、対策を検討する際には、事故(故障)やヒヤリハットの分析は不可欠であり、事象の連鎖(event chain)や背景にある要因(因果の連鎖)を丹念に潰していくことが重要であると指摘している。RCA(Route Cause Analysis, 根本原因分析)のため連関

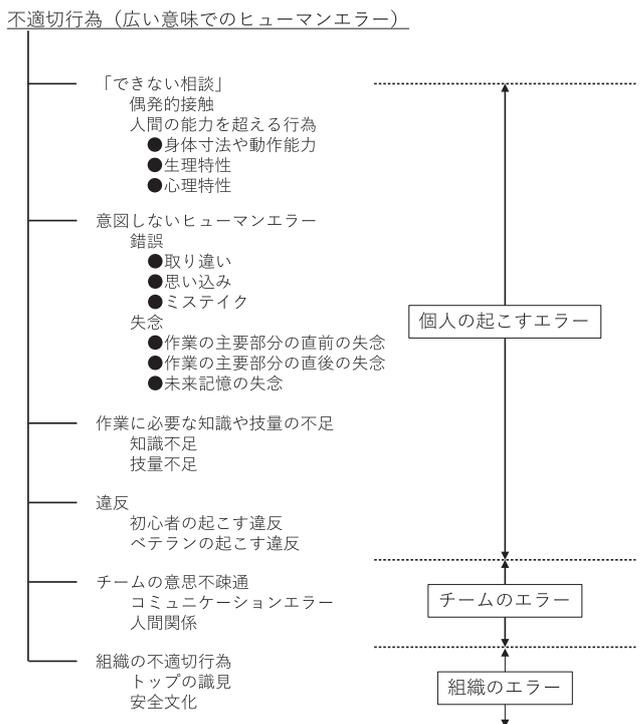


図-3 人間特性からみたヒューマンエラーの分類²⁾

図を用いた分析などを、分析の目的に応じて実施するとともに、事故の再発防止のみならず、未然防止の重要性についても言及している。

4. リサーチクエスチョンと手法

本稿のリサーチクエスチョンを定義すると、「河川機械設備を事例に、少子高齢社会、担い手不足に起因するヒューマンエラーを防ぐためにとるべき対策、施策とは何か」である。

研究手法として、想定される河川ゲート設備と河川ポンプ設備の故障に基づく発生シナリオから、技術者のヒューマンエラーについてケーススタディを実施し、ヒューマンエラーに起因する因子抽出を行う。また、少子高齢化の影響に着目したヒューマンエラー防止のための対策等を考察する。

(1) ケーススタディ

河川ゲート設備が、洪水操作時に異物を噛み込み、全閉操作不能という状況を考え、事象の連鎖 (event chain) や背景にある要因 (因果の連鎖) を図-4 に示す。なお、あくまで想定であり、起こりうる事象であることを申し添える (以下、同様)。

このケーススタディでは、河川ゲート設備の操作は機側操作を想定しており、出水対応時の作業環境の厳しさが特徴として現れている。

次に、排水ポンプ設備が、出水対応後の年点検・月点検の管理運転時に、異音、異常振動を検知し、操作不能となる状況を考え、同じく事象の連鎖 (event chain) や背景にある要因 (因果の連鎖) を図-5 に示す。

このケーススタディでは、河川ゲート設備のそれと異なり、複数人での点検等を想定しており、監督員を

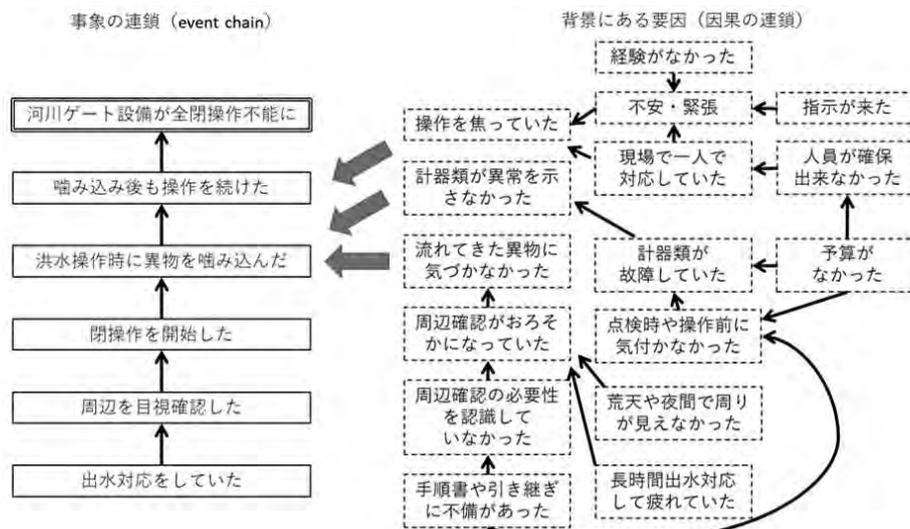


図-4 河川ゲート設備のケーススタディ

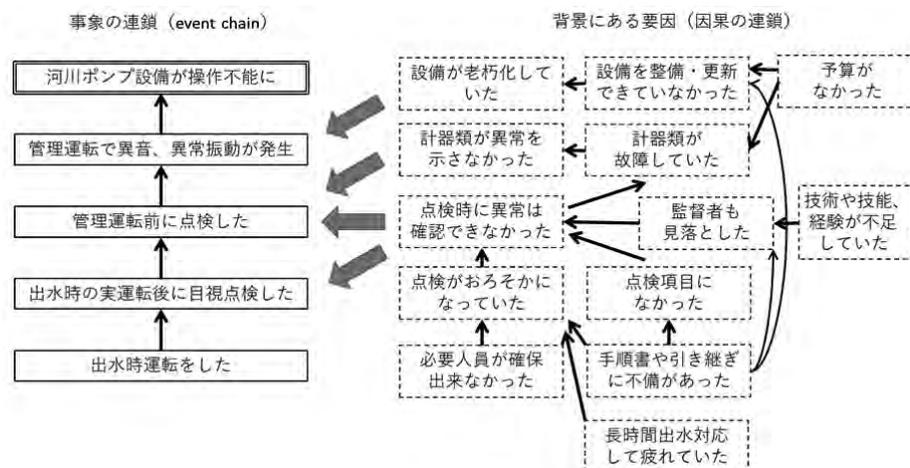


図-5 河川ポンプ設備のケーススタディ

要素として考慮している。このため、監督員の技術、技能、経験も現場でのエラーを発生させる要因として考えている点の特徴である。

両者に共通する背景にある要因として、長時間の出水対応なども考えており、これは非常用設備としての特徴が現れていると考える。

(2) 因子分析

2つのケーススタディからまとめた、因子分析は表一1のとおりである。少子高齢化の影響があると考えられる因子には下線を引いている。

L (本人) について、少子高齢化の影響から、操作員に高齢者が多くなることは容易に想像されるとともに、人員の確保が適わず、未習熟者を現場に実戦投入することも考えられる。

S(ソフトウェア)やH(ハードウェア)についても、手順書や複雑な操作手順、表示されているサイン・マークの不明瞭、誤認などは、慣れた作業だとしても、高

齢の操作員に「錯誤」や「失念」を生む可能性があると考ええる。

E (環境) については、出水対応の非常用設備として夜間や長期間、臨機の対応を求められる「人間の能力の限界を超える」状況を誘引し、かつ、高齢者には身体的に辛く、若年層には他の業種に比べ危険作業を伴うため、担い手不足を招き、「作業に必要な知識や技量の不足」を誘引すると考える。

最後に、L (周囲の人たち) や m (マネジメント) について、マネジメントも操作員も担い手不足に陥ると、マネジメント不在もしくは不足の状況も招き、さらに「組織の不適切行為」にもつながる恐れがある。

5. 対策としての施策

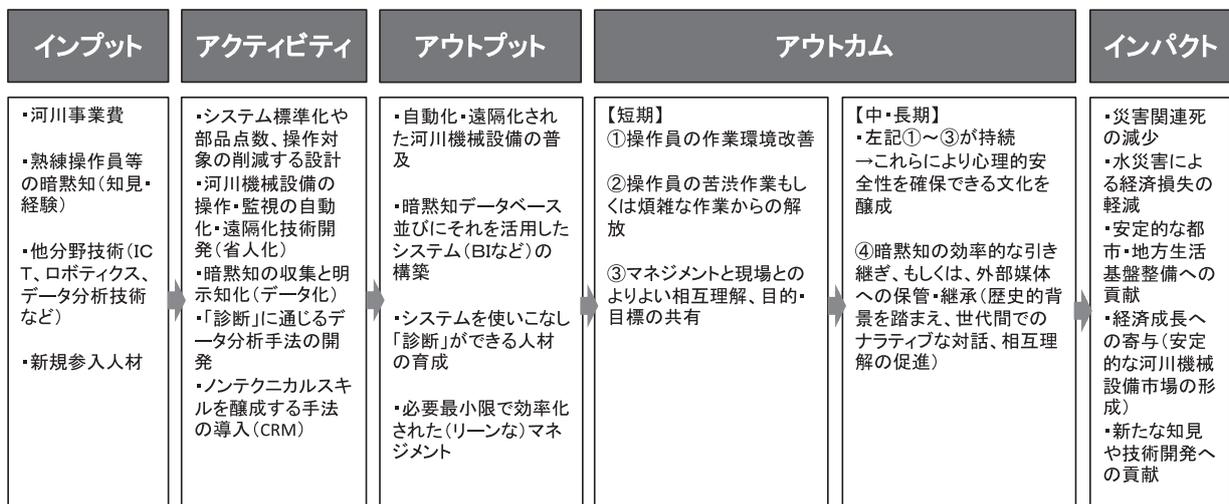
4. にて分析した結果明らかになった課題について、ロジックモデルを用いて、具体的施策とその効果について、表一2にて示す。

表一1 ケーススタディに基づく因子分析

L (本人)	S (ソフトウェア)	H (ハードウェア)	E (環境)	L (周りの人たち)	M (マネジメント)
① <u>高齢者 (70代)</u> ② <u>操作経験がすくない、不慣れ</u> ③ <u>ベテランで経験豊富</u> ④ <u>性格 (忘れやすい、焦りやすい、面倒くさがりなど)</u> ⑤ <u>体調不良</u> ⑥ <u>疲労・ストレス・心配事・不安・不満がある</u>	① <u>手順書の不備 (不明瞭、古い、未更新、欠損、そもそも口伝など)</u> ② <u>手順書にて想定していない (記載していない) 事象</u> ③ <u>手順書の取り違い (違う設備)</u> ④ <u>複雑な操作手順</u> ⑤ <u>設備に表示されているサイン・マークが不明瞭、誤認しやすい</u>	① <u>計器類の異常</u> ② <u>計器類の老朽化</u> ③ <u>電源系統の異常 (停電、断線など)</u> ④ <u>設備の整備不良</u> ⑤ <u>操作対象設備が多く、複雑な操作手順</u>	① <u>荒天 (雨天、落雷、暴風) の中で</u> ② <u>屋外作業</u> ③ <u>降雨・出水状況の変化</u> ④ <u>限られた時間</u> ⑤ <u>夜、暗い中</u> ⑥ <u>退避すべき危険な状況 (孤立の恐れなど)</u> ⑦ <u>大規模出水 (ゴミ等の異物が多い)</u>	① <u>周りに人がいない (一人で操作)</u> ② <u>指示・警告・注意等を伝えられない、もしくは伝えにくい</u> ③ <u>指示・警告・注意等が不適切 (タイミング、量)</u> ④ <u>引き継ぎがない、もしくは不適切</u> ⑤ <u>操作講習会等知識獲得の場がない、もしくは不適切</u>	① <u>あいまいな指示 (国交省職員、操作委託している自治体職員、受注者の現場代理人など)</u> ② <u>指示・警告・注意等が不適切 (タイミング、量)</u> ③ <u>マネジメントの知識、経験の不足</u> ④ <u>マネジメントの不在、現場任せ</u> ⑤ <u>設備数に対して、操作員が足りない</u>

※ 下線部は少子高齢化の影響があると考える因子

表一2 施策効果把握のためのロジックモデル



アクティビティ、アウトプットは概ね「答申」にて示された方向と合致するが、「マネジメントと現場とのよりよい相互理解」という概念を新たに示すことができ、マネジメントに関わる活動の必要性、文化の醸成、また、操作員など実現場で作業を行う者の心理的安全性の確保が重要であるという知見を得られた。

6. おわりに

本稿では、河川機械設備を事例に、少子高齢社会、担い手不足等を背景としてその発生確率が大きくなると思われるヒューマンエラーを取り上げ、ケーススタディを行い、因子抽出を行った。また、今後のヒューマンエラー防止の対策・施策の一助となる考察を行い、まとめとして、表-2のロジックモデルを作成・提案した。

これにより、答申を補完するのみならず、答申においては必ずしも明確には言及されていない、マネジメントの重要性についても示された。

ただし、これら具体的な体制整備、人材育成、そして安全文化のあり方、その醸成方法は、本稿では明らかにされていない。

さらに、「ヒューマンエラー」を減らす「Safety-I」のアプローチで本稿は論じたが、近年の安全工学では「レジリエンスエンジニアリング」や「Safety-II」という概念も提唱^{4), 5)}されている。これら概念を用いて河川機械設備を社会技術システムとして捉え、そのレジリエンスポテンシャルを向上させるアプローチも、今後有益となることが想定される。

最後に、本稿が、河川機械設備に関わる技術者・技能者、企業、そして政策立案者にとって有益な知見を提供し、特に、レジリエントな制度・体制の整備等に寄与し、もって気候変動に伴う水害の激甚化・頻発化や、少子高齢化に伴う担い手不足が深刻化する現在の社会情勢下においても、河川機械設備が出水等の際にその設置目的に応じた機能を確実に発揮し、国土の保全、国民の生命・財産を守り、安全・安心な暮らしが実現できれば、著者にとって幸甚である。

謝辞

本稿執筆に当たり、(国研) 土木研究所先端技術チーム主任研究員 茂木正晴 氏、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の工藤大輔 氏には多くのご助言をいただいた。ここに感謝申し上げる。

JICMA

《参考文献》

- 1) 社会資本整備審議会：河川機械設備のあり方について（答申），国土交通省，2022年
- 2) 小松原明哲：ヒューマンエラー第3版，丸善出版，2019年
- 3) 東京電力経営技術戦略研究所経営戦略調査室ヒューマンファクターグループ：災害等の分析手法（SAFER），東京電力ホームページ（<https://www.tepco.co.jp/technology/research/resilience/safer.html>），2023年8月25日閲覧
- 4) E.Hollnagel 著，北村正晴・小松原明哲監訳：Safety-I & Safety-II 安全マネジメントの過去と未来，海文堂，2015年
- 5) E.Hollnagel 著，北村正晴・小松原明哲監訳：Safety-II の実践 レジリエンスポテンシャルを強化する，海文堂，2019年

【筆者紹介】

渡邊 賢一（わたなべ けんいち）
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

機能共鳴分析手法を用いた建設工事の リスクアセスメント

友 時 照 俊・井 面 仁 志・高 橋 亨 輔

建設業では、工事の計画段階や作業手順書作成時にリスクアセスメントを実施している。今世紀初頭、これまでの分析方法では把握できないリスクを明らかにし、災害を防止する手法として E. Hollnagel により FRAM（機能共鳴分析手法）が発表された。現場で行われる活動を機能として捉え、結合・依存しあう機能の組み合わせにより出現する機能の共鳴により、リスクを明らかにする分析手法である。本稿では FRAM の概要を説明し、FRAM を用いたリスクアセスメントを紹介する。FRAM は本来、定性的分析方法であるが、半定量的方法を用いることで、簡便で、より客観性の高い分析結果が得られ、隠れたリスクについての対処が可能になった。

キーワード：建設業，労働災害，リスクアセスメント，機能共鳴分析手法，半定量化手法

1. はじめに

我が国の戦後の労働災害（以下「災害」という。）は長期的には減少傾向にあるが、全産業に対する建設業の死亡者数の割合は、戦後のピーク時に比べ大幅に減少してきたとはいえ、3割を占める。建設業の就業者数は全産業の7%であることから、建設業が依然として危険な業種であることは変わっていない。戦後の災害多発時代には災害発生度に原因分析を行い、再発防止対策を立て対処してきた。災害発生数が大幅に減少してきた現在は、工事の計画段階で災害発生の原因となるリスクを予見するリスクアセスメント（以下「RA」と表記する。）を実施し、災害防止計画を立て施工を行っている。

災害が発生した場合に行う災害の原因分析については、今世紀初頭より非線形モデルとして機能共鳴分析手法(Functional Resonance Analysis Method: FRAM)¹⁾が用いられるようになった。

本稿では、FRAM の概要や分析手順を紹介する。さらに、筆者らが取り組む定性的分析手法を改良した半定量化手法による FRAM を用いた足場組立作業の RA を紹介する。

2. リスクアセスメントと FRAM

工事現場で実施するリスク予測による災害防止の取組には、①着工前に実施する RA、②工事中に行う安

全点検、③災害が発生したときに実施する災害分析と再発防止対策、④事故を適切に対処し災害を免れたヒヤリハット事例の原因分析と再発防止対策などがある。建設業の災害が減少してきた背景には、工事が始まる前に行う RA の実施が大きく寄与していると考えられる。

厚生労働省の「職場のあんぜんサイト」では、労働安全衛生マネジメントシステムの中に、危険性又は有害性の調査の実施として RA が位置付けられている。建設業労働災害防止協会では、危険性及び有害性の調査として RA を定めている（表—1²⁾。表—1 は建設業労働災害防止協会が安全衛生責任者教育で使用しているリスクアセスメントの手順を示している。表—2 は計画段階で実施する一般的な RA の一例である。一般的な RA では、危険性・有害性の特定を行い、リスクの見積もりをして優先度の高いものから対処する。リスクの見積もりは、可能性の度合い（3ランク）と重篤度の程度（3ランク）を加算したものから1を引いた5段階の優先度で評価している。従来の RA は直接的な作業手順を取り上げて作業の急所を指摘させリスクを特定する方法である。しかし、災害分析を行うと、リスクに一見無関係に思われる作業が、リスク要因となって事故の原因となり、災害発生に結び付いていることがある。FRAM を用いることで、現場で行われる活動を機能として表し、機能の関連の中に、一般的な方法では見つけることのできないリスクがあることを、分析により見つけることが可能になる。

表一 リスクアセスメントの手順²⁾

新版 職長・安全衛生責任者教育テキスト 第3改定3版16刷平成23年4月1日 建設業労働災害防止協会																											
リスクアセスメント5つのステップの具体的な進め方 ステップ1：危険性又は有害性の特定 ステップ2：リスクの見積もり ステップ3：リスク低減措置内容の検討 ステップ4：リスク低減措置内容の実施 ステップ5：実施内容の記録																											
ステップ1：危険性又は有害性の特定 ・ 毎日の作業手順から危険性又は有害性を特定する。 ①作業手順のステップごとに、どのような危険性又は有害性が潜んでいるか ②作業変更時にどのような危険性有害性が潜んでいるか ③機械設備・原材料に、どのような危険性又は有害性が潜んでいるか ④職長・安全衛生責任者の指示すること、監督すること ・ ヒヤリハット、安全施工サイクル、安全パトロール、災害・事故事例などの情報から危険性有害性を特定する																											
ステップ2：リスクの見積もり 危険性又は有害性を見積もるは、災害発生の可能性の度合いと災害の重篤度から、危険性又は有害性の大きさを客観的に把握することであり、言語で表現するより数値の方がより明確になる リスクの見積もり（加算法）																											
<table border="1"> <tr> <td></td> <td>重篤度</td> <td>1 軽微</td> <td>2 重大</td> <td>3 極めて重大</td> </tr> <tr> <td>可能性の度合い</td> <td>(不休災害)</td> <td>(休業災害)</td> <td>(死亡・障害)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 ほとんどない</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 可能性がある</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3 極めて高い</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td></td> </tr> </table> 危険性又は有害性を見積もりと優先度の対応表			重篤度	1 軽微	2 重大	3 極めて重大	可能性の度合い	(不休災害)	(休業災害)	(死亡・障害)		1 ほとんどない	2	3	4		2 可能性がある	3	4	5		3 極めて高い	4	5	6		
	重篤度	1 軽微	2 重大	3 極めて重大																							
可能性の度合い	(不休災害)	(休業災害)	(死亡・障害)																								
1 ほとんどない	2	3	4																								
2 可能性がある	3	4	5																								
3 極めて高い	4	5	6																								
<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">リスクの見積もり</td> <td>評価</td> <td>優先度</td> <td rowspan="2">判定</td> </tr> <tr> <td></td> <td>リスクレベル</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>直ちに解決すべき問題がある</td> <td>5</td> <td>即座に対応が必要</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>重大な問題がある</td> <td>4</td> <td>抜本的対策が必要</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>かなり問題がある</td> <td>3</td> <td>何らかの対策が必要</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>多少問題がある</td> <td>2</td> <td>現時点では必要なし</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>問題は少ない</td> <td>1</td> <td>対策の必要なし</td> </tr> </table>		リスクの見積もり	評価	優先度	判定		リスクレベル	6	直ちに解決すべき問題がある	5	即座に対応が必要	5	重大な問題がある	4	抜本的対策が必要	4	かなり問題がある	3	何らかの対策が必要	3	多少問題がある	2	現時点では必要なし	2	問題は少ない	1	対策の必要なし
リスクの見積もり	評価		優先度	判定																							
		リスクレベル																									
6	直ちに解決すべき問題がある	5	即座に対応が必要																								
5	重大な問題がある	4	抜本的対策が必要																								
4	かなり問題がある	3	何らかの対策が必要																								
3	多少問題がある	2	現時点では必要なし																								
2	問題は少ない	1	対策の必要なし																								

表一-2 リスクアセスメントの事例

作業区分	番号	作業の手順	作業の急所	危険性・有害性等 (予測される危険)	可能性の 度合	重篤 度	評価	優先度 (リスク レベル)	危険性・有害性の 除去低減対策
準備作業	1	着手前打合、教育の実施	関係者の出席	欠席者	2	2	4	3	業者の早期決定、連絡手配
	2	有資格者の確認	作業主任者、特別教育、玉掛	必要な資格者の不足	1	2	3	2	
	3	持込み機械点検	クレーンの定期点検	定期点検期限切れ	1	1	2	1	
	4	朝礼	関係者の出席	欠席者	2	2	4	3	安全意識の高い業者の選定
	5	TBM、健康KY	関係者の出席	体調不良者	2	3	5	4	安全管理の高い業者の選定
	6	保護具の確認	規格品	不良品	2	2	4	3	業者との契約条件に入れる
	7	KY活動、指差し呼称	具体的に	マンネリにより形骸化する	2	3	5	4	職長の指定、事前教育
	8	墜落防止設備始業前点検	作業主任者が確認	形式的な点検	2	3	5	4	業者との契約条件に入れる
	9	クレーン、玉掛用具の始業前点検	ワイヤーの点検	廃棄用品の見逃し	2	2	4	3	優秀な作業主任者の確保
	10	クレーン作業の準備	アウトリガーの張り出し	スペース不足により半張り出し	2	3	5	4	適格な業者の選定
本作業	11	足場組立作業の開始	作業者の適正配置	未熟練者の配置	1	3	4	3	適格な作業主任者の選任
	12	親綱の設置(盛替え)	緊張機で張る	親綱のゆるみ	2	3	5	4	適正な機材の選定
	13	材料の荷揚げ	落下防止	荷の落下	2	2	4	3	立ち入り禁止範囲の確保
	14	建柱、筋交、下棧、幅木取付	運搬時の墜落防止	バランスを崩し墜落	2	3	5	4	作業主任者による安全帯使用の監視
	15	床材、階段の取付け	運搬時の墜落防止	バランスを崩し墜落	2	3	5	4	作業主任者による安全帯使用の監視
	16	壁つなぎ取付け	決められた位置に取付	バランスを崩し墜落	1	2	3	2	
	17	外側のシート張り	シートの落下防止	シートの落下	1	2	3	2	
	18	親綱盛替:次のサイクルに移る		盛替えせずに作業	1	3	4	3	作業主任者による盛替えの監視

3. FRAM (機能共鳴分析手法) について

(1) FRAM の概要

FRAM¹⁾ は Hollnagel により提案された安全分析及びリスク予測の手法であり、リスク評価や災害分析に用いられる。FRAM は、社会技術システムの中で実際に行われる作業を機能に分解し、それぞれの機能の関係性を記述する。図一1にFRAMの原理と概要及びFRAM図を示す。FRAMの機能は6角形で表される。6角形の角は、それぞれ上記の6つの側面(I, P, R, C, T, O)と対応する。FRAMでは、機能間の依存関係や関連は機能の結合により表現される。ある機能の出力(O)が、他の機能の5つの側面のいずれか(I, P, R, C, T)と結合するとき、2つの機能が結合しているとする。機能間の結合は、2つの機能の対応する側面を線で結合して表される。FRAMでは、これらシステムの機能の結合がFRAM図として可視

化される(図一1)。

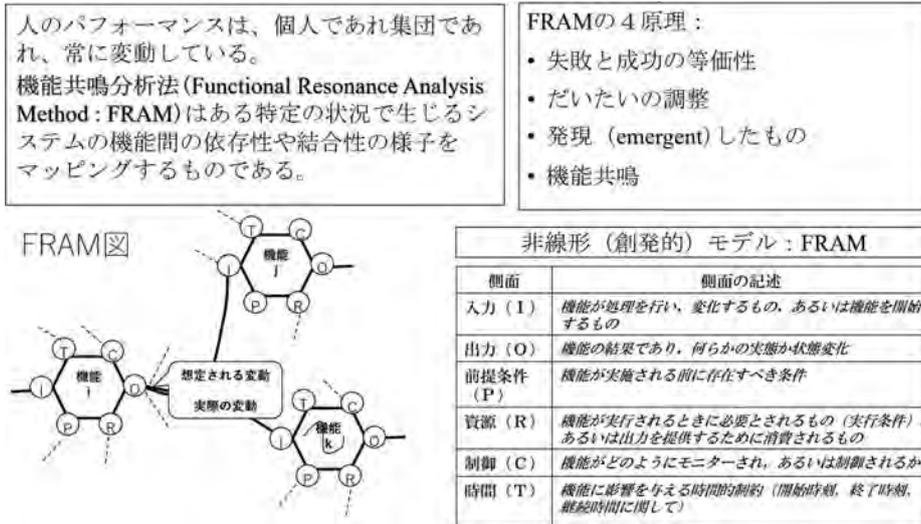
FRAMの機能の出力(O)の変動が共鳴により大きくなった場合は、共鳴の出現が表示される。共鳴した機能の6角形の中には「逆S」字マークが書き込まれている(図一1の機能k)。共鳴した機能それ自体は事故や災害の原因ではないが、共鳴した機能の出力について対処が不適切であると事故や災害になる恐れがあり、機能が共鳴する場合はリスクが高まっていると言える。FRAMによる分析では、作成したFRAM分析表からFMV⁴⁾を用いて、各機能に共鳴が現れるかどうかを確認することができる。共鳴した機能について、機能の共鳴を制御、抑制する対応策を検討する。

(2) FRAM 分析の手順

FRAMは次の4つのステップにより行う。

a) ステップ1：機能の同定

組織の活動を機能に分解し、それぞれの機能の側面



図一 FRAMの原理と概要及びFRAM図

を記述する。FRAMにおける機能は、6つの側面 (I: 入力, P: 前提条件, T: 時間, C: 制御, R: 資源, O: 出力) により特徴づけられる。

b) ステップ2: 変動 (Variability) の同定

機能の出力 (O) は機能が行ったことの結果である。機能が変動すれば出力が変動する。変動は、通常起こりうる潜在的な変動、機能の結合により顕在化した変動、及び結合により共鳴し増幅された想定外の変動の3種類がある。FRAMでは、システムは通常は変動を吸収しながら正常に動作していることを前提としている。ただし、想定外の変動が生じた場合に適切な対処が行われなければ、システムは変動を吸収しきれなくなり、事故・災害が発生すると考える。ステップ2では機能の出力の潜在的な変動を記述する。

c) ステップ3: 変動の集約

FRAMでは、出力 (O) 側の機能を上流の機能、

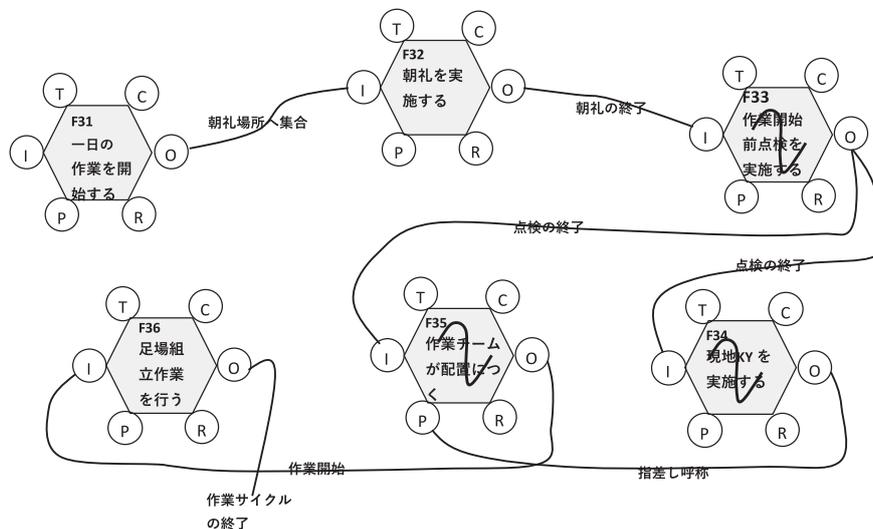
出力 (O) が5つの側面 (I, P, R, C, T) に結合している機能を下流の機能という。上流の機能と下流の機能の結合により変動が共鳴して想定外の結果を引き起こすことがある。変動を捉える方法として一般的には、タイミングと正確さの観点から捉える方法を用いる。機能の結合において顕在化した変動及び、機能の結合により機能が共鳴し出現する想定外の変動を集約する。

d) ステップ4: 制御, 対処

ステップ3で共鳴した機能について、変動が事故や災害にならないよう制御・対処方法を提案する。

(3) FRAM分析の例

図一2は、足場組立作業の一部を表すFRAM図の一例である。このFRAM図は一般的な足場組立作業の朝礼から作業開始前までの機能の繋がりを表している。



図一2 足場組立作業のFRAM図 (部分)

足場組立作業の期待される作業は次の流れによる。まず、機能 F31：一日の作業を開始する（出力：朝礼場所へ集合）。次に、F32：朝礼を実施する（出力：朝礼の終了）。F33：作業開始前点検を実施する（出力：点検の終了）。F34：現地 KY を実施する（出力：指さし呼称）。F35：作業チームが配置につく（出力：作業開始）。そして、F36：足場組立作業を行う（出力：作業サイクルの終了）と続く。この F31 から F36 までの機能と側面の結合状態はこのシステムが正常に働いている状態を表している。ただし、その前提条件(P)として、現地 KY の実施が必要である (F34)。

次に、想定外の変動の一例として、何らかの時間の切迫により、作業開始前点検が十分に実施されず、その結果、現地 KY 活動も十分に実施されないまま作業チームが配置につき、足場組立作業を開始した例を示す。想定外の変動の原因となった機能は「F33：作業開始前点検を実施する」「F34：現地 KY を実施する」「F35：作業チームが配置につく」である。F33：の出力は通常は「点検の終了」であるが、出力の変動により「点検が行われなかった」ことであり「不正確あるいは未完了」に当たる。F34：の出力は通常は「指さし呼称」であるが、「指さし呼称をやらなかった」ことで「省略」に当たる。また、F35：の通常出力は「作業開始」であるが「作業開始の準備ができていない」「実施事項の欠落」となる。

このように FRAM では通常の状態を FRAM 図で表し、機能が共鳴したことによる出力の変動が事故につながった原因を追究することが可能である。

4. FRAM によるリスクアセスメントの手順

(1) 建設業における FRAM による RA

建設業の現場で FRAM を使うメリットは、現場のシステム全体を俯瞰し、直接的な作業だけではなく間接的な現場の活動の中にも関連するリスクを発見し、対処できることにある。本稿では、一般的な RA 手法では発見できないリスクを発見するために、FRAM がどのように活用されるかを説明する。

筆者らの研究³⁾では、建設業における FRAM を用いた RA 手法を提案している。従来の FRAM 分析は定性的分析方法であり、分析者の経験や知見による評価に差が出る可能性がある。これに対し、筆者らは、半定量化手法を用いた FRAM 分析を提案している。提案手法は、現場の多くの評価者にとって、評価の差異が少なく、客観性が向上すると考えられる。

定性的な分析では、複数の評価項目を総合して感覚

的な判断をするため、評価者により結果に差が生じる可能性があり、経験と知見を有する者が実施をしなければならぬ。半定量的な分析では、感性による評価を数値に置き換える基準を示している。数字の大きさとリスクの大きさを評価できるので、ある程度の経験者であれば分析をすることができる。

定量化については建設工事現場で分析を行うことを前提として、複雑な数式を用いて統計的処理を行うことは避け、感性的評価を数字に置き換えるという半定量化の分析方法を提案している。この半定量化の方法により元請けの職員にも FRAM による RA が可能になると考えられる。

RA はこれから始める工事のリスクの予想である。作業員による安全意識高揚のための RA など、局所的な作業について一般的な RA は定性的分析でも結果に大きな問題はない。しかし、安全管理計画や工事計画を作成するための RA では、分析結果が評価者の経験や知見による差を少なくするために、半定量化した指標を使用した FRAM によって RA を行うことがより良い方法だと考える。

以下では、FRAM を用いた RA の手順の概略を図一3の図表を用いながら説明する。

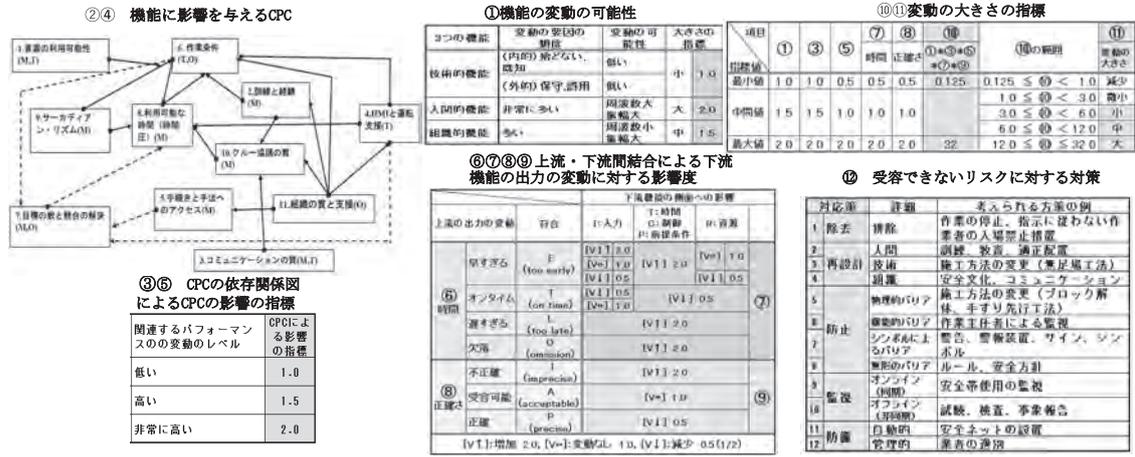
(2) FRAM を用いた RA の手順

半定量化手法による FRAM を用いた RA は、FRAM の4つのステップに従って行う。各ステップでの作業手順及び評価項目及び各評価項目の内容の図表を添付表として図一3内の図表①から⑩に示す。

図一3の上段の表はステップごとの評価項目を表し、評価項目の上の数字は評価項目を判定する図表番号（図一3の下部の図表①から⑩）を示す。RA の行は RA の分析と内容の範囲を示し、安全施工サイクルの行は分析事例のうちの一つの機能 (F36) の分析例を示している。

半定量化手法による FRAM を用いた RA では、変動の大きさを表す方法として、ステップ2の「3つの機能（技術的・人間的・組織的）による機能の変動の可能性」「CPC の影響」^{5),6)}及びステップ3では「機能の結合による変動」の評価項目の評点の積を用いる。上記3項目の変動に影響を与えるそれぞれの要素の大きさの指標について、「3つの機能（技術的・人間的・組織的）による機能の変動の可能性」は「1.0 から 2.0」, 「CPC の影響」は「1.0 から 2.0」, 「機能の結合による変動」は「0.5 から 2.0」の数値に置き換える。ここで、変動の程度と増減を表すために1項目でも0があれば積が0になり変動への影響が見えなくな

個別作業名	ステップ1: 機能の特定						ステップ2: 変動の特定					ステップ3: 変動の集約					ステップ4: 制御・対応								
	6つの側面						3つの機能					潜在的な変動					対応策								
【足場組立作業】	機能 (F)	入力 (I)	前提条件 (P)	資源 (R)	制御 (C)	時間 (T)	出力 (O)	技術的	人間的	組織的	CPCの影響					機能の結合による変動					想定外の変動				
											②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭		
RA	通常の状態の機能と側面の記入						潜在的な変動の想定					機能の結合による共鳴の把握					災害防止対策								
安全帯 工器具	事例 F36	【足場組立作業】を行う	作業開始	足場の恐れのある場所での安全帯使用	足場材、安全設備	作業主任者による監視	作業サイクル	1作業サイクルの終了	○	1.5	10	2.0	11	1.5	安全帯のかけ忘れ	T	1.0	I	2.0	0.0	中	発生する	6	作業主任者による監視	教育する



図一三 FRAM を用いたリスクアセスメントの手順図

るため、大きさの指標の最小値を0.5としている。

分析の実施者はFRAMのステップに沿ってFRAMモデルを構築する。図一三の3行目の①から⑫の作業は、図一三に対応する添付表①から⑫の中から該当する項目を選択する。⑩は、図一三の①、③、⑤、⑦、⑨項目の積となる。⑩の変動の数値から⑪の変動の大きさの指標が決定され、⑫では⑪の変動の大きさに対応して、具体的な対策を検討する。詳細は筆者らの論文³⁾を参照されたい。

(3) 分析結果の可視化

FRAMの半定量化による足場組立作業のRAの結果となるFRAM図を図一四に示す。図一四は、ステップ1で作成した機能と側面の全ての機能をFMV⁴⁾を用いて出力したものが基になっている。図一四は足場組立作業の計画段階、準備段階と作業段階により機能をグループ化し、六角形の枠の色分けで表し位置関係を整えている。半定量評価により変動する可能性が高いと評価された機能は、共鳴の大きさにより共鳴マーク(逆S字)の線の太さで表示した。共鳴した機能について、吹き出して潜在的な変動、想定外の変動、変動抑止対策及びレジリエンスの4能力を表示した。本稿では掲載を省略しているが、FRAM分析一覧表と図一四のFRAM図を作成することで、このシステムにおけるリスクの存在が可視化される。

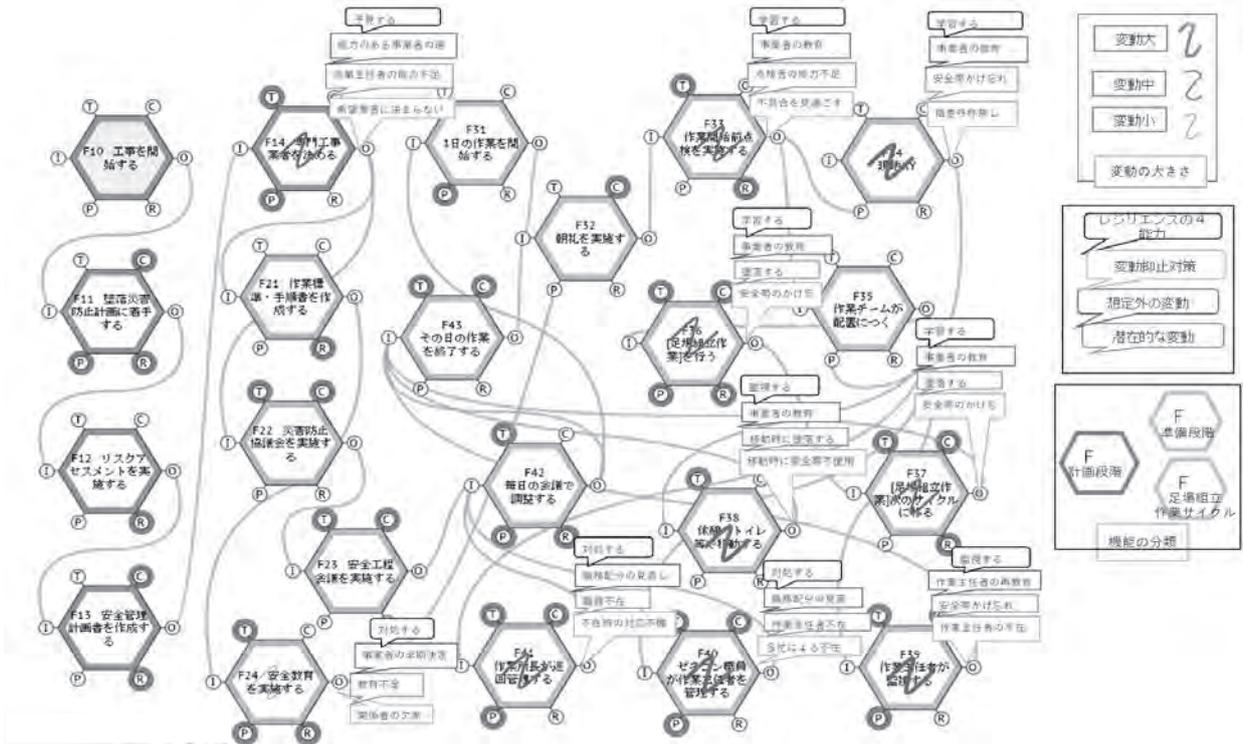
5. FRAMによるRAと一般のRAの比較

FRAMによるRAは、一般の方法によるRAと比べて、現場の全体を視野に入れた安全管理活動ができる点に利用価値があると言える。ただしFRAMによるRAでは、分析手順である図一三と分析結果の出力図である図一四を作成する必要があり、分析作業量は多くなる。

足場組立作業の事例では、現場組織全体の機能の中で、足場組立作業を位置づけている。これにより、現場システムの他の機能が、足場組立作業の機能の変動に影響を与える可能性のあるリスクを明らかにできる。たとえば足場組立作業に関する大きなリスクが、準備段階の機能(F14 専門工事業者を決める)、事前作業の機能(F24 安全教育を実施する)や作業開始前点検の機能(F33 作業開始前点検を実施する)の中にも存在している。

一般のRAは、個別の作業手順の中でのリスクを調査することで、現場の担当者と専門工事業者の職長クラスによる作業手順書作成や安全意識の向上のために用いることに適しているが、FRAMによるRAは、現場の組織全体を把握したうえで行うRAであるので、元請けの職員が工事の安全衛生管理計画書を作成し統括管理をするために行うことに適している。

程度を表す言葉を数値に置き換えることは、建設業



図一4 FRAMを用いたリスクアセスメント分析出力図

労働災害防止協会のRAでも行っている。RAにおけるリスクの可能性と重篤度の程度を表す「大きい、普通、小さい」を「3, 2, 1」に置き換えることは、定性的な範囲であると言える。しかし同協会では、複数の指標を加算する場合、数値のほうが量の把握がしやすくなり、評価の客観性が高くなるとしている。

FRAMによるRAでは、5つの評価項目それぞれの影響が大きさの「大小」と「増減」であるので、5つの評価項目の総合評価は、加算は適さないで乗算を用いた。FRAMを用いたRAでは機能の変動の度合いを「大きい、中間、小さい」と「減少する、変わらない、増加する」の言葉で表しているが、5つの評価項目による全体の評価を言葉で表すと主観が大きく作用し評価にバラツキが出るので、それぞれの評価項目の言葉を数値に置き換え、数値の積により結果を「大中小」に表した。定性的分析は状態や質の分析であり、定量的分析は量を扱い数字で表すことで結果を分析する。筆者らの研究³⁾で提案している半定量化は、定性的な状態の言葉を数字に置き換えて、複数の評価項目を総合的に判断するためにその積の数字で状態を評価するので、定量化を用いた定性的評価として「半定量化」と表した。「大小」「増減」の選択は評価者の主観によるので、一般のRAと変わらないが、FRAMによる評価は数字に置き換えて計算をすることで、計算結果の数字による評価は客観性が向上する。さらに

評価者による評価から主観を除くには複数の評価者による統計的処理を行う方法がある。

FRAMを用いた方法は一般の方法に比べると分析の作業量が多く、現場での使用には向かないという意見がある。また現場での使用については一般のもので充分であるともいわれる。しかし、FRAMを用いた方法は、ベースとなるフォーマットを事前に作成しておけば、その後の作業量はそう多くはない。

6. おわりに

建設業の現場でFRAMを使うメリットは、現場のシステム全体を俯瞰し、直接的な作業だけではなく間接的な現場の活動の中にも関連するリスクを発見し、対処できることにある。本稿では、一般的なRA手法では発見できないリスクを発見するために、FRAMがどのように活用されるかを説明した。

事故や災害が発生する度に、原因を究明し災害防止を図る、これまで行ってきたSafety-I⁷⁾の時代と、現在のように災害の少ない状態を前提として安全対策を行うSafety-II⁷⁾の時代の安全対策があり、現代はSafety-IとSafety-IIが共に存在しており、その中で重要視されているのがRAによる災害防止対策である。これまで定行的に行ってきたものを、半定量化したFRAMによる分析を行うことで、より評価をしや

すくることが可能になるといえる。

Safety-II⁸⁾の時代のリスク回避のために重要なことは、リスクの予測とその対処に取り組むことであり、想定外の変動に対してはレジリエンス力の保持が必要であるといえる。レジリエンスの4つの能力(対処する能力, 監視する能力, 学習する能力, 予見する能力)を身に着けることで、現場での想定外の変動に対して適切な対応をとることが可能になりリスクを回避することができ、今後はこの4つの能力を身に着けるための教育が現場では重要になる。

JCM A

《参考文献》

- 1) E. ホルナゲル (小松原明哲 監訳) : 社会技術システムの安全分析 : FRAM ガイドブック, 海文堂, 2013.
- 2) 建設業労働災害防止協会 : 職長・安全衛生責任者教育テキスト, 2019.
- 3) 友時照俊, 井面仁志, 高橋亨輔, 白木渡 : 建設工事の安全管理に用いられるリスクアセスメントに関する FRAM における半定量化手法の提案, 土木学会論文集, Vol.79, No.24, 23-24013, 2023.
- 4) Hollnagel E. and Hill, R: FMV: Instructions for use of the FRAM Model Visualiser (FMV) , 2016.
<https://functionalresonance.com/onewebmedia/FMV_instructions_0.4.0.pdf> (入手 2021.7.8)
- 5) E. ホルナゲル (小松原明哲 監訳) : ヒューマンファクターと事故防止, 海文堂, 2006.

- 6) Hollnagel, E.: Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM), p.118, *Elsevier Science*, 1998.
- 7) E. ホルナゲル (北村正晴, 小松原明哲 監訳) : Safety-1 & Safety-2 : 安全マネジメントの過去と未来, 海文堂, 2015.
- 8) E. ホルナゲル (北村正晴, 小松原明哲 監訳) : Safety- II の実践 : レジリエンスポテンシャルを強化する, 海文堂, 2019.

