令和7年10月25日発行（毎月1回25日） Vol.77 No.10 (No.908)
ISSN 2187−851X

一般社団法人
日本建設機械施工協会誌（Journal of JCMA）

建設機械施工

2025 10

Vol.77 No.10 October 2025（通巻908号）

特集 解体，３Ｒ，建設発生土・廃棄物処理



世界最大級の超大型解体重機を用いた煙突解体

巻頭言 本格化するサーキュラーエコノミー

特集技術報文
- 鉄骨プラズマ切断装置を用いた環境配慮型超高層建物解体工法
- 世界最大級の超大型解体重機を用いた煙突解体
- JIS規格外フライアッシュを用いたCSG配合検討とダム本体への適用
- ハイパースペクトルを用いた災害廃棄物の種類と量の推定
- 廃棄物処理施設整備の最前線　他

行政情報
- 福島第一原発事故で発生した除去土壌等に係る取り組み
- 第五次循環型社会形成推進基本計画

ずいそう
- 歴史街道を歩く
- 未来を予見した50年前の音楽

一般社団法人 日本建設機械施工協会

KOBELCO

Performance X Design

SK160 BLADE RUNNER



大容量チルトアングルドーザ搭載

16トンクラス後方超小旋回ショベル

土砂を押す為の本格ドーザ装着機
押す／均す／法面整形／吊り
重量を生かした転圧とマルチに活躍

詳細はこちら

特定特殊自動車 軽油 排出ガス2014年基準 適合車

超低騒音

2020年燃費基準達成建設機械 ★★★
国土交通省 燃費基準達成建設機械認定制度

コベルコ建機日本株式会社
www.kobelco-kenki.co.jp

本社／〒135-0064 東京都江東区青海1-1-20 ダイバーシティ東京オフィスタワー14階
☎ 03-5579-4490

◆ 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 個人会員係 行

E-mail：k-kaiin@jcmanet.or.jp　　FAX：03-3432-0289　　※原則eメールで送付ください

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　　（ご希望の送付先に〇印で囲んで下さい。）	
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）

〇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。
〇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。
〇会費には機関誌「建設機械施工」の費用（年間12冊）が含まれています。
〇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】

〇個人会員は、定款上、本協会の目的に賛同して入会する個人です。 〇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。
〇会費額は総会の決定により変更されることがあります。 〇次の場合、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。 〇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。 〇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。 〇拠出金の不返還：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下さい。

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

随時受付けます。

★公表の方法

当協会機関誌へ掲載します。

★機関誌への掲載は有料です。

★その他：優秀な論文の表彰を予定しています。

★連絡先

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8（機械振興会館）
日本建設機械施工協会　論文担当
E-mail : ronbun@jcmanet.or.jp
TEL : 03 - 3433 - 1501
FAX : 03 - 3432 - 0289

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

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

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

１．実施スケジュール

（1）　応募期限は、令和7年11月28日（金）まで

（2）　助成対象者の決定通知は、令和8年3月下旬頃

（3）　助成期間は、令和8年度（1年間）

２．対象及び対象者

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

① 建設施工に関する生産性向上

② 社会資本の維持管理・保全に関する生産性向上

③ ①、②に関連するICT・DX分野

【過去の助成事例】

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

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

３．助成金額及び期間等

① 助成金額：1件あたり50万円以内

② 助成期間：1年間（令和8年4月1日から令和9年3月31日まで）

③ 助成件数：5件以内

４．応募

公募の詳細、採択実績等は、本協会HPに掲載しております。

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

令和８年度 日本建設機械施工大賞の公募について

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

令和８年度の表彰につきましても、下記により受賞候補者を公募いたしますので、内容検討の上、奮ってご応募いただきますよう、ご案内いたします。

１．表彰の目的

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

２．表 彰 対 象

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

３．表彰の種類

表彰は、大賞部門と地域賞部門の各部門とも**最優秀賞、優秀賞**とします。

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

受賞者には、賞状及び副賞として、１件につき次の賞金を授与します。

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

４．表 彰 式

本協会通常総会（令和８年６月予定）終了後に行います。

５．応　　募

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

また、大賞部門と地域賞部門の両方へ応募することもできますが、同一内容の業績では、両部門へ重複して応募することはできません。応募の締切は、**令和８年２月27日（金）（必着）**です。

６．選　　考

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

７．そ の 他

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

以上

令和７年度 建設施工と建設機械シンポジウム 開催のご案内

◇ **会　　期**：**令和７年１１月２６日（水）～１１月２７日（木）　（２日間）**

◇ **会　　場**：機械振興会館 研修ー1、2号室、B3－2会議室　（東京都港区芝公園３－５－８）
※　会場に参加できない方は ZOOM での参加が可能です。

◇ **主　　催**：一般社団法人　日本建設機械施工協会

◇ **後　　援**：国土交通省、経済産業省、(国研)土木研究所（予定、順不同）

◇ **趣　　旨**：本協会では、昭和 50 年より建設機械と施工法に関する技術の向上を図ることを目的に、日頃の研究・開発の成果を発表する「建設施工と建設機械シンポジウム」を開催してまいりました。協会といたしましては、建設施工と建設機械分野の産官学の専門家相互の情報交換と技術力研鑽の場として、なお一層ご活用いただけることを期待しております。ご多忙中とは存じますが、ぜひご参加賜りますよう、ご案内申し上げます。

◇ **内　　容**

○ **研究発表**：

論　　文　　３５編

（分野別内訳）

・災害、防災、復旧・復興	２編
・生産性向上、働き方改革	１６編
・維持・管理・補修	５編
・環境対策・カーボンニュートラル	６編
・安全対策・事故防止	３編
・建設ロボット	３編

ポスターセッション　　１１編

（分野別内訳）

・災害、防災、復旧・復興	２編
・生産性向上、働き方改革	２編
・維持・管理・補修	１編
・環境対策・カーボンニュートラル	１編
・安全対策・事故防止	３編
・建設ロボット	１編
・その他建設改革に資する技術	１編

○ **パネルディスカッション**

【11月26日(水)　14:30～16:30　　於 ： B2 ホール】

テーマ　：　街中建設工事の改革　～「隠す」から「見せる」へ～

コーディネーター：建山 和由 氏　（立命館大学 総合科学技術機構 教授）
コメンテーター　：増　竜郎 氏　（国土交通省 大臣官房 参事官（イノベーション）グループ　施工企画室長）
パネリスト　　：可児 憲生 氏　（可児建設株式会社 代表取締役）
善本 哲夫 氏　（立命館大学 経営学部 教授）
岩見 吉輝 氏　（一般社団法人日本建設機械施工協会 業務執行理事）
服部 和樹 氏　（山崎マシナリー株式会社）
北山　孝 氏　（西尾レントオール株式会社 常務取締役）

【11月27日(木) 14:20～16:20　　於 : B2 ホール】

テーマ　:　除雪機械・除雪技術の現状と課題　～地域の安全と物流を守るために～

コーディネーター: 高橋　弘 氏　(東北大学大学院　特任教授)
パネリスト　　: 吉田 真人 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　企画専門官)
中條 高司 氏　(北海道開発局 事業振興部 機械課 課長補佐)
澤田 敏樹 氏　(東北地方整備局 企画部 施工企画課長)
姫野 利宗 氏　(北陸地方整備局 企画部 施工企画課長)
阿部 誠 氏　(万六建設株式会社　常務)
福士 真人 氏　(株式会社鹿内組　青森空港除雪隊ホワイトインパルス隊長)

◇ **参　加　費**:　会員 6,600 円　一般 7,700 円　学生 3,300 円　(いずれも**事前申込みが必須**となります。)

◇ **参 加 申 込**:　協会ホームページからＷＥＢ申込みをお願いします（１０月中旬より申込開始予定)。

※１　会場参加者には、論文集・梗概集を配布します。
また、ZOOM 参加者には論文集・梗概集を事前に専用ＨＰに掲載します。
※２　このシンポジウムは、「ＣＰＤＳプログラム」に認定されております。
(11/26 : ３ユニット、11/27 : ３ユニット)

問合せ先：一般社団法人日本建設機械施工協会 シンポジウム実行委員会事務局（小櫃、佐々木）
〒105-0011 東京都港区芝公園3ー5ー8 機械振興会館
TEL：03-3433-1501　FAX：03-3432-0289



（一社）日本建設機械施工協会　発行図書一覧表（令和７年 10 月現在）　　消費税 10%

No.	発行年月	図　　書　　名	一般価格（税込）	会員価格（税込）	本部送料
1	R7 年 05 月	橋梁架設工事の積算　令和７年度版	12,100	10,285	990
2	R7 年 04 月	令和７年度版　建設機械等損料表	9,680	8,228	700
3	R7 年 03 月	日本建設機械要覧　2025 年版	53,900	45,100	990
4	R6 年 12 月	建設機械施工ハンドブック（改訂５版）	13,200	11,220	770
5	R6 年 05 月	大口径岩盤削孔工法の積算　令和６年度版	6,600	5,610	770
6	R6 年 05 月	橋梁架設工事の積算　令和６年度版	12,100	10,285	990
7	R6 年 05 月	よくわかる建設機械と損料 2024	7,260	6,171	770
8	R5 年 10 月	道路除雪施工の手引（第 17 版）	4,950	3,960	770
9	R4 年 03 月	日本建設機械要覧　2022 年版	53,900	45,100	990
10	R3 年 01 月	情報化施工の基礎　～ i-Construction の普及に向けて～	2,200	1,870	770
11	H30 年 08 月	消融雪設備点検・整備ハンドブック	13,200	11,000	770
12	H29 年 04 月	ICT を活用した建設技術（情報化施工）	1,320	1,122	770
13	H26 年 03 月	情報化施工デジタルガイドブック【DVD 版】	2,200	1,980	770
14	H25 年 06 月	機械除草安全作業の手引き	990	880	770
15	H22 年　9 月	アスファルトフィニッシャの変遷	3,300	2,970	770
16	H22 年　9 月	アスファルトフィニッシャの変遷【CD】	3,300	2,970	770
17	H22 年　7 月	情報化施工の実務	2,200	1,870	770
18	H21 年 11 月	情報化施工ガイドブック 2009	2,420	2,178	770
19	H20 年　6 月	写真でたどる建設機械 200 年	3,080	2,618	770
20	H19 年 12 月	除雪機械技術ハンドブック	3,300	2,970	770
21	H18 年　2 月	建設機械施工安全技術指針・指針本文とその解説	3,520	2,992	770
22	H17 年　9 月	建設機械ポケットブック（除雪機械編）	1,100	990	770
23	H16 年 12 月	除雪・防雪ハンドブック（除雪編）【CD-R】	5,500	4,950	770
24	H15 年　7 月	道路管理施設等設計指針（案）道路管理施設等設計要領（案）【CD-R】	3,520	3,168	770
25	H15 年　7 月	建設施工における地球温暖化対策の手引き	1,650	1,485	770
26	H15 年　6 月	道路機械設備 遠隔操作監視技術マニュアル（案）	1,980	1,782	770
27	H15 年　6 月	機械設備点検整備共通仕様書（案）・機械設備点検整備特記仕様書作成要領（案）	1,980	1,782	770
28	H15 年　6 月	地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル	550	495	770
29	H13 年　2 月	建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック（第３版）	6,600	5,940	770
30	H12 年　3 月	移動式クレーン，杭打機等の支持地盤養生マニュアル（第２版）	2,750	2,475	770
31	H11 年 10 月	機械工事施工ハンドブック　平成 11 年度版	8,360	8,360	770
32	H11 年　5 月	建設機械化の 50 年	4,400	3,960	770
33	H11 年　4 月	建設機械図鑑	2,750	2,475	770
34	H10 年　3 月	大型建設機械の分解輸送マニュアル【CD-R】	3,960	3,564	770
35	H6 年　8 月	ジオスペースの開発と建設機械	8,470	7,623	770
36	H6 年　4 月	建設作業振動対策マニュアル	6,380	5,742	770
37	H3 年　4 月	最近の軟弱地盤工法と施工例【CD-R】	10,450	9,405	770
38	S60 年　1 月	建設工事に伴う濁水対策ハンドブック【CD-R】	6,600	5,940	770
39		建設機械履歴簿	440	396	770
40	毎月　25 日	建設機械施工	880	792	770
			定期購読料 年 12 冊 10,032 円（税・送料込）		

購入を希望される場合，当協会 HP　https://jcmanet.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。

https://www.jcmanet.or.jp/

建設機械施工 10

Vol.77　No.10　October　2025（通巻 908 号）

目　　次

特　集　**解体, 3R, 建設発生土・廃棄物処理**

巻頭言

4　本格化するサーキュラーエコノミー
共創原理によって建設副産物の高度な循環利用を
細田　衛士　東海大学　学長補佐　政治経済学部経済学科　教授

行政情報

5　福島第一原発事故で発生した除去土壌等に係る取り組み
石川　洋一　環境省　環境再生グループ　復興再生利用・最終処分事業推進　担当参事官室　参事官補佐

12　第五次循環型社会形成推進基本計画
循環経済を国家戦略に
中村　祥　環境省　環境再生・資源循環局　総務課循環型社会推進室　企画官

特集技術報文

18　精密衝撃破砕工法による馬蹄形ジベル式合成桁橋の RC 床版解体・撤去
波動伝播経路誘導による精密衝撃破砕のための装薬設計理論と実際
阪本　良　㈱カナデビアエンジニアリング　機械建設事業部　チームリーダー
上西　幸司　東京大学　大学院新領域創成科学研究科　教授
中森純一郎　三井住友建設㈱　技術研究所
山地　宏志　三井住友建設㈱　技術研究所

24　鉄骨プラズマ切断装置を用いた環境配慮型超高層建物解体工法
谷　卓　清水建設㈱　建築総本部　生産技術本部　機械計画部　機械エンジニアリンググループ
西村　淳　清水建設㈱　建築総本部　生産技術本部　機械計画部　部長
佐藤　良史　清水建設㈱　建築総本部　企画開発部　先端技術開発グループ

29　世界最大級の超大型解体重機を用いた煙突解体
旧出雲エネルギーセンター解体工事
小川　雅史　㈱鴻池組　建築事業総轄本部　技術本部長
池田　幸貴　㈱鴻池組　山陰支店建築部　工事事務所　所長

34　打撃速度可変型油圧ブレーカの紹介
佐々木　晶　エピロックジャパン㈱　サービス部統括部長

38　JIS 規格外フライアッシュを用いた CSG 配合検討とダム本体への適用
大井　篤　鹿島建設㈱　東北支店　成瀬ダム堤体打設 JV 工事事務所

44　解体建物の構造部材を新築へ生かすリユースの取り組み
リユース活用の実証実験プロジェクト：大林組技術研究所「オープンラボ 3」新築計画
岸　浩行　㈱大林組　設計本部　構造設計部　上級主席技師
寺井　千絵　㈱大林組　設計本部　構造設計部　担当課長

51　軽油代替燃料を用いた建機運用実験
持続可能な施工プロセスの確立に向けて
勝二　理智　㈱大林組　技術本部　技術研究所　地盤技術研究部　課長
山本　巌　㈱大林組　環境経営統括室　推進部　部長
土井　暁　㈱大林組　ロボティクス生産本部　生産技術第三部　カーボンニュートラル課　課長

56　建設発生土を有効利用した静的締固め砂杭工法の現場適用事例
火力発電所におけるリソイル Pro 工法の適用事例
永石　雅大　㈱不動テトラ　地盤事業本部　機械技術部　機械技術企画課　課長
冨田　晃弘　㈱不動テトラ　地盤事業本部　機械技術部　機械技術企画課
朝妻　涼　㈱不動テトラ　地盤事業本部　技術部　技術企画課

61　ハイパースペクトルを用いた災害廃棄物の種類と量の推定
羽渕　博臣　㈱奥村組　技術本部　環境ソリューション部　環境企画課　課長

67　廃棄物処理施設整備の最前線
ごみ焼却施設の DX 技術導入事例と効果
上村　愛優　JFE エンジニアリング㈱　環境本部　環境プラント事業部　計画部　第一計画室　副課長

71 カーボンニュートラルに向けた建設現場の新たな取り組み
再生可能エネルギーの採用や重機の電動化ならびに
環境配慮型燃料による CO_2 排出量を削減
佐藤　圭一　㈱長谷工コーポレーション　建設部門　環境みらい創造部　建設 BIM 推進部　DX 推進部　統括部長
西野　　慶　㈱長谷工コーポレーション　建設部門　第四施工統括部　建設 3 部　部長

投稿論文
78 在来線非電化鉄道トンネルにおける
ロックボルト穿孔作業の機械化
大場　宏樹　仙建工業㈱　本社土木本部　土木エンジニアリング部　部長
志子田洋一　仙建工業㈱　本社土木本部　土木エンジニアリング部　次長
佐々木崇人　仙建工業㈱　本社土木本部　土木エンジニアリング部　次長
池田　　尚　仙建工業㈱　本社土木本部　土木エンジニアリング部　副課長
伊深　佳典　仙建工業㈱　本社土木本部　土木本部　部長

ずいそう
88 歴史街道を歩く
塩形　幸雄　清水建設㈱　広島支店　参与

90 未来を予見した 50 年前の音楽
岩本　英司　日刊建設工業新聞社　事業本部　取締役待遇企画・制作局長

部会報告
92 吉野瀬川ダム建設工事・水海川導水トンネル 3 期工事
見学会報告
機械部会　基礎工事用機械技術委員会

CMI 報告
95 鋼橋の防食技術に関する研究
新田　健太　（一社）日本建設機械施工協会　施工技術総合研究所　研究第二部　研究員
小野　秀一　（一社）日本建設機械施工協会　施工技術総合研究所　研究第二部　部長

100 新工法紹介　機関誌編集委員会

統計
101 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

102 建設企業の海外展開　機関誌編集委員会

105 行事一覧（2025 年 8 月）

108 編集後記（岡田・丹）

◇表紙画像説明◇

世界最大級の超大型解体重機を用いた煙突解体

写真提供：㈱鴻池組

大型焼却施設の煙突解体工事において，世界最大級の超大型解体重機を使用し地上からの直接解体作業を実施。本工事において安全性と作業効率の向上を図り，その有効性を確認した。

2025 年（令和 7 年）10 月号 PR 目次
【カ】
コベルコ建機日本㈱…… 表紙 2
【サ】
サイテックジャパン㈱…… 表紙 4
【タ】
デンヨー㈱…… 後付 1
大和機工㈱…… 表紙 3
【マ】
マルマテクニカ㈱…… 後付 4
三笠産業㈱…… 後付 3
㈱三井三池製作所…… 表紙 3
【ヤ】
吉永機械㈱…… 後付 2

巻頭言

本格化するサーキュラーエコノミー

共創原理によって建設副産物の高度な循環利用を

細　田　衛　士



今，サーキュラーエコノミー（以下 CE と略す）へ向けての動きが内外で加速している。これまで，CE にあまり興味を示さなかったビジネスが，にわかに関心を示し始めている。従来型の経済から CE への移行が「仕方のない選択」ではなく，ビジネスチャンスにつながる気配を読み取っているからである。CE の実現はマストであるとともに，新しい付加価値創出の契機ともなる。だからこそ，さまざまなビジネスが色めきだっているのだ。だが，それは「狭き門」から入るようなもので，簡単なことではない。それはなぜなのか。以下，説明しよう。

ごく簡単にまとめると，CE とは自然系から経済系への資源の投入を極力抑制し，経済系での資源の節約利用・循環利用を促進し，経済系から自然系への使用済製品・部品・素材（静脈資源とも呼ぶ）などの排出を極力抑制するような経済のことである。加えて，資源の利用から得られる付加価値の創出力を高めることによって経済を活性化することも CE の重要な狙いである。つまり，経済と環境・資源のウインウインが大きな目的なのだ。

この要請がいかに容易ではないかということがわかる。なぜなら，自然系⇒経済系，経済系⇒経済系，経済系⇒自然系という資源のフロー制御を従来よりも強めながら付加価値創出力を高めるということであり，それは制約条件を強めつつ付加価値生産性を向上させることを意味しているからである。

この難問を解くために 2 つのことが不可欠である。1 つは技術進歩であり，もう 1 つは経済社会システムの改革である。前者については言うまでもないだろう。環境配慮設計などの動脈技術の向上とともに，分別技術や資源再生技術など静脈技術の革新は資源生産性の向上になくてはならない。だが，それは必要条件であって十分条件ではない。そこで求められるのが経済社会システムの改革である。

従来型の経済社会システムは市場競争を基本としてきた。市場競争がいかに付加価値生産性を高め，資源配分を効率化するかは経済学で厳密に証明されている。付加価値生産性の高い技術が競争経済で選ばれるのだ。だが，それは動脈経済のみの話であって，静脈経済を考えあわせたときには通用しない。なぜなら，静脈資源の回収，収集運搬，そして最適リサイクル技術についての情報が十分ではないため，単なる競争は資源生産性の向上につながらないからである。質の悪い業者がはびこる危険性さえある。

十分な量と質の静脈資源を集め，質の高いフォーマルなリサイクルプラントに集荷し，高質の再生資源を動脈経済に供給するには動静脈事業者の連携協力が必要である。そして重要なことは，これをシステム化することによって付加価値生産性を高めることである。これを筆者は「共創原理」と呼んでいる。CE には競争原理とともに，いやそれ以上に共創原理が求められているのだ。

建設副産物の高度な循環利用についても共創原理が不可欠なのは言うまでもない。建設業界にもそのような実例が出てきた。令和 6 年度の 3R 推進協議会内閣総理大臣賞受賞の取り組みはその代表例とも言えよう。大手建設会社と物流ビジネスの垂直的連携による共創関係に基づいた資源の高度な循環利用が進められているのである。建設現場⇒積み替え拠点⇒再資源化工場というフロー制御がシステム化され，資源の高度な循環利用による付加価値生産性の向上が実現している。この動きは，同業者の水辺連携にまで進んでいる。水平連携と垂直連携の合わさったハイブリッド連携は共創力アップの大きなポイントになっている。

こうした共創原理に基づいた付加価値生産性の向上は日本のお家芸で，EU などの先進国ではなかなかできない。いわゆる業界の連携協力という関係性の構築が苦手だからだ。業界のソフトロー（企業や人々の行動を規定する非法規範）に基づいた共創原理の強みを建設業界は CE 構築に大いに生かせるはずだ。

――ほそだ　えいじ　東海大学　学長補佐
政治経済学部経済学科　教授――

行政情報

福島第一原発事故で発生した除去土壌等に係る取り組み

石　川　洋　一

2011 年 3 月 11 日福島第一原発の事故により放射性物質が拡散した。その後，放射性物質が付着した土壌等を除染した除去土壌等については，福島県・大熊町・双葉町の重い決断のもと大熊町・双葉町に立地された中間貯蔵施設への搬入が 2015 年 3 月より開始された。除去土壌等は,「中間貯蔵開始後 30 年以内に，福島県外で最終処分を完了するために必要な措置を講ずる」ことが法律で規定され，その量は 2025 年 7 月末時点で約 1,400 万 m^3 である。この膨大な除去土壌等を福島県外最終処分するためには，公共事業等の資材として使用可能なものを使用し最終処分量を減らすことが鍵である。本稿では，福島県内で発生した除去土壌等に係る取り組みについて紹介する。

キーワード：福島第一原発事故，除染，中間貯蔵施設，除去土壌等，復興再生利用，福島県外最終処分

1. はじめに

2011 年 3 月の東京電力福島第一原子力発電所（以下，福島第一原発）の事故から 14 年半。放射性物質が付着した除去土壌等については，福島県・大熊町・双葉町の重い決断のもと福島県双葉郡の大熊町・双葉町に立地された中間貯蔵施設への輸送が 2015 年 3 月より開始され 10 年半が経過した（**写真―1**）。

中間貯蔵施設へ搬入された除去土壌等は「中間貯蔵開始後 30 年以内に，福島県外で最終処分を完了するために必要な措置を講ずる」ことが「中間貯蔵・環境安全事業株式会社法」で規定されている。

2025 年 7 月末現在に中間貯蔵施設に搬入された除去土壌等は，1,400 万 m^3（東京ドーム 11 杯分）と膨大でありこの膨大な量を福島県外最終処分するためには，公共事業等の資材として使用可能なものを使用する復興再生利用を行い，福島県外最終処分の量を減らすことが鍵である。

本稿では，福島第一原発の事故から環境省が「福島県内で取り組んだ除染」・「中間貯蔵施設における取り組み」・「今後，2045 年 3 月までに福島県外最終処分を実現するための鍵となる復興再生利用の取り組み」・「福島県外最終処分の進め方」を紹介する。

2. 福島第一原発の事故

2011 年 3 月，三陸沖を震源としたマグニチュード 9.0 の地震により津波が発生した。福島県大熊町・双葉町



写真―1　福島第一原発と中間貯蔵施設
（手前：除去土壌が保管される土壌貯蔵施設）



写真―2　福島第一原発事故時の状況

に立地する福島第一原発では，津波等の影響により事故が起こり，福島県内外に大量の放射性物質が放出された（**写真**―2）。

3. 福島県内除染の取り組み

「平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」が 2024 年 1 月 1 日に施行され，除染が開始された（**写真**―3）。

放射線年間追加被ばく線量が 1 mSv を超過し，20 mSv 以下の地域は環境大臣が汚染状況重点調査地域に指定し市町村が除染実施計画を策定し除染を実施した。年間 20 mSv を超過し避難指示が発令された区域は環境大臣が除染特別地域に指定し環境省が除染実施計画を策定し除染を実施した（年間 50 mSv 超過する帰還困難区域除く）。

放射性物質は時間とともに減少し（福島第一原発の事故で放出された放射性物質は一般環境中ではヨウ素（半減期 8 日），セシウム 134（半減期 2 年），セシウム 137（半減期 30 年）），風雨などの自然要因による減衰効果（ウェザリング）も考慮すると時間経過により放射線量は減少するが，長い年月を要する。住民の早期帰還を目指すために放射線量を減少させるには除染が必要であった。



写真―3　除染の状況
（左：庭地表土剥ぎ取り　右：農地表土剥ぎ取り）

除染効果は**図**―1 の通りであり，例えば宅地の空間線量は，除染直後で 60%，1 年後の事後モニタリングでは 76%低減した。

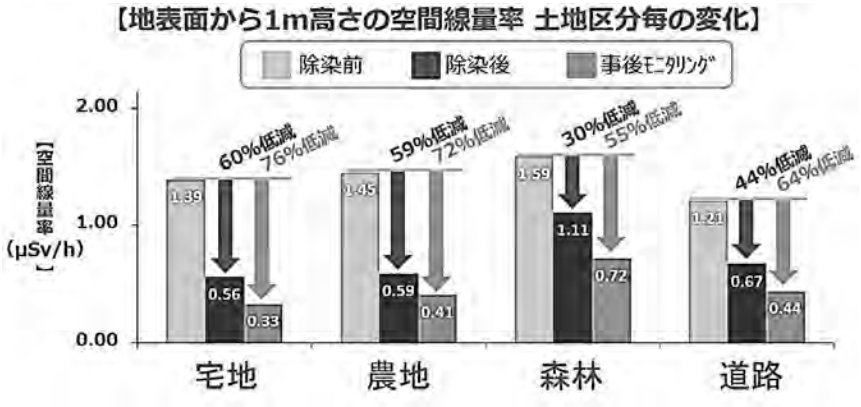
汚染状況重点調査地域および除染特別地域の除染は，2018 年 3 月 19 日までに帰還困難区域を除き福島県内 43 市町村で終了した。年間 50 mSv を超過する帰還困難区域は当初，除染は想定されていなかったが，「福島復興再生特別措置法」の改正により，地元の要望に基づき住民の帰還を目指して除染が行われることになった。帰還困難区域内（約 33,700 ha）の状況は，同法に基づく特定復興再生拠点（約 2,747 ha）は，2022 年に葛尾村･大熊町･双葉町，2023 年には浪江町･富岡町・飯館村で避難指示が解除された。さらに，2020 年代をかけて，帰還意向のある住民が帰還できるよう特定帰還居住区域制度を創設し，現在は同区域（約 2,134 ha　2025 年 3 月時点）において，2023 年から大熊町・双葉町，2024 年から浪江町・富岡町で除染が実施され，南相馬市・葛尾村で除染が計画されている。震災から 14 年半経過し今なお立ち入りが制限される地域の避難指示解除に向け政府一丸となり取り組んでいる。

4. 中間貯蔵施設における取り組み

(1) 中間貯蔵施設開始までの経緯

福島第一原発の事故から 7 か月後の 2011 年 10 月，国が中間貯蔵施設の基本的考え方を公表した。その内容は，①施設の確保・維持管理は国が行う②仮置場の本格搬入開始から 3 年程度（2015 年 1 月）を目途として施設の供用を開始するよう政府として最大限の努力を行う③中間貯蔵施設に搬入するものは福島県内で発生した土壌と廃棄物に限ること④中間貯蔵開始から 30 年以内に福島県外最終処分をすることである。

2013 年 12 月国が福島県・大熊町・双葉町・楢葉町



図―1　除染前後のモニタリング結果

に中間貯蔵施設の受入を要請した。2014年10月福島県知事は，国に5つの確認事項を出した。①県外最終処分の法案の成立②中間貯蔵施設等に係る交付金等の予算化，自由度③国による搬入ルートの維持管理等及び周辺対策の明確化④施設及び輸送に関する安全性⑤県及び大熊町･双葉町との安全協定案の合意。環境省･復興庁はこれら5つの確認事項に対し2015年2月福島県に対し回答し除去土壌等の搬入受入が容認された。これらの経緯や回答の内容は，環境省ホームページにある「中間貯蔵施設に係るこれまでの経緯」をご確認いただきたい。

(2) 中間貯蔵施設への除去土壌等の輸送

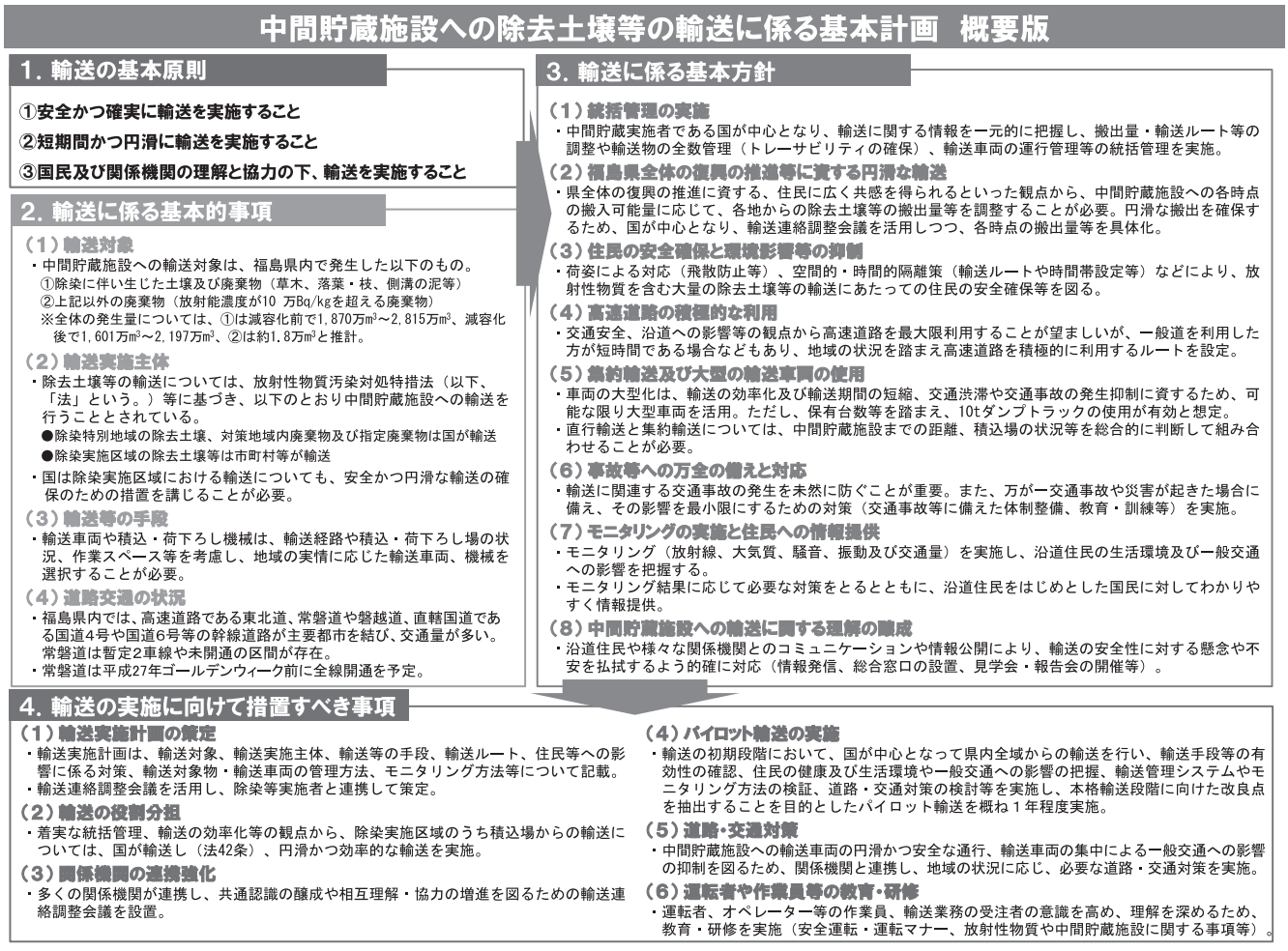
2013年に，福島県内の除染で発生する除去土壌等は最大2,800万 m^3（可燃物を減容化し1,600万 m^3 ～2,200万 m^3）と推計された。この大量の除去土壌を中間貯蔵施設へ輸送するため，有識者による検討会の議論を踏まえ，2014年11月に輸送基本計画がとりまとめられ，輸送の基本原則が定められた。①安全かつ確実に輸送を実施すること②短期間かつ円滑に輸送を実施すること③国民かつ関係機関の理解と協力のもと輸送を実施すること。また，除去土壌等を輸送することに対し輸送対象物の全数管理や輸送車両の運行管理の実施，輸送車両に荷姿等，輸送を実施する上での基本的事項がとりまとめられた。

その後，輸送基本計画にある「輸送に向けて措置する事項」に基づき輸送ルートやルート上の道路交通対策の実施等，輸送の具体的な手法をとりまとめた輸送実施計画を策定した（**図―2**）。

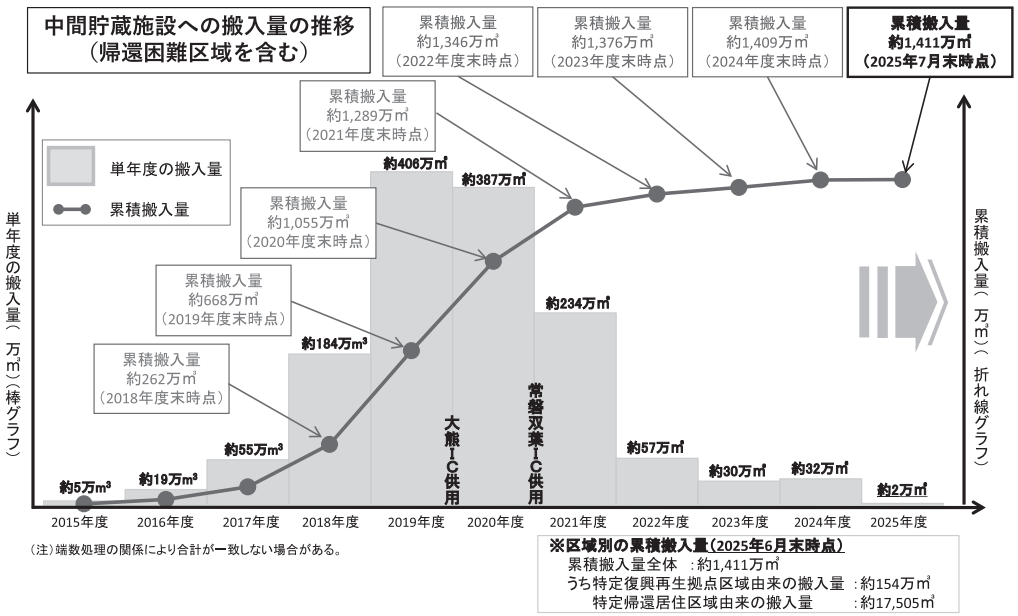
輸送実施計画は，環境省が事務局となり福島県・市町村・関係機関等からなる輸送連絡調整会議を設置し，輸送連絡調整会議にて合意され2015年3月，中間貯蔵施設への除去土壌等の輸送が開始された。

輸送量は，**図―3**の通り推移し2025年7月末現在で中間貯蔵施設区域内に約1,400万 m^3 搬入されている。

除去土壌等の輸送は，2019年度・2020年度がピークであり年間約400万 m^3 の輸送を実施した。その際，中間貯蔵施設周辺の福島県浜通り地区の片側1車線の常磐自動車道は安全第一で輸送を行うために法定速度70 km/h を遵守したことにより，輸送車両の後続に一



図―2　輸送基本計画概要版



図―３ 除去土壌の輸送状況（年度毎の推移）



写真―４ 常磐道を走行する輸送車両

般車が追従するという状況が発生した（**写真**―４）。この状況を把握すべく，日々の常磐自動車道を走行する車両の速度・交通量情報を NEXCO 東日本から提供いただき，輸送車両が特定の時間に集中しないように福島県内に点在する仮置場からの発時間を調整しながら輸送を進捗させ，地元・関係機関のご協力のもと 2024 年度の輸送量は約 30 万 m^3 まで減少した。

その結果，福島県内で最大約 1,372 か所あった仮置場が 2025 年 7 月現在で除去土壌等が保管されている仮置場は 9 か所まで減少した。なお，除去土壌等の輸送は今後も帰還困難区域の特定帰還居住区域から行われ，安全第一の輸送を継続する。

(3) 中間貯蔵施設区域内の現状と今後

2015 年 3 月からの除去土壌等の輸送を受け入れた中間貯蔵施設区域内の現状を紹介する。

中間貯蔵施設区域内は，16 km^2（南北に約 8 km，東西に約 2 km）東京都渋谷区並みの広さであり，用地については，16 km^2 内の約 8 割を取得させていただいている。除去土壌に含まれる石や草木を分別する受入分別施設（9 施設）と除去土壌を保管する土壌貯蔵施設（8 工区）にて昼夜で除去土壌の受入が行われ福島県内の仮置場の解消に寄与してきた。現在受入分別施設は運転を停止し解体しており，中間貯蔵施設に輸送される除去土壌等は中間貯蔵施設区域内の保管場に一時的に仮置きをし，帰還困難区域内の除染が滞らないよう保管場の空き容量の状況を監視している。今後，これまでの施設運営を踏まえ安全対策に力点を置いた新たな受入分別施設 2 施設を整備し，整備後，受入分別施設と土壌貯蔵施設の稼働を再開する予定である。

5. 復興再生利用の推進

(1) 復興再生利用の検討経緯

環境省では，福島県外で最終処分を完了するために必要な措置を講ずるため，有識者による検討を踏まえ適切な管理のもとで再生利用（以下，復興再生利用）を行うことを検討してきた。

福島第一原発事故後の除染により生じた土壌を，適切な管理のもとで利用するという考え方は世界的にも新しい取り組みであり，国内外の専門家のご意見も踏まえながら，放射線防護の考え方等を整理し，取り組みを進めてきたところである。

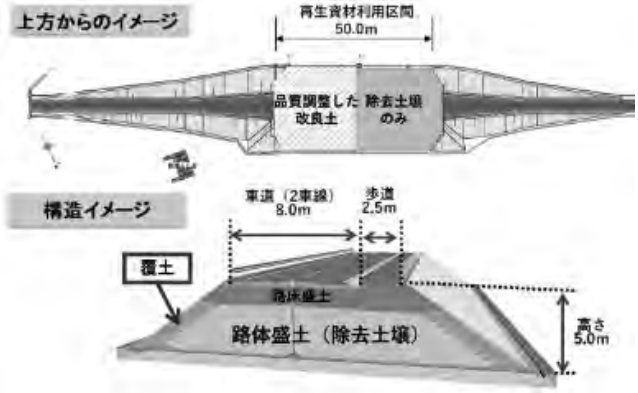
(2) 除去土壌を用いた実証事業

復興再生利用に関して，再生資材化（異物除去等）の方法や再生利用の安全性等を確認するため，福島県内において実証事業を行ってきた。「南相馬市仮置場における試験盛土造成実証事業」「飯舘村長泥地区における農地造成実証事業（環境再生事業）」「中間貯蔵施設内における道路盛土実証事業」の３つの実証事業を実施し，モニタリング等のデータの蓄積を図ってきた。

本稿では，中間貯蔵施設内における道路盛土実証事業（以下，道路実証盛土）について紹介する（**図―４**）。道路実証盛土は，除去土壌の利用用途拡大を図るため道路盛土への利用について実証実験を 2022 年 10 月に開始した。道路盛土は３種２級（交通量 4,000 ～ 20,000 台 / 日）の歩道付きとし，2023 年 10 月に完成した（**写真―５**）。放射線や沈下量等のモニタリングを通じて，安全性や構造物の安定性，走行試験を通じて道路としての使用性の確認を行った。

（a）道路実証盛土の設計の考え方

①除去土壌は，地下占用物件や道路付属物のメンテナンス作業等を考慮し路床には使用せず，路体（厚み約３m）のみに使用した。



図―４　道路実証盛土の概要図

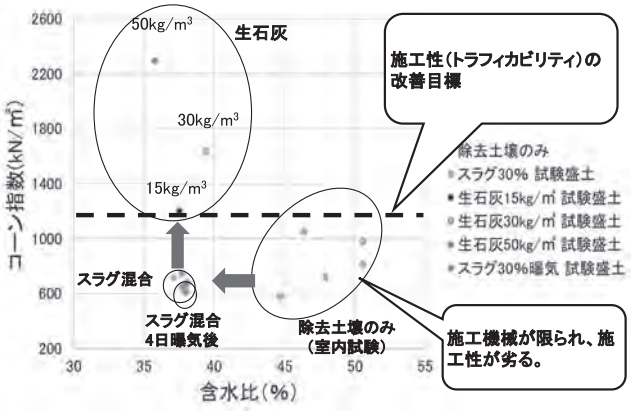


写真―５　道路実証盛土　完成写真

②覆土の厚さは，天端（舗装面）は，舗装・路盤・路床で 1.6 m とした。法面の覆土は，除去土壌の飛散･流出を防止する観点から，50 cm 以上とした。

③品質調整は，除去土壌上での施工性（トラフィカビリティ）を確保するための，品質調整（強度向上）を検討した。改良材は，中間貯蔵施設で発生した溶融スラグを混合したが，除去土壌とスラグの粒度分布が近似したため目標強度を発現できなかった。

そのため，他の品質調整方法（道路工事で一般的に使用される改良材の生石灰）を選定したところ，目標の強度が発現することを確認した（**図―５**）。



図―５　道路実証盛土の品質調整

（b）モニタリングの結果について

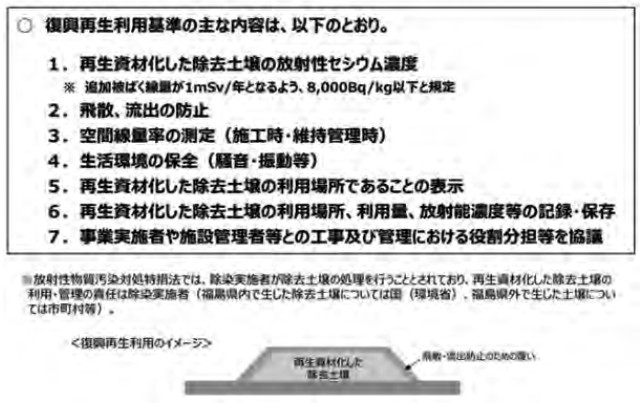
①施工箇所の境界部の空間線量率は，法面が覆土（50 cm 以上，放射性物質遮蔽率 99.8％以上）されているため，除去土壌の盛土作業の前後で変化はなかった。

②盛土に侵入した雨水の放射性物質濃度は，セシウム放射性物質が土壌に強く吸着しやすく，剝がれにくい性質より検出下限値未満であった。

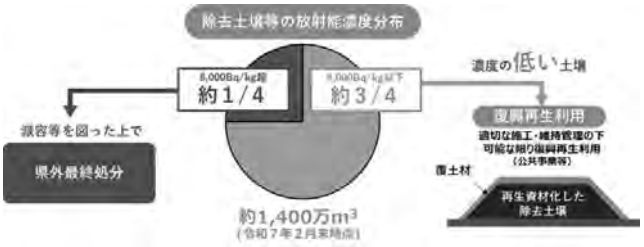
③構造物としての安定性については，沈下量のモニタリングや大型車両の走行により盛土に負荷をかける走行試験などの結果，安定性が損なわれるような沈下等が生じていないことが確認された。 道路としての使用性についても，走行試験の結果，使用性が損なわれるような路面の平坦性の変化やわだち掘れ等は確認されなかった。これらの成果は，基準とガイドラインに反映し，道路盛土は，再生利用の安全性等について多くの方にご確認いただくことで，さらなる理解醸成を図ること等を目的として引き続き活用していく。

(3) 復興再生利用の基準とガイドラインの策定

福島県内の実証事業等の成果を踏まえつつ，放射線



図―６　復興再生利用基準のポイント



図―７　除去土壌等の放射能濃度分布

審議会に復興再生利用の基準案を諮問し 2025 年 2 月に妥当である旨の答申をいただいた。その後，除去土壌の復興再生利用の基準を含む改正省令及び関連する告示を 2025 年 3 月 28 日に公布し，2025 年 4 月 1 日に施行した（**図―６**）。

また，復興再生利用の基準に係る解説や復興再生利用の実施にあたっての留意事項を示した「復興再生利用に係るガイドライン」についても，公表した。

なお，2025 年 2 月時点で中間貯蔵施設に搬入された除去土壌の約 3/4 が 8,000 Bq/kg 以下，約 1/4 が 8,000 Bq/kg 超であると推計される（**図―７**）。

今後，基準に基づき，8,000 Bq/kg 以下の除去土壌については，復興再生利用に用いることとする。8,000 Bq/kg 以上の除去土壌は，減容化を図った上で福島県外最終処分する。

(4) 復興再生利用等の推進に向けた基本方針策定

2024 年 3 月に「『第 2 期復興・創生期間』以降における東日本大震災からの復興の基本方針」の見直しにおいて，「再生利用先の創出等については，関係省庁等の連携強化等により，政府一体となった体制整備に向けた取組を進める」などの方針が閣議決定された。

これを踏まえ，福島県内の除去土壌の再生利用等による最終処分量の低減方策，風評影響対策等の施策について，政府一体となって推進するため，内閣総理大臣を除く他のすべての国務大臣が構成員である「福島県内除去土壌等の県外最終処分の実現に向けた再生利用等推進会議」（以下，推進会議）が設置され 2024 年 12 月に第 1 回が開催された。さらに 2025 年 5 月に第 2 回会議が開催され「再生利用の推進」「再生利用等の実施に向けた理解醸成・リスクコミュニケーション」「県外最終処分に向けた取組の推進」に係る基本方針がとりまとめられた。

基本方針では，「復興再生利用に対する国民の幅広い理解醸成を図るという観点から，官邸での利用の検討を始めとして政府が率先して先行事例の創出等に取り組み復興再生利用を推進する。」とされた。

(5) 首相官邸での復興再生利用

基本方針に基づき，2025 年 7 月 19 日，20 日の 2 日間で復興再生利用に係る基準を策定してから最初の案件として首相官邸での復興再生利用を施工した。

2025 年 7 月 19 日早朝，除去土壌を約 2 m^3 積んだトラックは，中間貯蔵施設を出発し，首相官邸まで約 250 km を走行した（**写真―６**）。

荷下ろしした除去土壌は，首相官邸の前庭において，（縦）2 m ×（横）2 m ×（厚さ）60 cm で約 2 m^3 使用し，基準に基づき除去土壌の飛散流出防止の覆土，復興再生利用実施場所である現地表示を実施した。また，除去土壌の覆土後の放射線量（空間線量率）は，**図―８**に示す通り施工前が 0.07 ～ 0.10 μSv/h・施工後が 0.12 μSv/h であった。

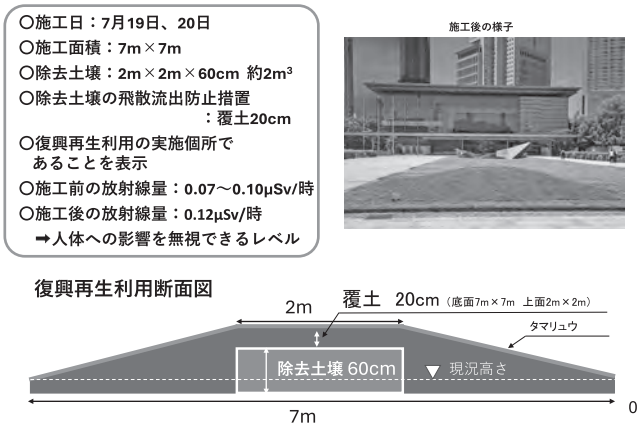
当該箇所に最も近づくのは，植栽のメンテンナス等を実施する作業者が想定され，仮に 1 日 4 時間，年間 250 日作業をした場合の 1 年間の追加被ばく線量は 1 mSv/ 年（= 1,000 μSv/ 年）を十分に下回り人体への影響は無視できるレベルと言える。

なお，日本人が 1 年間生活する中で大地・食べ物から被ばくをしており，日本人平均で 2.1 mSv/ 年であり，1 mSv/ 年はその半分である（**図―９**）。

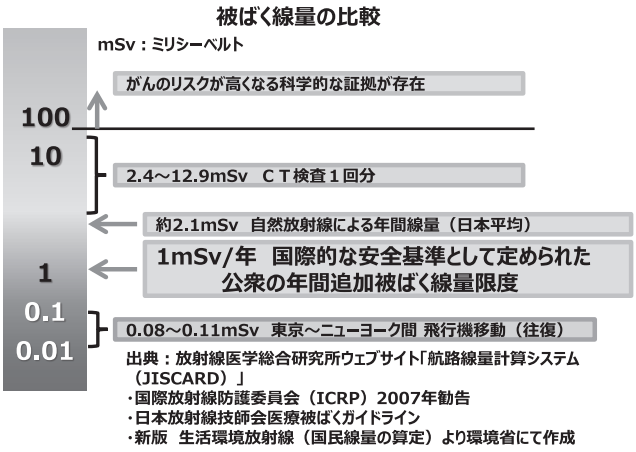
放射線量については，基準に基づき定期的に測定し環境省のホームページ「復興再生利用の現状」及び首



写真―６　首相官邸への運搬
（左：中間貯蔵施設を出発する様子
右：首相官邸で除去土壌を荷下ろしする様子）



図―８　首相官邸復興再生利用の概要



図―９　被ばく線量の比較

相官邸のロビーに設置した理解醸成用の看板にて公表し放射線安全を示していく。

(6) 当面５年のロードマップ策定（今後の取り組み）

2025 年 8 月 26 日，推進会議において「福島県内除去土壌等の県外最終処分の実現に向けた復興再生利用等の推進に関するロードマップ」が取りまとめられ，当面 5 年程度，2030 年頃までの「復興再生利用の推進」「県外最終処分に向けた検討」「理解醸成・リスクコミュニケーション」の取り組み事項が示された。

復興再生利用については，首相官邸に続き 2025 年 9 月から順次霞ヶ関の中央官庁での復興再生利用を実施する。さらに，首相官邸・中央官庁の知見を活かし，分庁舎・地方支分部局・所管法人等の庁舎等での復興再生利用を政府が率先し事例を創出する。

また，これらの取り組みを踏まえ，公共事業等における土地造成・盛土・埋立て等にて先行事例を創出する。

6. 福島県外最終処分の今後の取り組み

復興再生利用の推進，理解醸成・リスクコミュニケーションと並行して，環境省が中心となって，除去土壌等の減容や県外最終処分に関する検討を行う。

これら検討に当たり専門的知見を活用するため，新たな有識者会議を環境省において 2025 年 9 月 22 日に設置した。そのもとで，「県外最終処分の管理の終了の考え方」，「中間貯蔵施設内での土壌の取り出し方」，「運搬の検討」等を優先的に検討する。

2030 年頃に，県外最終処分シナリオ・候補地選定プロセスを具体化し，候補地の選定・調査を始めることを目指す。

7. おわりに

福島第一原発の事故から 14 年半。福島県内は，未だ立入が制限された地域があることや，中間貯蔵施設に搬入された除去土壌等の福島県外最終処分に向けた取り組みを実現すべく検討を加速させる必要があり，福島県内の復興は道半ばであるが，今後も政府一丸となり福島の復興を進めていく所存である。

最後に環境省が実施した福島の環境再生事業において協力いただいた多くの関係者（福島県民の方，中間貯蔵施設立地町の大熊町・双葉町の方々，国・地方公共団体・関係機関の方々，多くの建設会社・建設コンサルタント等の方々）に深く感謝を申し上げる。

JCMA



［筆者紹介］
石川　洋一（いしかわ　よういち）
環境省
環境再生グループ
復興再生利用・最終処分事業推進
担当参事官室
参事官補佐

特集≫≫　解体，3R，建設発生土・廃棄物処理

行政情報

第五次循環型社会形成推進基本計画

循環経済を国家戦略に

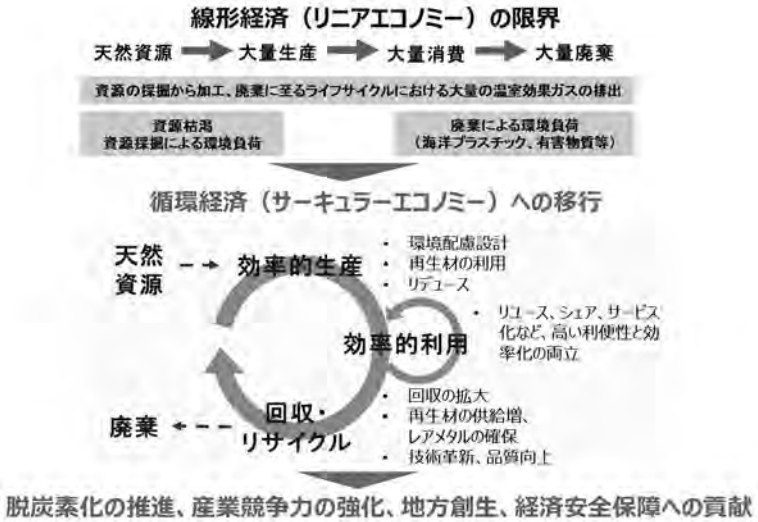
中　村　　祥

環境省では昨年８月２日に第五次循環型社会形成推進基本計画を策定した。
本計画では循環経済への移行を国家戦略として位置付けている。循環型社会形成のドライビングフォースとなる循環経済への移行は，環境保全に加えて産業競争力強化・経済安全保障・地方創生・質の高い暮らしの実現にも資するものである。今回の改定では，循環経済への移行を関係者が一丸となって取り組むべき重要な政策課題と捉え，循環型社会形成に向けた政府全体の施策を取りまとめた国家戦略として本計画を策定している。本稿では本計画の概要について説明する。
キーワード：循環型社会形成推進基本計画，循環経済

1．はじめに

我が国では，天然資源の消費を抑制し，環境への負荷ができる限り低減される「循環型社会」を形成することを目指し，循環型社会形成推進基本法（平成 12 年法律第 110 号）に基づき「循環型社会形成推進基本計画」（以下「循環基本計画」という。）を策定し，循環型社会の形成に向け，分別の徹底や資源回収などの市民の取組，地域の循環システムの構築や不法投棄・不適正処理の監視指導などの地方公共団体による取組，排出事業者責任に基づく廃棄物の適正処理・3R の推進や拡大生産者責任に基づく環境配慮設計などの事業者による取組，関連法制度の整備・運用や財政支援等の国による取組など，各主体が循環型社会の形成に向けた取組を進めてきた。

2024 年８月には循環型社会形成推進基本法に基づき，第五次循環基本計画が閣議決定された。第五次循環基本計画のポイントは，循環型社会の形成に向けた手段として，循環経済，いわゆるサーキュラーエコノミーへの移行を前面に打ち出している点である。循環型社会の形成に向けて資源生産性・循環利用率を高める取組を一段と強化するためには，従来の延長線上の取組を強化するのではなく，大量生産･大量消費･大量廃棄型の，資源から廃棄物までが一方通行となる「線形経済」から，資源を効率的･循環的に有効利用する，持続可能な「循環経済」に移行することが不可欠である（**図―１**）。



図―１　循環経済について

循環経済は，廃棄物を資源として活用し天然資源利用を最小化することで，ネット・ゼロや生物多様性の保全にも貢献する。また，これまでコストをかけて処理していた廃棄物を付加価値の源泉となる資源としてリユース・リサイクルに活用することで，地域経済の活性化や豊かな暮らしの実現，産業競争力の強化や資源制約・経済安全保障への対応にもつなげることができる。政府としては，2024 年 7 月に初めて「循環経済に関する関係閣僚会議」を設置し，第五次循環基本計画を国家戦略に位置付けるとともに，その実現に向けた具体的な取組を2024年12月に循環経済(サーキュラーエコノミー）への移行加速化パッケージとして取りまとめた。引き続き，関係省庁との連携を強化し，政府をあげて，循環経済の推進に取り組んでいく。

2. 第五次循環基本計画の概要

資源の投入量・消費量を抑えつつ，製品等をリユース・リペア・メンテナンスなどにより長く利用し，循環資源をリサイクルする 3R の取組を進め，再生可能な資源の利用を促進し，ストックを有効活用しながら，サービス化等を通じて資源・製品の価値を回復，維持又は付加することによる価値の最大化を目指す循環経済への移行は，資源消費を最小化し廃棄物の発生抑制や環境負荷の低減等を実現する有効な手段であり，循環型社会を形成する上での強力なドライビングフォースである。それだけでなく，循環経済への移行は，資源循環の観点から気候変動・生物多様性損失・汚染という主要な環境問題を含む社会的課題を解決し，経済成長を実現し，将来にわたって質の高い生活をもたらす「新たな成長」を実現し，「ウェルビーイング／高い生活の質」を実現するための重要なツールである。

我が国では，高い技術を生かして資源循環の幅を広げていく力を有する製造業や廃棄物処理・リサイクル業と自治体や市民といった地域の各主体が主体的に参画することで，地域の循環資源や再生可能資源の特性を生かして高い付加価値を創出し，地域経済の活性化につなげる取組が全国各地で始まりつつある。地域の各主体が連携して資源循環の取組を創り出すことで新たなイノベーションが生まれ，その資源循環の取組が自立して拡大していくことで地域外からの人材流入や雇用の創出等につながり，地域経済が活性化する。加えて，交流人口の増加や地域への投資を通じた魅力ある地域づくりといった副次的な効果も生み出す。

また，リユース品や修理サービス，各地域での資源循環の取組により生産された循環資源や再生可能資源を用いた製品など，環境価値に関する表示等を伴った多様な選択肢の提供を推進することで，市民がその意識を高め実際の行動に移していけるようなライフスタイルの転換が促進され，質の高い暮らしにもつながっていく。そして，それらが他の地域の新たな資源循環の取組を誘発する好循環を生み出す。このような動きを全国に広げて国全体の成長につなげることが，我が国の成長戦略であり，勝ち筋である。

我が国は，これらの強みを活かして着実かつ戦略的に取組を進めることで，「循環経済先進国」として世界をリードする道を歩んでいくべきである。環境制約に加え，産業競争力強化，経済安全保障，地方創生，そして，質の高い暮らしの実現によるウェルビーイングの向上にも資するように循環経済への移行を進めることは，関係者が一丸となって取り組むべき重要な政策課題であることから，循環型社会の形成に向けた政府全体の施策を取りまとめた国家戦略として第五次循環基本計画を策定した。

本計画では５つの重点分野を示し，それぞれに応じた中長期的な取組の方向性や目指すべき将来像，各主体の連携と役割，国の取組，指標及び数値目標をまとめている。

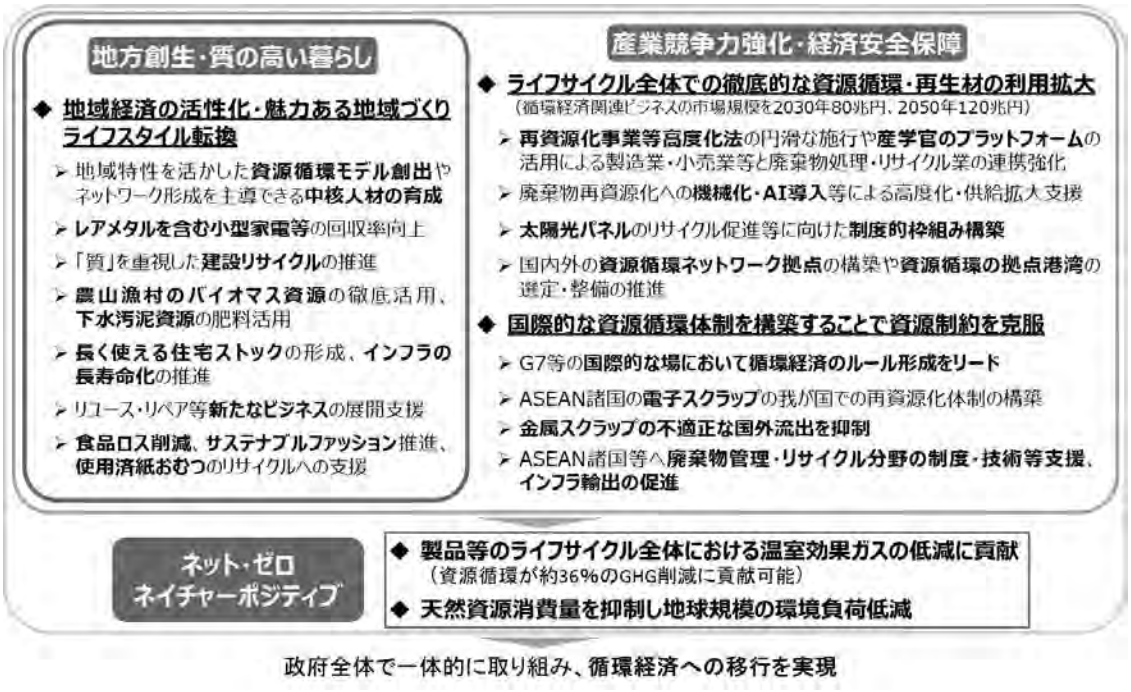
①循環型社会形成に向けた循環経済への移行による持続可能な地域と社会づくり
②資源循環のための事業者間連携によるライフサイクル全体での徹底的な資源循環
③多種多様な地域の循環システムの構築と地方創生の実現
④資源循環・廃棄物管理基盤の強靱化と着実な適正処理・環境再生の実行
⑤適正な国際資源循環体制の構築と循環産業の海外展開の推進

上記５つの重点分野のうち国の取組として，以下の３つの重要な方向性を掲げており，次の項目からそれぞれについて説明する（**図―２**）。

第一に，地域特性を活かした資源循環モデルを創出することで，地域経済の活性化や魅力ある地域づくりを進め，国民のライフスタイルの転換を促進していく。

第二に，ライフサイクル全体での徹底的な資源循環と再生材の利用拡大を進めていく。

第三に，国際的な場において循環経済のルール形成をリードし，国際的な資源循環体制の構築を進めていく。



図―2 第五次循環基本計画における国の取組のポイント

3. 資源循環のための事業者間連携によるライフサイクル全体での徹底的な資源循環

循環経済への移行には，資源確保段階，生産段階，流通段階，使用段階，廃棄・再資源化段階のライフサイクルの各段階を最適化し，ライフサイクル全体での徹底的な資源循環を実施する必要があり，製造業・小売業等の動脈産業における取組と廃棄物処理・リサイクル業などの静脈産業における取組が有機的に連携する動静脈連携が重要である。

2021 年に設立した J4CE（循環経済パートナーシップ），2023 年に設立した CPs（サーキュラーパートナーズ）を活用し，先進的な取組事例の共有・発信，ビジネスマッチングの実施，コミュニケーションの促進等を通じて，産官学の幅広い主体の連携を促進している。

今後の方向性として，国内外の資源循環を加速し，我が国の状況に応じて中長期的にレジリエントな資源循環市場の創出を支援するための施策を進める。例えば，現下の国際情勢を踏まえ，世界的な鉱物資源等の需給逼迫等に対応し，経済安全保障に貢献する，重要鉱物のサプライチェーンの強靱化に資する国内におけるレアメタル等の金属資源循環の強化のための施策を進める。また，質・量両面からの再生材の安定供給を実現するため，再生材供給サプライチェーン強靱化に向けて，課題の洗い出しや解決策の検討を深めることにより，廃棄物処理・リサイクル業と製造業・小売業をつなぐネットワークの形成やリサイクル拠点の構築を推進する。

製造業・小売業等の動脈側においては，事業者による環境配慮設計の推進，持続可能な調達，リデュース，リユース，バイオマスの活用，再生材利用，自主回収等の取組を強化するための施策を進める。また，リユースの深掘りとして，製品の適切な長期利用を促進する観点から，シェアリング，サブスクリプション等のサービス化，リペア・メンテナンス，二次流通仲介等の製品の適切な長期利用を促進する「CE コマース」のビジネスを育成するための施策を進める。

また，廃棄物処理・リサイクル業等の静脈側においては，企業や地域における先進的な事例を踏まえ，動脈産業との連携の取組を全国に広げていくための施策や，静脈産業の資源循環に係る情報を活用し，脱炭素化を促進するための施策など，循環型社会を実現するために必要な静脈産業の脱炭素型資源循環システムを構築するための施策を進める。動静脈連携により資源循環を促進するに当たっては，製品の安全性の確保，有害物質のリスク管理，不法投棄・不適正処理の防止等の観点にも留意し，各主体による適正な取組を推進する。

そして，循環資源の分別・収集・利用等に関して，消費者や住民との対話等を通じた，またこれらを活かした前向きで主体的な意識変革や環境価値の可視化等を通じた行動変容，具体的取組につなげるための施策を進める。

環境への負荷や廃棄物の発生量，脱炭素への貢献と

いった観点から，ライフサイクル全体で徹底的な資源循環を考慮すべきプラスチック・廃油，食品廃棄物等を含むバイオマス，金属，土石・建設材料等の素材や建築物，自動車，小型家電・家電，繊維製品，太陽光発電設備等を含む地球温暖化対策等により普及した製品について，第五次循環型社会形成推進基本計画（2024 年 8 月閣議決定）で今後の方向性等を示した。「プラスチック再生利用量倍増」，「2030 年時点，燃料使用量の 10％を SAF に置き換え」，「食品ロス量半減」，「金属リサイクル原料の処理量倍増」，「レアメタルを含む e-scrap のリサイクル処理量を 2030 年に約 50 万トン（2020 年比 5 割増）に増加」，「家庭から廃棄される衣類の量を 2030 年度までに 2020 年度比 25％削減」，「紙おむつの再生利用等の実施・検討を行った自治体の総数を 150 自治体」等の目標に向けて具体的な施策を進める。

経済的側面からは，循環産業を始めとする循環経済関連ビジネスを成長のエンジンとし，産業競争力を高めながら，循環経済への移行に向けた取組を持続的なものとし，かつ主流化していくことが不可欠の要素となり，成長戦略フォローアップ工程表（2021 年 6 月閣議決定）や第五次循環基本計画等も踏まえ，2030 年までに循環経済関連ビジネスの市場規模を 80 兆円以上にするという目標に向け，グリーントランスフォーメーション（GX）への投資を活用した施策も含め，循環経済への移行の推進に関する施策を進める。

動静脈連携を促進するための資源循環情報の把握や，電子マニフェストなど各種デジタル技術を活用した情報基盤整備に関する施策を進める。

また，拡大生産者責任の適用，事業者による自主的な行動の促進，経済的インセンティブの活用，情報的措置，公共調達，ビジネスとのパートナーシップ等のポリシーミックスの適用について進める。

4. 多種多様な地域の循環システムの構築と地方創生の実現

人口減少・少子高齢化の進む状況下においても資源生産性の高い循環型社会を構築していくためには，循環資源を各地域・各資源に応じた最適な規模で循環させることや，地域の再生可能資源を継続的に地域で活用すること，地域のストックを適切に維持管理し，できるだけ長く賢く使っていくことにより資源投入量や廃棄物発生量を抑えた持続可能で活気のあるまちづくりを進めていくことが重要である。循環共生型社会の実現に向け，地域においても脱炭素社会，循環型社会，自然共生社会の統合を図るための施策を進める。

具体的には，食料システムにおける食品ロス削減や食品リサイクル等による資源を最大限活用するための取組，使用済製品等のリユース，有機廃棄物（生ごみ・し尿・浄化槽汚泥・下水汚泥）や未利用資源等のバイオマスの肥料やエネルギーとしての循環利用，木材の利用拡大やプラスチックや金属資源等の資源循環，使用済紙おむつの再生利用等の取組及びみどりの食料システム戦略に基づく堆肥等の地域資源の活用を進め，環境と調和のとれた持続可能な農林水産業を地域産業として確立させることで，地域コミュニティの再生，雇用の創出，地場産業の振興や高齢化への対応，生態系保全等地域課題の解決や地方創生の実現につなげるための施策を進める。

第 2 回循環経済に関する関係閣僚会議（2024 年 12 月 27 日）において，循環経済（サーキュラーエコノミー）への移行加速化パッケージが決定され，資源循環自治体フォーラムの創設が明記されたところである。それを踏まえ，廃棄物等から付加価値を生み出す地域の資源循環基盤の強化に向けて，2025 年 9 月に，「第 1 回 資源循環自治体フォーラム」を大阪府にて開催し，第一部では，関係閣僚会議の構成府省庁から最新の施策，予算の情報等を一堂に発信し，第二部では，8 つの主要テーマごとに企業と自治体が行うセッションをしたところ。

今後，地方でのフォーラムを 6 回予定しており，循環経済の実現に向けた地域の取組を全国に展開し，地域課題の解決と地域経済の活性化，更には地方創生につなげていくための枠組みとして大きく育てていく。

5. 適正な国際資源循環体制の構築と循環産業の海外展開の推進

欧州に端を発した循環経済への移行の流れが世界的な潮流になりつつある一方で，天然資源や国内で発生した使用済製品（資源）を域外に出さないようにする，いわゆる“資源の囲い込み”の動きが一部の国や地域で顕在化している。例えば，EU では資源循環に関するルール形成が進みつつあり，2020 年の循環経済行動計画を皮切りに，バッテリー規則，企業サステナビリティ報告指令等の国内外の資源循環に関する政策を立て続けに導入している。こうした政策は，国際市場における日本企業の競争力のみならず，日本市場や資源調達，貿易にも影響を及ぼす可能性があり，天然資源を輸入に頼る我が国において，資源の効率的・循環的な利用を促進し循環経済への移行を進めるために

は，資源循環に関する国際的なルール形成をリードして国際的な資源循環を進めることが不可欠である。この際，環境上適正な資源循環が確保されるよう，違法な輸出入等に対処しつつ，手続の円滑化・迅速化を進めることが重要である。また，資源循環政策は国内で閉じることはなく，国内の政策が他国に，他国の政策が国内の政策に相互に影響を及ぼすことを踏まえ，国内と国際を一体として施策を進めていく必要がある。

我が国では，2013 年に「インフラシステム輸出戦略」を策定して以降，我が国企業の廃棄物処理・リサイクル技術の受注実績は着実に拡大してきた。一方で，インフラ海外展開を取り巻く環境が急速に変化するとともに，インフラを提供する側の課題や相手国・地域のビジネス・投資環境を含めた様々な課題も浮き彫りになってきた。特に，ASEAN 等途上国では急激な経済成長に伴い都市の廃棄物発生量が増加し，適正な廃棄物管理インフラが整備されていないことによる環境汚染や健康被害が発生していることから，環境上適正な廃棄物管理及び循環インフラ整備を推進し，環境汚染等の課題に対処する必要がある。また，最終処分場では，メタンガスの発生による地球温暖化への寄与と火災の発生，崩落や廃棄物の流出も問題視されている。こうした国際情勢の変化や地球温暖化対策などを踏まえ，2020 年に発表された「インフラシステム海外展開戦略 2025」には，カーボンニュートラルやデジタル変革，展開国の社会課題解決・SDGs といった観点も踏まえたインフラ展開の方向性が示されている。

（1）国際的な循環政策形成及び国内外一体的な循環政策の推進

G7，G20，OECD，ASEAN 等の国際的な場や二国間協力・多国間協力の場において我が国が 3R を含む循環経済・資源効率性の施策や資源循環に関する国際合意，再資源化可能な廃棄物等の適正な輸出入，プラスチック汚染対策に関する議論及び国際的な資源循環に関する議論をリードする。

また，国際機関や民間企業等と連携し，バリューチェーンや組織レベルでの循環性等の国際的なルール形成をリードする。内閣府の BRIDGE 事業の下で「バリューチェーンの循環性指標及び企業情報開示スキーム等の国際標準化事業」を実施している。その中で，「企業レベルの情報開示スキームの開発に係る検討会」と「国際標準化戦略及びバリューチェーンの循環性指標等の開発に係る検討会」の 2 つの検討会を立ち上げた。「企業レベルの情報開示スキームの開発に係る検討会」では WBCSD が 2025 年 11 月に公表予定の GCP（グローバル循環プロトコル）第 1 版の開発に向けた論点整理を行うべく，有識者，金融機関，WBCSD に参画している日本の製造業企業に議論いただいている。「国際標準化戦略及びバリューチェーンの循環性指標等の開発に係る検討会」では，自動車，電機，鉄などの各バリューチェーンにおける循環性指標の開発を並行して行い，業界ごとの国際標準化戦略も検討することで，日本企業の製品･サービスの国際競争力の維持･強化につなげていく。

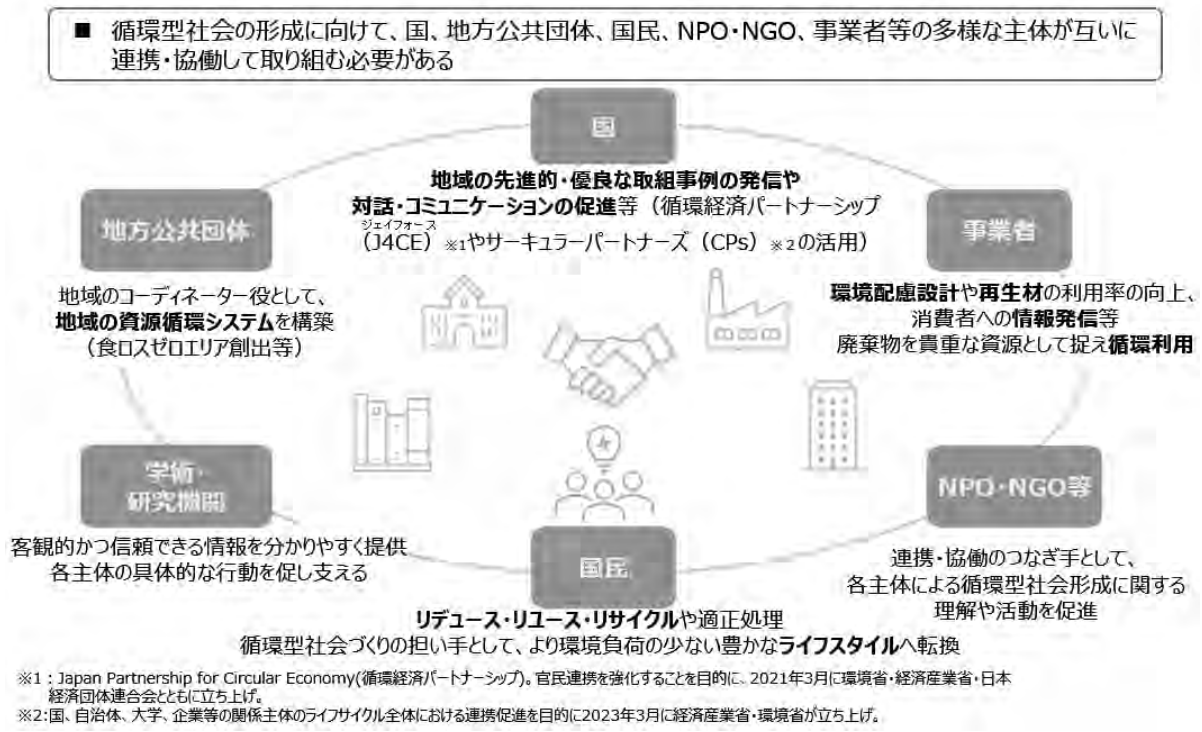
こうした取組や国際的な資源循環に係る対話が国内外一体的な資源循環施策を促進する。また，CEREP 等のイニシアティブの民間企業での活用を促進することで，バリューチェーン全体での循環性を高める。

（2）適正な国際資源循環の促進

日 ASEAN のパートナーシップや G7 で合意された重要鉱物等の国内及び国際的な回収・リサイクルの強化等に基づき，国際的な資源循環体制を構築する。具体的には，ASEAN を含む諸外国で発生した e-waste が発生国内で適正な回収・解体をされた後に日本に輸入され，我が国が優位性を持つ金属製練技術により環境上適正に再生資源にリサイクルされバリューチェーンで利用されるようにする。また，e-waste 等の国内での対策や水際での不適正な輸出の防止対策等を進めることにより，我が国が「有害廃棄物の国境を越える移動及びその処分の規制に関するバーゼル条約」（以下「バーゼル条約」という。）等に基づく不適正輸出入対策等の取組，国際的な資源循環に資する環境上適正な管理の枠組み作りやその基準を満たす施設の相互承認の推進などに大きく貢献し，資源の流出にもつながる廃棄物の不適正輸出入を減少させる。さらに，バーゼル条約に関して必要な諸手続を電子化することで再資源化可能な資源の輸出入の迅速化を図り，国際的な資源循環をより円滑に行えるようにする。

（3）我が国の循環産業の国際展開の推進と途上国の循環インフラ整備の促進

二国間や多国間協力の枠組み，自由で開かれたインド太平洋のための新たなプラン（FOIP）等を踏まえ，資源循環に関する我が国の優れた制度・人材育成・システム・技術等をパッケージとして ASEAN をはじめとする途上国等に展開することで，適正な廃棄物管理及び資源循環の強化を図り，環境汚染等の低減に貢献し，世界の資源制約の緩和に貢献する。具体的には，各種リサイクル法等の我が国の資源循環に関する優れた制度・システム，廃棄物発電や準好気性の埋立方式



図―３　各主体の連携と役割

等の技術を導入することの環境面・経済面の長期的なメリットについて国際機関と連携してアジア等の途上国に発信することで，循環型社会形成に向けた機運を世界的に高める。また，下水道・浄化槽等について，集合処理と個別処理のそれぞれの長所を生かしたバランスの取れた包括的な汚水処理サービスの国際展開を図る。さらに，我が国の二国間協力やアフリカのきれいな街プラットフォーム（ACCP）・アジア太平洋循環経済 3R 推進フォーラムといった我が国主導のプラットフォームでの活動により，廃棄物発電や現地で発生した廃棄物のリサイクル・適正処理を行う事業等において日本の循環産業が海外展開しやすい環境を形成し，民間企業の海外展開を進める。

6. おわりに

循環経済への移行を進めることで循環型社会を形成する取組は，資源効率性・循環性の向上及びこれによる気候変動・生物多様性損失・汚染といった環境問題への対処による自然資本への負荷削減，地域課題の解決と地方創生，再生材の利用拡大等を通じた国際的な産業競争力の強化や資源確保による経済安全保障の強化に資する施策である。社会課題の解決に向けた取組を成長のエンジンへと転換し，持続的な成長を実現するとともに，これらの社会課題や環境課題を同時解決し，人類と地球全体の未来を持続可能なものにして次の世代に引き継いでいくためには，事業者の皆様をはじめとした関係者の協力が必要不可欠である（**図**―3）。第五次循環基本計画の趣旨をご理解いただくとともに，積極的な取組に期待したい。

JCMA



［筆者紹介］
中村　祥（なかむら　しょう）
環境省
環境再生・資源循環局
総務課循環型社会推進室
企画官

特集≫≫ 解体，3R，建設発生土・廃棄物処理

精密衝撃破砕工法による馬蹄形ジベル式合成桁橋のRC床版解体・撤去

波動伝播経路誘導による精密衝撃破砕のための装薬設計理論と実際

阪本 良・上西幸司・中森純一郎・山地宏志

馬蹄形ジベル式合成桁橋の床版取替工において，既設床版解体・撤去は，最初に実施される作業でありながら，これに適した工法がなく，全体工程のボトルネックとなっている。われわれは非火薬の放電破砕工法EDICSとその特殊装薬法であるSMartDとを用いた精密衝撃破砕工法を，当該解体工に適用することで，低環境負荷で効率的な解体・撤去を実施し得ると考えた。このため，同形式のRC床版を合理的に解体・撤去し得る施工シナリオと，それを可能とする装薬配置法を開発した。これを，高速道路床版の取替工事に適用し，既に3,000 mを超える区間の床版を，計画をやや上回る効率で解体・撤去し，当該工法の妥当性を実証した。

キーワード：放電衝撃破砕工法EDICS，精密衝撃破砕工法SMartD，馬蹄形ジベル式合成桁橋RC床版

1. はじめに

昭和38年（1963年）7月に，わが国初の高速道路とされる名神高速道路栗東-尼崎間が開通[1]して以降，全国を結んで整備された高速道路網の多くは，建設後40年以上が経過し，老朽化の時期を迎えつつある。また，この間の経済発展による車両の大型化と，陸上輸送量の激増は，設計時に期待された床版の長期健全性を担保することを困難とし[2]，今日，全国で高速道路橋床版の取替工事が行われている。

初期の高速道路橋に多く採用されている馬蹄形ジベル式合成桁橋は，主桁とRC床版がジベルで強固に接合され一体となって荷重に抵抗する構造であるため，非合成桁橋のように，ジャッキ等で床版をフランジから引き剥がして撤去することができない。このため，主桁近傍のコンクリートを一定幅残して，床版をワイヤーソー等で切断・撤去してから，残された桁上コンクリートをウォータージェット工法（以下，WJ工法）や人力作業等で解体・撤去する二段階の解体・撤去法が，主として採用されている。

WJ工法は，吐出圧$P = 250\ MPa$程度に加圧した高圧水を，小口径のノズルから噴出させ，その水圧でコンクリートを粉砕・除去する工法であり，鋼主桁を保全してコンクリートだけを破砕することを可能とするが，莫大な上水道品質の水を必要とし，その水源確保と供給が難しい。また，使用後の汚染水回収・処理にも問題が多く，特に跨川工事では，微量の汚染水の漏出が，流域の水環境劣化や，生態系への影響を生じさせる可能性もある。

一方，コンクリートブレーカーやピックハンマー等を用いた人力によるハツリ工は，最も確実な解体工法であるが，近年，これに従事する作業員の高齢化や，新規従事者の激減により，所要の作業人員を確保することさえ，困難となりつつある。また，所要人員を確保し得たとしても，その作業の特殊性から，今日基準で，振動作業等の健康阻害因を排除して，作業員の心身の健康を保全し得る，快適で効率的な作業体制を構築するためには種々の困難が付きまとう。

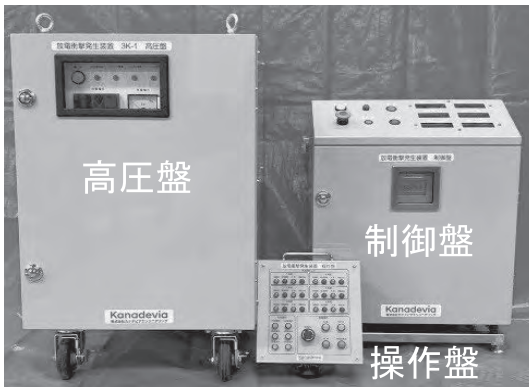
このような現状に鑑み，われわれは放電衝撃破砕工法EDICS（Electric Discharge Impulse Crushing System）[3]と，その精密装薬設計法SMartD（Sakamoto-Mikio Advanced shock wave Reflecting Technique for Demolition）[4]を合成桁橋の床版解体工に適用することで，その解体・撤去作業を効率・安全化すると同時に，労務の負荷軽減と省人化も実現し得るのではないかと考えた。本稿では，第2章でEDICSとSMartDの概要を説明し，第3章において馬蹄形ジベル式合成桁橋の床版解体シナリオ，ならびにこれを可能とする破砕機構とその装薬配置について示し，第4章ではその施工適用における実際を示す。

2. 放電破砕工法 EDICS と精密衝撃破砕工法 SMartD

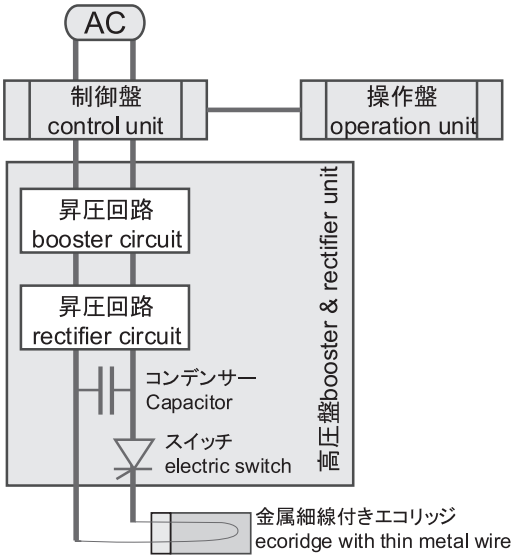
(1) 放電破砕工法 EDICS のパルス圧発生機構

放電破砕工法 EDICS は，発破工法の一種であるが，衝撃発生源として，爆轟反応を生じる火薬ではなく，爆燃域の反応を呈する自己反応性薬液を用い，これを E = 3,000 V の高圧放電で励起することで，コンクリートや岩を破砕する点に特徴がある。**写真**―１および**図**―１に，EDICS の放電衝撃発生装置と，そのブロック回路図を示し，**図**―２には EDICS の反応過程と，その圧力上昇過程の測定例の一つを示す。

自己反応性薬液は，装薬孔への装填が容易なようにエコリッジとよばれるカートリッジに充填されて提供される。このカートリッジ内には，**写真**―２のように，一対のリード線が封入されており，その先端は金属細線で結ばれている。この系に放電衝撃発生装置から，E = 3,000 V の高圧放電でエネルギーが供給される



写真―１　放電衝撃発生装置 [3]