【筆者紹介】



友時 照俊 (ともとき てるとし)
香川大学大学院 工学研究科
博士後期課程



井面 仁志 (いのも ひとし)
香川大学 創造工学部
教授



高橋 亨輔 (たかはし きょうすけ)
香川大学 創造工学部
准教授



移動式クレーンにおける敷板への アウトリガー偏心設置の危険性

堀 智 仁

移動式クレーンは作業の省力化や工期の短縮に大きく貢献し、建設現場で不可欠な機械である。しかし、この機械による転倒災害は依然として多く、その主な原因は地盤の崩壊に起因している。クレーンの使用状況を確認すると、接地圧を低減するための敷板の中心にアウトリガーが設置されていないことが多い。本稿では、敷板に対してアウトリガーを偏心設置した場合の地盤養生効果の低下について、模型実験および実大実験により検証した結果を報告する。

キーワード：労働災害、転倒災害、移動式クレーン、敷板、地盤養生

1. はじめに

移動式クレーンは重量物の吊り上げや移動、組み立て作業などに使用され、建築および建設の現場に欠かせない機械である。しかし、移動式クレーンの転倒災害は度々発生しており、その原因の多くは地盤の支持力不足によるものである。転倒を防止するためには、クレーンに搭載されている敷板を適切に使用し、地盤に作用する接地圧を十分に低減させる必要がある。しかしながら、使用状況を確認すると、敷板の中央にアウトリガーが設置されていないことが多く見受けられる。このように、アウトリガーを敷板の中央からずれた位置に設置した場合、中央に設置した場合に比べて地盤養生効果が低下すると考えられる。そこで、本研究では、敷板に対してアウトリガーを偏心設置した場合の地盤養生効果の低下について、模型実験および実大実験により検証した。

2. 実験の概要

(1) 模型実験

本研究では、つり上げ荷重 250 kN クラスの移動式クレーンに搭載されている敷板 (850×804×20 mm, 材質:アルミ合金)の使用を想定し、実物の 1/20 スケールの敷板模型 (42×40×1 mm, 材質:アルミ) を作製した。図-1 に作製した敷板模型を示す。

図-2 に模型実験の概要を示す。試験装置は島津製作所製の精密万能試験機を使用した。载荷ロッドは現場地耐力試験 (以下、BCT という) の载荷板 ($\phi = 300$ mm)

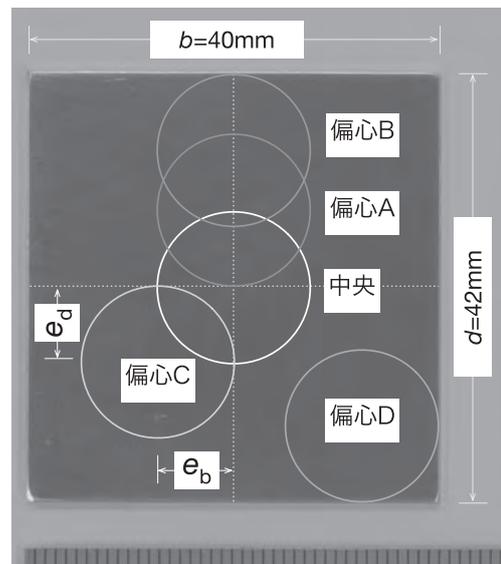


図-1 敷板模型 (実物の 1/20 スケール)

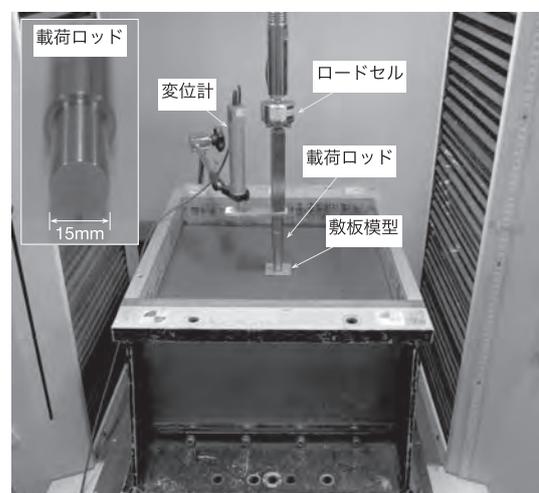


図-2 模型実験の概要

を想定し、その1/20スケールである $\phi = 15 \text{ mm}$ で作製した。BCTの概要については後述する。

図に示す通りロードセルと接触型の変位計を設置して、荷重と沈下量を計測した。載荷位置については図-1に示す通り、敷板の中央および偏心量を変化させた4箇所(偏心A~偏心D)の合計5箇所に載荷した。荷重は変位制御で与え、載荷速度は1 mm/minとした。

模型地盤は関東地方に広く分布する関東ロームを締め固めて作製した。地盤の作製方法については、最適含水比 w_{opt} (=102%)に調整した試料を締め固め後の層厚が1層あたり50 mmとなるよう試験容器(360×360×210 mm)に投入し、3層に分けて締め固めた。締め固め圧力 σ については、強度の異なる2種類の地盤を作製するため、 $\sigma = 20 \text{ kPa}$ と100 kPaとした。本研究ではそれぞれの σ で作製した地盤を「軟弱地盤」および「硬質地盤」と呼ぶことにする。

(2) 実大実験

(a) 実験の概要

実大実験は2つの現場で実施した。「現場1」は、ヤード内にて関東ロームを厚さ0.6 mとなるよう造成した。造成方法は1層あたりの厚さ0.2 mとなるようロームを堆積させた後、排土板付きの小型ドラグ・ショベルで均等に敷き均し、クローラーで転圧した。現場1は人工的に作製した地盤であるのに対して、「現場2」はシルト質(MH:高液性限界)の自然地盤である。

実大実験では、敷板上の3箇所で行った。載荷位置は敷板の中央、敷板の側部(偏心B)および角部(偏心D)である。

(b) BCTの概要

地盤の支持力を直接的に調査する方法として平板載荷試験(以下、PLTという)があるが、1箇所の計測に5~8時間要するため、機械の安定を確認する方法としてあまり利用されていないのが現状である。そのため、本研究では、PLTと同様にドラグ・ショベル

等の重機を反力にした試験であり、短時間に支持力調査が可能なBCTによる調査を推奨している。表-1にPLTとBCTの比較を示し、図-3にBCTの概要、図-4にPLTの概要を示す。BCTは、PLTと基本的に同じであるが、荷重の載荷方法が変位制御である点異なる。PLTは計画最大荷重を5~8段階に分割して段階的に荷重を載荷するのに対して、BCTは載荷速度を一定として荷重を載荷する。それによって

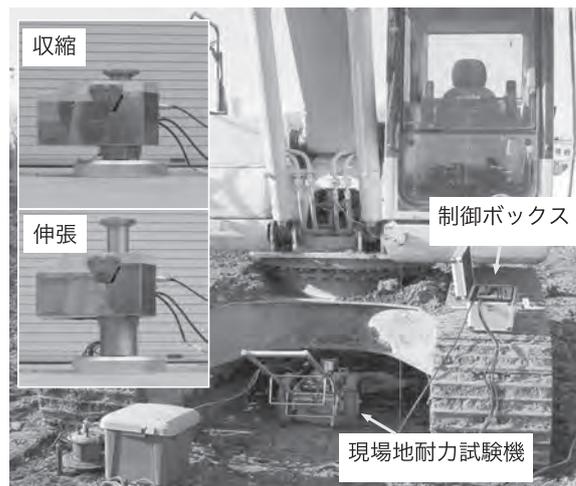


図-3 BCTの概要

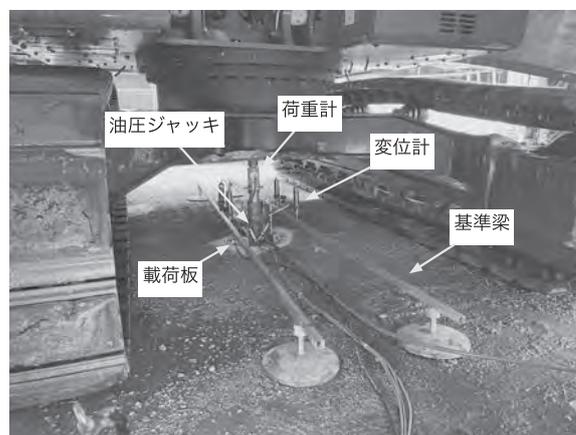


図-4 PLTの概要

表-1 PLTとBCTの比較

	PLT JGS 1521-2012	BCT
載荷板	直径 300 mm の円形	直径 300 mm の円盤
載荷方法	荷重制御 (計画最大荷重を5から8段階で載荷)	変位制御 (5 mm/min)
反力装置	実荷重またはアンカー	実荷重 (建設機械)
沈下量の計測	基準梁から載荷板上の沈下4点を計測	載荷ジャッキの伸張量から建設機械の浮き上がり量を補正して計算
所要時間 (1箇所)	4~5時間	約30分

PLTで1箇所の計測に4~5時間要していたものがBCTでは変位速度を5mm/minとした場合、試験時間が約30分程度に短縮可能である。地盤調査に要する時間には荷重時間だけでなく試験の準備時間も含まれる。図-4に示したPLTでは、建設機械の下部走行体と地面の間の狭い場所に荷重板をセットし、油圧ジャッキなどの荷重装置と荷重計が荷重板の上に設置されている。また、基準梁が2列に配置され、4個の変位計が取り付けられている。このように、PLTでは狭小な空間で様々な準備を行う必要があり、その作業には1時間程度を要する。それに比べて、BCTでは、機械の前後に機体の浮き上がりを計測する変位計を設置して、ジャッキのストローク量から沈下量を簡易換算して求める。これによって、準備に必要な時間を10分程度に短縮可能となる。

また、上記に加え、BCTは荷重圧力 q と沈下量 s を連続的に取得することが可能であり、 q - s 関係の弾性域や曲線の屈曲の程度などを詳細に把握することが可能であり、PLTのように事前に計画最大荷重を設定する必要がない。なお、これまでの研究からPLTとBCTの結果は、ほぼ一致することが確認されている¹⁾。

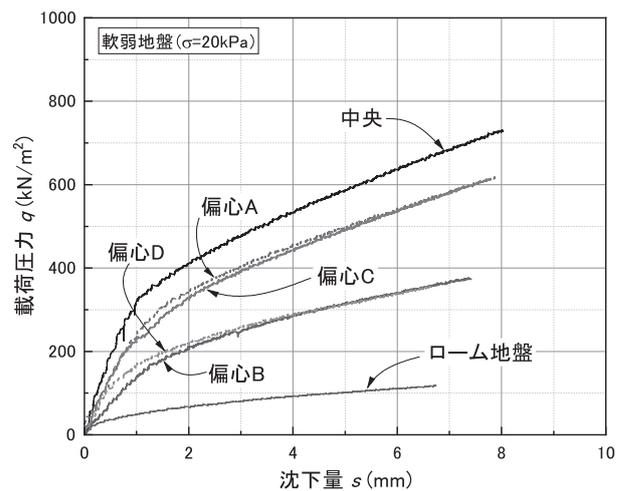
3. 実験結果

(1) 模型実験

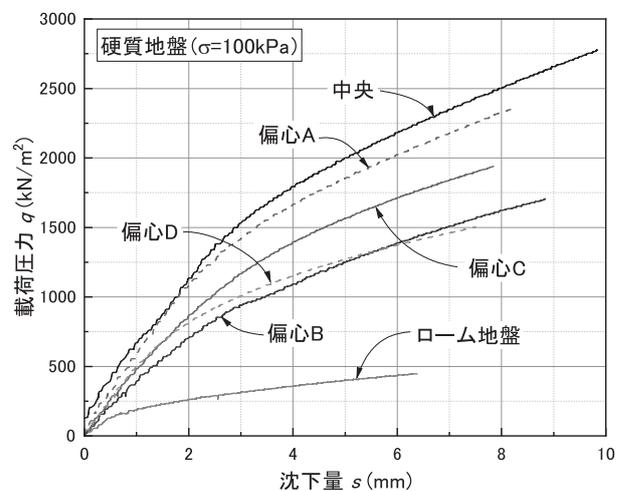
図-5(a)に「軟弱地盤」を模擬した地盤の試験結果を示す。荷重圧力 q と沈下量 s の関係を比較すると敷板の中央に荷重した結果が最も高い。次いで、偏心Aと偏心Cが同程度となっており、敷板の側部と角部に荷重した偏心Bおよび偏心Dが最も q - s 関係が小さいことが確認できる。参考のため荷重ロード単体で荷重したローム地盤の支持力の結果も示しているが、その値に比べると敷板を使用した条件の q - s 関係は大幅に増加しており、敷板を使用することによって地盤の支持力は大幅に向上することがわかる。図-5(b)に「硬質地盤」の結果を示す。硬質地盤においても、敷板の中央に荷重した条件が最も高く、次いで、偏心Aに荷重した条件が、偏心Cに荷重した条件に比べ若干高くなっているが、それ以外は軟弱地盤と同じ傾向を示している。

(2) 実大実験

図-6に実大実験の結果を示す。ローム地盤の結果を示した図-6(a)では、 q - s 関係は敷板の中央に荷重した結果が最も高く、次いで、敷板の側部(偏心B)での荷重、角部(偏心D)での荷重の順となって



(a) 軟弱地盤 ($\sigma = 20 \text{ kPa}$)



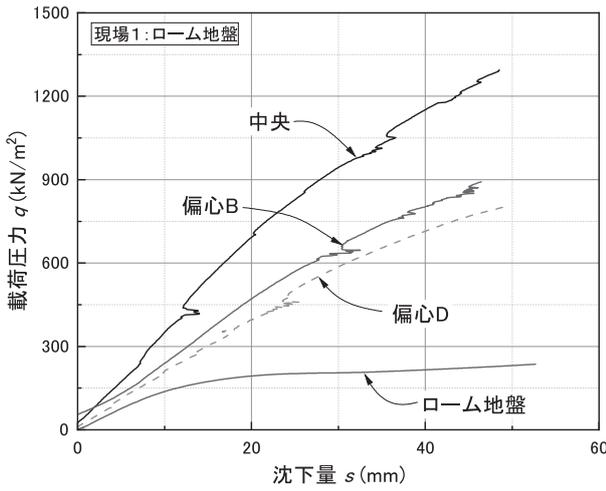
(b) 硬質地盤 ($\sigma = 100 \text{ kPa}$)

図-5 模型実験の結果

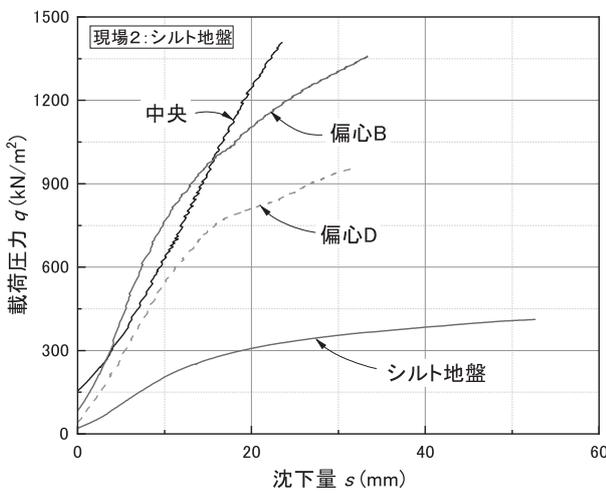
いる。これは模型実験の結果とほぼ同じ傾向である。比較のため、敷板を敷設しない条件(ローム地盤)の支持力も併せて示しているが、敷板の使用により地盤の支持力が向上していることが確認できる。なお、敷板を使用した条件の q - s 関係にノイズのようなものが確認できる。これは、地盤の地表面にわずかな凹凸が存在したため、その影響によるものと考えられる。シルト地盤の結果を示した図-6(b)では、偏心Bの q - s 関係の傾きが大きくなっているが、これは地盤のバラツキによるものと考えられる。それ以外は、ローム地盤と同等の結果となっている。

(3) アウトリガー偏心設置の検討

アウトリガーを敷板の中央から偏心設置した際の強度低下(支持力低下)について検討する。本研究では、評価指標として降伏強度比 R_{qy} と偏心度 R_e を定義した。 R_{qy} とは、 q - s 関係の弾性域の最大荷重圧力 q を



(a) 現場 1 (ローム地盤)



(b) 現場 2 (シルト地盤)

図一六 実大実験の結果

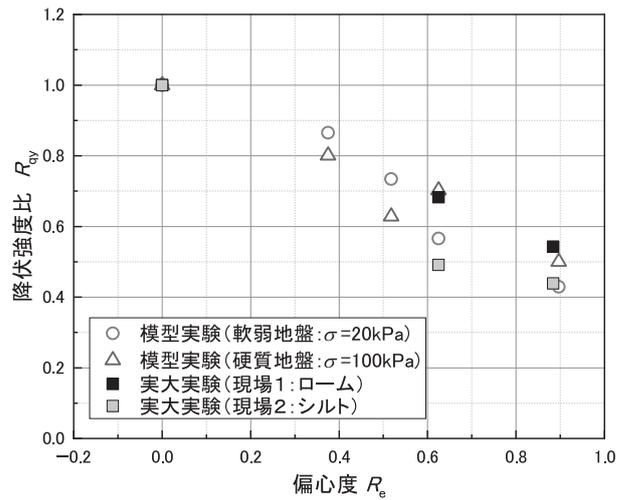
降伏強度 q_y と定義し、各载荷条件での q_y を中央载荷条件での q_y で除した値である。すなわち R_{qy} は、中央载荷条件に対する支持力の低下の程度を表す指標である。一方、偏心度 R_e とは、図一1に示すように敷板中央からの偏心量 e_b および e_d から式 (1) により算出される値である。そのため R_e は、敷板中心からの偏心量の大きさの度合いを示す指標である。表一2に模型実験における偏心量および偏心度 R_e を示す。

$$R_e = \sqrt{\left(\frac{e_b}{b/2}\right)^2 + \left(\frac{e_d}{d/2}\right)^2} \quad (1)$$

図一7に R_e と R_{qy} の関係を示す。図より R_{qy} は R_e の増加とともに低下しており、地盤の強度および模型地盤と実大実験の違いに関わらず結果はほぼ一致している。特に角部 (偏心 D) に载荷した場合 ($R_e = 0.9$) では R_{qy} の値は $0.43 \sim 0.54$ であり、中央载荷に比べ半減していることがわかる。また、偏心 A ($R_e = 0.37$) や偏心 C ($R_e = 0.52$) でも、 R_{qy} の値はそれぞれ 0.80

表一2 载荷条件

载荷位置	偏心量 e_b (mm)	偏心量 e_d (mm)	偏心度 R_e
中央	0.0	0.0	0.00
偏心 A	0.0	7.5	0.38
偏心 B	0.0	12.5	0.63
偏心 C	7.5	7.5	0.52
偏心 D	13.5	12.5	0.90



図一七 偏心度 R_e と降伏強度比 R_{qy} の関係

~0.86 と $0.63 \sim 0.73$ であるため、アウトリガーを敷板の中央からわずかに偏心して設置した場合でも中央に設置した場合に比べ2~3割低下することがわかる。

4. おわりに

敷板に対してアウトリガーを偏心設置した場合の地盤養生効果の低下について、模型実験および実大実験により検証した。その結果、降伏強度比 R_{qy} と偏心度 R_e の関係は、 R_e の増加に伴って R_{qy} が低下することが確認された。すなわち、アウトリガーを敷板の中央から偏心して設置することで、本来得られるべき地盤の支持力が低下することが明らかになった。また、 R_{qy} と R_e の関係は、地盤の強度の違いや模型実験と実大実験のスケールの違いに関わらず、結果はほぼ一致することも確認された。さらに、アウトリガーを敷板の中央からわずかに偏心して設置した場合 (偏心 A, $R_e = 0.37$) でも、敷板の中央に比べ支持力が約2割程度低下することがわかった。

アウトリガーを敷板の中央に設置することは当然のように思われるが、敷板の中心からずれた場所にアウトリガーを設置すると、支持力が小さくなりクレーンの転倒の危険性が増す。アウトリガーを敷板の中心に

設置することの重要性を再度認識していただき、読者の皆様の参考になれば幸いです。

謝 辞

実大実験を実施するにあたり(株)東洋スタビの田村繁雄顧問および若原千恵氏に協力いただいた。末筆ながら謝意を表します。

J C M A

《参考文献》

- 1) 玉手聡・堀智仁：作業現場における地耐力の確認の方法，労働安全衛生総合研究所技術資料，JNOSH-TD-NO.3, pp.39-62, 2015.
- 2) (公社)地盤工学会：地盤調査の方法と解説，第8編 載荷試験 第3章 平板載荷試験，pp.697-735, 2013.

【筆者紹介】

堀 智仁 (ほり ともひと)
(独)労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所
建設安全研究グループ
上席研究員



クローラクレーン後部旋回範囲への 立入禁止バーの開発

清水 孝 則

建設業における労働災害として「はさまれ・巻き込まれ・激突」事故が依然として多発している。すべてに起因しているとは言えないが、作業エリアの区画が的確にされていたら防げた可能性は高い。また、建設機械との「はさまれ・巻き込まれ・激突」事故では重大災害に直結し、特にクローラクレーンなど大型の重機に関しては死亡事故につながる可能性が高い。そこで、立入禁止処置を盛替えることなく、走行時においても維持ができるように「柵とバリケード」を開発したのでここに紹介する。

キーワード：安全対策、労働災害、建設機械、クレーン等災害、予防安全

1. はじめに

建設業における労働災害は昭和36年をピークに「労働安全衛生法」の制定などがあり減少傾向にはあるが、令和5年度労働災害発生状況（図—1）を見てみると、死傷者数においては全産業で135,371人とまだまだ事故が無くなることは無い。建設業においては14,414人と全産業の11%を占めている。さらに事故の型別労働災害発生状況（図—2）で見ると、「はさまれ・巻き込まれ」1,704人、「激突され」781人となり2項目において15%を占めておりいずれも作業エリアの区画がしっかりとされていれば防げた可能性が高い事故である。

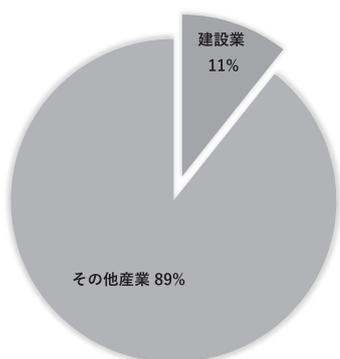
次に建設機械の運用として、作業員との「はさまれ・巻き込まれ・激突」を防ぐために作業エリアの区画が必要となる。バックホウや移動式クレーンにおいては動作中の死角が多いため旋回範囲内への立入禁止処置も必要となる。

特にクローラクレーンにおいては、旋回範囲も広く且つ走行することもあり広範囲な立入禁止が必要となっていた。本稿では、クローラクレーンにおいて必要最小限の立入禁止で最大限の効果を発揮する「柵とバリケード」（以下、本立入禁止バーという）を開発したのでここに紹介する。

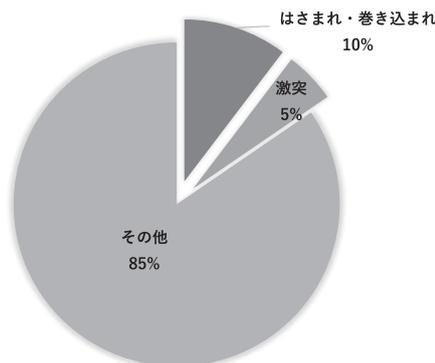
2. 移動式クレーンにおける立入禁止方法の課題

移動式クレーンとは大きく2種類があり、アウトリガーを支えとするラフテレーンクレーン（図—3）とクローラを支えとするクローラクレーン（図—4）が存在する。ラフテレーンクレーンも同様に旋回範囲の立入禁止処置は必要だが、アウトリガーがあることにより見た目でも危険エリア（上部旋回体接触範囲）の把握がし易い。

一方、クローラクレーンにおいては、アウトリガー



図—1 業種別労働災害発生状況¹⁾



図—2 事故の型別労働災害発生状況¹⁾

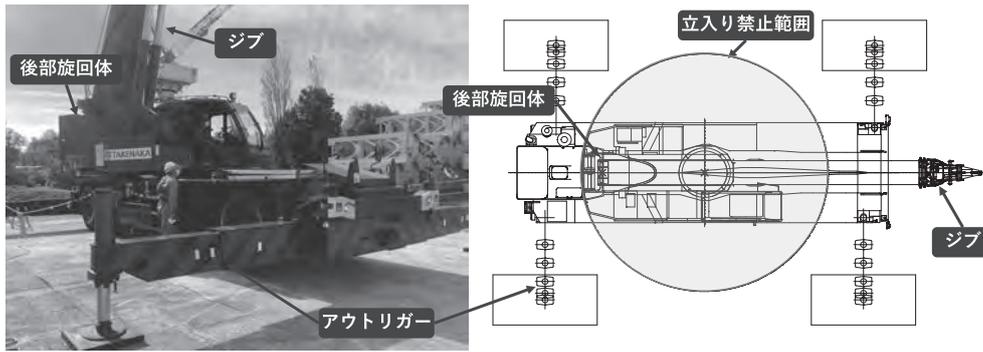


図-3 ラフテレーンクレーン部材名称

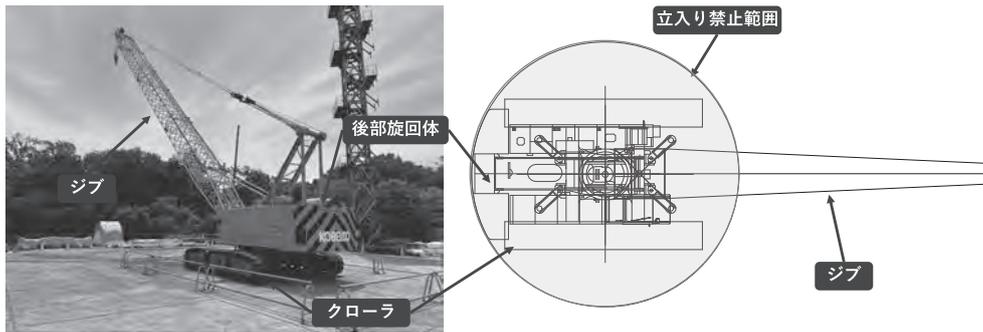


図-4 クローラクレーン部材名称

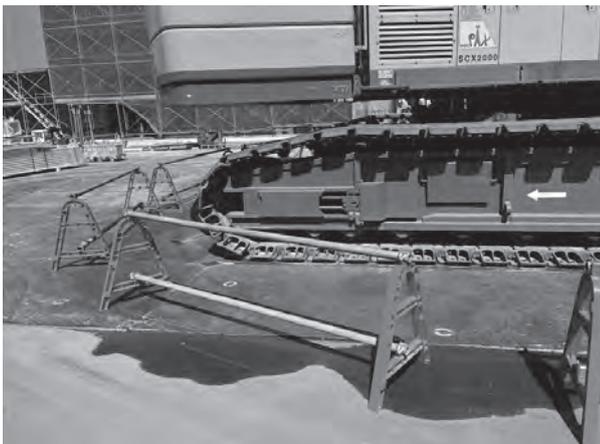


写真-1 A型バリケード



写真-2 単管

を必要としないので、旋回体接触範囲がわかりづらい。
次に、旋回範囲内への立入禁止の方法としては、カラーコーンやA型バリケード等（写真-1）を用いるのが一般的ではある。そのため走行するたびに、カラーコーンの撤去、盛替え、新設が必要となる。この移動作業においては、オペレータ自身が行うことが多く、頻繁に移動すると作業量が増加し、揚重時間が削られることになる。次に、移動量の多い作業所においてはクローラに単管（写真-2）にて直接固定し、立入禁止処置を講じる場合もあるが、誤って稼働部分に固定してしまうと、機械の破損にもつながることから、専門の知識が必要になる。さらには、設置方法の検討や材料の拾い出し、手配や実際の設置にも時間を要していた。

3. 本立入禁止バーの特徴

本立入禁止バー（図-5）はクローラ本体に、マグネットが取り付けられたH型の固定治具を直接取り付け、各パイプを3本連結し、クローラとの離隔距離を確保している。また先端部には安全ポールを取り付け、専用の安全ポール固定治具にはロープを固定できる構造にしている。そのため、旋回範囲内への進入を防止することができる。

(1) 固定治具

固定治具（図-6）には、10個のマグネットが取り付けられており、1個あたり40kgまでの引張力に対応

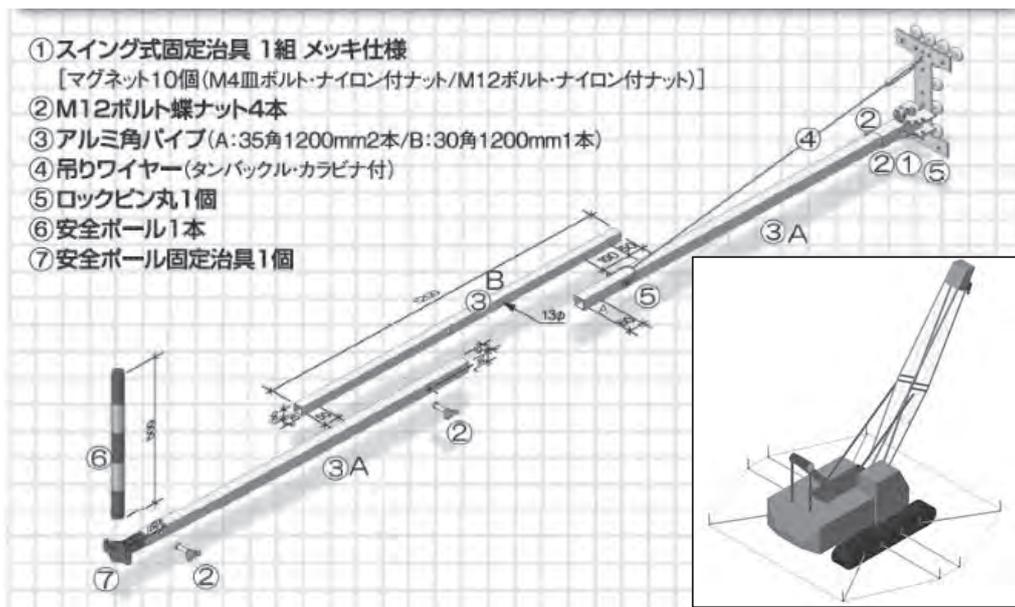


図-5 仕様



図-6 固定治具

した強力なマグネットを採用した。そのため、通常作業時の振動や衝撃では外れることは無い。

次に、メーカーにより同サイズの能力を保有するクローラクレーンでも形状や取り付けている部材に違いがあり、必ず同じ場所に設置できる保証は無い。そのため、固定治具は首振り式にしており向きを調整することにより、複数のパターンで取り付けることが可能となっている。

(2) 形状

製品の可動域としては、約 1,300 mm ~ 3,300 mm まで調整が可能となっており、70 t ~ 350 t までのクローラクレーンに対応できるようになっている。クローラクレーン 1 台につき標準は 8 本の設定だが、本数を増やすことにより幅広い機種に対応可能である。

重量においては、角パイプをアルミにすることによりすべての部材含め 1 本あたり 7 kg 以下と軽量な

め、女性でも取付けが可能だ。

(3) 安全性

通常走行時には、走行路も同様に立入禁止処置を講じるが、走行範囲が長距離になると広範囲での設置が必要になり抜け漏れが発生する要因となる。本立入禁止バー（写真-3）においては設置したまま走行が可能のため、走行中においても抜け漏れ無く立入禁止が維持される。

4. 本立入禁止バーの効果

カラーコーンや A 形バリケードの盛替えが不要になり、移動に伴うオペレータの作業量が削減されることにより、揚重効率の向上に貢献できると考えている。

さらに、移動中においても立入禁止の状態が維持されており、「はさまれ・巻き込まれ・激突」を未然に防ぐことができる。先端部には、安全ボールを取り付けることにより視認性も良く、移動前に障害物の干渉を目視により確認することも可能なため、重機の衝突事故も未然に防ぐことが可能となっている。

次に作業時間で比較してみると、単管での立入禁止柵では、鳶工 3 名にて付近に材料がある状態で約 90 分の作業時間を要した。本立入禁止バーにおいては、男性 1 名、女性 1 名の計 2 名にて作業を実施し、部材組立 1 本につき 3 分、クローラクレーンへの取り付けに 6 分、計 30 分で取り付けることができ 66% 作業時間を短縮（図-7）することができる。

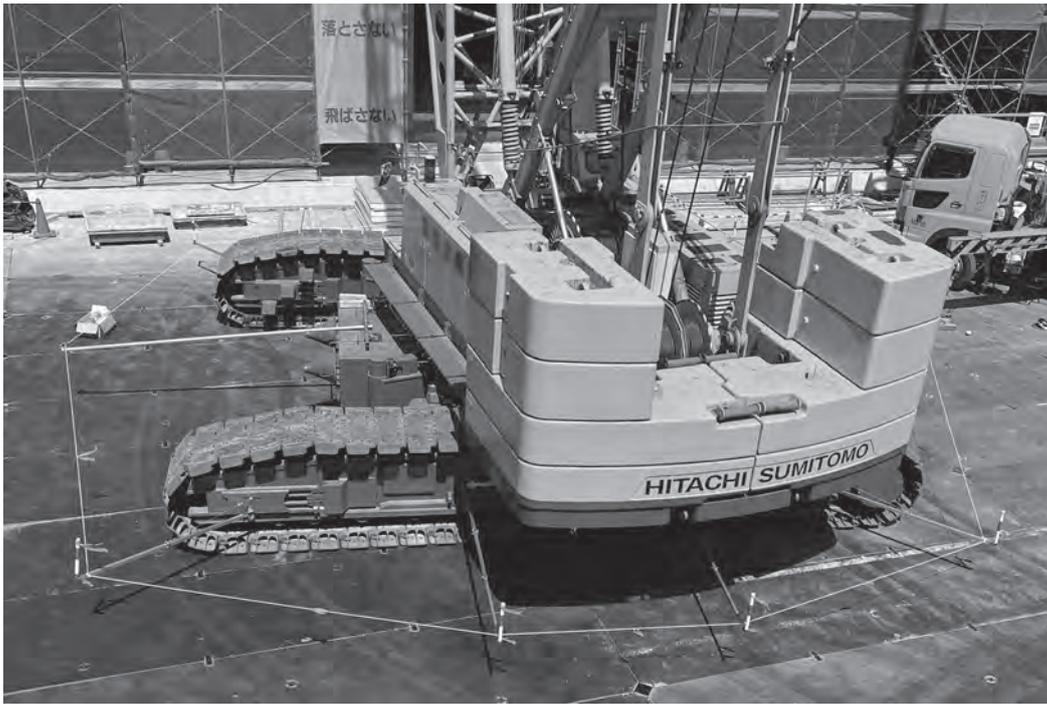


写真-3 設置状況



図-7 比較

5. おわりに

本年度4月1日より時間外労働の上限規制が建設業においても適用され、限られた時間内で効率良く業務を進めることが求められる。そうした中でも安全においては妥協を許されないことから、時間をかけ検討・準備し安全施設を構築している。「柵とバリケード」は、メーカー問わず様々なクローラクレーンに取付けすることができ、検討する時間が必要無く誰でも簡単に設置することができる。

今後の建設業においては、ベテラン作業員が減少していくと共に外国人実習生や若手作業員が増えていくことから、不用意に機械に近づき「はさまれ・巻き込まれ・激突」の災害につながる可能性が高い。そうした意味でも「柵とバリケード」のような誰でも設置ができ且つ従来の作業よりも、より安全を確保できる商品を今後も展開し、事故の抑制に貢献していく。

謝辞

本製品は、(株)レンタルのニッケン、(株)アルモとの共同開発であり貴重なご意見と多大なご協力をいただきました。あらためてお礼申し上げます。

JCMA

《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」

【筆者紹介】

清水 孝則 (しみず たかのり)
 (株)竹中工務店
 大阪本店 西日本機材センター
 開発グループ



LiDAR を用いた高所作業車の挟まれ警報装置開発

千野 雅紀・市川 達也

高所作業車は効率的な高所作業を可能にするが、作業中に作業員が手すりや構造物に挟まれる事故が発生することがある。挟まれ防止対策として、LiDAR を用いて作業床の手すりの上方にある物体を検知し、作業員の動作や高所作業車の揺れによる誤反応を防ぐための計測点の処理方法を実装し、警報を発報する安全装置を開発した。これにより、高所作業車による作業効率性や安全性を確保することが可能になった。本稿では、LiDAR を用いて上方の物体を検知して警報を発報する安全装置について紹介する。

キーワード：高所作業車、安全装置、LiDAR、障害物検知

1. はじめに

建設現場では足場を設置せずに高所作業を行う方法として、高所作業車を使用することが一般的である。高所作業車は迅速かつ効率的に高所作業を行うことができるため、多くの現場で採用されている。

しかし、高所作業車を使用した作業中に、作業員が手すりや構造物に挟まれる事故が発生することがある。令和4年には車両系建設機械の死亡事故の16%を占める8件の死亡事故が起きており、作業員の安全を脅かす重大な問題であることから対策が求められる。

従来の挟まれ防止対策には、接触式の物理センサや、超音波センサ等の距離センサを使用した安全装置がある。これらの安全装置はセンサの直上にある障害物を検知する仕組みであるため、センサが設置されていない部分は検知することができない。また、物理センサの場合、作業床の四隅にポールを立てる必要があり、手すりより上方に突出物があるため、作業の支障になっている。

そこで、放射線状に照射されるレーザー距離センサである Light Detection And Ranging (LiDAR) に着目し、手すり上方の領域を面的に検知することが可能で、かつ手すり上方に突出物がないため作業床上での作業の支障にならない安全装置を開発した。本稿では、新しく開発した LiDAR を用いた高所作業車の挟まれ防止対策について紹介する。

2. システム概要

(1) 主な機能

本装置は LiDAR を用いて高所作業車の上方にある物体を検知し、設定した警報範囲内に物体が侵入した場合に音と光で警報を発する装置である。

本装置を用いた物体の検知範囲を図-1に示す。LiDAR で計測した範囲のうち、警報範囲は横幅に関しては作業床の操作盤側の短辺の横幅をカバーできる範囲とした。高さに関しては、検知してから警報を発して、それを作業員が聞いてから停止操作を行っても物体に挟まれない最低の高さを警報範囲の上限とし

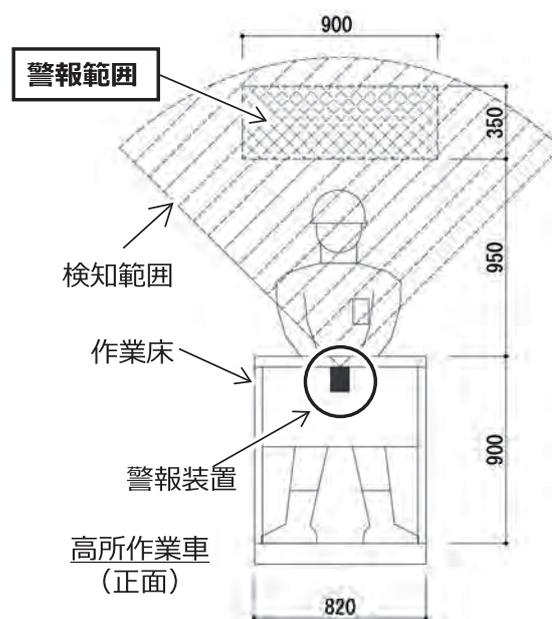


図-1 物体検知範囲

た。高さの下限は、作業員の頭頂部等が警報範囲に入らない高さとして作業の支障にならないようにした。以上から、警報範囲の横幅は900 mmとし、高さは作業床の床面から1,850 mm から 2,200 mm とした。これは、一般的な高所作業車の作業床の手すりの天端を基準にすると950 mm から 1,300 mm の高さである。

また、警報範囲に入った物体を検知して警報を鳴らす場合、作業床の揺れや、粉じん、LiDAR の計測ノイズ、作業員の身体に反応して誤反応を起こすことがある。そのため、物体が警報範囲に入るという条件に加えて、高所作業車の作業床が上昇しているという条件も加えることで、上記の誤反応を防ぐことにした。

高所作業車で作業床を上昇させるには、フルプールの観点から、フットペダルを押した状態で操作盤の上昇操作を行う必要がある。このフットペダルの上昇操作の信号を高所作業車から取得して上昇判定を行う方法がある。しかし、高所作業車から情報を得るためには配線加工を行う必要があることから、本装置の設置に時間がかかってしまう。それに加えて、高所作業車の各メーカーによって取得できる信号や配線が異なるため、全てのメーカーの高所作業車に対応した装置を開発することは困難であった。

そこで本装置はいずれのメーカーの高所作業車であっても汎用的に使用できることを目指し、スタンダードアロンで動作をさせるために、高所作業車から情報を取得せずに LiDAR で計測した情報から上昇判定を行った。

(2) 制御方法

本装置で用いる LiDAR およびマイクロコンピュータの仕様を表一1に、警報発報の制御フローを図一2に示す。

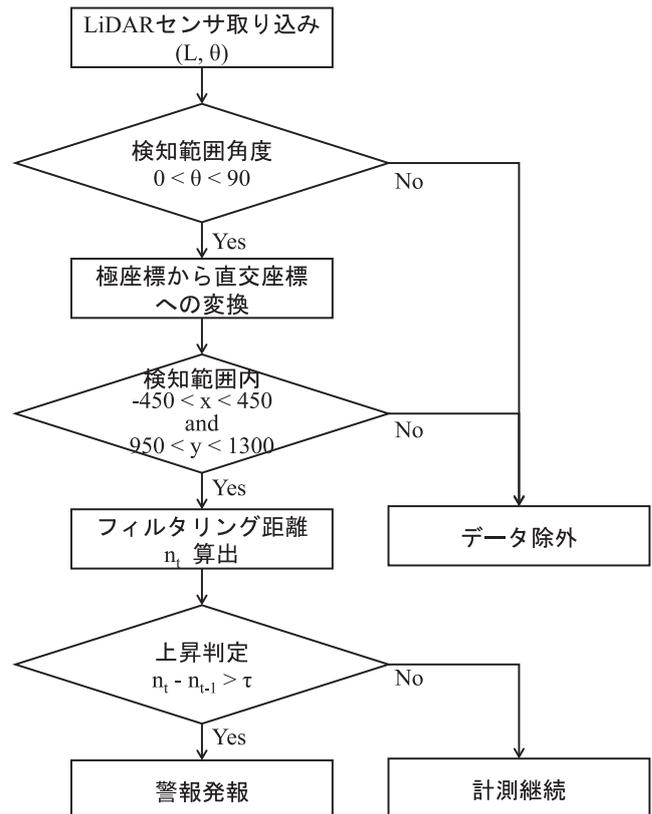
LiDAR のスキャン周波数は 10 Hz であり、360° 分のデータが 0.1 秒単位でマイクロコンピュータに送信される。装置小型化のために限られた計算リソースの中で、全てのデータを処理するとリアルタイム性が損なわれる。LiDAR で計測する範囲は上向き 90° の範囲であるため、レーザー照射範囲のうち、使用しない 270° 区間はデータの読み込みを行わないことで、計算するデータ量を削減し処理時間の短縮を図った。

LiDAR のデータは、回転角度および対象物までの距離データであり、極座標で得られる。これを直角座標に変換し、変換した点が警報範囲に入っている場合のみ、その点に対して上昇判定を行うことで計算量を減らしている。

上昇判定を行う前に、ノイズの影響を低減するフ

表一1 本装置の仕様

項目	仕様	
LiDAR	種類	TOF 方式 360° LiDAR
	波長	905 nm
	角度分解能	0.45°
	スキャン周波数	10 Hz
	検知距離	0.1 m~12 m
マイクロコンピュータ	CPU	1 GHz クアッドコア 64-bit
	メモリ	512 MB LPDDR2



図一2 警報発報の制御フロー

ルタリング処理を行う。警報範囲内で計測された点に関して、計測点間の距離が最短である4点を物体として判定し、上昇判定には4点の座標の平均値を用いる。これにより物体を固まりと見ることができるので、見落としを防ぐことが可能である。また、平均値を用いることから、高所作業車の揺れなどによる計測データのばらつきの影響を低減できるという利点がある。

物体の4点の平均値の高さ方向の変化を計測頻度の0.1秒で割ることで物体の移動速度を求める。物体の移動速度が高所作業車の作業床の上昇速度と同等で、かつ一定の値で減少、すなわち物体が接近している場合に、作業床が上昇していると判定する。この2つの条件を加えることで、作業員の動作や作業に用いる資材など、作業中に警報範囲内に入った他の物体との区

別と、作業床の上昇判定を行う。

以上のフローにより、物体が警報範囲内にあり、かつ作業床が上昇中であると判定した場合に警報を発報する。なお、一度警報を発報すると、物体が警報範囲から外れても3秒間は発報し続ける仕様とした。

(3) 実装方法

本装置の構成を図-3に、本装置を高所作業車に設置した取り付け写真を図-4に示す。

本装置は、センサ部と制御部に分かれて構成されており、両者は電源供給とデータ通信を行うケーブルで接続されている。センサ部は、取り付け金物にLiDARが設置されている。制御部には、LiDARで取得したデータを処理して物体を検知するためのマイクロコン

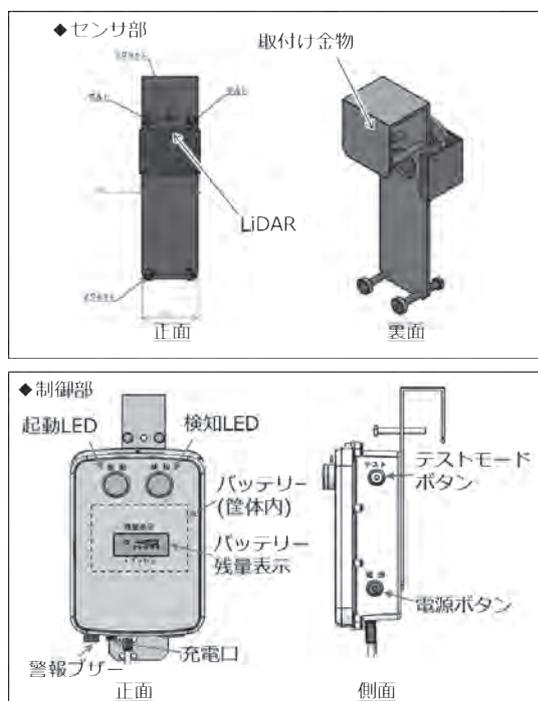


図-3 本装置の構成

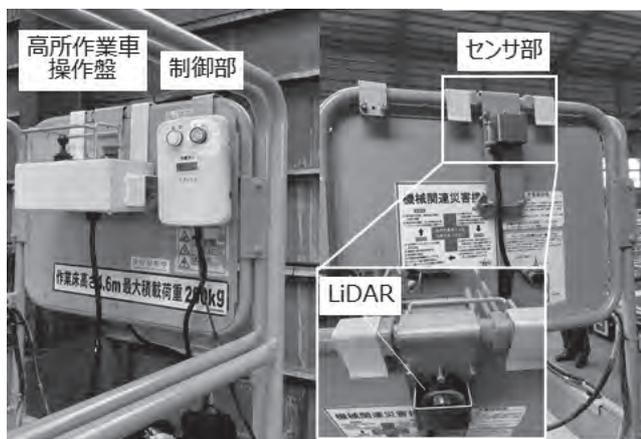


図-4 本装置の取付状況

ピュータ、物体検知時に作業員に知らせるための警報ブザー、外部にシステム状態を知らせるためのLED、バッテリーが搭載されており、プラスチックの筐体の中に収まっている。任意の高所作業車の手すりに設置できるように、取り付け金物のコの字の部分には遊びがある。設置した際にセンサ部がたつきが生じないように、上部ではボルトによる締め付け、下部では磁石による固定を行う。

センサ部および制御部はともに作業床の手すりに固定する。高所作業車の挟まれ事故は、主に操作盤のある作業床前方の短辺側で発生するため、センサ部は作業床前方短辺の外側に、制御部は作業床の内側に設置する。短辺側に設置することにより、作業床の一部がスライドして床面が拡張する機能を有する高所作業車に対しても、設定変更などの特別な対応をすることなく適用が可能である。

また、本装置は防水仕様ではないため、屋内の水気のない場所での使用を前提としている。

(4) 運用方法

本装置の運用方法について説明する。

①高所作業車への設置

先述の通り、本装置は高所作業車の作業床の操作盤側の短辺の手すりに設置する。センサ部のコの字の部分作業床の外側に引っ掛け、ボルトおよび磁石で固定する。制御部は内側に引っ掛ける。センサ部と制御部をつなぐケーブルは作業等の支障にならないように束ねて、高所作業車の中枠等に固定する。本装置はスタンドアロンで作動し、高所作業車との接続は不要であるため、設置自体は1分程度で完了する。その後、警報範囲を確認しながらセンサ部の位置を微調整する。

②作業開始時

制御部側面の電源ボタンを押すと約40秒で本装置が起動し、制御部正面の起動LEDが緑色に点灯する。始業前点検として、側面のテストモードボタンを押下してテストモードに切り替え、本装置の動作確認を行う。テストモードはLiDARによる検知と警報の発報が可能かを確認するモードであるため、上昇判定は切った状態になる。警報範囲に手などをかざし、LEDの点滅と警報ブザーが鳴ることを確認する。テストモードはボタン押下後、10秒で自動的に終了する。動作が確認できたら通常通りに高所作業車の使用を開始する。

③作業中

高所作業車での作業中は本装置を常にオンにする。作業中に警報が発報された場合は、速やかに上昇動作

を止めて安全の確保を行う。作業の関係上、警報範囲に物体が入る作業を行う場合は、十分に上方に注意した状態で作業床を上昇させる。

④作業終了時

作業終了後、電源ボタンを長押しすると本装置は終了動作に入る。起動LEDが消灯したことを確認した後、本装置の充電を行う。充電は約4時間で完了し、満充電の状態では約45時間の動作が可能である。そのため、1日の作業時間を十分にカバーすることができ、高所作業車自体の充電と合わせて充電を行うことで、充電のし忘れを防ぐことができ効率的な運用が可能となる。

3. 現場試行

本装置を物流倉庫の建設現場で試行し、性能について検証を行った。現場での使用状況を図-5に示す。

高所作業車の揺れに対しては、物体の移動を細かく検知し、移動距離を判定したため誤反応はなかった。また、処理時間が短縮したため、警戒範囲に物体が侵入した瞬間に警報ブザーが鳴り、作業員へ警告し即座に上昇操作を停止することができた。

ノイズに対しては、計測点間の距離を判定に用いることにより、ケーブルラック等の物体を確実に検知しながら、ノイズだけを除外できるようになった。

作業員の動作に対しては、計測した物体の速度に関

する判定方法により、上昇動作と異なる動きを除外できるようにになり、誤反応の発生は実用レベルまで低減した。

本装置は形状が薄く小型であり、設置場所も操作盤の付近であることから、作業員の腰道具や墜落制止用器具との干渉はなかった。また、作業においても、手すり上方に突出物がないため、長尺物等の資材を取り扱う際においても作業の支障になることはなかった。作業員へのヒアリングにおいて、従来の接触式物理センサーを使用する安全装置に比べて作業効率性が向上したという回答が多数挙げられた。

4. おわりに

本稿では、高所作業車の挟まれ防止対策として、LiDARを用いて物体を検知し警報を発報する安全装置について紹介した。本装置はサコス(株)と共同で開発を行った。今後は、現場への展開を拡大し、作業効率性を確保した上で安全性の向上を図っていく。

JICMA

《参考文献》

- 1) 「車両系建設機械及び高所作業車の労働災害による死者数の推移と令和4年における発生状況」, 建設荷役車両安全技術協会, 2023年11月
- 2) 市川達也, 手摺上部を面状に検知する高所作業車の挟まれ警報装置の開発 その2 実用化に向けた取り組み, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2024年8月

【筆者紹介】

千野 雅紀 (ちの まさき)
 (株)安藤・間
 技術研究所 フロンティア研究部
 主任



市川 達也 (いちかわ たつや)
 (株)安藤・間
 技術研究所 先端技術開発部
 主任

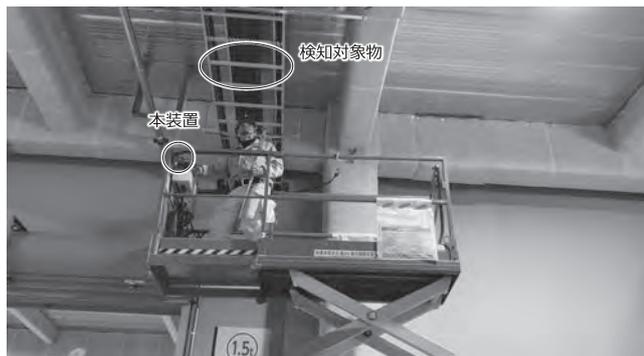


図-5 現場での使用状況

水中捨石マウンドの施工精度向上及び 生産性向上に向けた取り組み

捨石均し機 SEADOM-7 の開発

森 雅 宏

近年、港湾工事においてケーソンの大型化が進み、施工場所の大水深化や潜水土による作業の省力化及び安全の確保が求められ、解決方法の一つとして水中ロボットによる均し作業が行われてきた。

水中ロボットの一つである水中捨石均し機はこれまで転圧ローラによる均しを行っていたが、捨石マウンドの堅固な締固めに対応するため、重錘を搭載した新たな水中捨石均し機 SEADOM-7 を建造した。また、本機は重錘締固めの施工精度の確保と生産性向上の両立を図るため、マウンドを計測するセンサ及び施工管理システム、重錘の最適な落下高さを算出する AI を搭載している。本報では本機の概要及び施工方法、各システムについて紹介する。

キーワード：港湾工事、捨石マウンド、締固め施工、施工精度、水中ロボット、機械化、省人化、AI

1. はじめに

港湾工事の一つにケーソン式の防波堤築造工事がある。鉄筋コンクリート製の中空の函体であるケーソンに土砂等詰めることで防波堤としての機能を果たしている。ケーソンの土台は、1個当たり数十 kg から数百 kg の捨石で成形され、捨石マウンドを均す作業は主に潜水土で行われている。しかし近年では、ケーソンの大型化に伴う大水深化が進んでおり、厳しい環境下での急速施工やマウンドの堅固な締固め施工を要求されるとともに、国土交通省が推進する ICT 施工及び自動化施工技術の開発が求められている。

捨石均し作業の省人化や安全性の確保、効率化を目的として 1986 年に 8 脚歩行式の水中捨石均し機を開発し、運用を通して改良を重ねてきた。これまでレーキによる敷均しとローラによる転圧を併用する方式を採用してきたが（写真—1）、締固め能力を向上させるため、2022 年にレーキ敷均しと重錘による締固めを併用した新たな捨石均し機 SEADOM-7（以下「本機」）（写真—2）を建造した。

本機は、重錘による捨石マウンドを堅固かつ高い施工精度で締固めることを可能とするため、本体の位置情報と捨石マウンドの高さを計測し、施工の進捗とマウンドの高さを管理できるシステムを有している。また、施工の効率化を面的に図るため、自動操作機能の組み込みと AI による重錘の最適落下高さの計算プログラムを開発した。本報では本機の構成、機能、施工

管理システム、AI 演算システムを紹介する。



写真—1 均し装置（レーキ、ローラ）



写真—2 水中捨石均し機 SEADOM

2. 機械概要

本機はガット船等によって投入された捨石で形成されたマウンドを均す水中ロボットである。ここでは本機の機器構成と施工方法、施工管理方法について紹介する。

(1) 機器構成

本機の構成は支援母船に電源設備と操作室を設置し、アンビリカルケーブルで本体と操作室を接続している(図-1)。また、施工時に本体位置を計測する

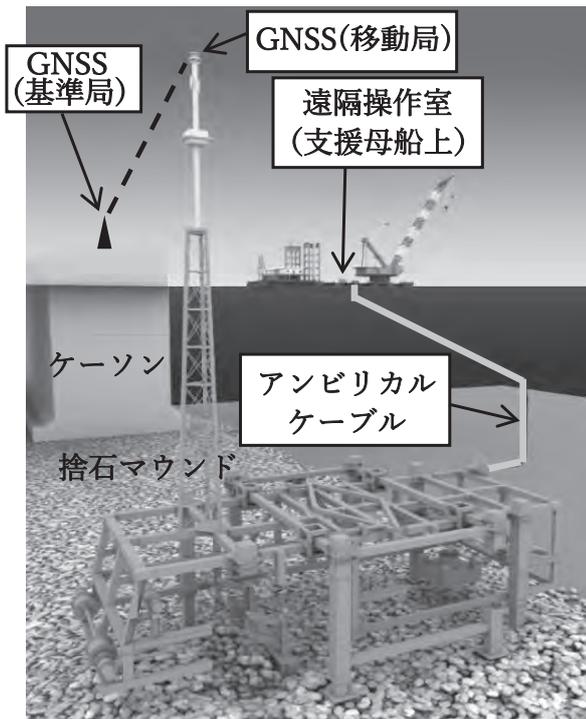


図-1 本機施工時の構成

ため、本体の槽上にはGNSS移動局が取り付けられ、現場付近の既知点に設置したGNSS基準局とテレメータから補正情報を受信することで、高精度に平面位置及び深度をリアルタイムに管理することができる。