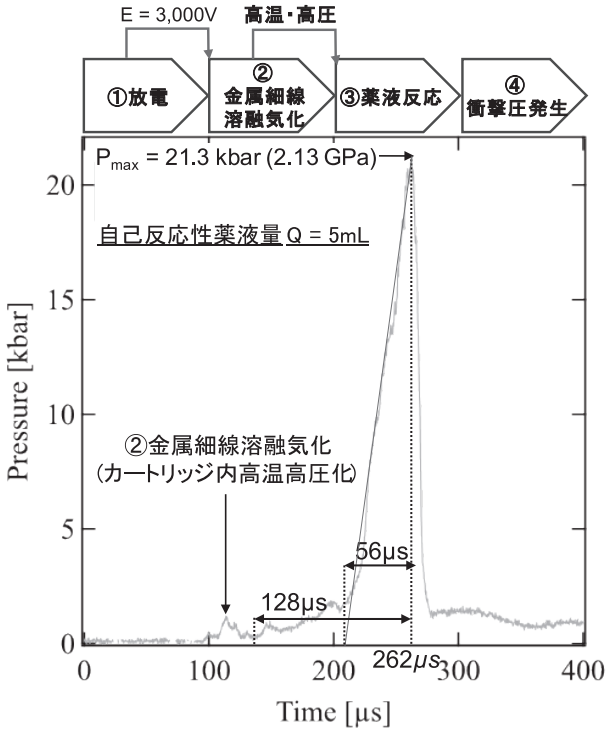


図―１　放電衝撃発生装置ブロック回路図 [3]

と，**図**―２[5] のように，金属細線が，反応時間 ΔT = 30 μs 程度で，溶融気化し，エコリッジ内は一気に高温・高圧状態に遷移する。これをトリッガーとして，薬液が劇的な酸化反応（爆燃）を呈し，瞬間的に大量のガスが生成され，爆発的な体積膨張が発生する。

発破法では，予め薬液を装薬孔内に閉じ込めるため，この膨張エネルギーは，装薬孔壁に圧力として，パルス的に作用する。Q = 5 mL の薬液に放電した場合，**図**―２[5] の例のように，金属細線の溶融気化後 ω Δt = 120 - 130 μs で圧力はピークを示し，その値は P_{max} = 1.5 - 2.1 GPa に達する。

なお，この放電衝撃発生に要するエネルギーは家庭用交流電源から供給可能であり，特殊な電源は必要としない。また，EDICS は，以下のような特徴を有す。



図―２　薬液反応過程とエコリッジ底面の圧力上昇例 [5]



写真―２　金属細線を装着したエコリッジ

すなわち，1）火薬類取締法の規制を受けない，2）破砕力を制御可能である，3）振動・騒音，および粉塵発生を制御可能な低環境負荷な工法である。さらに4）大型重機が使用できない狭小空間や屋内でも施工が可能である。

(2) 精密衝撃破砕工法 SMartD の設計原理

前述のように，EDICS で用いられる自己反応性薬剤は，反応速度が音速以下の爆燃と呼ばれる反応を呈し，その作用は，主としてガス膨張であり，衝撃波を伴わない[6]。したがって，その破砕能力は，岩やコンクリートを圧縮破砕するほどの圧力には達しない。

写真―3[4]は，円柱試験体（ϕ500 mm × 500 mm (H)）の中心に Q = 1.2 mL の自己反応性薬剤を装填し，放電した際の破砕状況を示すものである。また，**写真―4**[4]には，ハイスピードカメラにより撮影した，円柱供試体上面のひび割れの発生と成長過程を示す。**写真―4** をみると，ひび割れは起爆孔から外周へ向かって成長するだけでなく（outbound crack），外周から中心に向かっても成長する（inbound crack）ことが確認できる。

前節で述べたように，放電による薬液反応により，装薬孔壁には，最大 1.5 ～ 2.0 GPa 程度の圧力がパルス的に作用する。この圧は，孔壁で運動エネルギーに変換され，圧縮波として媒体内を伝播するが，自由面等で反射すると，ほぼ同じ大きさの引張波に変換され，媒体内部へと伝播していく。引張強度の低いコンクリートでは，この引張波により破砕面が形成され，その伝播経路上に成長し得るものと考えられる。したがって，外周から中心に向かっても成長するひび割れ（inbound crack）は，このようなメカニズムにより形成されたものと評価される。すなわち，少量の爆燃域薬剤でコンクリートを破砕することが可能である。

SMartD は，解体対象の構造や解体条件に合わせて，引張波の伝播経路を誘導し，効率的に対象構造物を解体し得る破砕面を形成するよう，薬剤の装薬配置や孔内薬量，斉発数，ならびに補助破砕法などを定量的に設計・計画する技術である。地盤掘削などでは，引張波の伝播経路を誘導する手法として，小孔群を設ける等の手法がよく用いられるが，RC 構造解体では，鉄筋とコンクリートの波動伝播速度，ならびに伝播特性の違いを利用する装薬配置が有効であることが多く，馬蹄形ジベル式合成桁橋の RC 床版解体のための装薬配置も，この考え方を踏襲して開発した。



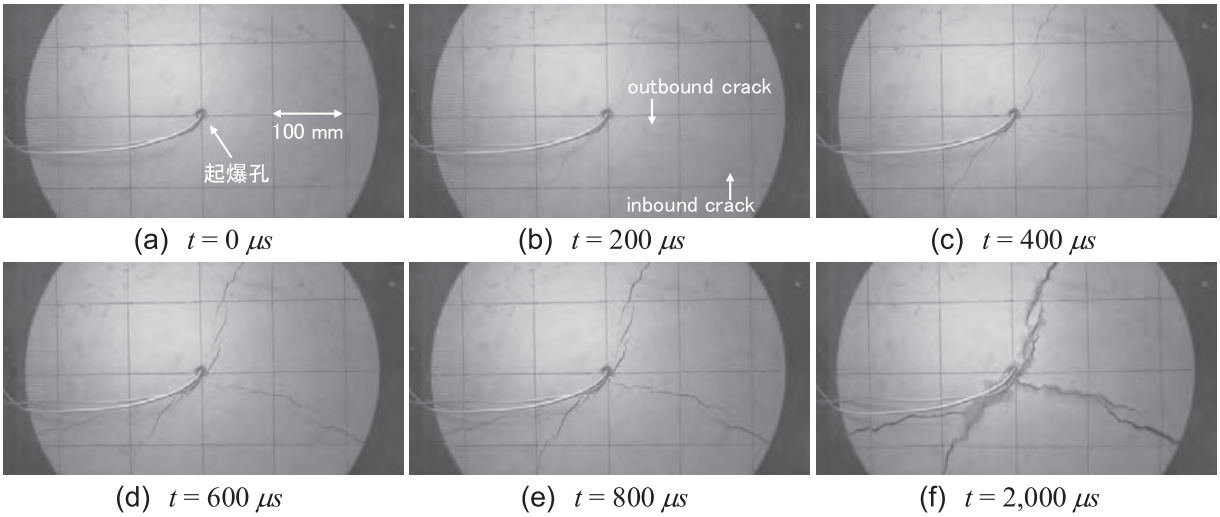
(a) 起爆前　　(b) 起爆後

写真―3　円柱供試体の放電破砕状況[4]

3. 合成桁橋 RC 床版解体・撤去のための装薬配置

(1) SMartD による合成桁橋 RC 床版解体シナリオ

「合成桁」は，床版と鋼桁が一体となって上載荷重を負担する構造であるため，上フランジと床版はジベルで強固に接合され，容易に分離することができない。逆に言えば，床版と鋼桁の一体化を無効にすれば，



(a) $t = 0\ \mu s$　(b) $t = 200\ \mu s$　(c) $t = 400\ \mu s$

(d) $t = 600\ \mu s$　(e) $t = 800\ \mu s$　(f) $t = 2{,}000\ \mu s$

写真―4　放電破砕時の円柱供試体上面におけるひび割れの発生とその発達[4]

床版を主桁から分離・撤去することが可能となる。

鋼桁と床版の一体化は，**図**―３に模式的に示すジベル周辺 α 部のコンクリート硬化過程において発現される。したがって，SMartD により α 部のコンクリートを効果的に破砕することができれば，人力によるハツリ作業を大幅に低減して，主桁から床版を分離することが可能となる。

一方，高速道路床版の取替工は，高速活線交通近傍での作業となることが多いため，その施工は円滑な走行と安全を，絶対的に担保して実施されなければならない。したがって，床版破砕に要するエネルギーは，可能な限り抑制することが望まれる。上述のように α 部周辺に限定した局所破砕は，作用させる衝撃も相対的に小さなものに抑制することが可能であり，近隣活線交通への影響を低減し得るとともに，飛散・騒音養生も軽微・簡便とすることが可能で，作業の安全化，効率化を図ることもできる。

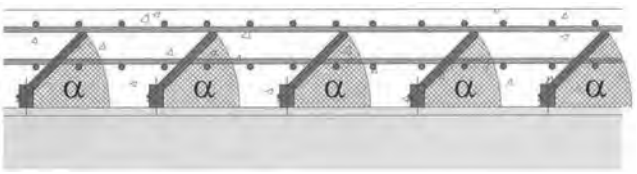
(2) 合成桁床版分離解体のための装薬配置

図―４に，馬蹄形ジベルによる鋼桁と床版の一体化を無効化するための装薬配置例を模式的に示す。当該装薬配置は，以下の３つの条件を満たすよう設計したものである。

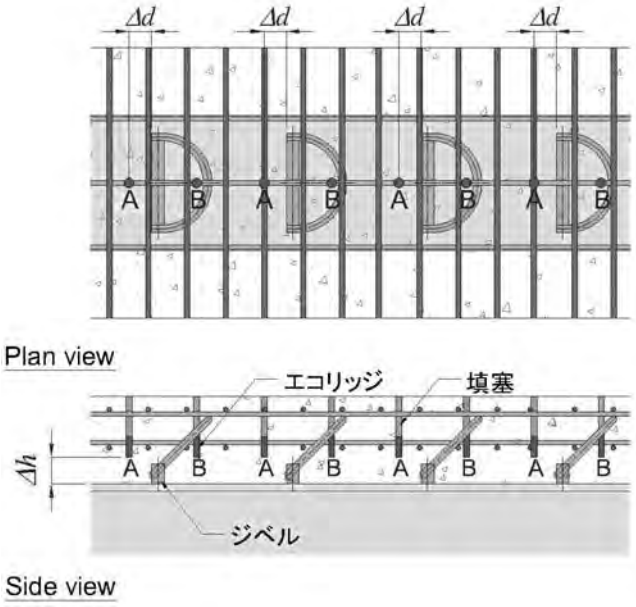
①ウェブの直上に等間隔で装薬孔を設ける。
②２本のエコリッジ A，B で，ジベルを挟むよう装薬し，A はジベル端部からの距離 Δd が一定の範囲の位置に，また B はジベルリング内に配置する。
③エコリッジ底面と主桁フランジ面の距離 Δh が一定の範囲内に位置するよう深部装薬する。

図―４に示した装薬配置で，A，B のカートリッジを斉発で起爆すると，**図**―５に模式的に示す応力波の伝播経路が形成され，以下の３つの破砕形態が，逐次，発現される。最初に形成される破砕面は，馬蹄形ジベルのリング面に沿った破砕面である。**図**―５の波動伝播図に示すように，フランジ面反射で生じる引張波は，ジベル内部を，コンクリート内部よりも速く，かつ低減衰で伝播する。その波頭は新しい波源となり，周囲のコンクリートに次々と球面状に波を伝播させるため，ジベルリング内では引張波が重なり合い，**写真**―５のように，リング面に沿った破砕面が形成され，リングを介したジベル - コンクリート間の結合は解消される。

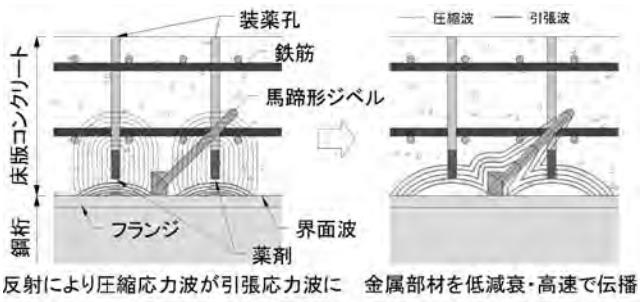
第二の破砕形態は，スポール破壊（spall fracture）として知られる破砕である。すなわち，ある部材の片側表面に衝撃を加えたとき，部材の厚さ方向に伝播した圧縮応力波が，背面の自由面で反射し，引張応力波



図―３　鋼桁 - 床版間の一体化無効化のための破砕個所



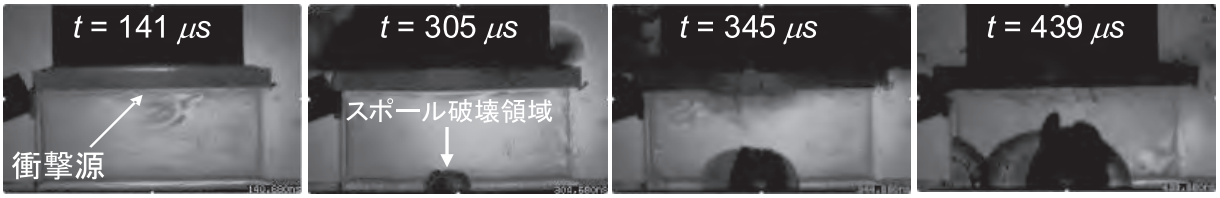
図―４　鋼桁と床版の一体化を無効とする装薬配置模式図



図―５　馬蹄形ジベル周辺の波動伝播模式図



写真―５　馬蹄形ジベルのリング面に沿った破砕面



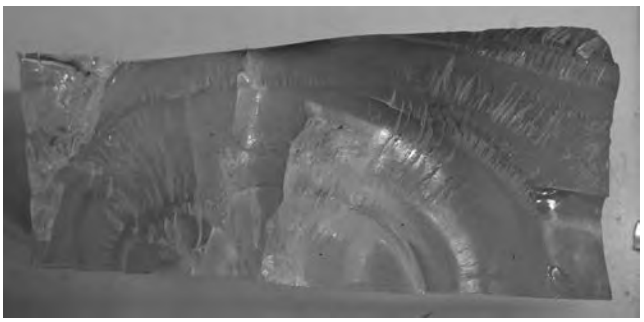
写真―6　アクリル板 100 mm（L）× 100 mm（W）× 50 mm（H）におけるスポール破壊領域の成長過程[5)]

となり広がっていくことにより生じる引張破壊である。

写真―6 は，アクリル材（100 mm × 100 mm × 50 mm）上部に放電衝撃を与え，スポール破壊の発生と進展過程をハイスピードカメラで撮影した写真である。**写真**―6 では，半球面状のスポール破壊領域が，衝撃源の反対面に形成され，成長していく様子が確認できる。この半球面状の破壊領域は，連続的に成長するのではなく，最初に形成された半球面を覆う新しい半球面が，逐次，段階的に形成され，**写真**―7 のように層状の半球破砕面が形成される。このとき，円周方向の破砕面だけでなく，半径方向の破砕面も形成されるため，アクリル材は細かく分割破砕されていく。このような破砕形態は，実際の床版解体工においても確認され，ジベル周辺のコンクリートは，**写真**―8 に示すように，手で取り除ける寸法に破砕され，ジベルと床版コンクリートの一体化はほぼ解消される。

3 つ目の破砕効果は，フランジ面上を伝播する反射波成分が，界面波としてフランジ - 床版コンクリート間の付着を解消する効果である。この破砕効果を，定量的に説明することは難しいが，床版撤去後，主桁上に残されたコンクリートは，箒などでノロも残さず容易に清掃される。

以上の，3 つの効果が同時に発現されることで，馬蹄形ジベル周辺のコンクリートは分断・細破し，床版コンクリートと主桁との一体化は完全に解消され，床版を主桁から撤去することが容易となる。



写真―7　層状破砕面が形成されたアクリル材断面

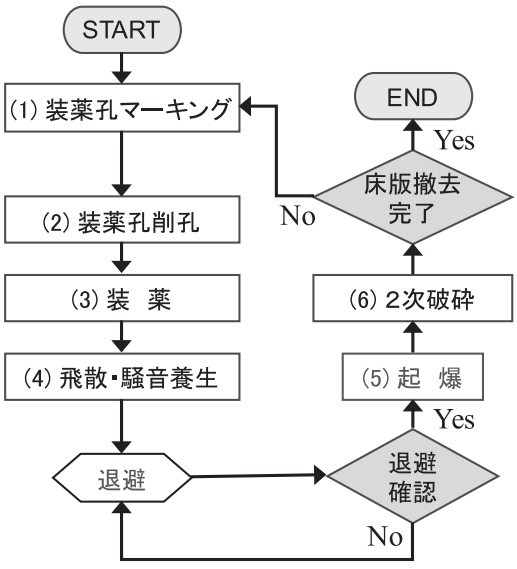


写真―8　床版撤去後のジベル周辺コンクリート破砕状況

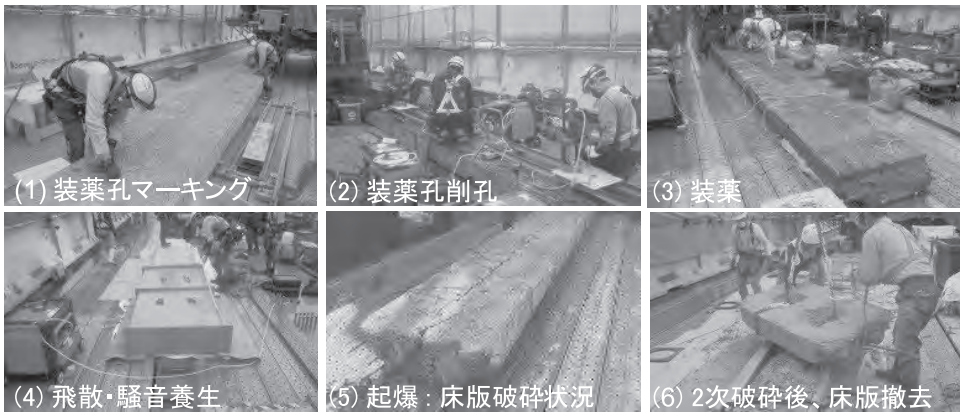
4. SMartD による合成桁床版解体・撤去の実際

図―6 に，SMartD による合成桁床版解体・撤去工の作業手順を示し，**写真**―9 に各作業段階の施工状況を示す。SMartD は，EDICS の特殊工法であるため，**図**―6 中の（4）と（6）以外は，ほぼ EDICS の作業と同一である。

（4）の飛散・騒音養生については，破砕個所の数 m 近傍を一般車両が高速走行していることから，通常の養生に加えて，**写真**―9 中の（4）に示される厚さ t = 3 mm の鋼製箱で破砕範囲を覆い，飛散対策に万全を期すと同時に，質量則による騒音低減も図った。



図―6　SMartD 作業手順



写真―9　SMartD 各作業段階の施工状況

(6) の二次破砕は，二つの作業に分類できる。一つは，揚重機等で吊り上げ・運搬可能な寸法に，床版を橋軸直角方向に分断する作業である。当然のことながら，揚重機能力が大きいほど，切断寸法を大きくでき，分断個所を減らすことができるため，設備計画の段階で可能な限り能力の高い揚重機を選定することが望まれる。

もう一つの作業は，床版吊り上げの邪魔となるジベルリング内部を通る橋軸方向の配力筋を，ハツリ出し，切断する作業である。このためにハツリ出すコンクリート体積は**写真**―9 中の (6) から分かるように，至って小さく，局所的であるが，その必要最小限のハツリ出し体積を作業員が会得するには，現地での学習・習熟による外ない。

EDICS，ならびに SMartD による馬蹄形ジベル式合成桁橋の RC 床版解体工は，既に切断幅 W = 800 mm で切断された床版を，L = 3,000 m 以上にわたって解体・撤去した。この間，初期習熟を除いても，プレストレス補強区間等における補助装薬配置設計など，現地でなければ検証・解決できない課題が生じたが，現在のところ当初計画以上に円滑な解体・撤去作業を実施し得ている。

謝　辞

図―2，および**写真**―6 は，（国研）産業技術総合研究所との共同研究の成果の一部です。同研究所緒方雄二様，久保田士郎様，佐分利禎様，高橋良尭様には，共同研究を指導・実施いただきました。また，中日本高速道路㈱名古屋支社名古屋工事事務所のみなさまには，同工法の現場実装に際し，実務的なご助言とご指導を賜りました。ここに深甚の感謝を表し，本文の結びとさせていただきます。

JCMA

《参 考 文 献》

1）『高速道路五十年史』編集委員会：高速道路五十年史，第 2 章，東日本高速道路㈱，中日本高速道路㈱，西日本高速道路㈱，pp.36，2016.
2）高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会：中間とりまとめ，東日本高速道路㈱，中日本高速道路㈱，西日本高速道路㈱，No.349，pp.106-110，2010.
3）佐々木加津也，北島秀昭，阪本良 et. al.：衝撃破砕工法の特性と施工例，Hitz 技報，Vol.7，No.1，pp.32-37，2010.
4）Uenishi K., H. Yamachi, K. Yamagami and R. Sakamoto：Dynamic fragmentation of concrete using electric discharge impulses, Construction and Building Materials,Vol. 67, Part B, pp.170-179, 2014.
5）（国研）産業総合研究所，三井住友建設㈱：令和 4 年度共同研究「コンクリートの放電破砕メカニズムに関する研究（II）」報告書，2023.
6）（一社）沖縄県磁気探査協会：火薬学の基礎知識（講義用），https://www.jikitansakyoukai-o.com/img/pdf/0715_5.pdf，2025.7 閲覧

［筆者紹介］



阪本　良（さかもと　りょう）
㈱カナデビアエンジニアリング
機械建設事業部
チームリーダー



上西　幸司（うえにし　こうじ）
東京大学
大学院新領域創成科学研究科
教授



中森　純一郎（なかもり　じゅんいちろう）
三井住友建設㈱
技術研究所



山地　宏志（やまち　ひろし）
三井住友建設㈱
技術研究所

特集≫≫　解体，3R，建設発生土・廃棄物処理

鉄骨プラズマ切断装置を用いた環境配慮型超高層建物解体工法

谷　　卓・西　村　　淳・佐　藤　良　史

高度成長期に建造された超高層建物が更新期を迎えており，効率的で環境負荷の少ない解体工法が求められている。そこでガス切断に替えて鉄骨切断作業の効率化と CO_2 排出削減を実現するため，建物の柱や梁の切断作業に特化した鉄骨プラズマ切断装置を開発した。この装置を超高層建物解体工事現場に適用し，ブロック解体工法の柱や梁の鉄骨切断作業に組み込むことで作業の効率化と CO_2 排出削減の効果を検証した。

キーワード：超高層建物，解体，作業効率化，CO_2 排出削減，プラズマ切断，ガス切断

1. はじめに

近年，高度成長期後半から建造された超高層建物が更新期を迎えており，超高層建物を解体する事例が増えている。建物の解体方法は**写真**―１に示す建物の最上階に解体重機を乗せて解体する階上解体工法と，**写真**―２に示すブロック状に切断した躯体をタワークレーンで吊り降ろすブロック解体工法に大別される。階上解体工法は解体材の飛来・落下リスクや，荷降ろしが煩雑になるなどの課題があるため，超高層建物の解体工事ではブロック解体工法が主に採用される。超高層建物のブロック解体工事では，柱や梁の鉄骨切断量が多く，**写真**―３や**写真**―４に示す鉄骨のガス切断作業に時間を要することから，工事の長期化



写真―１　階上解体工法



写真―３　梁のガス切断



写真―２　ブロック解体工法



写真―４　柱のガス切断

やコストの増加が課題であった。ガス切断工の逼迫もこの課題をより大きくしている。また，ガス切断は切断用ガスボンベを大量に使用し，輸送や搬出入の作業が発生することも課題であった。さらに，切断ガスボンベの輸送で CO_2 を排出するだけでなく，アセチレンやプロパンといった切断ガスの燃焼によって CO_2 を排出することも課題であった。この課題解決に対し，鉄骨をプラズマ切断する方法が挙げられ，鉄骨切断の高速化や CO_2 排出量削減といったメリットがあり[1)]，ブロック解体工法の効率化や環境負荷低減が期待できる。一方でプラズマ切断は，切断状況に合わせた切断速度の調整や，切断トーチと切断部材との距離を一定に保つことが必要であることから，人による切断作業では扱いづらいことが課題となっている[2)]。そのため人による作業割合が高い建設現場では使用される事例が少ない。既往の文献において，ブロック解体工法の適用事例が報告されているが[3),4)]，プラズマ切断による鉄骨切断の報告はない。

本報では，超高層建物の解体工事の効率化に向け，人による作業の割合が高い建設現場で使用しやすい鉄骨プラズマ切断方法について検討し，従来のブロック解体工法に対する生産性向上と環境負荷低減の効果を検証した。

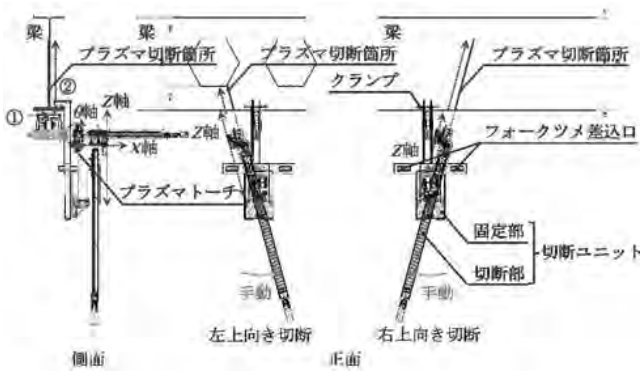
2. 鉄骨プラズマ切断方法の検討

(1) 切断条件と切断方法の検討

プラズマ切断をブロック解体工事に適用する上で，人による切断作業では扱いづらい特徴を鑑みて，切断作業を自動化した装置として適用する方法を採用した。機械装置をブロック解体に適用するには，他の作業との混在によって作業効率が低下することが予想されたので，占用の作業階で切断装置を使用するものとした。この作業階は，躯体ブロックを吊り取る最上階は作業が混在するため，下層階への設定を想定した。そのためこの鉄骨先行切断では，作業階より上階の荷重を支えられるだけ鉄骨を切り残すようにした。

(2) 梁鉄骨の切断装置の検討

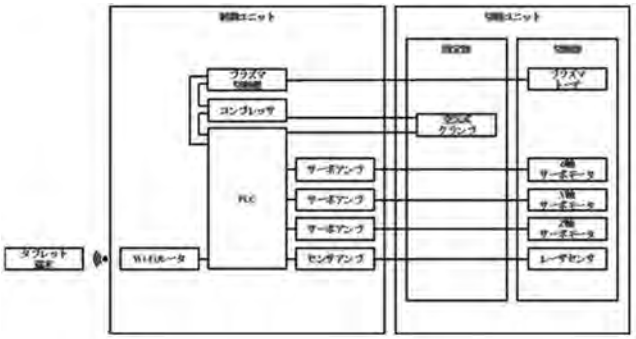
上記条件を満たす梁鉄骨の切断装置として，**図**―1 に示す切断ユニットを考案し，**写真**―5 に示す装置を設計製作して切断実験を実施した。機器構成を**図**―2 に示す。装置は切断ユニットと制御ユニットで構成し，切断ユニットは固定部と切断部から構成した。切断ユニットはフォークリフトによるハンドリングが可能で，固定部に設置した空気式クランプによって梁鉄骨の下フランジに固定できる。切断部は 1 次元のレーザ距離センサによって梁鉄骨の位置を認識し，3 つのモータ駆動軸によってプラズマ切断トーチを動作させ，下フランジとウェブを切断する。切断トーチは鉄骨との距離を一定に保つ必要があるため，トーチ部にガイドローラとバネ等の押し付け機構を搭載し，鉄骨から一定の距離を保ってトーチを動作させた。切断トーチの動作は切断する梁鉄骨の形状によって変化させる必要があるため，鉄骨の形状毎に位置や速度の動作パラメータ設定した。パラメータは代表的な梁鉄骨



図―1　プラズマ切断装置の切断ユニット概略図（梁切断）



写真―5　プラズマ切断装置の切断実験（梁切断）

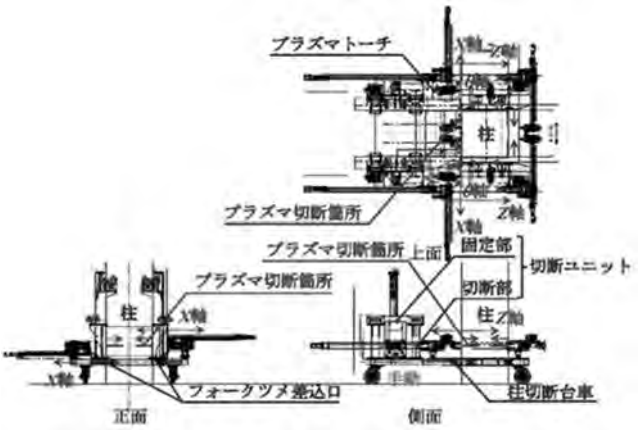


図―2　機器構成

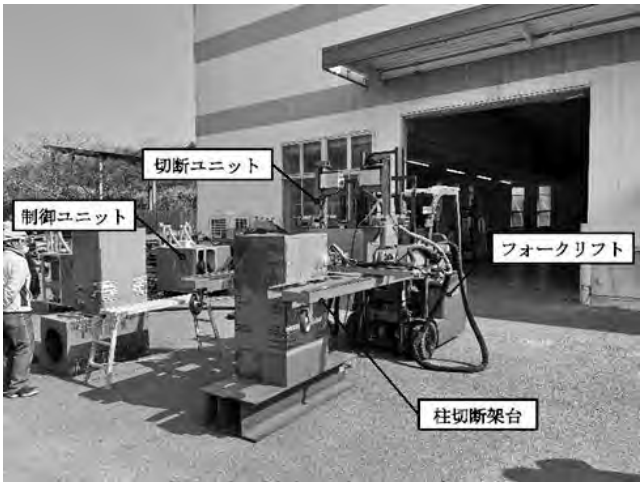
の形状で実験を行い，近似することで決定した。固定部と切断部は回転可能に結合し，梁鉄骨の切断角度が手動で変更できる。制御ユニットには，制御装置，プラズマ切断機，プラズマ切断用のエアコンプレッサを配置している。駆動部の制御は制御装置によって行い，制御装置に Wi-Fi によって無線接続されたタブレット端末から操作できる。プラズマ切断機は Panasonic 製 YP080PF3，コンプレッサはアネスト岩田製 TFP 22CF-10 を採用した。

(3) 柱鉄骨の切断装置の検討

鉄骨プラズマ切断装置は，切断ユニットを柱切断架台に接続することで，柱の先行切断も可能とした。柱切断時の切断ユニットを**図**―３に，実際に製作した装置を**写真**―６に示す。切断ユニットの切断部を手動で直角に傾け，１台の柱切断架台に２台の切断ユニットを接続すると，切断トーチを柱全周に移動できる。柱切断架台もフォークリフトによるハンドリングが可能で，柱に設置して切断を行う。切断動作は，梁と同様に１次元のレーザセンサによって柱鉄骨の位置を認識し，３つのモータ駆動軸によってプラズマ切断トーチを動作させ，ガイドローラとバネ等の押し付け機構によって鉄骨から一定の距離を保ってトーチを動作させることで，鉄骨柱角部をＬ字型に切断する。鉄骨の形状毎に位置や速度の動作パラメータを持つことや，制御ユニットに無線接続されたタブレット端末から操作することも梁切断と同様である。各動作パラメータも梁と同様に代表実験とその近似によって決定した。



図―３　プラズマ切断装置の切断ユニット概略図（柱切断）



写真―６　プラズマ切断装置の切断実験（柱切断）

3. 現場適用

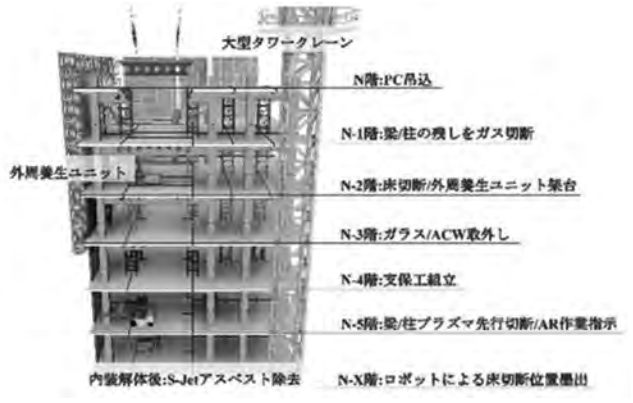
(1) 現場適用の目的と概要

鉄骨プラズマ切断装置の効果を検証するため，高さ 142.2 m の超高層建物の解体現場に適用した。適用した建物の概要は**表**―１のとおりである。本建物は都市部の人口密集地域にあり，大型幹線道路に面することから，周辺環境への配慮と安全性の向上を図る必要があった。

そこで，ブロック解体工法を採用し，鉄骨プラズマ切断装置を使用することで，その生産性向上と環境負荷低減の効果を検証した。各階の作業内容を**図**―４に示す。切断した躯体ブロックを吊り取る最上階を N 階とする。N-6 階以下で，躯体切断位置の墨出しを墨

表―１　解体建物の概要

竣工時期	1981年1月(解体着工時築41年)
用途	事務所，店舗，ホール，駐車場
最高高さ	142.2m
階数	地上32階，地下4階，塔屋2階
構造	地上S造，地下SRC造
延床面積	134,974㎡



図―４　各階の解体作業



写真―７　躯体ブロック吊り取り状況



写真―８　プラズマ切断装置の現場適用（梁切断）

出しロボットによって行った。N-5 階は鉄骨プラズマ切断装置を適用し，柱や梁の鉄骨先行切断を行った。前述のとおり，他の作業と混在しないことで作業を効率化させた。切断位置の確認はタブレット端末を用いて AR で実施した。N-4 階では切断した躯体を支える支保工を設置した。N-3 階では外装のガラスとアルミカーテンウォールの取り外しを行った。N-2 階はロードカッターで床の切断を行った。またこの階には盛替可能な外周養生の架台を設置した。N-1 階は鉄骨の切り残しをガス切断し，N 階で**写真**―７に示すように躯体ブロックをタワークレーンで吊り取った。500 t・m タワークレーンを 2 機設置し，20 t 弱の大型躯体ブロックの揚重を可能にした。

(2) 現場適用効果

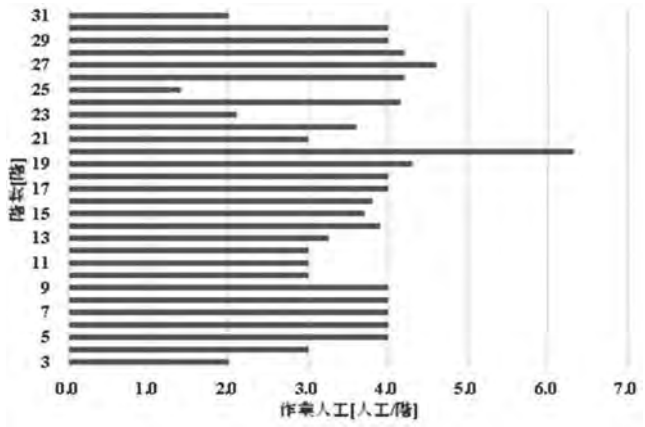
プラズマ切断装置は，フォークリフトによるハンドリングを考慮して，設置しにくい部材を除く 31 階から 3 階の梁 1,789 箇所，柱 338 箇所に適用した。切断装置の適用状況を**写真**―８と**写真**―９に示す。適用実績より，プラズマ切断装置による切断は，ガス切断に比べて約 30％高速であることが分かった。また，ガス切断する場合に使用予定だった 50 kg プロパンボンベを 23 本，40l 酸素ボンベを 869 本削減した。ガスボンベの削減は，その搬出入作業や盛替作業を削減するため，作業の歩掛り向上にも寄与した。さらに，タブレット端末を用いた AR で切断位置を可視化して作業指示を行い，ペーパーレスで作業を完了した。AR による作業指示も，切断位置の確認が効率化されるため，歩掛り向上に寄与した。AR による切断箇所可視化状況を**図**―５に示す。これらの効果を合算した結果として，各階のプラズマ切断に掛かった作業人工を**図**―６に，同じ切断箇所をガス切断した場合に掛かる各階の作業人工を**図**―７に示す。これはガスボンベの搬出入作業や盛替作業も含んでいる。プラズマ切断箇所をガス切断した場合に掛かった作業人工とプラ



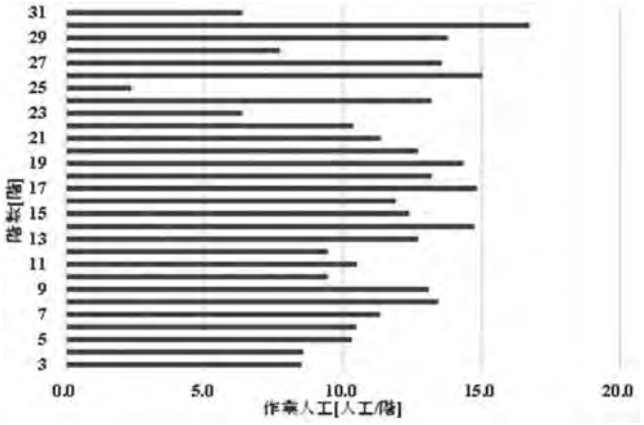
写真―９　プラズマ切断装置の現場適用（柱切断）



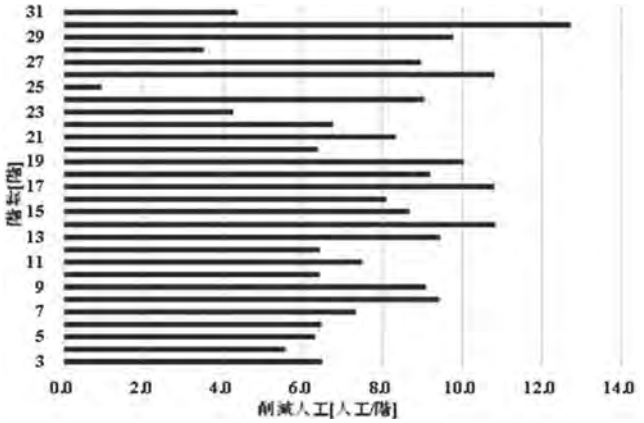
図―５　タブレット端末の AR による鉄骨先行切断位置の可視化



図―６　プラズマ切断の作業人工



図―７　プラズマ切断箇所をガス切断した場合の作業人工



図―８　プラズマ切断による省人化効果

ズマ切断に掛かった作業人工の差から，**図―８**に示すとおり，プラズマ切断による省人化効果を算出し，329 人工分のガス切断作業を 105 人工でプラズマ切断して省人化率は 68％であった。さらに，ガス切断工の逼迫もあり，切断作業の高速化と省人化によって，21 日の工程短縮も実現した。これらの生産性向上効果と工程短縮効果をコスト換算し，プラズマ切断装置製造コストを差し引いた結果，対象工事において約 30％のコスト削減効果があることを確認した。

CO_2 排出量は，炭酸ガス燃焼削減によって 3.6 t，ガスボンベの搬出入作業削減によって 1.9 t 減少し，プラズマ切断の電気使用によって 1.4 t 増加した。合わせて 4.1 t 削減となり，削減率は約 75％であった。

4. おわりに

超高層建物解体工事の効率化と環境負荷低減に向け，人による作業の割合が高い建設現場で使用しやすい鉄骨プラズマ切断方法を確立することを目的として，建設現場の鉄骨先行切断専用装置を開発し，その仕様を示した。本装置を超高層建物解体工事に適用し，鉄骨プラズマ切断装置を用いたブロック解体工法の有用性を確認し，従来のブロック解体工法に対する生産性向上と環境負荷低減の効果を検証した。

JCMA

《参考文献》

1）古城昭・神田晋ほか：造船の最新切断技術動向，溶接学会誌，86 巻 2 号，pp.85 ～ 89，2017 年
2）古城昭：プラズマ切断技術の最近の動向，溶接学会誌，66 巻 7 号，pp.519 ～ 523，1997 年
3）建築コスト管理システム研究所 新技術調査検討会：高層ビル解体工法について，建築コスト研究，Vol.77．No.4，pp.46 ～ 54，2012 年
4）奥山信博：シミズ・リバース・コンストラクション工法，建設機械，578．Vol.49．No.4，pp.27 ～ 33，2013 年

［筆者紹介］



谷　卓（たに　たく）
清水建設㈱
建築総本部　生産技術本部　機械計画部
機械エンジニアリンググループ



西村　淳（にしむら　じゅん）
清水建設㈱
建築総本部　生産技術本部　機械計画部
部長



佐藤　良史（さとう　よしふみ）
清水建設㈱
建築総本部　企画開発部　先端技術開発グループ

特集≫≫　解体，3R，建設発生土・廃棄物処理

世界最大級の超大型解体重機を用いた煙突解体
旧出雲エネルギーセンター解体工事

小　川　雅　史・池　田　幸　貴

島根県出雲市の旧大型焼却施設の煙突（高さ 57.5 m）の解体工事における，世界最大級の超大型解体重機を用いた，地上からの直接解体工法について紹介する。従来の足場設置型による高所作業を伴う方法に代わり，重機による無人化施工を採用することで，安全性の向上と工期の短縮，少人数施工を実現した。さらに，風速管理や養生ネットによる飛散防止などの対策を組み合わせた本工法は，今後の高層構造物解体における新たな選択肢となる可能性を示した。
キーワード：煙突解体，超大型解体重機，無足場，高所作業の無人化，作業効率化，養生ネット

1. はじめに

近年，解体工事においては安全性の確保と環境負荷の低減が強く求められている。特に，高さ 30 m を超えるような煙突・塔状構造物の解体では，従来の外部足場設置型工法における高所作業リスク，解体材の落下・飛散リスク，さらに工期の長期化といった複数の課題が顕在化している。

本報では，島根県出雲市における旧焼却施設（**写真―1**）煙突の解体に際し，世界最大級の超大型解体重機を用いて，地上から直接構造物を破砕する工法を採用した事例について報告する。

重機の特性と施工上の工夫，ならびに安全性や施工効率面での効果を整理し，今後の解体工法の選択肢としての可能性を検討する。

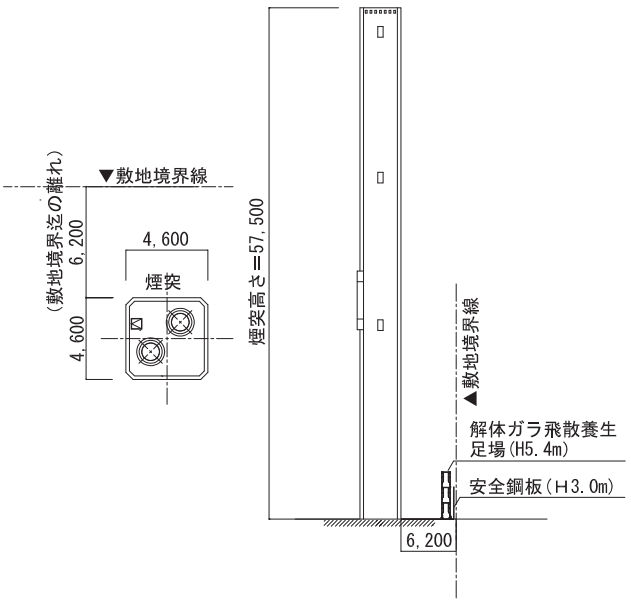
2. 対象構造物の概要

本工事で解体対象となった煙突（外筒）は鉄筋コンクリート造（RC 造）の正方形断面であり，高さ 57.5 m，外径約 4.6 m の構造を有していた（**図―1**）。施工現場は山間部に位置しており，敷地周囲には建築物や住宅といった密集構造物は存在しない。一方で，煙突基部と敷地境界との距離が約 6.2 m と比較的狭く，解体中のコンクリートガラの飛散や粉じんの拡散については十分な配慮が必要とされた。