(2) 本体機能及び搭載機器

本体は大きく歩行装置、レーキ装置、重錘装置の3つ装置で構成され、歩行・計測・レーキ敷均し(荒均し)・重錘締め(本均し)の順序で施工する(図-2)。

歩行装置は不陸の大きな捨石マウンド上でも安定した姿勢を保ち、安全かつ確実に精度よく位置を保持することが可能な8脚步行式を採用している。本体は本体フレーム及び移動フレームで構成され、それぞれ伸縮する4本の脚を設けている。歩行装置は本体フレームと移動フレームの脚を交互に着地させ、もう片方のフレームをスライドさせることで、歩行・方向修正することができる機構となっている。また、本体フレームには方位傾斜計が搭載されているため、本体の方位と傾斜を確認しながら施工することが可能である。

均し装置及び重錘装置(図-3)は本体フレームに搭載されている。

均し装置はレーキと前後移動台車、昇降装置、超音波センサで構成され、前後移動台車とレーキ昇降装置を調整することで、所定の高さで均すことができる。また、台車の前後移動と同時にレーキ後方に取り付けられた超音波センサによってマウンドを計測している。

重錘装置は前後移動台車、左右移動台車、重錘昇降装置、重錘で構成される。重錘は捨石マウンドを堅固に締め固めるため、底面2m×2mの重さ20tの重錘を採用した。

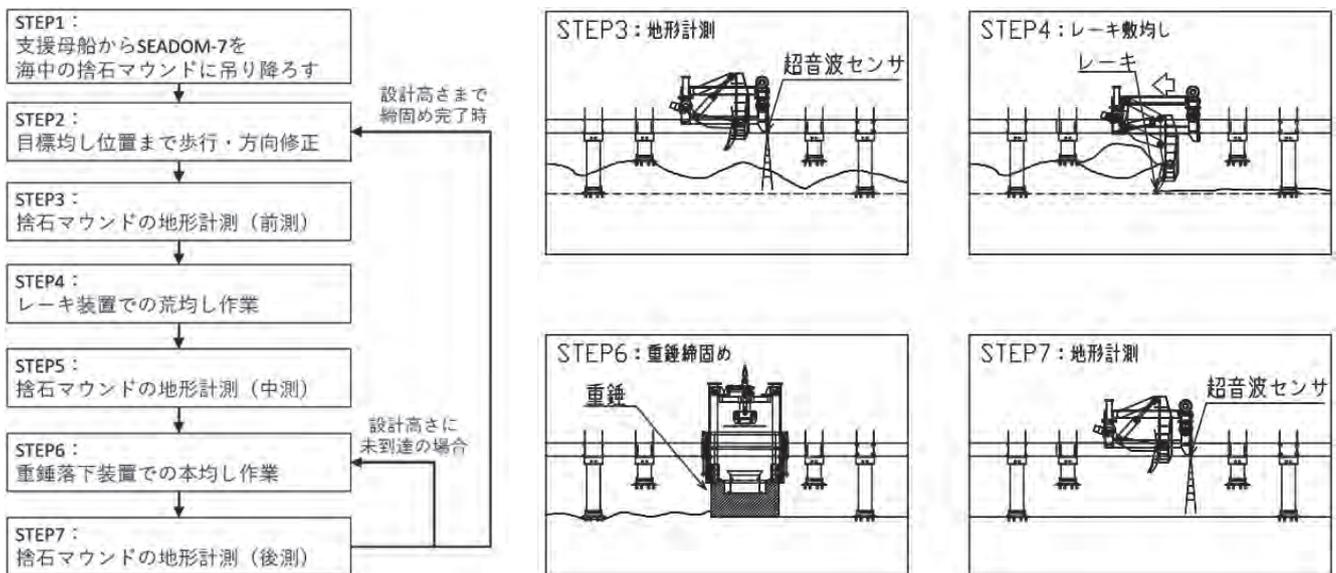
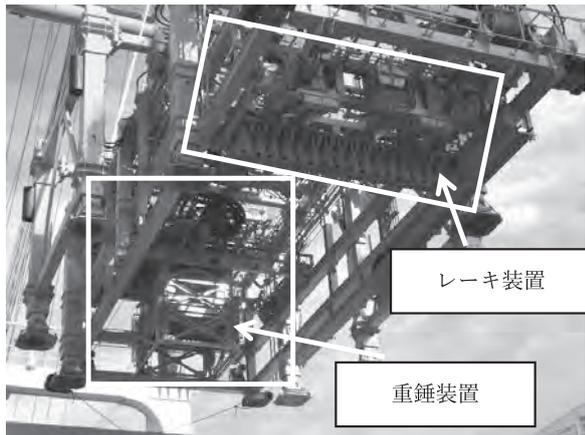


図-2 施工フロー



図—3 レーキ装置・重錘装置



写真—4 本機投入状況



写真—3 施工管理画面

(3) 施工管理システム

本機に取付けられた GNSS・方位傾斜計・超音波センサ等の計測機器によって、捨石均し機の現在位置、捨石マウンドの高さ等を計測し、これらの情報をリアルタイムに操作室のパソコン画面へ表示させる(写真—3)。

3. 省力化に向けた取り組み

(1) 自動化

操作室には、レバーによる手動操作を行う操作卓と、本体の状況(脚の伸縮量やフレームの移動量等)を確認しつつ手動・自動操作を行うタッチパネルが設置されており、ワンマンコントロールによる遠隔操作が可能である。また、作業の各ステップ内の動作は、決められた手順で本体を操作する必要があるが、施工中オペレータは手動で同じ操作を繰り返している。オペレータの負担を減らすため、単純な作業は、PLC に対して設定値を入力し、各シリンダ及びウインチ等の油圧機器へ自動的に指令を出すことができる。

(2) AI による重錘落下高さの最適化

重錘による締固めの効率を向上させるため、重錘の落下回数を最小限にする必要がある。重錘による打突ごとに変化する捨石マウンドの状態を考慮して最適な落下高さを決定するために AI を用いたプログラムを開発した。施工の序盤に教師データを蓄積し、徐々に捨石マウンドを設計高さまで締固めるために最適な重錘落下高さを算出できる。

レーキ敷均し後のマウンド高さ(余盛量)と重錘落下高さ、マウンドの沈下量等の蓄積されたデータを基に AI によって最適な落下高さ回数と回数を導き出す。これによって締固め作業の効率化が図れ、同時に施工精度の向上も見込まれる。

4. おわりに

本機は 2022 年 4 月に完成し、動作確認及び性能評価のための性能試験を行った(写真—4)。ここでは水中での歩行・レーキ均し・重錘締固めが概ね当初計画通りできることを確認した。今後多くの実績を積み重ね、生産性向上に寄与すべく、DX 等を活用し更なる機能向上を目指す所存である。

JCMA

[筆者紹介]

森 雅宏(もり まさひろ)
五洋建設(株)
土木 M&E 本部 船舶 O&M 部
係長



AI を用いた船舶検知システム「AI-KEN」

那須野 陽 平

AI を用いた船舶検知システム「AI-KEN」は、AI 画像認識技術により、一般の船舶（大型・小型）だけでなく、港湾工事に従事する工船用船舶も自動識別可能なシステムである。本システムの活用により、船舶の早期検知が可能となり、船舶の接近を警告音と画面表示で注意喚起することで、安全性の向上が期待できる。本稿では、システムの概要および現場で実施した実証試験の結果について報告する。

キーワード：AI, 船舶検知, 画像認識技術, 安全性向上, 省人化・省力化

1. はじめに

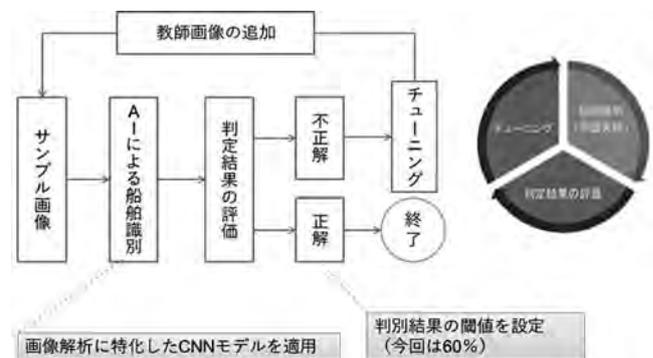
近年、建設業界では、技能労働者の減少や若年者の入職不足により、担い手不足が深刻な問題となっている。このような背景の下、工事を円滑に進めていくためには、ICT 等を活用することにより省人化・省力化を図っていく必要がある。特に、港湾工事において、航行中や作業中の工船用船舶は、一般航行船舶の動静把握のために周囲の監視が必要となるが、航行船舶が多い海域での工事になるほど監視員への負担が大きくなる。一般的に、周辺船舶を監視するためには、AIS（自動船舶識別装置）やレーダーを活用することなどが挙げられるが、500t 以下の船舶には AIS の搭載義務がなく、全ての船舶を検知することは困難なことに加え、AIS 情報は更新間隔が不規則であり、最新情報の入手が困難であることが課題である。また、船舶レーダーは船種を区別できない他、船舶を検知したとしても、追尾が外れてしまうなどの課題があり、監視業務の効率化を図るためには、更なる機能の向上が喫緊の課題である。

これらの課題を解決するため、カメラで撮影した船舶（大型船・小型船・工船用船舶）の船種を富士通㈱の AI 画像船舶認識技術により自動識別し、操船者へ注意喚起することで、監視員の負担を軽減する船舶検知システム「AI-KEN」を導入した。本稿では、当該システムの概要および現場で実施した実証試験の結果について報告する。

2. システム概要

(1) AI 画像認識技術

富士通㈱が開発した AI 画像船舶認識技術は、画像解析に特化した CNN（Convolutional Neural Network）モデル^{※1}を使用しており、カメラで撮影された一般船舶の船種（大型船・小型船）を高精度に識別することが可能である。本技術では、学習済みの大型船については高精度に識別可能だが、工船用船舶や小型船に関して学習が不足していた。また、背景の構造物や波、航路標識を船舶として誤検知するなどの課題もあった。そこで、検知精度の向上と誤検知の低減を目指し、事前に現場で撮影した船舶の画像を用いて学習を行い、判定結果の評価を通じて AI エンジンのチューニングを実施することで、港湾工事に特化した東亜 AI モデルを構築した。一連の評価学習フローを図—1 に、東亜 AI モデルの生成イメージを図—2 に示す。



図—1 評価学習フロー例

※1 CNN モデル：深層学習モデルの1つであり、視覚野の特長抽出の仕組みをモデル化したもの。

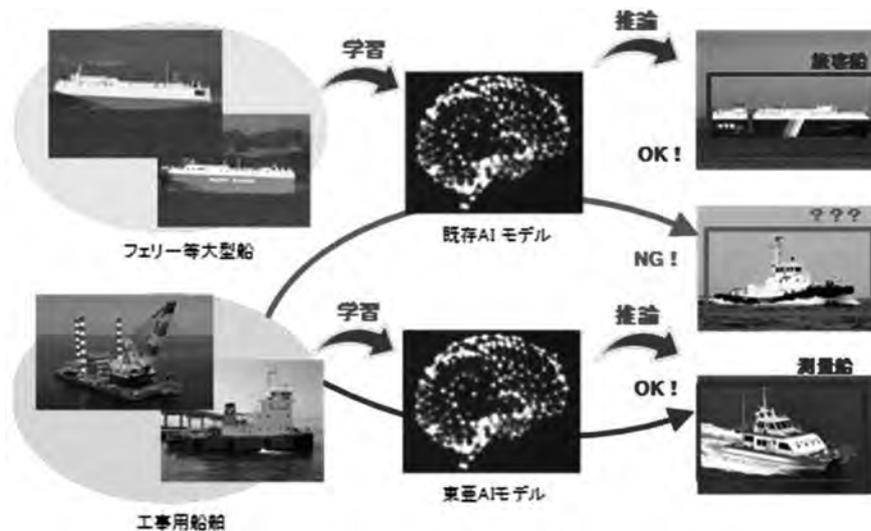


図-2 東亜 AI モデル生成イメージ

(2) システム構成

本システムは、ネットワークカメラの映像を PC に取り込み、その画像に船舶の識別情報を付加してモニターに出力することで、操船者や監視員に注意喚起を行うものである。機器構成は、AI を搭載した PC、ネットワークカメラ、HUB と非常にシンプルで、短時間で簡単に設置・撤去ができるため、大型船や港湾構造物上のほか、小型船にも搭載可能である。

AI 搭載用の PC にはグラフィックボード (GPU) が必要だが、特別なスペックは必要なく、汎用品で対応可能である。また、ネットワークカメラを低照度カメラや赤外線カメラに置き換えることにより、夜間でも船舶を検知することができる。システム構成例を図-3 に、夜間の監視画面例を図-4 に示す。

(3) システムの特長

本システムは以下の特長を有しており、ヒューマンエラーによる船舶等の見落としを減らすと同時に、カメラを高い位置に設置して船上の構造物による死角を無くすことで、安全性が向上する。

- ・一般航行船舶 (大型船・小型船) の他、工船用船舶の自動識別、映像内での追尾が可能。
- ・機器構成がシンプルで、船舶や防波堤など様々な場

所へ容易に設置可能。

- ・警戒エリアへ船舶が侵入した際は、自動的にアラート発出が可能。

(4) 適用範囲

- ▶適用可能な範囲
 - ・安全管理として周辺船舶の動向確認の補助
- ▶特に効果の高い適用範囲
 - ・船舶が頻繁に往来する海域
- ▶適用できない範囲
 - ・カメラで撮影した映像で、対象物の判別ができな



図-4 夜間監視画面例



図-3 システム構成例

- いような天候の場合（作業中止基準に準ずる）。
- ・カメラで船舶を認識できない場合。

3. 実証試験

(1) 試験概要

令和2年3月、基地港から現場海域まで航行した際に撮影した映像から、AIによる船舶の検知率を検証し、現段階でのシステムの実用性を確認するため、実証実験を実施した。主な試験項目は以下のとおりである。

- 対象船舶との距離について（検知可能な距離の把握）
- 動揺の有無による影響（航行時と停泊時の比較）
- 船の向きによる影響
- 天候や照度による影響
- 誤検知の有無と原因
- 検知率の把握

(2) 試験結果

- 対象船舶との距離について（検知可能な距離の把握）

AISの画面上で、自船と約2.4 [km] 離れている大型船を対象とし、AIが船舶として認識可能かを検証した。その結果、**図一5**に示すように大型船として検知可能であることを確認した。また、試験を実施した期間中、現場海域を航行する数十隻の一般船舶で確認した結果、大型船は2～3 [km]、小型船は500 [m]程度まで検知できることが分かった（**図一5**、**6**）。

- 動揺の有無による影響（航行時と停泊時の比較）

自船および他船が停泊している場合と航行している場合で、船舶検知能力に差がないか確認を行った。停泊中の船舶への接近、行き会い船、他船が自船に接近するなど数パターンに分けて映像を取得したが、船の動揺による検知性能の違いは見られなかった（**図一7**、**8**）。

- 船の向きによる影響

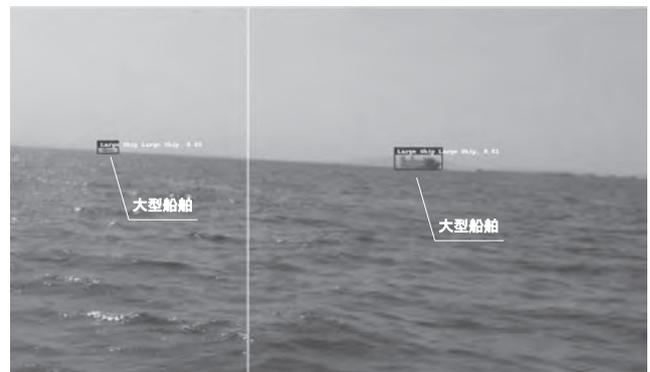
現場海域内で小型船（交通船）を航行させ、様々な角度（前方、後方、側方など）から撮影し、検知状況を検証した結果、船舶の向きに関わらず検出することができることを確認した（**図一9**～**11**）。

- 天候や照度による影響

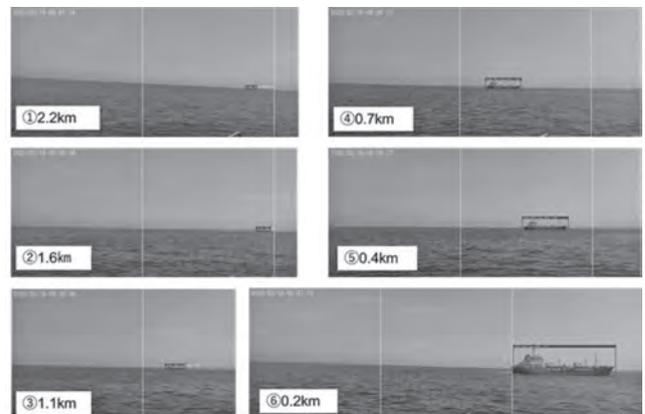
天候（逆光、曇り、晴れ）や朝夕の照度による船舶検知への影響について検証を行ったが、今回の試験では、逆光、晴天、曇天、照度の違いによって、検知／非検知の違いは見られなかった。ただし、夜間や雨天、



図一5 システム画面例（AIS画面）



図一6 システム画面例（船舶検知画面）



図一7 航行時画面例（停泊船への接近）



図一8 停泊時画面例（行き会い船）



図一 9 システム画面例 (船尾から撮影)



図一 10 システム画面例 (側面から撮影)



図一 11 システム画面例 (船首から撮影)



図一 12 システム画面例 (逆行時の船舶検知状況)



図一 13 システム画面例 (晴天時の船舶検知状況)



図一 14 システム画面例 (曇天時の船舶検知状況)

濃霧時の検証は行えていないため、今後、更なる検証が必要である (図一 12 ~ 14)。

(e) 誤検知の有無と原因

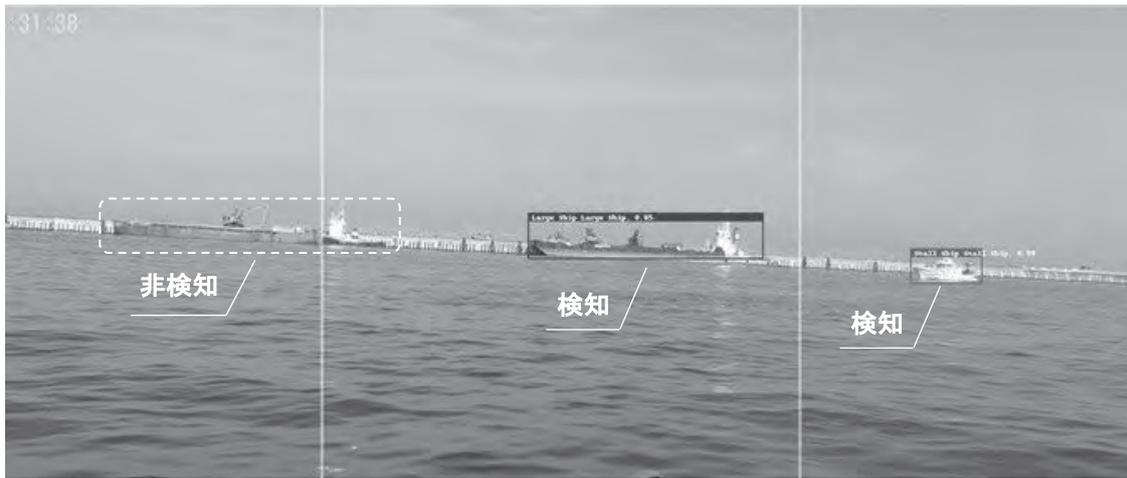
機械学習のレベルや背景との同化により、誤検知や非検知が発生する可能性がある。本試験では、現状の学習レベルにおいて検知した対象が本当に船舶なのかを検証した。その結果、工事用船舶の1つである土運船は、防波堤沿いに停泊する際、背景の陸上構造物と同化してしまい、非検知となることがあった。また、航路標識を小型船舶と誤って検知したり、クレーン台

船やコンクリートプラント船などの作業船を船舶として検知しないこともあった。今後、教師データを追加して学習を行うことで、検知率の向上を図っていく予定である (図一 15, 16)。

(f) 検知率の把握

本検証時の映像 (5秒毎に取得した画像5,044枚) を図一 17に示す評価方法で分類・定義し、AI検知率 (F値)^{*2}を算出した。真陽性 (TP) は「AIが船舶を船舶と正しく判断」していること、偽陽性 (FP)

*2 F値: 適合率と再現率の両方を組み合わせた調和平均。



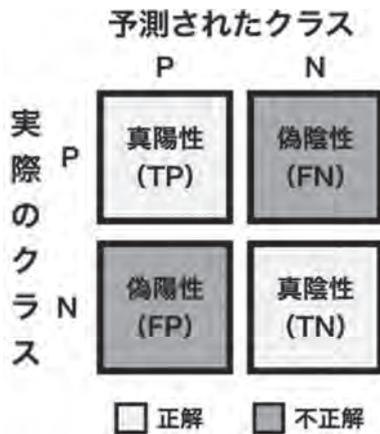
図一 15 システム画面例 (非検知状況)



図一 16 システム画面例 (誤検知状況)

は「AIが船舶でないものを船舶と誤って判断」していることを示している。また、偽陰性 (FN) は「AIが船舶を船舶ではないと誤って判断」していること、真陰性 (TN) は「AIが船舶でないものを船舶でないと正しく判断」していることを示している。表一 1 に判定結果を示す。

本当の船舶に対して、AIが船舶と判断した割合である「再現率」が44.7%と低いのにに対し、AIが船舶と判断したうち、本当に船舶だった割合である「適合率」は84.1%と高い結果となった。再現率が低かった原因としては、既設岸壁に停泊中の土運船などの船舶が検出できなかった事例や、工船用船舶の学習不足などが挙げられる。これに対し、「適合率」が高かった要因としては、背景や波を船舶として検知せず、事前に学習した対象船舶だけを高精度に検知できたためと推察できる。適合率と再現率の調和平均である「F値」(AI検知率)は、現時点で58.3%とまだ十分ではないため、今後、本システムを現場へ導入し、運用を重ねる中で教師データを取得し、追加学習を行うことで検知率(再現率)の向上を図っていきたいと考えている。



図一 17 評価の分類定義 (混同行列)¹⁾

表一 1 検証結果

	AIが船舶を検知		AIが船舶を未検知	
実際に船舶がいる	TP	3055	FN	3785
実際には船舶がない	FP	579	TN	1297
適合率 = $TP / (FP + TP)$				84.1%
再現率 = $TP / (FN + TP)$				44.7%
F値 $2 \times \{ (適合率 \times 再現率) / (適合率 + 再現率) \}$				58.3%

4. おわりに

本システムは、従来の AIS やレーダーで船舶を検知するものとは異なり、カメラと AI という全く別の手法で船舶検知にアプローチした新しい取り組みである。今後、教師データを追加して検知率を向上させることで、より安全な航行に貢献できるシステムへと発展させていく。また、様々な現場での運用を通じ、検証を重ねていくことにより、港湾工事に特化した東亜独自のシステムとして機能拡張を行い、差別化を図っていきたいと考えている。なお、本技術に関する特許は登録済みであり、国土交通省が提供する新技術情報提供システム「NETIS」にも登録済みである（登録番号：KKK-210001-A）。

最後に、「AI-KEN」の導入においてご協力いただいた支店・現場関係者および富士通(株)、協力業者の皆様に末筆ながら謝意を表する次第である。

JCMA

《参考文献》

- 1) Aidemy 機械学習概論 <https://aidemy.net/courses/2010>

【筆者紹介】

那須野 陽平 (なすの ようへい)
東亜建設工業(株)
土木本部 機電部 研究開発・提案グループ
グループリーダー



全自動鋼製支保工建込みシステムの開発

五味 春香・水谷 和彦・春田 克樹

山岳トンネルの掘削作業は、岩盤が露出した切羽で行っているため、岩石等の落下による肌落ち災害が発生する恐れがある。特に切羽に立入る機会が多い鋼製支保工（以下、支保工）の建込み作業は、切羽直下で作業を行うため、重篤災害につながる危険性がある。そこで筆者らは、切羽直下に立入らずに支保工を建て込むことが可能である全自動鋼製支保工建込みシステム（以下、全自動建込みシステム）を開発した。本稿では、全自動建込みシステムの開発に至る流れや模擬トンネルを活用した動作試験の結果について報告する。

キーワード：山岳トンネル、鋼製支保工、鋼製支保工建込み、自動化、模擬トンネル

1. はじめに

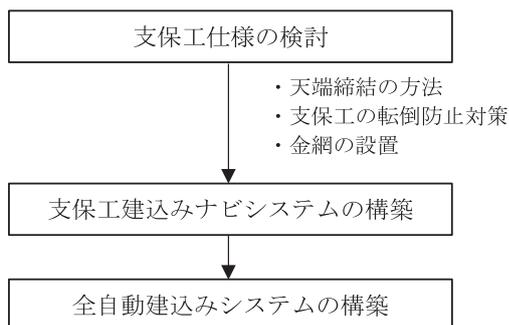
山岳トンネル工事において、掘削の最前線である切羽は岩盤が露出しており、岩石等の落下による肌落ち災害が発生する恐れがある。トンネルにおける労働災害の9割は切羽で発生しており、災害発生防止の施策として、厚生労働省から「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」が制定され、切羽監視員の配置や鏡吹付け等の肌落ち災害防止措置を講じている。同時に施工会社は、切羽へ立入る機会が多いとされる支保工の建込み作業等の遠隔化・機械化を積極的に進めることが求められている。また、昨今、日本では少子高齢化により人手不足が深刻化しており、それに伴い熟練技能者の不足が問題視されている。

従来の支保工の建込み作業は、切羽作業員が切羽直下に立入って、目視と定規により支保工の位置合わせを行う危険作業である。そこで筆者らは、支保工直下

に立入らずに建込みができるシステムの構築を試みた。図一1に全自動建込みシステムの開発に至る流れを示す。開発においては、切羽直下に作業員が立入ることなく建込み可能な支保工仕様の検討を行い、ナビゲーション画面を見ながら建込みを行う「支保工建込みナビシステム」の構築、続いて、オートメーションで支保工を建て込む技術と「支保工建込みナビシステム」を併用する「全自動建込みシステム」の構築を行った。

2. 支保工仕様の検討

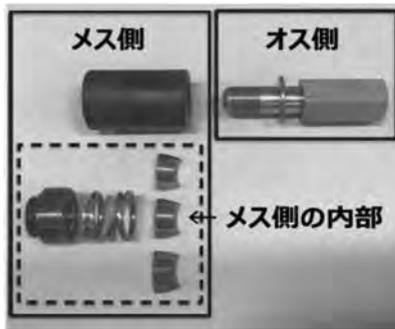
従来、支保工の建込みにあたっては、天端をボルトとナットで締結し、吹付けコンクリートのはく落防止などを目的とした金網の設置、続いて転倒防止を目的として支保工を連結するためのつなぎ材の設置を行う。これらの作業は全て人力による作業であり、切羽直下での作業がやむを得ず発生する。そこで、表一1



図一1 システム開発の流れ

表一1 支保工仕様の対比表

項目	従来の仕様	切羽無人化の仕様
天端締結	ボルトナットによる手締め	ワンタッチ式の継手による締結
支保工の転倒防止	つなぎ材もしくはタイロッドを使用した転倒防止	頭付きアンカーと吹付けコンクリートを一体化させることで転倒を防止
金網の設置	切羽直下に立入り、支保工背面に手作業で設置	支保工に金網を事前設置して建込み



図一 2 QJの構成部品

に示す支保工仕様に変更することで切羽直下作業の無人化を図った。

(1) 天端締結方法

支保工天端部の継手にはボルト・ナットが用いられており、切羽作業員がエレクタの高所作業用ケージに乗り込んで支保工天端まで近付き、切羽直下で手締めしている。

本開発では、オペレータが操作席から遠隔で締結可能であるクイックジョイント（以下、QJ）を継手部に採用することを検討した。QJの構成部品を図一2に示す。QJのメス側内部はテーパ状の中にはクサビ状のネジコマやバネが入っている。締結にあたっては、ネジ先を押し込む力を利用し、無回転でメス側のネジコマがボルトのネジを乗り越えるため、ネジ締めを必要としない。

(2) 転倒防止措置

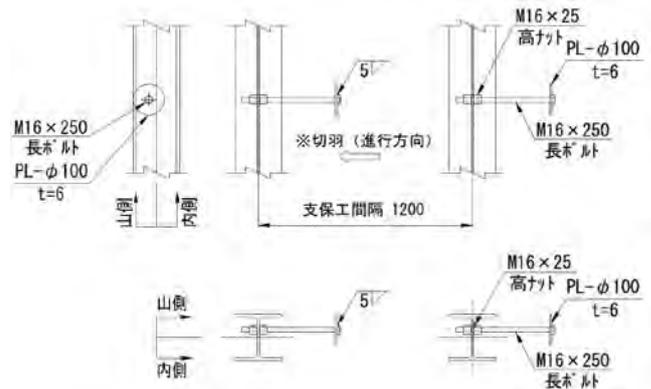
支保工の転倒防止対策には、吹付けコンクリートを施すまでの間、支保工を仮支えすることを目的としてつなぎ材が用いられている。つなぎ材の施工は、切羽作業員が切羽直下において、建て込む支保工と1基手前に建て込まれた支保工を連結する。

本開発では、頭付きアンカーを支保工に事前設置することでつなぎ材の設置作業を不要にする。頭付きアンカーの一例を図一3に示す。この頭付きアンカーを支保工に設置し、吹付けコンクリートと一体化させることで支保工の転倒防止を図る。頭付きアンカーの数量は、アンカーに作用する荷重や吹付けコンクリートの引抜き力により必要本数を算出する。

(3) 金網の設置

金網の取付けは、切羽作業員が切羽直下に立って、地山と支保工の間に手作業で設置している。

本開発では、支保工と金網のユニット化を図る方法を検討した。写真一1に支保工と金網のユニット化



図一 3 頭付きアンカーの一例



写真一 1 支保工と金網のユニット化した一例

した一例を示す。なお、金網は、高強度吹付けコンクリートや鋼繊維補強吹付けコンクリート（SFRC）等を用いる場合、省略できる^{1), 2)}。

3. 支保工建込みナビシステムの構築

(1) 概要

切羽への立入りを無人化できる支保工仕様の検討を踏まえて、支保工建込みナビシステム（以下、建込みナビ）を開発し、現場導入を行った。建込みナビは、自動追尾型トータルステーション（以下、TS）を用いたナビゲーションシステムとエレクタを連動させたシステムである。エレクタを切羽に設置して作業指令ボタンを押下すると、切羽後方に設置したTSがエレクタの位置を自動計測し、坑内Wi-Fi通信を介して建込みナビへ位置情報を送信する。その後、支保工の天端と足元に設置したミラーをTSで自動追尾することで、操作盤のナビゲーション画面に設計の建込み位置と実際の支保工位置との差分が表示される。

(2) 課題

現場適用を通じて、建込みナビの課題が露見された。以下の(a)～(c)に課題を示す。

(a) 支保工の鉛直度

支保工は鉛直に建て込むほうが安定が良いとされており、建込み作業にあたっては、切羽直下に立入って、目視や定規で鉛直度合いを確認していた。一方、建込みナビは、切羽への立入りを無人化することを目的としているため、ナビゲーション画面に表示された数値をもとに鉛直度合いを確認していた。しかしながら、ナビゲーション画面の数値をもとに支保工を鉛直に調整する操作が困難であった。そのため、一部の切羽作業員においては、従来通り切羽直下に立入って、目視等で位置合わせをする様子が見受けられた。

(b) 操作の習得

建込みナビは、ナビゲーション画面と実際の支保工位置を見比べながら操作を行う必要があった。また、オペレータは、ブームの小さなたわみ量や支保工の微小なゆがみやねじれを鑑みながら、操作レバーで微調整しながら建て込むため、オペレータが培ってきた操作技術や感覚を必要とした。そのため、通常の施工に建込みナビを適用してスムーズに作業を行うには、熟練のオペレータであっても操作習得に一定期間を要した。

(c) 支保工ミラーの回収

本開発では、支保工の天端と足元に設置したミラーを吹付けコンクリートを施工する前に回収する。建込みナビ運用時、ミラーの回収にあたっては、ミラーに釣り糸を括り付け、釣り竿や柄の長い網を用いていた。そのため、ミラーの回収には、切羽作業員の配置が必要であった。

4. 全自動建込みシステムの構築及び動作試験

(1) 全自動建込みシステムの構築

建込みナビの課題を踏まえて、筆者らは、全自動建込みシステムの構築に着手した。全自動建込みシステムの概念図を図-4に示す。全自動建込みシステムの構築にあたり、建込みナビの課題を受けて、改良した点を以下の(a)～(c)に示す。

(a) 高性能エレクタマシン

全自動建込みシステムの開発にあたっては、エフティーエス(株)製エレクター体型吹付け機「ヘラクレス」を全自動建込みシステム仕様様に改造した。開発に使用したエレクタには、ブームや機体にセンサを取り付けており、そのセンサを使用することで、ブームの伸縮や高さ、傾き等を詳細に把握できる。

(b) 全自動建込み用操作画面

全自動建込み用操作画面の例を図-5に示す。全



図-5 全自動建込みシステム画面の一例

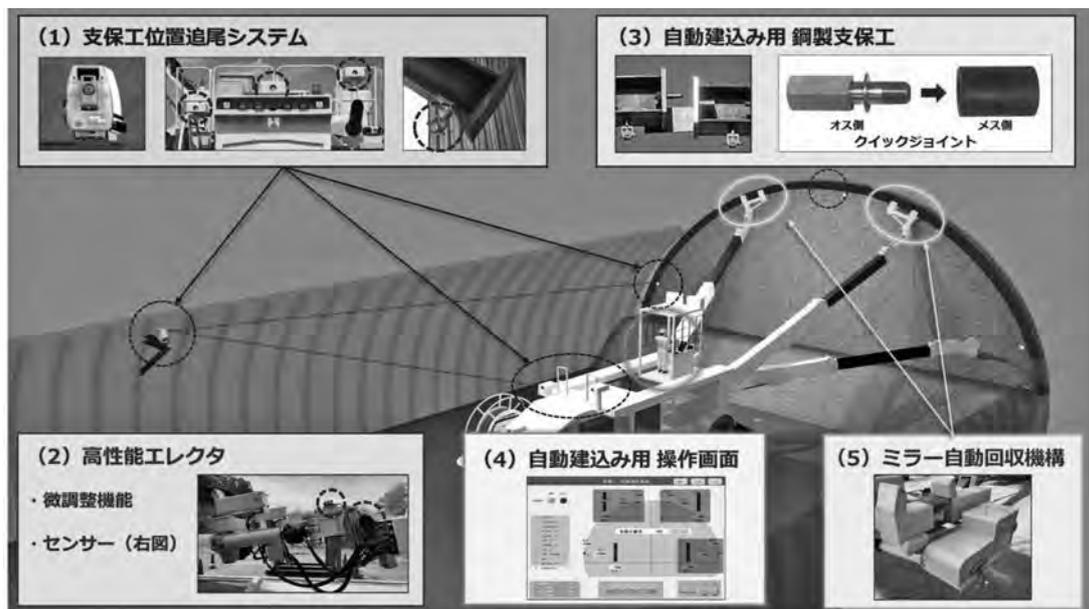


図-4 全自動建込みシステム 概念図

自動建込みシステムは、ボタンひとつで支保工を把持した状態から設計位置に建て込むまでの一連の動作を行う。そのため、オペレータの技量に依らず支保工の建込みを安全に施工できる。操作画面の特徴を以下の①～③に示す。

①全自動建込み開始ボタン

建込み開始ボタンを押下すると、自動建込みが開始され、終了するまでの作業を一貫して行う。

②動作ステップ表示

自動建込みの動作ステップを示す。動作が終了すると、青くハッチングされ、建込み状況を逐次把握できる。

③建込み状況の表示

支保工の建込み状況を可視化する役割があり、画面内の丸 A が実測位置、丸 B が設計位置を示し、実測と設計のずれを数値化する。「前後」の数値上部に配置されているインジゲータは、奥行方向のずれを可視化しており、傾き方向を示す三角印が 0 に位置すれば支保工の前後が設計と一致したことを示す。測定の状況は、ハッチングの有無で表現しており、図—5 においては、左支保工足元を追尾測量しながら支保工を設計位置に移動させている状況である。支保工の位置情報は、追尾測量結果をシステム内で逐次計算し、実測と設計との差をリアルタイムに画面表示する。

(c) ミラーの自動回収

全自動建込みシステムの運用においては、エレクタで支保工を把持した状態でウィンチからけん引ロープを引き出し、支保工の天端と足元にミラーを設置する。支保工建込み完了後、運転席のリモコンを操作して各ミラーを回収し、吹付けコンクリートの施工に移行する。ミラー回収機構の適用状況を図—6 に示す。



図—6 ミラー自動回収機構の適用状況

(2) 動作試験

本システムの開発にあたっては、茨城県取手市にある前田建設工業 ICI 総合センター内に設置した模擬トンネルで動作試験を実施した。模擬トンネル先端の移動部はスライド可動式で開閉でき、試験においては移動部を前方にスライドさせ、開口部は固定部と移動部にゴム糸を張ることでトンネル内空を模擬した。支保工やエレクタに取り付けたミラーを視準するための測量機器は、模擬トンネル坑口付近に設置し、試験中は随時、追尾測量を行った。試験状況を写真—2 に示す。

(a) 試験内容

模擬トンネルでの試験内容を以下に示す。

①断面より過大な動作の有無を確認

本システムによる動作時、トンネル壁面に支保工が接触する状況や切羽の余掘り量を実際より大きく確保する必要があるような過大な動作をしていないか、設置したゴム糸への接触有無と TS による支保工位置座標の取得により確認した。

②支保工建込み手順の確認

全自動による建込みの手順を確立するため、動作手順を検討および確認した。本システムは、支保工の真ん中を各ブームで把持した状態で切羽前にエレクタを据え付けた後、建込み動作を開始する。基本の動作は、左右支保工を大まかな位置まで移動後、右支保工位置をミラー座標から算出して設計位置に移動。続いて、左支保工を移動させ、左右支保工を締結する。検討した動作手順を①～②に示す。

- ・動作手順①：右支保工を設計位置に建込み後、左支保工も設計位置に建て込む方法
- ・動作手順②：右支保工を設計位置に建込み後、左支保工を右支保工の位置に合わせて建て込む方法



写真—2 模擬トンネル内での試験状況

(b) 成果

試験に対する結果とその対応策を以下に示す。

①断面より過大な動作の有無を確認

模擬トンネル内で動作を検証した結果、右支保工は開口部に張ったゴム糸への接触はなく、動作状況は良好だった。しかし、支保工締結時に約 10 cm の QJ のボルト長以上の離隔をとるために、左支保工がトンネル断面よりも 20～30 cm 程度大きく動作した。過大な動作をする場合、余掘り量を大きく設定する必要があり、現場にとって不利益につながると考え、右支保工のプレートから 10～15 cm の離隔で締結できるようにプログラムを再構築した。

②支保工建込み手順の確認

動作手順①を検証した結果、左右支保工それぞれの測量精度が悪い場合、QJ による締結が難しいことがわかった。動作手順②の検証では、右支保工の位置に合わせて左支保工を建て込むため、動作手順①に比べて、QJ による締結は容易であった。しかし、動作手順②は、右支保工の建込み精度が悪い場合、左支保工も併せて建込み精度が悪くなることが予想された。そこで、左右支保工の締結後、左ブームを動かして左支保工の足元を設計位置に移動させることで、左支保工の建込み精度を向上させた。

(3) 試験から得られた課題と解決策

動作手順②に基づいてシステムを構築したが、動作を繰り返すうちに精度が悪くなる現象が見受けられた。そのため、制御パソコンで把持位置や角度を再設定するなどの煩雑な作業が必要であった。

そこで解決策として、支保工の天端と足元に設置したミラーの測量結果から支保工の建込み角度を算出し、設計の建込み角度になるように支保工を周方向に回転させるプログラムを構築した。その結果、制御パソコンによる調整が必要なくなり、支保工の建込み精度も向上した。

5. 今後の課題

本システムの実現場での導入状況を写真—3に示す。現場では、発破掘削において支保工建込みに必要



写真—3 現場での導入状況

な余掘り量を高い精度で確保することが困難である。そのため、必要な余掘り量が確保できない場合はエレクタのブームが地山と干渉しそうになる場面があった。

今後は、建込み前に余掘り量を管理することで地山とリスクを無くす方策を図り、現場施工での標準化を目指す。

JICMA

《参考文献》

- 1) 東日本・中日本・西日本高速道路㈱, 設計要領第三集トンネル【建設編 令和2年7月】, p.4-61, 2020.7
- 2) 土木学会, トンネル標準示方書 [山岳工法編]・同解説, p.76, 2016

【筆者紹介】



五味 春香 (ごみ はるか)
前田建設工業㈱
土木事業本部 土木技術部 施工 DX 推進グループ
主任



水谷 和彦 (みずたに かずひこ)
前田建設工業㈱
土木事業本部 土木技術部 施工自動化グループ
グループ長



春田 克樹 (はるた かつき)
前田建設工業㈱
土木事業本部 土木技術部 施工自動化グループ
主任

山岳トンネル用の自動ズリ積み機の改良

トンネルズリ出し作業の安全性向上による労働災害の防止

石井 翔太・浅沼 廉樹・松尾 陽介

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

キーワード：省人化，サイクルアップ，早期開放，安全対策，建設機械，崩壊，予防安全

1. はじめに

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

これに対してトンネルのズリ出し作業は、掘削直後のトンネル素掘り面での作業となることや運搬設備である重ダンプの台数、坑内外での運行サイクル等の制約条件から技術開発が遅れていた。

この対策として、長距離トンネルのズリ運搬方式では、重ダンプによるタイヤ方式から連続ベルトコンベア方式に変更する等の対策が取られ、ズリ出しの効率化を図られていたが、これらの方式でも依然として次工程である支保工作業までのサイクル時間が長くかかり、積み込み機械（ホイールローダやバックホウ）オペレータの切羽での長時間拘束や掘削ズリ運搬待ちによるサイクルロスが発生していた。

2. AI ロックローダの開発

AI ロックローダ（以下、本機）は、鉱山用ロックローダ（(株)三井三池製作所製）を山岳トンネル向けに再設計した機体であり、機体の各軸やジャッキにはセンサを装備することで作業時の重機挙動を取得できるICT建機となっている。

また、本機にセンシング機器（LiDAR, 画像センサ, 各種センサ等）を搭載することで自動運転を可能とし、併せてAI機能を搭載することにより、ズリの掻き寄せから積み込みまでの一連の作業がオペレータ不要で、ズリ出し作業における省力化・効率化の向上を目的としている。

また、ズリ出しの効率化により次工程の支保工作業に早期に移れるため、従来に比べ早期に地山の安定化を図れ、安全性の向上につながった。

(1) システム概要

本機は、機体前方に仮置きしたズリを掻き寄せるためのバケットが付いた「掘削ブーム」と掻き寄せたズリを重ダンプや連続ベルトコンベア等に積み込むための「排土バルコン」で構成される。本体仕様と全景を表-1、図-2に示す。

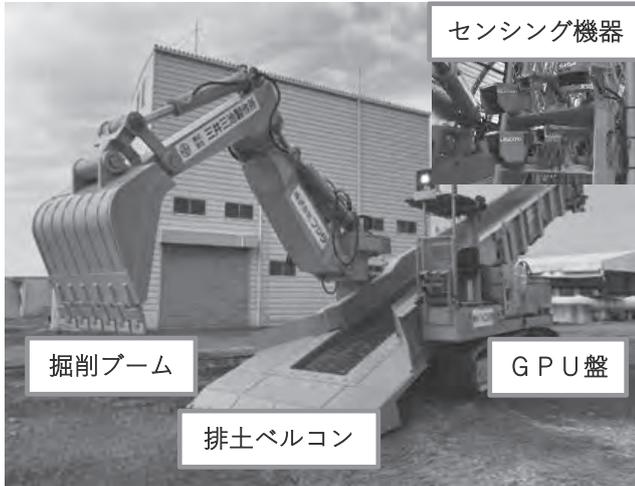
また、機体各軸や油圧ジャッキにセンサを装備することで作業時の重機動作情報を取得可能とし、機械運転席前方に配置した、ズリ計測を行う「センシング機器（LiDAR：三次元点群センサや超音波センサ、画

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

図-1 トンネル施工サイクル

表一 本機仕様

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



図一 本機全景

像センサ」から検出したセンサデータを用いることで、マシンコントロール可能なICT建機となっている。このセンサデータを機体後部に配置したGPU盤(AI自動運転盤)にて解析・判断することで、AIによる自動運転も可能としている。

また、手動運転にも対応しており、緊急時や本機配置場所までの移動など、通常操作を行うことも可能となっている。

(2) 自動運転概要

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

・自動運転レベル0 (L0)

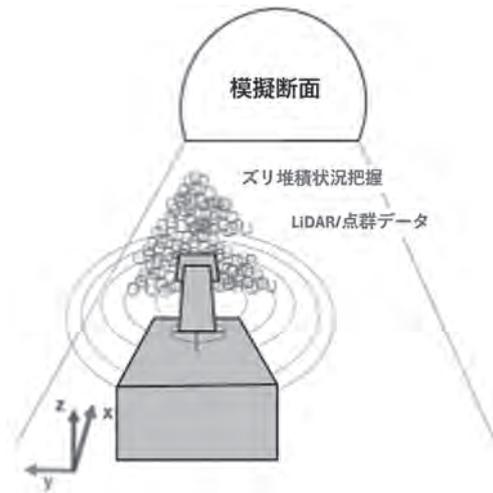
バケットの動作を固定し、自動的に繰り返すことでズリ積みを行う。

・自動運転レベル1 (L1)

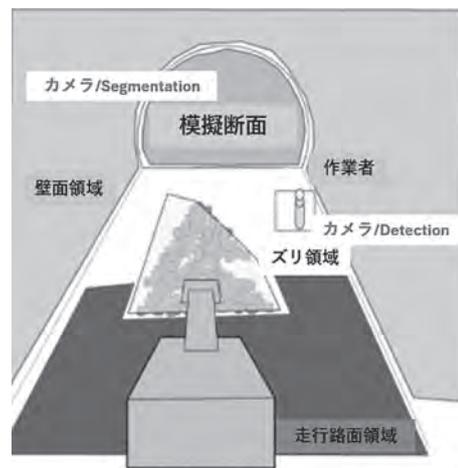
三次元点群計測センサ (LiDAR) から得られる点群データを基にバケットの移動先 (ズリ位置) を動的に判断し、自動積みを行う (図一3 参照)。

・自動運転レベル2 (L2)

本体に取り付けたカメラ映像から画像認識機能により、ズリやトンネル壁面・重機・現場作業員などの対象物を認識し、これらの計測データをGPU盤に集約してAIによりズリの認識を行い、的確な動作パターンを解析・実行することで切羽ズリの効率的な積み作業を行う (図一4, 5 参照)。



図一 3 自動運転レベル1 (L1)



図一 4 自動運転レベル2 (L2)



図一 5 AI解析画面

3. 運用に向けて

(1) 自動運転 (AI) 教師データ取得

AIによる自動運転を行うためには、多くの写真データ (教師データ) の取得が必要のため、あらかじめ施工中の山岳トンネル2現場にて、カメラからトンネル坑内画像やズリ画像を約1,700枚取得した。その後、学習データにのみ過剰に反応し、未知のデータに対応できない“過学習”に注意しながら学習を行った。AIでの学習後の動作結果を以下に示す。

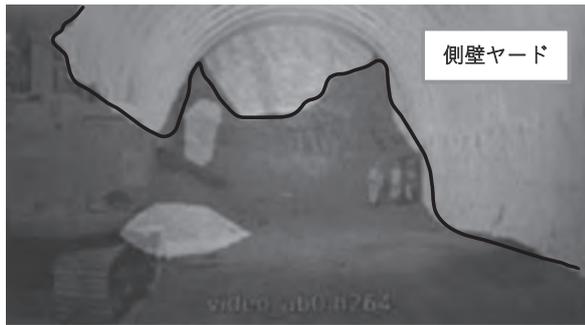


図-6 データ取得後の認識結果①



図-7 データ取得後の認識結果②

- ・ 図-6では、切羽面を側壁と一部誤認識していたが、その他は正確に検知していることが確認された。
- ・ 図-7では、重機と作業員を誤認識なく検知していることが分かった。

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

(2) 模擬トンネルでの検証

本機開発にあたり、(株)三井三池製作所大牟田工場内に模擬トンネルを構築し、本機の動作確認や各自動運転の検証および改良を実施した。模擬トンネルは、高さ6m、幅12m、内空断面積約55m²の大きさであり、山岳トンネルを想定して遮光カーテンを用いて坑内照度の調整を行った。

各自動運転における効率比較を表-2に示す。効率の比較については、本機を手動で操作した際、ダンプ1台分へ所要時間を100%とした。

また、自動運転では、ズリ掻き込み動作の優先度を本機から遠距離としていたが、ズリをうまく掻けな

表-2 作業効率比較 (模擬トンネル)

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

かったことから、近距離動作優先に変更した。

検証の結果を以下に示す。

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

(3) トンネル坑内での現場実証

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

運用方法としては、発破後のズリを切羽後方に配置した本機前方仮置き場に投入し、AIによる運搬機械(重ダンプ)への自動ズリ積込みを行う。作業の流れとしては、トンネル発破後に、下記サイクルでズリ出し作業を行った。

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

これらのサイクルを繰り返すことで現場実証を行った。

4. トンネル運用状況と結果

(1) 運用状況

トンネル運用の事前準備として、AIの事前教師データの作成や模擬トンネルでの検証を導入前に行ったことで、実トンネルでの導入準備期間の短縮が可能となった(写真-1参照)。

自動運転は正常なことを確認したが、運用を続けて行く中で様々なトラブルが発生したため、以下の改良改善を行った。

- ・ AIによるズリ認識について、ズリ性状(色味や湿潤等)が変化した場合AI認識不良発生。
⇒切羽ズリの再教師データも追加し対応。
- ・ 掻き込み時にブームがスタックしズリ出し停止。
⇒バケット動作モニタプログラム(キャンセル動作)

を追加。

- ・ダンプ誘導位置とズリ積込み状況がわからず重ダンプ入替えにサイクルロス発生。
⇒排土バルコン下部にライトとセンサを設置し、重ダンプの運転手に明示 (図-8, 写真-2 参照)。
- ⇒センサにより積込み量を運転手に警告 (図-9, 写真-3, 4 参照)。

(2) 運用結果

実際施工サイクルの中、ズリを切羽後方に仮置きすることで切羽の早期開放を可能とした。これにより、エレクター吹付け機を切羽へ早期に移動することができるようになり、ズリ搬出作業と支保工作業を同時作業可能となった。切羽の早期開放時の運用状況を写真

-5 に示す。

- この現場運用結果として、
- ・AIによるズリ積込み作業において 60 m³/h の作業能力を確認。

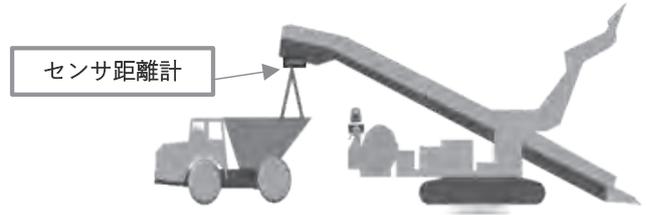


図-9 センサによる積込み量検知図



写真-1 坑内運用状況



写真-3 センサによる積込み量検知状況

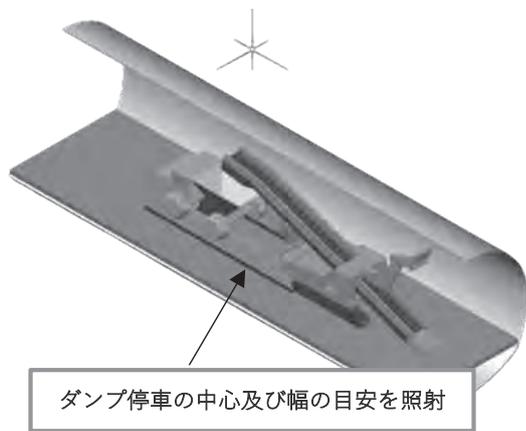


図-8 ダンプ誘导图



写真-4 センサによる積込み量警告状況



写真-2 誘導用直線ライト



写真-5 切羽の早期開放 (支保工作業)

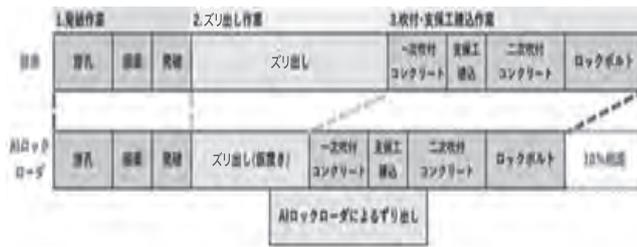


図-10 サイクル当たりの作業時間比較

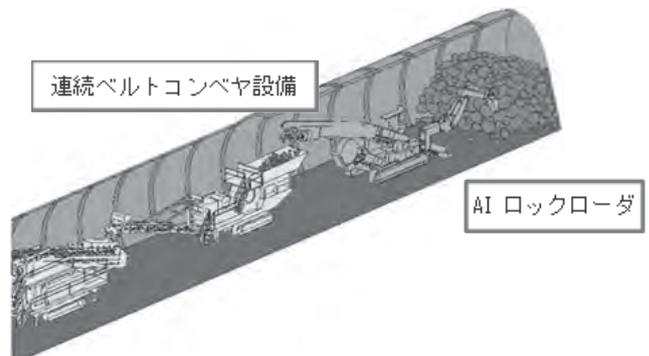


図-11 連続ベルトコンベヤ運搬方式

- ・ズリ出し時の切羽早期開放による次工程への移行が可能となった。
⇒(10%のサイクルアップ達成)(図-10 参照)
 - ・積み込み作業のオペレータが次作業の支保工作業に従事することで生産性向上。
⇒約20%の省人化(班編成:5人→4人に変更)
 - ・誘導用直線ライトにより停車位置の標準化。
⇒誘導者の省人化, 誘導者とダンプの接触防止
 - ・積み込み量の検知・警報によりダンプの前進タイミングの把握。
⇒誘導者の省人化, 誘導者とダンプの接触防止
- 以上のことが可能となった。

5. おわりに

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

以下に、本機の特徴と今後の展開を述べる。

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

①生産性向上

ズリを後方に仮置きすることで切羽作業エリアの早期開放が可能。

②省力・省人化

AI 自動運転によるズリの掻き込み・積み込みが可能。

③安全性向上

支保工作業への早期移行が可能となり地山の安定性確保が可能。

今後の展開として、今回の実証運用・検証では、回数を重ねるにつれて各自動運転レベルの作業効率は上昇した。今後も写真データの収集を継続し、AIによる追加学習を行い。ダンプ運搬方式の安全性向上や生産性向上など、自動運転の発展に努めていく。また、今回とはズリ運搬方法が異なる連続ベルトコンベヤ運搬への導入も進めていく所存である(図-11 参照)。

JCMA

《参考文献》

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

【筆者紹介】



石井 翔太 (いしい しょうた)
 (株)フジタ
 土木本部 土木エンジニアリングセンター機械部



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



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

環境配慮型閉鎖解体工法テコレップ Light システム 都心過密地域にある SRC 建物への適用

市原 英樹

1960年代前後に建てられた建物の解体は、最近の都市再生に伴う再開発プロジェクトによって数多く実施されている。この数年でも100mを超える超高層建物から、鉄道と隣接する大型施設の解体まで、解体工事が各地で行われている。このような建物の大きさや立地条件から、解体工事に対する環境性能のニーズが近年高まっており、特に近隣環境への配慮が最も重要であり、解体工事における安全性、騒音・振動・飛来落下物・粉塵飛散の抑制が求められている。

本稿では、閉鎖型解体工法の開発経緯と実施適用の変遷を述べ、最新技術として「テコレップ Light システム」の特徴と最新適用例について紹介する。

キーワード：解体工法，閉鎖型，環境配慮，テコレップ

1. はじめに

近年都心部の再開発プロジェクトに伴い、超高層建物が密集している地域や鉄道などと隣接する地域で、環境配慮が非常に重要な解体工事が建築物の高さ、規模を問わず数多く計画・実施されている。特に建物が密集した地域での解体工事は、工事の安全性と効率化、第三者への影響などを考慮した施工計画の立案が重要である。近隣周辺への安全性は最も重要であり、飛来落下および粉塵飛散の防止、工事騒音の抑制、解体工事中の地震・台風などに万全な対策が必要である。



写真—1 旧大手町フィナンシャルセンター

2. 環境配慮した閉鎖解体工法の開発経緯

閉鎖型解体工法の技術は、2009年より開発に着手を開始し、当初は100m以上の超高層建物の解体工法として確立した。この技術を「テコレップシステム」と称し、2011年に旧大手町フィナンシャルセンター(写真—1)、2012～2013年に旧グランドプリンスホテル赤坂(写真—2)にて実施した。この時の機構は、最上階の本設梁鉄骨を屋根のフレームとして採用し、外周の屋根鉄骨から吊下げ足場をフロア3層分で構築し、屋根と吊下げ足場で構築された仮設閉鎖空間を油圧ジャッキ付き仮設鉄骨柱で支持し、1フロア解体する毎に階高分ジャッキにより降下させ、地上まで閉鎖のまま解体工事を完了した。この2物件の実施により鉄骨造(以下、S造と記す)の超高層建物を解体する



写真—2 旧グランドプリンスホテル赤坂

技術を確立した。

しかし、閉鎖型解体工法の適用案件としては、鉄筋コンクリート造(以下、RC造と記す)の超高層マンションや狭隘部に建てられた鉄骨鉄筋コンクリート造(以下、SRC造と記す)中高層建物の解体工事も多数存在する。これらの建物を閉鎖型で解体するためには、軽量かつ閉鎖空間を容易に構築できる新たなシステムの開発が必要であった。そこで、テコレップシステムで使用していた仮設鉄骨柱から、既存柱で閉鎖空間重量を支持する機構へと解体システムの改良を実施した。既存柱には新規開発した油圧ジャッキシステムを閉鎖屋根フレームと一体で構築する構造とすることで施工効率を向上させた。この解体工法を「テコレップ Light システム」(以下、本システムと記す)と称し、2019年～2020年において旧国際赤坂ビルにて初適用し(写真-3)、2023年に旧小田急百貨店新宿本館の3棟解体にも実施適用している。

3. 本システムの特徴

本システムは、軽量屋根フレームとジャッキシステムを一体化することにより、従来のテコレップシステムより短期間で閉鎖空間を構築できるうえ、屋根重量を約1/3ほどに減らすことを可能とした(図-1、写真-4)。これにより閉鎖空間の設置期間を短縮すると共に、既存柱(以下、軸力柱と記す)に掛かる軸力を低減したことで、ジャッキシステム配置の自由度の向上、ジャッキの小型化により仮設費用の低減及び解体工程の短縮を実現している。更に屋根フレームに吊構造を採用することで、軸力柱を建物中心部に集中させ外周部の既存柱では水平力のみを支持する型式とすることも可能とした。

また新ジャッキシステムでは、軸力柱を挟んだ2台のジャッキで軸力を支持する型式としているが、各

ジャッキシステムが負担する軸力の軽重により、ジャッキ1台で軸力を負担できる機構も併せて開発し、使用ジャッキ台数を削減している。既存柱を利用したジャッキシステム機構は、S造、RC造およびSRC造の構造形式を考慮して開発し、様々な太さや形状の既存柱に合わせて設置できるように工夫した(図-2)。閉鎖屋根は、閉鎖養生としての機能だけではなく、作業床、仮設資材の仮置き場所、ジャッキダウン時の制御室、休憩室などの設置場所としての機能も有している。ジャッキダウン後は、屋根上で軸力柱等の切断を行い、閉鎖空間内部では床、梁、外壁を階上解体またはブロック解体を行うことで上下同時に解

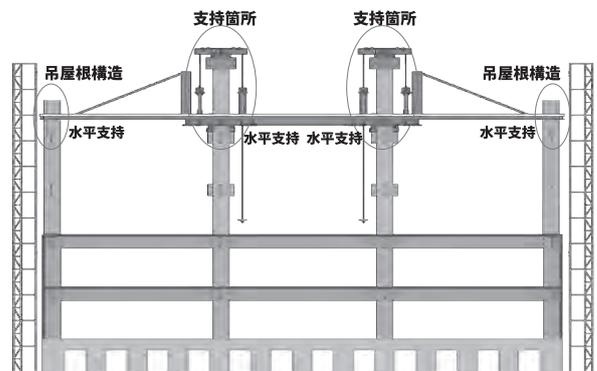


図-1 本システムの閉鎖屋根概念図



写真-4 軽量屋根フレーム



写真-3 旧国際赤坂ビル
本システムで解体した超高層建物



図-2 ジャッキシステム概念図

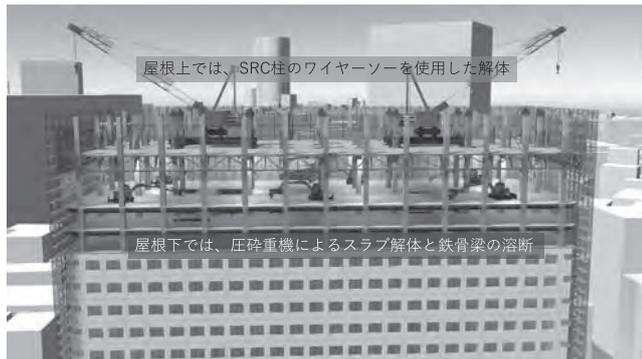


図-3 本システムの閉鎖屋根を利用した解体計画

体工事を進捗させるメリットがある（図-3）。

4. 旧小田急百貨店新宿本館解体工事の概要

旧小田急百貨店新宿本館は、小田急線新宿駅地下一部ホームの上に構築され、JR 新宿駅中央総武線（東側）及び、京王百貨店（南西側）の一部に隣接する立地条件であった。特に新宿駅は1日数百万人の利用客があり、西側は1日数万人が往来する歩道および車両用ロータリーが地上・地下部に隣接しており、第三者及び近隣諸施設への影響を最小限に抑える解体工事施工計画の立案が最重要課題であった。解体工事の工事期間は2022年10月～2024年3月までの18カ月で実施した。旧小田急百貨店新宿本館は3棟で形成されており（写真-5、図-4参照）、図-4左から新宿地下鉄ビルディング（以下、Cビル）8階建て解体面積20,500 m²（解体範囲1～8階、約2,700 m²/階）、新宿駅西口本屋ビル（以下、Aビル）14階建て解体面積45,600 m²（解体範囲1～14階、約3,700 m²/階）、新宿駅西口本屋ビル（以下、A'ビル）8階建て解体面積10,700 m²（解体範囲2～8階、約1,700 m²/階）で構造形式は全てSRC造であった。解体工事の進め方は、CビルよりAビル、A'ビルという順序で内装などの先行解体工事を実施し、その後躯体解体工事に着手し、AビルとA'ビルが同じ高さになった時点からは両ビルの解体工事を同時に実施した。旧小田急百貨店新宿本館解体工事は、上記の立地条件から近隣環境への配慮を最優先に考え、閉鎖型解体工法の本システムを適用して解体工事を実施した。

5. 旧小田急百貨店新宿本館解体工事における本システム（図-5）

解体工事は建物側面全面枠組み足場と防音パネルで



写真-5 旧小田急百貨店新宿本館の外観

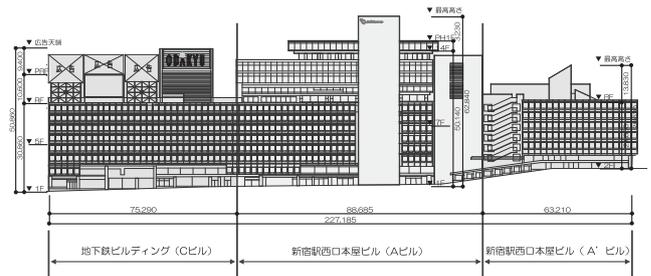


図-4 解体工事概要

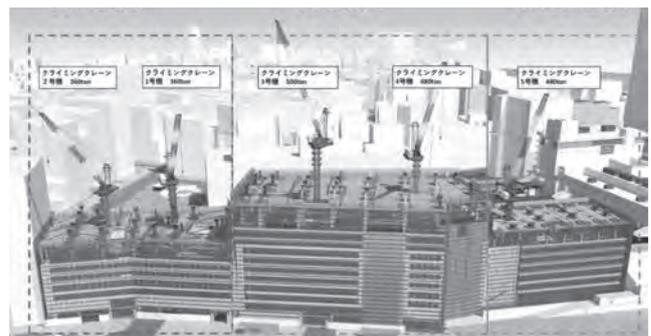


図-5 旧小田急百貨店新宿本館の解体工事にて適用した本システム

覆い、解体材の荷下ろし用にクライミングクレーンを各ビルの建物内部に設置し、建物上部には本システムの閉鎖屋根を設置した。クレーンは、Cビルに2機、Aビルに2機、A'ビルに1機とし、主に各ビルのSRC造柱、鉄骨および鉄筋など金属解体物の下階への荷下ろしに使用し、ジャッキダウン前後の準備作業にも使用した。閉鎖屋根は各ビルの建築面積全体を覆い、各ビルの閉鎖屋根の仕様は、Cビル屋根面積：約2,700 m²、508 ton、18柱にジャッキシステム（軸力柱）を設置、Aビル屋根面積：約3,700 m²、735 ton、16柱に軸力柱を設置、A'ビル屋根面積約1,700 m²、325 ton、12柱に軸力柱を設置した。閉鎖屋根を設置した外観状況および内観状況を写真-6に示す。

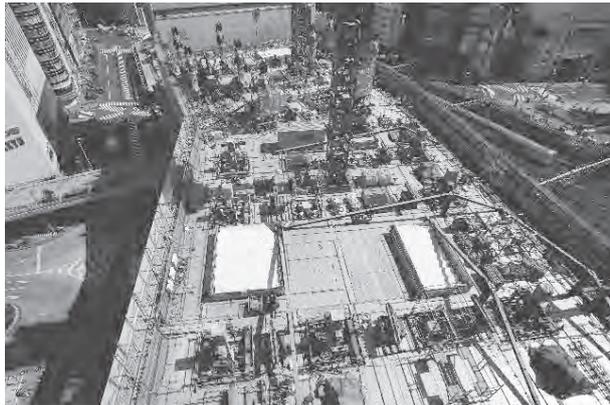
解体工事は、閉鎖屋根内部は重機を使用した階上解体を基本として、床、梁、外壁の解体を進め、閉鎖屋根上部では内部解体工事と同時併行作業で、ジャッキダウン後に屋根上に突き出した軸力柱及び水平力支持

柱の撤去・解体をワイヤーソー切断工法にて進めた。各ビル床面積がことなるため解体期間に差はあるものの、閉鎖屋根上部と内部で作業を分けしたことで、1フロアの解体期間は8~10日間程度で実施可能とした。

6. 閉鎖屋根を自動降下する機構

各フロアの解体後は、次フロアの解体工事着手前に

閉鎖屋根を1フロア分ジャッキダウン（約3,700mm降下）する。ジャッキダウン前と後の内部の状況写真を写真7、8に示す。ジャッキダウンの降下時間は約3,700mmを2時間30分から3時間30分で完了した。写真で示す通り、閉鎖空間の内空は、約7,400mmから3,700mmまで縮むことから、解体用の重機はジャッキダウン前にあらかじめ床に重機開口を設け下階に移動させ、次フロア解体時の作業空間を確保した。



Cビルの閉鎖屋根外観状況



Cビルの閉鎖屋根内観状況

写真—6 旧小田急百貨店新宿本館の外観



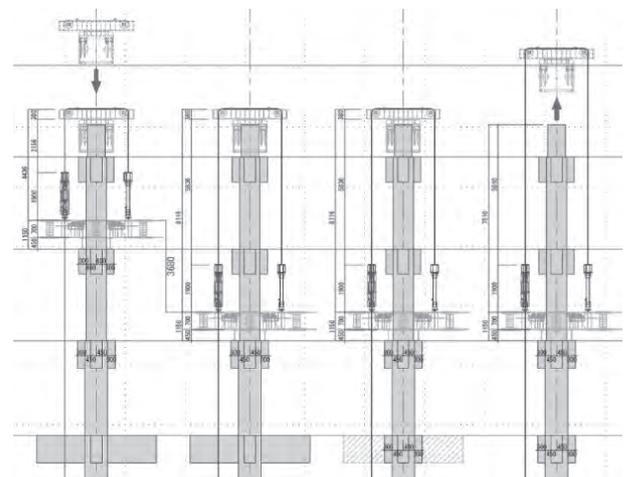
写真—7 ジャッキダウン前の内部状況



写真—9 ジャッキシステム



写真—8 ジャッキダウン後の内部状況



図—6 ジャッキダウン手順図



西側からの外観状況



東側からの外観状況

写真—10 本格的に躯体解体工事が開始された工事状況（2023年6月）



西側からの外観状況



東側からの外観状況

写真—11 解体完了2か月前の躯体解体工事状況（2024年1月）

ジャッキダウン用のジャッキシステムは、写真—9に示すようにストランドワイヤーを吊材（芯材）に使用するセンターホールジャッキを使用した。ジャッキダウン開始前は、既存柱と接合している梁（既存梁）を300 mm程度残し、その部分にて閉鎖屋根の軸力荷重を支持している。ジャッキダウンの一連の手順を図—6に示す。ジャッキダウンはT型部材を軸力柱頂部に設置し、ストランドワイヤーを介して既存梁部から軸力柱頂部に吊下げ方式で閉鎖屋根荷重を一旦移行する。その後、ジャッキの作動により、1ストローク約90 mmの伸縮を40～42回程度繰り返すことで3,700 mm（基準階高さ）の距離を降下させる。その後1フロア下部の上階と同一長さに切り残した既存梁に閉鎖屋根荷重を移行しジャッキダウンを完了する。

7. おわりに

環境に配慮した閉鎖型解体工法「テコレップシステム」は「テコレップ Light システム」として進化し、建物構造形式がSRC造においても閉鎖型解体を実現

可能に至った。今回解体工事を実施した旧小田急百貨店新宿本館は、決して超高層建物ではないが、建物の特異的な立地条件であることから、閉鎖型解体工法「テコレップ Light システム」の採用が最適であったと考える。都心過密エリアにおける周辺環境への安全性の確保、狭隘地での解体材の飛散防止、騒音・粉塵飛散抑制等の解体手法の確実性など、一般的な解体工事では実現が困難な高度な安全性を発揮した（写真—10、11参照）。今後の解体工事はますます高度な技術が必要とするケースが増えると考えられ、閉鎖型解体工法も更に環境性能を向上させ、次のステージの技術として進化を求められていくものと考えている。

JICMA

【筆者紹介】

市原 英樹（いちばら ひでき）
大成建設株式会社
建築本部 生産技術イノベーション部
開発機械化推進室
室長



「自動運転ローラ」の現場活用

開発から現場適用時の安全対策に関して

伊藤 圭 祐・中渡瀬 圭 吾・松本 俊 彦

建設業では、定年退職による熟練労働者不足や少子化による若手就業者の減少が喫緊の課題となっている。今後の労働者不足への対応の一つとして、舗装用建設機械の自動運転技術の開発を行った。本開発では、熟練オペレータに代わる舗装用振動ローラの現場導入を目指し、7トン級舗装用振動ローラに電気制御化の改造を加え、GNSS アンテナ及びジャイロセンサなどの位置・姿勢計測装置や制御用 PC、安全対策用のセンサなどを搭載して自動走行可能なローラを開発し、大規模な駐車場舗装工事現場に試験導入した。本稿では自動運転ローラの概要、試験導入時の安全管理及び試験導入結果について報告する。

キーワード：舗装工事，自動化施工，ローラ，安全装置，安全対策，品質確保

1. はじめに

建設業では1997年をピークに建設業就業者の減少傾向が続いている。また、高齢化も進んでおり、55歳以上が就業者数の約36%を占めているため、10年後の大量離職が見込まれる。しかし、それを補うべき若手入職者の数は不十分であり、29歳以下の就業者数は約12%となっている¹⁾。このような背景の中、技能者の確保と技術の伝承が喫緊の課題となっている。これらの課題を解決するための一つの手段として、自動運転ローラの開発に取り組んだ。

本ローラは、位置・姿勢計測制御装置や制御 PC を搭載することで、自動運転を可能としている。また、前後方向に衝突防止用センサや側方に障害物検知センサなどを搭載することで、熟練オペレータと同様の施工品質を確保しつつ安全に作業ができるものを目指した。本ローラの機能を確認するために大規模な駐車場舗装工事現場へ試験導入したので本稿にて報告する。特に、現場では他の作業も並行して行われていたため、安全対応策が求められていた。そこで本現場で取り組んだ安全管理、対策についても併せて紹介する。

2. 対象機種と開発目標

本開発では、路盤工事からアスファルト舗装工事まで幅広く使用されている振動タンデムローラを対象とした。

自動運転ローラは設計経路に従って自動的に走行す

るものとし、周囲に走行目標物がない場合や曲線部においても転圧が可能となり、往復距離やラップ幅など現場状況や工種ごとの特徴に応じた適正なパターンでの転圧にも対応することを目標とした。

作業内容に応じて「振動の ON/OFF」を遠隔、自動と任意で変更できるものとし、振動の有無に関わらず操舵精度の安定化 (± 10 cm) を目指した。また、アスファルト舗装工事での適用も考慮し、平坦性確保のための急激なステアリング操作の抑制、急発進や急停止に起因するアスファルト混合物の押し出しや引きずりをなくすために加減速を考慮した速度制御機能と未転圧エリアを最小にするための構造物際の転圧作業が出来る機能を備えることも目標とした。

3. 車体改造

ベース車両には酒井重工業製振動タンデムローラ SW654 (以下、本ローラという) (写真一1) を採用した。



写真一1 振動タンデムローラ

実際の現場を想定し、操作者は作業前点検を実施した後は、遠隔もしくは自動にてエンジンの始動から施工（自動走行）、エンジン停止までを車体に近づくことなく行えるように車体の油圧、電気回路に改造を施した。

(1) 前後進制御

標準仕様の本ローラの走行は、運転席に備え付けられている前後進レバーを前後に倒すことによって前後進を行う。この構造を活かしたまま前後進の自動制御を行う方法として、前後進レバーに電動シリンダなどのアクチュエータを取り付け、それを電気制御することによって遠隔での前後進制御を行う方式も挙げられるが、この場合、発進時や停止時のトルクを必要とする微細な速度調整が難しく、路面を傷めない速度調整への対応が困難となる。また、電動シリンダなどの防水対策、耐久性も考慮しなければならない。そのため、本開発では走行ポンプを電子制御式のものに交換した。電子制御式ポンプに交換後も自動走行だけでなく、従来の有人運転に対応させるため、前後進レバーにポテンショメータを取り付け、レバーの動き量を電氣的に検知することによりマニュアル操作に対応できる構造としてある。

(2) ステアリング制御

本ローラは油圧式ステアリング機構が採用されているため、ステアリングホイールにサーボモータを組み合わせる方法も検討したが、サーボモータの防水対策と耐久性を考慮し、本開発では電磁弁、及び電磁比例弁を組み合わせることで自動化に対応する油圧回路を増設した。当該油圧回路を元の油圧回路と並列に接続し、自動運転回路とマニュアル操作回路を任意に切り替えることで、従来操作も可能とした。

(3) その他の改造項目

遠隔、もしくは自動で「エンジン始動／停止」や「エンジンスロットルの High/Low 切替」、「振動や散水の ON/OFF」などを行えるよう改造を施した。これにより、操作者が作業前点検を実施したあとは不用意に車体に近づくことがなくなり、安全性と作業性が確保できた。

4. 自動化システム

車体改造を実施した本ローラに GNSS アンテナ及びジャイロセンサなどの位置姿勢計測装置や自動化シ

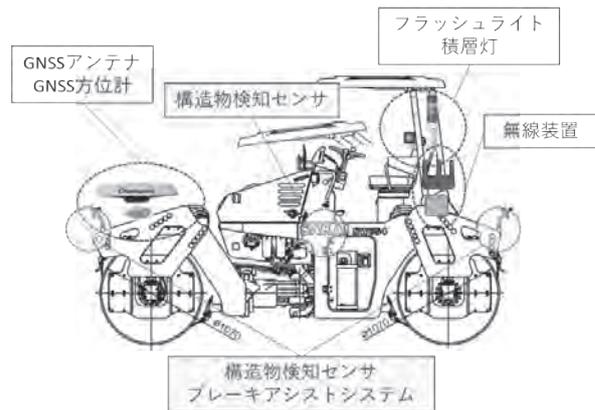


図-1 自動化機材を設置した振動タンデムローラ

ステムを内蔵した制御用 PCなどを搭載して、自動運転を可能とした（図-1）。なお、今回使用した自動化システムは、ダム現場をはじめとする複数の現場にも導入しており、本開発の試験導入以前にも建設現場にて高い実績を挙げているものを活用した²⁾。

本ローラは走行調整を繰り返すことにより、舗装作業に必要な直線・曲線走行を事前に設定した経路に対して±10 cm以下の精度で実施できることを確認した。また、構造物の敷設された現場を想定し、位置姿勢計測とは別に、既設構造物などとローラの接近をカメラセンサやレーザレンジファインダ（以下、LRF）により計測し、自律的に回避、停止し接触による構造物の破損を防止しつつ作業を継続する機能を実装した。

5. 安全装置

適用する現場では他の作業が並行して行われることから、自動ブレーキシステムをはじめとする以下に示す安全装置を本ローラに搭載した。

(1) 自動ブレーキシステム

自動ブレーキシステムは、自動走行時のみならず有人運転時にも使用できるシステムとなっている。ローラ本体の前後にステレオカメラを設け、事前設定したエリア内で対象物を検知すると、対象物の種類、距離と車体速度に応じて、走行ポンプの HST 制御によるブレーキとネガティブブレーキの組合せにより制動するシステムである（図-2 左上）。これによりローラ本体や運転員にブレーキショックなどの負荷をかけず、また路面にブレーキ痕も残すことなくローラを確実に停止させるシステムである。

(2) 遠隔リモコン

現場では他の作業も同時に行っていたため、自動運



図一 2 安全装置一覧

転ローラを制御，監視する操作者と，周囲の安全を監視する安全監視者を配置した。操作者，及び安全監視者は遠隔リモコンスイッチを用いて，各々が危険や異常を察知した場合に遠隔操作で自動走行を停止させることができる（図一 2 右上）。

(3) 自己位置自動判定による走行停止

事前に設定した走行経路，走行範囲から逸脱した場合は自動停止するシステムである。

(4) 死活監視システム

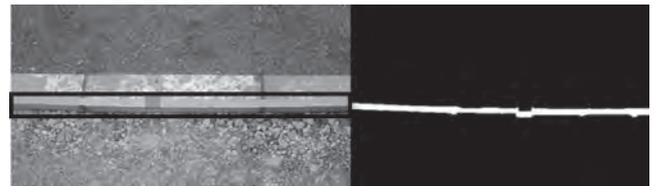
本ローラの無線通信や各種センサとの通信不良，システムエラーなどが発生した場合には，走行を自動停止するシステムである。また，車体上部に取り付けたフラッシュライトや積層灯にて自動運転ローラの状態やシステムエラーについて，操作者や監視者が離れた位置からでも容易に確認できることとした。

(5) 構造物検知システム

構造物検知システムは LRF とカメラセンサの二種類のセンサを使用し，検知箇所に応じて自動停止，自律回避を行うシステムである。

車体前後方向に設けた LRF にて直下の高さを計測する。その際に，地面からの高さと比較して高いモノを構造物と判断し，車体幅の前後で構造物を検知した場合には自動停止する（図一 2 下）。

車体側面に設置したカメラセンサでは，色差を利用して路盤面と構造物を判断する。当該現場では，路盤



写真一 2 カメラセンサ検知状況

材の色と構造物の色が近似しており，誤検知を防止するために赤色養生テープを用いて事前に構造物にマーキングを行った。本システムでは構造物にマーキングした赤色養生テープを検知し（写真一 2），車体側方の構造物を検知した場合には，事前に作成した走行経路を検知距離に応じてオフセットし，そのオフセットした経路に合わせステアリング制御を行うことにより自律的に構造物を回避しながら走行ができる。

6. 現場への試験導入

試験ヤードでの動作調整・検証を繰り返して機能の信頼性を確認し，2022年7月に「大規模駐車場舗装工事」への試験導入を実施した。

(1) 導入前準備

現場導入前準備として，事前に現場基準点のローカライゼーションを実施した。また，ローカライゼーション作業と併せて現場内構造物の測量も行い経路作成に反映した。その際，現場構造物には赤色養生テープを用いてマーキングを行い，構造物検知センサのターゲットとした。

現場内では他工種の作業も同時に行っていたため，事前の施工エリアの確認，及び安全ルールを定め遵守する打合せを実施した。

(2) 施工範囲及び占用範囲

自動運転ローラは図一 3 のハッチング内の路盤仕上げ転圧作業にて使用した。ハッチングエリア内は自動運転ローラの占用範囲とし，他工種の機械やダンプトラック等の通行帯び作業エリアはハッチングエリア外とし，作業エリアを分離した。

図面ハッチング内（構造物除く）：約 8,650 m²

自動転圧実績：約 8,300 m²

(3) 現場構造物

現場内には地先境界ブロックと歩車道ブロックが敷設済みであり，地先境界ブロックは路盤天端から高さ 5 cm（写真一 3），歩車道ブロックは路盤天端から高

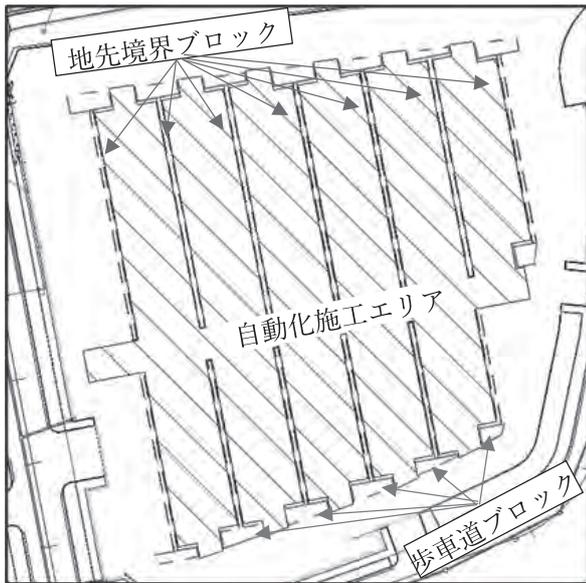


図-3 自動化施工エリア

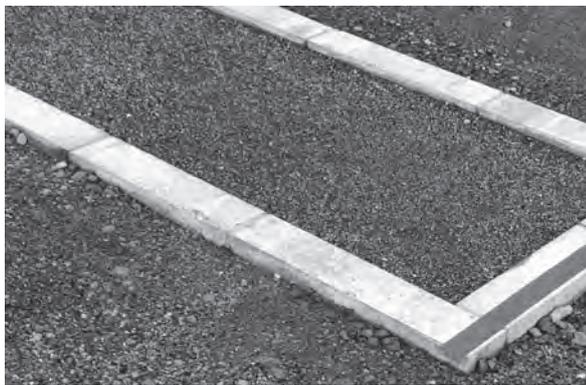


写真-3 地先境界ブロック天端高 5 cm



写真-4 歩車道ブロック天端高 20 cm

さ 20 cm (写真-4) の突出があった。これら構造物との接触を確実に防ぐため、自動化施工範囲は、鉄輪端部と構造物までの横断方向距離が 20 cm (写真-5)、鉄輪中心から構造物までの延長方向距離が 75 cm (写真-6) となるように施工計画を行った。

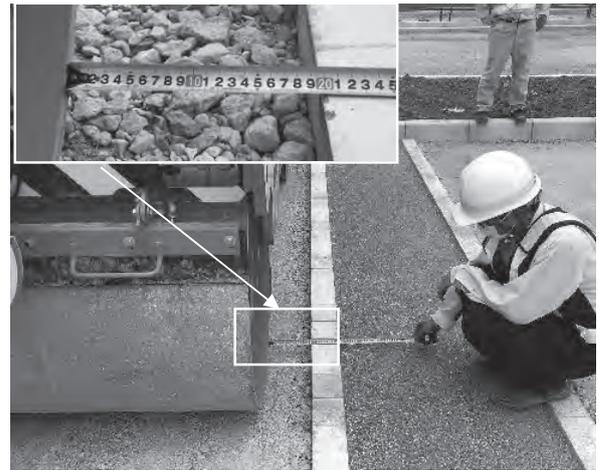


写真-5 横断方向離れ 20 cm

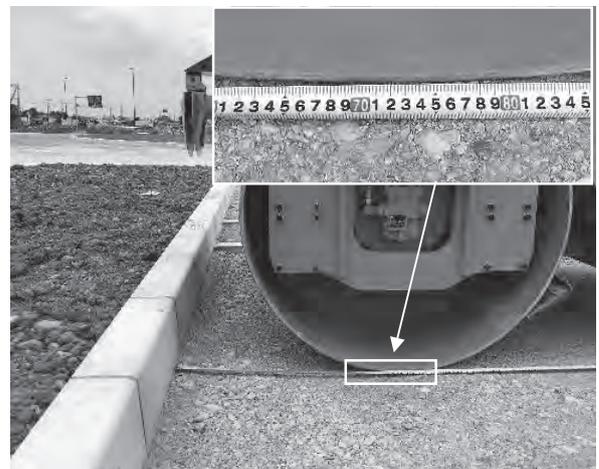


写真-6 縦断方向離れ 75 cm

(4) 施工体制

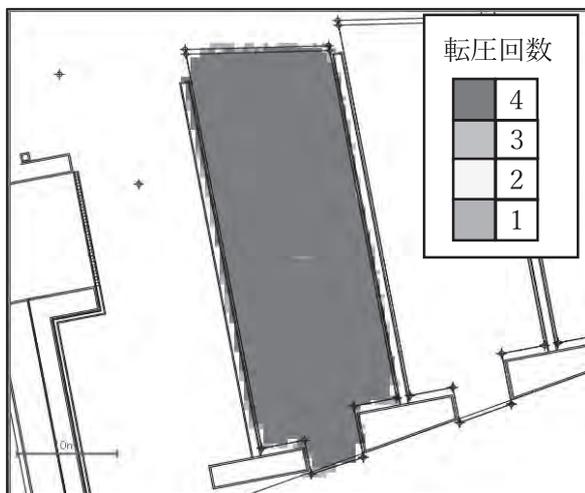
図-3に示した自動化施工エリアの外を他作業車の通行帯とし、自動運転ローラとその他作業の施工箇所の分離措置を講じ、自動化施工エリア内の当日作業を実施する箇所には A 型バリケードを用いて作業エリアの明示を行った。また、自動運転ローラの操作者と監視者を施工箇所の前後に配置し、他の作業者が誤って自動化施工エリアに侵入しないように目視での監視も実施した。万が一、侵入した場合には、遠隔リモコンを使用し、自動運転ローラの走行を停止できるように日々の作業前点検において安全項目を重点的に確認した。また、自動ブレーキシステムの検知範囲を 6 m とし、施工エリア外でも自動運転ローラの進行方向約 6 m 以内に人や作業車が近づいた場合にも安全のために走行を停止する設定とした。

(5) 走行結果

自動化施工エリアを全て施工したが、構造物と接触することなく、事前に設計した経路に合わせ走行でき



写真一七 自動転圧状況



図一四 転圧管理状況

ることを確認した(写真一七)。また、本ローラと構造物が設定距離を超えて接近する場合でも、構造物検知システムで自律回避し、走行経路をオフセットすることで構造物に接触することなく継続して転圧作業を行えることを確認した。図一四に一部施工エリアの転圧回数データを示す。この図からもわかるように、構造物間近まで寄って施工することができた(写真一七)。

なお構造物際の転圧に関しては、従来どおりプレートコンパクタにより転圧を行っている。

7. おわりに

現場への試験導入を行い、自動運転ローラが備えている機能が期待通り発揮され、現場運用が可能である

ことが立証された。これにより、熟練オペレータと同等の転圧作業を行えるようになり、施工品質が担保される。

本現場での試験導入とは別に実施されたアスファルト舗装工事での仕上げ転圧においても、今回紹介した路盤工事と同様に、設計経路に沿って安定した転圧作業を行えることを確認している。

今後は本ローラの自動化技術を他の建設機械へも展開し、1人で複数台の建設機械を管理することで舗装業界の人手不足対策に対応できると考える。また、作業員が行っている作業の機械化や施工方法の効率化、現場毎の機械編成、使用材料の選定などを図り、現場の省人化に繋げていきたいと思う。現場内で作業に従事する人が減れば機械と人が接触するリスクも低減でき、安全性の向上に繋がると考える。そのため、人手不足と安全対策の両方へのアプローチとして、自動運転技術の普及や現場作業の機械化を今後も図っていく計画である。

JICMA

《参考文献》

- 1) 国土交通省：最近の建設業を巡る状況について【報告】，令和3年
- 2) 三浦悟，出石陽一，浜本研一：自動化施工システム A⁴CSEL[®] の進化と深化，土木施工，VOL.64 No.1，pp.68-71，2023

【筆者紹介】



伊藤 圭祐 (いとう けいすけ)
鹿島道路㈱
技術開発本部 技術開発総合センター
機械部 開発設計課
係長



中渡瀬 圭吾 (なかわたせ けいご)
鹿島道路㈱
技術開発本部 技術開発総合センター
機械部 開発設計課
機械主任



松本 俊彦 (まつもと としひこ)
鹿島建設㈱
技術研究所 先端・メカトロニクスグループ
副主任研究員

アンカー自動削孔装置の開発および現場適用

既設コンクリート構造物の耐震補強工事に伴う削孔作業の自動化

三澤孝史・川澄悠馬・山口治

既設コンクリート構造物の補強工事におけるあと施工せん断補強工法や壁等の増設工法では、あと施工アンカー筋やあと施工せん断補強筋の挿入孔の削孔が行われる。通常、電動ハンマードリルや削岩機等を用いて人力で行われる挿入孔の削孔では、多くの削孔本数を施工する必要があることから、省力化や効率化、削孔時に発生する粉塵飛散による作業環境悪化に対する改善が求められている。そこで、自動で削孔作業を行う装置を2種類開発し、同一現場に適用した。本稿では、自動削孔装置の概要と適用結果について述べる。

キーワード：リニューアル工事、補強工事、削孔作業、自動化、省力化

1. はじめに

既設コンクリート構造物の補強工事におけるあと施工せん断補強工法や壁等の増設工法では、あと施工せん断補強筋や既設と新設コンクリートの一体性を高めるあと施工アンカー筋の挿入孔の削孔が行われる。削孔作業は通常、削岩機や電動ハンマードリル等を用いて人力により行われるが、削孔本数が現場によっては数千本～数万本と多く、省力化、効率化が求められている。また、繰り返しの振動作業により、肉体的な負担が大きい。さらに、削孔作業により発生する粉塵による作業環境の悪化があり、改善が求められている。そこで、壁状のコンクリート構造物を対象とする削孔作業の機械化・自動化を図るため、粉塵飛散防止機能を備えたアンカー自動削孔装置（以下、自動削孔装置）を2種類開発した^{1), 2)}。自動削孔装置はあと施工アンカー筋を対象とする小径用自動削孔装置（最大削孔径 $\phi 25$ mm程度、最大削孔深さ300 mm）と、あと施工せん断補強筋を対象とする大径用自動削孔装置（最大削孔径 $\phi 40$ mm程度、最大削孔深さ1,200 mm）の2種類である。

本稿では、2回目の現場適用となる小径用自動削孔装置³⁾と初回適用となる大径用削孔装置を下水道施設の耐震補強工事へ適用したので、これらの自動削孔装置の概要と適用結果について述べる。

2. 自動削孔装置

(1) 自動削孔装置の概要

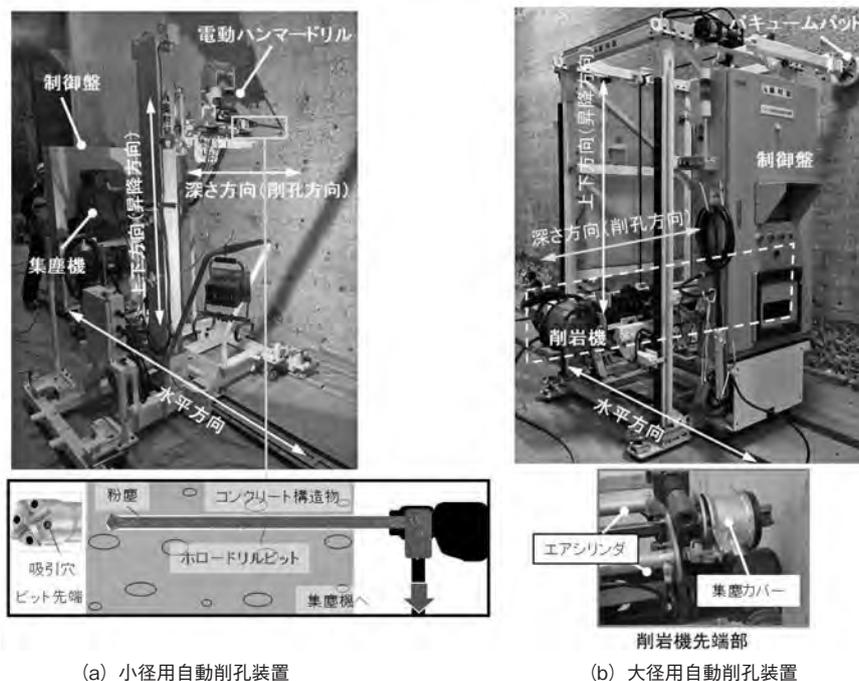
自動削孔装置の外観を図-1、構成を表-1に示す。2種類の自動削孔装置は、削孔位置、削孔深さ、削孔数を設定した削孔計画に従って自動削孔する。施工前に作成した削孔計画および自動生成される削孔結果は、制御盤内に保存され、PCに伝送することができる。自動削孔装置の削孔機器は、故障時の対応が容易な市販のものを用いており、小径用自動削孔装置では電動ハンマードリル、大径用自動削孔装置では空圧削岩機である。自動削孔装置は、削孔計画に沿って自動で、これらの削孔機器を削孔位置に移動し、設定した削孔深さまで削孔する。これを削孔計画で設定した削孔数が完了するまで自動で繰り返す。

(2) 自動削孔装置の仕様

自動削孔装置の仕様を表-2に示す。

(a) 小径用自動削孔装置

小径用自動削孔装置は、削孔機器を搭載した本体と制御盤や集塵機等を搭載した機器台車から構成される。施工可能高さは設置位置（床面等）から高さ約736～2,236 mm、削孔深さは最大300 mmまで適用可能である。装置本体の水平方向の移動は、敷設した専用の走行レール上を走行する。走行レールは、図-2(a)に示すように、走行を補助するカムフォロアとアングル、装置の走行駆動力を伝えるラックギヤから



(a) 小径用自動削孔装置

(b) 大径用自動削孔装置

図一 自動削孔装置の外観

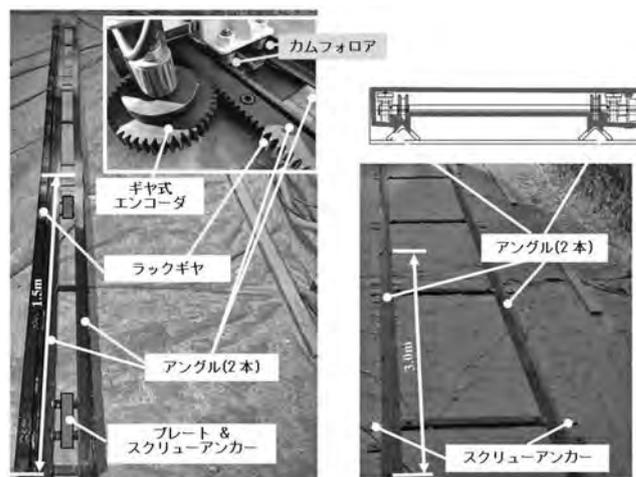
表一 自動削孔装置の構成

	小径用自動削孔装置	大径用自動削孔装置
削孔機器	電動ハンマードリル	空圧削岩機
粉塵飛散防止装置	・ホロドリルビット (ヒルティ社製) ・集塵機	・集塵カバー, エアシリンダ ・集塵機
制御装置	PLC	PLC
移動方法	水平方向	走行レール, 電動モータ
	深さ方向	スライドテーブル
	上下方向	昇降機

表二 自動削孔装置の仕様

	小径用自動削孔装置	大径用自動削孔装置	
最大削孔径	φ25 mm 程度	φ40 mm 程度	
外寸	W : 1,918 × D : 2,314 × H : 2,626 mm	W : 1,742 × D : 2,215 × H : 2,593 mm	
質量	690 kg	980 kg	
可動範囲	水平方向	・スライドテーブル 500 mm ・走行レール (長さ 3 m/本) × 必要本数	
	深さ方向	300 mm	1,200 mm
	上下方向	1,500 mm (736 ~ 2,236 mm)	1,750 mm (430 ~ 2,180 mm)

構成され、アングルにラックギヤが取り付けられている。このラックギヤを利用し、小径用自動削孔装置本



(a) 小径用自動削孔装置

(b) 大径用自動削孔装置

図二 自動削孔装置の専用走行レール

体に設置したギヤ式エンコーダにより自動走行時の走行距離を把握する。走行レールが敷設できない場所では、手押しによるキャストでの移動が可能である。

(b) 大径用自動削孔装置

施工可能高さは、設置位置 (床面等) から高さ約 430~2,180 mm である。削孔深さは最大 1,200 mm まで適用可能である。大径用自動削孔装置では、装置本体の水平方向の移動は、敷設した専用の走行レール上を、ペンダントスイッチ操作により走行する。走行レールは、図二 (b) に示すように、2本のアングルと、アングル間の離隔を所定の間隔にするための鋼材で構成される。レールの運搬、組み立て等の作業性を考慮

し、アングル同士およびアングルと離隔を確保する鋼材は、嵌合式の接続部材により容易に接合、取り外しができる構造としている。

大径用自動削孔装置は、想定する削孔時の最大反力3kNを確保するために、真空圧によりコンクリート表面に吸着し、1台あたり2kN以上を確保できるバキュームパッドを上部に2台装備しており、必要に応じて使用する。

(3) 自動削孔装置の動作フロー

2種類の自動削孔では、事前準備として自動削孔装置を削孔エリアに手動操作で移動させ、原点となる任意の削孔開始位置に削孔機器（電動ハンマードリル、空圧削岩機）を上下・水平方向に移動させる。その後、削孔計画に従い、図-3に示す動作フローに沿って自動で動作する。

自動削孔モード中は、小径用自動削孔装置では、電動ハンマードリルの削孔位置への水平方向の移動は、削孔装置本体を専用レール上を自動走行させることで行う。大径用自動削孔装置では、装置本体移動後、空圧削岩機を、昇降機およびスライドテーブルにより削孔位置に自動で移動させる。

そのエリアの削孔計画が終了したら、自動削孔装置

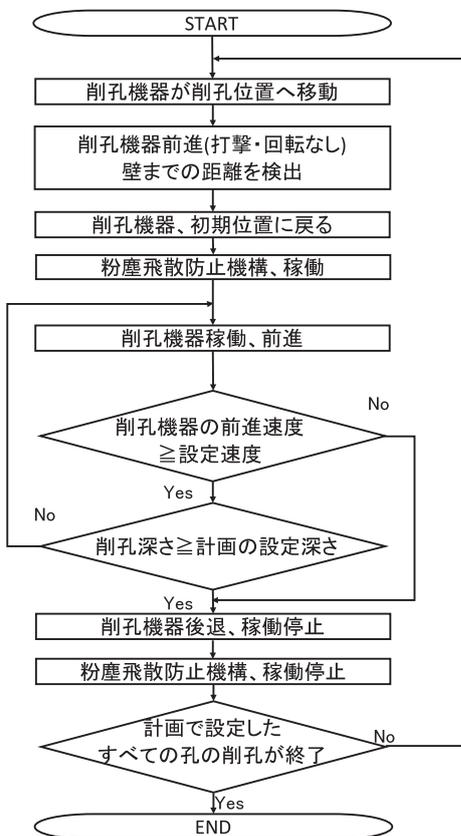


図-3 動作フロー

本体を次の削孔エリアに移動させ、同じ手順で自動削孔させる。自動削孔中に削孔速度が設定値以下となった場合、鉄筋等の障害物に接触したものと自動判定し、その孔の削孔を中止し、削孔計画の次の孔の削孔を行うように制御している。これにより鉄筋の損傷を極力抑えることができる。

図-1に示すように、小径用自動削孔装置の粉塵の飛散防止機構は、ホロードリルビット（ヒルティ社）と集塵機である。ホロードリルビットは、集塵機により、先端の穴から空洞のロッドを通して粉塵を集塵できる。大径用自動削孔装置では、粉塵の飛散を防止する集塵カバーと集塵カバーを施工面へ押し付けるエアシリンダ、集塵機により粉塵の飛散を防止する。

なお、大径用自動削孔装置では、バキュームパッドで反力を取る場合は、削孔エリアに移動した後にバキュームパッドを壁表面に吸着させ、自動削孔を開始する。

(4) 自動削孔装置の削孔計画

図-4にタッチパネルの自動削孔画面を示す。削孔計画は、孔毎に上下および水平方向の移動量、削孔深さを設定する。削孔計画は、制御盤のタッチパネルで作成するかPCで作成したExcelファイルを制御盤に転送する。

図-5に削孔計画における座標の設定方法例を示す。削孔計画は、上下・水平方向の2方向については、最初に自動削孔する位置を原点とした座標を入力する。1つの削孔計画が終了するまで同じ原点として座標値を設定する。削孔深さは、壁表面を基準としてそ

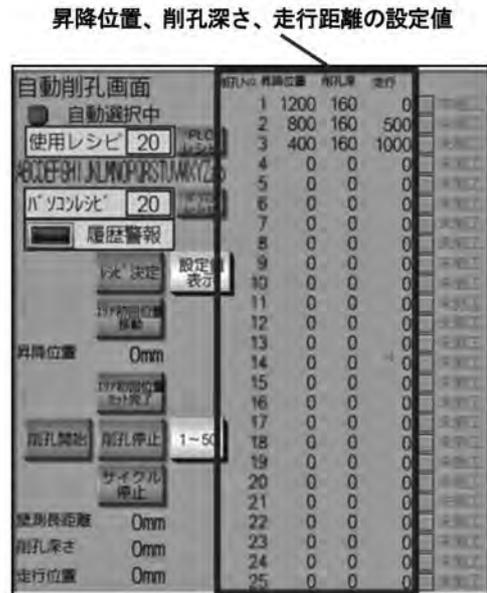


図-4 タッチパネルの表示例

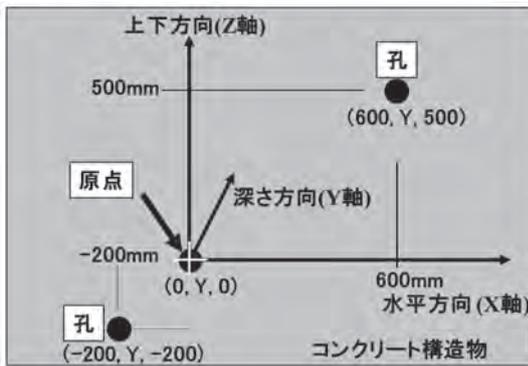


図-5 削孔計画における原点と座標の設定方法例

こからの削孔長を指定する。削孔ビット先端と壁との離隔は削孔毎に自動で計測している。

また、自動削孔結果（各孔の削孔深さ、削孔時間、設定深さで削孔できたか否かの結果等）は、自動で記録され、タッチパネルに表示される。またPCへ転送することもできる。

3. 現場適用の概要

自動削孔装置の適用対象は図-6に示す下水道処理施設の放流渠の耐震補強工事である。延長約20mの放流渠内面の側壁にあと施工アンカー筋の挿入孔を、対面の側壁にあと施工せん断補強筋の挿入孔を施工した。

小径用自動削孔装置は、あと施工アンカー筋 (D16) の挿入孔として削孔径φ20 mm、設計削孔深さ112 mm以上、の削孔に適用した。大径用自動削孔装置は、あと施工せん断補強筋 (D16) の挿入孔として削孔径φ34 mm、設計削孔深さ662 mm ± 9.5 mmに適用した。小径用自動削孔装置の削孔深さの設定値は現場の管理値である128 mmとし、大径用自動削孔装置の設定値は削孔状況に応じて、653~662 mmと変化させながら適用した。あと施工アンカー筋およびあと施工せん