出雲市は冬から春にかけて強風の日が多い地域である。本工事では，風速による作業中断リスクや養生設備の安全管理を重視し，比較的気象の安定する夏期（7



写真―1　旧出雲エネルギーセンター全景



図―1　煙突図（平面・立面）

月）を解体作業の実施時期として選定した。

3. 解体工法の計画とその課題

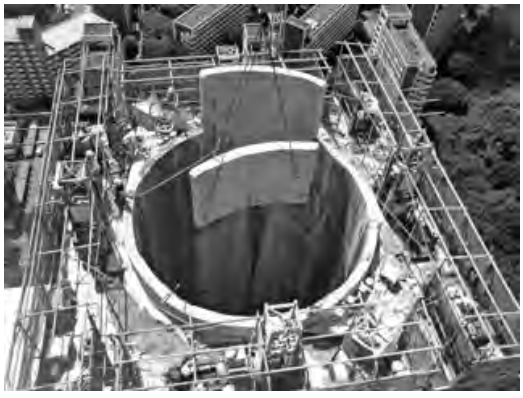
一般的な煙突の解体工事では，煙突外周に足場を設置し，構造物をワイヤーソーや大型カッターで分割しながら，大型クレーンにより部材を吊り下ろして撤去する方法が広く採用されている（**写真**―2～4）[1]。この工法は，構造物の性状や敷地条件に応じて柔軟に適用できる一方で，高所作業の多さや足場の設置・解体手間，重機による揚重作業など，作業の安全性・効率性の面でいくつかの課題がある。



写真―2　昇降式の移動式足場



写真―3　ワイヤーソーによる切断状況



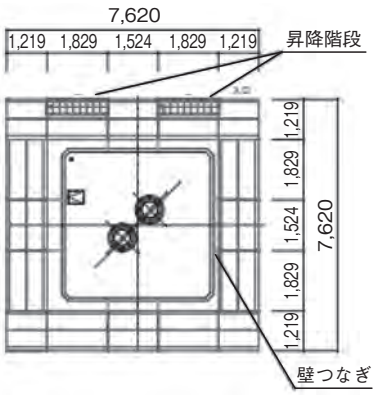
写真―4　切断コンクリートの吊り降ろし

当工事では，当初，煙突周囲に外部足場を設置し，その外周に防炎・防塵シートを張ることで飛散対策を講じたうえで，煙突上部から順次解体を行う工法を計画した（**図**―2）。解体方法としては，大型クレーンにより圧砕機アタッチメントを高所まで揚重し，油圧操作によって圧砕・撤去を行うものであった。

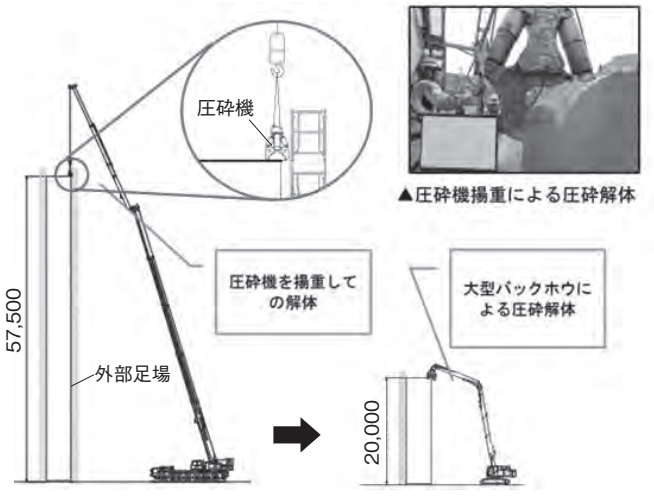
この作業を煙突高の約 20 m 地点まで繰り返し，その後は大型解体機を用いて地上から解体を進める段階的な解体手法を計画した（**図**―3）。従来の煙突解体工事で多く用いられる標準的な工法ではあるが，本現場においては以下のような課題が懸念された。

（a）高所作業の長時間化と夏季の高温環境による作業員への身体的負担。
（b）圧砕時に発生する解体ガラの落下・跳ね返りによる足場や作業員への衝突リスク。
（c）外部足場に遮られた状態での作業となることによる視認性の低下・安全確認の制限。
（d）足場設置・解体およびクレーン揚重作業に要する工期・人員負担の増大。

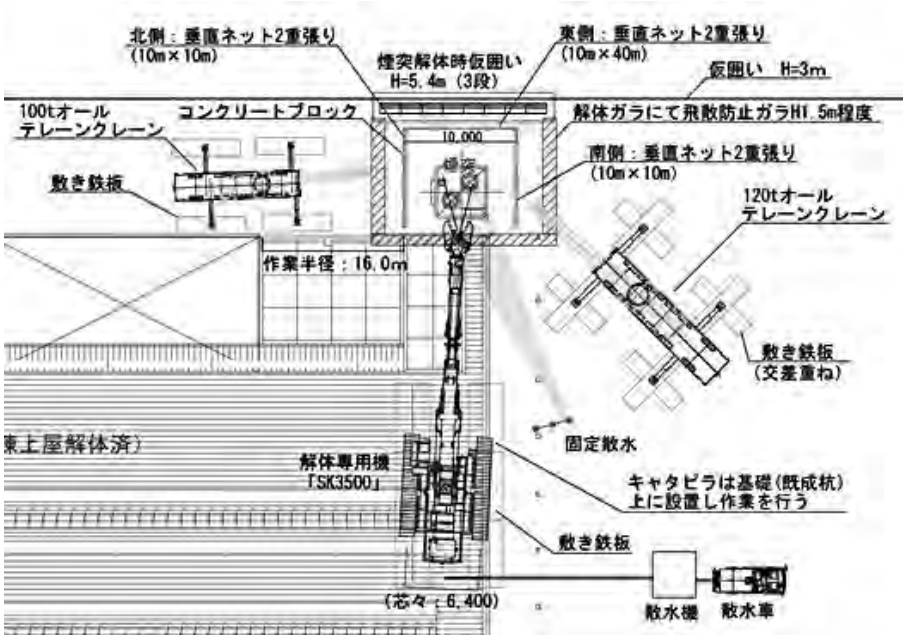
以上の課題を踏まえ，より安全かつ効率的な工法への改善を検討した。



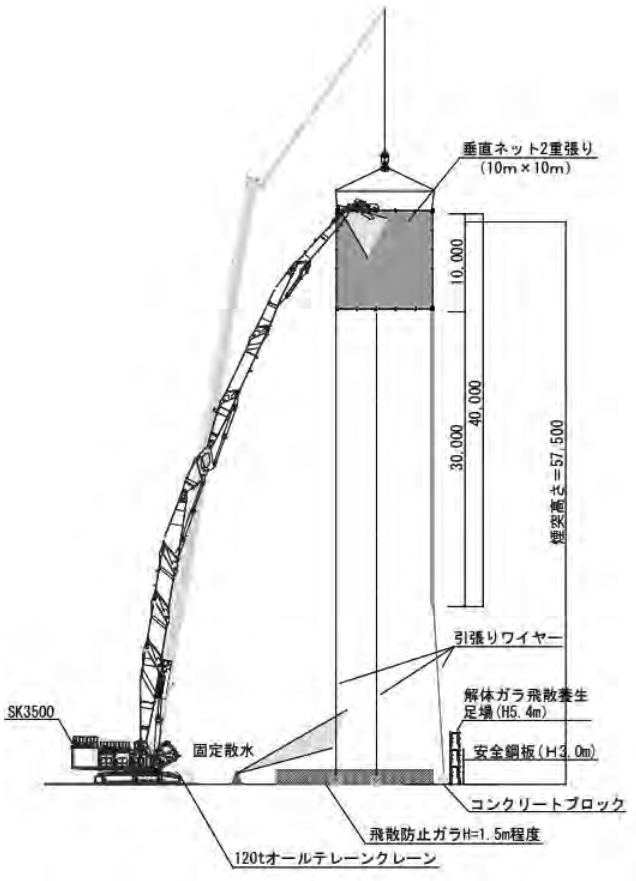
図―2　煙突周囲の外部足場



図―3　圧砕機揚重による解体計画



図―４　煙突外筒解体計画（平面図）



図―５　煙突外筒解体計画（断面図）

4. 採用工法と計画概要

本工事における前述した課題を改善するために，世界最大級の超大型解体重機を使用し，地上から直接，破砕解体を行う工法を計画した（**図**―４，５）。



写真―５　解体ガラ飛散養生

(1) 解体重機配置計画

導入した解体重機（SK3500D）は，最大作業高 65 m を有し，専用の圧砕アタッチメントを装着することで，57.5 m の煙突外筒を地上からの操作で解体可能とした。

(2) 養生・飛散防止措置

本工法の採用に際しては，安全対策として垂直養生ネットをＬ型とＩ型の２つに分割し，地上で組み立てたあと，２台のクレーンでそれぞれを吊り上げ，飛散防止対策とした。さらに煙突足元には仮囲いや解体ガラによる堤防を設けて，落下したコンクリートガラの跳ね返りによる事故を防止した（**写真**―５）。

(3) 作業中の安全管理

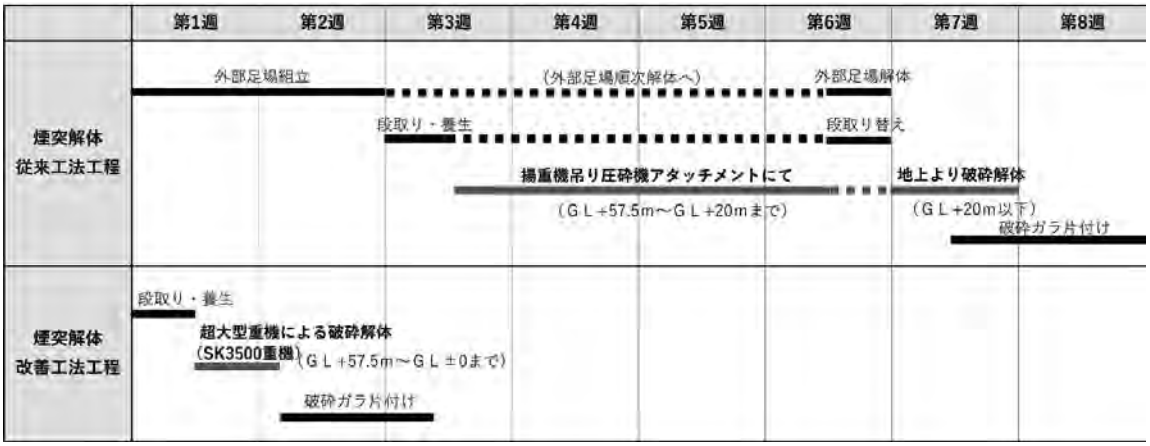
作業中は常に風速を計測し，デジタル表示板による「見える化」を図りながら作業を進めた。垂直養生に２台のクレーンを使用した理由は，強風による作業中



写真―６ 風速計



写真―７ 風速デジタル表示



図―６ 工程比較

断が発生した際に，迅速にネットを吊りおろせるように配慮したものである（**写真**―６，７）。

5. 技術的成果と効果

(1) 従来工法との工程比較

煙突周囲に外部足場を設置し，大型クレーンにより圧砕機アタッチメントを高所まで揚重して，油圧操作によって圧砕・撤去を行う工法（当初計画）と，今回実施した超大型解体重機を使用し，地上から直接，破砕解体を行う工法（改善工法）との工程比較を**図**―６に示す。

従来工法では，外部足場組立期間を含め，煙突の解体工程全体で約８週間を見込んでいた。これに対し，改善工法では工程全体を約２週間強と大幅に短縮することができ，なかでも超大型重機による破砕解体は，実質４日間で完了し，工期短縮に大きく寄与した。

(2) 改善効果

改善工法の採用により，以下のような技術的・施工的な効果が得られた。

(a) 外部足場を設置することなく解体作業が可能となり，作業員の昇降作業が不要となったほか，破砕ガラの落下や衝撃による足場の変形・損傷といったリスクを排除することができた。

(b) 従来工法では圧砕機による解体部のみが作業対象であり，作業状況や安全確認の範囲も限定的であった。一方，改善工法では，解体全体を通じて視認性が確保され，安全確認の容易化につながった。

(c) 地組した養生ネットを大型クレーンで吊り下げる飛散防止対策を講じながら，解体作業には実質３名／日と最少人数で対応が可能であった。これにより，労働力不足への対応とともに，効率的な大規模解体の一例となった（**写真**―８，９）。

(3) その他

解体作業中，オペレーターはブーム先端に装着されたカメラ映像を確認しながら破砕作業を行うが，映像には実質ゼロコンマ数秒台の遅延が発生する。このわずかなタイムラグであっても，操作の感覚が狂えば安



写真―８　超大型解体重機による煙突解体（全景）



写真―９　煙突の破砕解体状況



写真―10　解体重機運転席の 30 度チルト

全性に影響を及ぼすおそれがある。そのため，実際の施工ではオペレーターが対象物を目視で確認しながら操作を行うことで，より確実かつ安全な作業が可能になる（**写真**― 10）。

6. おわりに

近年，全国各地でごみ処理施設の更新時期を迎え，建替えや改築に伴う解体工事が数多く実施されており，今後もその件数はさらに増加していくと考えられる。こうした背景のもとでは，安全性の確保，周辺環境への影響低減，工期短縮，省人化といった多様な要請に応える施工手法の検討が求められる。

本報告で紹介した地上からの超大型重機による解体工法は，従来の高所作業や足場設置を必要とする手法に比べて，作業の安全性・効率や管理の面で多くの利点が確認された。ただし，本工事は周辺に隣接する建築物がなく，重機の設置空間および解体作業範囲が十分に確保できたことが，本工法の適用につながった。したがって，本工法を他現場に適用する際には，周辺環境や空間的制約，安全距離の確保といった条件を十分に検討する必要がある。

今後，同様の高層構造物解体において，現場条件に応じた安全で効率的な工法選定の一助となれば幸いである。

JCMA

《参 考 文 献》

1）藤分ら，市街地における大型焼却施設の解体，鴻池組技術広報誌 ET，491 号，2018 年 10 月

［筆者紹介］



小川　雅史（おがわ　まさふみ）
㈱鴻池組
建築事業総轄本部
技術本部長



池田　幸貴（いけだ　こうき）
㈱鴻池組
山陰支店建築部
工事事務所
所長

特集≫≫　解体，3R，建設発生土・廃棄物処理

打撃速度可変型油圧ブレーカの紹介

佐々木　晶

鉄筋コンクリート造の解体工事が増加するに伴い作業効率の改善，粉塵や騒音への配慮・対応が不可欠である。

また解体現場では油圧アタッチメントを装着した建設機械（解体仕様機）を使用するがアタッチメント重量が重く，バランスを失い易いことから転倒による事故が多く発生している。

本稿では打撃速度可変による打撃時間短縮，散水用の給水ホースが接続可能でありブレーカ先端部から散水，それらを可能とし且つソリッド・ボディ構造を採用した軽量設計の新技術エピロック製油圧ブレーカ SB シリーズ（以下「本シリーズ」という）について紹介をする。

キーワード：油圧ブレーカ，解体，環境対策，高効率，NETIS

1. NETIS 登録

登録日：2025 年 1 月 15 日
技術名：打撃速度可変型油圧ブレーカ
要　旨：本技術は構造物とりこわし工に関する技術である。従来は一般的な小型油圧ブレーカによりコンクリート破砕を行っていたが，本技術は独自の自動打撃数調整機構により破砕時間を短縮できる。また，給水ホース接続部と給水ホースの接続によりブレーカ本体から散水が可能である。
新技術対象モデル：SB52，SB102，SB152，SB202，SB302（SB52 と SB102 は散水機構なし）

2. 自動打撃数調整機構

一般的に油圧ブレーカの打撃数は，油圧ブレーカに対して供給される作動油の流量により決定される。

また打撃力は供給される作動油圧力と低圧アキュムレーターの窒素ガス圧力により決定される。

従来型油圧ブレーカでは，破砕対象物の硬度如何に拘らず，打撃数の変化はなく，破砕時間を短縮するには作動油量の増加や機器の大型化により対応せざるを得ない課題があった。

本稿で紹介する本シリーズは，独自の自動打撃数調整機構を搭載しており，一定の作動油供給量でも破砕対象物の硬度により設計範囲内で打撃数が自動で増減する。

破砕対象物の硬度が高ければ，打撃数が自動的に増加し，従来型と比較し，破砕作業時間の短縮を可能にした。

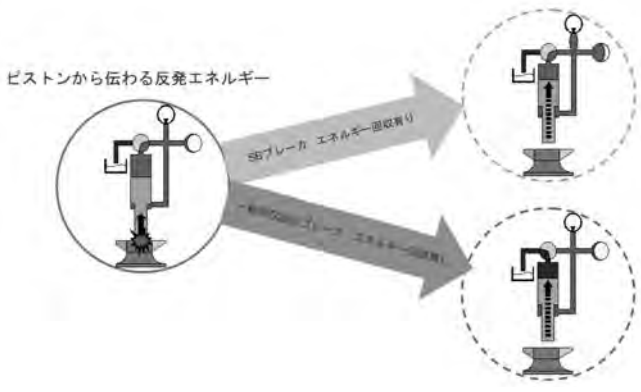
(1) 打撃数増加の仕組み

油圧ブレーカの作動原理は従来型油圧ブレーカと同様であるが，違いは本シリーズでは高圧アキュムレーターを採用したことにある。

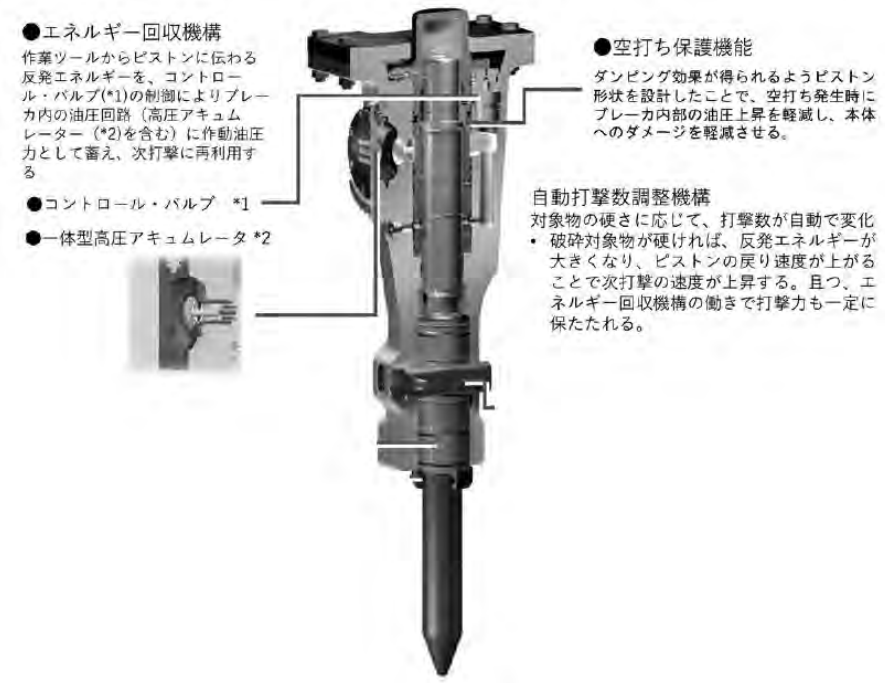
図―１で示すとおり，従来型は打撃後の作動油をドレンポートに流すのに対し，作業ツールからの反発エネルギーを高圧アキュムレーターに蓄圧（エネルギー回収），次打撃に活用することにある。

図―２のとおり，高い打撃性を発揮する機構や打撃対象の硬さに応じて，設計範囲内で自動的に打撃数が無段階で制御される機構を有している。

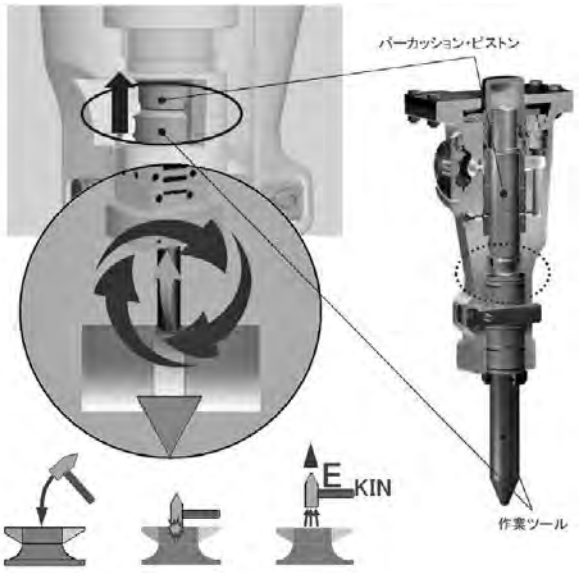
硬度が高い破砕対象物への打撃では，自動的に打撃



図―１　SB ブレーカ エネルギー回収機構



図―２　本シリーズの構造



図―３　アンビル効果



写真―１　打撃前

数が増加していく仕組みである。

この仕組みは，アンビル効果として知られている自然な物理現象を応用したものである（**図―３**）。

(2) 実証試験と結果

(a) 使用部材（コンクリート・ブロック）

・50 cm（縦）× 50 cm（横）× 50 cm（奥行き）

・コンクリート・ブロック強度：平均 24.1 N/mm^2

(b) 油圧ショベル：国内メーカー３トンクラス作動油供給量：24 ℓ/min

※作動油圧力 140 bar 時（**写真―１**）



写真―２　打撃開始／破砕完了

(c) 試験に使用した油圧ブレーカ

本シリーズ（**写真―２**）

従来型油圧ブレーカ　※同クラス

＜破砕打撃中の打撃数変化＞

打撃中に撮影したビデオの音声データから，打撃開始直後，コンクリート打撃中，コンクリート破砕後に鉄板を打撃，それぞれの 1 秒間当りの波形振幅のピーク数（=打撃数）を読取り，打撃数の変化を観察した。

図―4 に本シリーズと従来型油圧ブレーカの打撃操作中の打撃数の推移を示す。

①本シリーズ油圧ブレーカの打撃数変化

設計打撃数範囲：850 ～ 1,900 回 /min

打撃開始から約 2 秒間，約 840 回 /min で打撃動作

②打撃開始から約 2 秒後に打撃数が 1,140 ～ 1,200 回 /min に増加。

③コンクリート・ブロック貫通後，鉄板打撃時に打撃数が更に増加。1,500 ～ 1,800 rpm で打撃動作。

④従来型油圧ブレーカの打撃数

設計打撃数範囲：850 ～ 1,200 回 /min

打撃開始からコンクリート・ブロック貫通まで 900 ～ 1,020 回 /min で打撃。コンクリート・ブロック貫通後，鉄板を打撃している時も打撃数に変化は起きなかった。

表―1 に本シリーズと従来型油圧ブレーカで同一のコンクリート･ブロックの破砕に要した時間を記す。

3. 散水機構

本シリーズの特定のモデルより上の機種では，散水機構を装着することが可能である。

給水ホース接続部と給水ホースを接続し，水を供給することで，本シリーズのブレーカ本体から散水を可能としている。

散水しながら破砕作業を行うことで，粉塵飛散の軽減，また散水に従事する作業員の削減に寄与する。

使用に際しては，散水用オリフィス（オプション）の取付け（**図**―5 参照）と散水する水の供給（**図**―6 参照）が必要である。

本シリーズの散水機能は，一般的な水道水圧での供給で運用可能である。

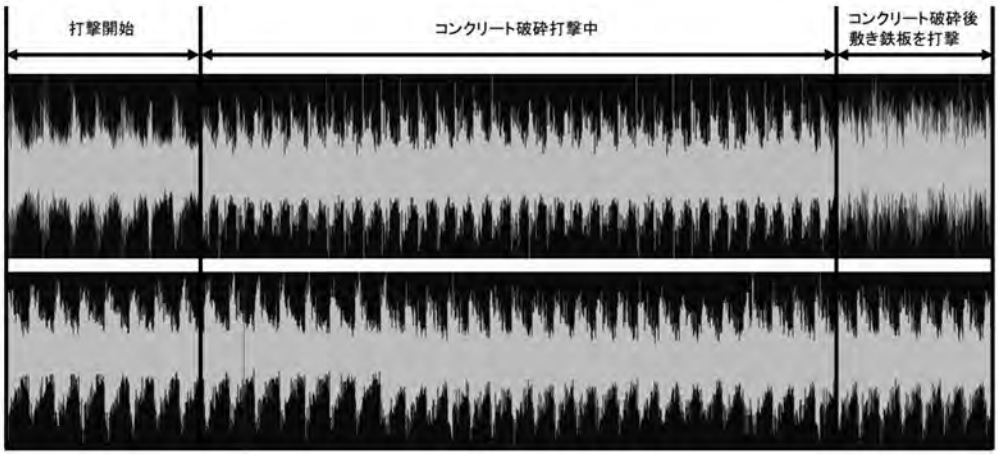
図―7 は本シリーズでの散水イメージを表すものである。

①散水範囲の実証

本シリーズで確認した散水範囲（水道水の供給圧力が 5 bar 時）

・破砕姿勢は散水口から地面まで30 cmの距離となる。この姿勢で散水範囲を計測したところ，縦 30 cm，横 30 cm の範囲に発出する。

・散水口を地面から 1 m の高さになる状態で計測した散水範囲は，縦 60 m，横 60 m の範囲に発出する。

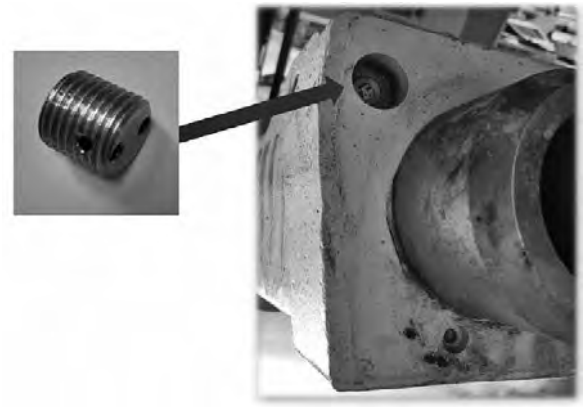


上側：本シリーズ油圧ブレーカの打撃数の推移
下側：従来型油圧ブレーカの打撃数の推移

図―4　新技術本シリーズと従来型油圧ブレーカの打撃操作中の打撃数の変化

表―1　コンクリート・ブロックの破砕に要した時間

	コンクリート・ブロックを貫通し，敷き鉄板に到達するまでの時間（sec）			
ブレーカ型式	1 回目	2 回目	3 回目	平均
本シリーズ油圧ブレーカ	29.23	24.75	26.23	26.73
従来型油圧ブレーカ	105.77	156.67	140.54	134.33



図―５　散水用オリフィス取付け箇所



図―６　散水用水ホースの接続例



図―７　散水イメージ

・油圧ブレーカを水平方向に向けて散水した場合，前方方向に約 4.5 m 発出する。

4. その他

(1) 本シリーズの特徴

シンプルなソリッド・ボディ構造（**図**―２）は，本体重量の軽量化を実現。

また定期交換消耗部品である摩耗ブッシュは圧入式を採用しておらず，現場での交換作業も容易である。メンテナンス作業を容易にし，整備による休車の短縮に繋がる。

極めて汎用性の高い製品であり，油圧ショベル，スキッドステアローダー，解体ロボットなど多様な機種での運用も可能である。



図―８　バイオ・チゼル・ペースト（グリス）

(2) バイオ・チゼル・ペースト（耐熱性グリス）

油圧ブレーカのウェア・ブッシュや作業ツールの摩耗を抑制する目的で開発されたグリス。

耐熱温度が高く，油膜切れが発生しづらくチゼルやブッシュの早期摩耗や冷間溶着を防ぐ。

また本製品は，容易に生分解される特殊な合成エステル基構造を有しており，環境に配慮した製品で，欧州委員会により作業周辺環境の汚染など配慮が求められる場所での使用の承認を得ている（**図**―８）。

5. おわりに

現場の環境が著しく変化を迎え，作業効率や環境への配慮が求められる中，今後も，お役に立てる技術や情報の発信を続けていく所存である。

JCMA



［筆者紹介］
佐々木　晶（ささき　あきら）
エピロックジャパン㈱
サービス部統括部長

特集≫≫　解体，3R，建設発生土・廃棄物処理

JIS 規格外フライアッシュを用いた CSG 配合検討とダム本体への適用

大　井　　篤

石炭火力発電所から発生するフライアッシュは，再生資源として有効利用が進まず，その多くは産業廃棄物として処理されている。この状況を踏まえ，成瀬ダムがある秋田県や，国土交通省では，フライアッシュの有効活用を推進している。こうしたことから，成瀬ダムではフライアッシュを有効活用すべく検討を行うこととした。フライアッシュは，ダムコンクリートに使用している JIS 規格Ⅱ種品ではなく，現状産業廃棄物として処理されている JIS 規格外品を対象とした。本稿では，JIS 規格外フライアッシュを入れた CSG の配合検討および台形 CSG ダム本体に適用した実績について報告する。
キーワード：台形 CSG ダム，JIS 規格外フライアッシュ，CSG，強度，経時変化，環境，コスト縮減

1. はじめに

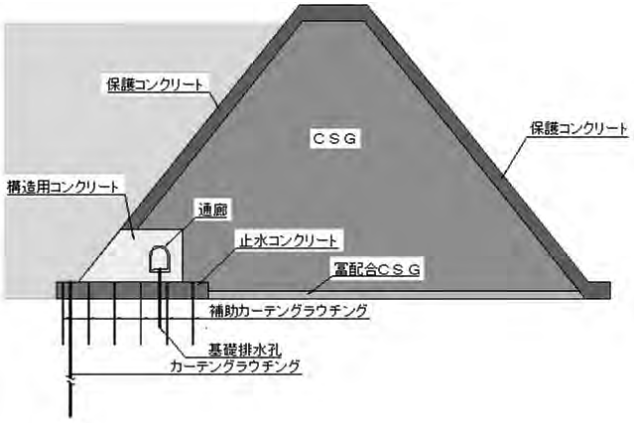
石炭火力発電所から発生する石炭灰（フライアッシュ）は，再生資源として有効利用が進まず，その多くは産業廃棄物として処理されている。この状況を踏まえ，成瀬ダムがある秋田県では県の方針として，コンクリート製品に対しフライアッシュの有効活用が推進されている。また，「環境物品等の調達の推進を図るための方針，国土交通省」においてもフライアッシュの活用について，「フライアッシュセメントについては，供給状況に地域格差があることに留意しつつ，ダム本体工などのマスコンクリートで，早期強度を必要としない場合に，その使用を推進する。」としている。このような背景から，成瀬ダムではフライアッシュを有効活用すべく検討を行うこととした。**表―1** にフライアッシュの品質一覧表を示す。検討に使用するフライアッシュは，ダムコンクリートなどの混和材として広く使用されている JIS 規格Ⅱ種品ではなく，その多くが産業廃棄物として処理されている JIS 規格外品（**表―1** の項目で規格が 1 つ以上外れたもの）を対象とした。本報では，JIS 規格外フライアッシュを添加した CSG の配合検討およびダム堤体に適用した実績について報告する。

2. 台形 CSG ダムの概要

台形 CSG ダムは，台形ダムと CSG（Cemented Sand and Gravel）工法の両方の特徴をあわせ持つ新型式のダム（**図―1**）であり，ダム建設における「材料の合理化」，「設計の合理化」，「施工の合理化」の 3

表―1　フライアッシュの品質一覧

項目			フライアッシュⅠ種	フライアッシュⅡ種	フライアッシュⅢ種	フライアッシュⅣ種
二酸化けい素含有量		%	45.0 以上			
湿分		%	1.0 以下			
強熱減量		%	3.0 以下	5.0 以下	8.0 以下	5.0 以下
密度		g/cm^3	1.95 以上			
粉末度	網ふるい方法（45 μm ふるい残分）	%	10 以下	40 以下	40 以下	70 以下
	ブレーン方法（比表面積）	cm^2/g	5,000 以上	2,500 以上	2,500 以上	1,500 以上
フロー値比		%	105 以上	95 以上	85 以上	75 以上
活性度指数		%				
	材齢 28 日		90 以上	80 以上	80 以上	60 以上
	材齢 91 日		100 以上	90 以上	90 以上	70 以上



図―１　台形 CSG ダムの標準断面図

つの合理化を可能とするダムである[1)]。CSG とは建設現場周辺で手近に得られる材料を分級，粒度調整，洗浄を行うことなく，セメント，水を混合設備にて混合したものであり，CSG 工法とはこの CSG をブルドーザで撒き出し，その後振動ローラで転圧することによって構造物を造成する工法である。

成瀬ダムは，この台形 CSG ダムとして全国で 5 番目に着工したダムであり，高さ 114.5 m，堤頂長 755 m，堤体積 485 万 m^3 と同型式のダムでは日本最大である。

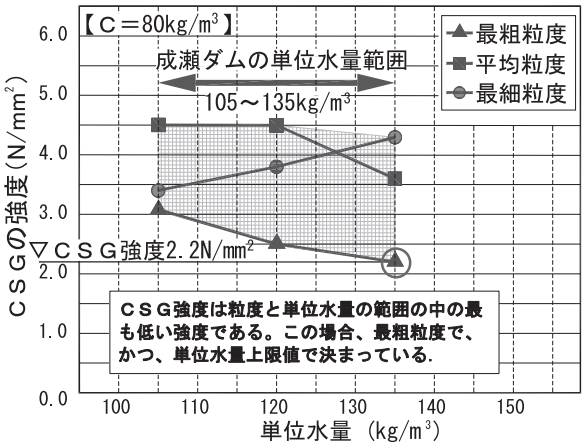
3. JIS 規格外フライアッシュを用いた CSG の配合検討

(1) JIS 規格外フライアッシュの効果の確認

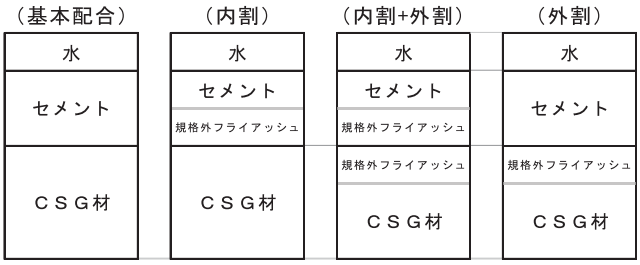
はじめに，JIS 規格外フライアッシュ（以下，規格外フライアッシュ）の効果を確認するため，**表―２**に示すように規格外フライアッシュの添加量を変え，ϕ300 × h600 mm の大型供試体にて供試体密度および CSG の強度を確認し，ϕ150 × h300 mm の標準供試体にて経時変化（経過時間ごとの締固め度）を確認することとした。CSG は先に述べたように CSG 材の粒度調整を行わないことから，粒度のばらつきを許容しており，その使用材料によって粒度範囲が定められている。成瀬ダムのひし形で定められた CSG 強度は，殆どの配合において最粗粒度で決定されていた（**図―2**）。このことから，試験時の材料粒度は最粗粒度を採用し，規格外フライアッシュを外割で入れる試験ケースとした（**図―3**）。なお，セメントの内割で規格外フライアッシュを置き換えた場合，材齢 91 日では CSG の強度が低下し CSG 強度を満足することができない可能性が高いことから，室内試験での試験ケースは全て外割とした。また，成瀬ダムの CSG では，スメクタイト系混合層鉱物の影響により過早凝結が確

表―２　配合検討の試験ケース①

ケース	単位粉体量（kg /m^3）		単位水量（kg /m^3）	超遅延剤添加率 C ×％	CSG 材粒度
	普通セメント C	規格外フライアッシュ FA（外割）			
1	100	－	125	0%	最粗粒度
2	100	－		2%	
3	100	100		0%	
4	100	100		2%	
5	100	200		0%	
6	100	200		2%	
7	100	300		0%	
8	100	300		2%	



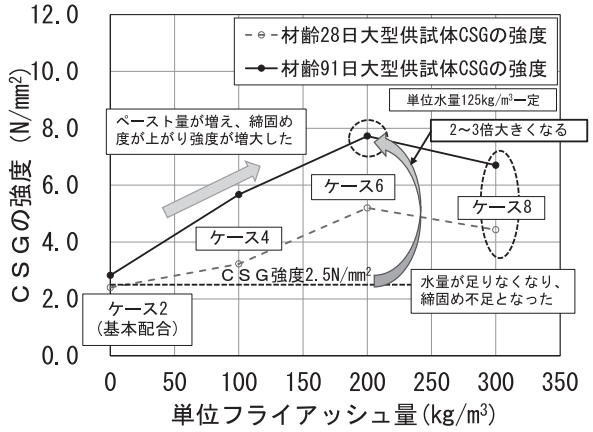
図―２　成瀬ダムのひし形



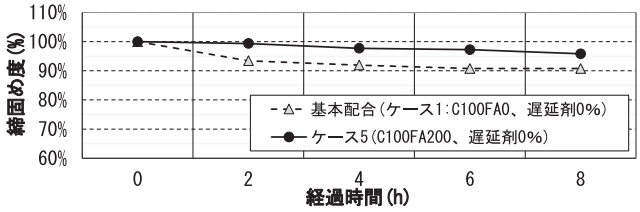
図―３　内割と外割の考え方の模式図

認されており，その対策として超遅延剤を使用しているため，超遅延剤の有無による性状の確認試験も行った[2)]。

室内試験の結果，CSG の強度は規格外フライアッシュ量 200 kg/m^3 の配合で最も大きくなった(**図―4**)。これは，粉体が多くなることによってペースト量が増え，CSG 材の空隙を埋め供試体が密実になったものと考えられる。一方で，規格外フライアッシュ量が 300 kg/m^3 の配合になると，粉体量が多く，ワーカビリティーが低下した影響によって CSG が締固め不足となったため，CSG の強度が小さくなったものと考えられる。また，超遅延剤を添加しない 200 kg/m^3 の配合



図―４　規格外フライアッシュ添加量と強度の関係①



図―５　経時変化比較（超遅延剤なし）



ケース１（６ｈ後）　　ケース５（６ｈ後）

写真―１　６時間後の供試体締固め状況の比較

において，過早凝結による経時変化が小さくなることも確認できた（**図―５，写真―１**）。

以上のことから，規格外フライアッシュを CSG に添加することで，強度の増大や，経時変化が小さくなる効果があることを確認した。また，単位セメント量 100 kg/m^3 の CSG 強度は 2.5 N/mm^2 であり，フライアッシュを外割で入れた配合は，その CSG 強度の 2～3 倍程度強度が大きい。このことから，セメント量を幾分か減じることが可能であると判断した。

(2) 実施工に向けたフライアッシュ CSG 配合の検討

つぎに，実施工を見据えた規格外フライアッシュの添加量を検討することとした。先の室内試験において規格外フライアッシュを外割で添加すると，強度の増加や経時変化の改善などが見られたことを踏まえ，基本配合と同等以上の強度を確保できる配合を選定することとした。堤体に打設する予定の CSG の単位セメント量が 60 kg/m^3 であるため，この配合を基本配合とし，単位セメント量を減らし，規格外フライアッシュの添加量を増やしたケースで，検討することにした（**表―３**）[3]。

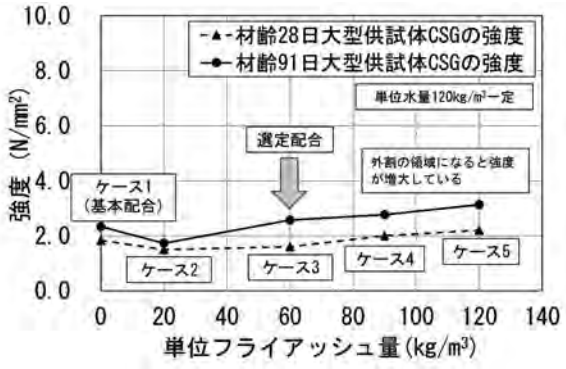
表―３　配合検討の試験ケース②

ケース	単位粉体量（kg /m^3）			単位水量 (kg /m^3)	超遅延剤添加率 C ×％	CSG 材粒度
	セメント C	規格外フライアッシュ				
		FA（内割）	FA（外割）			
1	60	－	－	120	2.0％	平均粒度
2	40	20	0			
3	40	20	40			
4	40	20	70			
5	40	20	100			
6	40	20	40		2.5％	
7	40	20	40		3.0％	

配合設定の考え方としては，ダムコンクリートで一般的に使用されている中庸熱フライアッシュセメント（フライアッシュ置換率 30％）と同程度に規格外フライアッシュに置き換え（内割）強度発現を期待しつつ，外割で CSG 材の一部を規格外フライアッシュにして，CSG を密実にすることにより強度増進を図り，ベース配合の CSG 強度と同等以上の性能を得る。さらに，CSG の性状や経時変化の改善に伴い，超遅延剤添加率の低減を図ることとした。

確認項目は，先の室内試験と同様に供試体密度と CSG の強度，経時変化とした。なお，成瀬ダムにおいて施工仕様が確認できている単位セメント量は 60 kg/m^3 ～ 160 kg/m^3 の範囲であることから，セメントと規格外フライアッシュの総和の粉体量上限値を 160 kg/m^3 と設定した。

強度試験結果から，添加量が外割の領域になると，先の室内試験と同様に，基本配合よりも強度が増加する傾向となった（**図―６**）。規格外フライアッシュが増加すると，基本配合に比べ CSG のペースト分が増え，CSG のワーカビリティーが良くなり，供試体の表面が密実となった。さらに経時変化試験の結果では，規格外フライアッシュ量を 60 kg/m^3 以上添加すると経時変化の改善効果も見られた。そこで，規格外フライアッシュ量 60 kg/m^3 配合にて，超遅延剤の添加率を変えて経時変化を比較した。実施工では，CSG 温度が 20℃ の場合，超遅延剤添加率が 3％必要であったが，規格外フライアッシュを入れると添加率 2.5％



図―６　規格外フライアッシュ添加量と強度の関係②

表―４　選定配合

	単位粉体量（kg/m³）			単位水量（kg/m³）
	普通セメントC	規格外フライアッシュ		
		FA（内割）	FA（外割）	
基本配合	60	－	－	120
選定配合	40	20	40	

※規格外フライアッシュを使用する配合は，超遅延剤添加率を基本配合の添加率から 0.5％下げることとする

とした場合でも 3％と同程度の性状を維持でき，超遅延剤添加量を低減できることを確認した。以上のことから，経済性も考慮し，規格外フライアッシュ量を 60 kg/m³（ケース 3）の配合を選定した（**表―４**）。

4. フライアッシュ CSG の施工実績

室内試験で選定した配合にて，フライアッシュ CSG をダム堤体の一部に打設した（**写真―２**）。フライアッシュ CSG の製造は，現プラントに規格外フライアッシュを添加する機能がなかったことから，CSG プラント 3 ラインのうち，2 ラインを使用して CSG 製造を実施した（**図―７**）。1 ライン目で CSG 材（段丘堆積物，原石山破砕材の 2 種類）と規格外フライアッシュを混合し，その材料をプラント内で 2 ライン目に重ダンプで小運搬，そこで規格外フライアッシュ CSG 材，セメント，水，超遅延剤を混合し，フライアッシュ CSG として，堤体に出荷した。フライアッシュ CSG の打設は，CSG を打設する最終 2 リフトの 150LF と 151LF（EL529.5 ～ 531.0 m）で行った。令和 6 年 11 月 8 日より開始し，その後 2 週間程度で 7,250 m³ 打設した。