断補強筋の削孔位置はどちらも250 mm 間隔の千鳥配置であり、適用した削孔数は、小径用自動削孔装置が約200孔、大径用自動削孔装置が約170孔である。

小径用自動削孔装置では、走行量を算出するエンコーダの誤差の累積を考慮し、削孔計画ごとの削孔数を高さ方向3孔×水平方向4列で計12孔、最大走行量を1 m以下となるように今回は設定した。

大径用自動削孔装置は、本体を削孔エリアに移動させた後、スライドテーブルの水平方向の最大移動量500 mm 内となるように、削孔計画ごとに、高さ方向2~3孔×水平方向2列で計5孔として設定した。

小径用自動削孔装置では長さ1.5 m × 14セットの走行レールを事前に設置して施工し、大径用自動削孔装置では長さ3 m × 3セットの走行レールを削孔位置に応じて移設して施工した。これらのレールは、撤去可能なスクリュアンカーにより床へ固定し、施工後に余分なものを残置しないようにした。なお、2種類の自動削孔装置の稼働エリアが重複し、作業スペース的に同時に施工できなかったため、小径用自動削孔装置による施工完了後に、大径用自動削孔装置により施工した。

4. 適用結果

(1) 適用状況

自動削孔状況を写真-1に示す。削孔後の壁面状況例を写真-2に示す。小径用、大径用自動削孔装置とも、計画した通りに自動削孔することができた。鉄筋探査により事前に把握できなかった鉄筋と自動削孔中に接触した場合は、削孔を中断して次の削孔位置へ自動で移動しており、設計通りに鉄筋接触を判断していた。作業環境については、ホロドリルビットおよび集塵カバーと集塵機による吸引により削孔中の粉塵の飛散がみられず、作業環境が改善した。また、写

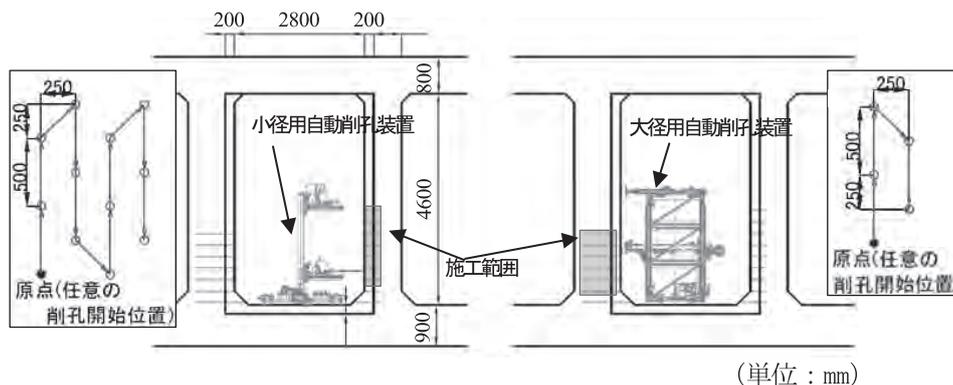
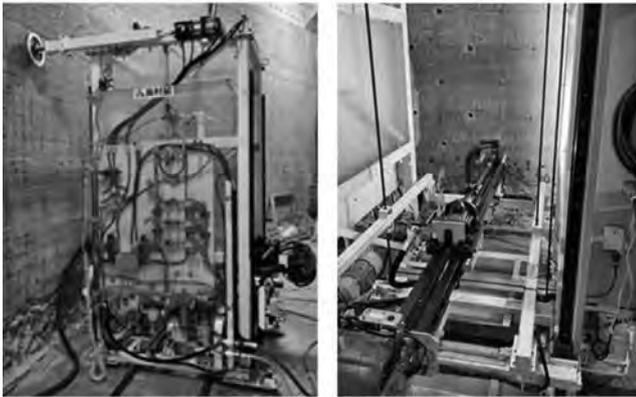


図-6 適用対象構造物

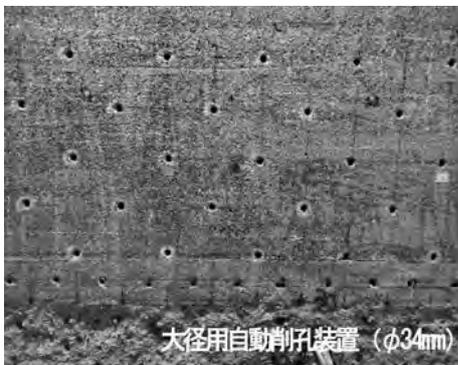


(a) 小径用自動削孔装置



(b) 大径用自動削孔装置

写真一 自動削孔装置による削孔状況



写真二 削孔後の壁面の状況



写真三 肉体的負荷の大きい姿勢での施工

真一 3 に示すような肉体的負荷の大きい姿勢での作業や立馬等を用いた高所作業を低減できるため安全性が向上した。

(2) 削孔深さ

表一 3 に削孔深さの計測値を示す。削孔深さはスケールにより計測した。削孔深さの計測値の平均は小径用自動削孔装置では 128.6 mm であり、大径用自動削孔装置では計測値の平均は 668.5 mm であった。小径用自動削孔装置の計測値 (平均) より、ほぼ設定した削孔深さで削孔できており、全ての孔で設計値 112 mm 以上であった。大径用自動削孔装置の計測値 (平均) は、全体的に設定した削孔深さよりも深くなる傾向を示したが、適切な設定値を設定することにより設計値内で施工することができた。

(3) 削孔位置

表一 4 に削孔位置の設定値に対する計測値の差の絶対平均を示す。削孔位置をトータルステーションで計測し、自動削孔装置に入力した上下方向および水平方向の設定値に対する計測値の差を求めた。小径用自動削孔装置の上下方向は、絶対平均 10.3 mm、水平方向は絶対平均 11.9 mm、大径用自動削孔装置の上下方向は、絶対平均 3.1 mm、水平方向は絶対平均 6.7 mm であり、どちらの自動削孔装置も良好な位置精度であった。小径用が大径用自動削孔装置よりも若干、差が大きくなった要因の一つとして、適用した壁面は、あらかじめウォータージェットによる目荒らしが行われ粗骨材が露出しており、削孔開始時に削孔ビットが露出した粗骨材に接触した際に、少しずれる場合が

表一 3 削孔深さの計測結果

	小径用自動削孔装置	大径用自動削孔装置
設計値	112 mm 以上	662 mm ± 9.5 mm
設定値	128 mm	653 ~ 662 mm
計測値 (平均)	128.6 mm	668.5 mm
標準偏差	1.9 mm	2.4 mm
サンプル数	187 孔	144 孔

表一 4 移動位置の設定値に対する計測値の差

	小径用自動削孔装置		大径用自動削孔装置	
	上下方向	水平方向	上下方向	水平方向
設計値	250 mm	250 mm	250 mm	250 mm
設定値	250 mm	250 mm	250 mm	250 mm
絶対平均	10.3 mm	11.9 mm	3.1 mm	6.7 mm
サンプル数	138 孔	138 孔	77 孔	81 孔

あった。特に、大径用に比べ、小径で剛性が小さい削孔ビットを用いる小径用自動削孔装置では、比較的影響が大きかった可能性があると考ええる。

(4) 施工効率

小径用自動削孔装置では、削孔位置の移動を含まない1孔当たりの削孔時間が設定削孔深さ128mmで平均約25.5sであり、平均削孔速度は5.1mm/sであった。大径用自動削孔装置では設定削孔深さ653～662mmで平均約166.4sであり、平均の削孔速度は4.1mm/sであった。

あと施工アンカー筋の挿入孔の削孔作業は、今回の現場と削孔径および削孔長が同じ電動ハンマードリルによる他現場における人力施工の実績が約180孔/人日³⁾であったのに対し、本適用での小径用自動削孔装置による施工では約247孔/台日となり、施工効率が向上した。あと施工せん断補強筋の挿入孔の削孔作業は一般的な削岩機による人力施工の場合が最大で約50孔/台日に対し、大径用自動削孔装置による施工の場合が最大で約62孔/台日であり、大径用自動削孔装置でも施工効率が向上した。

5. おわりに

削孔作業を自動で行う2種類の自動削孔装置（小径用自動削孔装置、大径用自動削孔装置）を開発し、実施工に適用した。その結果、省力化、効率化、削孔時の粉塵の飛散防止を図ることができた。また、削孔中の鉄筋接触の判定機能により、鉄筋損傷による既設構造物の構造性能への悪影響を抑制できた。さらに、機械化・自動化することにより、作業員に肉体的負担のかかる振動作業をなくし、また、肉体的負荷の大きい

姿勢での作業や立馬等を用いた高所作業を低減できるため安全性が向上した。

今後も自動削孔装置の現場適用を積極的に行うとともに、更なる作業の省力化、効率化を図るべく、ブラッシュアップを行っていきたいと考える。

JCMA

《参考文献》

- 1) 有川健, 三澤孝史, 西山宏一, 石井敏之, 「既設コンクリート構造物のあと施工せん断補強に伴う削孔作業に適用する自動削孔装置の開発」, 令和2年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集, pp.149-154, 2021.12
- 2) 川澄悠馬, 三澤孝史, 西山宏一, 有川健, 山口治, 石井敏之, 栗本雅裕, 「小径のアンカー孔を対象とする自動削孔装置の開発」, 土木学会・土木建設技術発表会 2020, 2021.2
- 3) 田島鉄朗, 三澤孝史, 加藤清孝, 川澄悠馬, 「小径のアンカー孔を対象とする自動削孔装置の実施工への適用」, 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会, VI-665, 2022.9

【筆者紹介】

三澤 孝史 (みさわ たかし)
 ㈱奥村組
 技術本部 技術研究所
 担当部長



川澄 悠馬 (かわすみ ゆうま)
 ㈱奥村組
 技術本部 技術研究所 土木研究グループ
 研究員



山口 治 (やまぐち おさむ)
 ㈱奥村組
 東日本支社 リニューアル工事部 工事支援グループ
 グループ長



ニューマチックケーソンの自動化施工

ケーソンショベルの自動運転

中川 大地・根岸 直人・倉知 禎直

労働力不足や時間外労働の上限規制により、現場職員の負担が懸念されている。そのため、日々の施工管理に要す労働力の削減や安全性の向上のため、ニューマチックケーソン工法においてもこれら内容に加え、工法特有の高気圧環境を起因とした高気圧障害発症対策として作業員の高気圧環境下への立ち入り回数の低減が求められている。これら課題の解決を目的とし、日々の進捗管理を省力化する施工管理システムと機械的な安全対策を講じたケーソンショベルの自動運転システムの開発に取り組んできた。本稿ではそのシステムについて述べる。

キーワード：ニューマチックケーソン工法, i-Construction, デジタルツイン, 自動運転, 地盤の可視化

1. はじめに

建設業においては少子高齢化による労働力不足や後進育成に十分な人員を割けないなどの課題に加え、時間外労働の上限規制への対応を迫られている。この状況への対応策の1つとして建設機械の自動化が昨今盛んに進められている¹⁾。

ニューマチックケーソン工法においてもこれらの状況に加え、本工法特有の高気圧環境下での掘削作業や進捗管理を行う必要があり、高気圧障害の発症可能性の低減や生産性向上が求められている。掘削作業は高気圧環境下に入らずとも地上からケーソンショベル（以下、ショベル）を遠隔操縦化することで安全性の確保と生産性を向上させてきた^{2),3)}。

進捗管理や掘削作業における生産性や安全性を向上させるべく、進捗管理を省人化する施工管理システムと、機械動作による故障に対し安全対策を講じた自動運転システムの開発に取り組んでいる。本稿ではそれらシステムの紹介と現場試行結果について報告する。

2. システム概要

図-1にショベルに搭載されているセンサについて示す。自動運転をするうえで、ケーソン作業室内にあるショベルの位置と姿勢について把握しそれぞれの関節のセンサ値より、自己位置を推定する必要がある。また掘削を行う際には、ショベル自身の情報のみではなく作業室内の地盤環境についても把握する必要

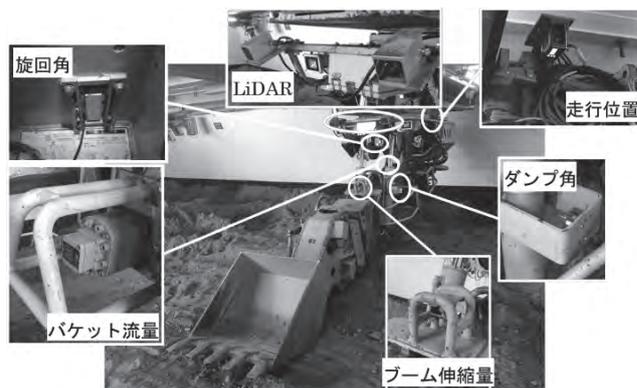


図-1 各種センサを搭載したショベル

があるため LiDAR を用いた点群データより地盤の状況についても計測を行っている。これらの情報により、作業室内におけるショベルの自己位置と、掘削すべき地盤の把握によって自動運転を行っている。さらにデジタルツイン形式で3次元空間を作成し、現在のセンサ値を反映することによってリアルタイムでショベルと地盤の状況を職員が把握することも可能となる。

3. 施工管理システム

施工管理システムは施工管理を行ううえで現場の進捗記録や現場職員間での周知を行う情報を記録・可視化するシステムである。

施工管理システムは以下の機能を有している。

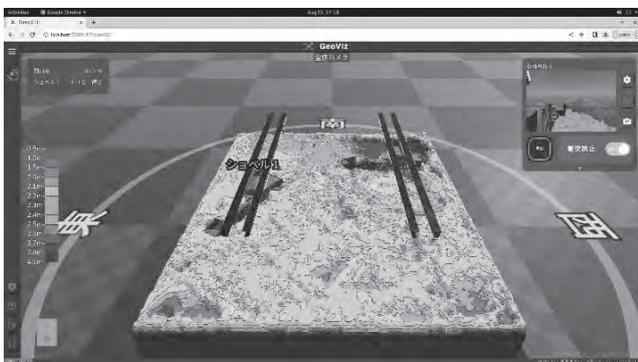
- ・ケーソン作業室内の地盤高低状況とセンサ搭載ショ

ベルの位置姿勢を 3D で可視化。

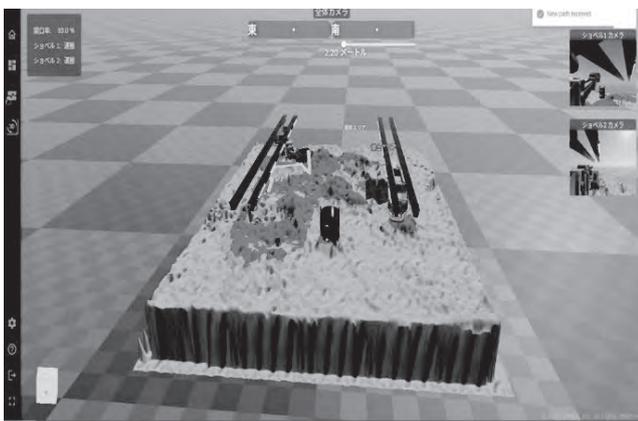
- ・再現した地盤は等高線によって色分け、または設定した標高以上の地盤をハイライト表示 (図—2, 3)。
- ・ケーソン作業室を俯瞰した地盤高低画像を出力。
- ・掘り残し土の面積とケーソン断面積の比である開口率の算出⁴⁾。

遠隔掘削では、作業室内天井に設置された固定カメラや、ショベルに搭載されたカメラを用いて作業室内の状況を確認しながら掘削作業を行っている。しかしながらカメラのみでの掘削作業は従来のショベルに搭乗して行う作業とは異なり、奥行方向や土山の高さ推定が難しくなる傾向にある。そのため掘削作業において正確に土山を掘削するには熟練の技術が必要になる。その他にも、作業室内での正確な地盤状況の把握にはカメラのみでの推定は困難であり、進捗管理項目の1つである開口率の計算では、高気圧環境下での掘り残し土の実測も必要であった。

これら施工管理システムの実装により、ショベルに搭載された LiDAR から 3D で作業室内を可視化することで、自身が遠隔操縦しているショベルの現在位置や、付近の他のショベル位置と姿勢を確認しながら掘削を進められる。遠隔操縦中のショベル同士の衝突事故を低減させ、衝突によりショベルが故障した場合の



図—2 3D 可視化画面：地盤を色分け等高線表示



図—3 3D 可視化画面：指定標高以上の地盤をハイライト表示

高気圧環境下での修理作業の発生機会を減らす狙いがある。また実際に掘削を行いたい地盤座標を 3D にて目視確認しながらの掘削を行えるため、遠隔掘削を補助することが可能である。

さらに、作成された 3D を 2D マップとして計算を行うことで現在の作業室内の開口率を自動で計算することが可能である。これにより高気圧環境下に立ち入って掘り残し土を実測する必要がなく、また実測後の開口率計算に掛かる時間も短縮ができ、高気圧障害の発症機会を削減する安全対策と生産性向上につながる。

4. 自動運転システム

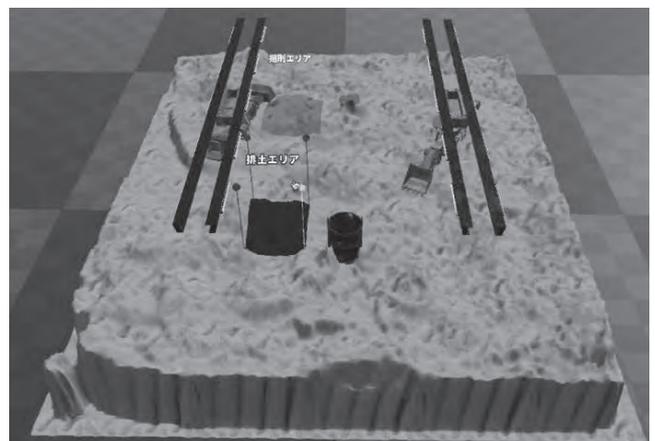
自動運転システムは、施工管理システムより作成された 3D マップ上にて任意の範囲を掘削領域および排土領域として指定することでショベル自身が掘削・運搬・排土作業を自動で繰り返すシステムとなる。ケーソン躯体の沈下に必要な刃口直下の掘削調整等は人が担当し、自動運転システムと併用して掘削を行うことで従来より少ない人員で掘削作業を行うことができ、現場の生産性向上へとつながる。

自動運転システムは下記の機能を有す。

- ・ショベル 1 台毎の掘削領域・排土領域の指定。
- ・指定した領域を設定深度まで自動掘削。
- ・指定した領域への自動排土。
- ・自動運転中のショベル同士やケーソン作業室内構造物との衝突検知・自動停止機能。

現場職員は図—4 のように 3D 可視化画面から自動運転をさせたい任意のショベルを選択し、個別に掘削領域と排土領域を設定することができる。

自動運転中のショベルは設定された掘削領域を掘削し、設定された排土領域へと移動して排土をする。掘削動作では、LiDAR で計測を行った情報をもとに掘



図—4 掘削・排土領域指定操作

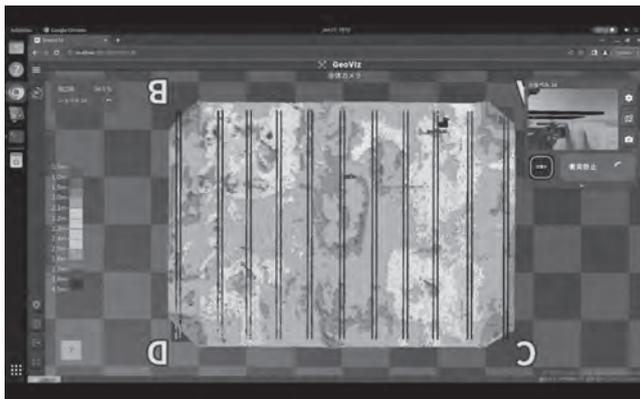
削量が多くなるようにブームおよびバケットの操作量を決定する。

衝突検知・自動停止機能は、自動運転中のショベル同士の衝突事故を防ぐために、各自動運転ショベルの位置・姿勢を管理する機能である。あらかじめ衝突検知距離を設定し、自動運転中のショベル同士が設定した近傍距離まで接近すると3D可視化画面上にアラートが表示される。そこからさらに接近した場合はショベルが自動で停止する。この機能により、ショベルの衝突による故障やケーソン作業室内構造物の破損の修理対応のために高気圧環境に立ち入る機会が削減される。

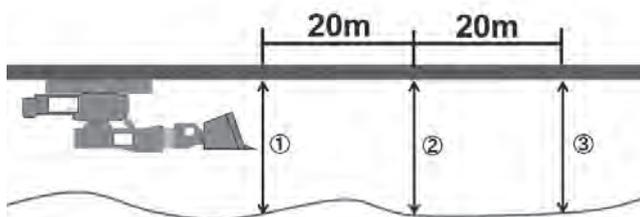
5. 施工管理システム実現場試験

(1) ケーソン作業室内地盤高低の3D可視化現場試験

3章で示した施工管理システムおよび、4章で示した自動運転システムの圧気環境下での試験を実施した。実現場では、矩形ケーソン内部に設置されたショベル24台のうち4台にセンサ類を搭載し地盤の計測・可視化を行った。図一5は地盤を可視化した施工管理システムの画面である。図からも見て取れるように、長辺約70m、短辺約40mと大型のケーソン作業室内であったが、ケーソン内部の全体が可視化されていることがわかる。またLiDARの可視化性能を定量的に評価するため、図一6のようにショベル1台で地盤高さの計測を行い、距離に対してどの程度の精度



図一5 施工管理システムの実証試験



図一6 3D可視化性能試験

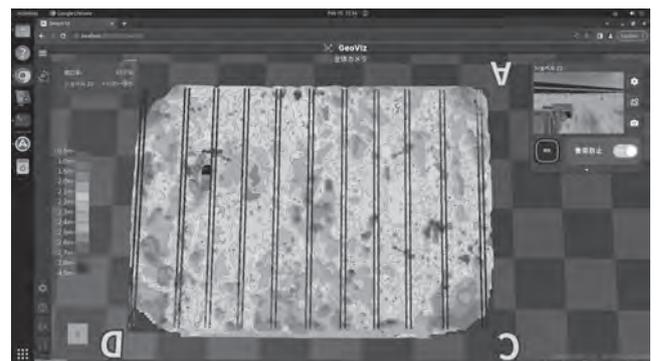
で地盤高低マップが生成されているかを確認した。各計測点(①~③)における天井直下の実測深度およびシステム上の可視化による深度を表一1に示す。計測結果より、ショベル先端位置の①では、実測結果よりシステムによる計測の地盤が高く計測されている。この結果から、ショベル先端はLiDARのスキャン範囲に入っておらず、スキャン範囲内の計測可能な地盤からの予測地盤高低値となるため計測誤差が生まれやすい箇所であることが判明した。②(ショベル中心より20m)では、計測誤差が少なく、実際の地盤の高さを可視化できていることが確認できた。また、③(ショベル中心より40m)の箇所では、システム計測の地盤が高く表示されている。ショベルから計測点が伸びるほど、その間に見通しを遮る残土の山の影が増えるため、全体的に地盤が高く表示される傾向にあることが判明した。これら確認実験より、1台のショベルの可視化範囲を半径20m以内に収めることでケーソン作業室内地盤高低の3D可視化精度を向上させられる見込みである。

(2) 施工管理システムの開口率計算

開口率計算に用いた作業室内の可視化結果を図一7に示す。また、施工管理システムにより計算を行った平面図について図一8に示す。計算結果としては、実計算では86.8%、施工管理システム上では92.7%という計算結果となった。計測誤差に関しては、掘り残し土の検出精度や、センサ類を搭載していないショベル台数が多く、影になってしまう箇所が多いなどの原

表一1 3D可視化性能試験

	ショベルからの距離 [m]	測量による値 [m]	可視化による値 [m]
①	0	2.533	2.2
②	20	2.536	2.5
③	40	2.382	2.2



図一7 施工管理システムによる可視化



図-8 3D可視化による掘り残しの検出

因があげられる。これら実験結果より、ショベル同士の死角が多くなる場合はセンサを搭載したショベルの増台や、点群データよりセンサ未搭載ショベルを認識して計算過程より除外する機能の追加・改善等の対策によって精度を向上させられる見込みである。

6. 自動運転システムの実証試験

自動運転システムの試験は、センサ付きショベル3台を用いた掘削作業を実施させた。施工管理システムより指定した範囲に対して掘削・排土作業を行う一連の動作について試験を行った。掘削1回に対して掘削合計時間は約2分30秒程度となり、人による掘削時間よりはかかっているものの、3台のショベルを同時に自動運転させることに成功し、試験中のショベル同士の衝突やケーソン作業室内構造物の破壊は発生しなかった。

掘削量に関しては、今回試験した土質は粘性があり、1回目の掘削後は土砂がバケットから排土しきれず、バケット内部を満たす容積で土が残ってしまったため、掘削2回目以降の掘削量は減少した。これら試験結果より、掘削する際の土質によって排土動作の検討を行い、粘性土にも適した排土動作について検討を行う。

7. おわりに

本稿では、省人化、生産性向上を目的とし、ニューマチックケーソン工法における施工管理システムおよびケーソンショベルの自動運転システムの紹介と実現場での試験について報告した。改善点は多くあるものの、各システムの機能が実現場で実働したことを確認した。本工法特有の高気圧環境下への立ち入りは高気圧障害の発生機会となりうる。そのため、計測や機械の修理などをするため高気圧環境へ立ち入る機会を削減する機能開発・改善に取り組んでいく所存である。

JICMA

《参考文献》

- 1) 国土交通省：i-Construction～建設現場の生産性革命～2016。
<https://www.mlit.go.jp/common/001127288.pdf>
- 2) 遊津一八、倉知禎直、景山俊和：1世紀を迎えるニューマチックケーソン工法，土木施工，Vol.62 No.8，pp.75-78，2021.
- 3) 倉知禎直：ニューマチックケーソンの無人化施工に向けて，土木施工，Vol.75 No.5，pp.110-113，2023.
- 4) 日本圧気技術協会：大型・大深度地下構造物ケーソン設計マニュアル，pp.24-25，2022.

【筆者紹介】



中川 大地（なかがわ だいち）
オリエンタル白石㈱
技術本部 技術部 機電チーム
主任



根岸 直人（ねぎし なおと）
オリエンタル白石㈱
技術本部 技術部 機電チーム
係長



倉知 禎直（くらち よしなお）
オリエンタル白石㈱
技術本部
技師長

除雪作業のメンタルヘルスと働き方改革

Jevica・須田 清隆・漆 館 直・樋口 行平

北海道留萌地方は全国でも有数の豪雪地域で、地域の物流や医療搬送機能維持のための除雪作業は、深夜の見回りから早朝にかけての除雪、昼夜の排雪作業と常態的な長時間作業にあり、最盛期には休日取得も難しい現状で、高齢の作業員にとっては肉体的、精神的負担が非常に大きい。また、少子高齢化の社会で新規入職難に苦しむ地方の中小建設業では、除雪作業員の確保が喫緊の課題となっている。本報告では、除雪作業員、特に高齢作業員を対象に、ストレスや疲労を軽減するために、ワークライフバランスを重視した、ICT化や水素吸引イスなどを活用した適切な休息の取り方やパワーアシストスーツによる筋力補完などの有効性を評価し、ストレスや疲労負担が少ない働き方について提案している。

キーワード：除雪作業、働き方改革、メンタルヘルス、バイタルサイン、ストレス低減、アシストスーツ、水素吸入

1. はじめに

北海道留萌地方は全国でも有数の豪雪地域で、地域の物流や医療搬送機能維持のためには日常的な除雪が必要になっている。道路除雪のための機械は、除雪ドーザー、除雪グレーダ、ロータリー除雪車、除雪トラックなど稼働しており、特に12月から2月までは深夜の見回りから早朝にかけての除雪、昼夜の排雪作業と常態的な長時間作業にある(図-1)。

除雪作業員の年齢構成は、50%以上が50歳以上と高齢化が進んでいる。特に高齢作業員にとっては、除雪作業のモチベーションの保持とともに、体力的な負担や気温の低さ、作業の単調さなどに加え、不慣れた除雪重機の操作などによるストレスの負担がメンタルヘルスの配慮が必要になっている。そのため、過酷な除雪作業における作業員のモチベーションの維持とともにメンタルヘルスに配慮した働き方が求められている(写真-1)。

2. 研究の目的

本研究の狙いは、高齢な除雪作業員や未熟練な若手作業員のストレスや疲労低減を目的に効果的なメンタルヘルス対応策を構築し働き方改革に繋げることである。そのため、作業の不慣れた練度の低い作業員や筋力が低下している高齢者にとって安全でストレスフ

留萌地方月別除雪状況

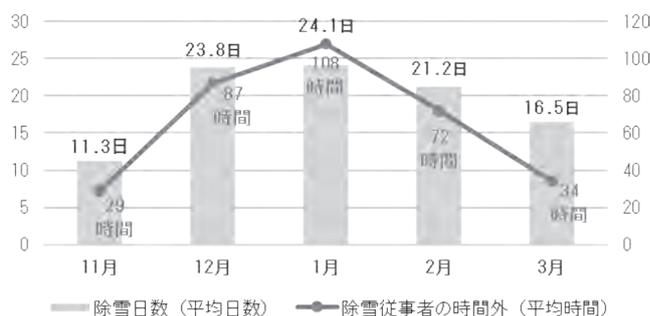


図-1 留萌地方月別除雪日数と除雪従事者の時間外



写真-1 除雪活動：重機(左)と人力作業(右)

リーな作業環境の創出が必要であることから、メンタルヘルスの試行実験(重機除雪と人力除雪)を実施している。

具体的には、現場作業員への、MG(マシンガイダンス)の導入による経験補完やパワーアシストスーツ装着による筋力補完および水素吸引イスによる休息効果などの効果を取り入れた働き方を模索するものである。

3. 除雪作業のストレス

(1) 重機作業のストレス

昨今の人手不足の中で除雪作業の効率化が進む中、除雪重機のワンマン化は必要な要件になってきているが、後退時に死角が大きくなり、上半身のみ振り向いた姿勢で運転するため、目視範囲が狭まり、事故に対する不安が大きくなることが報告されている。特に、新規入職者や高齢作業者は、不慣れな重機操作や日常的にモチベーションの維持が強いられる除雪作業へのストレスが大きくなっている。

(2) 人力作業のストレス

熟練者（経験のある高齢作業員）による人力による除雪作業は、寒い環境での雪をショベルでかき分けるために筋力を酷使する体力的な労働であり、ストレスを引き起こす要因となっている。特に、人力除雪は心臓に負担が大きい運動であり、心不全などのリスクがあることが指摘されている。

4. ストレス評価と対応方策

ストレス評価としては、①職場や作業環境やレジリエンスの測定を目的に建災防方式「新ヒヤリハット報告」や②生体情報測定にバイタルセンサを使用した。また、ストレス対応策として① MG（マシンガイダンス）の活用、② パワーアシストスーツの装着及び③ 適当な水素吸引イスによる休息方法について実験的試行を行っている。

(1) 除雪作業のストレス評価

(a) 建災防方式「新ヒヤリハット報告」測定

建災防方式「新ヒヤリハット報告」は、自社開発のスマートフォンによるシステム化によって入力を容易にしている。除雪作業の就業後に、‘ヒヤリハットがなくても’その日の体調や感想を入力することで、本人も気付かない職場の雰囲気や体調の変化など異常値の可視化を狙ったものである（図—2）。



図—2 スマートフォン入力装置（独自開発）

(b) バイタルセンサによるメンタル測定

被験者には、心電センサ、体温センサ、姿勢センサなどのセンサが搭載された小型な絆創膏型ワイヤレス生体センサ（Vitalgram[®]）を装着し、①緊張度、疲労度、睡眠の質②熱中症等による体調異変③不整脈や心不全の兆候④歩数計測、運動量、活動量、カロリー消費などを測定している（図—3）。

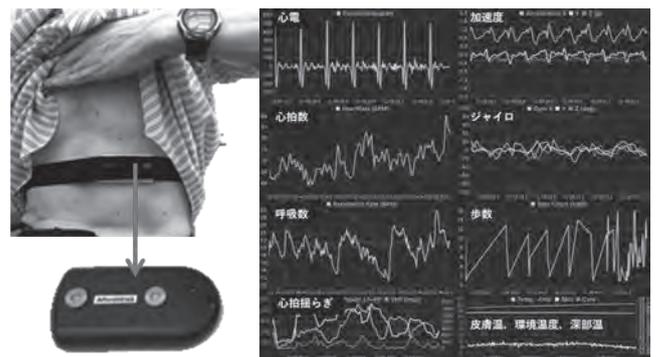
(2) 除雪作業のストレス対応策

(a) ICT化による技能補完マシンガイダンス（MG）の導入

一般重機の作業に対してMG導入による重機作業員の負担軽減効果やストレス状況を計測している（写真—2）。

(b) パワーアシストスーツの装着

パワーアシストスーツの装着は、重機作業と人力作業について実験的に作業員の負担の軽減効果や作業効率を向上効果について計測をしている（写真—3）。



図—3 絆創膏型生体センサ・バイタルモニタリング



写真—2 MG機能付きバックホウ



写真—3 パワーアシストの着用

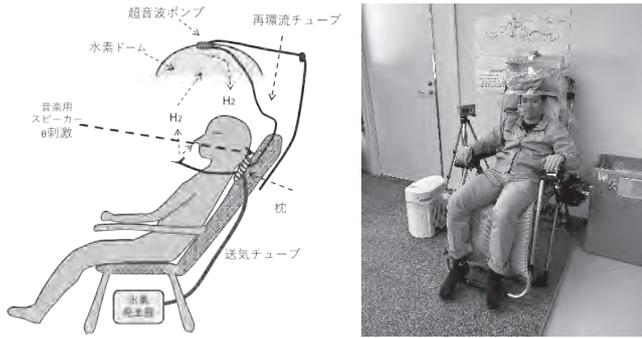


図-4 水素吸引イスの試作機
(横浜市立大学医学部初久保修教授監修)

(c) 水素吸引イスの試行

人体のバイタルサイン、特に心拍数と心拍変動 (LF/HF 比) は、循環器まわりの神経系と直接的かつ大きな関係があり、身体がストレスを経験すると、自然な反応として心拍数が増加し、従って心拍変動は一般的に高ストレスの指標とされている。そのため、心拍変動が低く安定している場合は、リラックスまたは安静の指標として捉えられる。

同水素吸引イスは、リラクゼーションを促進し、ストレスを軽減し、疲労を緩和すると報告されている。具体的には、水素ガスは悪玉活性酸素のみを選択的に取り除き、脳の血流を改善し、神経細胞への酸素と栄養素の供給をサポートすることで、神経の弛緩を促進し、副交感神経を活性化し、疲労を軽減することが示されている (図-4)。

5. 現場実験

(1) 職場環境の評価

土木現場全体 (桧堀口組 4 現場 120 名) の職場環境は、総じて全国平均に比べて良好であることが確認された (図-5, 6 左参照)。本調査で、ヒヤリハットを感じた人と感じない人で分類すると、ヒヤリハットを感じたグループの方が、職場環境が良好なのに対して、ヒヤリハットを感じないグループは不安感や抑うつ感、身体愁訴において全国平均に比べ強く感じていることが確認された (図-5, 6 左)。また、レジリエンス力においては、全国平均に比べて悪く、特に、警告ブザー、偶然事象 (図-6 右) においては反応が弱いなどの要注意のレジリエンス特性が表れていた。

(2) 除雪重機作業実験

(a) バックホウ試験：概要

バックホウの操作試験では、重機の操作、特に MG 機能を装備の有無による機械の操作における熟練者



図-5 (株堀口組)の職場環境 (120 名)

	現場平均 ヒヤリあり (換算値)	現場平均 ヒヤリなし (換算値)	全国平均 (換算値)		現場平均 (換算値)	全国平均 (換算値)
仕事の要求度	7.56	7.09	6.69	知識経験の活用	2.68	2.91
疲労感	10.48	8.72	8.54	体力・運動神経	2.73	2.78
不安感	10.79	8.88	9.06	予測	2.62	2.68
抑うつ感	11	9.09	9.5	予感	2.16	2.45
身体愁訴	11.1	9.47	9.96	周囲に注意	2.94	3.01
コントロール	9.31	9.25	8.04	とっさの機転	2.54	2.7
上司の支援	9.37	9.53	8.6	周囲からの声掛け	2.51	2.43
同僚の支援	9.7	9.56	8.72	安全帯等保護具	1.91	2.3
ワーク・エンゲイジメント	7.05	7.16	7.02	警告・ブザー等	1.78	1.97
				偶然	2.17	2.24

図-6 職場環境の評価 (左) とレジリエンス力評価 (右)

(経験のある高齢者) と未熟練者 (経験が浅い若手作業員) の施工精度におけるストレス状態を評価した。操作試験では、機械を操作し、30 m の走行試験と地面から 10 cm, 30 cm, 100 cm の所定の高さでバケットの停止試験を計画した。実際に停止した距離や高さを測定し、目標値に対する誤差をそれぞれ求めた (図-7, 表-1)。

(b) バックホウ試験：結果

操作試験結果 (表-2 参照) では、走行距離 30 m の中での停止精度について練度の違いを確認している。停止操作の精度は、MG 機能の有無にかかわらず、練度の違いによる差が表れていなかった。

刃先位置決めでは、MG 機能を使用しない時に、熟練者は未熟練者に比べて相対的に良好な精度を示していた。また、MG 機能装着においては、経験者は高い精度 (1 cm 程度) を維持し、未経験者は運転操作の動作の動きが大きかった、MG なしに比べ位置決め精度が向上し (2.92 cm → 1.87 cm)、熟練者に近い数値を示していた。



図-7 試験ヤード

表-1 バックホウ走行・掘削精度実験内容

ケース	重機種類	練度	走行停止精度		刃先停止位置			バイタルセンサ	備考
			前方	後方	10 cm	30 cm	100 cm		
1	バックホウ操作	未熟練	○	○	○	○	○	装着	3往復
2	バックホウ操作	熟練	○	○	○	○	○	装着	3往復
3	バックホウ操作(MG)	未熟練	○	○	○	○	○	装着	3往復
4	バックホウ操作(MG)	熟練	○	○	○	○	○	装着	3往復

表-2 バックホウ操作精度評価

練度	走行停止精度	MGなし		MG装着		
		操作時間(秒)	停止距離差(cm)	操作時間(秒)	停止距離差(cm)	
未熟練	30 m 走行	前方	35.51	19.42	38.50	21.63
		後方	39.48	15.50	42.25	12.92
		平均	37.50	17.46	40.38	17.27
熟練	30 m 走行	前方	38.66	8.33	41.42	10.00
		後方	40.48	10.50	42.50	6.83
		平均	39.57	9.42	41.96	8.42

練度	所定標高	MGなし		MG装着		
		操作時間(秒)	停止標高差(cm)	操作時間(秒)	停止標高差(cm)	
未熟練	法高刃先位置	10 cm	4.24	2.42	12.33	1.50
		30 cm	4.07	3.17	11.83	2.08
		100 cm	4.95	3.17	16.67	2.04
		平均	4.42	2.92	13.61	1.87
熟練	法高刃先位置	10 cm	5.46	1.17	8.83	0.86
		30 cm	5.38	0.67	11.08	0.73
		100 cm	7.16	1.17	12.17	1.33
		平均	6.00	1.00	10.69	0.97

(c) バックホウ実験：練度の違いとバイタル反応
 練度によりストレス指標 LH/HF に影響が表れている。LF/HF 比は、交感神経と副交感神経の活動のバランスの指標となる。低い LF/HF 比は副交感神経が優位でリラックスしている状態を示し、高い LF/HF 比は交感神経が優位でストレスや緊張状態を示すとされている（平常時は LF/HF：1～2 程度以下）。

練度が低い未熟練者（新規入職者）はストレス指標が6～8程度高くなる傾向があり、ストレスの増加と安定した運転ができていなかった。特に、不慣れなことが慎重になり、急加速や急ブレーキが多くなり、作業の円滑さや効率に影響を与えることが多いと思われる（図-8 参照）。

一方、熟練オペレーターは LF/HF 比が2～3程度低く、より良好なストレス管理と安定した操作を示

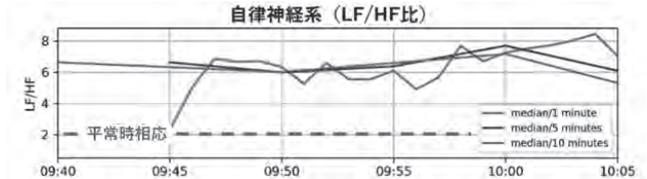


図-8 LH/HF が2を超えた緊張状態にある未熟練者

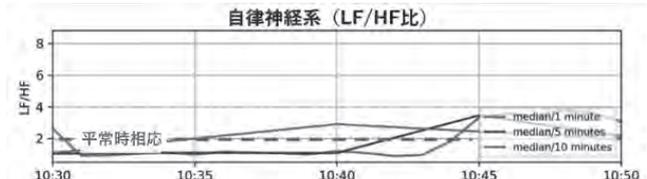


図-9 LH/HF が2程度と平常状態の熟練者

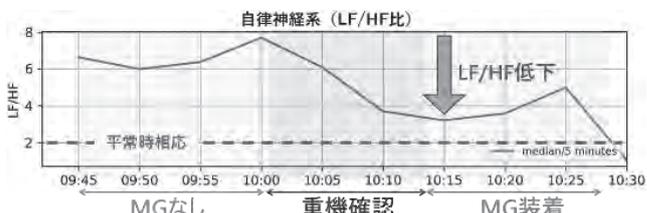


図-10 未熟練者のストレスが低下 (LH/HF が低下)

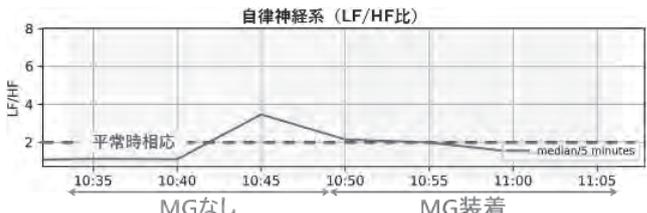


図-11 熟練者はストレス状態が平穏時 (LH/HF が一定)

し、スムーズでコントロールされた動きで、リラックスして自信をもって作業し、作業効率の向上と全体的なパフォーマンスの向上に繋がっているものと考えられる（図-9 参照）。

(d) バックホウ試験：MG 導入の効果

未熟練者は、MG 装着によって装着前に比べて LH/HF が低くなる傾向がありストレスレベルが下がるものと推察された (LF/HF=8→2) (図-10 参照)。一方、熟練者は、MG 装着の有無に関係なく LH/HF が2に安定する傾向が観察できる (図-11 参照)。同時に、心拍数においても MG 装着によって低くなる事が確認された。MG 装着が練度の低い作業員への負担軽減になっていることが考察できる。

(3) 除雪人力作業実験 (パワーアシスト装着)

除雪作業の人力作業は、1日中雪かき作業であり、作業員の高齢化に伴い、体力的負担から人材不足が課題

になっている。ここでは、体力負担の低減を目的としてパワーアシストスーツの効果を検証するため土嚢袋の作成と土嚢搬送の現場備験を行っている(図-12)。

(a) 人力作業実験バイタル測定の評価

筋力低下が進む高齢作業者は、装着後も仕事量(加速度)がほぼ変わっていない。LH/HFからはパワーアシストスーツ装着時の違和感が高い数値を示しているが、その後低下して平常時の2前後の数値を示していた(図-13参照)。

一方、若手作業者は、装着による筋力補完によって仕事量(加速度)が増える傾向を示していた。作業後のヒアリングでも土嚢作成から運搬の作業が楽になりパフォーマンスが向上したとの意見があり、パワーアシストスーツの有益性は高いと推察できる(図-14参照)。

(4) 水素吸引イスによる休息効果

(a) 試行内容

基礎研究として、被験者に身体活動直後に水素ガスを吸入してもらい、水素吸引イスの効果について心拍変動LF/HF比の変化について試行している。

LF/HF比は、交感神経(LF-低周波)と副交感神経(HF-高周波)のバランスを表す。LF/HF比が高



図-12 土嚢作成作業

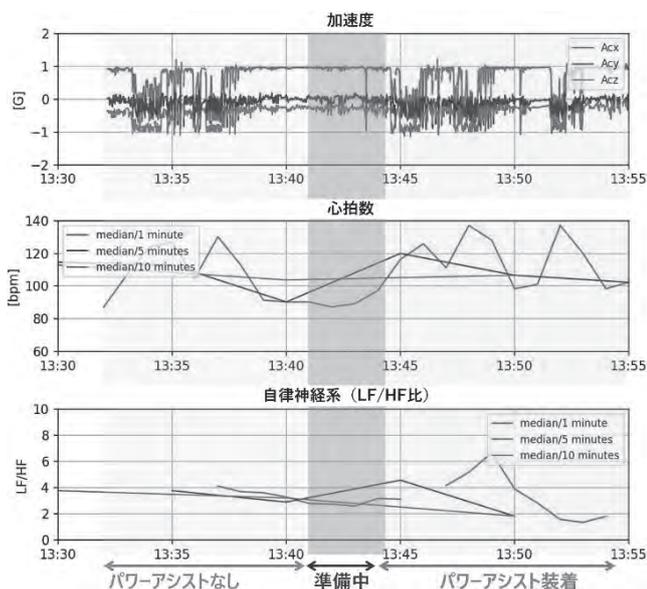


図-13 高齢作業者のバイタルサイン

いほど交感神経優位を示し、ストレスと関連し、LF/HF比が低いほど副交感神経優位を示し、リラックスと関連する。

(b) 水素吸引実験バイタル測定の評価

試行実験では水素ガスを約40分間吸入した後、LF/HF比が有意に減少することを確認できた。この結果より、水素チェアを休憩スペースに設置し、休憩

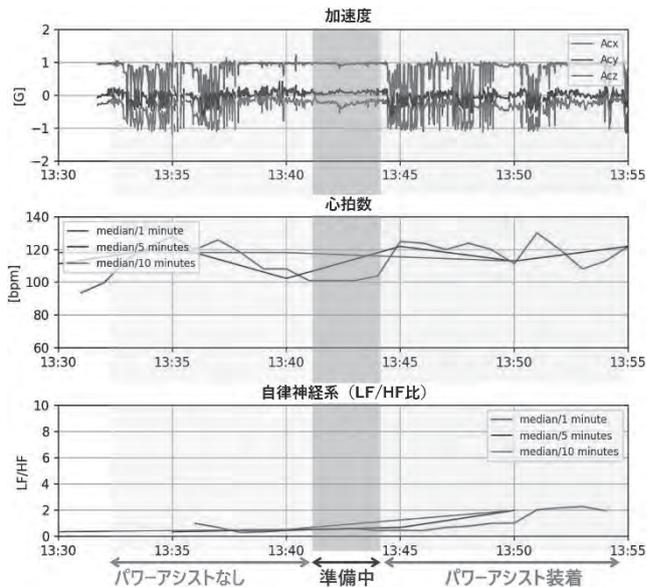


図-14 若手作業者のバイタルサイン

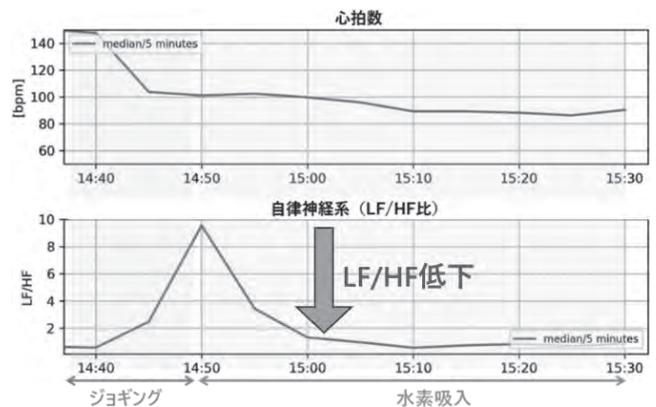


図-15 水素吸入効果(運動後) LF/HF = 10 → 1

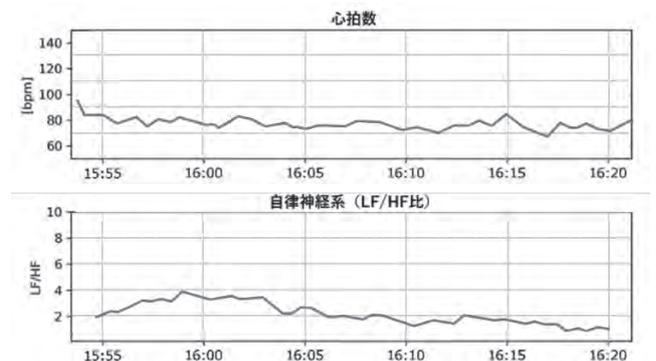


図-16 水素吸入効果(運動なし) LF/HF = 4 → 1

時間に利用することで、作業による疲労やストレスの軽減が期待されると考える(図—15, 16参照)。

6. まとめ

- ①重機操作においては、後方停止など熟練性が必要な作業においては、未熟練者にLH/HFなどのバイタル値から緊張状態、ストレス状態が確認された。熟練者のバイタル状態に近づけることで、練度の向上が高まるものと考えられる。
- ②職場で実施した新ヒヤリハット報告からは会社全体でモチベーションを高めている職場風土や職場の雰囲気醸成されていることが確認された。特に、職場の中で、ヒヤリハット発想の弱いグループにおいて施工に対する不安感が大きくなり、周囲への依存性が高いことが考察された。
- ③建災防方式「新ヒヤリハット報告」は、除雪作業に従事する作業員のレジリエンス向上に繋がることから作業の安全性向上が実現できると考える。今後、非除雪期間の除雪技術の技術継承を目的に、ヒヤリハットの発生位置をメタバースやデジタルツインによる仮想空間で表現することで疑似体験などの教育装置として期待できる。
- ④未熟練者にとっては、MGの導入は、作業中の緊張感を和らげる効果があり、対象者によってはメンタルヘルスとしての効果が期待できる。
- ⑤人力の除雪作業には、パワーアシストスーツが筋力補完の役割を果たし、生産性を高めることが確認された。高齢化が進む中で、パワーアシストスーツはメンタルヘルスとしての効果が期待できる。
- ⑥水素吸引イスの効果として、いずれの被験者も緊張状態やストレス状態を低下させる効果が確認された。今後、除雪現場での休息効果を高める上で、現場事務所や休憩所など水素吸引イスの活用が期待される。

7. おわりに

今回の試行成果は、雪国の宿命ともいえる除雪問題を取り上げ、AIやDX化による作業改善とともに、

働く人たちのメンタル面での有益性のある方法を模索するものである。今後、本試行の成果を社会実装していく上で、(株)堀口組をはじめ多くの中小建設業の参加をもってサンプル数を多くしていく予定である。

また、多くの中小建設業のネットワークを構築し、より実用性が高く、働く人の負担やストレスが少ない新しい働き方を求めていきたいと考えている。

JICMA

《参考文献》

- 1) Jevica, 須田, 湯浅「除雪作業のレジリエンス能力向上と働き方改善 レジリエンスエンジニアリングの試行」令和5年度 建設施工と建設機械シンポジウム 論文集・梗概集, pp11-pp14 (2023)
- 2) 須田, 金井「新型コロナウイルス禍でのi-Constructionと働き方改善 -中小建設業でのリーンマネジメントと労働改善試行-」, JACIC 情報124号, pp10-16 (2021)
- 3) 可見, Jevica, 漆館, 須田, 樋口, 枡久保「除雪作業のメンタルヘルスに関する実験的試行」, 令和6年度土木学会全国大会第79回年次学術講演会 (2024)
- 4) 須田, 湯浅, ジェヴィカ「[AI・IoTを活用した除雪作業の省人化と安全性向上]に関する報告 -除雪作業のレジリエンス能力向上と働き方改革-」JACIC 情報128号, pp74-pp80 (2023)

【筆者紹介】

Jevica (ジェヴィカ)
 株式会社 IoT 研究所
 研究員



須田 清隆 (すだ きよたか)
 株式会社環境風土テクノ
 取締役



漆館 直 (うるしだて なお)
 株式会社堀口組
 DX推進室
 室長代理



樋口 行平 (ひぐち こうへい)
 株式会社アフォードセンス
 代表取締役



照明を活用した坑内の安全対策

宮瀬 文裕・菊池 順・小林 大助

山岳トンネル工事は、明かり工事に比べ、暗い作業環境であるため、作業員と工事車両の安全確保には、この暗い作業環境に配慮した安全対策が重要である。今回、視認性、取り扱いのしやすさに優れた複数の照明機器を組み合わせて、安全対策の改善を図った事例を紹介する。あわせて、HUD（ヘッドアップディスプレイ）を活用した安全システムの概要を述べる。