プラントで製造した CSG について，同時期に打設している単位セメント量 60 kg/m³ のベース配合と比較した。フライアッシュ CSG の配合は，粉体総量が



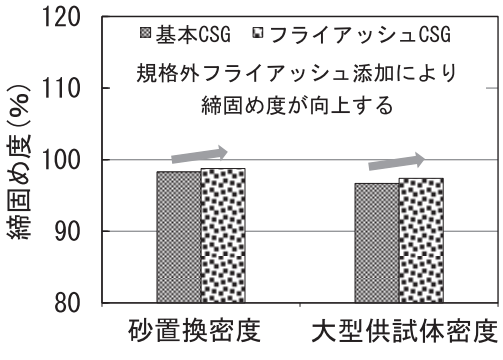
写真―２　フライアッシュ CSG 打設状況



図―７　CSG プラントのフライアッシュ CSG 製造の流れ

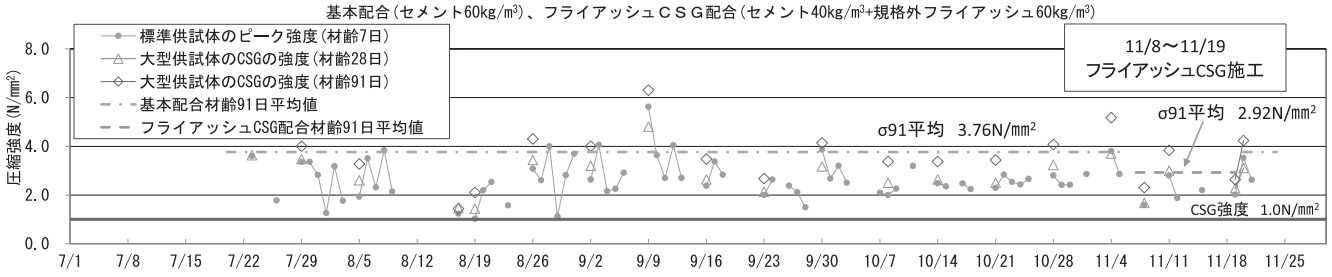


写真―３　大型供試体の締固め外観

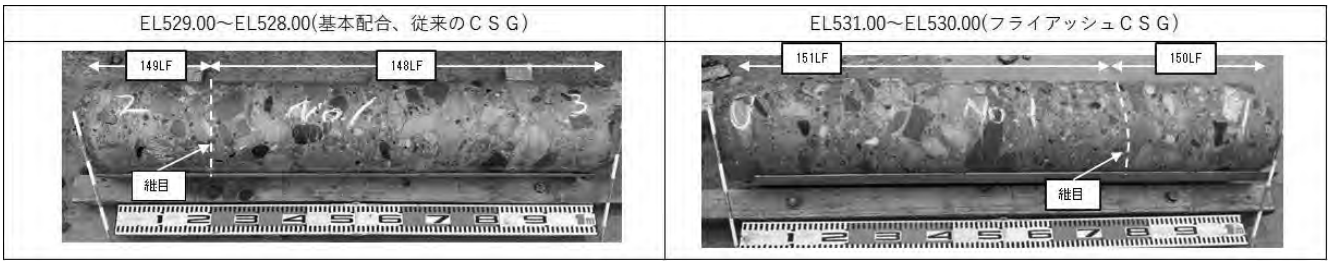


図―８　締固め度の比較

40 kg/m³ 増えたことにより，モルタル量（ペースト量）が増え，モルタルの流動性（充填性）が向上しているように見受けられた。また，大型供試体の外観（**写真―３**）から，ベース配合に比べ，フライアッシュ CSG 配合の方が密実であり，粗骨材の隙間に細粒分が充填



図―９　CSG 標準供試体のピーク強度（材齢７日）および大型供試体の CSG の強度（材齢 28 日，91 日）



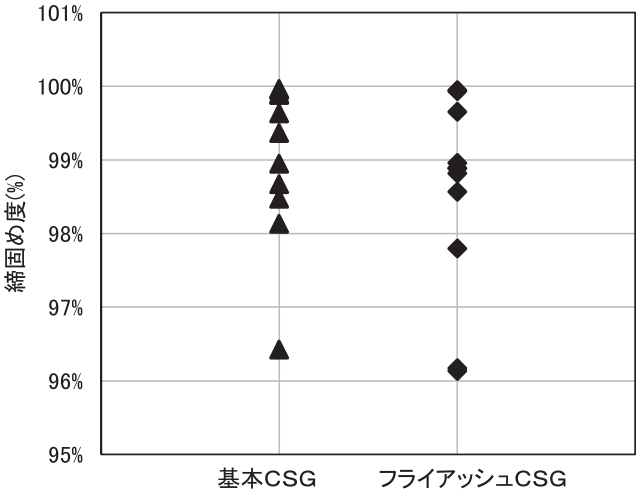
図―10　CSGφ200 mm コアの外観比較

されていることが確認できた。供試体密度および現場密度について，締固め度（密度 / 理論密度）で比較すると，フライアッシュ CSG 配合の方が基本配合よりも大きい値となり，密実になっていることが確認できた（**図―８**）。超遅延剤の添加率は，室内試験の結果から，フライアッシュ CSG 配合のみ添加率を 0.5％小さくすることとし，フライアッシュ CSG の堤体打設を実施したが，フレッシュ性状は良好であった。CSG の強度は，打設時期が 11 月だったことにより，CSG 温度が低く，セメント量の少ないフライアッシュ CSG 配合の方が従来の配合よりも初期強度は小さくなっているが，材齢 91 日では CSG 強度を満足している（**図―９**）。

フライアッシュ CSG および従来の CSG 配合について，越冬後の堤体上からφ200 mm のコアを採取した。両配合とも CSG のコアは密実であり，外観の違いは認められなかった（**図―10**）。

また，採取した基本配合 CSG とフライアッシュ CSG のコアを 25 cm 程度に切断し，コア密度を締固め度で整理した（**図―11**）。

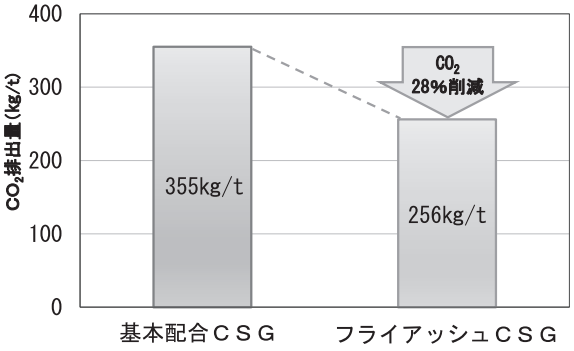
フライアッシュ CSG と基本配合 CSG の締固め度は同程度で 96％以上の値を示し，これまでに堤体へ打設した CSG とも差異はなかった。



図―11　基本 CSG とフライアッシュ CSG の締固め度

5. おわりに

成瀬ダムでは，今回，産業廃棄物として処理される規格外フライアッシュ 435 t を有効利用し，フライアッシュ CSG をダム堤体の一部に打設した。フライアッシュ CSG は，従来の CSG と同等の強度特性が得られるだけでなく，経時変化による密実性が従来の CSG よりも向上し，また同等以上の品質を確保できることを確認した。さらに，産業廃棄物の有効利用による環境負荷低減や CO_2 削減効果もあった。規格外フライアッシュを使用することで，使用するセメント量を 145 t 分低減し，CO_2 排出量が 28％削減となった（**図―12**）。また，公共工事を行う事業者だけではなく，フライアッシュ排出事業者のコスト縮減にも寄与した。今後は，CSG だけではなく，規格外フライアッシュを有効利用したコンクリートを開発し，ダム等のさまざまな構造物へ積極的に展開することで，ゼロエミッションおよび環境負荷の少ない持続可能な循環型社会の実現に貢献していきたい。



図―12　製造時の CO_2 排出量の比較

《参考文献》
1）（財）ダム技術センター：台形 CSG ダム設計・施工・品質管理技術資料，pp.1.1-1.2, 2012.
2）石田哲也，安部剛，安田成夫，鈴木孝雄：規格外フライアッシュの台形 CSG ダムへの活用に関する確認試験，ダム技術，NO.451，pp.18-27，2024 年 4 月.
3）大井篤，松本孝矢，小倉精太，大木洋和，藤田祐作，貝塚勇介，菅原崇之，佐藤尚司，阿部恵也，浅利太陽：JIS 規格外フライアッシュを用いた CSG 配合検討と施工，土木学会第 80 回学術講演会，Ⅵ-831，2025.

［筆者紹介］
大井　篤（おおい　あつし）
鹿島建設㈱
東北支店
成瀬ダム堤体打設 JV 工事事務所





特集≫≫　解体，3R，建設発生土・廃棄物処理

解体建物の構造部材を新築へ生かすリユースの取り組み

リユース活用の実証実験プロジェクト：大林組技術研究所「オープンラボ 3」新築計画

岸　　浩行・寺井千絵

2050 年のカーボンニュートラル実現に向け，建設業界では CO_2 排出削減に向けたさまざまな取り組みが進められている。本稿では，その一環として，大林組技術研究所の新築実験棟において実施された，既存建物の解体により得られた鉄骨およびコンクリート製の構造部材を，元の性状と性能を生かして新築建物の構造体としてリユースする国内初の取り組みについて紹介する。

キーワード：脱炭素化，CO_2 排出削減，サスティナブル建築，資源循環，鉄骨・コンクリート部材リユース

1. はじめに

建設業は，CO_2 排出量が非常に多い産業の一つである。建材の製造，資材の輸送，施工，そして完成後の運用・解体に至るまで，ライフサイクル全体を通じて多くの CO_2 が排出されており，特にセメントや鉄鋼の製造工程が大きな排出源となっている。

セメント製造では，原料である石灰石を高温で焼成する過程で化学的に CO_2 が発生するほか，燃料として使用される化石資源からも排出が生じる。また鉄鋼製造においても，鉄鉱石から鉄を取り出す際に炭素（石炭）を用いた還元反応が行われるため，製造工程そのものが CO_2 排出を伴う構造となっている。

このように，建材の製造プロセスには不可避的に CO_2 排出が伴うため，建設業界では低炭素型セメントの開発・導入や電炉材の使用など，環境負荷低減に向けた取り組みが進められている。しかし，これらの技術的工夫をもってしても，CO_2 の発生を大幅に抑えることは難しく，依然として大量の排出は避けられないのが現状である。



写真―1　新実験棟：南西外観パース
（手前側の破線の部分がリユース材を使用した
第 1 期工事部分の鉄工作業所エリア）

そこで今回，技術研究所内の新実験棟の第 1 期工事建設にあたり，解体建物の構造部材をリユースすることで，コンクリートや鉄の製造時に発生する多大な CO_2 排出量を大幅に減らす試みを実施した（**写真**―1）。

2. 構造部材のリユースについて

建設業界では，既存建物の構造部材を再利用する取り組みとして，コンバージョンやリノベーション，耐震改修などが広く行われている。これらはすでに多数の実施例があり，環境負荷の削減効果も実証されている。しかし，これらは既存の建設地に建物を残したまま改装・改築・増築などを行うことが前提となるため，柱や梁の位置・形状を大きく変更できず，設計上の自由度が低く他の用途に変えにくいという問題点がある。

今回の計画では，既存建物の構造部材を部分的に残して増築するのではなく，一旦すべてを部材毎に解体し，それらを組み合わせて新規の場所で異なる形状で再構築する計画である。

解体建物から得られた鉄骨は溶解されて再生鉄骨（電炉材）となり，コンクリート塊は，粉砕・選別されて再生骨材として使用されるなど，こうした資源のリサイクルは一般的に行われている。また，木造建築では伝統的価値を付加する目的などで構造骨組みとして木材を再活用する事例が古くからあるが，本計画のように既存建物の鉄骨やコンクリート部材を出来るだけ形状を変えずにそのままのかたちで新築建物の構造

部材としてリユースするのは日本国内では例を見ない取り組みである。

3. 新実験棟計画におけるリユース材活用事例

(1) 異種用途建築へのリユース実証

本計画は，技術研究所内にある鉄骨造 2 階建ての電磁環境実験棟と隣の鉄骨造 1 階建ての鉄工作業場を解体し，その跡地に両施設の機能を統合した研究棟を新設するものである。新棟では自然環境・電磁環境の研究開発を行う研究室と，それを支援する作業場の機能を併せ持つ構成となっている。

リユース材を取り出す対象の既存建物は 1993 年竣工の建物である（**写真**―2）。竣工時には土質・基礎実験棟という名称で土の性状を確認する試験を行う建物であったが，近年は電磁環境実験棟という名称で電磁波の遮断性能等の評価実験を行う建物として用途を変え，約 30 年間にわたり使用されてきた。今回の計画では，解体する実験棟から取り出した部材を新築の鉄工作業場エリアにリユースすることで，用途の全く異なる建物であっても，リユース材を活用した柔軟な設計・施工が可能であることを実証することを目的とした。

(2) 構造部材のリユースに向けた新築計画

解体する建物は梁間方向 12 m，桁行方向 20 m の 2 階建ての鉄骨造である。出来る限りリユース材を効率的に使う計画とするために，新築建物では既存建物のスパン割や高さを生かした計画とした。リユース材を使用する鉄工作業所エリアは鉄骨造平屋の建物であり，研究エリアの建物とはエキスパンションで縁が切れている（南西外観パースの破線部分）。

新築建物では，桁行方向のスパンは既存建物のスパンと同じとして，柱・梁の主架構をそのままの形で転用する。梁間方向についても既存建物の梁間方向 12 m を生かす。新築建物では 1 層平屋となるため，中間の柱と 2 階梁を撤去し，新築建物のスパン 12 m の部分に既存建物の外側のフレームをそのまま使用出来る計画とした。新築建物の梁間方向ではもう 1 スパンあるため，そちらは新設の部材を追加する計画とした（**写真**―3，**図**―1）。



写真―2　解体建物：電磁実験棟（1993 年竣工）

(3) リユース対象とリユース材使用率

新築建物にリユースする鉄骨部材は柱・梁の主架構だけでなく，ブレースや小梁，間柱などの二次部材もそのままの用途でリユースする。

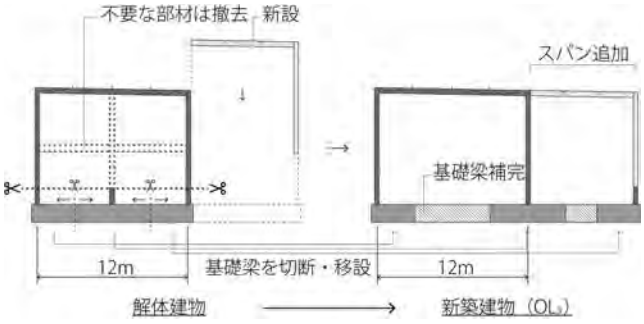
コンクリート部材については，基礎，基礎梁，構造スラブ，土間などをリユースする。

図―2 は今回の新実験棟計画の骨組み図である。鉄工作業所の部分の構造部材のリユース材使用率は鉄骨で 57%，コンクリートで 33%となっている。

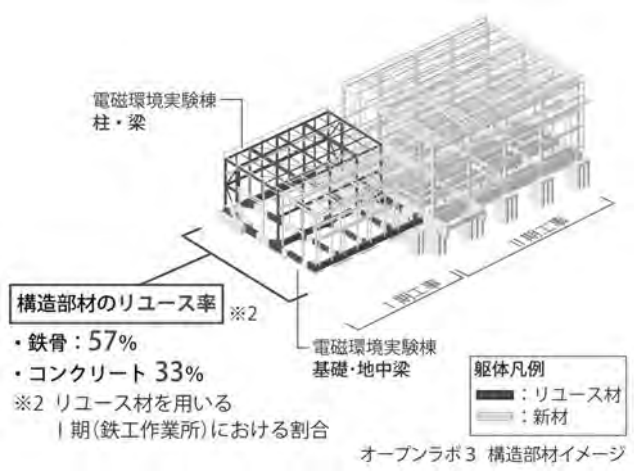
解体建物のリユースについては，計画当初に構造部材以外の部位のリユースも試みたが，様々な理由により今回は採用を見送ることとなった。例えば，折板屋根は取り外すと変形してしまうため再取付けが難しく，リユースには不向きと判断した。また，外装建具は 30 年前に製作されたものであるため断熱性能が非



写真―3　解体建物の内部



図―1　新実験棟におけるリユース部材使用のイメージ



図―2 構造部材のリユース率



写真―4 解体前事前調査：コンクリートコア抜き



写真―5 解体前事前調査：ひび割れ調査

常に低く，省エネの観点から採用は難しいと判断した。設備機器についても耐用年数を超過しているため，リユースは難しいと判断した。結果的に構造部材のみのリユースにとどまることとなった。仕上げ材や設備機器は年々製品の性能が向上しているため，数十年前の製品をリユースするのは難しい。一方，構造部材である鉄やコンクリートは，規格が数十年単位では大きく変更されないことや，材料自体の耐用年数が長いことから，リユースに適しているといえる。

解体建物の構造部材をリユースするにあたり，既存建物に対して，所在環境，被災履歴，補修修繕記録の確認や経年劣化や損傷の調査を行った。今回は設計中にコンクリートのコア抜き試験，コンクリートのひび割れ調査，鉄骨部の外観調査や溶接部の超音波検査などを行い，構造部材に劣化がないことを確認し，新築建物にリユースすることについて全く問題がないと判断した（**写真**―4，5）。

(4) リユース部材の転用プロセス

(a) 構造部材の取り出し（既存建物解体時）

鉄骨部材は前述のとおり，解体建物のスパンや高さを生かした計画としているため，柱・梁部材の延長などの加工は不要であり，新築建物においてもそのままのスパンで使用できる。ただし，補修や必要に応じた加工は，鉄骨工場にて行う必要がある。一方，コンクリート部材については，新築建物での再接合にむけた準備として，場内の加工ヤードへ搬送する必要がある。そのため揚重可能なサイズに切断・分割する必要があり，基礎・基礎梁の切断や鉄骨柱と基礎部との切り離し，さらに鉄骨梁についてもボルトを取り外して一旦バラバラに解体する。

リユース材を取り出すための解体方法には通常の解体とは異なる様々な配慮が必要である。一般的な解体では重機を用いて一気に圧砕や切断を行うが，リユースを前提する場合は，部材を傷つけないよう，一つ一つ丁寧に取り外していく必要がある。例えば鉄骨は，継手のボルトを逆回転で一本ずつ取り外し，部材を取り出す。また鉄骨に取り付けられているピース材についても，母材を傷つけないように注意して除去する。取り外した部材は，1本ずつラフタークレーンで吊り上げ，地面に仮置きしていく。これは建て方の工程を逆順に辿る作業となる。コンクリート部材に関しては，スラブは梁際にカッターを入れて切断し，連続したスラブからリユース材を取り出す。基礎・基礎梁はワイヤーソーを用いて切断する。これらの部材は，揚重可能なサイズに分解したうえで，欠けや損傷が生じないよう養生しながら，ラフタークレーンで吊り上げ，トラックに積載して安全に運搬する（**写真**―6～9）。

このように，通常の解体作業に比べて時間と手間がかかるが，リユースを前提とした丁寧な解体が求められる。また，今回の計画では建設敷地に余裕があるため，部材仮置場を設けることができたが，都心のような狭小敷地であっても建て方が可能なスペースが確保



写真―６　鉄骨梁の解体・部材取り出し状況



写真―７　鉄骨柱の解体・部材取り出し状況

できれば，十分にリユース材の取り出しと運搬は可能である。

（b）取り出した構造部材の検査・加工（新築建物施工前）

取り出したコンクリート部材は隣接地の加工ヤードへ，鉄骨部材は鉄骨工場へそれぞれ搬送し，損傷や劣化の有無，寸法確認を行ったうえで，必要に応じて補修や補強の加工を施す。いったん敷地外に運び出すことで，遠隔地での建設計画におけるリユース材活用の可能性についても検証を行った。



写真―８　スラブの解体・部材取り出し状況



写真―９　基礎の解体・部材取り出し状況

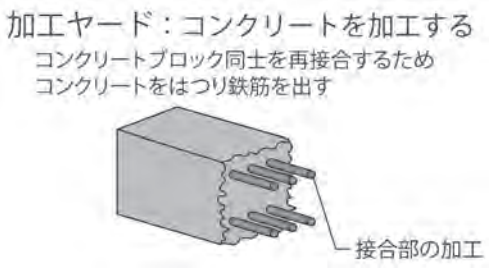
加工ヤードでは，バラバラになったコンクリート部材をつなぐための準備として，切断面のコンクリートをはつり，鉄筋を露出させる作業などを行う。コンクリート部材は，新築においてスパンを拡張する必要があるため（**図**―1），リユース材同士の間は新設の鉄筋やコンクリートで補完することで対応する（**図**―3，4，**写真**―10，11）。

（c）施工状況

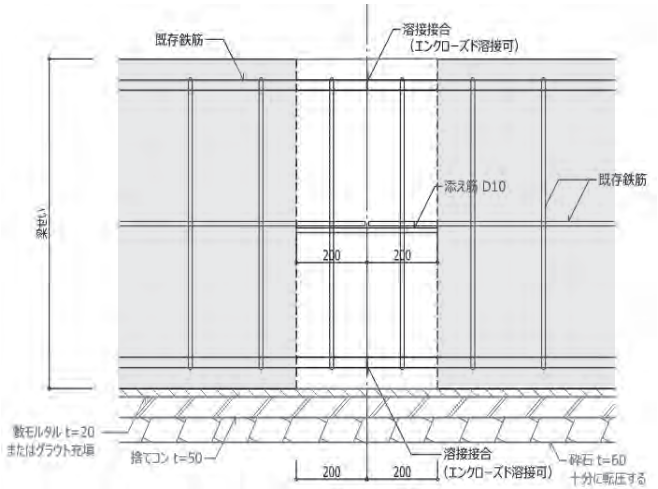
リユースするコンクリートの基礎・基礎梁については，プレキャスト部材と同様に，設置精度の確保や接合部の微調整を行いながら配置した。据え付け後には，事前にはつり出した鉄筋同士を接続し，接続部分に新たなコンクリートを打設することで，新築建物の基礎形状に合わせた構造体となる（**写真**―12，13）。

鉄骨については，鉄骨工場から現場に戻ってきた部材を，柱は既存基礎に残る鉄骨柱脚部と溶接により接合し，梁はブラケット方式によるボルト接合とした。これらの施工は通常の建て方工事と同様の工程で行うことができ，リユース材であることによる特別な制約はなかった（**写真**―14，15）。

リユース材にはすべて個別の番号を付けており，解体建物からの部材取り出しから新築施工まで，その番



図―3　切断面の加工イメージ



リユース材同士をつなげるため、はつり出した鉄筋を接合し、
新しいコンクリート打設して一体化

図―4　リユース材接合要領



写真―10　リユース基礎の保管状況



写真―11 リユース基礎梁　鉄筋はつり出し



写真―12　リユース基礎据付作業状況



写真―13　設置されたリユース基礎



写真―14　鉄骨建て方状況



写真―15　リユース材と新設部材の柱溶接

号をもとに部材の履歴管理を行った。

（d）新築完成

完成した新築建物は，リユース材を使用しているとはいえ，新材を使用している部分と外観上の違いはほとんどない（**写真**―16）。

今回の計画では，既存の実験施設からクレーンを必要とする鉄骨作業所へと大きく用途を変更した。これにより，リユース材を用いても柔軟な設計・施工が可能であることを実証できた。

（5）CO_2 削減効果

今回の計画における CO_2 排出量削減効果は，リユース部材に置き換えることで資材製造時の CO_2 排出量を減らすことを目的としているため，建築学会の LCA 指針[1]をもとに，資材製造段階の排出原単位に各数量を乗じて排出量を算出した（**図**―5）。

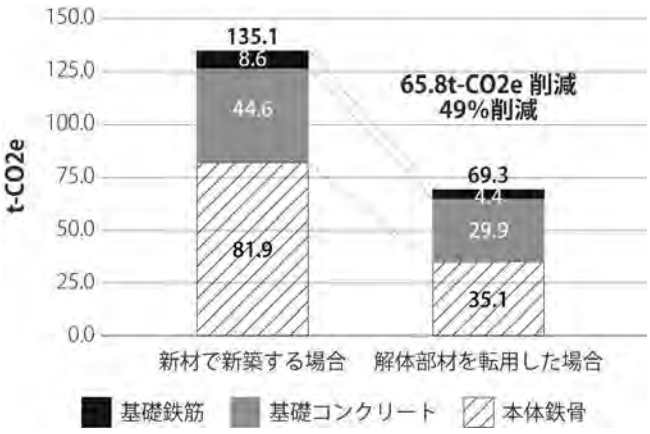
評価対象範囲はリユース材を用いる鉄工作業所範囲の本体鉄骨，基礎，基礎梁のコンクリート，鉄筋について算出した。

図―6 の新材で新築する場合で，CO_2 排出量は合計 135.1 t, 解体部材を転用した場合で合計 69.3 t となり，

写真―16　完成内部写真



図―5　CO_2 排出量算定方法



図―6　CO_2 排出量比較

結果的に 65.8 t の削減となった。すなわち全て新材で新築する場合に比較して，一部をリユース材にて新築することで CO_2 排出量が 49%削減可能となった。

なお，本計画は鉄骨加工工場であり，仕上げや設備機器がほとんどない構造骨組み主体の建物であるため，建設時における CO_2 排出量の大部分が構造骨組みによるものである。このことからもリユース材の活用が CO_2 排出量削減に効果的であることが示されたプロジェクトとなった。

4. おわりに：今後の展望

今回の計画では，さまざまな部位をリユースすることで，適切な解体方法や施工方法を一通り検証することができた。その結果，コスト圧縮や工期短縮に適し

た部材の選定など実践的なノウハウを蓄積することができた。

今後は，これらの知見をさらに積み重ね，技術の精度と効率性を高めつつ，脱炭素社会の実現に貢献していきたい。

JCMA

《参考文献》

1）日本建築学会「建物の LCA 指針 2013 年度改訂版」

［筆者紹介］



岸　浩行（きし　ひろゆき）
㈱大林組
設計本部　構造設計部
上級主席技師



寺井　千絵（てらい　ちえ）
㈱大林組
設計本部　構造設計部
担当課長



特集≫≫　解体，3R，建設発生土・廃棄物処理

軽油代替燃料を用いた建機運用実験
持続可能な施工プロセスの確立に向けて

勝二理智・山本巖・土井暁

バイオディーゼル燃料の利用拡大に向けて，大阪・関西万博の建設現場で，燃料調達，建機メンテナンス，エンジンへの影響評価といった課題に取り組む実証実験を実施した。実験の結果，適切な燃料の入出荷管理により建機の燃料切れや燃料廃棄は発生せず，安定した燃料調達が実現した。建機は適切なメンテナンスを行うことで安定した稼働が確認されたが，パワー不足や特有の排ガス臭，ススの堆積に注意する必要があった。建機稼働によるエンジンオイルの顕著な劣化は確認されず，軽油と同等のメンテナンス間隔でも問題ない可能性が示唆された。

キーワード：バイオディーゼル燃料，CO_2 排出量，油圧ショベル，発電機，燃料調達，メンテナンス

1. はじめに

2050 年のカーボンニュートラル達成に向け，国や自治体は脱炭素化の取り組みを加速させている。この流れに対して建設業界も真摯に応え，持続可能な施工プロセスの確立が求められている[1)]。実際に，建設現場からの CO_2 排出量の約 70％は建設機械による燃料消費に起因しているため[2), 3)]，燃料そのものの低炭素化が急務となっている。そのため，植物由来のバイオディーゼル燃料（BDF）の導入が期待されているが[4), 5)]，いくつか課題が残されている。

まず，BDF の製造技術は進展しているものの，製造量は依然として不足しており，建設現場での安定的な供給体制の構築が必要である。次に，BDF と軽油を混合した燃料を用いた建機の運用実績はあるものの，BDF100％を使用した建設現場での報告は少なく，エンジンをはじめとして建設機械を適切にメンテナンス・モニタリングする方法の確立が求められている。また，昨今カーボンニュートラルと同様に重要性が叫ばれている資源循環の観点からは，自社の食堂で使用した廃食油を回収し，BDF を製造して建機で使用するプロセスを実証することにも意義がある。

これらの課題に取り組むため，2025 年日本国際博覧会（大阪・関西万博）の建設現場において，BDF を動力源とした建機の運用実験を実施した。本稿では，その取り組みについて報告する。

2. 実験計画

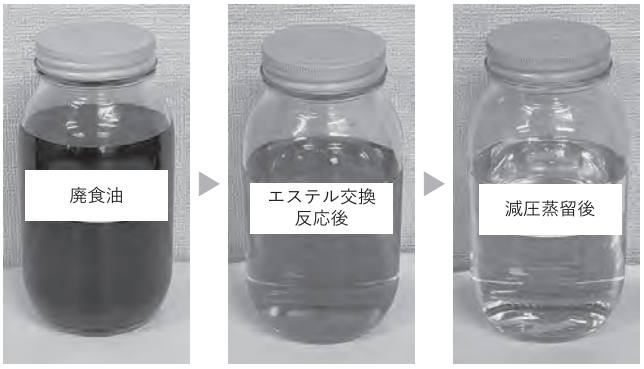
(1) 燃料の調達

(a) 廃食油の回収と燃料の製造

BDF の安定的な調達には，原材料となる使用済み食用油（廃食油）を継続的に回収することが不可欠である。本実験では，大林組事業所の食堂から発生する廃食油を定期的に回収した（**図**―1）。これを燃料製造会社が一般家庭などから回収した分と合わせて，以



図―1　実験概要



図―2 バイオディーゼル燃料の製造過程

下の手順で BDF を製造した（**図―2**）。なお，製造した燃料が全国バイオディーゼル利用推進協議会の定める規格および JIS 規格に適合していることを確認している[5]。

①酸化した廃食油にメタノールと水酸化カリウム（アルカリ性）を加える。
②エステル交換反応により脂肪酸メチルエステルとグリセリンに分離する。この際グリセリンは沈殿する。
③上澄みの脂肪酸メチルエステルと水を混合し，油と水に分離させることで，水溶性の不純物を除去して純度を向上させる。加熱して水を蒸発させ，BDF を抽出する。
④最後に減圧蒸留を行い，燃料中の残留グリセリンを除去して高品質の BDF を抽出する。

（b）燃料の配送

建設現場で稼働する建機は，作業内容や工事の進捗により稼働率が変動するため，燃料消費量は一定ではない。また，BDF には品質確保や建機の不具合発生防止の観点から使用期限がある。したがって，燃料の製造と配送のバランスを取ることが重要であるため，本実験では，製造拠点と現場との間に燃料のストック拠点を設けて入出荷の調整を行った。

燃料ストック量は，建機の稼働状況をもとに見込まれる出荷量を下限，その倍の量を上限として運用する計画として，予想以上の出荷にも対応できる体制を整えた。建機への燃料給油時には，給油量とアワーメーターの記録に加え，オイルレベルゲージを目視してエンジンオイルの量や状態も確認した。

（2）建機での燃料使用とメンテナンス

通常は軽油で稼働する建機に対して，BDF を使用した場合のメンテナンスやモニタリング方法，エンジンなどへの影響評価，使用感について検討を行った。本実験では，現場での使用頻度が高い油圧ショベルと発電機を選定し，小型と大型のそれぞれを対象とした（**表―1**）。

表―1 本実験で使用した建機

No.	名称	機種名	仕様	タンク容量（L）
1	油圧ショベル小	コマツ PC40MR-3	バケット 0.14 m^3	65
2	油圧ショベル大	キャタピラー 320D	バケット 0.8 m^3	410
3	発電機小	デンヨー DCA-25ESI-2	出力 25 kVA	70
4	発電機大	デンヨー DCA-100ESI	出力 100 kVA	225

表―2 建機のメンテナンス計画

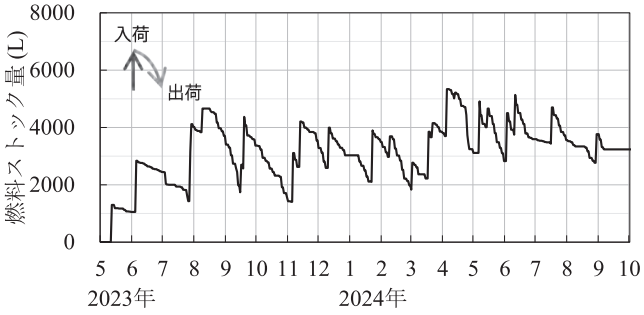
段階	内容
使用前	燃料ホース，エンジンオイル，オイルエレメント，燃料エレメントの交換
使用中	100 hr ごと：エンジンオイルの交換 エアーエレメント清掃，各部グリスアップ 200 hr ごと：エンジンオイルの交換・成分分析 オイルエレメント，燃料エレメントの交換
使用後	噴射ポンプ，噴射ノズル，排気ガス浄化装置等の交換 必要に応じてエンジンのオーバーホール

メンテナンス計画を**表―2**に示す。BDF はゴムに対して浸透性が高く油漏れのリスクがある。また，溶解性が高く燃料タンク内の不純物を洗い流してフィルターを詰まらせる恐れもあるため，使用前に燃料ホースなどを BDF 対応部品（フッ素系など）に交換した[6]。使用中は，軽油使用時の交換サイクル（250 時間ごと）よりも短い間隔でエンジンオイルや各エレメントの交換を実施した。さらに，エンジンオイル交換時にサンプルを採取し，その成分分析を通じてオイルの劣化状況を確認するとともに，金属成分の種類や濃度からエンジンの摩耗箇所の特定も行った。また，BDF で稼働する建機は軽油使用時に比べパワー不足を感じることが多いとされているため，建機オペレーターに使用感についてのヒアリングも実施した。

3. 燃料調達および建機運用の実績

（1）燃料ストック拠点の入出荷履歴

燃料調達の実績として，燃料ストック拠点の入出荷履歴を**図―3**に示す。図の縦軸は燃料ストック量，横軸は日付であり，右上に急増する部分は入荷，右下



図―３　燃料ストック拠点の入出荷履歴

に漸減する部分は出荷を表している。図より，一定量のストックを維持しつつ，一定期間内に燃料を出荷できていることを確認でき，運用状況が適切と分かる。

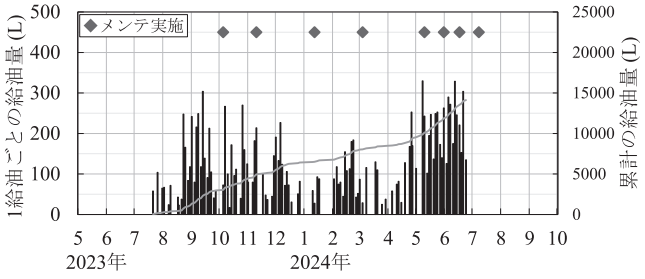
また，大林組事業所の食堂から定期的に廃食油を回収しており，2023 年 6 月から 2024 年 8 月までの間に約 385 L を回収した。建機の燃料消費量と比較して十分とは言い難いが，従業員が使用した食用油を精製し，事業活動の動力源として再利用するという資源循環の観点から，意義深い取り組みであると考えている。

(2) 燃料給油と建機稼働

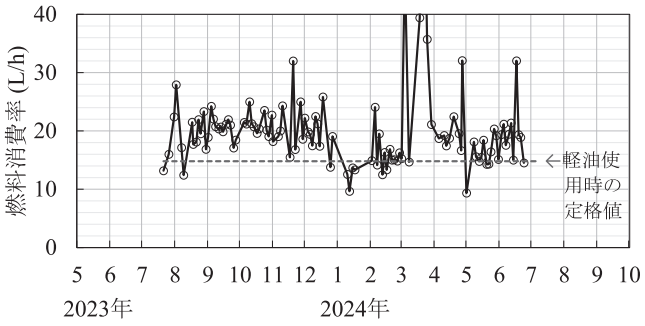
燃料給油と建機稼働に関する時系列データを**図―4，5** に示す。各図（a）では，1 給油ごとの給油量を棒グラフ，累計の給油量を折れ線グラフで示し，メンテナンス実施日を併記している。各図（b）では，1 給油ごとの給油量と稼働時間より算出した燃料消費率（燃費）を示し，文献 7）をもとに算出した軽油使用時の定格値（建機別の燃料消費率（L/kW･h）×使用建機の定格出力（kW））を併記している。

図―4 の油圧ショベル大は，途中で使用頻度が減少した時期もあるが，全体として安定した稼働を見せている。燃費は若干変動するが，軽油使用時の定格値と同等かそれ以上の値を示している。掘削・積込み動作の高負荷が影響した可能性はあるが，建機オペレーターへのヒアリング結果から，軽油に比べて発熱量が少ない BDF では [8]，同等の出力を得るために燃料消費量が増加する傾向があったと考えられる。これらの結果から，油圧ショベルは適切なメンテナンスを行うことで長期にわたり安定して使用できることを実証できた。また，建機オペレーターからは特有の排ガス臭（天ぷら油の香り）が気になるとの意見も寄せられた。

図―5 の発電機小は，初めは稼働が不定期だったが途中からは安定した稼働を見せている。燃費はほぼ一定であるが，油圧ショベルと異なり軽油使用時の定格値の半分程度であった。また，本稿では詳細は割愛するが，1 日あたりの平均稼働時間は油圧ショベルよりも長く，発電機では低負荷運転が長時間続いている可能性が高いことが示唆された。そこで故障防止のために早期に搬出し，エンジンなどへの影響評価のため分解整備と負荷試験を実施した。なお，発電機の低負荷運転は軽油使用時にも発生しやすく，メーカーからも注意喚起が行われている [9]。

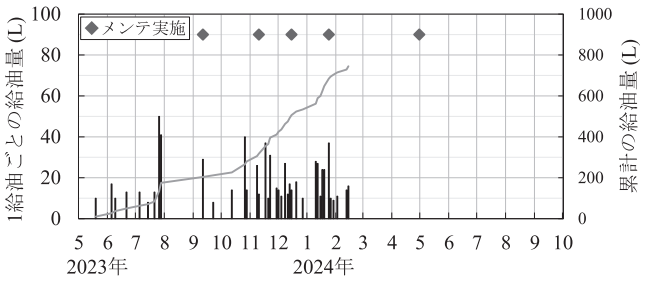


(a) 1 給油ごとの給油量とその累計

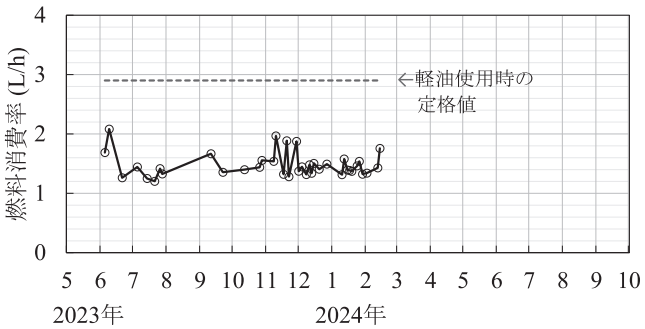


(b) 1 給油ごとの燃料消費率

図―４　燃料給油と建機稼働に関する時系列データ（油圧ショベル大）



(a) 1 給油ごとの給油量とその累計



(b) 1 給油ごとの燃料消費率

図―５　燃料給油と建機稼働に関する時系列データ（発電機小）



写真―１ 油圧ショベル小のメンテナンス状況

4. 建機メンテナンスの実績

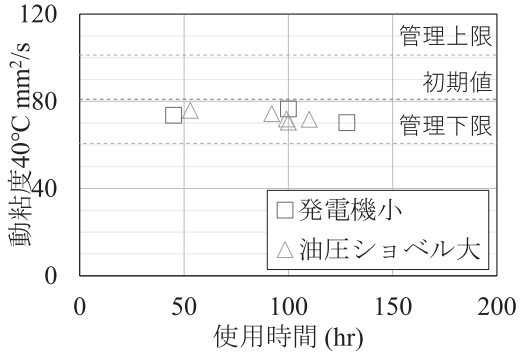
(1) 建機メンテナンスの履歴

建機使用中のメンテナンス状況の一例を**写真―１**に示す。100 時間ごとにエンジンオイルの交換，エアーエレメントの清掃，各部グリスアップ等を行い，200 時間ごとにはこれらに加えてオイルエレメントや燃料エレメントの交換，エンジンオイルの採取および成分分析を実施した。

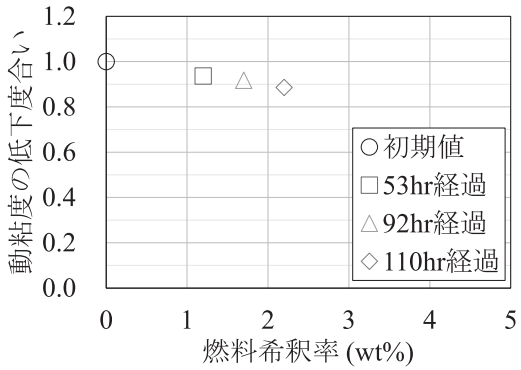
油圧ショベルと発電機の双方において懸念していた損壊は発生しなかったが，燃料供給系に関連する不具合などの課題が見受けられた。油圧ショベルでは，BDF100%に対応した部品には不具合は確認されなかった一方で，調達の都合により 100%対応にできなかった一部の部品には膨潤が見られた。発電機ではホースに不具合は確認されなかったものの，前述の低負荷運転に加えて，軽油使用時よりもススがやや多く付着し，マフラー周りのススが粘着性を持つことが確認された。なお，さらなる分析の結果，その粘着性は BDF 由来であることが判明している。

(2) エンジンオイルの動粘度

エンジンオイルの成分分析のうち，エンジンの摩耗や腐食に影響する動粘度の結果を代表的に**図―６**に示す。動粘度は使用時間が長いほど低下するが，100 時間前後では管理基準内で余裕がある。動粘度低下の要因として燃料希釈（BDF がエンジンオイルに混入すること）が考えられたため，ASTM D7806 に基づき燃料希釈率を評価した。**図―７**より，使用時間が長いほど動粘度は小さく燃料希釈率は大きくなることから，エンジンオイルより動粘度の小さい BDF が混入することで，オイルの動粘度は低下したと推察される。本実験では安全側の配慮として 100 時間ごとにメンテナンスを実施したが，本結果からは，動粘度のさらなる低下を見込んでも通常のメンテナンス間隔である 250 時間で問題ない可能性が示唆される。ただし，建機や使用状況により差異が生じると考えられるため，成分の経時変化をモニタリングし，必要に応じてメンテナンス間隔を見直すことが重要である。



図―６ 動粘度と使用時間の関係



図―７ 動粘度低下と燃料希釈率の関係（油圧ショベル大）

(3) 発電機の分解整備および負荷試験

低負荷運転が続いた発電機に対して，内部状況を確認するために分解整備を実施した。その結果，噴射ノズルや給排気バルブ，パイプ，消音器，マフラーにススが堆積していることが確認されたが，これは軽油使用時でも低負荷運転を行った場合に見られる事象であり，特に明確な差は見受けられなかった。続いて，内部のススを除去してエンジン性能を回復させるために負荷試験を実施した。十分な負荷を与えるにあたり BDF の発熱量不足が懸念されたが，問題なく高負荷に達し，最終的にはエンジン性能の回復が実現できた。また，試験後には付着していた粘着性のススも綺麗に除去されていた。

5. まとめと今後の課題

建設現場において施工に伴う CO_2 排出量の約 70%が建機の燃料消費によるため，軽油の代替としてバイオディーゼル燃料（BDF）の利用拡大が期待されている。そこで，大阪・関西万博の建設現場で，燃料調達，建機メンテナンス，エンジンへの影響評価などの

課題に取り組む実証実験を実施した。

実験の結果，適切な燃料の入出荷管理により建機の燃料切れや燃料廃棄は発生せず，安定した燃料調達が実現した。油圧ショベルでは適切なメンテナンスを行うことで安定した稼働が確認されたが，軽油使用時に比べてパワー不足による燃料消費量の増加が懸念され，特有の排ガス臭に対する配慮も必要と分かった。発電機では軽油使用時と同等の使用感が得られたが，低負荷運転時のススの堆積には注意が必要であった。エンジンオイルの成分分析ではオイルの顕著な劣化は見られず，通常のメンテナンス間隔でも問題ない可能性が示唆されたが，成分の経時変化をモニタリングして柔軟に対応することが重要である。