キーワード：山岳トンネル、安全、プロジェクションマッピング、ライン照明、HUD

1. はじめに

山岳トンネル工事は、明かり工事に比べ、狭隘で暗い作業環境である。施工中は、掘削ズリを運搬する重ダンプや覆工コンクリートを運搬するトラックミキサ等が連日、おおむね200台と多数が走行する。さらに、覆工コンクリート用のセントル台車と防水シート施工用のシート張り台車の設置区間では、坑内が狭隘なため、作業員用の安全通路の設置に十分なスペースの確保が困難である。これらのことから、暗い作業環境において、工事車両と各種台車・工事車両同士・工事車両と作業員との接触防止と、台車からの作業員の転落防止の4種類の事故について安全対策が重要となる。今回、前述した4種類の事故発生防止のため、設置・撤去が容易で、取り扱いやすい複数の照明機器（プロジェクションマッピング、チューブライト）を組み合わせて、安全対策の改善を図った事例を紹介する。さ

らに、乗用車等で利用が始まった照明技術のHUD（ヘッドアップディスプレイ、以降HUD）を活用した安全システムを試用した概要についてもあわせて紹介する。

2. 照明機器を活用した安全対策を実施した山岳トンネル工事の概要

照明機器を活用した安全対策を実施した山岳トンネルは、中日本高速道路(株)発注の中央自動車道 新小仏トンネル工事（自）東京都八王子市～至）神奈川県相模原市）である。この工事は、中央自動車道八王子JCT～相模湖IC間の渋滞対策事業である。上り線の既設小仏トンネルの北側にトンネル（延長2.3km、断面積74m²）の新設と、八王子JCTまでの1.8km区間にて上り線を現在の2車線から3車線運用とするための拡幅工事である（図-1）。なお、本工事では

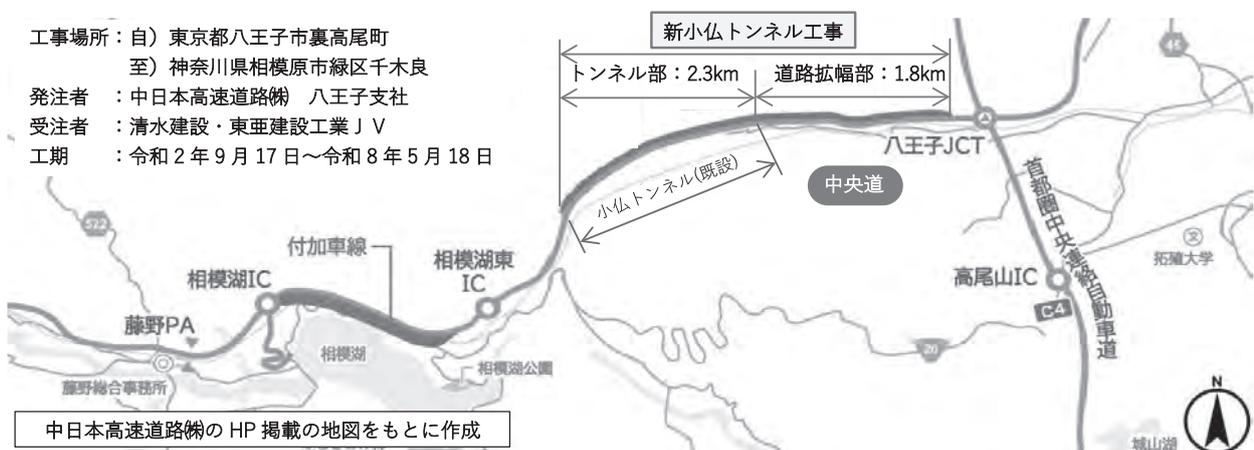
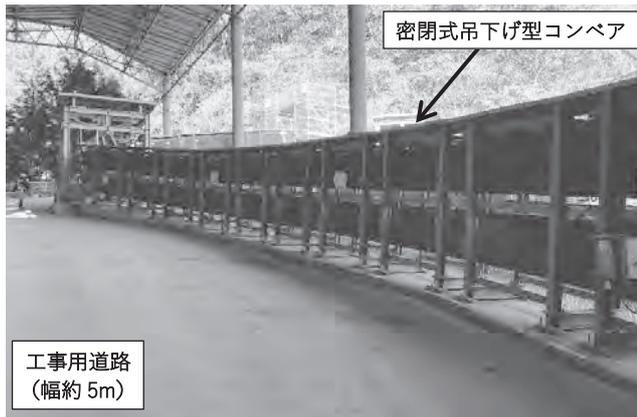
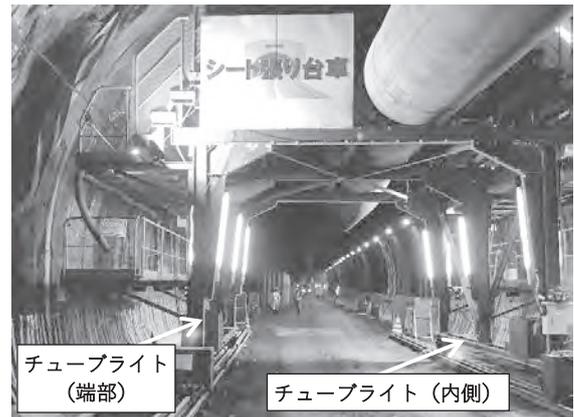


図-1 新小仏トンネル工事の概要



写真一 工用道路に設置された密閉式吊下げ型コンベア



写真二 シート張り台車のチューブライト設置状況

密閉式吊下げ型コンベアを、国内のトンネル工事で初めて導入している（写真一）。トンネル坑内から約400 m離れたズリ仮置き場までの工用道路は、幅約5 mと狭隘で、カーブと上り下りが連続し、ズリを運搬するダンプトラックのすれ違いが困難な箇所があった。その解決策として、幅が約0.8 mで狭隘な場所にも設置可能で、平面と高さ方向の変曲点で乗継ぎが不要な密閉式吊下げ型コンベアを採用した¹⁾。その結果、ズリ運搬の効率と安全の確保を両立している。

3. 照明機器を活用した安全対策の概要

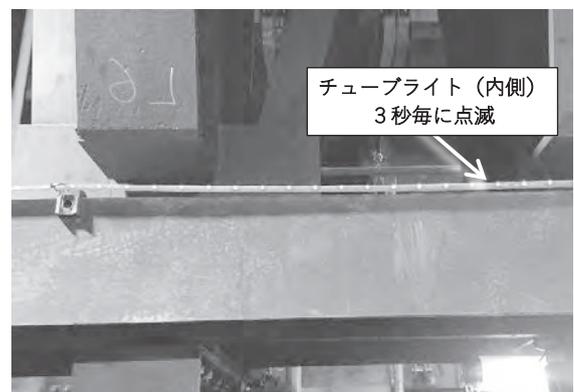
本工事で活用した照明機器は、プロジェクションマッピング、ライン照明（赤線と緑線の機器）、チューブライト（赤・桃・白）である。4種類の事故防止のため、各機器をどのように使用したかについて以下に概要を述べる。

(1) 工事車両とセントルおよびシート張り台車との接触事故防止

工事車両の運転手が、暗い坑内でセントル台車とシート張り台車の位置を確実に把握できるように、セントルおよびシート張り台車の両端部と内側に赤色のチューブライト（φ20 mm）を設置した。工事車両の運転手への注意喚起をより強く図ること、後述する転落防止のチューブライトと区別できるように、3秒毎に点滅する仕様とした（写真一、二、三）。

(2) 工事車両同士の接触事故防止

本工事では工事車両同士の接触防止のため、セントル台車とシート張り台車の両端部および坑内への出入口では、工事車両は一時停止した上でクラクションを2回鳴らすルールとしている。工事車両の運転手の



写真三 セントル台車のチューブライト（内側）設置状況

ルール遵守を確実にするため、プロジェクションマッピングで一時停止マークを、ライン照明で赤色の停止ラインを停止位置に表示した（写真四～六）。プロジェクションマッピングと赤色ライン照明の機器の概要を表一に示す。これらの機器は、防じん・防水仕様のため、湿度60～70%程度のトンネル坑内でも使用可能である。さらに、これらの機器は設置、撤去が容易であり、様々な場所に設置できる。赤色ライン照明の機器を一時停止看板の上端部に設置し、一時停止を明示した事例を写真七に示す。

(3) 工事車両と人との接触防止

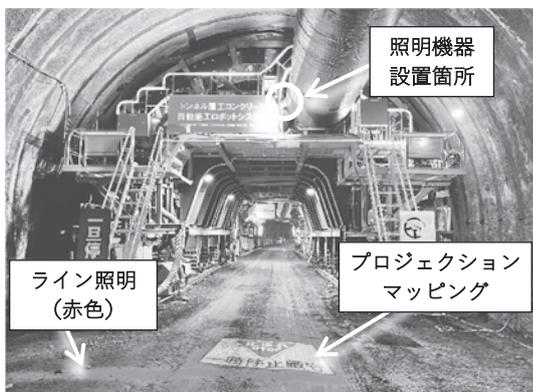
セントル台車とシート張り台車の設置区間では、坑内が狭隘なため、安全通路は各台車の内側に設けている。通常のカラコーンとバーによる安全通路は、台車内側が他の場所より暗いため、工事車両の運転手が安全通路部を視認しにくい。そこで、ライン照明（緑色）のラインで安全通路を表示した（写真八）。安全通路の表示に緑色を選定したのは、赤色を使用している3. (1)～(2)と明確に区別できると考えたからである。ライン照明（緑色）の機器の概要を表二に示す。



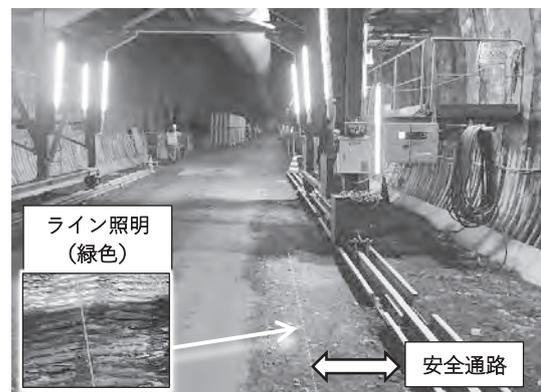
写真一4 プロジェクションマッピングとライン照明（赤色）による一時停止表示（坑内への出入口）



写真一7 一時停止看板にライン照明の機器を設置した事例



写真一5 プロジェクションマッピングとライン照明（赤色）による一時停止表示（セントル台車）



写真一8 ライン照明（緑色）による安全通路表示（シート張り台車）



写真一6 プロジェクションマッピングとライン照明の機器の設置状況（セントル台車）

表一2 照明機器の概要 (2)

種類	寸法 (cm)	重量 (kg)	電源 (V)	有効照射距離 (m)
緑色ライン照明	縦 7.0 横 8.0 奥行き 13.0	0.5	200	1~10

表一1 照明機器の概要 (1)

種類	寸法 (cm)	重量 (kg)	電源 (V)	有効照射距離 (m)
プロジェクションマッピング	縦 33.0 横 23.5 奥行き 41.0	8.5	200	3~25
赤色ライン照明	縦 12.0 横 10.6 奥行き 26.5	2.6	200	3~15

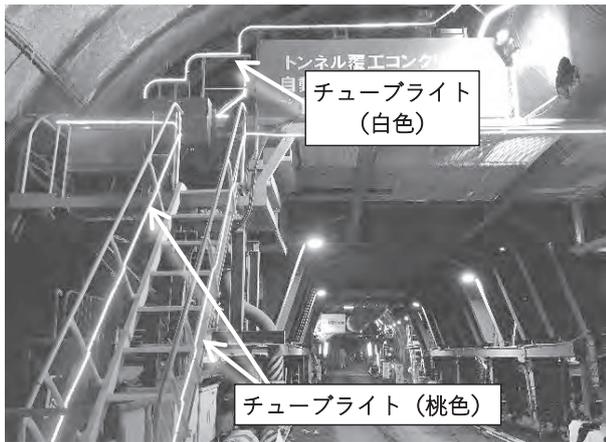
(4) セントル台車からの転落防止

セントル台車は、多数の作業員が毎日昇降階段を利用して作業する。作業員の昇降階段の視認性を向上させるため、昇降階段の手すりに桃色（下部階段）と白色（上部階段）のチューブライト（φ20 mm）を設置した（写真一9）。昇降時に足を踏み外しやすい場所を桃色、手摺が見えにくい場所を白色とし、作業員へより効果的に注意喚起できることを目標とした。

4. 照明機器を活用した安全対策の効果

(1) 工事車両とセントルおよびシート張り台車との接触事故防止

工事車両の運転手に確認した結果、点滅する赤色の



写真一9 昇降階段のチューブライト（下部階段：桃色・上部階段：白色）

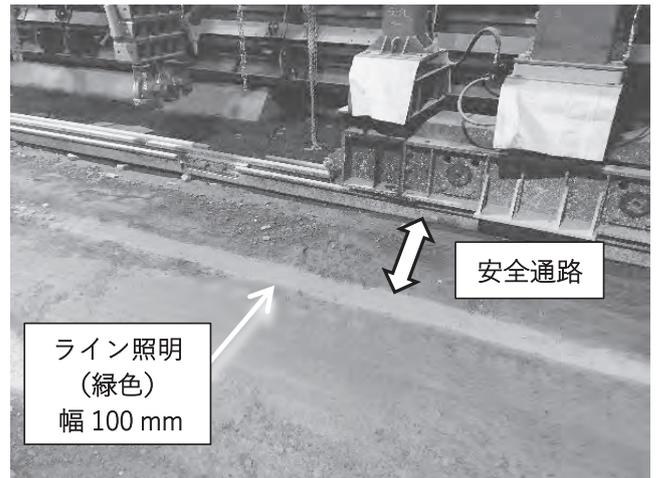
チューブライトは100 m程度離れた位置からでも視認できること、点滅は気づきにつながることを確認された。生コン運搬のトラックミキサの運転手は、当現場に初来場の人もいるが、不慣れな暗い坑内で、セントル台車とシート張り台車の位置が明確に把握できると好評であった。前述のヒアリング結果から、「工事車両の運転手が、暗い坑内でセントル台車とシート張り台車の位置を確実に把握できる」という目的に、有効な対策であると確認された。

(2) 工事車両同士の接触事故防止

工事車両の運転手に確認した結果、プロジェクションマッピングとライン照明（赤色）による一時停止の表示は、暗い坑内で明るく浮き上がって見えて停止位置が把握しやすいこと、車両の通行による汚れや損傷で見えにくくならないことが好評であった。「工事車両の運転手が一時停止する」という運転手のルールを確実に実施させるのに有効であった。

(3) 工事車両と人との接触防止

工事車両の運転手と作業員に確認した結果、ライン照明（緑色）による安全通路の表示は、視認しやすく安全につながるとの評価であった。一方、ライン照明（緑色）は、ラインの幅が20 mm程度のため、幅が100 mm程度の一時停止用のライン照明（赤色）に比べ、目立たないとの意見もあった。そして、より視認しやすいように、現状の20 mm程度よりも太くて色の濃いライン照明を取り入れる改善をすれば有効との改善案も提示された。これらの意見をもとに、幅100 mm程度のライン照明（緑色）機器を導入して使用を開始した（写真一10）。幅が大きく増加したことで視認性が向上し、実用的になったと、工事車両の運転手と作業員から評価されている。



写真一10 改善したライン照明（緑色）による安全通路表示（セントル台車）

(4) セントル台車からの転落防止

作業員に確認した結果、昇降階段の手すりに設置した桃色（下部階段）と白色（上部階段）のチューブライト（φ20 mm）は、足元と手元の照明の補助となっており、作業員の昇降階段の視認性の向上に有効との評価であった。さらに、階段の昇降時に作業員の視線を誘導することで安全な昇降につながっているとの意見もあった。

5. HUD を活用した安全システム

(1) HUD を活用した安全システムの開発経緯

筆者らは、見落としや思い込みなどのヒューマンエラーに起因する労働災害の防止を目的として、安全支援システム「セーフティリマインダー」の開発を進めてきた。このシステムは、現場内の要注意箇所にビーコンを事前に設置し、作業員がビーコンに接近した際に、作業員が所持するスマートフォンから、安全指示事項を音声と画像で伝達する。これにより、現場内の要注意箇所で作業員に気づきを与えて、ヒューマンエラーを防止する。これまでの使用実績から、作業騒音の大きな現場やトンネル坑内を走行する重ダンプの運転席などでは、スマートフォンの音量が不足するため、本システムを用いて安全指示事項を伝達することが困難であることを確認している²⁾。そこで、安全指示事項を視覚的に伝達する手段について検討を行った。

その結果、近年乗用車などで採用されているHUDを使用して、工事車両の運転手に安全指示事項を伝達する方法を採用することとした。HUDは、乗用車などのフロントガラスに速度などの情報を映写するもので、近年採用が進んでいる。運転手は、フロントガラスから視線を移動させずに情報を得ることができた

め、運転時の利便性と安全性の向上が期待されている。

今回、工事現場で使用する様々な車両(ダンプトラック、トラックミキサなど)に適用できるように、後付け可能な試験機を制作し、新小仏トンネルで基礎的な性能を確認した。以降、HUDを活用した安全システムの概要、基礎的な性能の確認結果を述べる。

(2) HUD を活用した安全システムの概要

(a) システムの概要^{2), 3)}

本システムは、要注意箇所に設置するビーコン、工事車両に搭載する HUD で構成される。各ビーコンには、事前に番号を設定する。次に、HUD にビーコン毎に映写する画像を事前に設定する。例えば、1 番のビーコンの電波を受信すると、HUD は「止まれ」の画像を映写する (図-2)。

(b) HUD

工事車両のフロントガラスに安全情報を映写する HUD は、様々な工事車両へ後付け可能なこと、設置・撤去が容易なことを考慮して寸法、構造を検討して試験機を制作した。HUD 試験機 (以降 試験機) は、ビーコンの電波の受信部、受信した電波を判断し映写する画像を選定する制御部、画像映写部から構成されている。試験機の概要を表-3に、外観を写真-11に示す。

(c) ビーコン^{2), 3)}

本システムでは、要注意箇所に接近したことを、Apple 社の iBeacon 技術を利用して検知する。Bluetooth Low Energy を活用した技術であり、通常の Bluetooth と同様に 2.4 GHz の電波帯を使用する。現場での使用時に、コンセントなどの外部電源が不要となるように、バッテリーで稼働するタイプを採用している。現場の粉じん、湿気対策として、防じんケースにビーコンとバッテリーを収容している (写真-12、13)。このため、現場内での設置、移設が容易である。

表-3 試験機の概要

種類	寸法 (cm)	重量 (kg)	電源 (V)	映写能力	
試験機	縦	16.6	0.6	12/24	映写画面の大きさ 縦 約 4.0 cm 横 約 7.0 cm
	横	14.3			
	奥行き	4.8			



写真-11 試験機の外観

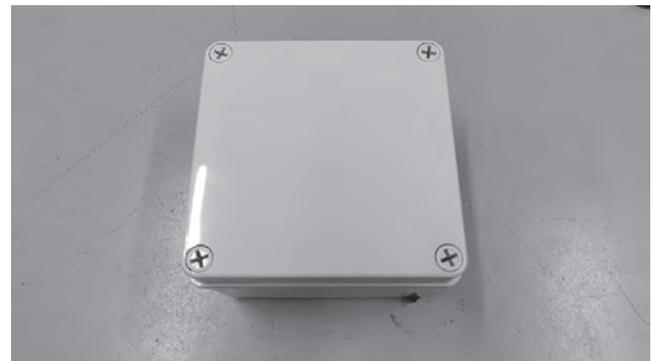


写真-12 ビーコン収納用の防じんケース

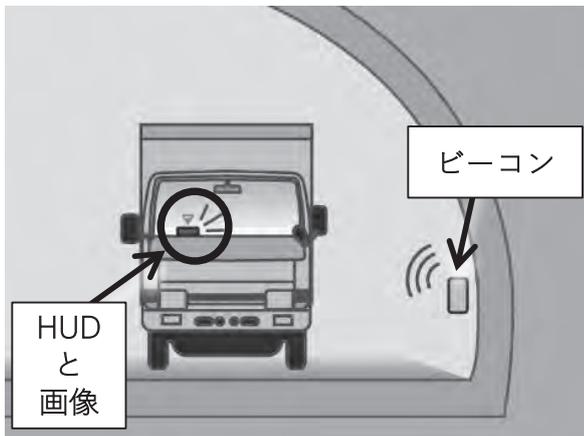


図-2 システムの概要

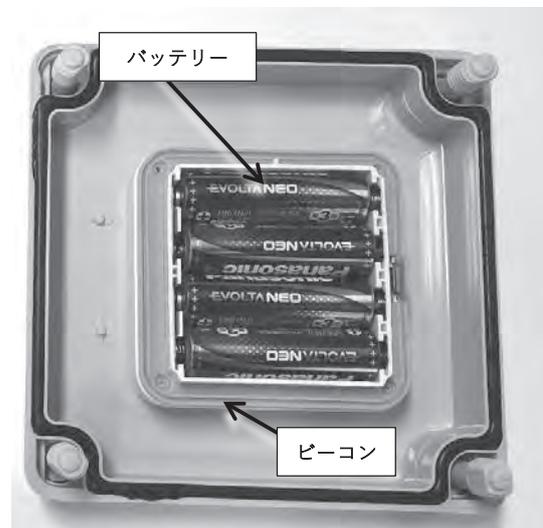


写真-13 防じんケース内のビーコン、バッテリー

(3) 基礎的な性能の確認

(a) 目的

HUD とビーコンを組み合わせた本システムの基本性能を確認するため、新小仏トンネルの坑内にて掘削ズリを運搬する重ダンプで試験運用を行った。今回確認した基本性能を以下に示す。

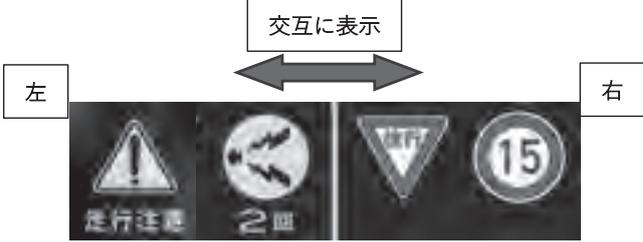
- 1) HUD の工事車両への設置の容易さと走行時に設置した HUD が外れないか
- 2) ビーコンに近接した時に、HUD が確実に映写するか
- 3) フロントガラスに映写した画像が見やすいか

(b) 確認方法

坑内で掘削ズリを運搬する重ダンプ 2 台に試作機を搭載し、ビーコンは坑内の 3 箇所に設置した。ビーコンの番号、設置場所、フロントガラスの映写内容などを表 4、図 3 に示す。フロントガラスの映写内容は、安全看板、プロジェクションマッピング、ライン照明（赤色）で表示している内容とした。

確認する基本性能のうち、1) に含まれる HUD の工事車両への設置の容易さは、試作機を重ダンプに設置する際に、所要時間を計測して確認した。3) に含

表 4 ビーコンの番号とフロントガラスの映写内容

ビーコン番号	場所	状態	フロントガラスの映写内容
-	トンネル内の全線	ビーコンを未検知	<ul style="list-style-type: none"> ・真っ黒な画面に『周辺注意』 
①	インバート栈橋 	ビーコン①を検知	<ul style="list-style-type: none"> ・左と右の表示が、2 秒ごとに交互に表示 左：「走行注意」 + 「クラクション 2 回鳴らせ」 右：「徐行」 + 「制限速度 15km/h」 <p style="text-align: center;">交互に表示</p> 
②	セントル台車 	ビーコン②を検知	<ul style="list-style-type: none"> ・左と右の表示が、2 秒ごとに交互に表示 左：「一旦停止」 + 「クラクション 2 回鳴らせ」 右：「徐行」 + 「制限速度 15km/h」 <p style="text-align: center;">交互に表示</p> 
③	シート張り台車 	ビーコン③を検知	<ul style="list-style-type: none"> ・左と右の表示が、2 秒ごとに交互に表示 左：「一旦停止」 + 「クラクション 2 回鳴らせ」 右：「徐行」 + 「制限速度 15km/h」 <p style="text-align: center;">交互に表示</p> 

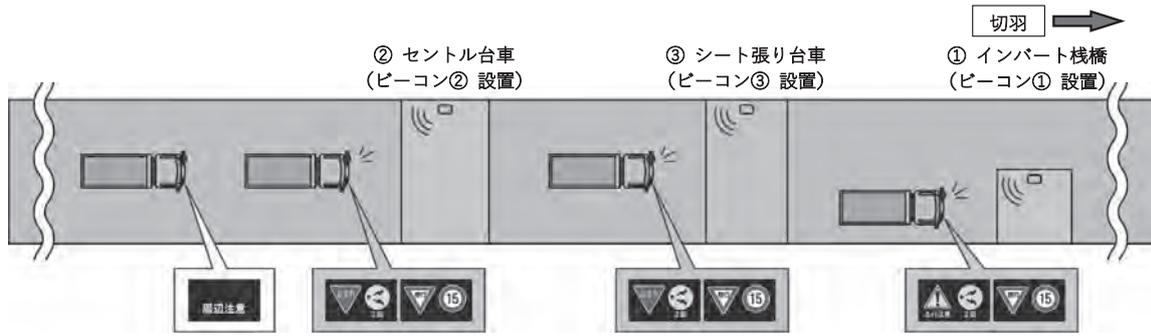


図-3 ビーコンの番号と設置場所の概要

表-5 基本性能毎のヒアリング内容

基本性能	ヒアリング内容
1) HUDの工事車両への設置の容易さと走行時に設置したHUDが外れないか	①使用中に、試験機が外れる、ズレなどはなかったか
2) ビーコンに近接した時に、HUDが確実に映写するか	① HUDは、良いタイミングで作動したか
3) フロントガラスに映写した画像が見やすいか	① HUDの画像は、見やすいか、小さくないか ②使用中に、画像が出ないなどの不具合はなかったか ③この装置は、安全に役立つか ④改善してほしい点は何か



写真-14 試作機の重ダンプへの設置状況

まれる映写した画像の見やすさは、試作機の設置時にテスト映写して鮮明さと明るさを確認した。その他の項目については、作業終了時に運転手にヒアリングで確認した。基本性能毎のヒアリング内容を表-5に示す。

(c) 確認結果

1) HUDの工事車両への設置の容易さと走行時に設置したHUDが外れないか

試作機の重ダンプへの設置には、取付金具を使用した。この金具は事前に設置箇所を計測し、形状と寸法、固定方法を決定した。取付金具を使用しての設置に要した時間は、約10分であった。取付金具を使用した試作機の設置状況を写真-14に示す。

作業終了時に重ダンプの運転手にヒアリングした結果、使用中に試作機が外れる、位置がずれることはなかった。重ダンプは、坑内を走行する際に上下の振動が大きいが、取付金具による固定により、確実に設置できることを確認した。

2) ビーコンに近接した時に、HUDが確実に映写するか

作業終了時に重ダンプの運転手にヒアリングした結果、3箇所を設置したビーコンの全てで、HUDが接近時に毎回作動することを確認した。HUDが作動し

て映写が始まる距離は、ビーコンの手前50m以上であった。今回の試験運用では、セーフティリマインダーでの実績をもとに、30m程度手前で映写が始まるように、ビーコンの電波強度を設定した。試験運用の実績と事前の設定に差が生じた理由として、HUD試作機の電波検知能力がスマートフォンよりも高いなどが考えられるが、今後原因を検証する予定である。

3) フロントガラスに映写した画像が見やすいか

試作機の設置時に重ダンプのフロントガラスにテスト映写し、画像の鮮明さと画面の明るさを確認した。表-4に示す左右の画像が2秒毎に入れ替わる状況で確認した結果、各記号、文字にブレやにじみはなく鮮明で、暗い坑内で浮かび上がって見えることを確認した(写真-15)。

作業終了時に重ダンプの運転手に、表-5に示す①~④についてヒアリングした結果を以下に示す。

① HUDの画像は、見やすいか、小さくないか

今回の試験運用では、HUDの映写位置は、ドライバーが正面を見た時に視界の下方の位置とした。正面に映写すると、走行時に視界を妨げるためである。この映写位置での見やすさについて、ドライバーの意見は肯定的であった。ドライバーの意見として、「要注意箇所に接近時に、画像に気づく程度に視界内に入れ



写真15 フロントガラスへの映写状況

ば良い(ちらりと見れば良い)」であった。一方で、重ダンプは上下動が大きいので、「細かい数字は、全体が上下に揺れているため、読み取れない」との意見もあった。映写する大きさについては、「気づく程度で良い」、「大きい場合は視界の妨げになる」との意見であった。

②使用中に、画像が出ないなどの不具合はなかったか
作業中に画像がでない、遅れが生じるなどの不具合は発生しなかったことを確認した。この結果より、取付金具で確実に設置されている状態では、上下動の揺れが大きな重ダンプの場合も、試作機の作動に問題は生じないと考えられる。

③この装置は、安全に役立つか

ドライバーの意見として、「要注意箇所の近くで、気づくきっかけになる点は良い」との意見であった。また、「画像が入れ替わるので、気づきやすい」との意見もあった。一方、「画面の大きさに対して、映写する内容が小さい」、「映写する内容は、一目で意味のわかる単純な方が良い」との意見もあった。

④改善してほしい点は何か

上述の①、③で述べているように、ドライバーからの改善要望は、「一目でわかる表示内容」であった。今回は、制限速度、徐行は道路標識と同じものを使用した。ドライバーの意見を考慮すると、制限速度の場合は「15 km」のみを表示する方が、ドライバーの要望に合致すると考えられる。

6. おわりに

今回、暗い作業環境の山岳トンネル工事の安全対策に、複数の照明機器を活用した事例を述べた。その結果、坑内で常時作業する作業員、重ダンプの運転手だけでなく、坑内走行の経験が少ない運転手からも高評価を得ることができ、現在まで無事故で工事を進めている。本報告が、山岳トンネル工事の安全対策に活用されれば幸いである。最後になるが、本稿の執筆にあたり、中央自動車道新小仏トンネル工事の関係者には、多大な協力をいただいた。また、HUDを活用した安全システムの開発では、マクセル(株)と丸五ゴム工業(株)の関係者に多大な協力をいただいた。ここに感謝の意を表す。

JICMA

《参考文献》

- 1) 宮瀬文裕, 菊池順, 長尾裕貴, 松浦悠斗, 永尾謙太郎, 菲澤洋平, 前川和彦, 小林綾乃, 新小仏トンネルでの密閉式吊下げ型コンベアの騒音・振動計測について, 土木建設技術発表会 2023, II -01, 2023.11
- 2) 飛田悠樹, 宇野昌利, 宮瀬文裕, 骨伝導ヘッドセットを利用した安全管理システムの開発, 建設機械施工 Vol.74 No.5, pp28-32, 2022.5
- 3) 飛田悠樹, 宇野昌利, 宮瀬文裕, 安全リマインドシステム『セーフティリマインダー』を用いた一歩進んだ安全管理, 建設機械施工 Vol.72 No.3, pp85-90, 2020.3

【筆者紹介】



宮瀬 文裕 (みやせ ふみひろ)
清水建設㈱
土木技術本部 プロジェクト技術部
主査



菊池 順 (きくち じゅん)
清水建設㈱
土木東京支店 横浜土木営業所
工事長



小林 大助 (こばやし だいすけ)
中日本高速道路㈱
八王子支社 八王子工事事務所 小仏工事区
工事長



特定自主検査をご存知ですか？

縄 田 英 樹

1. はじめに

建設業に携わる人なら、建設機械に貼り付けされた「特定自主検査済標章」(図-1)を誰もがご存知であろう。多くの建設現場では、この標章を貼り付けていない建設機械を持込めないように管理しているため、否応なくこの標章を目にすることになるからである。そして、多くの方が「この標章が貼り付けてある建設機械は、定期的な検査・整備が行われているから安全だ」と信用しているのではないだろうか。

そういった認識は大筋で間違いではないが、安全や検査・整備に「絶対」はない。そこで本稿では、特定自主検査(以下「特自検」)制度や特自検の適正な実

施促進に努めている(公社)建設荷役車両安全技術協会(以下「建荷協」)の取組みを紹介しつつ、建設機械の検査・整備を巡る現状と課題について私論を述べることとしたい。

2. 建設業における死亡災害発生状況

建設業における労働災害による死亡者数は、関係者によるたゆみない取組みの結果、長期的な減少傾向にある。しかしながら、「建設機械等」に起因する死亡者数は、全体件数ほどには減少しておらず、ここ数年は毎年35人前後となっている(図-2)。建設業においては、墜落・転落による死亡災害が4割強を占めるため、「起因物」としては足場、屋根等の「仮設物・建築物・構築物等」が最多であるが、「建設機械等」はこれに次ぐ多さなのである。

次に、直近3年間(令和3年~5年)に「建設機械等」を起因物して発生した死亡災害を機械別に見ると、掘削用機械が37.4%と最も多く、次いで整地・運搬・積み込み用機械の22.4%、高所作業車の14.3%、解体用機械の10.2%などとなっている(図-3)。また、同期間に「建設機械等」を起因物として発生した死亡災害の「事故の型」を見ると、「はさまれ・巻き込まれ」

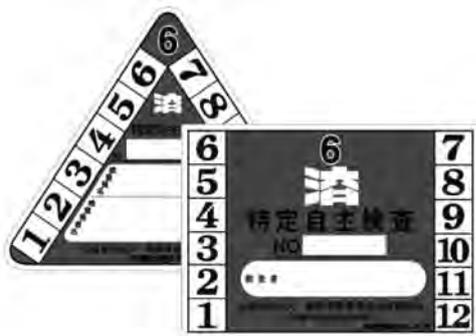


図-1 特定自主検査済標章

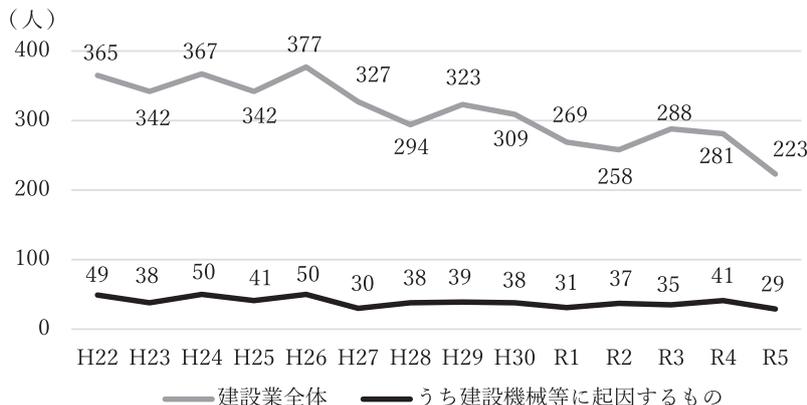
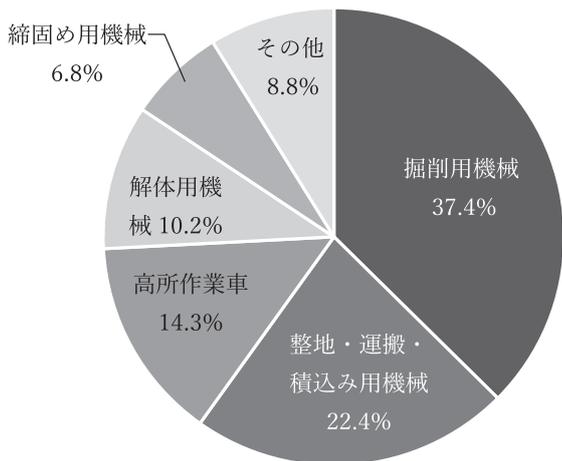


図-2 建設業における死亡災害発生件数



図一 3 死亡災害の機械別発生割合 (R3-R5)

が33.3%と最も多く、次いで「墜落・転落」の23.8%、「激突され」の19.0%などとなっている。

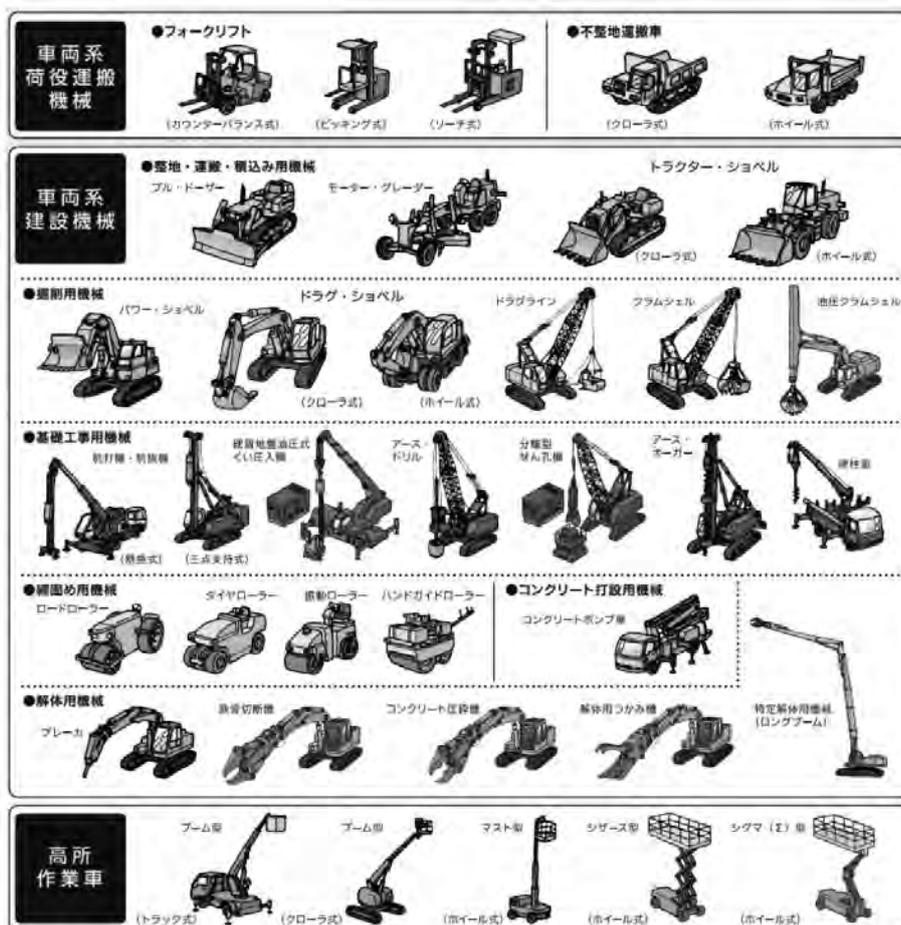
では、これらの死亡災害は、機械本体の欠陥や故障を原因とするものが多いのであろうか。答えは「否」である。死亡災害事例を見る限り、機械のブレーキ不良、安全装置の誤作動といった機械本体に原因のある災害はほとんどない。死亡災害の大半は、作業員の不

注意や作業員間の連携ミス、作業手順の誤り、機械の用途外使用といった、いわゆるヒューマンエラー、行動災害と呼ばれるものである。

3. 特定自主検査 (特自検) とは

近年の技術進歩は目覚ましく、建設機械の信頼性・安全性・耐久性は、かつてと比べると格段に向上している。機械本体の欠陥や故障を原因とする死亡災害がほとんどないことは、今ほど述べたとおりである。しかし、だからといって建設機械の日常点検や月次点検、年1回の特自検の必要性・重要性が薄まることはない。何故なら、建設機械は、掘削・整地・打設・運搬・解体といった機械部の損耗の激しい業務で使用されており、また、その稼働に要するエネルギー量は極めて大きい。定期的な検査・点検を怠ることで機械本体に生じた欠陥や故障を見逃し、結果として大きな事故や労働災害を誘発するリスクは決して小さくないのである。ここに特自検を始めとする検査・点検の変わらぬ重要性がある。

この特自検は、労働安全衛生法令に基づき、建設荷



図一 4 特自検の対象機械 (例)

役車両を扱う労働者の安全を確保するために設けられた制度である。具体的には、図—4に示す油圧ショベルやフォークリフトなど政令で定められた特定の機械等について、事業者は1年に1回（不整地運搬車は2年に1回）定期的に、一定の資格を有する事業所内の検査者（雇用労働者）又は厚生労働省（都道府県労働局）に登録された検査業者による検査を実施しなければならないとされているものである。

また、同法令では、特自検を済ませた機械に、検査済みであることを証する標章を貼り付けなければならないとされている。図—1に示した標章のうち、三角形のものは検査業者による特自検（検査業検査）が終了したことを、四角形のものは建設機械の所有者による自社内での特自検（事業内検査）が終了したことを証している。

建荷協が頒布し、管理している標章は、事実上、業界の統一様式となっており、この頒布数から、稼働中の建設荷役車両の台数が推計できる。図—5に、この標章の頒布数の経年推移を示す。これによると、頒布数は毎年2%程度ほど伸長してきており、令和5年の実績は、検査業者用が約151万枚、事業内用が約69万枚、合計で約220万枚となっている。検査台数の増加は、関係者にとって喜ばしいことだが、人手不足感の強い検査業や建設機械レンタル業においては、適正な業務遂行に対する相応のプレッシャーとなっている側面もある。

4. 適正な特自検の実施促進

建荷協においては、特自検の適正な実施を促進するため、様々な事業を実施している。

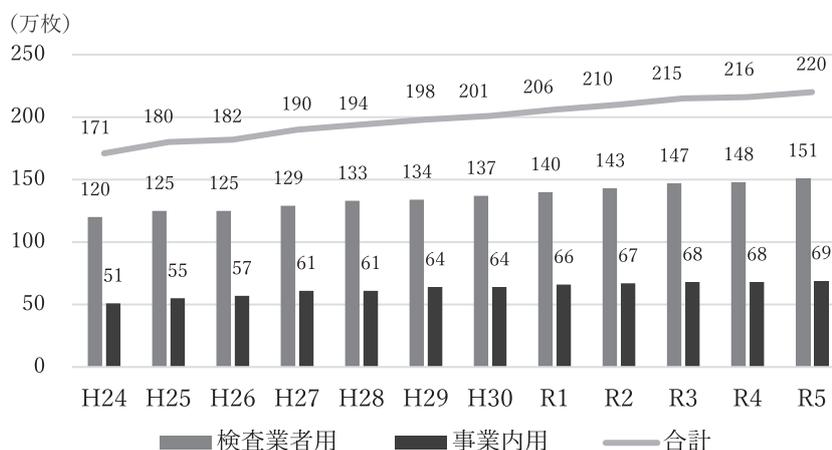
一つめは、特自検を実施する検査員の養成及び資質向上である。建荷協では、検査員の資格を取得するた

めの研修のほか、検査員の能力向上教育、更には特自検業務を適正に実施するための管理者向け研修など各種研修・教育を実施している。全国47都道府県支部で実施している研修・教育の実績（令和5年度）は、受講者数は6,000人を、延べ受講人日は15,000人日を超える規模となっている。

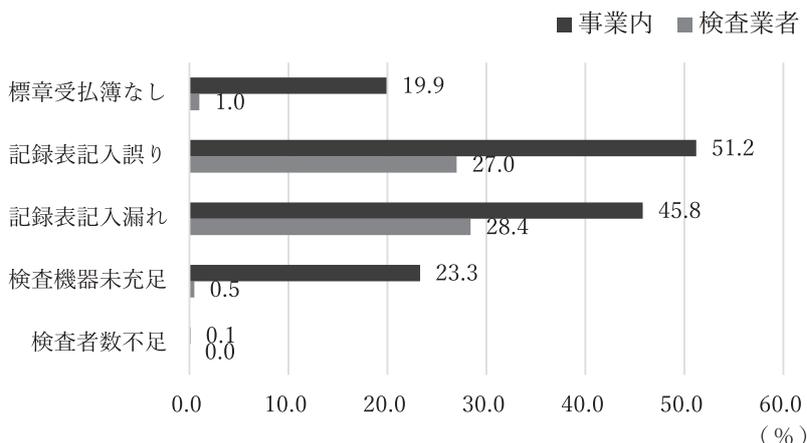
二つめは、普及啓発活動並びに技術情報の提供である。建荷協では、毎年11月を特自検強調月間と定め、厚生労働省・都道府県労働局等のご支援・ご協力を得て、月間中に特自検セミナーを開催するなど、検査業者や建設荷役車両のユーザー向けに周知啓発活動を行っている。また、厚生労働大臣が公示する定期自主検査指針に基づく各種検査業務マニュアル・参考図書等を作成し、頒布している。更には、検査で必要となる機種ごとの基準値をメーカーから聴取し、整理したものを建荷協のHP上で定期的に公開している。

三つめは、巡回指導と称する取組みである。建荷協では、検査業務について優れた技術を有する者を指導員として登録し（全国で約500人）、当該指導員が検査業者や事業内検査者のもとに出向き、検査状況のチェックや検査員のスキル向上に向けた助言指導を行っている。令和5年度に実施した巡回指導件数は1,342事業所であるが、この指導結果を見ると以下のような課題が明らかになっている。

課題の一つは、特自検を実施していない未実施機械の割合が、不整地運搬車で5.0%、建設機械で2.1%と少なからず見受けられることである。もう一つの課題は、検査員は特自検の実施後、検査結果を記録表へ記入することになるが、この際に記入誤りや記入漏れが依然として多いことである（図—6）。多くの場合は、機械の整備や安全性に直接影響を及ぼすようなものではないが、検査員のスキル向上は、継続的に、かつ粘り強く取り組まなければならない課題となっている。



図—5 特定自主検査済標章頒布数



図一六 巡回指導時の事項別指導割合 (令和5年度)

検査業者や事業内検査者には、建荷協が実施する各種教育や巡回指導を活用して検査員の資質向上に取り組んでいただきたいと考えている。

5. 特自検業務の効率化の促進

検査員不足が深刻になってきている中、建荷協では、特自検業務の効率化にも取り組んでいる。特自検として実施した検査結果は、従来、紙媒体の「記録表」に検査員が手書きで記録し、そのコピーを取って正本を依頼者に、副本を検査業者の保管資料としてファイル保存していた。この手書きの業務をパソコンやタブレットで置き換え、記録表を機器によるプリントアウトへ変えたのが、建荷協が開発し、会員に無償頒布している「特定自主検査記録表作成支援ソフト」である。

この支援ソフトを使うことで、記録表の見た目の美しさや保存・記録性が向上することは勿論であるが、最大の特徴は、検査者のうっかりミス或未だ防止するなど、記録表作成を支援する機能にある。例えば、検査員が検査項目間で矛盾する検査結果を入力した場合、支援ソフトはこの誤りを検査員に警告する。また、検査員は、検査結果に基づき依頼者に対して不具合状況や補修箇所を告知し、改善を要請する文書を作成することになるが、支援ソフトは当該文書に盛り込むべき項目を検査結果から抽出して検査員に示してくれる。

令和3年度に開発した支援ソフトは、当初、検査台数の多い18機種28シートで構成されていた。幸いにして多くの検査員からご好評をいただいたこともあり、令和5年度には特自検の対象機械の全てをカバーする33機種56シートに拡大し、さらにソフト自体の利便性を高めた上で、改めて会員に無償頒布している。

6. おわりに

人間はミスをする生き物であり、また、忙しい時には近道行動をしがちである。企業においては、利益や効率性を優先するあまり組織的な不正行為に走り、事件として明るみに出ることもしばしばある。実際、検査業においても、過去10年間に厚生労働省・都道府県労働局から不正検査と認定され、業務停止命令等の行政処分を受けた事案が20件も発生している。特自検がこのような人的、組織的な要因により不正・不適正なものとなれば、建設機械の事故を誘発しかねない。

建設現場の安全管理者には、建設機械の現場への受入れに当たって特自検済標章や点検表をチェックしていただいているが、機械安全を徹底するためには、これだけでは十分でない。より本質的なことは、検査業者や建設機械レンタル業者における検査・整備の水準・精度を上げていくことであり、建設業者としてもこういったことに関心を持っていただくことが重要となる。その上で、建設機械の取引先とは、単に機種や性能、価格などだけでなく、検査・整備に関する技術力や管理体制等についても確認していただければ有難いと考えている。

JICMA

【筆者紹介】

繩田 英樹 (なわた ひでき)
 (公社) 建設荷役車両安全技術協会
 常務理事



ずいそう

人脈を助け、議論を尽くす 「組織人」が「知識人」に脱皮



久武 経夫

2014年4月号の「ずいそう：40年を迎える「都市小屋-集」¹⁾で、様々な立場の方々が集い、語り合う異業種交流の場の紹介をさせて頂いた。10年の月日が経った今回は、「集」のその後と「集」が生み出した「人の繋がり」と「展開」についてお伝えする。

「都市小屋 集&YU」は、「人脈」を通じた「知識」と「人間力」の強化を目的に、130余名の有志が各20万円余を拠出し、東京新橋に開設した2つの「交流サロン」である。「人」が「人」を呼び、50年間に5,000人を超える異業種の方々が出入りされた。

「人が集う」ために、「勉強会」や「趣味」等、様々な会合を企画してきた。

「勉強会」は、まちづくり、環境保全、宇宙、ロボット、情報、流通等、多岐にわたるテーマにて開催された。「趣味の世界」についても、音楽（クラシック、ジャズ、流行歌）、落語、映画、お酒（吟醸酒、ワイン、ベルギービール）等、実に多様なジャンルで開催されてきた。人脈を手繰って様々な分野の第1人者にご参加頂き、時宜を得た話題提供を頂いた。自由な討議が気に入った話者が「サロンの常連」となり更なる活動と人脈の輪を拡げていった。

「議論を尽くす」がサロン勉強会の趣旨である。勉強会の幹事は、時に自身の主旨とは異なる立場に変貌して異論を唱え、会として禍根無い議論を尽くす事に留意した。

「道の駅」の誕生にもサロンのメンバーが関わった。「鉄道には「駅」、道路にも『駅/トイレ』があってもよいのでは。」の発想が「道の駅」、日本トイレ協会の発祥にも繋がったとされている。「町」、「森」、「川」、「海」、「防災」、「健康」、「健寿」等を冠した「駅」の拡がり、都市化で失われた人の繋がり（交流）を取り戻すツールとなる事を期待したい。

「健寿の駅」²⁾も、サロンでの勉強会の成果である。総務省（2010年）、経産省（2012年）、厚労省（2013年）の支援でシステムを構築、町田市等の協力で実証を行い、気仙沼の仮設住宅（2013～2019）、対馬市（2021～2022）等での運用を行った。気仙沼には、「駅」運用支援等で、8年間に80回通わせて頂いた。

「健康」に関連し、最近、歳をとっても働く・社会

貢献を目標とした「健康サポート勉強会」を立ち上げた。「働けるうちはいつまでも」の高齢者の意識（内閣府調査）、人口減への対処からも必須とされることである。「若い方々に働く場を」で高齢者の職を閉ざした「定年制」は欧米では一般化されていない。ご関心をお持ちの方は是非ご参加下さい。

環境問題に関しては、「よこはま川を考える会」、「生き物とまちづくり研究会」、「新エネルギー研究会」等が行われた。前2つの勉強会の創始者が横浜市環境研究所におられた故森清和氏である。コンクリートの堤防で失われた自然の川を取り戻そうという発想で「東京圏の川を考える会-水辺をめぐる産官学交流会」も主宰された。「森」、「川」、「海」の「駅」構想がその思想を継いでいる。

その他、「志」を持った中央官庁の方々集まり「湧志会」、産官学の「社会資本研究会」、ごみ問題を語り合う「ごみ仲間」、情報系では「ニューメディア研究会（300回以上開催/適宜情報系誌に掲載）」、「ICカード研究会（月刊カードウェブに連載）」、「ハイビジョン研究会」、「小惑星捕獲研究会」等、各分野の専門家の横連携の会が続々誕生した。手塚治虫さんの「日本昆虫クラブ」、「日中友好サロン」等もサロンで誕生した集まりである。関心をお持ちの方の参加も期待し、「勉強会」の成果は専門誌等での公知を心掛けた。

2018.7～2020.2には「性能発注勉強会」を開催した。公共事業の発注は1890年会計法施行以来、受注者間の技量差、創意・工夫等を求めず、発注者が仕様、施工法、工程等を提示、応札価格のみで受注者を決定する「仕様発注」方式を原則としてきた。欧米方式の技術競争への転換の可能性を探る「性能発注勉強会」、成果の一部は国土政策研究会発刊の「わが国建設産業の発展のために」³⁾に収納頂いた。