今後の課題としては，安定した燃料調達を実現するための給油情報の記録と共有，BDF 対応部品の調達と整備，およびそれらの実現に向けた協力会社とのさらなる連携強化が挙げられる。

謝　辞

本実験の実施にあたり，現場事務所，燃料製造会社（大西衛生㈱，㈱日本環境管理センター，㈲関環境サービス），施工会社（真神建設㈱，柳興業㈱）の方々には多大なる協力をいただきました。また，公益社団法人 2025 年日本国際博覧会協会の方々には実験実施を快諾いただきました。記して謝意を表します。

JCMA

《参考文献》

1）柳雅之，川端裕司：カーボンニュートラルに向けた建設業界の取組み，コンクリート工学，Vol.59，No.9，pp.754-759，2021.9
2）川端裕司，勝二理智，西澤彩，山本巌：建設業の CO_2 排出評価に関する研究（その 1）建設現場における全体傾向，日本建築学会大会学術講演梗概集，環境工学，pp.2465-2466，2022
3）川端裕司，勝二理智，西澤彩，山本巌：建設業の CO_2 排出評価に関する研究（その 2）地下階の有無に関する分析（その 3）建物用途に関する分析，日本建築学会大会学術講演梗概集，環境工学，pp.2453-2456，2023
4）国土交通省：国土交通省土木工事の脱炭素アクションプラン～建設現場のカーボンニュートラルに向けて～，2025.4.21，2025/5/26 参照，https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_001200.html
5）日本建設業連合会：建設業における軽油代替燃料利用ガイドライン，Rev.4.1，2024.8.1，2025/5/26参照，https://www.nikkenren.com/publication/detail.html?ci=305
6）国土交通省：高濃度バイオディーゼル燃料等の使用による車両不具合等防止のためのガイドライン，2009.2.10，2025/5/26 参照，https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha10_hh_000025.html
7）日本建設機械施工協会：建設機械等損料表 令和 5 年度版
8）経済産業省 資源エネルギー庁：標準発熱量・炭素排出係数（総合エネルギー統計），2024/3/14 参照，https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/carbon_2023.html
9）デンヨー㈱ 品質管理部門：発電機の軽負荷連続運転によるカーボン類の堆積について，2015/5/1，2025/5/26 参照，https://www.denyo.co.jp/pdf/news/denyo_servicenews.pdf

［筆者紹介］



勝二　理智（しょうじ　みちと）
㈱大林組
技術本部　技術研究所
地盤技術研究部
課長



山本　巌（やまもと　いわお）
㈱大林組
環境経営統括室　推進部
部長



土井　暁（どい　さとる）
㈱大林組
ロボティクス生産本部　生産技術第三部
カーボンニュートラル課
課長

特集≫≫　解体，3R，建設発生土・廃棄物処理

建設発生土を有効利用した静的締固め砂杭工法の現場適用事例

火力発電所におけるリソイル Pro 工法の適用事例

永　石　雅　大・冨　田　晃　弘・朝　妻　　涼

カーボンニュートラル実現に向けた取り組みが加速する中，静的締固め砂杭工法においても環境負荷低減を目的として，建設発生土の利用を進めてきた。しかし，従来技術では，改質によるコスト増大や施工能率低下が課題であった。本稿では，これらの課題を解決するため，建設発生土を改質せず施工可能な新たな材料供給システムの開発について述べる。新システムは材料の通過性を向上させ，細粒分含有率および含水比が 30%程度までの砂質土が適用可能になる。適用事例では，従来の施工設備では施工能率低下が懸念される建設発生土を用いても従来と同等の施工能率と改良品質を確認した。

キーワード：液状化対策，密度増大工法，低振動・低騒音，建設発生土

1. はじめに

液状化対策工法として多くの実績を有する静的締固め砂杭工法は，地盤中によく締まった砂杭を造成することで，周辺地盤の密度を増加させる工法である。その中詰め材料には，一般的に良質な砂や砕石を使用するため，中詰め材料を採取地で掘削し，施工箇所まで運搬する。さらに，施工で発生した盛り上り土[1]も建設発生土として運搬処分されており，これらの過程で CO_2 排出などの環境負荷が生じていた。そこで，静的締固め砂杭工法の新たな材料供給システムを開発[2]した（**図―1**）。

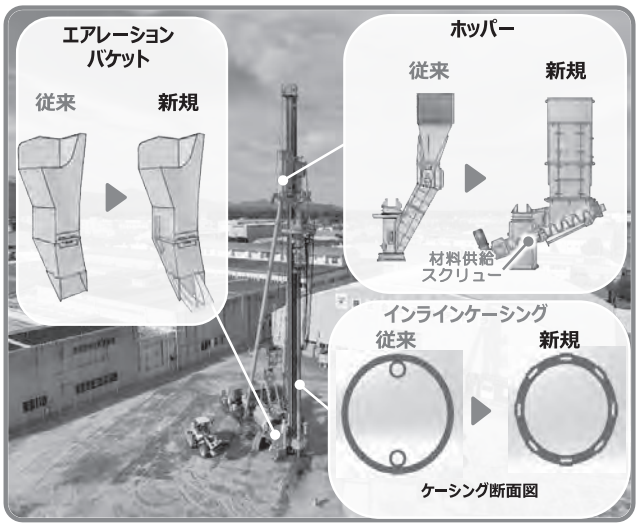
本技術により，建設発生土を有効活用することで，搬入・搬出する工事車両の台数を削減し，自然砂の採取量も減少することで環境負荷低減効果が期待できる（**図―2**）。

本報は，新たな材料供給システムの特徴と，現場での適用事例について報告する。なお，本報における建設発生土とは，現場内で発生した静的締固め砂杭工法の施工に伴う盛り上り土や，掘削土を主な対象としている。

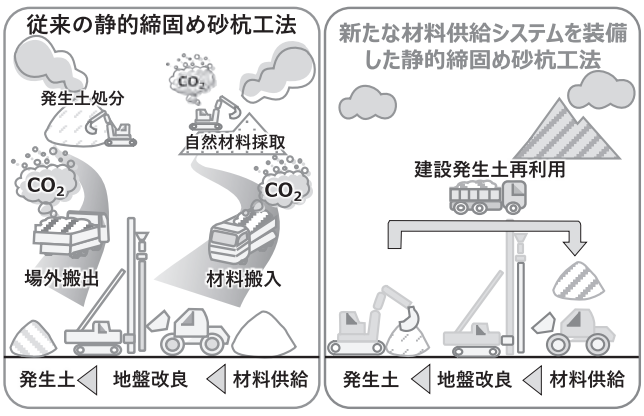
2. 技術概要

(1) 開発の背景

静的締固め砂杭工法の施工工程では，中詰め材料を施工機械の昇降バケットに投入し，ホッパー，ケーシングパイプを通過して地盤内へと運搬する。このとき，中詰め材料の含水比や細粒分含有率が高くなるほど通過性が悪くなり，施工性の低下等に繋がる。建設



図―1　新たな材料供給システム



図―2　環境負荷低減効果の概念図

発生土は，一般的に SCP 工法で利用する中詰め材料と比べ，含水比や細粒分含有率が高い場合が多く，中詰め材料として直接利用することが困難であった。静的締固め砂杭工法において，含水比および細粒分含有率が 30％程度までの建設発生土を石灰で改質して使用した事例[3]はあるが，通常の静的締固め砂杭工法に比べ，改質によるコストの増加や，施工能率の低下といった課題があった。これらの課題を解決するため，「新たな材料供給システム」を開発した。

(2) 新たな材料供給システム

新たな材料供給システムによって材料の通過性が向上し，建設発生土を改質せず施工可能な材料の範囲が拡大した。中詰め材料としての適用目安を**図**―３に示す。従来工法では，細粒分含有率および含水比が 15％程度であったものが，30％以下の材料まで改質せず適用が可能となった。

(a) エアレーションバケット

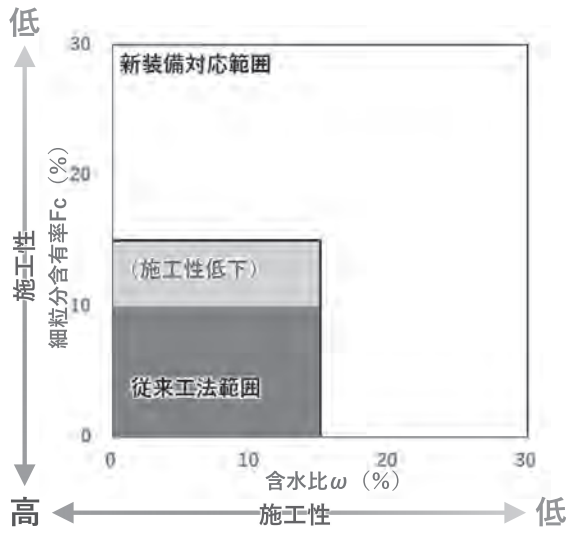
エアレーションバケットは，バケットの底面部を二重構造とし，その隙間からエアーを噴射する。エアーの噴射により材料の落下を補助し，スムーズな材料投入を可能にした。また，二重構造で段差を設けることによって土塊が壊れやすい構造にした。さらに，バケットのフレームをエアータンクとして活用することでエアー量を確保した（**図**―４）。

(b) スクリューホッパー

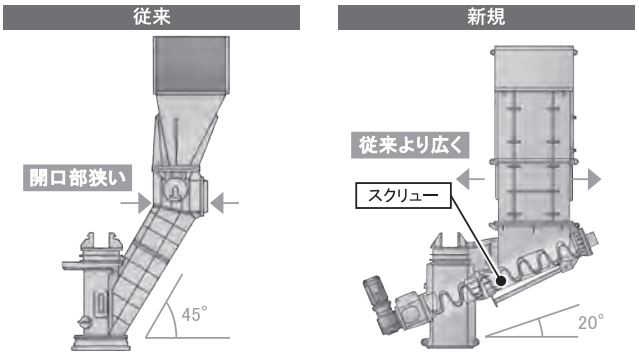
スクリューホッパーは，シュート部分の傾斜を 45 度から 20 度程度に緩やかにすることで，開口部を大きく確保し，閉塞するリスクを最小限に抑えた。また，シュート部分ではスクリューを使用しているため，材料を強制的にケーシング内に送り込むことができる（**図**―５）。

(c) インラインケーシング

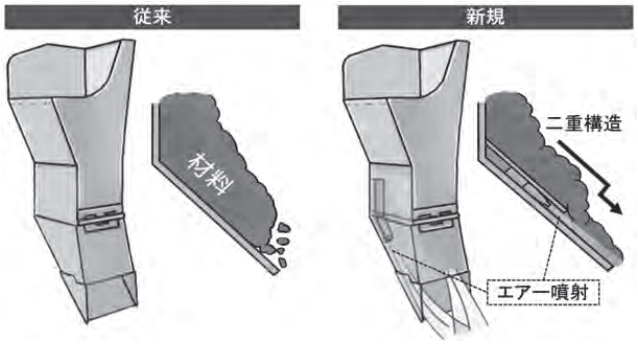
従来のケーシングパイプ（以下，ケーシング）では，管内に貫入補助や材料抜け補助のためにエアー配管が 2 箇所設置されており，細粒分含有率の高い材料が通過する際に，エアー配管周りに材料が付着し，施工性が低下する恐れがあった。新たなケーシングは，エアー配管を管の厚みの中に設置することで，ケーシング内の段差をなくし，材料の通過しやすい形状とした。また，エアー配管数を 8 箇所に増設し，施工時の補助エアーをコントロールすることで施工性が向上した（**図**―６）。



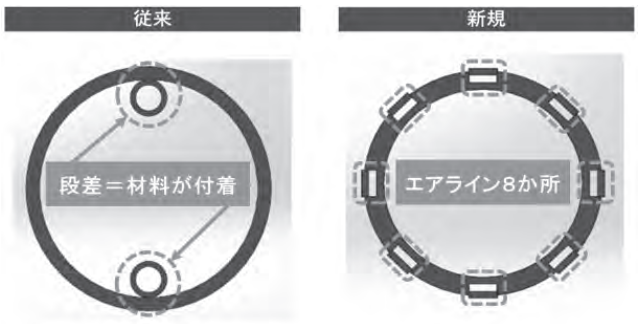
図―３　材料の適用目安（細粒分含有率と含水比）



図―５　ホッパー設備模式図



図―４　バケット設備模式図



図―６　ケーシング設備断面模式図

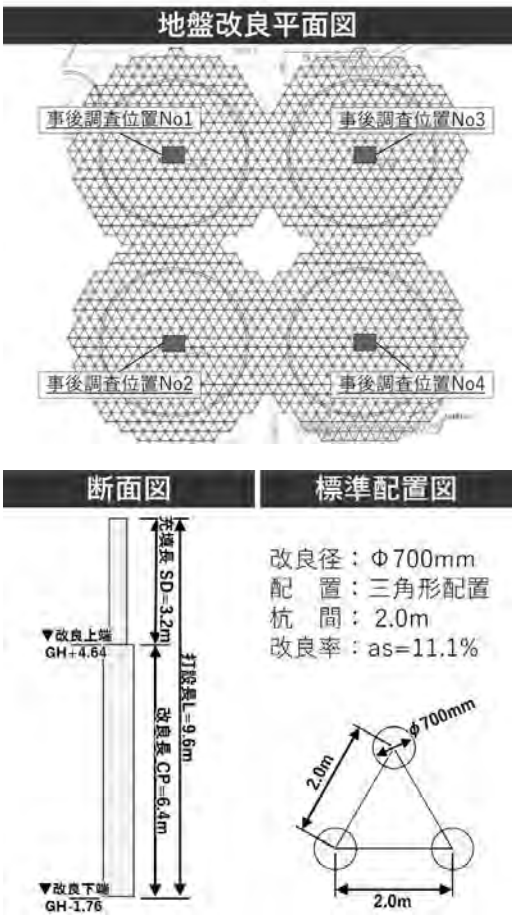
3. 工事概要

本工事は，火力発電所の給水処理設備の更新に伴う，給水タンク基礎の液状化対策および支持力対策を目的とした地盤改良工事である。地盤改良工事概要を**表―1**，地盤改良の平面および標準配置図を**図―7**に示す。

当該地では，現地の建築工事や，地盤改良のための作業ヤード造成に伴い，多量の建設発生土が発生することが予想された。そこで，これらの建設発生土を利用可能な新たな材料供給システムを装備した静的締固め砂杭工法の適用に至った。

表―1　地盤改良工事概要

施工者	鹿島建設㈱
地盤改良	㈱不動テトラ
対策目的	給水タンク基礎地盤の液状化対策 および支持力対策 （改良目標 N 値：15 以上）
地盤改良 仕様	充填長：ϕ400 mm，3.2 m 改良長：ϕ700 mm，6.4 m 数　量：n = 1,291 本 配　置：△×2.0 m（改良率 as = 11.1％）



図―7　締固め砂杭工法の地盤改良標準配置図

4. 地盤改良の施工状況

(1) 現地土の物性値

本工事で使用した建設発生土の分類を**図―8**に示す。締固め砂杭工法はϕ400 mm のケーシングから中詰め材料を排出する構造上，粒径の大きな材料は使用に適さない。これまでの施工実績から，適用可能な最大粒径はおおよそ 40 mm 程度とされている。建設発生土のうち，現場掘削土と仮置き土については，事前にスケルトンバケットを装備したバックホウにて植物の根や解体ガラ等の分級作業を実施した。分級作業状況と分級ガラを**写真―1**に示す。

分級後の中詰め材料の土質試験結果を**表―2**，**図―9**に示し，施工目安となる現地土の含水比と細粒分含有率



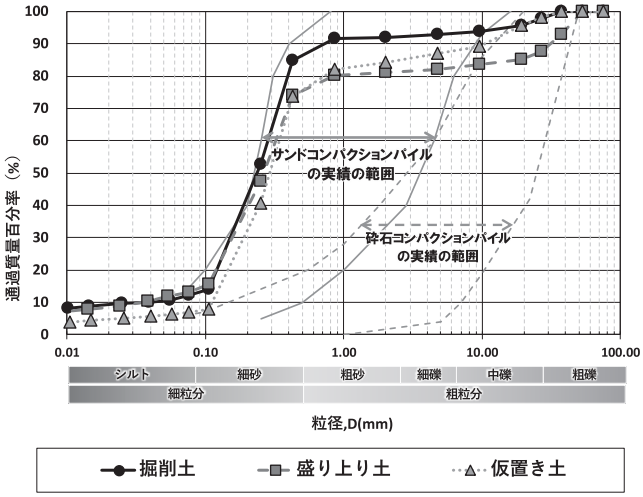
図―8　建設発生土の種類と利用手順



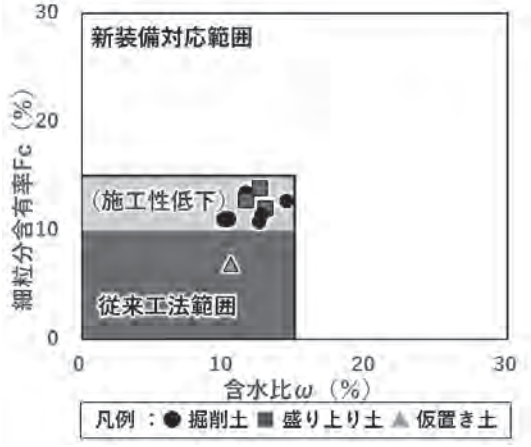
写真―1　建設発生土の分級状況

表―2　分級後現地土の物性値

項目	掘削土	盛り上り土	仮置き土
土粒子密度 ρ_s（g/cm³）	2.643	2.650	2.677
含水比 w（％）	11.1	12.2	10.5
細粒分含有率 Fc（％）	13.7	13.4	6.9
ρ_{dmax}（g/cm³）	1.683	1.742	1.681
w_{opt}（％）	14.4	13.6	16.4



図―９　分級後建設発生土の粒径加積曲線



図―10　材料の施工目安（細粒分含有率と含水比）

の関係を**図―10**に示す。仮置き土以外の現地土については，細粒分含有がやや高く従来の静的締固め砂杭工法の設備では施工能率の低下が懸念される物性であった。

(2) 施工設備と施工性

本工事では，地盤改良施工機２台で工事を実施した。現場の施工状況を**写真―２**に示す。

１台目は，ケーシング設備のみを変更し，２台目は，すべての設備を新たな材料供給システムに変更した。施工の結果，いずれの施工機も従来の静的締固め砂杭工法の設備では施工能率の低下が懸念される材料を使用しても，計画通りの施工能率で工事を実施することができた。

(3) 改良品質の事後調査結果

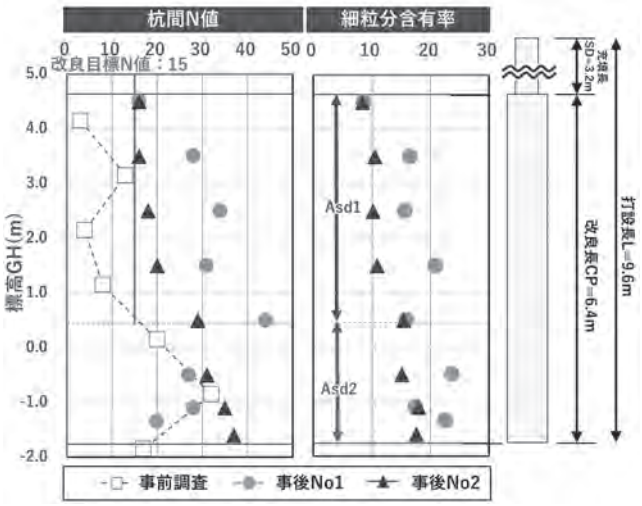
締固め砂杭工法の改良品質の確認項目として，砂杭の杭芯地盤では，改良後地盤を掘削し，砂杭の改良径が所定の目標値φ700 mm 以上を満足しているかを確認する。改良後の出来形径測定結果では，改良目標φ700 mm 以上となることを確認できた（**写真―３**）。



写真―２　地盤改良施工状況



写真―３　出来形径確認状況



図―11　杭間地盤の事後調査結果

改良間地盤の改良効果は，改良事後の標準貫入試験から得られる杭間Ｎ値が改良目標値（当該地の改良目標：Ｎ値 15）以上であることを確認する。

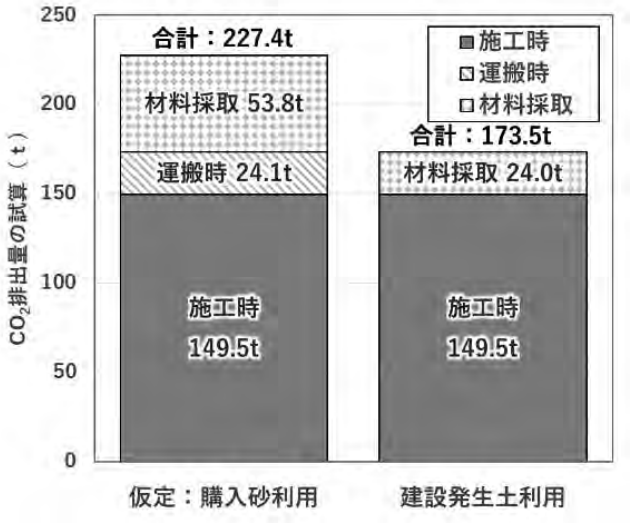
図―11に，改良前地盤のＮ値と実施済である２本

の改良後の杭間地盤 N 値を示す。いずれの杭間地盤も改良目標値 N 値 15 以上を満足した。

5. 環境負荷低減効果の試算

本工事における建設発生土の有効活用により，約 5,130 m^3 の購入砂搬入を削減（使用材料の約 99.8％）することができた。使用した建設発生土のうち，約 25％は，施工による盛り上り土であった。

本工事にて購入砂を使用したと仮定した場合，自然材採取時と運搬時，地盤改良施工時に発生する CO_2 の排出量を試算した結果，227.4 t となり，建設発生土を利用した場合の 173.5 t と比較し 23.7％の CO_2 低減効果があることを確認した。CO_2 排出量の内訳を**図―12** に示す。ここで建設発生土を利用する場合は，スケルトンバックホウによる分級作業で発生する CO_2 排出量を材料採取と分類している。



図―12 CO_2 排出量の試算結果内訳

6. おわりに

本稿では，建設発生土を締固め砂杭工法の材料として直接利用可能にした新たな材料供給システムの紹介とその適用事例について述べた。本技術により，砂材料の採掘による環境破壊防止および砂材料搬入時や建設発生土の処分に伴う運搬時の CO_2 排出量を削減することで，環境負荷の低減に貢献することが可能となる。今後は，本技術のさらなる適用範囲の拡大を目指し，より多様な条件の建設発生土への適用性についても検証を重ねていく。今後も，防災・減災および環境負荷低減技術の推進および開発に取り組んでいく所存である。

本報は，鹿島建設㈱の多大なるご支援とご協力のもと，現場適用事例を報告することができました。ここに心より感謝申し上げます。

JCMA

《参考文献》

1）打戻し施工によるサンドコンパクションパイル工法設計・施工マニュアル，（公社）地盤工学会，pp96-101，2009.
2）矢部浩史・伊藤竹史・竹内秀克・高田英典・永石雄大・冨田晃弘：建設発生土を利用した砂杭工法の開発（その 1：施工検証），第 59 回地盤工学研究発表講演集（web），24-13-2-06，2024.
3）尾形 太・橋本則之・伊藤竹史・竹内秀克・矢部浩史：リサイクル材料を用いた締固め砂杭（サンドコンパクションパイル）工法への取組み，第 14 回地盤改良シンポジウム論文集 , pp143-148, 2020.

［筆者紹介］



永石 雅大（ながいし まさひろ）
㈱不動テトラ
地盤事業本部 機械技術部
機械技術企画課
課長



冨田 晃弘（とみた あきひろ）
㈱不動テトラ
地盤事業本部 機械技術部
機械技術企画課



朝妻 涼（あさつま りょう）
㈱不動テトラ
地盤事業本部 技術部
技術企画課

特集≫≫　解体，3R，建設発生土・廃棄物処理

ハイパースペクトルを用いた災害廃棄物の種類と量の推定

羽　渕　博　臣

近年，気候変動等に伴い自然災害が頻発化・激甚化しており，その度に災害廃棄物が大量に発生している。災害廃棄物は，災害の種類や発生箇所等により種類と量が異なるため，それらを正確に把握することは難しい。被災地の早期復旧・復興においては，災害廃棄物処理を円滑に進めることが重要であり，そのために災害廃棄物の発生量と種類を正確に把握することが肝要である。そこで，奥村組では，ハイパースペクトルカメラ（以下，HSC）を用いた災害廃棄物の種類と量の迅速判定について，その可能性を検討したので紹介する。

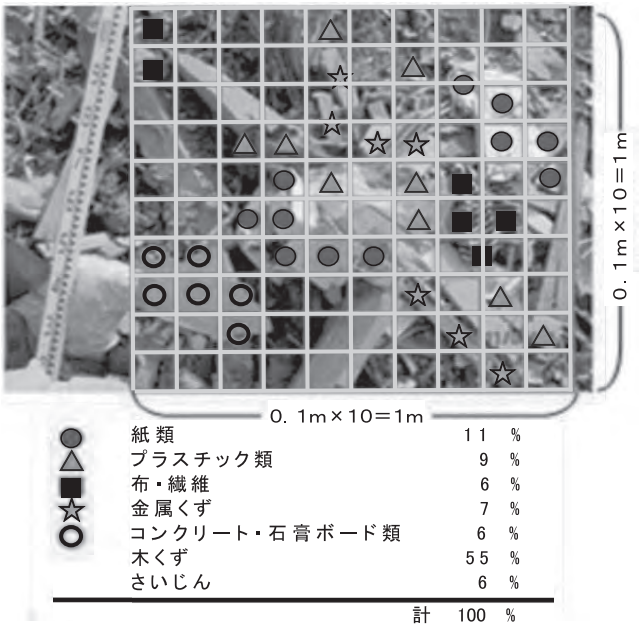
キーワード：ハイパースペクトルカメラ，災害廃棄物，種類，発生量

1. 背景，目的

気候変動等に伴い自然災害が頻発化・激甚化しており，その度に災害廃棄物が大量に発生している。急に発生する災害廃棄物への対策として，自治体は被害状況などから統計的に災害廃棄物の種類と量を予測し，発災後に策定する災害廃棄物処理実行計画に反映している。しかしながら，災害廃棄物は災害の種類や発生個所等，災害ごとに異なり正確に把握することは難しい。発生量の把握が遅れることで，災害廃棄物処理実行計画の策定自体が遅れ，災害廃棄物の処理効率の低下を招くことが危惧される。

現状の災害廃棄物の仮置場への搬入済量については「現地計測や重量測定により把握する」ことが環境省の災害廃棄物対策指針[1]に示されている。具体的な推計方法としては，現場で直接，選別，計量して組成を分類する方法や，災害廃棄物表面を撮影したRGB画像の1 m × 1 mを代表領域として，この範囲を0.1 mのメッシュで区分し，メッシュごとの種類を目視により分類する手法がある（**図―1**）[2]。しかしながら，これらの方法は，重機や作業員の安全確保が必要であったり，目測作業者によって判断が異なるといった問題もある。このように災害廃棄物処理を円滑に進めるためには，発生量と種類の正確な把握が課題であるとともに，ICTやリモートセンシング技術により，さらに簡便かつ正確に発生量・要処理量を推計する手法の開発が望まれている[3]。

そこで，可視光の波長領域外（900 ～ 1,700 nm）を撮像するHSCに着目し，HSCを用いた災害廃棄物の種類と量の迅速判定について検討したので，報告する。



図―1　写真を用いた表面組成の分類

2. HSCの技術概要

一般的なカメラでは，入射光を光の三原色であるR（650 nm波長），G（550 nm波長），B（450 nm波長）の3バンドに分解し，その重ね合わせによって可視光情報（約380 ～ 750 nm波長）を表現するが，HSCでは，より広範囲な波長領域を多くのバンド帯で分解することができる。例えば，本研究で用いたHSC（RESONON



図―２　HSC の波長領域

社製 PIKA NIR-320）では，**図―２**に示すように 900 ～ 1,700 nm の波長領域の入射光を波長分解能 4.9 nm で 164 バンド帯に分解することができる。また，各チャンネルの波長強度を結ぶことで，スペクトルを表現することもできる。これらのスペクトル特性を分析することで，一般的なカメラでは困難な対象物の識別が可能となる。

3. 実験概要

災害廃棄物総量のうち，ある特定の組成（種類）の廃棄物量は，「総体積×組成（区分別割合）×みかけ比重」で算出される。総体積の算出については，仮置場に集積された災害廃棄物の山の底面積を GPS 測量等で，高さをレーザー距離計や水準測量等により測定して算出する方法や，トータルステーションなどの測量器機を使用して，集積された災害廃棄物の山の体積を求める既存手法等がある。みかけ比重は，廃棄物同士の空隙も含んだ体積で重量を除して求められる値であり，体積の測定方法や測定時の状態（水分量，圧密度，他）によって値が変化し，内容物によって大きく変動するものであるが，過去の災害における実績値[4), 5)]や，環境省が示した体積重量換算係数[6)]等によって推定される。

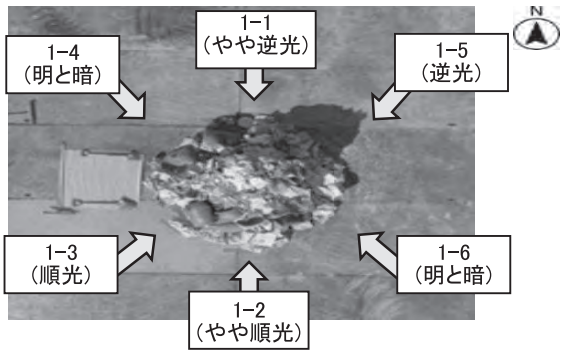
一方，災害廃棄物の組成（区分別割合）は災害ごとに異なり，発災後の仮置場での現地作業によって算定することから，可視光の波長領域外（900 ～ 1,700 nm）を撮像する HSC を導入することにより効率化と精度向上を図れる可能性があると判断した。そこで本稿では，HSC を用いて以下の３つの実験とその結果から得られた知見について報告する。

ⅰ．模擬災害廃棄物を用いた撮影実験
ⅱ．ベルトコンベア上の災害廃棄物を対象とした撮影実験
ⅲ．令和６年能登半島地震・災害廃棄物仮置場における撮影実験

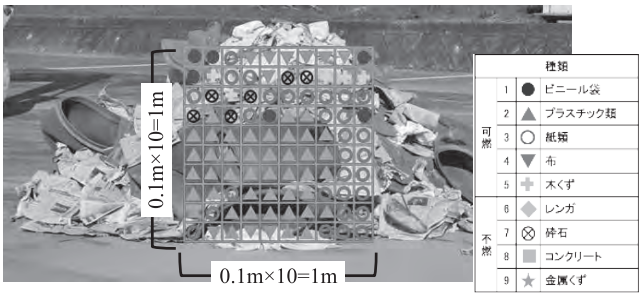
4. 模擬災害廃棄物を用いた撮影実験

(1) 実験概要

東日本大震災の実績[7)]をもとに，模擬災害廃棄物を種類別の質量割合（可燃物 24％：ビニール，プラスチック，紙，布，木くず，不燃物 76％：レンガ，砕石，コンクリート，金属くず）で作成し，混合後に堆積させ，日照条件が異なる側方６方向から HSC で撮影（**図―３**）した。また，HSC による分類（以下，HSC 法）と，第１章で紹介したメッシュごとの種類を目測による分類（**図―４**）（以下，従来法）を行い，分類精度の違いを比較した。



図―３　側方６方向からの撮影状況

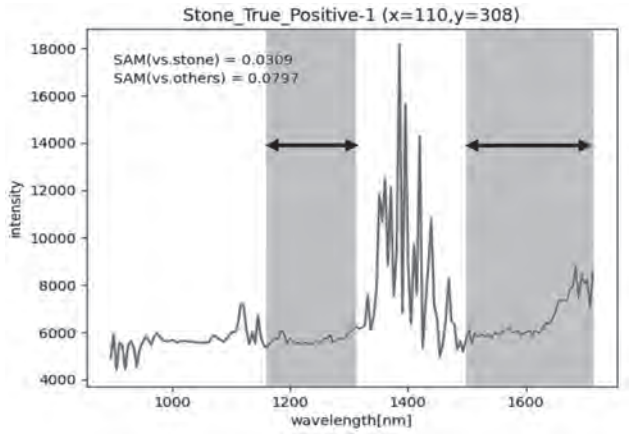


図―４　目測による分類

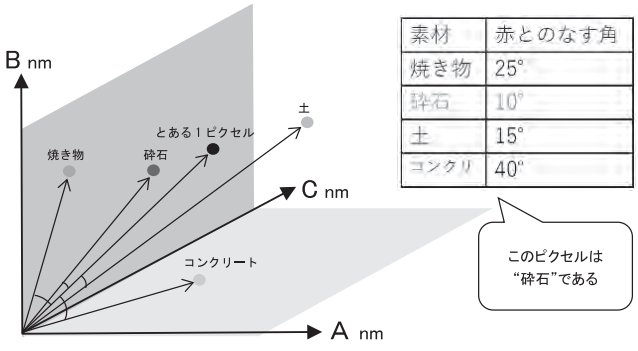
(2) HSC 法の画像分類方法

画像分類で使用する波長領域は，HSC で取得可能な 900 ～ 1,700 nm のうち，940 nm 近傍や 1,100 nm 近傍，1,400 nm 近傍は大気中の水蒸気等による吸収が大きく，解析への使用に適さない。そのため，1,100 ～ 1,300 nm および 1,500 ～ 1,700 nm 間の波長領域を使用し（**図―５**），画像解析ソフト perClass Mira を用いて画像解析を行った。

HSC で取得した画像分類のアルゴリズムは，Spectral Angle Mapper（SAM：スペクトル角マッパー）を用いた。SAM では，まずスペクトルが n バンド帯の場合，各素材のスペクトル情報をあらかじめ教師データ（正解データ）として機械学習させる。次に，学習させた各素材のスペクトルを n 次元空間にベクトル表示しておき，分類対象の計測されたターゲット・スペクトルをプロットしてスペクトル角が一番小さい素材ほど類似性が高いと判定して分類する。**図―６**に，３



図―５　解析に用いた波長領域



図―６　SAM の概念図

次元の場合の SAM の概念図を示す。

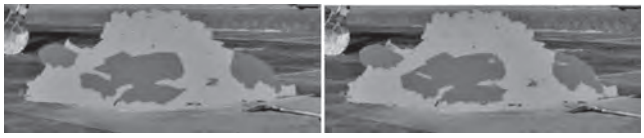
分類対象の教師画像（正解画像）は，RGB 画像で撮影し，画像編集ソフト Gimp に取り込み作成した。この教師画像をもとに，Gimp を用いて手作業で災害廃棄物の素材ごとの領域を区分し，領域ごとのピクセル数をカウントすることで，災害廃棄物の組成（区分別割合）を算出した。解析結果の性能評価については，ピクセル数を用いて，HSC で識別された領域と，実際の正しい領域の２つの重なり度合いを表す IoU（Intersection over Union，２つの領域の論理積を論理和で割った値）で行った。

(3) 実験結果と考察

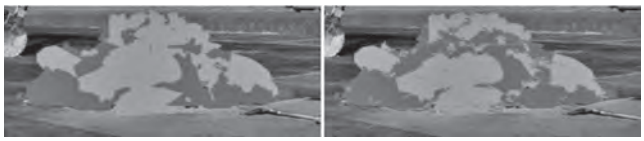
日照条件が異なる側方６方向から HSC で撮影した結果，不燃物は総じて IoU が低い傾向にあり，順光下で撮影した Case1-2（やや順光）や Case1-3（順光）は，IoU が高く，逆光や影があると IoU が低下する傾向がみられた。日照条件が異なると，あらかじめ機械学習させたスペクトル情報と識別対象物のターゲット・スペクトルとで差異が生じ，識別精度に影響を及ぼすことがわかった。Case1-3 の RGB 画像を**図―７**に，HSC で分類した画像のうち，IoU が 91.3％と最も高かったプラスチック類を**図―８**に，67.8％の紙類を**図―９**に，6.3％と最も低かった金属を**図―10** に示す。各図とも濃灰色が解析対象，薄灰色が解析対象以外の領域である。



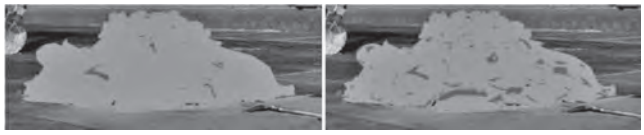
図―７　Case1-3 RGB 画像



図―８　Case1-3 プラスチック（左：教師，右：HSC）



図―９　Case1-3 紙（左：教師，右：HSC）



図―10　Case1-3 金属（左：教師，右：HSC）

従来法と HSC 法の結果においては，両者の分類精度に大きな差異はなく同等の結果が得られた。また，従来法は，作業者が人為的に判別するため，例えば，従来法には,「ある」ものが「ない」,「ない」ものが「ある」といった判定ミスが所々あったのに対し，HSC 法は判定ミスがないのが特徴的な結果であった。

本実験の結果，HSC を用いて災害廃棄物の種類の分類ができ，日照条件が分類精度に影響するものの，HSC 法は，従来法の代替となり得ることが示唆された。

5. ベルトコンベア上の災害廃棄物を対象とした撮影実験

(1) 実験概要

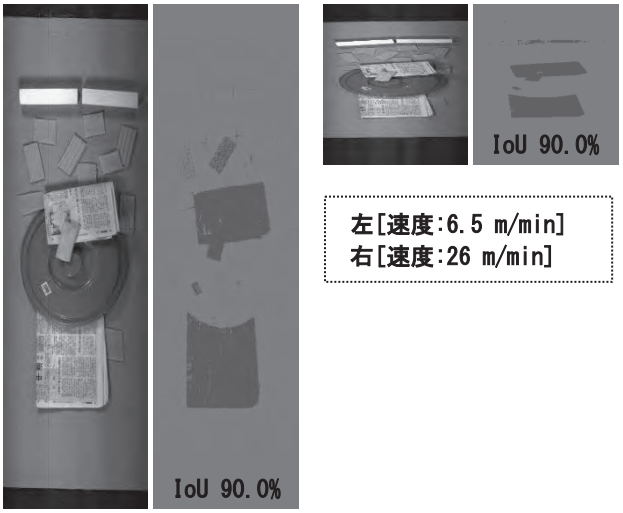
災害廃棄物は，通常，仮置場等に一旦集積され，仮置場において，重機や選別機械等を用いて種類ごとに分類される。具体的には，バックホウで粗選別，破砕機でサイズ調整，磁選機で金属除去，回転篩機で土砂除去，風力選別機で可燃物分離，人力で手選別等，こ

れらの処理を経て，再資源化施設や最終処分場に運ばれる。本実験では，このような破砕・選別処理の機械間を接続するベルトコンベア上に HSC を設置し，災害廃棄物をさらに高精度に分類することを目的とした。また，第 4 章の実験から HSC の識別は，日照条件が悪い場合は，精度が低下するという知見から，HSC を内蔵した暗室を設置し，被写体をハロゲンライトで照射する構造とした。暗室内の模式図を**図―11** に，実験の状況写真を**写真―1** に示す。

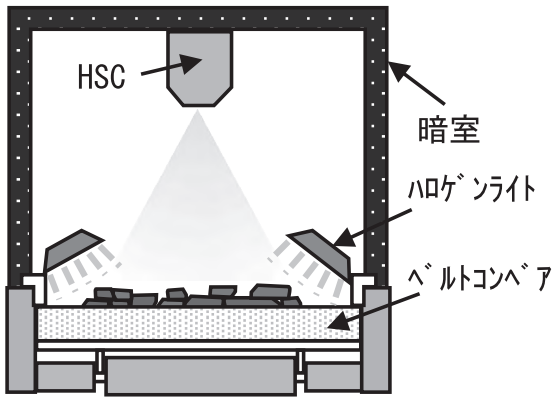
(2) 実験結果と考察

可燃物（プラスチック，紙，布，木くず）は，概ね 60％以上の IoU が得られ，不燃物（レンガ，金属くず）と比べて，全体的に IoU が高い傾向にあった。ベルトコンベア速度の比較（**図―12**）では，6.5 m/min から 26 m/min の速い速度に変えても画像のアスペクト比が変形するものの，IoU には影響がないことが確認できた。また，暗室の有無の比較（**図―13**）では，暗室のある場合は，暗室が無く太陽光のみの条件下の場合と比べて IoU が高い傾向にあり，ハロゲンライトの光源でも分類可能であることがわかった。

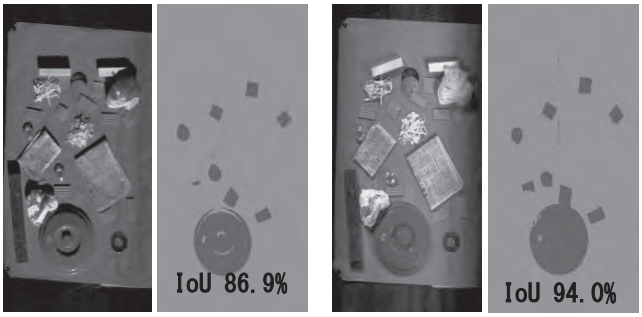
被写体の素材によって識別精度に違いがあるものの，全体を通して，可燃物の IoU が高く，不燃物の IoU が低かったことから，例えば，可燃物を検出し，可燃物以外（異物）を識別することで，再資源化率や処理品質の向上に寄与できる可能性が示唆された。また，日照条件が識別精度に影響を及ぼすことが懸念されていたが，撮影時の光源を太陽光に限定せず，HSC を暗室内に内蔵し，ハロゲンライトで一定に保つことで，天候の影響を受けずに分類できることが明らかとなった。



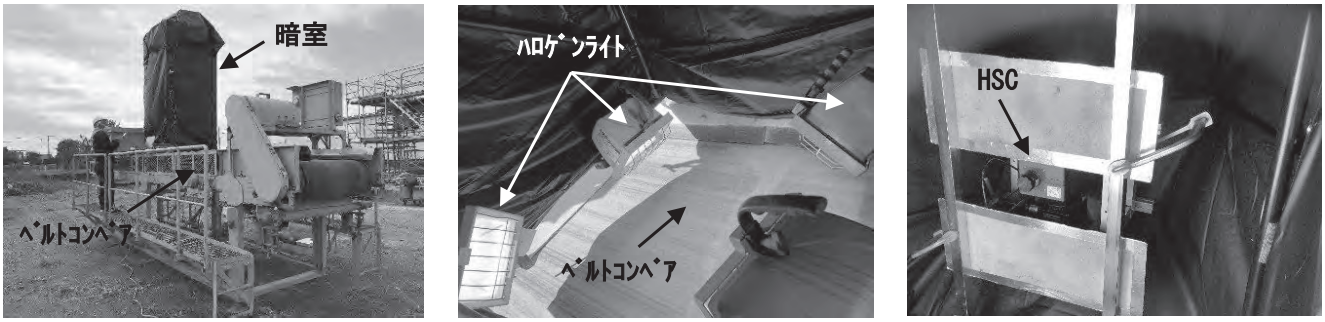
図―12 ベルトコンベア速度の比較（紙類）



図―11 暗室内の模式図



図―13 暗室の有無による比較（プラスチック）



写真―1 ベルトコンベア上に HSC を内蔵した暗室

6. 令和 6 年能登半島地震・災害廃棄物仮置場における撮影実験

(1) 実験概要

令和 6 年能登半島地震により発生した実際の災害廃棄物を用いて，珠洲市ジャンボリー会場跡地災害廃棄物仮置場（**図**― 14）および輪島市第一仮置場において，種類と量を推定する実験を行った。

ここでは，災害廃棄物を山状に 5 ～ 8 m^3 ほど堆積させ（**写真**― 2），HSC で撮影を行い，従来法と比較するため，IoU の算出は，1 m × 1 m の範囲を対象とした。災害廃棄物の量（体積）については，LiDAR センサー搭載の iPhone と GNSS 位置情報を利用するスマートフォンアプリ GeoScan（オプティム社製）を用いて点群データを取得した後，3 次元化し，Trend-Point（福井コンピュータ社製）で体積を算出した。



図― 14　UAV で撮影したオルソ画像



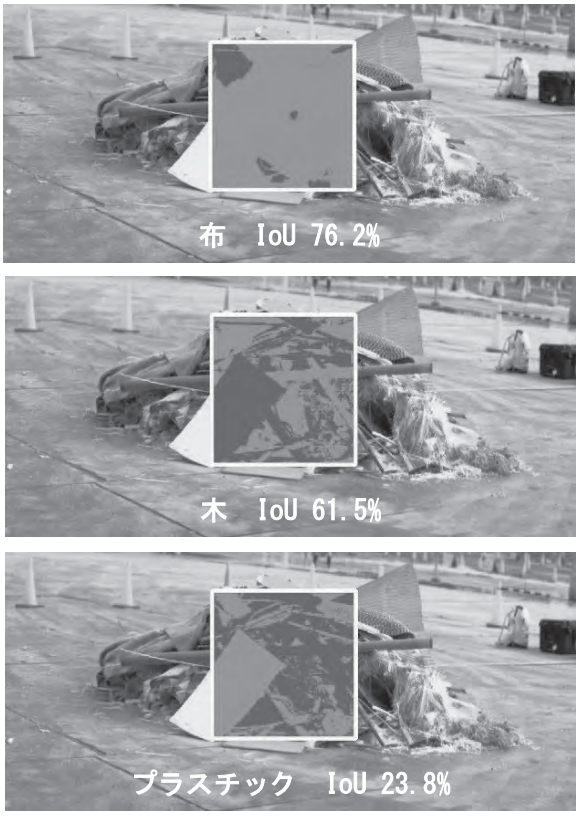
写真― 2　実験の被写体

(2) 実験結果と考察

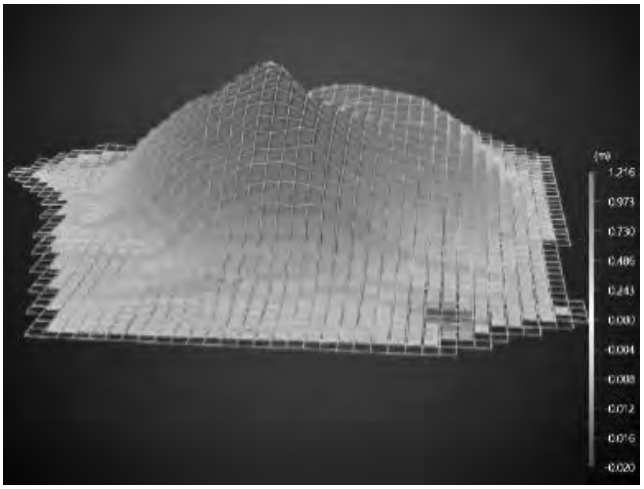
珠洲市ジャンボリー会場跡地災害廃棄物仮置場における結果の一例を**図**― 15 に示す。4 種類（①木，②プラスチック，③布，④その他）に分類した結果，IoU は布 76.2%，木 61.5%，プラスチック 23.8%となり，布および木は，精度良く分類される結果が得られた。第 4 章および第 5 章の実験で IoU が高かったプラスチックは，複数種類の素材（パイプ状の素材や表面塗装，凹凸のある素材など）があったため，IoU が低下したと考えられるものの，可燃物 3 種類を一括りでみると，IoU は 60.2%となった。災害廃棄物量の算出結果を**図**― 16 に示す。

7. おわりに

本稿では，3 つの実験を通じて，HSC を用いた災害廃棄物の種類と量の推定方法を紹介し，①可燃物をさらに詳細に分ける（再資源化率の向上），②可燃物からその他の廃棄物を検出する（処理品質の向上）といった場面に適用できる可能性を示した。実用化に向けては，光源などの撮影条件や不均一な素材，不燃物などが識別精度に影響を及ぼすことから，撮影時に光源を一定に保つための工夫，設備の付加等，さらなる精度向上とデータ蓄積が必要である。



図― 15　IoU および分類結果（枠内の濃灰色）



図―16 災害廃棄物量（体積）の推定

《参考文献》
1）環境省環境再生・資源循環局災害廃棄物対策室,「災害廃棄物対策指針（改定版）」, 2018
2）環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部,「東日本大震災等の経験に基づく災害廃棄物処理の技術的事項に関する報告書」, pp.5-14, 2017
3）多島良ほか：災害対応マネジメントの観点からみた災害廃棄物発生量推計方法の現状と展望, 廃棄物資源循環学会論文誌 Vol.29, pp.104-118, 2018
4）高月紘ほか,「災害と廃棄物性状―災害廃棄物の発生原単位と一般廃棄物組成の変化―」, 廃棄物学会誌, Vol.6, No.5, pp.351-359, 1995
5）宮城県環境生活部震災廃棄物対策課,「災害廃棄物処理業務の記録」, p.249, 2014
6）環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部産業廃棄物課長,「産業廃棄物管理票に関する報告書および電子マニフェストの普及について（通知）」, 環廃産 061227006 号, 2006
7）環境省災害廃棄物対策情報サイト,「災害廃棄物等の発生量の推計 資料 2」, 2013

［筆者紹介］
羽渕 博臣（はぶち ひろおみ）
㈱奥村組
技術本部 環境ソリューション部 環境企画課
課長



JCMA



特集≫≫　解体，3R，建設発生土・廃棄物処理

廃棄物処理施設整備の最前線
ごみ焼却施設の DX 技術導入事例と効果

上　村　愛　優

本稿では，ごみ焼却施設における DX 技術の導入事例を紹介する。焼却炉の自動運転 AI や蒸気発生量・薬剤噴霧量制御の自動化により，運転員の介入操作回数を大幅に削減した。また，画像処理解析 AI を活用した早期火災検知システムは，大規模火災の防止と施設の稼働停止リスクを低減している。さらに，遠隔監視拠点の運用により，柔軟な運転体制と労働環境の改善を達成している。これらの DX 技術は，ごみ焼却施設の安全性向上と運営効率化に寄与し，持続可能な廃棄物処理システムの構築に貢献するものである。
キーワード：廃棄物，焼却，省人化，自動運転，遠隔監視，ごみピット火災

1. はじめに

ごみ焼却施設は現代社会において不可欠な社会インフラであり，その役割は時代の変化に伴い進化してきた。当初，我が国のごみ焼却施設は，高度経済成長期における公害問題への対応として重点的に整備が進められ，環境汚染防止と公衆衛生の確保が図られてきた。2000 年代に入り，経済成長が成熟期を迎え，資源の有限性や環境負荷の低減が重要視されるようになると，廃棄物は単なる処理対象から有用な資源・エネルギー源として捉え直されるようになった。特に，2009 年度の「循環型社会形成交付金制度」導入により，全国で廃棄物発電などの高効率エネルギー回収施設の整備が加速した。

2024 年に閣議決定された「第五次循環型社会形成推進基本計画」では，2050 年ネット・ゼロの実現に向けて，さらなるエネルギー回収効率の向上を目指すこととともに，自立・分散型の地域のエネルギーセンターとしての機能や災害時の防災拠点としての活用等の多面的価値を創出することが方針として示された。また，IoT および AI の活用による処理工程の高度化や省力化の重要性も示されており，少子高齢化が進む中でも効率的に廃棄物処理を行えるよう，本分野における DX 推進も必要不可欠な取り組みとなっている。さらに，近年廃棄物処理施設で頻繁に発生しているリチウムイオン電池による火災は，施設の長期停止を招き，地域の廃棄物処理機能に深刻な影響を与えている。

このような課題に対応するため，ごみ焼却施設への DX 技術導入を積極的に推進している。本稿では，人手不足解決に向けた自動運転技術，火災リスク軽減のための早期検知システム，および遠隔監視技術について，具体的な導入事例とその効果を紹介する。

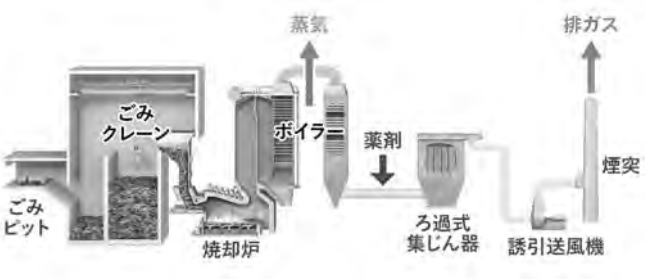
2. 具体的な DX 事例

(1) ごみ焼却施設の自動運転技術

(a) ごみ焼却施設の概要

ごみ焼却施設の標準的なシステムを**図**―1 に示す。ごみ収集車で運ばれたごみはごみピットに一時保管され，ごみクレーンで焼却炉に投入される。ごみの燃焼に伴い発生する排ガスは，塩化水素やダイオキシン類などの有害物質を除去するため薬剤を吹き込み無害化する。同時に，燃焼で発生する熱をボイラで回収して蒸気を作り，蒸気タービンで発電を行う仕組みとなっている。

有害物質の発生抑制および発電出力の安定を阻害する要因が，燃料であるごみの性状が一定でないことである。一般的な発電所で使用される燃料と異なり，ごみは紙・プラスチック・生ごみ・木くずなど，様々な



図―1　ごみ焼却施設の標準的な概略システム

物質が混在しており，季節や地域によっても組成が大きく変動するため，燃焼状態や蒸気発生量，排ガス量が常に変化する。これに対し安定性を飛躍的に向上させる３つの運転操作自動化機能を開発した。**図―２**に制御イメージ，**図―３**に制御概要を示す。

（b）運転操作自動化機能の詳細

①焼却炉自動運転 AI システム

焼却炉の燃焼状態は，従前より標準的に装備されている自動燃焼制御装置（Automatic Combustion Controller，以下 ACC）により一定程度安定に維持されている。しかし，ごみ質の大幅な変動時などは，ACC 任せでは安定状態への復帰に時間を要することから，排ガスなどの環境基準値を確実に守るために，運転員が手動介入することで ACC 制御範囲へ復帰させている。開発した焼却炉自動運転システムは，運転員のノウハウや経験に基づく手動操作内容をプログラム化した自動介入モデルを搭載し，運転員と同等の判断および操作を自動で行うことができる。

②蒸気量 SV 値自動制御

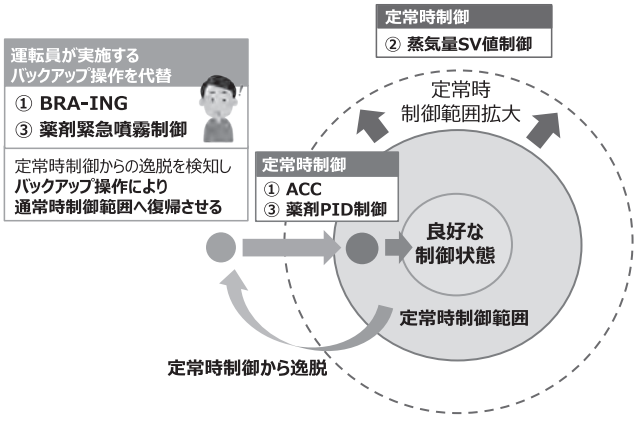
ごみ焼却施設では，蒸気発生量の安定性を保ちながら日毎の焼却量管理が必要となるが，ACC では両方を同時に高水準で制御することができない。従来は，必要に応じて運転員が ACC の目標蒸気発生量（SV 値）を手動で増減し，ごみ焼却量を調整してきた。蒸気量 SV 値自動制御機能は，目標焼却量と焼却量実績値を比較して，目標蒸気発生量を自動調整する機能である。さらに，従来運転員が対応していた，売電電力量の低下による買電リスク増加時や排ガス流量が管理値を超過しそうな場合の SV 値調整についても，本機能では自動で行うことができる。

③薬剤緊急噴霧制御

ごみ焼却施設では，排ガス中の有害物質抑制のため薬剤を噴霧し，煙突での排出基準濃度を下回るよう制御している。薬剤噴霧量は通常の PID 制御で自動調整されるが，煙突での有害物質濃度が急上昇した場合は，運転員が一時的に薬剤噴霧量を増加させ，有害物質濃度の上昇を抑制させている。薬剤緊急噴霧制御は，煙突での有害物質の濃度上昇を検知し，薬剤噴霧量を緊急的に自動増加させる機能である。従来の PID 制御と組み合わせることで，薬剤制御を全自動化することができる。

（c）運転操作自動化機能の効果

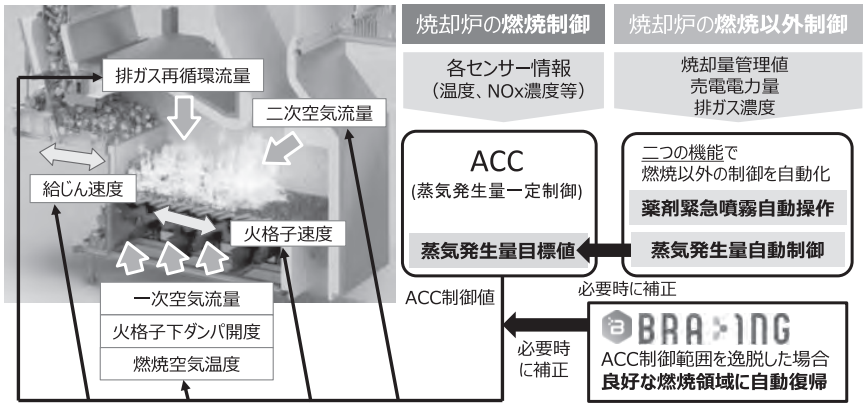
運転操作自動化機能の効果を検証するため，実証試験を行い，自動化機能導入前の同期間の運転データと比較した。具体的には，運転員による手動介入操作回数により，自動運転が達成された期間を評価した。また，燃焼状態の安定性を評価する指標として，「良好な燃焼状態」を維持できた時間の割合を用いた。良好な燃焼状態とは，蒸気発生量が設定値から大きく外れていない，かつ焼却炉出口の排ガス温度が大きく変動



図―２　自動制御技術の制御イメージ

表―１　良好な燃焼状態の定義（AND 条件）

a	発生蒸気量の偏差が設定値に対して－8%以上 （PV－SV）／ SV ≧ － 8%
b	炉出口温度の平均値に対して－50℃以上



図―３　自動制御技術の制御概要

表―２　実証試験期間中の操炉状況と結果

項目	ACC ＋操作自動化機能	ACC のみ
期間	2023/07/01 ～ 10/03	2021/07/01 ～ 08/24 2021/09/08 ～ 10/03
日数［day］	95	83
ごみ低位発熱量［MJ/kg］	9.1	8.1
ごみ投入量［t/day］	64.7	63.6
介入操作回数［回 /day］	0.06	44.4
良好な燃焼状態の維持割合	99.8	98.4

していない状態とし，その定義を**表―１**に示す。

期間中の操炉状況および試験結果を**表―２**に示す。95 日間の試験期間のうち，運転員による手動介入がない完全自動運転を延べ 92 日間達成し，最長 59 日間の連続無人運転を記録した。運転操作自動化機能により，運転員による１日あたりの平均介入操作回数を 99％以上削減できた。なお，これらの介入操作はトラブル対応のみであり，制御状態改善を目的とした手動介入操作はすべて自動化機能で代替できた。また，良好な燃焼状態の維持割合は 99.8％であり，ACC および焼却炉自動運転システムにより温度および蒸気発生量の大幅な低下がない安定した燃焼状態を長期間維持できた。

現在，この運転操作自動化機能は，15 施設に導入済みであり，さらに現在設計・建設中の 10 施設にも導入予定である。今後はさらなる技術開発を進め，ごみ焼却施設の完全無人化と運営全体の最適化を目指している。

(2) ごみピット火災検知システム

前述の通り，ごみの性状は一定でないため，安定燃焼を実現するには投入前にごみ質を可能な限り均一化する必要がある。このため，ごみピット内ではごみクレーンによる移動・破袋・撹拌作業を常時行っている。**写真―１**にクレーンによる撹拌作業を示す。

しかし，この作業過程でリチウムイオン電池などの危険物が混入していた場合，落下などの物理的衝撃により発火する危険性がある。リチウムイオン電池はモバイルバッテリーやスマートフォンなどに含まれ，これらに起因する火災が問題となっている。ごみピット内で火災が発生し，大規模延焼に至ると，消火のための大量放水によるごみピットの機能停止や，熱損傷による設備故障などにより，施設全体が長期間停止する事態が発生し，その数も増加している。このような深刻な影響を防ぐためには，火災の早期検知と迅速な初期消火が極めて重要である。



写真―１　ごみクレーンによる撹拌作業

火災の早期検知による初動対応の迅速化のため，画像処理解析 AI による発煙検知システムを開発した。本システムは，ごみピット上部に設置したカメラで撮影した画像を，画像処理解析 AI が解析して発煙を検知するシステムである。学習素材としてごみピット内の実際の発煙パターンを用いたディープラーニングを実施することで，発煙の特徴を捉え，ホコリなどとの誤認知を可能な限り抑えることに成功した。**図―４**に本システムの発煙検知概念図を示す。

現在ごみピット火災検知システムとして広く実装されている赤外線方式は，火災による温度変化を捉える仕組みであるため，ごみ表層部で発生した火種は早期に検知可能である。しかし，ごみ深層部で発生した火種は，他のごみが覆い被さることで，火種から発せられる赤外線が遮られてしまい，一定程度延焼が進行するまで検知できないことがあった。

一方，本システムは，ごみ深層部の火種から発する小さな煙を検知することができる。煙はごみの隙間を縫って表層部に上昇するため，表面で発火する前に火災を検知することが可能である。大規模火災を防ぐためには，初期消火は極めて重要であり，本システムによる数分間の早期検知の差は，火災被害の大幅な軽減に寄与するものである。従来の赤外線検知システムと本システムによる煙検知，２種類の異なる検知システ



図―4　本システムの発煙検知概念図

ムを導入することで火災リスクを低減している。現在本システムは6施設に導入済みであり，今後11施設に導入予定である。

(3) 遠隔監視・運転支援技術

従来，ごみ焼却施設の運転監視は施設内の中央制御室のみで行われてきた。中央制御室と同等の機能を持つ，遠隔監視拠点「グローバルリモートセンター(GRC)」を横浜本社に建設し，運用している。GRCの内観を**写真―2**に示す。15台以上のPCおよび40台以上の大型ディスプレイを設置し，現地運転員と同じ操作画面やカメラ映像をリアルタイムで監視しながら，中央制御室と同じ運転操作を行うことができる。24時間体制で熟練運転員が，現在19施設の遠隔監視および操業支援を実施している。

現在の運用方法としては，基本的には現地の中央制御室で運転監視・操作を実施し，GRCがバックアップの役割を担っている。例えば，設備トラブル発生時には，現地施設側がそのトラブルシューティングに注力し，GRCにて運転を代行している。これにより，現地運転員はトラブル対応に専念でき，対応の迅速化と運転の安定性向上を同時に実現している。また，運転員の休憩時間の確保が容易になり，労働環境の改善にも寄与している。このように，従来にはなかった柔軟な運転監視体制や，運転体制自体のスリム化を実現している。



写真―2　グローバルリモートセンター

3. おわりに

本稿では，ごみ焼却施設が直面する課題に対応するDX技術として，ごみ焼却施設の自動運転技術，ごみピット火災検知システム，および遠隔監視・運転支援技術，について紹介した。これらの技術は，いずれもごみ焼却施設の安全性向上と運営効率化の両立を目指すものである。今後もごみ焼却施設のDXを継続し，安全で持続可能な廃棄物処理システムの構築に貢献していきたい。

JCMA



[筆者紹介]
上村　愛優（かみむら　あゆ）
JFEエンジニアリング㈱
環境本部　環境プラント事業部　計画部　第一計画室
副課長

特集≫≫　解体，3R，建設発生土・廃棄物処理

カーボンニュートラルに向けた建設現場の新たな取り組み

再生可能エネルギーの採用や重機の電動化ならびに環境配慮型燃料による CO_2 排出量を削減

佐　藤　圭　一・西　野　　慶

地球温暖化は，現代社会が直面する最も深刻な環境問題の一つだ。温室効果ガスの排出量が増加することで，地球の平均気温が上昇し，気候変動が引き起こされ災害が頻発するとともに激甚化している。この喫緊の課題に対処するためには，CO_2 排出量の削減が不可欠である。日本政府も 2050 年のカーボンニュートラルを目指しており我々建設業においても CO_2 排出量削減を目指し活動していかなければならない。

地球温暖化による現在の施工現場の環境は苛烈な状況である。熱中症による死亡事例も発生しており熱中症対策も法制化された。

地球温暖化を解決することは施工現場において自ら排出している CO_2 排出量を削減し，施工現場の環境を改善し，魅力ある持続可能な未来を築くために重要な課題である。

キーワード：カーボンニュートラル，CO_2 排出量削減，再生可能エネルギー，電動化，環境配慮型燃料

1. はじめに

長谷工グループは，「都市と人間の 最適な生活環境を創造し，社会に貢献する。」を企業理念としている。一方で，近年，気候変動による自然災害の頻発・激甚化が，私たちの住まいや暮らしの安全・安心にとって脅威となりつつある。

かかる状況を踏まえ，気候変動への対応を重要な経営課題の一つと捉え，2021 年 12 月に気候変動対応方針を策定・発表すると同時に，TCFD 提言に賛同した。今後も，TCFD 提言に沿った情報開示を進めるとともに，気候変動の影響や CO_2 をはじめとする温室効果ガス排出削減に向けた国の施策や社会の動向を注視し，適切に対応しながら，持続可能な社会の実現と企業価値の向上を目指していく。

気候変動対応方針に則り，SBT に準拠した 2020 年を基準年とした CO_2 排出量の削減目標を設定し，ベンチマークである 2030 年度の削減目標が SBT イニシアチブより科学的根拠に基づいた目標として認定された。

具体的には 2020 年度のグループでの排出量を基準に Scope1＋Scope2：約 6 万 t-CO_2 を 2030 年度の中期目標では▲ 42%削減。2050 年度の長期目標では▲ 100%削減とする。

Scope3 は基準年の約 550 万 t-CO_2 を 2030 年度の中期目標では▲ 13%削減。2050 年度の長期目標では▲ 37%削減とする。

当社はマンションの設計施工を中心としたゼネコンであり，施工地域も関東圏・東海圏・関西圏の市街地をメインに展開している。本稿ではその独特の施工環境を最大限に生かした施工現場における CO_2 排出量削減の目標達成に向けた具体的な方策を示す。

2. 再生可能エネルギーの採用

施工現場における Scope1＋Scope2 の排出量削減を図るために再生可能エネルギーの採用を検討した。環境配慮型燃料の採用と比較して再生可能エネルギーの採用は排出量削減に大きく貢献する。また元請けが電力会社と契約しているため事務手続きもスムーズである。そのため仮設電気の再生可能エネルギー化を 1 番の目標にして推進した。

各施工現場で非再生可能エネルギーにて電力会社と契約した後，環境担当の部署で一括して契約を再生可能エネルギーに切替える作業を実施している。この施策によりグループ内の再生可能エネルギー化はほぼ全案件におよんだ。これは施工現場が都市部に集中しているために交渉の相手も少なく一括で対応できたことが大きな要因である。

再生可能エネルギーの採用により 2024 年度には 5,520 t-CO_2 の排出量削減を実行できた。また現場事務所をビルの 1 室を借りているようなシステム上再生可能エネルギーが採用できない部分においては非化石証

書を購入している。

再生可能エネルギーの採用を広めるためにも現場の仮囲いにオリジナル看板（**写真**―1）を設置し様々なステークホルダーの方にも理解を深めていただく努力をしている。

施工現場における再生可能エネルギーのほとんどはバイオマス発電からの電力を購入している。その中で東京ボード工業と協力し，マンションの内装工事の二重床に使用されるパーティクルボードを現場に搬入した際の車両の帰り便に，その現場から排出されるコンパネ等の木材の廃材を積載し，運搬に伴う CO_2 排出量の削減を図るとともにパーティクルボードの製造に生かすマテリアルリサイクルを実施している。さらにマテリアルリサイクルできない廃材はバイオマス発電所にチップとして運搬しバイオマス発電の燃料として循環させ，そこから給電を受けるサーマルリサイクルも実施している。

再生可能エネルギーの採用により Scope2 は大きく削減できたが，一層電力消費量を抑えるため工事用の仮設照明設備や現場事務の照明は LED を原則採用している。また不要な電気を削減するためこまめな消灯等を奨励するポスターを作業員の休憩所に掲示し啓発蒙を図っている。

さらに作業員の温暖化対策に対する意識高揚を図るために作業員から標語を募集し，横断幕にして（**写真**―2）各施工現場に設置している。

3. 重機の電動化

施工現場から排出される Scope1 の排出量削減には重機の電動化が非常に有効である。

その施策の１つとして新たにコンクリート打設時のコンクリートポンプ車に替えて ZOOMLION 社製の電動定置式コンクリートポンプ（**写真**―3）（最大打設量約 60 m^3/h，最高高さ 200 m で約 40 m^3/h の打設可能）（**表**―1）を都内のタワーマンション（RC34F・815 戸・最高高さ 125 m）施工現場に採用した。電動式はエンジン式に比べ騒音が低く，排気ガスも排出しない。さらに定置式のため本体機周りに防音シートを常設することが可能となり，より近接住民の方への騒音対策が図れた。本体の大きさも通常のコンクリートポンプ車より小さく狭小現場でも活躍できる。

本現場は再生可能エネルギーを採用しているためコンクリート打設時の CO_2 排出量は『ゼロ』となることから，コンクリートポンプ車の移動に伴う CO_2 排出量の削減分と合わせて 0.02 t-CO_2/ 日の排出量削減となった。約 80 回のコンクリート打設で 1.6 t-CO_2/ 工期の CO_2 排出量削減を達成した。

また，定置式のコンクリートポンプを採用することによりポンプ車の運転が不要となるため，作業員の就労時間の短縮にも寄与した。

本現場では合わせて極東開発工業㈱製『PZ01-10』電動式のディストリビューター（**写真**―4）も採用し



写真―1　再生可能エネルギー看板



写真―3　電動定置式ポンプ



写真―2　横断幕『地球沸騰化。あなたの行動が地球を守る！』

表―1　電動定置式ポンプ諸元

型　式			HBT90.21.220SU
性能	理論最大吐出量（標準/高圧）	m³/h	94/52
	理論最大吐出圧（標準/高圧）	MPa	11/21
	ストローク数（標準/高圧）	/min	23/13
	分配弁形式		S弁
	シリンダ径×ストローク	mm	Φ200×2,100
	ホッパ容量×地上高	L×mm	600×1,415
	吐出口径	mm	Φ160
動力	モータ型式※		YE3-315S-4
	定格出力	kW	110×2
	定格電圧※	V	特注400
	定格回転速度	r/min	1,490
油圧	油圧回路		オープン回路
	圧送システム圧力	MPa	32
	分配システム圧力	MPa	19
	攪拌システム圧力	MPa	14
	最大攪拌速度	r/min	27/24
	作動油タンク容量	L	1,200
その他	最大骨材径/輸送管径(内径)	mm	50/Φ150 40/Φ125
	コンクリート輸送管径(内径)	mm	Φ125/Φ150
	機体寸法　長×幅×高	mm	7,300×2,340×2,325
	機体総質量	kg	11,800



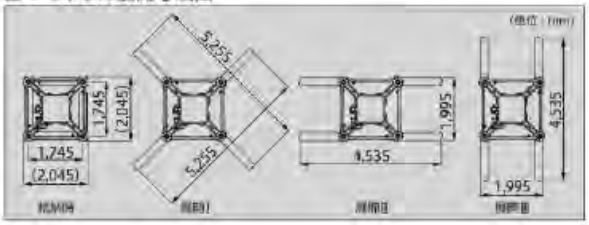
写真―4　ディストリビューター

た。このことによりコンクリート打設の配管設置作業がなくなり大幅な労務削減につながった。具体的にはディストリビューターの水平ブーム長さは29 mになり，そこに12 mのフレキシブルホースを接続することで，半径約40 mの範囲で横引き配管無しでコンクリート打設が可能になる（**図―1**）。そのため作業員で横引き配管を設置・撤去することと比較し1日当たり1時間～1.5時間の作業時間の短縮が達成できた。また従来ではコンクリートを打設しながら配管撤去作業が必要であったが，撤去作業が不要になったためコンクリート打ち継ぎ時間も短縮され品質向上に効果が

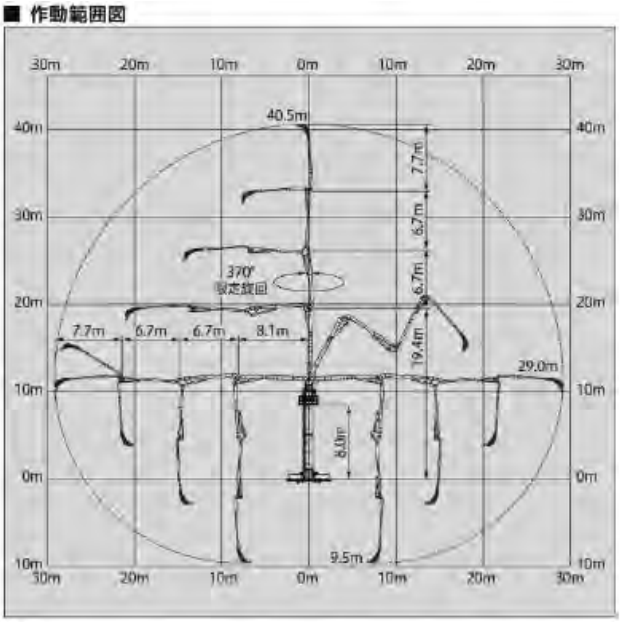
■ 主要諸元

形　式		PZ01-10
ブーム水平長さ		29.0m
ブーム長さ	No.1	8.1m
	No.2	6.7m
	No.3	6.7m
	No.4	7.7m
旋回角度		370°限定旋回
輸送管径		125A
マスト長さ		8.0m(分割式)
アウトリガ		スイング式(手動)
電源		200V(三相)
電動機	定格出力	15kW
	定格回転数	1,475/1,770rpm(50/60Hz)
重量(吊具含む)		15.9t

■ アウトリガ展開寸法図



■ 作動範囲図



図―1　ディストリビューター諸元

あった。

労働時間問題においても打設終了時間が早くなるため，コンクリート打設工及び均し工の労働時間削減につながるとともに作業時間が減少するため，過酷な夏場のコンクリート打設作業における熱中症対策に有効であった。

大規模なマンションの施工現場においては内装工事における壁や天井の下地材となる軽量鉄骨や石膏ボード等の資材の運搬にフォークリフトを使用する。フォークリフトを電動化することにより CO_2 排出量はエンジン式 4.9 kg-CO_2/h に比較し電動式 1.6 kg-CO_2/h と約 68％の削減となる。さらに施工現場では再生可能エネルギーを採用しているため 100％の排出量削減となった。

2024 年度では 74 現場においてエンジン式のフォークリフトから電動式フォークリフトへ変更したことにより 97.4 t-CO_2 の排出量削減を達成した。2026 年 1 月にはフォークリフトの採用現場の全てが電動フォークリフトに変更する予定だ。

そのためにも電動フォークリフトの採用率を UP するため啓発蒙ポスター（**写真**―5）を作成し作業員の休憩所に掲示している。

大型重機の電動化では㈱タダノ製のバッテリー式 25 ラフテレーンクレーン（**写真**―6）を横浜市戸塚区（RC 造 11F499 戸）と横浜市金沢区（RC 造 7F199 戸）横浜市金沢区（RC 造 7F310 戸）のマンション新築 3 現場にて鉄筋材や仮設資材の揚重作業に採用した。

さらにバッテリー式のミニバックホウ（**写真**―7）も新築マンション施工現場の根伐工事や外構工事の掘削作業に採用した。

電動式のフォークリフト，ラフテレーンクレーン・バックホウとも性能はエンジン式と比較し全く遜色ないものであった。電動式のフォークリフト，ラフテレーンクレーン・バックホウの充電は場内の 200 V の分電盤より可能であり夜間の充電で昼間 8 時間の作業には全く支障とならなかった。そして電気代と軽油代を比較すると電気代の方が安価であった。

重機の電動化による副次的な産物としては非常に静音なため現場の近隣への騒音対策に有効であるとともに，重機オペレーターと作業員のコミュニケーションが取りやすくなった。さらに排気ガスもなく排気温もないため作業環境も向上している。またオペレーターからは振動がないため疲労が少ないとの声も聞かれた。

問題点としてはバッテリー式のラフテレーンクレーンは公道上を走行するためバッテリー切れを発生させるとラフテレーンクレーンが走行不能になり，それが原因で大渋滞を引き起こしてしまう。そのためバッテリー式のラフテレーンクレーン採用計画の際はモータープールから現場までの渋滞や道路の勾配等を考慮しバッテリー切れがない余裕を持った範囲での採用となる。

前述したように重機の電動化は CO_2 排出量削減に



写真―5　啓発蒙ポスター（電動フォークリフト）



写真―6　バッテリー式ラフテレーンクレーン



写真―7　電動バックホウ

非常に有効であり副次的にも良い点が多々あるが，エンジン式と比較するとリース料金が非常に高額である。持続的に採用するにはコストの問題を解決する必要があり，電動重機のユーザーに対し補助金の支給や優遇税制の適用等の検討が必要と考える。さらに電動重機自体が非常に少ないため日常的に電動重機を採用するためには生産台数を増加させるような施策が必要になってくる。

4. 環境配慮型燃料の採用

施工現場においてはScope1を削減する施策として，掘削残土を場外に搬出せず極力場内に仮置きすることにより埋め戻し土として使用する施工計画を実施している。これにより掘削残土を運搬するダンプトラックの数量を減ずることが可能となる。また，杭打機やクローラークレーン・バックホウ等の重機のオペレーターには低燃費運転の講習会等を実施し急発進や空ぶかし等による無駄な運転を抑制するよう努めている。

その上で環境配慮型燃料の採用を積極的に行っている。

環境配慮型燃料は天然ガス由来のGTL燃料と廃食油由来のバイオディーゼルの2種類を採用している。GTL燃料は軽油と比較して8.5％のCO_2排出量削減となる。2024年度では20現場でクローラークレーンに約136 KL給油し約30 t-CO_2の削減を実行した（**写真―8**）。

廃食油由来のバイオディーゼルB5はクローラークレーンやバックホウ・ゼネレーターに給油しており2024年度では約120現場において約405 kL使用し約52 t-CO_2の削減となった。B100の使用も試みたところ施工上の問題は全く生じなかったが，臭気の問題で常時採用とはならなかった。

環境配慮型燃料の採用率UPのため啓発蒙ポスターを作成し作業員の休憩所に掲示している（**写真―9**）。

また廃食油の活用においてはグループ内で運営している高齢者施設の厨房から出た使用済みの廃食油や，グループ内のデベロッパーが分譲したマンションにおいて住民の方がペットボトルに入れて集めた廃食油をパトロール給油会社とその協力会社に回収を依頼している。

回収した廃食油はバイオディーゼルに精製し建設現場のバックホウやクローラークレーンに給油するといったシステムを構築した（**図―2**）。

マンション施工を中心に都市部で集中的に施工しているため，パトロール給油会社との協業がうまくいった事例である。



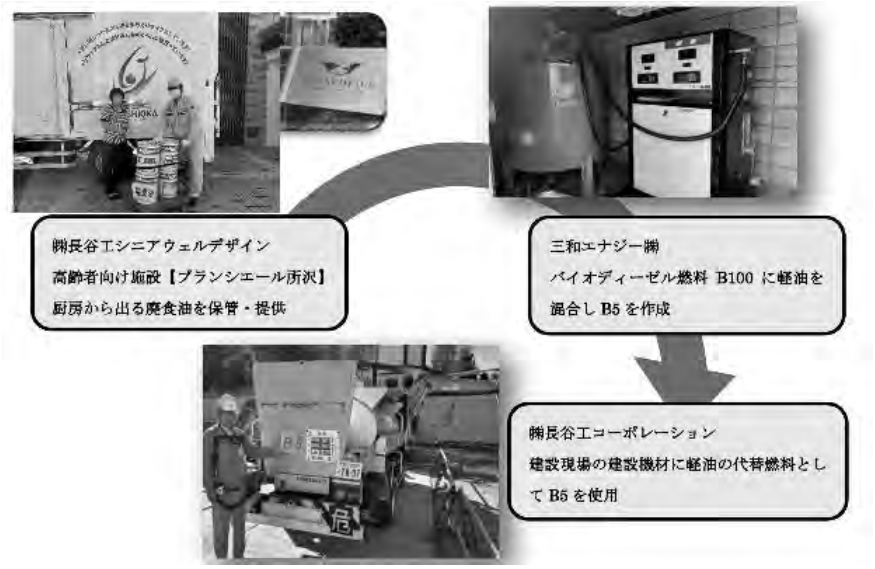
写真―8　クローラークレーンにGTL燃料を給油



写真―9　啓発蒙ポスター（環境配慮型燃料）

5. 協力会社との協業

CO_2排出量削減を目指すには協力会社とのベクトルを合わせることがもっとも重要である。マンションの建設を中心としており，施工地域も関東圏・東海圏・関西圏と限定しているため協力会社も各現場をローテーションするように構築されている。そのため協力会社と構成する『建栄会』は非常に強い絆で結ばれている。その組織の中でバリューアップ委員会が毎月開催され，活動報告がなされている。内容は施工の省力化や効率化を図り環境活動に寄与するものである。バリューアップ委員会には躯体部会・外構部会やCSR部会・重機部会といった組織がありそこで協力会社と一体となり，環境配慮型燃料の使用の検討や電動重機の採用を検討し，施工状況報告を行うことにより協力会社同士の水平展開が図られている。



図―２　廃食油活用システム

また休憩所等には前述したようなポスターを掲示したり，横断幕を設置し作業員の地球温暖化に対する意識向上を元請けと協力会社が一体となり醸成したりしている。

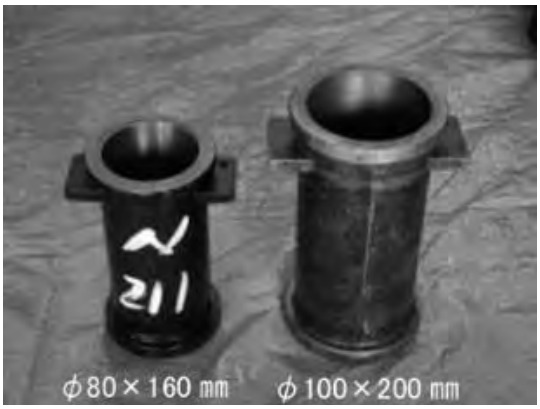
産業廃棄物の削減をすることは CO_2 排出量削減に直結するため『建栄会』と積極的に推進している。具体的には施工現場にて産業廃棄物のボックスを設置し22品目にしっかりと分別しリサイクルが図ることができるように努力している。また広域認定制度を取得している石膏ボード・グラスウール・シールの缶等はメーカーリサイクルを実施することにより，CO_2 排出量削減を実行している。

産業廃棄物の削減では特にリサイクルができず管理型の処分となる混合廃棄物を減少させることに注力している。その具体的な施策としては海外からの作業員が非常に増加している現在，新入時教育の際に工種毎に発生する廃棄物の種類を５か国語の分別マニュアルを用いて説明をするとともに，産業廃棄物ボックスに５か国語による表示をすることで分別を遂行している。

また産業廃棄物の協力会社と施工現場のパトロールを実施し分別指導を徹底している。

その結果混合廃棄物の原単位は 2.1 kg/m^2・リサイクル率 91.75%・7.66 t-CO_2/ 億円を達成した。

その他協力会社との協業としてコンクリート打設時のテストピースの小型化を推進している。『ϕ80 テストピース推進協議会』を構成しコンクリート強度試験の一部を従来の ϕ100×200 mm の供試体から ϕ80×160 mm の供試体へ小型化することで廃棄物量の削減ならびに CO_2 排出量削減を実現している（**写真―10**）。



写真―10　テストピース小型化

さらにはテストピース重量が半減することにより作業員の負担軽減にも寄与している。

6. おわりに

ゼネコン各社がカーボンニュートラルに向け様々な CO_2 排出量削減の施策を講じているが，現況では劇的な排出量削減は期待できない。環境先進国の欧州では法整備や優遇税制の整備が進んでおり，公共工事には電動重機の採用が条件となる案件もあると聞く。

日本においても環境配慮型燃料のバイオディーゼル B20 や B30 といったものが採用できるような環境の整備を進めるめるとともに電動重機等に対し補助金や優遇税制を設けるなどの検討を希望する。

技術の進歩に合わせ施工現場における環境配慮型燃料の HVO の採用や水素化の採用を検討するとともに大型の電動重機の採用を見据えた仮設計画の検証を実施していく。

また，CO_2 排出量の集計システムも新たに DX を駆使して構築できればと考えている。現状では重機の台数管理より係数をかけて CO_2 排出量の算出をしている。しかしこのシステムでは稼働率の低い重機も，稼働率の高い重機も同様に CO_2 排出量をカウントされる。重機のエンジンを掛けた際に稼働時間が自動で集計され，実数量の CO_2 排出量が算出されるようなシステムが構築できれば CO_2 排出量をかなり削減できるのではないかと考えている。

Scope3 においても自社開発した地上躯体に使用できる環境配慮型コンクリート:H-BA コンクリート（約 50 kg-CO_2/m^3 削減）やマンション共用棟や本体棟の木質化の積極的採用を推進していく。さらにはコンクリート打設時の型枠に使用する合板においては国産材の採用を検証し，サプライチェーンを通して CO_2 排出量削減に寄与していく。

今後もカーボンニュートラルを目指し，SDGs のお客様に『住んでいたい空間』を提供するとともに施工現場の環境の向上を図り『働いていたい場所』の実現を図っていく所存である。

J C M A

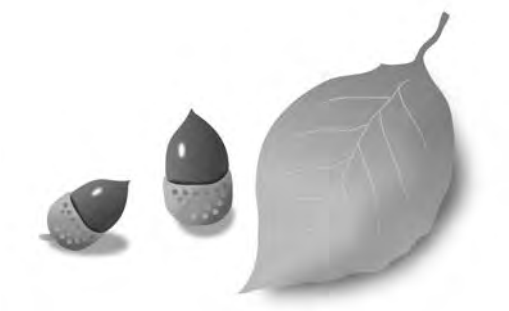
［筆者紹介］



佐藤　圭一（さとう　けいいち）
㈱長谷工コーポレーション
建設部門　環境みらい創造部
建設 BIM 推進部　DX 推進部
統括部長



西野　慶（にしの　けい）
㈱長谷工コーポレーション
建設部門　第四施工統括部　建設 3 部
部長



投稿論文

在来線非電化鉄道トンネルにおける ロックボルト穿孔作業の機械化

大場 宏樹[1]・志子田 洋一[2]・佐々木 崇人[3]・池田 尚[4]・伊深 佳典[5]