2012～2019の間36回開催した「これからの日本を考える会」は、成果の多くが専門誌等に掲載され、関東大震災100年目の2023年9月には、勉強会成果等を基に「都市防災ハンドブック（<http://www.nts-book.co.jp/toshi-bousai/toshi-bousai.html>）」として発刊、業界誌紙・専門誌等8誌で紹介され、多くの方に評価頂いた。本誌に続き、「都市の強靱化」、「火山」、

「雪」,「宇宙」,「廃棄物資源化」等刊行準備中である。「火山」,「雪」に関しては、「共棲&防災」両面からのテーマとしたい。「出版」を通じて繋がり,集まった情報を更に多くの皆様にお届けしたいと考えている。私が顧問を務めさせて頂いている,前環境大臣の原田義昭氏が立ち上げた「有機系廃棄物資源化協会」の月例会も「異業種交流」を呈し,毎月末に衆議院議員会館の会議室で廃棄物資源化を理論から実践例迄,異業種の方々が自由な議論を戦わしている。環境問題に関して,何らかの社会貢献ができないか,模索中である。

その他,「暮らしの手帳誌」の編集をされていた二井康雄主宰の「流行歌どこまで聴ける会」,日本フィルハーモニーのコンサートマスター石井啓一郎・啓子/ピアノご夫妻を中心とした「クラシックを愉しむ会」,「中川善弘とデキシー生演奏」,日本メンデルスゾーン協会(作家の三田誠広氏が理事長)主催の「サロンコンサート」等,多様な趣味に応じた会も多く企画されてきた。

会場は,2017年に,神保町の「ブックカフェ 20世紀」に移転したが,「これからの日本を考える会」,「日中友好サロン」,「二井サロン」等が引き続き開催されている。

福島原発事故の風評被害払拭を掲げる「被災地の酒を呑む会」,「集」創業50年の記念すべき本日で150回目を迎える。東日本大震災を忘れない毎月11日(土日祝の場合前後の日)に開催,機会を見てご参加を。

縦社会の日本,欧米に比し所属組織外の社会的な連携の「糸」が細いと言われる。組織の中での自己実現,孤軍奮闘では無く,「サロン活動」を通じた組織・社会を有効に活用する「ヒューマンネットワーク/縦・横・斜めの人間関係構築」をお勧めする。

「都市小屋」での交流が「地球レベルでの環境等を語る場」となる事を期待したい。

尚,サロン「集」,国家公務員の参加者の存在を前提に,会費は3,000円を前提としている。足りない「お



写真-1 第140回被災地の酒を呑む会-神奈川新聞井口記者が,40日に及んだ現地取材の報告を-⁴⁾

酒」は,有志の持込で補う。資金拠出は,飲食を含めて此の会費に収める場の確保に必須条件であった⁸⁾。

《参考文献》

- 1) 久武経夫「ずいそう 40年を迎える「都市小屋-集」建設機械施工, Vol.66, No.4, 2014.4, <https://jcmnet.or.jp/bunken/kikanshi/2014/04/077.pdf>
- 2) 岡村宏・米田隆(芝浦工大)・久武経夫「健康寿命延伸のための「健康の駅」について」第53回自動制御連合講演会, 2010.11, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jacc/53/0/53_0_158/_pdf/-char/ja
- 3) 国土政策研究会「わが国建設産業の発展のために」2022.7, https://kokuseiken.or.jp/archives/news_honbu/720
- 4) 災害語り合い140回「備え考える契機に」神奈川新聞, 2024.3.65, 青山俊樹氏(元国土交通省事務次官, 元水資源機構理事長インタビュー)「命を守る」ために事前防災を/2012.1スタートの防災に関わる勉強会での講演内容等をまとめた「都市防災ハンドブック」を2023.9に刊行/勉強会の拠点は神保町の「ブックカフェ 20世紀」月刊下水道, 2023.12
- 5) 牧本谷三「ビジネスマンの社会科=人の「わ」づくり=自主交流のサロンをつくる」日経連タイムス, 1998.4.16
- 6) 「都市小屋に集うサラリーマン群像/お互いの能力を共有しあい/次々に核分裂 新たなサークルが誕生」東京新聞, 1987.1.3
- 7) Tsuneo Hisatake, others 「People Meet to Swap Ideas, Opinions, Inspiration/Different opinions from different walks of life are welcomed here . . .」Japan Times, 1986.4.20
- 8) 国家公務員倫理規程論点整理・事例集(令和5年改訂版) <https://www.jinji.go.jp/content/900020645.pdf>

ずいそう

28年ぶりに道民となり

野田 敏 宏



今の私の趣味は4年前に中古で購入したクロスバイクでのサイクリングだが、趣味として皆さんに語るには経験が浅くこれといったトピックスが無いため、今回は数十年ぶりに道民に復帰となったことで感じた思いを素直に書くこととした。

学生まで札幌市で暮らし就職と共に1992年に上京した私は、埼玉県、東京都、千葉県、茨城県、栃木県、群馬県、2度目の埼玉県と1都5県を営業一筋で渡り歩いてきた。そして2020年4月、28年ぶりに北海道に戻ってきて感じたことは、幼少期に慣れ親しんだ北の大地で、幾多の場面における作業環境の変わりようである。

私の実家は今も札幌市内にあるが、幼少期の頃は家の周りには田畑が多く広がっていた。

時代の流れに沿って札幌市の人口が増え続け、宅地整備が急速に進み戸建て住宅、集合住宅の増加とともに新しい小学校、中学校、高校も増え、昔見た実家周辺の田園風景も一変した。

しかし北海道には依然田畑が多く残っており、北海道は酪農、漁業を含めた第一次産業が日本の食の一端を担っていることは皆さんご承知のとおりと思う。

そんな中、農作業の機械化と大型化への加速は驚かされるものがある。私の幼少期には人が作業する光景を多くみてきたが、今では農作業従事者の高齢化及び担い手不足もあり、人よりも機械が活躍する場面をよく目にする。私が関わっている業界は建設土木が主体であるが、近年のICT化により使用用途も幅広くなってきた。農業に関わる分野でも担い手不足から農業機械の大型化が進み、今まで狭かった幾つもの区画を纏め広げる工事が長期計画として予算化されている。そこにICT機能を搭載した建設機械の活躍の場が近年増えてきている。建設機械関連の会社に身を置く私としては非常に興味深いものである。

また、もう一つ昔と大きく変わったのは雪と建設機械の関わり方だ。北海道は四季がハッキリしており、その四季折々の食と景色が楽しめる観光地である。その中でも冬は地域にもよるが、私が住む札幌市は降雪地域であり幼少期の頃は雪が積もるとよくかまくらを

作り、更に雪かきで集めた雪山でそり滑りを楽しんだことは幼い頃の良き思い出である。

そして成人となり自分自身が自動車を運転するようになってからは、冬の時期が来ると冬タイヤへ交換することが当たり前となっていた。ちょうど私が上京する頃は、スパイクタイヤがアスファルトを削ることによる粉塵問題が大きく取り上げられ、スタッドレスタイヤの着用に変化していく時代であった。春を迎え雪解けが進むと、どんなに晴天であってもどんよりした曇り空のように見え、藻岩山の山頂から市内を一望するとグレー掛かった粉塵の層がはっきり見えていたと記憶している。そんな景色も今では見なくなった。それは道路の除雪、排雪作業が整備されスパイクタイヤでなくても走りやすくなったからだと感じた。当時は除雪も幹線道路が主体であり自宅前の道などは自身で雪はねするか、近所の建材屋さんがタイヤショベルで善意から除雪してくれていたが、今では生活道路はもちろん、個人宅の玄関先まで建設機械で除雪、排雪が行われていることが多くなった。

それだけ住宅が増え昔のように雪捨て場が自宅近くに無くなったことが要因であろう。路肩に積上げられた雪も数年前の災害級の大雪の経験からこまめに排雪



写真—1 私の愛車

されてきており、ここでも建設機械が大きく関わり、活躍している所を目の当たりにした。昔の見方と今の見方の違いもあるかもしれないが、私が関わっている仕事柄興味があることは間違いないことだ。ただ農業分野と同じく作業員の高齢化と担い手不足が進んでいることも確かだ。近年降雪量も地区ごとに変化があるが、除雪、排雪の作業は絶対になくはしない作業であることも明白であり、いかに機械化・ICT化から省力化を推進し人材不足の穴を埋めていけるかが、これからの冬型インフラ整備を支えていく鍵と考えている。

これら各分野の人材不足に加え高齢化社会が現代社会問題に直面している昨今、我々建設機械業界が担う役割は大きいと考える。如何に自分たちの業界がこの北海道での第一次産業と共に一般生活のインフラ整備に関わっているかを考えさせられた帰道となったこと



写真—2 除排雪で活躍する当社製品

は事実である。そしてこれからも幾多の課題に真摯に向き合い間違いなくこの業界で関わっていきましょう。

それだけ重要且つ期待され、そして今後も発展していく建設機械業界であると私は信じている。

—のだ としひろ 日立建機日本(株) 執行役員北海道支社長—



部 会 報 告

住友重機械建機クレーン(株) 名古屋工場 見学会報告

機械部会 基礎工事に用機械技術委員会

1. はじめに

機械部会の基礎工事に用機械技術委員会では、年行事として現場見学、工場見学を毎年実施しております。今回愛知県大府市の住友重機械建機クレーン(株)名古屋工場を見学したので紹介いたします。

参加者は事務局も含めて16名でした。

2. 見学会スケジュール: 令和6年6月5日(水)

- 13:00 大府駅集合
- 13:30 挨拶 会社 工場説明
- 14:00 工場見学
- 15:30 質疑応答
- 16:30 終了

3. 見学会内容

2018年に日立住友重機械建機クレーン(株)から住友重機械建機クレーン(株)へ社名変更しクローラクレーンを主力生産している。

生産拠点は愛知県大府市と愛媛県西条市の二拠点である。

名古屋工場は110,000 m²の面積を有しており、現在、月産30台の生産体制をとっているとの事。

現在の出荷は海外、国内の比率は約6:4で海外比率の方が高く、海外は北米向けが好調である。

現状納期は受注後約1年程度との事でサプライチェーン問題の影響は少ないようであった。

商品ラインナップは23機種あり、その中でも基礎工事専用機械としてはアースドリルのSDXシリーズ3機種がある。また地盤改良機のSGX120S-2や港湾仕様のSQX500HD等の特殊機も取り扱いがある。

4. 工場見学とデモンストレーション

組み立て順に沿ったライン工程を見学した(写真—3, 4)。足回りから上物そして一体にして塗装の工程



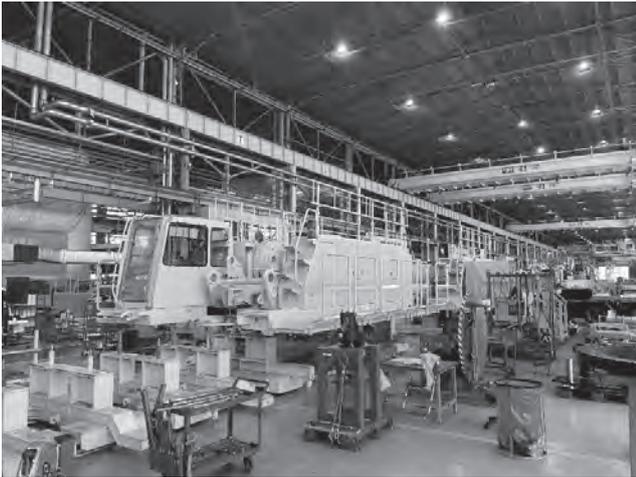
写真—1 クローラクレーン SCX1200-3



写真—2 工場建屋外観



写真—3 組立現場 1



写真—4 組立現場 2



写真—5 記念撮影



図—1 クレーン起立外観検査 C-SAI

までを見学させて頂いた。工場内は整然としており、小さなボルトから組み立て工具に至るまでしっかりと管理されている様子が伺えた。ちなみに建屋内は全てエアコンが装備され、夏季の作業環境もしっかり整っており、屋外作業時は1時間に1回の休憩が決まっている、熱中症対策グッズや休憩室等が充実している。全工場建屋にエアコンを装備したところ離職率が如実に減少したとの事であった。

今後の参考とさせていただきたい。

工場見学のメインイベントとしてクレーン起立外観検査 C-SAI のデモンストレーションを見学した。

クレーン外観検査 C-SAI は稼働現場に則した簡単かつ安全を開発コンセプトとしていて、以下4つの要件を満たす仕様となっている。

1. クローラクレーンの稼働現場に則した仕様
2. 目視同等の画像を撮影する事
3. 事前準備を少なく素早く自動飛行が可能である事
4. 自動飛行の状態を常に監視し異常を即座に検知

起立姿勢のまま約2mの距離を数センチの精度を維持してドローンを自動飛行させ隔々まで撮影し、目視同等レベルの点検を可能とした。

撮影時間は350tつりクローラクレーン SCX3500-3 タワー仕様機で約1時間。お昼休み時間内に点検を終えることが出来て工期に与える影響も飛躍的に削減できるとの事。

最後に住友重機械建機クレーン(株)名古屋工場の皆様には当委員会の見学を快くお受けいただき工場全般丁寧に説明頂いた事に感謝し、厚く御礼申し上げます。

J|C|M|A

【筆者紹介】

織田 秀一 (おりた ひでかず)
 鉦研工業(株)
 営業本部 副本部長
 兼 東日本事業部長
 (一社)日本建設機械施工協会
 機械部会 基礎工用機械技術委員会
 委員



トンネル発破作業の自動化・遠隔化技術

伊藤 良介

国土交通省では発破の自動化・遠隔化技術を新技術導入促進のテーマとして設定し、当該技術の開発や導入促進のための方策が検討されている。当協会は、新技術導入促進機関として業務を実施しており、令和4年度に開催した勉強会では、山岳トンネルの発破掘削における現状と課題や、国内外における自動化・遠隔化技術の開発状況を整理した。本稿では現行の発破作業における課題と、国内外で開発されている自動化・遠隔化技術の一部を紹介する。

キーワード：トンネル，発破，切羽，自動化，遠隔化

1. はじめに

山岳トンネルの発破掘削では、切羽鏡面の直近において爆薬の装填や結線等の人力作業が行われるため、切羽鏡面からの肌落ちにより作業員が被災しやすい状況にある。図—1¹⁾はトンネル工事における肌落ち災害の発生状況を図示したものである。トンネル工事では爆薬の装薬や結線等の一連の発破作業以外にも、支保工建込み、吹付けコンクリート等の様々な作業があるが、そのうち肌落ちにより被災する割合が多い作業が支保工建込みと装薬であることが示されている。また肌落ち災害の発生場所としては、切羽周辺で発生することがほとんどであることが分かる。

このような背景のもと、国土交通省では発破の自動化・遠隔化技術を新技術導入促進のテーマとして設定し、当該技術の開発や導入促進のための方策が検討されている。当協会は、新技術導入促進機関として、国土交通省 中国地方整備局より、導入促進のための検討業務を受託しており、令和4年度には、国土交通省等の行政機関や、ゼネコン、建機メーカー、火薬メー

カー、各種業団体からなる勉強会を開催し、山岳トンネルの発破掘削における現状と課題や、国内外における自動化・遠隔化技術の開発状況を整理した。

本稿では、当該勉強会で整理された、発破掘削における現状や国内外での取り組み状況について紹介する。

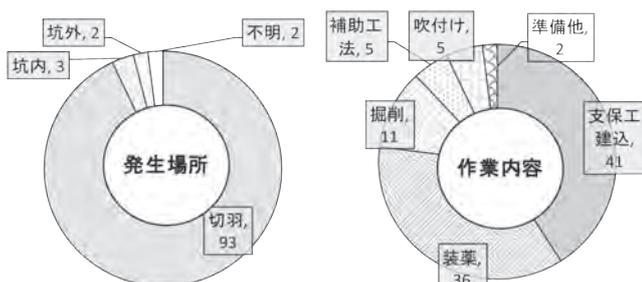
2. 従来のトンネル発破作業における課題

山岳トンネルにおける発破作業は、(1) 削孔位置のマーキング、(2) 装薬孔の削孔、(3) 装薬孔の清掃、(4) 装薬、(5) 結線、(6) 点火の順に行われる。このうち(2) 装薬孔の削孔については、ドリルジャンボの普及により、作業員が切羽直近で削孔作業を行うことはほとんどなくなった(図—2²⁾)。また、コンピュータジャンボ(写真—1³⁾)の普及などにより、(1) マーキング作業が省略されることも多い。一方で、(3) 装薬孔の清掃、(4) 装薬、(5) 結線については、切羽(鏡面)直近での人力作業となっており(写真—2⁴⁾)、これらの作業の自動化・遠隔化が安全上の課題となっている。

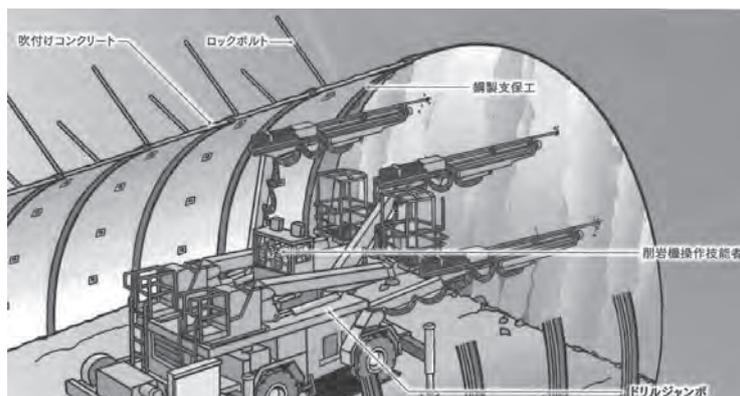
3. 国内外における開発動向

前章で課題として述べた、装薬孔の清掃、装薬、結線作業に対して、ゼネコンやメーカー各社によって、自動化・遠隔化に向けた取り組みが進められている。

装薬孔の清掃作業では、エアー駆動のドリルの回転により、切羽から1m程度の離隔を確保した上で小石を除去できる装置が開発されている(写真—3⁵⁾)。また、装薬作業についても、写真—4⁴⁾に示すような



図—1 切羽における肌落ち災害の発生場所と作業内容の内訳¹⁾



図一 2 ドリルジャンボによる装薬孔の掘削作業²⁾



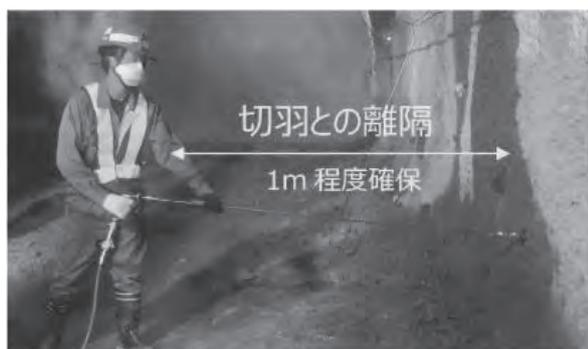
写真一 1 コンピュータジャンボによるブーム制御³⁾



写真一 4 爆薬の遠隔装填⁴⁾



写真一 2 人力による装薬作業⁴⁾

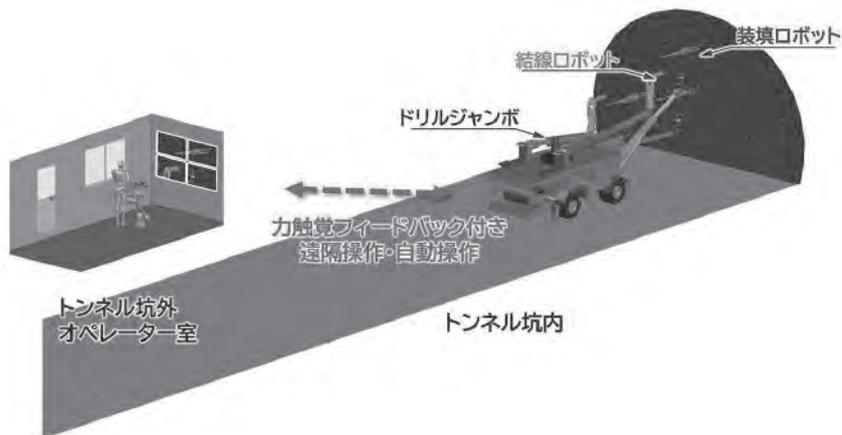


写真一 3 遠隔での装薬孔の清掃⁵⁾

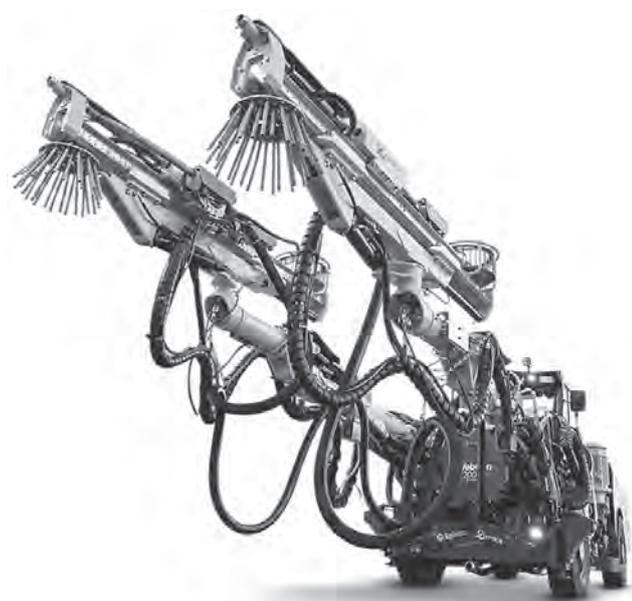
装填機械が開発されている。この機械は、手元のリモコンを操作することで爆薬をエア圧送するため、切羽から 1.5 m 程度離れた位置から作業を行える。いずれの機械も、従来は切羽に密着して行う必要があった作業が、ある程度の離隔を確保できるようになるため、肌落ち等のリスクを低減できる。

結線作業については、勉強会（令和 4 年度）時点では、具体的な取り組み内容は出なかったが、例えば、遠隔で力触覚を再現する技術（リアルハプティクス[®]）を用いて、結線用のロボットを遠隔で操作する技術の開発が進められている（図一 3⁶⁾）。一方、内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）では、雷管の結線作業そのものを省略する技術として、無線電子雷管の開発が進められている。両技術とも、実用化されれば切羽直近での人力による結線作業が完全に不要となると考えられる。

発破作業の自動化・遠隔化の取り組みは、海外でも進められている。Epiroc 社の Avatel[™]（図一 4⁷⁾）は、装薬孔の削孔から装薬作業までの全ての作業を遠隔から行える技術である。また、雷管には無線電子雷管である、Orica 社の WebGen[™]（図一 5⁸⁾）を使用するため、結線作業も不要となっている。ただし、これら



図一三 自動火薬装填・結線システムイメージ⁶⁾



図一四 Avatel™⁷⁾



WebGen™ 200

図一五 WebGen™⁸⁾

剤を混合することによって爆薬としての機能を発揮する。混合前の材料は爆薬としての機能は持たないため、移送から装薬前までは、爆発の危険が無く、安全性が高い。しかし、日本の火薬取締法においては、装薬孔で材料を混合して爆薬化することが、製造行為とみなされるため、火薬類製造保安責任者の資格保有者を常駐させる必要があり、火薬製造許可申請などの各種手続きも必要となるため、国内のトンネル現場で使用するには超えるべきハードルが非常に高いのが現状である。

4. おわりに

令和4年度の勉強会では、山岳トンネルにおける発破作業において、従来手法の安全上の課題を整理し、現在開発・実証が進められている、発破作業の自動化・遠隔化技術についての知見が得られた。今後、これらの技術の導入を進めていくためには、メーカーや施工業者による取り組みはもちろんだが、開発中の技術に対して、トンネル工事を想定した法規制・法解釈の整理・検証、フィールド実証のための現場提供、各種技術基準等への反映といった、行政サイドによる働きかけも重要である。当協会は、令和5年以降も中国地方整備局より業務を受託しており、現在は、現存技術や開発中の技術をとりまとめるとともに、新技術を運用する際に反映が必要な技術基準や法令上の課題等を整理し、ガイドラインとして取りまとめるため、各種検討を実施しているところである。これにより、各種技術が広く周知され、技術の開発促進や導入促進がなされることが期待される。

JICMA

の技術をそのまま日本で活用することは難しい。その理由の一つとして、本技術がバルクエマルジョン爆薬の使用を前提としていることが挙げられる。バルクエマルジョン爆薬は、海外の発破作業においては多く使用されている爆薬であり、装薬孔にて、中間体と発砲

《参考文献》

- 1) 厚生労働省：山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドラインの解説（平成30年1月改正版）
平成30年1月（<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000149309.html>）
- 2) 日本建設業連合会：施工がよくわかるイラスト土木入門 第1版 P.50, 令和4年12月
- 3) 鹿島建設㈱ 東日本大震災における鹿島の取組み 白井地区道路工事, 令和6年7月5日時点（https://www.kajima.co.jp/tech/c_great_east_japan_earthquake/deconstruction/deconstruction11/index.html）
- 4) ㈱熊谷組 技術研究報告 第73号 復興道路工事における新技術への取り組み－爆薬の遠隔装填システムと中流動コンクリートの適用－ P.79, 平成26年12月（<https://www.kumagaigumi.co.jp/tech/research/item/KTRR073-311.pdf>）
- 5) 大成建設㈱ トンネル発破掘削時の装薬孔内清掃器具を開発, 令和6年7月5日時点（https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/210512_8239.html）
- 6) ㈱大林組 山岳トンネル掘削作業における自動火薬装填システムの開発, 令和6年7月5日時点（https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20230912_1.html）
- 7) Epiroc Avatel, 令和6年7月5日時点（<https://www.epiroc.com/ja-jp/products/drill-rigs/face-drill-rigs/avatel>）
- 8) ORICA WebGen™ 200 – second generation Wireless Initiating System, 令和6年7月5日時点（<https://www.orica.com/Products-Services/Blasting/Wireless/How-it-works/WebGen-200/webgen-200>）

【筆者紹介】

伊藤 良介（いとう りょうすけ）
 （一社）日本建設機械施工協会
 施工技術総合研究所
 研究第一部



新工法紹介 機関誌編集委員会

04-449	切羽鏡面の吹付けコンクリートのひび割れ検出により肌落ちの予兆を知らせるシステム	奥村組システム計画研究所
--------	---	--------------

概要

厚生労働省では、2024年3月に「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」を改正しており、山岳トンネル工事の切羽における労働災害のより一層の防止を図ることが求められている。同ガイドラインにおいて、肌落ち災害防止対策の実効性をより一層高めるため、最新のデジタル技術などを積極的に活用することが求められており、その一例として、各種センサーを活用した切羽監視・肌落ち検知の取り組みが挙げられている。

これらの背景を踏まえ、当社では、作業員が切羽に近づく場面の切羽画像からAIにより鏡吹付けのひび割れを検出し、肌落ちの予兆を知らせるシステムを開発した。本システムは、撮影機器と解析PCで構成されている（図—1）。撮影機器はカメラとレンズの組み合わせで構成されている（表—1）。解析PCは、撮影画像のサイズ（40MB）、ひび割れを検出する際の撮影画像の分割数（パッチ数）、ひび割れの検出頻度などから必要な処理能力を想定し、仕様を定めている。

本システムでは、撮影する切羽画像に作業員やマンネージが写り込むため、複数のCNN（Convolutional Neural Network）

を適宜用いて切羽鏡面とそれ以外を区別し、検出した切羽鏡面に対しひび割れ検出を行う。ひび割れ検出では、装薬時の雷管の脚線もあわせて検出し、ひび割れとの誤認を防止する。

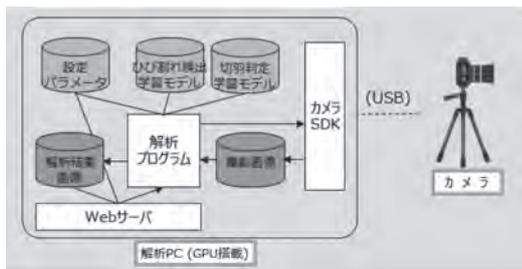
特徴

①切羽鏡面の高精度検出

切羽画像をもとに、画像分割などにより教師データ（1,600枚）を作成し、CNNを用いて学習モデルを作成している。学習モデルの作成では、切羽鏡面の検出精度を高めるため、2種類のCNNを段階的に用いている。これにより、エレクターブームや鏡ボルトなどを誤認することなく切羽鏡面を高い精度で検出することが可能となっている。

②ひび割れの高精度検出

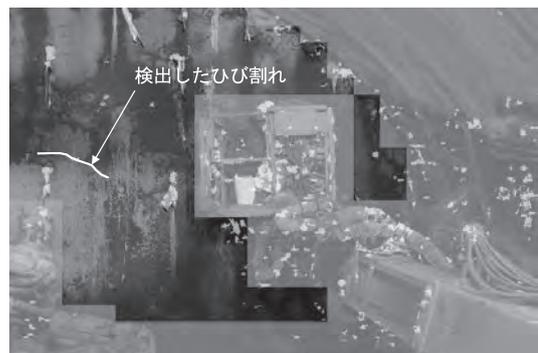
吹付けコンクリート供試体や鏡吹付けに生じたひび割れ画像をもとに、画像分割などにより教師データ（354枚）を作成し、コンクリート構造物のひび割れ検出で実績を有するAIエンジンを用いて学習モデルを作成している。学習モデルの作成では、切羽画像を20×20のパッチ画像に分割し、パッチごとに「ひび割れ」、「脚線」、「ひび割れ、脚線を含まない切羽鏡面」としてラベルを割り当て、AIエンジンに予測させて正解とのずれが少なくなるように学習させている。これにより、81～97%の高い精度でひび割れを検出することが可能となっている（図—2）。なお、検出可能なひび割れ幅は1mm以上であること、ひび割れの検出時間は40～60秒であることを確認している。



図—1 システムの概要

表—1 撮影機器の主な仕様

カメラ		レンズ	
撮像素子	35mmフルサイズ (35.7×23.8mm)	対応撮像画面サイズ	35mmフルサイズ
カメラ有効画素数	約6100万画素	焦点距離	24～105mm
ISO感度	50～102400	画角 (35mm判)	84°～23°
シャッター速度	1/8000-30秒バルブ	開放絞り (F値)	4
連続撮影速度	最高約10コマ/秒	最小絞り (F値)	22



図—2 AI学習モデルによるひび割れ検出の結果

用途

・山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策

実績

・主要地方道山岳トンネル工事（NATM、トンネル延長740m）

問合せ先

（株）奥村組 技術本部 技術研究所

〒300-2612 茨城県つくば市大砂 387

TEL：029-865-1521（代表）

04-467	スマート床版更新 (SDR) システム®	鹿島建設
--------	----------------------	------

▶ 概 要

高度経済成長期に整備された道路橋は、大型車の通行量の増加や凍結防止剤の散布などにより、現在急速に劣化が進行しており、床版取替などの適切な更新が喫緊の課題となっている。一方、道路橋の床版取替工事は供用中の施設を対象としたものであることから、交通規制などによるソーシャルロスを最小限とすることが最重要課題である。このような社会的要請に対応すべく、ソーシャルロスの大幅な低減を可能にしたのが「スマート床版更新 (SDR[®]) システム[®]」である。

本システムは、床版取替にかかわる4つの工程、①既設床版の縁切り・撤去、②主桁ケレン、③高さ調整、④新設床版の搬入・架設の作業を、それぞれ専門の作業班が前進しながら並行して作業する、いわゆる「移動式工場」を目指した施工システムである。①から④までの作業を順々に繰り返していく標準的な工法に対し、各専門班での連続作業が可能となり、工期の大幅な短縮が可能である (図-1)。※ Smart Deck Renewal

▶ 特 徴

①高速

大型クレーンを1台用いた標準的な施工方法に対し、既設床版の撤去から新設床版の架設までの一連作業に要する時間を全断面取替で約1/6、幅員方向分割取替で約1/10に短縮できる。

②安全

既設床版撤去機および新設床版架設機の内部を床版搬出用トラックおよび運搬台車が通過できるため、床版の旋回を伴うクレーン揚重作業が不要である。これにより、最小規制範囲での施工が可能となり、一車線規制による幅員方向分割取替時においても、近接する交通や周辺施設に対する安全性を確保することができる。

③軽量

軽量の床版撤去機および床版架設機を用いることで、大型クレーンを用いる標準的な施工方法と比べ、施工時に機械設備の重量が鋼桁に与える影響を1/2～1/3へ大幅に低減できる。

▶ 実 績

①関越自動車道 阿能川橋 (上り線) (2023年)

関越自動車道関越トンネルの東京方に位置する阿能川橋 (橋長628m) は、供用開始から35年が経過しており、コンクリート床版にひび割れや剥離などが生じていた。2023年にSDRシステムを用いて、写真-1に示すように、床版取替を全断面

で85m実施した (12枚/日の床版を架設)。なお、2024年の2期、3期施工では、延長がそれぞれ約270mと増えるため、1日あたりの架設枚数を増加できることが見込まれる。

②広島自動車道 奥畑川橋 (上り線) (2023年)

広島自動車道 奥畑川橋 (上り線、橋長215m) は、広島市北部に位置する高架橋で、床版下面において漏水やひび割れが生じており、定期点検で床版全体の劣化・損傷が認められたことから床版取替工事が必要となった橋梁である。2023年にSDRシステムを用いて橋長すべての床版取替を全断面で実施した (22枚/日の床版を架設)。

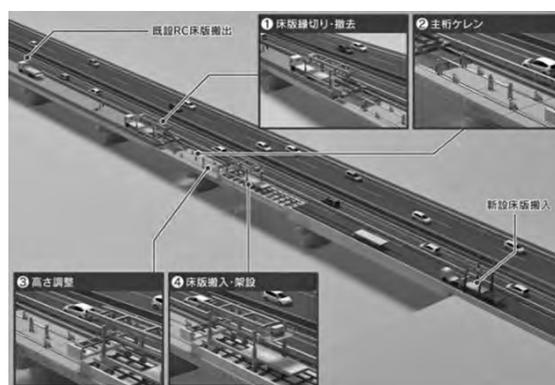


図-1 スマート床版更新 (SDR) システムの概要図



写真-1 SDRシステムの施工状況 (阿能川橋)

▶ 用 途

・道路橋の床版取替工事

▶ 実 績

・関越自動車道 阿能川橋 (上り線)

・広島自動車道 奥畑川橋 (上り線)

▶ 問合せ先

鹿島建設(株)

土木管理本部 土木技術部 リニューアルグループ

〒107-8477 東京都港区元赤坂一丁目3番8号

TEL: 03-5544-1111 (代)

新工法紹介

04-468	濁水処理設備 自動管理システム 「Floc Track」	西松建設
--------	------------------------------------	------

概要

建設現場において、発生した汚濁水は濁水処理設備にて炭酸ガス等による中和処理と PAC（ポリ塩化アルミニウム）等の無機凝集剤と有機系高分子凝集剤による凝集処理を施され、濁度や pH といった環境影響項目の排水基準を満たしてから河川等へ放流される。汚濁水の性状は地質の変化や作業内容によって刻一刻と変化するため、濁水処理設備の担当者は集水された汚濁水の処理状況を現地で定期的に目視点検し、フロックの形成状況（土粒子の凝集状況）や放流槽での濁度や pH を基に各種薬品の添加量を調整する必要がある。特にトンネル現場では湧水が常時発生することが多く、休日でも濁水処理設備は稼働するため、担当者の拘束時間の短縮が課題とされる。

本システムは、濁水処理設備内に配置される原水槽、処理水槽、放流槽から取得できる水質データ（濁度、pH）と、反応槽でのフロックの形成映像を基に、発生した汚濁水に対する各種薬品（PAC、高分子凝集剤、炭酸ガス）の最適な添加量を AI で常に判断し続けて自動で添加することで、担当者の目視確認による拘束時間を軽減することができる（図-1）。また、現場から突発的に大量の汚濁水が発生した場合においても、臨機応変に対応することができる。

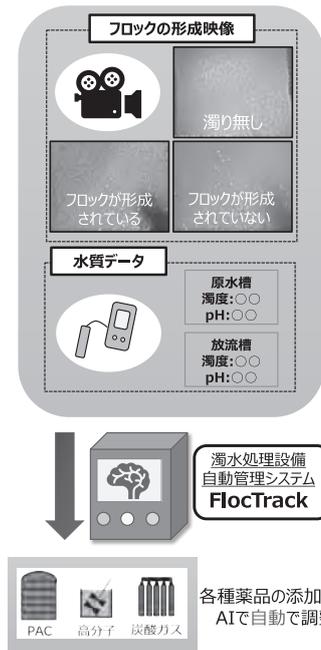


図-1 Floc Track の概要図

特徴

- ① 管理業務の削減による生産性向上
各種薬品の添加量の調整・添加を自動化することで、担当者の夜間や休日における濁水処理設備の管理業務が削減されるため、労働生産性が向上される。
- ② クラウドによる遠隔監視
各水槽の映像データと水質の計測データはクラウドにアップロードされるため、Web 上で遠隔地から設備の稼働状況を監視できる（図-2）。
- ③ AI の再学習による判定精度の向上
クラウドに蓄積されたデータを AI の再学習に活用することで、各種薬品の添加量の判定精度を継続的に向上させることができる。
- ④ 薬品注入ポンプの遠隔操作
各種薬品の添加を遠隔制御することも可能であり、万が一 AI による自動調整ができないケースにも対応することができる。

用途

- ・建設現場に設置される濁水処理設備の管理業務

実績

- ・国内山岳トンネル工事での施工

問合せ先

西松建設(株) 技術研究所
〒105-0001 東京都港区虎ノ門 2-2-1
TEL：03-3502-0247

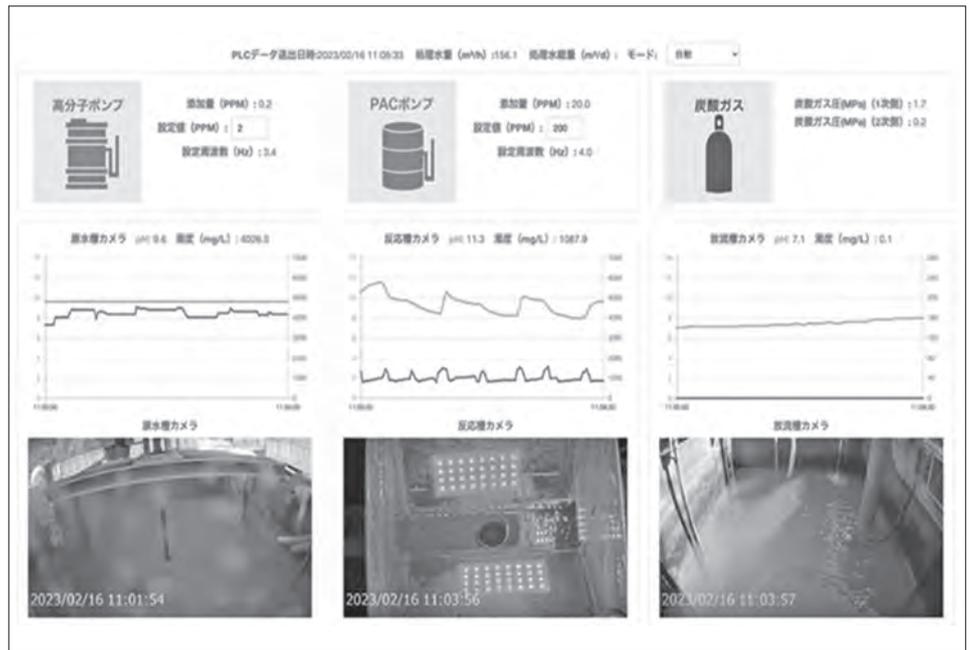


図-2 システム閲覧用の Web ページ

新機種紹介 機関連誌編集委員会

▶ 〈02〉 掘削機械

24-〈02〉-01	日立建機 大型油圧ショベル ZX470-7, ZX530LCH-7	24.4 発売 [新機種]
------------	---	------------------

ZX470-7 と ZX530LCH-7 はオフロード法 2014 年基準に適合した新型油圧ショベルである (写真-1, 2)。

60 t, 80 t クラスに採用されているエンジンを搭載し、自社従来機に比べ燃費性能 11% 向上、作業量 6% 向上している (*1)。

お客様の使用環境に合わせた重掘削仕様 H シリーズ、碎石仕様 R シリーズをラインアップしている。重掘削現場用の H シリーズは、高負荷に耐えられるようにフロントアタッチメントの耐久性を向上、足回りを強化した。また R シリーズは、さらに耐久性を向上するため、フロントに内部溶接・完全溶接を施し、足回りもさらに強化している。

運転席 (キャブ) は、居住空間を拡大した新設計のキャブである。ロックレバーやマルチモニター、各種スイッチなどのレイアウトを改善することで、オペレータの居住性と操作性を向上している。また、キャブ内のモニターで機体周辺の俯瞰映像を確認できる周囲環境視認装置「AERIAL ANGLE®」を標準搭載し、安全性を向上している。

メンテナンス面では、ポンプ室やエンジンヘサイドウォークで容易にアクセスでき、各種フィルタの集中配置と燃料フィルタの集約化で整備性を向上させた。また点検時の転落防止にハンドレールも設置している。

以上のように ZX470-7 と ZX530LCH-7 は、お客様の課題である「安全性向上」「生産性向上」「ライフサイクルコスト低減」に貢献する新型の油圧ショベルである。

※1 自社従来機 ZX470-6, ZX530-6 との比較 (自社テスト基準による)。実作業では作業条件により異なる場合がある。

表-1 ZX470-7 の主な仕様

運転質量	(t)	48.1
エンジン ISO9249 定格出力	(kW/min ⁻¹)	295/1,800
標準バケット容量	(m ³)	1.9
最大掘削半径	(mm)	12,060
最大掘削深さ	(mm)	7,770
全長	(mm)	12,030
全幅	(mm)	3,810
全高	(mm)	3,680
フロント最小旋回半径	(mm)	4,840
後端旋回半径	(mm)	3,680
走行速度 (高/低)	(km/h)	5.5/3.7
価格 (工場裸渡し消費税別)	(万円)	5,180

表-2 ZX530LCH-7 の主な仕様

運転質量	(t)	53.1
エンジン ISO9249 定格出力	(kW/min ⁻¹)	295/1,800
標準バケット容量	(m ³)	1.9
最大掘削半径	(mm)	12,060
最大掘削深さ	(mm)	7,690
全長	(mm)	12,000
全幅	(mm)	3,860
全高	(mm)	3,760
フロント最小旋回半径	(mm)	4,840
後端旋回半径	(mm)	3,680
走行速度 (高/低)	(km/h)	4.3/3.1
価格 (工場裸渡し消費税別)	(万円)	5,942



写真-1 日立建機 ZX470-7 のロングクローラー・重掘削仕様機



写真-2 日立建機 ZX530LCH-7

問合せ先：日立建機(株) ブランド・コミュニケーション本部
 広報・IR 部 広報グループ
 〒110-0015 東京都台東区東上野二丁目 16 番 1 号

建設業における労働災害の発生状況と 災害防止の最近の動き

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、死亡災害については、令和3年から2年連続で増加しましたが、令和5年は墜落・転落災害をはじめ大幅に減少し、過去最少(223件)となりました。休業4日以上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。

本稿では、令和5年の建設業における労働災害の発生状況の特徴を解説するとともに、労働災害防止に向けた最近の動きについて紹介します。

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(図一)

ア 死亡者数

死亡者数の推移については、令和3、4年と2年連続で増加に転じていましたが、令和5年は223人と前年比58人(20.6%)減少となり、過去最少となりました。

建設業の占める割合は、全産業755人に対して29.5%と、3割を下回りました(最近の10年間では3割を超えていました)。

イ 死傷者数

休業4日以上死傷者数の推移については、令和3年は増加に転じましたが、令和4年から2年連続で減少し、令和5年は14,414人と前年比125人(0.9%)減となりました。

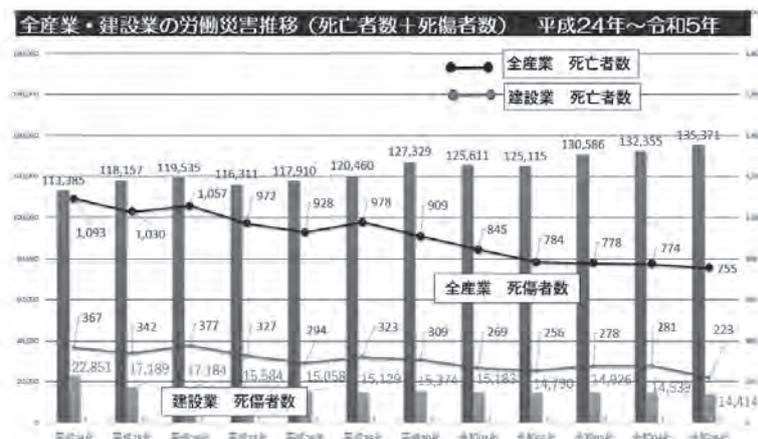
なお、全産業では令和3年から2年連続で増加傾向にあります。このため、全産業135,371人に対して建設業の占める割合は10.6%と、令和4年の11.0%より小さくなっています。

(2) 死亡者数、死傷者数減少の特徴(令和5年を対前年との比較)

ア 建設業の労働災害発生状況の分析等(厚生労働省資料)

厚生労働省発表の「令和5年労働災害発生状況の分析等」(令和5年5月27日発表)によれば、次の囲みの通り、建設業を取り巻く雇用、工事等の状況に触れた上で、建設業の労働災害発生状況について、死亡者数及び死傷者数の増減の特徴を前年比で解説しています。

- ①建設業では、有効求人倍率が依然として高く、人手不足の状況にある。
- ②令和5年の新設住宅着工戸数は、前年比で4.6%減となり、建設工事受注高は前年比で2.7%減となった。
- ③このような状況の中、死亡者数(前年比58人・20.6%減)、死傷者数(前年比125人・0.9%減)ともに減少した。
- ④業種別の死亡者数では、土木工事業が87人(前年比21人・19.4%減、建築工事業で98人(前年比19人・16.2%減)となった。
- ⑤業種別の死傷者数では、土木工事業が3,852人(前年比90人・2.3%減)、建築工事業が7,510人(前年比96人・1.3%減)となった。
- ⑥事故の型別では、依然として死亡者数、死傷者数ともに「墜落・転落」が最多で、全数に占める割合は死亡者数で38.6%、死傷者数で31.6%となった。
- ⑦死亡者数では、「飛来・落下」(前年比5人・31.3%増)が増加した。
- ⑧死傷者数では、熱中症が含まれる「高温・低温物との接触」(前年比74人・31.8%増)が増加した。



図一 全産業及び建設業における労働災害発生件数の推移

イ 死亡者数の事故の型別増減の特徴

事故の型別で大幅に減少しているのは次の通りです（図－2）。

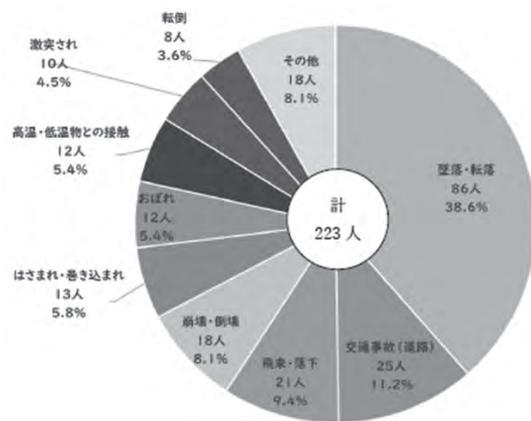
- ①「墜落・転落」：30人減（116→86）
- ②「激突され」：17人減（27→10）
- ③「はさまれ・巻き込まれ」：15人減（28→13）
- ④「崩壊・倒壊」：9人減（27→18）

これに対して、増加しているのは次の通りです。

- ①「飛来・落下」：5人増（16→21）
- ②「交通事故（道路）」：1人増（24→25）

ウ 死傷者数の増減の特徴

減少した主な「事故の型」は、次の通りです（表－1）。



図－2 令和5年死亡災害の事故の型別内訳

表－1 建設業における労働災害発生状況の推移（事故の型別）

		H30	R1	R2	R3	R4	R5
死亡災害		309	269	256	278	281	223
業種別	土木工事業	111	90	101	100	108	87
	建築工事業	139	125	101	132	117	98
	その他の建築業	59	54	54	46	56	38
事故の型別	墜落・転落	136	110	95	110	116	86
	交通事故（道路）	31	27	37	25	24	25
	飛来・落下	24	18	13	10	16	21
	崩壊・倒壊	23	34	27	31	27	18
	はさまれ・巻き込まれ	30	16	27	27	28	13
	おぼれ	13	4	5	10	1	12
	高温・低温物との接触	11	10	9	11	14	12
	激突され	18	26	13	19	27	10
死傷災害		15,374	15,183	14,790	14,926	14,539	14,414
業種別	土木工事業	3,889	3,808	3,933	4,038	3,942	3,852
	建築工事業	8,554	8,417	8,074	7,895	7,606	7,510
	その他の建築業	2,931	2,958	2,783	2,993	2,991	3,052
事故の型別	墜落・転落	5,154	5,171	4,756	4,869	4,594	4,554
	はさまれ・巻き込まれ	1,731	1,693	1,669	1,676	1,706	1,704
	転倒	1,616	1,589	1,672	1,666	1,734	1,598
	飛来・落下	1,432	1,431	1,370	1,363	1,318	1,234
	切れ・こすれ	1,267	1,240	1,257	1,339	1,272	1,234
	動作の反動・無理な動作	875	885	947	981	940	988
	激突され	832	842	791	825	800	781
	高温・低温物との接触	340	238	289	210	233	307

出典：死亡災害報告、労働者死傷病報告

①「墜落・転落」：41人減（4,595→4,554）

②「転倒」：136人減（1,734→1,598）

③「飛来・落下」：84人減（1,318→1,234）

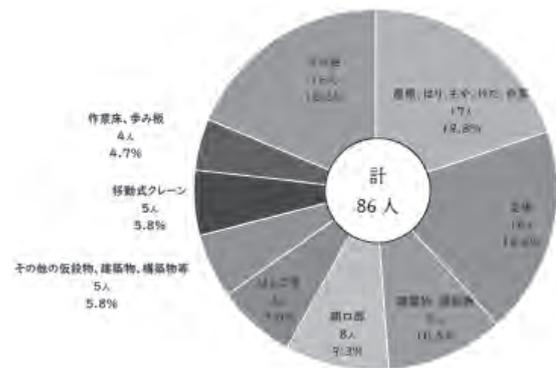
増加した主な「事故の型」は、次の通りです。

- ①熱中症が含まれる「高温・低温物との接触」：74人増（233→307）
- ②腰痛が含まれる「動作の反動・無理な動作」：48人増（940→988）

(3) 三大災害の発生状況

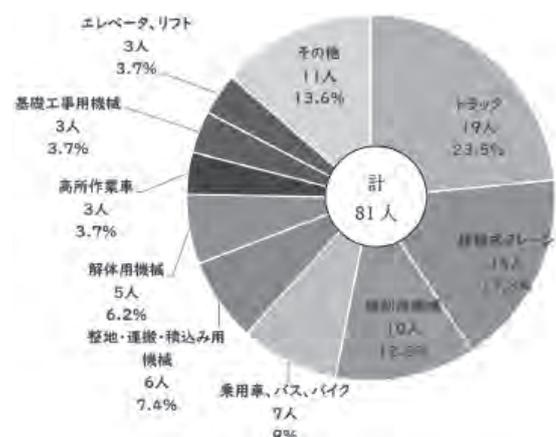
建設業に特有の死亡災害リスクの高い三大災害（墜落・転落災害、建設機械・クレーン等災害、倒壊・崩壊災害）の内訳等の状況（令和5年）は次の通りで、いずれも対前年で大幅に減少しています。

- ・「墜落・転落災害」86人（対前年30人減）
 - ・「建設機械・クレーン等災害」81人（対前年25人減）
 - ・「倒壊・崩壊災害」18人（対前年9人減）
- ア「墜落・転落災害」86人の内訳は、「屋根、はり、もや等」17人、「足場」16人、「建築物、構築物」9人、「開口部」8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－3）。



図－3 墜落・転落災害の内訳（令和5年）

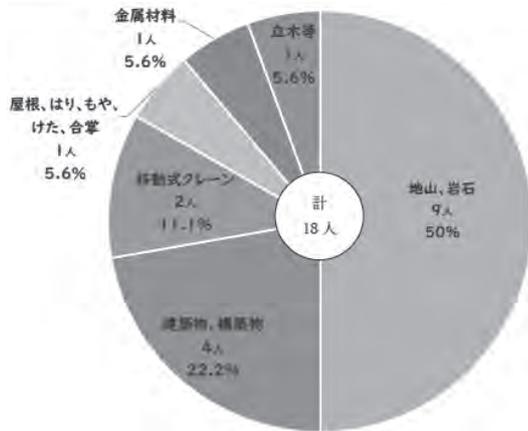
イ「建設機械・クレーン等災害」81人の内訳は、「トラック」19人、「移動式クレーン」14人、「掘削用機械」10人の3種類で約半数近くを占めています（図－4）。



図－4 建設機械・クレーン等災害の内訳（令和5年）

統計

ウ「倒壊・崩壊災害」18人の内訳は、「地山、岩石」9人、「建築物、構築物」4人で4分の3を占めています（図—5）。

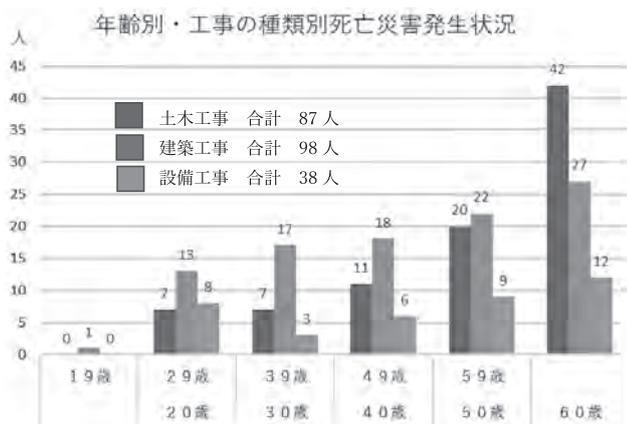


図—5 倒壊・崩壊災害の内訳 (令和5年)

注)「三大災害発生状況」は、「表—4 事故の型別・起因物別死亡災害発生状況 (令和5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。

(4) 年齢別・工事の種類別特徴 (図—6)

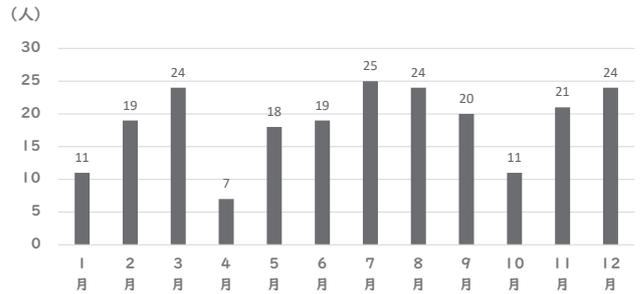
年齢別死亡災害件数 (令和5年) について、60歳以上が81人で全体の36.3%と、他の年代より多くを占めています。特に土木工事においては42人で、60歳以上全体の半数近くを占めています。



図—6 年齢別・工事の種類別死亡災害発生状況

(5) 月別死亡災害発生状況 (図—7)

月別の死亡災害発生状況 (令和5年) については、ばらつきが大きく、1月、4月、10月が7~11件と少ないことを除くと、各月18~25件の状況です。このうち、3月、7月、8月、12月が24件又は25件と多くなっています。



図—7 月別死亡災害発生状況 (令和5年)

表—2 熱中症による死亡災害発生状況

年	建設業	割合	全産業	5月以前	6月	7月	8月	9月
令和5年	12	39%	31	0	1	18	10	2
令和4年	14	47%	30	0	10	9	10	1
令和3年	11	55%	20	1	0	7	12	0

概して、5月~9月の夏から秋にかけて18件以上と多い傾向にあり、熱中症による死者数が建設業で12件と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 (表—2)。

(6) 工事の種類別、事故の型別死亡災害発生状況 (令和5年) (表—3)

ア 土木工事

土木工事87件のうち、「墜落・転落」(19)、「おぼれ」(12)、「交通事故 (道路)」(11)、「飛来・落下」(10)、「崩壊・倒壊」(8)、「高温・低温の物との接触」(7)が7割を占めており、事故の型は多様な状況です。

工事の種類では、「その他土木工事」(36)が最も多く、次いで「道路建設工事」(13)が多い状況です。

イ 建築工事

建築工事98件のうち、「墜落・転落」(51)が半数を占めている他、「交通事故 (道路)」(11)、「崩壊・倒壊」(10)、「飛来・落下」(9)と続き、事故の型は「墜落・転落」が多い状況です。

工事の種類では、「鉄骨・鉄筋家屋建築工事」(39)、「木造家屋建築工事」(12)、「その他建築工事」(40)が多い状況です。

ウ その他の建設工事 (設備工事関連)

その他の建設工事38件のうち、「墜落・転落」(16)が4割程度を占めています。

(7) 事故の型別の起因物別の死亡災害の特徴 (表—4)

ア 「墜落・転落」86件のうち、「仮設物・建築物・構築物等」(62)が多く、そのうち、「屋根、はり、もや等」(17)及び「足場」(16)で約半数を占めています。

イ 「交通事故」25件のうち、「トラック」(16)が6割以上を占めています。

ウ 「崩壊・倒壊」18件のうち、「地山、岩石」(9)が半数を占めています。

エ 「はさまれ・巻き込まれ」13件のうち、「動力機械」(8)及び「物

統計

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5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

Table with columns: 事故の型 (Fall, Collapse, etc.), 工事の種類 (Construction Type), and 計 (Total). Rows include categories like 水力発電所, トンネル建設工事, etc.

表一 事故の型別・起因物別死亡災害発生状況（令和5年）

Table with columns: 事故の型 (Fall, Collapse, etc.), 起因物 (Cause of Accident), and 計 (Total). Rows include categories like 整地・運搬・積み込み用機械, 掘削用機械, etc.

／ 統 計

上げ装置・運搬機械」(4) といった機械装置が大部分を占めています。

オ 「高温・低温物との接触」12 件のうち、「高温・低温環境」(12) で、熱中症が全数を占めています。

カ 「飛来・落下」21 件は、各種の起因物に分散しています。

3. 建設業の労働災害防止に向けた取組等について

建設業労働災害防止協会（以下「建災防」という。）においては、本年度で2年目となる「第9次 建設業労働災害防止5か年計画」(以下「第9次計画」という。)の目標達成に向けて、会員及び協会が取り組むべき労働災害防止のための具体的な措置を取りまとめた「令和6年度建設業労働災害防止対策実施事項」(以下「実施事項」という。)を策定し、基本方針に則り、自主的な安全衛生活動を推進することとしています。



[第9次計画の内容]



[令和6年度実施事項の内容]

実施事項は、次に示す構成・内容により、会員事業場に周知しています。

I 趣旨

II 基本方針

会員及び建災防は、第9次計画及び建設業労働災害防止規程（以下「災防規程」という。）に基づき、基本方針を定め、自主的な安全衛生活動を推進する。

III 会員が実施する重点実施事項

IIの基本方針のもと、それぞれ実情に即した自社の労働災害防止計画を定め、自主的な安全衛生活動を推進する。

1. 第9次計画の周知徹底及び災防規程の遵守の徹底
2. 安全衛生管理体制の確立
3. リスクアセスメントの確実な実施
4. 建設業労働安全衛生マネジメントシステムの導入等
5. 重篤度の高い労働災害を減少させるための重点対策の実施
6. 安全衛生教育の推進
7. 労働者の健康確保対策の徹底
8. 高年齢労働者の労働災害防止対策の推進
9. 職業性疾病の予防対策の徹底
10. 快適な職場環境の形成
11. 安全衛生推進大会等、集合形式の安全衛生活動の推進

IV 建設現場における主要災害防止の具体的対策

会員は、IIIの重点実施事項を踏まえ、次の5つの主要災害防止の具体的対策に基づいて、実効ある自主的な安全衛生活動を実施する。

- IV-1 三大災害絶滅のための具体的対策
- IV-2 その他の災害防止のための具体的対策
- IV-3 職業性疾病予防のための具体的対策
- IV-4 心身の健康確保のための具体的対策
- IV-5 自然災害からの復旧・復興工事における具体的対策

V 建災防が推進する重点実施事項

1. 労働災害防止に係る各種広報・啓発活動の展開
2. リスクアセスメントの確実な実施の促進
3. 建設業労働安全衛生マネジメントシステムの導入促進
4. 重篤度の高い労働災害を減少させるための重点対策の実施
5. 安全衛生教育の推進
6. 労働者の健康確保対策の推進
7. 高年齢労働者の労働災害防止対策の推進
8. ずい道等建設労働者健康情報管理システムの運用による健康確保の推進
9. 創立60周年記念全国建設業労働災害防止大会
10. 建災防が主唱する各種運動
11. 安全衛生調査研究活動の推進
12. 安全衛生活動に対する指導・支援等の推進
13. 高度安全機械等導入支援補助金事業の的確な実施
14. 労働災害防止のためのICT活用データベースの推進

特に、本年度は建設業労働災害防止大会が60周年に当たる年であることから、全国的な安全衛生水準の向上を図るため、10月3日、4日に、東京ビッグサイト、東京国際フォーラムにおいて、「創立60周年記念全国建設業労働災害防止大会」を開催します。全国の建設業の安全衛生担当者に対し、安全衛生意識の高揚、最新の安全衛生情報の提供、効果的な安全衛生管理ノウハウの共有化を図ることとしています。

(60周年記念大会にご関心のある方はこちら)→



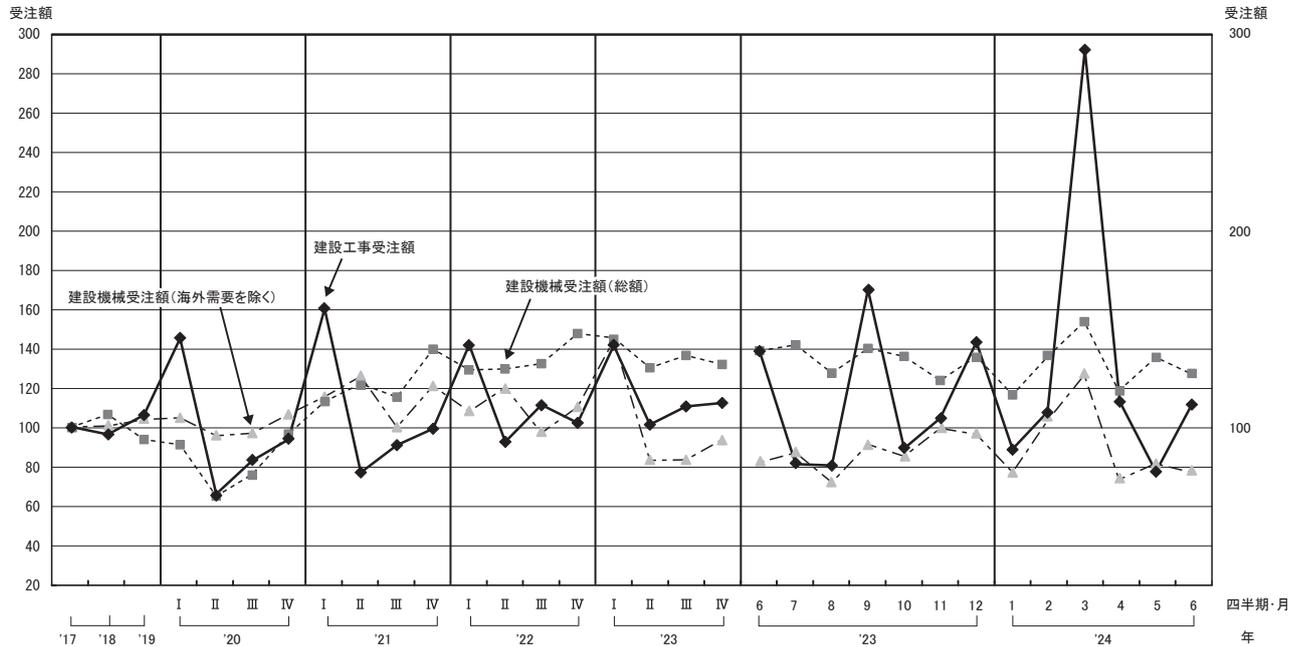
4. おわりに

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り組み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 2017年平均=100)
 建設機械受注額:建設機械受注統計調査(建設機械企業数24前後) (指数基準 2017年平均=100)



建設工事受注動態統計調査 (大手 50 社)

(単位: 億円)

年 月	総 計	受 注 者 別						工 事 種 類 別		未消化 工事高	施工高
		民 間			官 公 庁	そ の 他	海 外	建 築	土 木		
		計	製 造 業	非 製 造 業							
2017 年	147,828	101,211	20,519	80,690	36,650	5,183	4,787	99,312	48,514	165,446	137,220
2018 年	142,169	100,716	24,513	76,207	30,632	8,561	5,799	95,252	46,914	166,043	141,691
2019 年	156,917	114,317	24,063	90,253	29,957	5,319	7,308	109,091	47,829	171,724	150,510
2020 年	143,170	97,457	19,848	77,610	35,447	5,225	4,175	91,725	51,443	171,740	141,261
2021 年	157,839	111,240	22,528	88,713	38,056	4,671	3,874	106,034	51,806	192,900	137,853
2022 年	165,482	119,900	33,041	86,862	33,436	5,252	6,898	114,984	50,496	207,841	130,901
2023 年	172,094	121,790	31,098	90,690	40,060	5,360	4,883	117,929	54,164	217,576	161,186
2023 年 6 月	17,100	12,062	2,801	9,260	3,457	506	1,075	11,401	5,699	215,220	16,006
7 月	9,973	5,877	1,269	4,607	3,360	429	308	5,401	4,572	214,911	9,995
8 月	9,888	7,470	2,331	5,138	1,930	343	146	7,132	2,756	212,974	12,201
9 月	20,973	15,485	2,622	12,863	4,341	643	504	15,905	5,068	216,368	17,673
10 月	10,962	8,266	2,603	5,663	2,197	420	79	8,081	2,881	217,263	11,029
11 月	12,872	9,824	2,094	7,730	2,032	385	631	9,359	3,513	218,161	12,726
12 月	17,660	12,721	6,000	6,721	4,097	379	463	13,002	4,658	217,576	17,838
2024 年 1 月	10,931	7,371	1,467	5,904	2,871	391	298	7,657	3,273	218,177	10,491
2 月	13,237	8,390	2,925	5,465	4,001	365	481	7,965	5,273	219,504	12,360
3 月	36,119	22,688	4,005	18,682	10,808	486	2,137	21,526	14,593	231,850	21,578
4 月	13,894	10,066	2,641	7,425	3,122	443	263	9,326	4,568	233,782	10,214
5 月	9,497	6,682	2,500	4,182	1,846	474	495	6,087	3,410	231,352	11,721
6 月	13,725	9,632	2,221	7,410	2,638	460	995	9,394	4,332	-	-

建設機械受注実績

(単位: 億円)

年 月	17 年	18 年	19 年	20 年	21 年	22 年	23 年	23 年 6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	24 年 1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
総 額	21,535	22,923	20,151	17,646	26,393	29,024	29,315	2,494	2,549	2,289	2,516	2,442	2,221	2,442	2,089	2,451	2,767	2,115	2,434	2,291
海 外 需 要	14,912	16,267	13,277	10,966	18,737	21,816	22,627	2,042	2,070	1,894	2,013	1,973	1,673	1,911	1,665	1,869	2,066	1,712	1,989	1,863
海外需要を除く	6,623	6,656	6,874	6,680	7,656	7,208	6,688	452	479	395	503	469	548	531	424	582	701	403	445	428

(注) 2017 ~ 2019 年は年平均で、2020 ~ 2023 年は四半期ごとの平均値で図示した。
 2023 年 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

(2024年7月1～31日)

機械部会



■除雪機械技術委員会・ロータリ分科会

月日：7月4日(木)(Web開催)

出席者：久末忍リーダーほか4名

議題：①ロータリ除雪車のオプション装備の標準化についての討議：オプション標準化に関する各社の検討結果報告、各社検討結果についての討議、スケジュール、進め方について

■トラクタ技術委員会

月日：7月5日(金)(会議室, Web併行開催)

出席者：大場元樹委員長ほか9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：6月開催ISO11152国際WGの概要報告 ②各社トピックス：日立建機「ホイールローダの自動掘削積込システムの紹介」 ③日本建設機械要覧2025改訂の対応について：修正内容について討議

■基礎工事中機械技術委員会 見学会

新東名高速道路 河内川橋工事の見学

月日：7月10日(水)

参加者：越田健委員長ほか14名

見学内容：日本最大の規模の多径間連続鋼・コンクリート複合バランスドアーチ橋の工事の見学。工事に設置されたインクラインや工事中トンネルの見学

■トンネル機械技術委員会 脱炭素の取組に関する調査WG

月日：7月11日(木)(会議室, Web併行開催)

出席者：椎橋孝一郎リーダーほか13名

議題：①メンバー提出の脱炭素の取組事例の説明と議論 ②今後の進め方について議論

■トンネル機械技術委員会 通信機器、設備に関する調査WG

月日：7月12日(金)(会議室, Web併行開催)

出席者：浅沼廉樹リーダーほか18名

議題：①通信機器、設備に関する技術紹介と意見交換：(株)アクティオの技術紹介、マック(株)の技術紹介 ②WGの運営方法に関する議論

■トンネル機械技術委員会 見学会

釧路コールマイン(株) 旧太平洋炭礦炭鉱展示館 見学

月日：7月18日(木)

参加者：浅沼廉樹委員長ほか19名

見学内容：①釧路コールマイン(株)：日本唯一の坑内掘石炭生産会社で、海底下の採掘現場の見学および坑外施設の見学 ②旧太平洋炭礦炭鉱展示館：太平洋炭礦の歴史とその海底坑内の様子が分かる。海底炭鉱の歴史資料展示、坑内電気機関車・SD採炭切羽模型・コンテナスマイナーなどのミニ坑道などを見学

■ショベル技術委員

月日：7月19日(金)(会議室, Web併行開催)

出席者：安部敏博委員長ほか11名

議題：①各社トピックス：コマツ「FY23事業報告書の要約とIntermat視察報告など」 ②GX建設機械認定制度について：JCMAS H020における試験条件を満たせない場合の対応についての討議 ③「JCMASに基づく「エネルギー消費量試験方法」のISO化」進捗状況の情報と共有：6月開催ISO11152国際WGの概要報告 ④日本建設機械要覧2025改訂の対応について：修正内容の共有と対応について討議

■機械整備技術委員会 見学会

三和エナジー(株) 新狭山バイオプラント 見学

月日：7月22日(月)

参加者：小林一弘委員長ほか8名

見学内容：R6年2月9日に開所した国内最大規模のバイオ燃料の製造プラントの見学

■路盤・舗装機械技術委員会・JCMAS「ロードローラ作業エネルギー消費量試験方法」作成WG

月日：7月23日(火)(会議室, Web併行開催)

出席者：柴田大地WGリーダーほか11名

議題：①JCMAS草案について議論 ②今後の進め方とスケジュールについて議論

■路盤・舗装機械技術委員会・幹事会

月日：7月23日(火)(会議室, Web併行開催)

出席者：美野隆委員長ほか12名

議題：①上期総会の発表内容について討議および発表案件の決定 ②現場・工場見学会の候補地について討議および見学場所の決定

■トンネル機械技術委員会・幹事会

月日：7月24日(水)(会議室, Web併行開催)

出席者：浅沼廉樹委員長ほか10名

議題：①第2回WG活動の報告 ②見学会候補地についての議論：トンネル施工現場の見学候補地について ③技術講演会について講演者選定に関する議論 ④日本建設機械要覧2025改訂の対応について：改訂内容について議論

■原動機技術委員会

月日：7月25日(木)(会議室, Web併行開催)

出席者：工藤陸也委員長ほか22名

議題：①前回の議事録確認 ②国内次期排出ガス規制に関する情報交換：陸内協 別添43改正WGの活動状況の情報共有 ③海外排出ガス規制の動向に関する情報交換：北米の状況について ④カーボンニュートラルに関する情報交換：カーボンニュートラル燃料の動向について、JPECフォーラム 欧米の合成燃料製造プロジェクト動向

■情報化機器技術委員会

月日：7月26日(金)(会議室, Web併行開催)

出席者：白塚敬三委員長ほか6名

議題：①施工現場のDX化(市販の衝突検知システム)に関する情報共有と議論 ②規制・規格の最新情報の共有 ③ICT建機の実機見学会の報告書作成について ④DX推進に関する活動内容抽出の議論

■除雪機械技術委員会・ロータリ分科会

月日：7月31日(水)(Web開催)

出席者：久末忍リーダーほか4名

議題：①ロータリ除雪車のオプション装備の標準化についての討議：オプション標準化に関して仕様変更について討議、国交省への提案内容について討議

標準部会



■ISO/TC 195/SC 1 コンクリート機械委員会

月日：7月4日(木)・5日(金)(予備日)

出席者：川上晃一委員長(日工)ほか16名

場所：機械振興会館会議室及びWeb上(ISO Zoom)

議題：①TC 195 総会 対応協議 ②SC 1 総会 対応協議 ③その他SC 2 総会, WG 9 会議 対応説明 ④次回開催日

程 (8月6日)

■ ISO/TC 127 土工機械委員会 国内委員会 総会

月 日：7月9日 (火)

出席者：小塚大輔 (コマツ) 委員長ほか 32名

場 所：Web上 (Microsoft Teams)

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 2/WG 35 ISO 22543 機械接近通報装置 国際 WG 会議 (ハイブリッド)

月 日：7月9日 (火)～11日 (木)

出席者：米国 Bobcat 社 Spomer コンビナーほか、全10名 (対面)、Web 経由で日本より小塚委員長 (コマツ) ほか、全6名

場 所：米国ミルウォーキー AEM 会議室および Web上 (ISO Zoom)

議 題：①スコープ審議 ②次回開催日程：11月6～8日 (ドイツ・フランクフルト)

■ ISO/TC 82/JWG 4 ISO 3510 遠隔操作式・自律式・有人式の鉱山機械のインターオペラビリティ仕様 / ISO 24446 プラストホルドリル機械の電子操作インターフェースの仕様とマシンコントロールのインターフェース 国際 WG 会議 (ハイブリッド)

月 日：7月15日 (月)～17日 (水)

出席者：Eric Moughler TC 127 国際議長 (CAT 社)、岡ゆかりコンビナー (コマツ) ほか全10名 (対面)、Web 経由で日本より井澤克俊委員 (コマツ) ほか全7名

場 所：オーストラリア・パース市 会議室および Web上 (ISO Zoom)

議 題：① ISO3510 PWI 案文審議 ② ISO24446 PWI 案文審議

■ ISO/TC 195 建設用機械及び装置親委員会

月 日：7月18日 (木)

出席者：佐々木正博委員長 (ファーストグループテクノロジー) ほか16名

場 所：協会会議室及び Web上 (ISO Zoom)

議 題：① 2024 年度 ISO/TC 195 委員委嘱 ② 2024 年4月～6月に開催された WG 会議 (バーチャル・ハイブリッド) の状況報告 ③ TC 195 鄭州国際会議 対応協議

■ ISO/TC 82/JWG 3 ISO 3502 高度自動・自律ソリューション評価の参照枠組み 国際 WG 会議 (ハイブリッド)

月 日：7月18日 (木)・19日 (金)

出席者：日本より岡ゆかりコンビナー

(コマツ) ほか全5名 (対面)、Web 経由で Chris Doran コンビナー (Mitacom 社)、日本より大内委員 (日立建機株) ほか全5名

場 所：オーストラリア・パース市 会議室および Web上 (ISO Zoom)

議 題：①技術報告書 TR 案文審議 ②規格名称を「高度自動・自律ソリューション評価の参照枠組み」に変更 ③今後の予定：10月15日 (韓国)、11月に CD 案文発行予定

■ ISO/TC 127/SC 2/WG 2 ISO 19014 規格群「機能安全」改正 国際 WG 会議 (ハイブリッド)

月 日：7月22日 (月)～25日 (木)

出席者：英国 Camsell コンビナー (CEA)、田中昌也委員 (コマツ) ほか、全16名 (対面)、Web 経由で全5名

場 所：機械振興会館会議室および Web上 (Zoom)

議 題：①第1部、第2部、第4部の DIS コメント審議を完了 ②今後会合予定：9月23～27日 (ドイツ・マンハイム)、11月18～22日 (米国・サンディエゴ)

■ ISO/TC 195/WG 9 自走式道路建設機械 - 安全要求 国際 WG 会議 (ハイブリッド)

月 日：7月25日 (木) 夜・26日 (金) 夜

出席者：小倉公彦 (JCMS 事務局) ほか14名

場 所：ドイツ・フランクフルト VDMA 会議室及び Web上 (ISO Zoom)

議 題：① FDIS 20500-1 ほか 指摘事項対応・HAS コンサルタントとの協議

②次回会合予定 (9月13日 @ 鄭州)

建設業部会

■ 建設業 ICT 安全 WG

月 日：7月26日 (金)

出席者：中野正晴主査ほか7名 (内、Web 参加4名)

議 題：① 9/13 建設業 ICT 安全 WG 見学会準備進捗状況について ②意見公募：自動自律関連意見公募：回転表示灯に対する希望 ③その他 (国交省自動化自律化協議会からのお知らせ)

■ 三役会

月 日：7月29日 (月)

参加者：坂下誠部会長ほか5名

議 題：① 7/26 開催 建設業 ICT 安全 WG 報告 ② 8/23 予定 機電交流企画 WG 報告 ③ 8/29 予定 クレーン安全情報 WG 報告 ④その他

各種委員会等

■ 機関誌編集委員会

月 日：7月3日 (水)

出席者：中野正則委員長ほか26名

議 題：①令和6年10月号 (第896号) 計画の審議・検討 ②令和6年11月号 (第897号) 素案の審議・検討 ③令和6年12月号 (第898号) 編集方針の審議・検討 ④令和6年7月号～令和6年9月号 (第893～895号) 進捗状況報告・確認 ⑤令和7年特集テーマ決定及び900号記念特集の再掲報文選定委員5名選定 ※通常委員会及び Zoom にて実施

支部行事一覧

北海道支部

■ 令和6年度 インフラ DX・ICT 施工推進連絡会

月 日：7月2日 (火)

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36名

内 容：①インフラ DX・i-Construction に関する情報連絡 ②令和5年度インフラ DX・ICT 施工推進連絡会活動報告 ③令和6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6年度インフラ DX・ICT 施工推進連絡会活動計画 (案) ⑤その他

■ 令和6年度除雪機械技術講習会 (第2回)

月 日：7月4日 (木)

場 所：札幌市 (北海道経済センター)

受講者：171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

■ 第2回広報部会広報委員会

月 日：7月29日 (月)

場 所：北海道支部会議室

出席者：村上昌仁広報部会長ほか11名

議 題：①支部だより No.128 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6年度 除雪講習委員会

月 日：7月3日 (水)

場 所：東北地方整備局会議室
出席者：東北地方整備局 遠藤雅司 道路
情報管理官ほか 10 名
内 容：令和 6 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 6 年度 第 16 回 建設技術研修会

月 日：7 月 8 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 26 本を上映
参加者：65 名

■令和 6 年度 i-Construction・インフラ DX セミナー

内 容：①令和 6 年度の ICT 活用工事
東北地方整備局の取組み ②令和 6 年
度の ICT 活用工事 県の取組み ③施
工者による事例発表 ④ ICT 活用工
事の実践(その 1：3 次元計測, その 2：
小規模 ICT 施工, その 3：ICT 建機
施工, その 4：3 次元データの運用と
利活用, その 5：インフラ DX の活用・
活用の要点と技術例紹介)

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宮城会場

月 日：7 月 16 日（火）
場 所：フォレスト仙台
受講者：59 名

②福島会場

月 日：7 月 17 日（水）
場 所：会津アピオスペース
受講者：29 名

③岩手会場

月 日：7 月 19 日（金）
場 所：岩手産業文化センターツガワ未
来館アピオ
受講者：28 名

④秋田会場

月 日：7 月 24 日（水）
場 所：秋田市 秋田県 JA ビル
受講者：21 名

⑤山形会場

月 日：7 月 30 日（火）
場 所：山形市 山形国際交流プラザ
ビッグウイング
受講者：55 名

■令和 6 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 10 日（水）・11 日（木）
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】XR 体験 講師：東北地方整備局

【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

③ 3 回目

場 所：東北技術事務所 研修棟

月 日：7 月 11 日（木）

受講者：20 名

北 陸 支 部

■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 10 日（水）

場 所：北陸技術事務所 1F 大会議室

出席者：堤 機械班総括ほか 11 名及び北
陸技術職員 17 名

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
③専門防災エキスパート業務内容につ
いて ④意見交換

■「ゆきみらい 2025 in 上越」第 1 回事務 局会議

月 日：7 月 11 日（木）

場 所：北陸地方整備局 4F 会議室
+Web

出席者：支部事務局 浦澤, 堤

内 容：①「ゆきみらい 2025 in 上越」
実行委員会規約について ②実施内容
（案）, 役割分担（案）について ③予
算（案）, 会計処理要領（案）につ
いて ④今後のスケジュールについて

■建設機械整備技術委員会 事前打合せ

月 日：7 月 19 日（金）

場 所：北陸地方整備局 5F 企画部打合
せ室

出席者：姫野施工企画課長ほか 6 名

内 容：①整備体制等検討のこれまでの
経緯について ②機械整備契約仕様書
の統一, 書類の簡素化について ③除
雪機械整備実態調査の計画について

■令和 6 年度 第 1 回雪氷部会

月 日：7 月 23 日（火）

場 所：興和ビル 10F 大会議室

出席者：八橋雪氷部会長ほか 12 名

内 容：①令和 5 年度実施報告について
②令和 6 年度事業計画について ③「除
雪車運転操作上達のかんどころ」改訂

について ④除雪講習会及び除雪講習
支援について

■令和 6 年度 施工技術部会 第 1 回建設機 械整備技術委員会

月 日：7 月 23 日（火）

場 所：興和ビル 10F 大会議室

出席者：水澤委員長ほか 14 名

内 容：①令和 6 年度事業計画について
②整備標準作業工数表（除雪機械編）
の改訂の必要性等について ③点検整
備における効率的維持管理について
④除雪機械整備実態調査について

■「ゆきみらい 2025 in 上越」第 1 回実行 委員会

月 日：7 月 31 日（水）

場 所：上越市役所 4F 会議室 +Web

出席者：支部事務局 浦澤（Web 参加）

内 容：①「ゆきみらい 2025 in 上越」
実行委員会規約について ②実施内容
（案）, 役割分担（案）について ③予
算（案）, 会計処理要領（案）につ
いて ④今後のスケジュールについて

中 部 支 部

■令和 6 年度 アスファルト舗装技術に関 する講習会講師協力

月 日：7 月 11 日（木）

場 所：名古屋ガーデンパレス

参加者：約 140 名

講 師：リーグルジャパン(株)シニアプロ
ダクトマネージャー橋本靖彦氏及び(株)
アクティオ道路機械事業部 ICT 営業
部次長日南茂雄氏

■広報部会

月 日：7 月 25 日（木）

出席者：森山幸司広報部会長ほか 6 名

議 題：第 43 号支部ニュース初稿校正

■技術・調査部会

月 日：7 月 29 日（月）

出席者：宮内秀弘部会長ほか 8 名

議 題：令和 6 年度技術講演会及び技術
発表会の開催について等

関 西 支 部

■建設用電気設備特別専門委員会(第 498 回)

月 日：7 月 17 日（水）

場 所：中央電気倶楽部 会議室

議 題：① JEM-TR236（建設工事用
400 V 級電気設備施工指針）審議
② 次の改正審議規格（JEM-TR246）
審議（または新様式について）③そ
の他

中国支部

■第1回企画部会

月 日：7月23日（火）

場 所：広島 YMCA 会議室

出席者：玉田一雄部会長ほか10名

議 題：①令和5年度活動の総括について ②令和6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の見直しと情報伝達訓練について

■第1回開発普及部会

月 日：7月29日（月）

場 所：Web 会議

出席者：松本治男部会長ほか8名

議 題：①令和6年度建設技術講習会実施報告について ②令和6年度建設技術フォーラム取組状況について ③その他懸案事項

■令和6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（水）

場 所：広島 YMCA 会議室

出席者：竹田幸詞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2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ト協会 四国支部，（株）建設マネジメント四国

参加者：共催団体から9社60名，ドローン19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

■建設インフラ DX ソリューションセミナー 2024

月 日：7月17日（水）

場 所：サン・イレブン高松 大・中ホール（高松市）

参加者：100名

主催者：（一社）日本建設機械施工協会 四国支部，福井コンピュータ(株)

内 容：①ICTの活用について ②ICTの活用，そしてBIM/CIMの普及に向けて ③ICT活用工事の留意点について ④3Dプリンタと未来へ!! ⑤FCソリューションのご紹介

九州支部

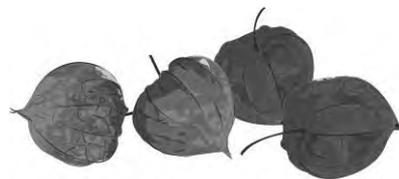
■企画委員会

月 日：7月16日（火）

場 所：宝ビル 1106 会議室

出席者：原尻企画委員長ほか6名

議 題：①令和6年度九州支部主要行事予定について ②令和6年度建設機械施工管理技術検定試験について ③「第2回 JCMA 技術講習会」について ④技術部会からのお知らせ ⑤企画委員会運営要領策定について ⑥支部会員入会情報



編集後記

8月終盤に入ってもなお蒸し暑い日が続いていますが、皆様いかがお過ごしでしょうか。

先日閉幕（本稿執筆当時）したパリ五輪では、多くの日本選手の活躍によって、国外開催における過去最高のメダル獲得となり、列島が大いに沸き立ちました。寝不足を押して連夜観戦、応援された方も多かったのではないのでしょうか。パリの名所や既存の建造物を活用した競技会場が、美しいパリの街並みを借景として、競技に華やかさを加えていたのが印象的でした。セヌ川の水质や選手村の居住環境、メダルの品質など、多少ネガティブな情報もありましたが、自らのパフォーマンスを最大化して多くのメダルを獲得した選手たちの精神力には、感服するしかありません。次のロスアンゼルスオリンピックが既に楽しみです。

9月号は「安全対策・労働災害防止」です。安全対策に関する最新技術、省人化や自動化によって安全性を向上する技術、AIを用いた検知技術など、労働災害を減少させる技術について様々な分野より取り上げました。

巻頭言は、土木学会で安全問題研究委員会の委員長を務めておられる、関西大学総合情報学部の広兼道幸教授にお願い致しました。建設現場では、建設機械と作業員が混在する作業環境が特徴的であり、建設機械に最新技術を装備してリスクを低減させるだけではなく、作業員側からのリスク低減策も重要と提言頂きました。

行政情報では、本年4月から始まったi-Construction 2.0における建設施工の自動化と、ヒューマンエラー防止に関する行政の取り組みについて述べて頂きました。まさに巻頭言とアラインした内容であり、官学の密接な連携を感じた次第です。

技術報文では、様々な分野の執筆者に、安全性の向上、労働災害の低減に資する技術について寄稿頂くことができました。これらの技術が広く施工現場に普及し、労働力不足によるリスクの低減や現場の安全性向上によって、建設現場の魅力がますます増すことを確信しています。

最後になりますが、突然のご依頼にも関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御礼を申し上げます。

(赤坂・山本)

機関誌編集委員会

編集顧問

今岡 亮司	加納研之助
後藤 勇	新開 節治
関 克己	高田 邦彦
田中 康之	田中 康順
中岡 智信	渡邊 和夫
見波 潔	

編集委員長

中野 正則	日本ファブテック(株)
-------	-------------

編集委員

吉田 真人	国土交通省
大津 太郎	農林水産省
内海 友介	(独)鉄道・運輸機構
岡本 直樹	(一社)日本機械土工協会
河原 圭司	鹿島建設(株)
赤坂 茂	大成建設(株)
藤井 攻	清水建設(株)
桐山 茂雄	(株)大林組
出口 明	(株)竹中工務店
宮川 克己	(株)熊谷組
松本 清志	(株)奥村組
京免 継彦	佐藤工業(株)
加取 新	鉄建建設(株)
副島 幸也	(株)安藤・間
松澤 享	五洋建設(株)
那須野陽平	東亜建設工業(株)
佐藤 裕	日本国土開発(株)
丑久保吾郎	(株)NIPPO
室谷 泰輔	コマツ
山本 茂太	キャタピラー・ジャパン
花川 和吉	日立建機(株)
丹治 雅人	コベルコ建機(株)
漆戸 秀行	住友建機(株)
大竹 博文	(株)加藤製作所
田島 良一	古河ロックドリル(株)
鈴木 健之	施工技術総合研究所

事務局

(一社)日本建設機械施工協会

10月号「エネルギー・エネルギー施設特集」予告

・国土交通省における環境政策の動向・取組 ・建設施工分野におけるカーボンニュートラルに向けた取組 ・バイオマスの活用をめぐる状況 ・「ハイドロカット」高い安全性を誇る溶断用混合ガス ・下水熱を利用した低炭素まちづくり ・余剰電力を蓄電池・低圧水素で貯蔵運用する再エネ活用実証 ・建物付帯型水素エネルギー利用システムの開発と展開 ・建設現場におけるCO₂排出量モニタリングシステムの開発 ・1,600t吊 SEP型多目的起重機船「CP-16001」 ・20tクラス バッテリー駆動油圧ショベルの開発 ・有線電動式環境リサイクル機械の紹介と導入事例 ・積雪寒冷地の地域脱炭素を目指したZEBオフィス ・自然エネルギーを最大限に活用した中規模オフィスビルのZEB化 ・CO₂排出量を70%削減した「CUCO-SUICOM ドーム」の試験施工を完了 ・クリーンクリートを発展させたクリーンクリートNを開発し2件適用

【年間定期購読ご希望の方】

- ①書店でのお申し込みが可能です。お近くの書店へお問い合わせください。
②協会本部へのお申し込みは「年間定期購読申込書」に必要事項をご記入のうえFAXをお送りください。

詳しくはHPをご覧ください。

年間定期購読料(12冊) 10,032円(税・送料込)

建設機械施工

第76巻第9号(2024年9月号)(通巻895号)

Vol.76 No.9 September 2024

2024(令和6)年9月20日印刷

2024(令和6)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	〒060-0003 札幌市中央区北三条西2-8	電話(011)231-4428
東北支	〒980-0014 仙台市青葉区本町3-4-18	電話(022)222-3915
北陸支	〒950-0965 新潟市中央区新光町6-1	電話(025)280-0128
中部支	〒460-0002 名古屋市中区丸の内3-17-10	電話(052)962-2394
関西支	〒540-0012 大阪市中央区谷町2-7-4	電話(06)6941-8845
中国支	〒730-0013 広島市中区八丁堀12-22	電話(082)221-6841
四国支	〒760-0066 高松市福岡町3-11-22	電話(087)821-8074
九州支	〒812-0013 福岡市博多区博多駅東2-4-30	電話(092)436-3322

本誌上への広告は  有限会社 サンタナ アートワークス までお申し込み、お問い合わせ下さい。

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-21-5 井手口ビル4F TEL: 03-3664-0118 FAX: 03-3664-0138

E-mail: san-mich@zam.att.ne.jp 担当: 田中

KOBELCO

機械周辺の人を認識して知らせることで 効率よく作業を行える衝突軽減装置



人
検知



検知対象外

※警報・停止機能はモノに
対しては作動対象外です。

広い範囲を監視

“人”を検知して機械を“停止”

※現場の状況により検知精度に影響が出る場合があります。

ミニショベル向け衝突軽減装置

OmniEye®

NETIS登録済

車両搭載可能AIカメラ(KK-200027-VE)



【運転員への警告エリア】
キャノピ:半径2.5m/キャブ:半径2.7m

【周囲の人への警報/機械停止エリア】
キャノピ:半径1.8m/キャブ:半径2.0m

コベルコ建機日本
WEBサイト



コベルコ建機日本株式会社

本社/〒272-0002 千葉県市川市二俣新町17番地 ☎047-328-7111
www.kobelco-kenki.co.jp

V O L V O



Change starts here 変革は、ここから始まる



L25H electric

機械重量：4,920 kg
バケット容量：1.0 m³
バッテリー：リチウムイオンバッテリー
充電環境：車載充電器／外部急速充電器



EC230 electric

機械重量：23,000-26,100 kg
バケット容量：0.48-1.44 m³
バッテリー：リチウムイオンバッテリー
充電環境：車載充電器／外部急速充電器



【GX認定建機】

ECR25D electric

機械重量：2,400-2,510 kg
バケット容量：0.092-0.03 m³
バッテリー：リチウムイオンバッテリー
充電環境：車載充電器／外部急速充電器

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。

山崎マシーナリー株式会社 〒438-0216 静岡県磐田市飛平松216-1
TEL：0538-66-1215

<https://www.y-machinery.jp>

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/>

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

超低騒音型 No.6760



MRH-603DS-SS

NETIS No. KT-190125-VE



MUV-Fe32



MT-e55

NETIS No. KT-210039-A

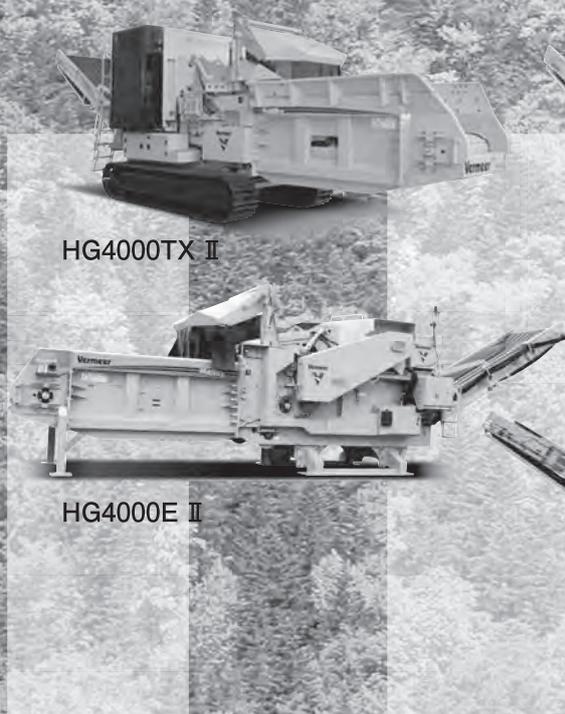
三笠産業株式会社

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)

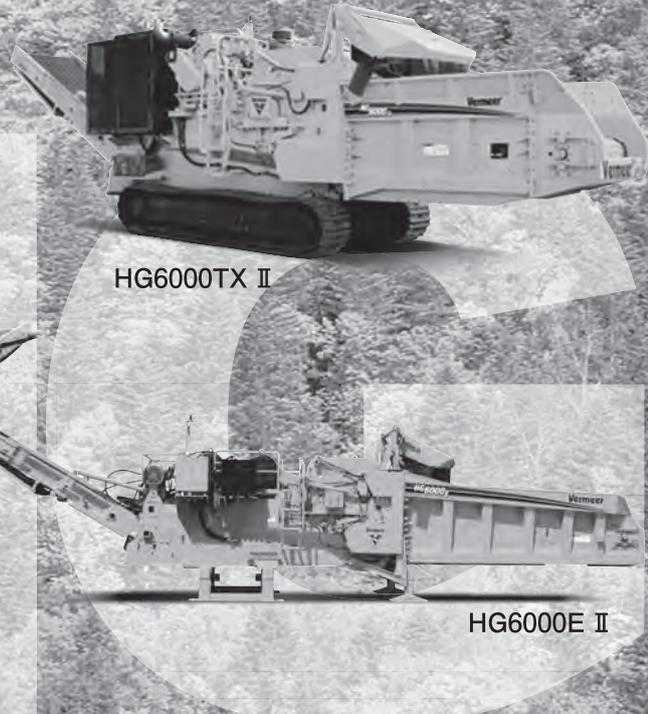
大阪支店 TEL:06-6745-9631	北関東営業所 TEL:0276-74-6452	中国営業所 TEL:082-875-8561	沖縄出張所 TEL:080-1013-9328
札幌営業所 TEL:011-892-6920	長野出張所 TEL:080-1059-2116	四国出張所 TEL:087-868-5111	
仙台営業所 TEL:022-238-1521	中部営業所 TEL:052-504-3434	九州営業所 TEL:092-431-5523	
新潟出張所 TEL:080-1049-0634	金沢出張所 TEL:080-1013-9542	南九州出張所 TEL:080-1013-9547	

マルマテクニカのホリゾントルグラインダー



HG4000TX II

HG4000E II



HG6000TX II

HG6000E II

1台の破碎機でピンチップも切削チップも生産できる!用途別に選べる2タイプ。



破碎部のみの載せ替えが可能!!
様々な用途に1台で対応が可能



特長

- チップサイズは均一で、バイオマス発電向け燃料として実績が多数。
- 新車破碎機の在庫保有と新車の短納期体制で対応。
- 休車時間をなくすため、Vermeer 社破碎機部品の在庫を保有し、即納体制で対応。



マルマテクニカ株式会社

URL <http://www.maruma.co.jp/>

本社・相模原事業所	〒252-0331	神奈川県相模原市南区大野台6-2-1	TEL.042(751)3091	FAX.042(756)4389	E-mail:s-sales@maruma.co.jp
厚木工場	〒243-0125	神奈川県厚木市小野651	TEL.046(250)2211	FAX.046(250)5055	E-mail:atsugi@maruma.co.jp
東京工場	〒156-0054	東京都世田谷区桜丘1-2-22	TEL.03(3429)2141	FAX.03(3420)3336	E-mail:tokyo@maruma.co.jp
名古屋事業所	〒485-0037	愛知県小牧市小針2-18	TEL.0568(77)3313	FAX.0568(72)5209	E-mail:n-sales@maruma.co.jp

敷鉄板洗浄装置 CPW 型



敷鉄板の

洗浄作業の効率化・負担軽減 作業員の安全確保に貢献!



01
POINT

自動洗浄で省人化。人手不足の解消と作業現場の効率化に貢献!

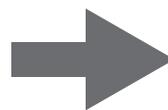
02
POINT

高圧洗浄機の作業をなくし作業員の負担を大幅に軽減!

03
POINT

洗浄時のクレーン作業などの危険を伴う作業を減らし、事故や怪我などのリスクを低減。作業員の安全を確保!

製品の詳細は動画でご覧ください



株式会社 **鶴見製作所**

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

北海道支店：TEL.(011)787-8385
東北支店：TEL.(022)284-4107

東京支店：TEL.(03)3833-0331
北関東支店：TEL.(028)613-1520

北陸支店：TEL.(076)268-2761
中部支店：TEL.(052)361-3000

近畿支店：TEL.(06)6911-2311
中国支店：TEL.(082)923-5171

四国支店：TEL.(087)815-3535
九州支店：TEL.(092)452-5001

www.tsurumipump.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

FA機器の最適無線化提案

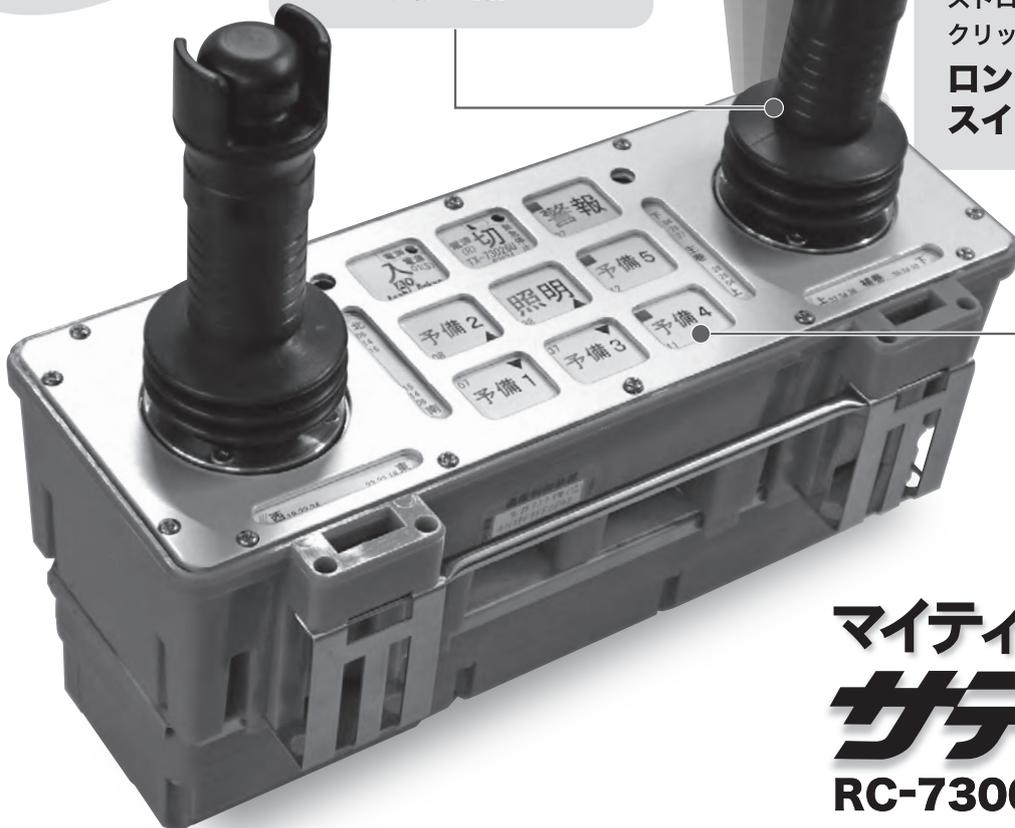
クレーン・搬送台車・建設機械・特殊車両他
産業機械用無線操縦装置

New!

自社開発した
**3ノッチ式
ジョイスティック**
中立位置に自動復帰
する仕様も可能!

自動復帰!

ストロークが深く、
クリックがハッキリ!
**ロングストローク型
スイッチ** を標準採用



マイティ 429MHz帯・1.2GHz帯
特定小電力モデル対応
サテラ
RC-73000U/G シリーズ

スリムケーブルレス 5800シリーズ 好評発売中!

双方向データケーブルレス

緊急停止 スイッチ (オプション)

429MHz帯・1.2GHz帯
特定小電力モデル対応

プッシュロック、
ターンリセット型
キノコスイッチ



クレードルタイプ
充電台対応

2段押3組 標準型

- ・インバーター制御の
クレーンに最適!
- ・クリック感ハッキリの
ロングストローク
スイッチ

429MHz
1216MHzが
同価格!!



《TC-100808S》

- ・見えない機械の制御もフィードバック!
- ・双方向制御がこの1セットで対応可能!
- ・新周波数920MHz帯を採用!



常に半歩、先を走る



朝日音響株式会社

〒771-1311 徳島県板野郡上板町引野字東原43-1 (本社工場) FAX.088-694-5544 TEL.088-694-2411
<http://www.asahionkyo.co.jp/>



無線工事のことならフルライン、フルオーダー体制の弊社に今すぐご相談下さい。また、ホームページでも詳しく紹介していますのでご覧下さい。

朝日音響 検索



MESSE
MÜNCHEN

WELCOME TO JOIN US

International Trade Fair for Construction Machinery,
Building Material Machines, Mining Machines and Construction Vehicles.

bauma CHINA

November 26 - 29, 2024

Shanghai New International Expo Centre



Register Now

to Get Free Admission

Before 15th November 2024

→ www.bauma-china.com

SCAN TO
VISIT



330,000m²

Exhibition Space



3,300+

Global Exhibitors



200,000+

Trade Visitors



150+

Countries & Regions

*the above is the estimated figures of bauma CHINA 2024

Contact: Messe München GmbH | Tel: +49 89 949-11478 | Email: info@bauma-network.com



誰もが安全で健康に働ける 現場を目指して

ICTの進化は、経験値や体力を問わず、

さまざまな人材が現場で活躍できる可能性を広げています。

コマツはICTを通じて、誰もが安全で健康に働ける

未来の現場を目指します。

KOMATSU
Creating value together

コマツカスタマーサポート株式会社 〒108-0072 東京都港区白金1-17-3 Tel.050-3486-7147 <https://kcsj.komatsu/>



雑誌 03435-9



4910034350940
00800

「建設機械施工」

定価 八八〇円 (本体八〇〇円 + 税10%)