[1]仙建工業㈱ 本社土木本部 土木エンジニアリング部 部長（〒980-0811 仙台市青葉区一番町 2-2-13）
E-mail：hiroki-oba@senkenkogyo.com
[2]仙建工業㈱ 本社土木本部 土木エンジニアリング部 次長（〒980-0811 仙台市青葉区一番町 2-2-13）
E-mail：yoichi-shikoda@senkenkogyo.com
[3]仙建工業㈱ 本社土木本部 土木エンジニアリング部 次長（〒980-0811 仙台市青葉区一番町 2-2-13）
E-mail：takahito-sasaki @senkenkogyo.com
[4]仙建工業㈱ 本社土木本部 土木エンジニアリング部 副課長（〒980-0811 仙台市青葉区一番町 2-2-13）
E-mail：nao-ikeda@senkenkogyo.com
[5]仙建工業㈱ 本社土木本部 土木本部 部長（〒980-0811 仙台市青葉区一番町 2-2-13）
E-mail：yoshinori-ibuka@senkenkogyo.com

地方鉄道の多くは山間部に位置し，老朽化したトンネルの維持管理に多くの負担を要している．さらに，少子高齢化の進行により建設分野全体で労働力不足が深刻化しており，特に過酷な作業が敬遠される傾向にある．鉄道トンネルの変位制御に用いられるロックボルト打設作業も例外ではなく，現在でも人力による施工が中心であり，作業負担の大きさや健康被害が懸念されている．本研究では，これらの課題を解決するため，狭隘な地方鉄道トンネルに対応可能な穿孔機と軌陸バックホウを組み合わせた機械化施工工法を開発した．本工法は，従来の人力作業で必要であった足場の組立や煩雑な段取り替えを不要とし，施工効率の向上，作業負担の軽減，安全性の確保が期待できるものである．

キーワード：*Rock Bolt, Tunnel Rehabilitation, Mechanization, Rock Drilling Machine, Occupational Safety*

1. はじめに

現在供用している鉄道トンネルの変状(内空変位)に対するロックボルトによる補強工は，大規模断面(新幹線複断面)の耐震補強工事等では機械化が進んでいる．しかし，小規模(在来線単線，複線の中・小断面)の補修・補強工事においては，現在も重量のある削岩機を人力で操作するレッグドリルによる穿孔作業が主流となっている(**図-1**)．

レッグドリルによる穿孔は圧搾空気による伸縮式サポーターで推力を得る機構であり，機械本体の重量は単体で20 kg ～ 30 kg 程度である．そのため，人力によって穿孔箇所まで移動・運搬する作業，および穿孔時の押し込み作業や穿孔完了後の引抜き作業は，腰痛を引き起こす原因となる過酷な作業である．さらに，レッグドリル操作時に発生する振動や騒音は，白ろう病や難聴といった職業性疾病の原因となっており，現在も深刻な問題となっている．また，少子高齢化に伴う若年労働者の減少にも対応していくことが，本分野においても求められている．

このような作業状況を改善するため，これまでも穿孔作業の機械化が試みられてきた．取り組み事例としては，掘削土砂運搬車(以降，「トロ台車」と表記)や軌陸ダンプトラック上に，のり面工事で使用される大型削岩機を搭載し，穿孔作業を行ったケースがある．しかし，この工法においても，穿孔位置ごとに角度や高さ(高低)を調整する段取り替えが必要となり，多くの労力と時間を

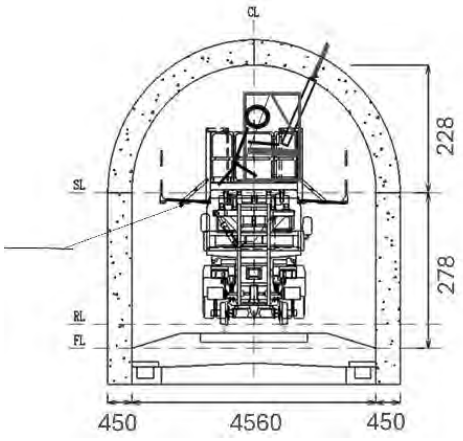


図-1 レッグドリルによるロックボルト穿孔施工略図

要するなど，依然として課題が残されている．

これらの過酷な作業や職業性疾病の予防，さらには穿孔時間の短縮と作業効率の向上を図る観点から，在来線の非電化鉄道トンネルにおけるロックボルト穿孔作業の機械化システムの開発を行う．

2. 既往の機械化事例

2.1　在来線単線トンネルでの一部機械化施工

在来線で実施されているロックボルト穿孔作業は，現在も人力によるレッグドリルを用いた施工が主流である．一方で，当社の実績として，のり面のロックアンカー施工で用いられるインバータチゼル等を活用し，一部を機械化した事例もある．

作業手順としては，施工対象のトンネルに最も近い踏切から，インバータチゼル等の機械を1ｔトロ台車または軌陸4ｔダンプトラックの荷台に搭載し，作業位置まで搬送する．その後，荷台上に作業台や足場を組み立て，削孔位置の高さや方向に合わせて調整を行う．したがって，同一断面で複数のロックボルトを打設する場合には，それぞれの打設方向や高さに応じて，毎回作業台や足場を組み替える必要があり，段取り替えが煩雑となる．このため，作業効率を高める工夫として，一つの打設方向に対して側壁にロックボルトを打設した後，その状態を維持したまま，1ｔトロ台車または軌陸4ｔダンプトラックを次の断面まで移動させ，同じ方向の側面に連続してロックボルトを打設する方法を採用した．

インバータチゼルを導入し一部作業を機械化したことで，作業員の打設作業にかかる負担は軽減されたが，打設方向や高さに応じて機械の位置をセットするための足場や作業台の組み替え作業，およびそれに伴う移動作業には依然として多くの時間と労力を要するため，施工コストが嵩むことが課題となった．**図-2** にロックボルト打設施工断面，**図-3** に施工状況を示す．

2.2　在来線複線トンネルでの大型機械使用

2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震により，被災した在来線トンネルの復旧作業が実施された[1)]．

トンネル形状が在来線複断面であったことから，復旧には通常，道路トンネル等の掘削に用いられている2ブーム1バスケット型の大型ジャンボ掘削機が使用された．軌道上での移動には，自走台車に大型ジャンボ機を搭載し，載線箇所である踏切から施工位置まで走行する方式が採用された．自走台車とは，ドリルジャンボなどの大型機械が自らの駆動力を鉄輪に伝達し，レール上を走行できる装置である．2ブーム1バスケット型の大型

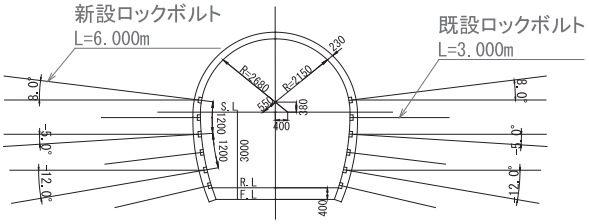


図-2　ロックボルト打設施工断面

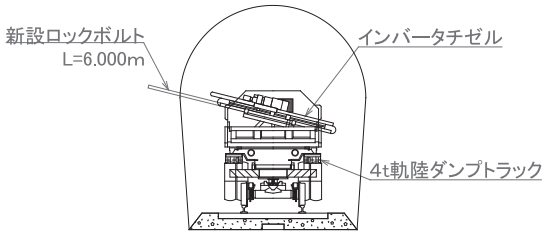


図-3　インバータチゼルによる施工状況（4ｔダンプトラック荷台上に設置しての穿孔）

ジャンボ掘削機を使用することで，人力作業に伴う作業員の労務負担が軽減されるとともに，打設方向や高さに応じた削孔機械の組み替え作業が不要となり，作業の効率化が図られた．また，一つの位置から全周方向に対してロックボルトの打設が可能であった．

さらに，本復旧工事は災害対応であり，列車運行を中止したうえで作業が実施されたため，作業時間に制限がなく，作業前後の離線・載線作業も不要であった．作業終了後は，他の線路作業に支障のない位置に機械を存置することで移動時間の短縮が可能であった．

2.3　新幹線複線トンネルでの機械化施工

2004年10月23日に発生した新潟県中越地震により，震源断層に近接する上越新幹線のトンネルでは，覆工の崩落など大規模な被害を受けた．このことを受けて，新幹線路線上に位置する活断層近傍の複数の新幹線トンネルにおいて，耐震対策工が実施された．対象となったトンネルは新幹線複線断面であり，かつ新幹線を通常運行させながら対策工を行う必要があったことから，施工は新幹線の運行が停止する深夜の概ね2時間の限られた時間帯に実施された．また，トンネル付近には工事用資材の仮置き場が確保できなかったため，約20 km離れた保守基地から資機材を搬送する必要があり，車両限界内での輸送と，施工時には建築限界内での作業が求められた．これらの施工条件を満たすために，本工事では新たに開発されたロックボルト穿孔マシン「STAR-MD（Multilink Drill）」を専用台車に搭載し，モーターカーで牽引する方式が採用された[2)]．

以上のように，供用中の鉄道トンネルにおけるロックボルト穿孔作業の機械化は，これまでも実施されてきた

実績がある．しかし，在来線単線トンネルでの施工においては，施工効率等の観点から依然として改善の余地が大きく，さらなる機械化が必要と考える．そのため，これまでに実施された在来線および新幹線における機械化施工の実績を基に，開発に必要な条件を抽出し，在来線単線トンネルの内空寸法内で稼働可能な機種や，適切な移動方法を決定していく．

3. 機械化システムの決定

3.1 トンネル内使用機械寸法決定の条件

本システムにおいて使用する機械の寸法は，JR 東日本の規定に定められた在来線非電化単線トンネルの標準断面を基準とする．その理由を以下に示す．

3.1.1 トンネル数における在来線の比率の高さ

我が国に存在する鉄道トンネルの総数は，民鉄・公営鉄道で 1,325 箇所，各 JR を合わせて 3,496 箇所，合計で 4,821 箇所である．このうち新幹線トンネルは，北海道新幹線 31 箇所 , 東北新幹線 154 箇所，上越新幹線 23 箇所，北陸新幹線 29 箇所，東海道新幹線 66 箇所，山陽新幹線 142 箇所，北陸新幹線 30 箇所 , 九州新幹線 66 箇所 , 西九州新幹線 31 箇所の合計 572 箇所である．したがって，在来線トンネルの総数は 4,281 箇所となる．このうち，JR 各社の在来線トンネル数は，JR 北海道 137 箇所，JR 東日本 961 箇所, JR 東海 367 箇所, JR 西日本 789 箇所，JR 四国 275 箇所，JR 九州 390 箇所，JR 貨物 5 箇所の合計 2,924 箇所であり，これは JR 線トンネル全体の 83.6% に相当する（**図-4，5**）．なお，この中には単線断面および複線断面が混在しており，また，電化区間と非電化区間も含まれる [3]．

3.1.2 在来線非電化単線トンネルが最小断面

在来線非電化単線トンネルの標準断面は，現存する断面の中で最小であり，本システムをこの断面に適合させることで，ロックボルト打設工への広範な応用が可能になると考える．

3.1.3 老朽化の進行

在来線非電化単線トンネルは建設からの経過年数が最も長く，老朽化が進んでいる．したがって，補修・補強の必要性が高く，本システムの使用頻度が大きいと見込まれる．

トンネル補修・補強マニュアル [4] において，在来線トンネルの標準断面寸法は，単線トンネルで横幅 4,700 mm，複線トンネルで横幅 9,040 mm と規定されている．複線トンネルにおいては，片側ずつの施工を行うことで本システムによる対応が可能である．また，電化区間ではトロリー線や負起電線などの架空線が存在するが，単線・複線いずれにおいても片線ずつ施工することや，架空線との十分な離隔を確保することで，本システムを用いた施工が可能であると考えられる．

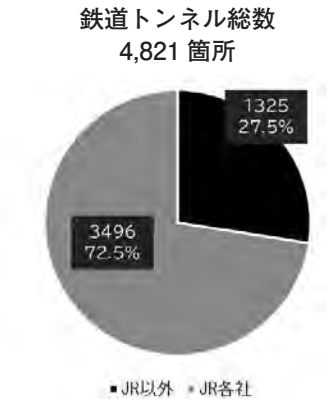


図-4 全鉄道トンネルにおける JR 線トンネルの比率

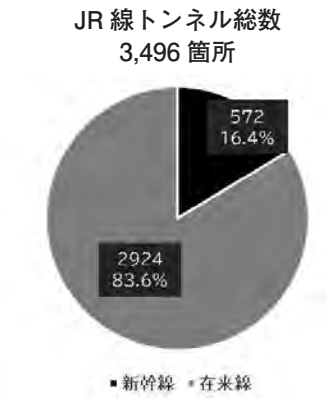


図-5 JR 線トンネルにおける在来線トンネルの比率

3.2 トンネルの補修作業の考え方

在来線単線鉄道トンネル内におけるロックボルト穿孔作業の機械化システムを決定するにあたり，3.1 で述べたトンネル内空寸法に対応した機種の選定に加えて，次の 2 点の条件を考慮する必要がある．第一に，列車運行の合間に確保される限られた作業可能時間内において，施工位置まで移動できる手段を構築することである．第二に，作業中または移動中に機械が故障し走行不能となった場合でも，列車の安定運行に支障をきたさないように，速やかに線路外へ撤去・搬出できるシステムを構築することである．

列車運行の合間における作業を実施するには，列車運行状況を正確に把握する必要がある．JR 在来線の多くでは，旅客列車が早朝から夜間にかけて定められたダイヤで運行されており，貨物列車はその合間に運行されている．このため，昼間は列車の運行本数が多く，作業時間の確保が困難であることから，補修作業は夜間の列車本数が少ない時間帯に実施されている．施工可能時間は

概ね 3 時間（約 180 分）程度である．施工位置までの移動手段を確立するためには，在来線の線路敷設の特徴を理解しておく必要がある．在来線の多くは一般道と踏切を介して平面交差する形で敷設されている．そのため，限られた作業時間内に作業効率を高めるためには，乗り込み地点から施工位置までの移動時間，および作業終了後に施工位置から離脱地点まで戻る移動時間を可能な限り短縮する必要がある．通常は，施工位置に最も近い踏切を乗り込み地点とするが，適切な位置に踏切が存在しない場合には，仮設の乗り込み用踏切を設置することがある．このように，一般道と平面交差する踏切または仮設踏切を利用して線路内に進入し，鉄車輪をレールに載せて走行する「軌道陸上兼用機械（以下，軌陸機械）」を使用することが有効である．軌陸機械には，ダンプトラック，自積載トラック，油圧ショベル，クローラクレーン，高所作業車などがあり，いずれも鉄輪によってレール上を走行可能な構造を持つ[5]．

施工に使用する機械が故障して走行不能となった場合に，列車の安定運行に支障を及ぼさないよう，線路外へ迅速に搬出できるシステムとしては，作業時に複数台（例：ダンプトラック，高所作業車等）の軌陸車を組み合わせ，一台が故障した場合には，他の軌陸車と連結し，牽引または推進によって載線箇所まで移動させる方式が有効である（**図-6**）．さらに，踏切等の乗入れ・搬出箇所から作業位置までの経路には，電気・信号・通信施設等が設置されているため，使用する軌陸車は建築限界をはみ出さない構造であることが求められる．

3.3　使用機械寸法および機種の選定

ロックボルト打設機械は，在来線トンネルの内空寸法内で稼働可能な機種とする．ベースマシンには，汎用の 0.25 m^3 軌陸バックホウ（コベルコ製）を採用し，これにのり面防護工等で使用されるロックボルト用削岩機アタッチメント（EX ドリル）を組み合わせる形式とした．

0.25 m^3 軌陸バックホウを採用した理由は，キャタピラ外側までの幅が 2.38 m であり，トンネル幅が 4.76 m（**図-7，8**）であるため，十分なクリアランスを確保できること，および操作性が通常の作業機と同様であり，当社および他社においても鉄道保守作業で多くの使用実績があるため，信頼性が高いことによる．ロックボルトアタッチメント（EX ドリル）の長さは 3.63 m であり（**図-9**），トンネルの側壁部における S.L の幅 4.76 m および高さ 5.16 m 以内に収まるため，トンネル全周方向へのロックボルト打設に対応可能である．

ロックボルト打設作業には，打設後のモルタル充填作業やロックボルトのナット締付け作業が伴うため，作業員がロックボルト打設箇所に接近する必要がある．このため，4 t 軌陸ダンプトラックに仮設足場をあらかじめ組み上げ，トンネル建築限界内に収まるよう設計したうえで，軌陸バックホウと同様に踏切から載線し，作業位置まで移動させることとした．さらに，2 t 軌陸ダンプトラックを用いて，ロックボルト，モルタル，発電機，

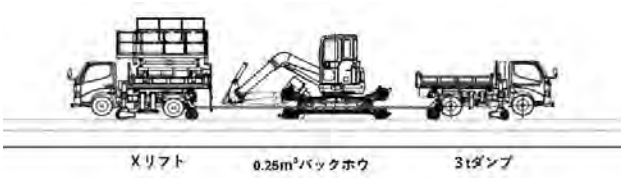


図-6　複数台の軌陸車の組み合わせ例

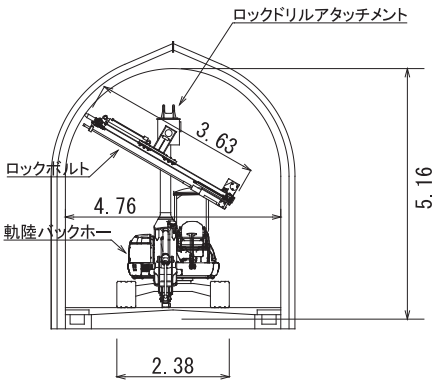


図-7　単線トンネル内のバックホウと EX ドリル断面図

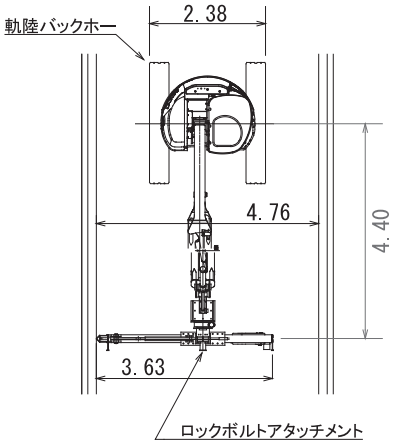


図-8　単線トンネル内のバックホウと EX ドリル平面図

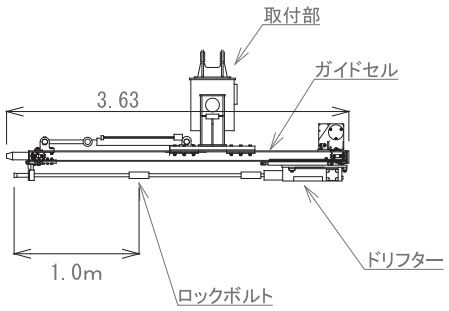


図-9　EX ドリル詳細図

作業用水などの資機材を運搬することとした．これら3台の機械を使用することで，いずれか1台が走行不能となった場合でも，他の2台を専用の牽引棒で連結し，牽引または推進によって載線位置まで移動させることが可能となる．また，これらの機械には，線路上での作業中にトラブルが発生した場合に備え，エンジン停止時でも動作可能な非常用装置(サブエンジン，手動油圧ポンプ等)，トロリー線との作業時離隔を確保する高さ制限装置，逸走を防止する保安ブレーキ，緊急時に即時停止可能な非常停止ボタン等の安全装置を常備している．

4. 試験施工

現在供用中のトンネル内でロックボルト穿孔状態の試験施工を実施する前に，仮設線路を用いて載線・離線状態の確認および牽引･推進状態の確認を行った．その後，模擬トンネルにおいて操作性の確認を行い，最終的に実トンネル内でのロックボルト穿孔試験を実施した．

4.1 仮設線路での機械性能の確認

宮城県大和町にあるレンタルのニッケンの試験線路を使用し，試験施工を実施した．機械性能の確認項目は以下のとおりである．

4.1.1 油圧動作の確認

ロックボルト穿孔作業は振動を伴う作業であることから，振動作業(ブレーカ等)に実績のあるコベルコ製0.25 m^3軌陸バックホウを採用した．油圧動作確認では，同機に削孔機アタッチメント(EXドリル)を装着し，空打ち運転を行い，軌陸バックホウの油圧系統に異常が発生しないことを確認した．

4.1.2 載線・離線動作の確認

削孔機アタッチメント(EXドリル)を装着した状態で，踏切における載線・離線動作の確認を行った．本試験では，作業時間の短縮を図るため，事前に削孔機を装着したまま軌陸バックホウ(0.25 m^3)の載線・離線を実施した．EXドリルの重量(77 kg/10 kW)によりブーム操作による前後バランスの確保が必要となるが，安定した状態で載線および離線が可能であることを確認した．

4.1.3 牽引・推進動作の確認

軌陸バックホウ(0.25 m^3)に走行不能などの異常が発生した場合を想定し，前後に配置した足場用2 tダンプおよび資材運搬用2 tダンプを用いて，一方から牽引し，もう一方から推進することで，トンネル内から機械を脱出させる動作の確認を行った．接続には長さ2 mの牽引棒を使用し，機械相互の接続状態および牽引状態が適切であることを確認した．



写真-1 油圧系統異常発生有無の試験状況



写真-2 載線・離線確認試験状況



写真-3 牽引・推進状態確認試験状況

写真-1に油圧系統異常発生有無の試験状況，**写真-2**に載線・離線確認試験の状況，**写真-3**に牽引・推進状態確認試験の状況を示す．

4.2 模擬トンネル内における操作性の確認

操作性の確認は，JR東日本白河研修センター内に設置された在来線模擬トンネルにおいて実施した．

本試験の目的は，ドリフター(削孔機)装着状態において，稼働範囲内の各角度(0°，20°，43°，66°)における方向合わせが可能であるかを確認することである．試験の結果，トンネル内における全周方向の打設位置に対して，

アタッチメントの方向を正確にセットできることを確認した．一方で，トンネル内において機械本体を旋回(方向転回)させることは困難であることも明らかとなった．

この結果から，施工当日は，トンネル内の施工位置まで前向きに走行して移動し，作業終了後も進行方向を変えることなく後退移動し，坑外に出た後に方向を変えるという施工条件が必要であることが確認された．

写真-4 に模擬トンネル試験の実施状況を，**図-10** にロックボルトの打設方向を示す．

4.3　実トンネル内におけるロックボルト穿孔確認

4.3.1　試験の目的および施工時間

実トンネル内におけるロックボルト穿孔確認試験の目的は，以下の 3 点である．

① JR 営業線における線路内走行の安全性の確認
②機械穿孔作業における操作性の確認
③人力施工と機械施工における施工時間の比較

試験を実施したトンネルは，JR 線のＡトンネルで実施した．試験箇所は 3 断面において，計 8 箇所で穿孔を行った．施工時間は，21：00 ～ 4：00 の 7 時間とし，2 夜にわたって穿孔試験を実施した．



写真-4　模擬トンネルの試験実施状況

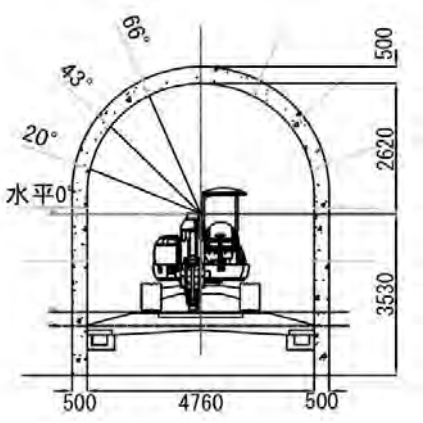


図-10　ロックボルトの打設方向

4.3.2　JR 営業線における線路内走行の安全性の確認

施工機械の載線・離線位置は，施工位置に最も近いＢ踏切とし，施工位置までは約 3.3 km の距離である．

Ｂ踏切において，足場用軌陸 4 t ダンプ(前向き)，軌陸バックホウ(前向き)，資材運搬用軌陸ダンプ(後ろ向き)の順に 3 台を順番に載線し，それぞれ単独で施工位置まで走行した．

穿孔試験終了後も，3 台それぞれが単独でＢ踏切まで戻り，載線時と逆の順番で離線し，線路外へ搬出した．この作業を通じて，走行中に鉄道施設との接触が発生しないことを確認できた．

当日の移動に要した時間は以下のとおりである．

21：00　線閉開始
21：00 ～ 21：20　Ｂ踏切にて載線(3 台)
21：30　移動開始
22：00　施工位置到着(約 3.3 km)
　　Ａトンネル内において穿孔試験の実施，
　　終了後，後片付け
03：00　現場出発
03：30　Ｂ踏切到着
03：30 ～ 03：50　Ｂ踏切にて離線(3 台)
03：55　作業完了

移動は時速 15 km/h を目途としたが，走行中に鉄道施設との離隔確認を行いながらの運行となったため，3.3 km の移動に 30 分を要し，実質の移動速度は約 6.6 km/h であった．**図-11** にＢ踏切からＡトンネルまでの経路および線路勾配図を示す．

4.3.3　実トンネル内における機械によるロックボルト穿孔条件

ロックボルト穿孔における施工時間について，人力施工と機械施工(ドリフター使用)の比較を行うため，両者の穿孔条件は同一とした．

試験では，全長 3 m のロックボルトを打設対象とし，先行する自穿孔ボルト(φ32 mm，長さ 1 m)の先端に超

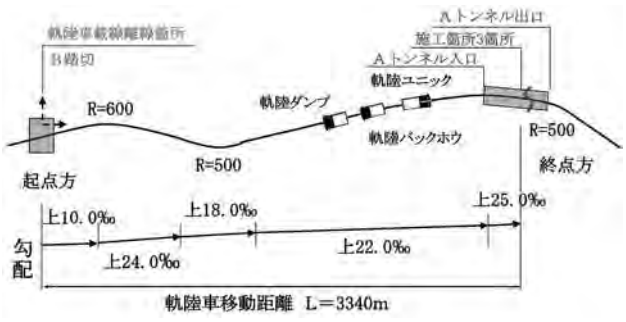


図-11　Ｂ踏切からＡトンネルまでの経路および線路勾配図

硬ビット(φ55 mm)を取り付け，トンネル内側の覆工コンクリート面から穿孔を開始し，覆工外面の地山まで掘削する方法とした．ロッドの延長にはカプラー2個を用いて3本を継ぎ足し，合計3 mとした(**図-12**)．

削岩機(EXドリル)による施工と人力による施工の主な違いは，穿孔とボルト挿入の工程にある．人力施工では，押し込み抵抗や方向性の維持が困難であるため，1 mずつボルトを継ぎ足しながら穿孔・挿入を行う必要がある．一方で，EXドリルは長手方向の長さが3.63 mあるため，あらかじめ1 mロックボルト2本をジョイントカプラーで接続して2 mの状態とし，これを一括で穿孔・挿入した後，残りの1 mを追加して3 mまで打設することが可能である(**図-13**)．

穿孔角度については，これまでAトンネルで実施されてきた人力施工の実績をもとに，**図-10** に示す①水平穿孔(角度0°)②上向き穿孔(角度20°)③上向き穿孔(角度43°) ④上向き穿孔(角度66°)とした．

穿孔本数は，①の水平0°方向が5箇所，②～④の各上向き方向が1箇所ずつであり，合計8箇所で穿孔試験を実施した．

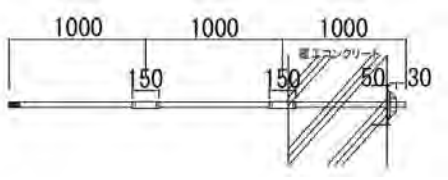


図-12 ロックボルト3m（人力による継ぎ足し）

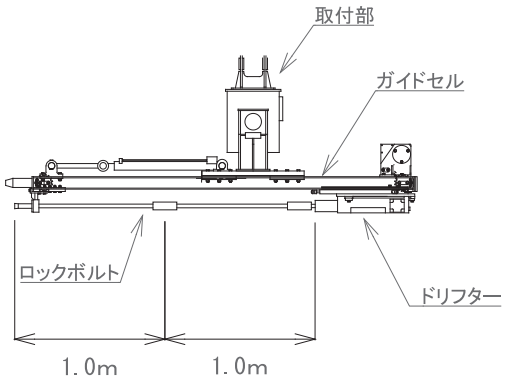


図-13 EXドリルのロックボルト装着状態

4.3.4 機械による穿孔試験結果

表-1 に，機械施工によるロックボルト穿孔試験の結果を示す．表中のNo.①～⑧は穿孔試験を実施した順番を，施工日1・2はそれぞれの試験施工日を示している．

機械施工において，0 m ～ 2 mのロックボルト穿孔および挿入に要した時間は，水平0°で6分～11分，上向き20°で10分，上向き43°で10分，上向き66°で8分であった．「継手」に示す時間は，2 mまでの穿孔・挿入完了後にスリーブカプラーを用いて3 m目のロックボルト(1 m)を継ぎ足す作業時間を示す．この作業は，押し込み完了後の2 mロックボルトの後端とドリフターとの接続を一旦外し，ドリフターをリーダー上で後退させたのち，2 mロックボルトの後端とドリフターの間に1 mロッドを挿入し，前後それぞれをスリーブで接続する工程である．2 m ～ 3 mの穿孔および挿入に要した時間は，水平0°で4分～8分，20°で12分，上向き43°で10分，上向き66°で3分であった．穿孔および押し込みにかかった総時間は11分～20分であり，ロックボルトのつなぎ込み作業が施工時間に大きく影響することが明らかとなった．特に，No.①の水平0°において，3本目の継手から穿孔開始までに60分を要した．このときの状態は，2本目のロックボルトとドリフターを接合しているジョイントカプラーが過度に緊結しており，通常使用している2本のパイプレンチによる回転操作だけでは解除が困難であった．そのため，注油や打撃などを併用して取り外す必要があり時間を要した．

ジョイントカプラーが過度に緊結した原因は，機械施工では人力施工に比べて推進力が大きく，岩の硬度が軟から硬へと変化する場合でも連続して穿孔可能であることに起因すると考えられる．また，EXドリルの先端がトンネル壁面に接し，中間部が軌陸バックホウのブームと接合している構造であるため，穿孔中の反力によってブームが上下左右に振動し，ドリルに微小な回転や揺れ

表-1 機械施工によるロックボルト穿孔試験の結果

番号	穿孔角度	施工日	0～1 m			1～2 m			0～2 m	継手	2～3 m			0～3 m	穿孔合計
			開始	終了	所要時間	開始	終了	所要時間	所要時間		開始	終了	所要時間	所要時間	
①	水平 0°	1	22:45	22:50	5分	22:55	23:00	5分	10分	60分	0:00	0:05	5分	15分	75分
②	上向 43°	1	0:45	0:50	5分	0:50	0:55	5分	10分	35分	1:30	0:40	10分	20分	55分
③	水平 0°	1	1:44	1:50	6分	1:50	1:55	5分	11分	38分	2:33	2:47	4分	15分	53分
④	上向 66 °	2	22:14	22:19	5分	22:19	22:22	3分	8分	15分	22:37	22:40	3分	11分	26分
⑤	上向 20 °	2	23:30	23:35	5分	23:35	23:40	5分	10分	14分	23:54	0:06	12分	22分	36分
⑥	水平 0°	2	1:35	1:40	5分	1:40	1:45	5分	10分	10分	1:55	2:03	8分	18分	28分
⑦	水平 0°	2	2:13	2:17	4分	2:17	2:19	2分	6分	4分	2:23	2:28	5分	11分	15分
⑧	水平 0°	2	2:37	2:41	4分	2:41	2:44	3分	7分	11分	2:55	3:10	5分	12分	23分

が生じた結果，ロックボルトが曲がりながら挿入され，ジョイント部に過大なテンションがかかったものと推察される(**図-14**)．

この問題を解決するため，トンネル壁面または地盤を反力支持点として活用し，EX ドリルの振動を抑制する構造を導入した．具体的には，通常コンクリート型枠の保持に用いられるパイプサポートを専用治具を介して EX ドリルアタッチメントの後端に取り付け，反力装置として機能させた(**図-15**)．この対策により，ガイドセルの削孔時に発生する振動が抑制され，ドリフターの推進力が効率的にロックボルトへ伝達されるようになった．この状態で穿孔を実施した No.④，⑤，⑥，⑦，⑧では，継手に要した時間が 4 分～ 15 分，穿孔合計時間が 15 分～ 36 分となり，この 5 本で平均すると 25.6 分 / 本となった．

一方，対策前に実施した No.①，②，③の穿孔合計時間は 55 分～ 75 分であり，3 本で平均すると 61.0 分 / 本となる．合計時間の差は 61 分 − 25.6 分 ＝ 35.4 分となり，大幅な改善が確認された．

ロックボルトアタッチメント(EX ドリル)の後端にパイプサポートを取り付けた状態でトンネル断面内の旋回が可能で，1 断面内において軌陸バックホウを固定した状態で，全周方向のロックボルト穿孔が可能であることを確認した(**図-16**)．これにより，1 断面の全周穿孔を完了させたのちに，次の断面へ移動して同様に穿孔するという作業手順が，施工の効率化につながることが確認された(**図-17，18**)．

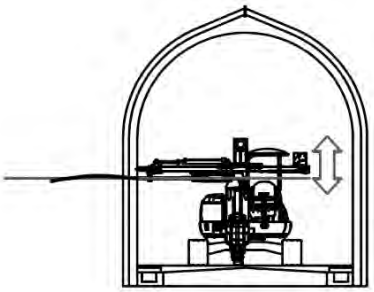


図-14　ロックボルトが曲がりながら挿入

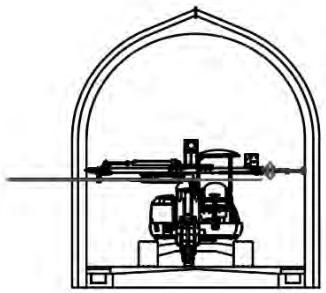


図-15　パイプサポートによる反力設備

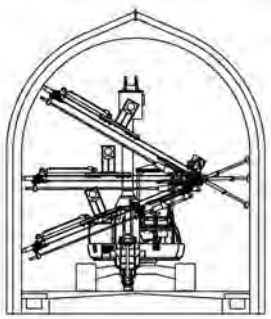


図-16　全周方向に対応可能

5. 機械施工と人力施工の比較

5.1　施工手順および施工時間の比較条件

機械施工および人力施工における穿孔時間を比較するにあたり，標準的な 1 日あたりの施工時間を 5 時間とし，作業位置までの移動時間(往復 2 時間)を差し引いた 3 時間を実施工時間とした．

ロックボルト打設作業の手順は，以下の 6 工程で構成される：①穿孔，②落下防止装置の設置，③座金の取付け，④ナットの仮締め，⑤定着材(モルタル)注入，⑥ナットの本締め．このうち①～④までは連続して実施される

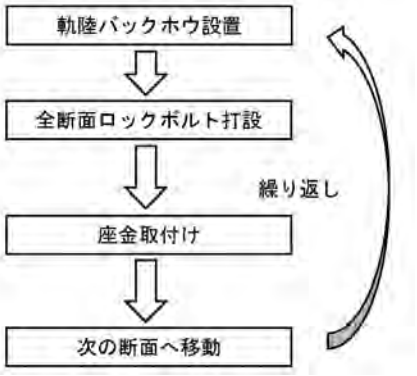


図-17　EX ドリルによるロックボルト穿孔施工サイクル

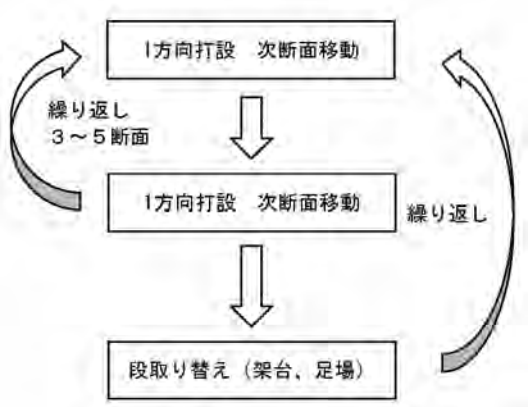


図-18　人力によるロックボルト穿孔施工サイクル

工程であり，1本あたりの打設サイクルとして取り扱う．一方，⑤および⑥については，概ね20本のロックボルト打設完了後にまとめて施工する方法が一般的であり，人力・機械を問わず共通の運用であることから，本稿における比較の対象からは除外した．

5.2 施工性の比較

人力施工では，2名の作業員が1mごとに交代で穿孔を行い，ジョイントカプラーによりロックボルトを継ぎ足しながら3mの穿孔を完了する．当社実績によれば，3mの穿孔(工程①)に約50分を要し，落下防止対策(工程②～④)には約10分を要することから，1本あたりの施工時間は合計で約60分となる．このため，1日あたりの施工可能本数は180分÷60分/本＝3本となる．また，人力施工では，穿孔箇所ごとに足場の移動や段取り替えが必要となるため，施工効率の低下を招く要因となっている．このため，通常は同一方向に対して連続して施工を行うことで，段取り替えの頻度を抑える工夫がなされている．しかしながら，全周方向への打設を完了するためには，いずれ足場の組み替えが必要となることから，工程上の負担および時間的損失の発生は不可避である．

一方，EXドリルを用いた機械施工においても，作業員数はバックホウオペレータ1名およびドリル操作・ボルト装着を担当する作業員1名の計2名であり，人力施工と同一である．機械施工における穿孔時間(工程①)は，4.3.4項の結果より平均25.6分，すなわち約26分であり，落下防止対策(工程②～④)には約10分を要する．したがって，1本あたりの施工時間は合計で約36分となる．この結果，1日あたりの施工可能本数は180分÷36分/本＝5本となる．さらに，機械施工では施工中の段取り替えが不要であり，振動・騒音による健康被害リスクが低減され，作業員の身体的負担が大幅に軽減される．

しかし，機械施工においては，軌陸バックホウは衝撃作業に強いコベルコ製でのみ実績が確認されており，EXドリルについても国内保有台数が限られている．このため，人力施工と比較して施工条件への対応の幅が限定される傾向にある．

5.3 コストの比較

施工コストは，1か月あたりの稼働日数を20日とし，各施工方法における月間施工本数と総費用から算出した1本あたりの施工単価により比較を行った．

人力施工における1か月の施工本数は，3本/日×20日＝60本となる．当社の施工実績によると，1本あたりの施工単価(材工共)は44.8万円である．

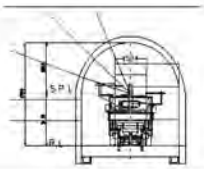
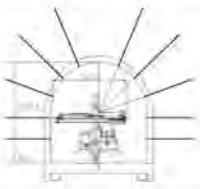
一方，機械施工における1か月の施工本数は，1日5本 ×20日＝100本となる．このときの工事費は，機械経費2,161万円，労務費840万円，材料費806万円の合計で3,807万円となる．よって，ロックボルト1本あたりの施工単価は3,808万円÷100本＝38.1万円/本となる．

以上より，1本あたりの施工単価は，人力施工が44.8万円，機械施工が38.1万円となり，機械施工の方が約15%安価である(38.1/44.8 ≒ 0.85)．

また，機械施工は人力施工に対して1.7倍の作業効率を有していることから，鉄道工事に不可欠な保安要員に係る費用の削減や，工程全体の短縮といった副次的な経済効果も期待できる．

人力施工と機械施工の比較結果を**表-2**にまとめる．

表-2 人力施工と機械施工の比較結果

	人力施工 <削岩機(レッグドリル)>	機械施工 <軌陸バックホウ+EXドリル>	摘要
施工図			
純穿孔時間 (1セット3m辺り)	60 分	36 分	ロックボルト1m毎の継手を含む
1日当たり穿孔本数	3 本	5 本	実施工時間3時間
施工性	穿孔足場の組み替え作業有り	穿孔足場の組み替え作業無し	
作業員への負担	大	小	
汎用性	高 ・使用機械の機種の指定なし	低 ・軌陸バックホウはコベルコ製に限る ・EXドリルの国内保有台数少	
1本当たり穿孔費用	44.8 万円	38.1 万円	

6. おわりに

在来線非電化トンネルにおけるロックボルト穿孔作業の機械化システムの開発を行った．本システムを導入するにあたり採用した基準および，成果を以下に示す．

①トンネル内で使用可能な機械寸法の決定は，JR 東日本の規定に基づく在来線非電化単線トンネルの標準断面を基準とした．

②作業中または作業現場までの移動中に機械が故障して走行不能となった場合でも，列車の安定運行に支障をきたさないよう，線路外へ迅速に機械を搬出できるシステムを構築した．

③軌陸バックホウを用いることで，従来の人力施工およびインバータチゼルによる施工時に必要であった足場の組立・解体や機械設置高さの調整といった段取り替え作業が不要となった．

④人力施工において一般的であった「多断面に対し同一方向へ順次ロックボルトを打設する工法」と比較して，足場の組み替えや煩雑な移動作業を必要とせず，施工時間の短縮と作業負担の軽減が実現できた．これにより，保安費や労務費を削減し，全体としてコスト低減が図られた．

⑤反力設備を活用することで，トンネル側面や地盤からの反力を確保でき，人力やインバータチゼルによる穿孔作業に比べて穿孔能力が向上した．

⑥軌陸バックホウを使用することで，作業の過酷性が軽減されるとともに，振動作業時間の制限も不要となり，振動障害による健康被害のリスクを大幅に低減できた．さらに，熟練作業員に依存せず施工が可能であることから，高齢化や人手不足といった課題の解消にも寄与しうる，有効な工法であることが確認された．

謝辞：本開発の実施にあたり，多大なるご協力，ご指導とご助言を賜りました JR 東日本様，寿建設㈱様，ニシオティーアンドエム㈱様，㈱レンタルのニッケン様の関係各位に深く感謝の意を表します．この場を借りて厚く御礼申し上げます．

参考文献

1）中島純也ほか：新潟県中越地震における JR 信越線鉄道トンネルの復旧工事，土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集，3-335，pp.669-670，2008.

2）土屋尚登，下垣正弘，岡村直利：新幹線鉄道トンネルの耐震対策急速施工技術の開発と実用化，建設機械化施工，Vol.66，No.5，pp.26-33，2014.

3）国土交通省：鉄道統計年報「令和 4 年度」，https://www.mlit.go.jp/tetudo/tetudo_tk2_000061.html，（参照 2025-04-10）.

4）（公財）鉄道総合技術研究所発行トンネル補修・補強マニュアル，pp Ⅱ 86，pp Ⅳ 63．平成 19 年 1 月．

5）貝吹務：鉄道に利用される軌陸機械，建設機械化施工，Vol.71，No.8，pp.73-77，2019.

（2025.5.14 受付，2025.8.6 採用決定）

Mechanization of Rock Bolt Drilling Work in Non-Electrified Conventional Railway Tunnels

Hiroki OBA[1], Yoichi SHIKODA[2], Takahito SASAKI[3],
Nao IKEDA[4], Yoshinori IBUKA[5]

[1] General Manager, Civil Engineering Division, Sanken Kogyo Co., Ltd.
[2] Deputy General Manager,Civil Engineering Division, Senken Kogyo Co., Ltd.
[3] Deputy General Manager, Civil Engineering Division, Senken Kogyo Co., Ltd.
[4] Assistant Manager, Civil Engineering Division, Senken Kogyo Co., Ltd.
[5] EXecutive Officer, Civil Engineering Department, Senken Kogyo Co., Ltd.

Many local railways in Japan are located in mountainous areas, and a large number of aging tun-nels—constructed more than 50 years ago—are still in use, requiring increased efforts and costs for maintenance. In recent years, a serious shortage of skilled labor has become evident in the construction sector due to population aging, and physically demanding tasks are becoming increasingly avoided. Among such tasks, the installation of rock bolts for tunnel deformation control remains largely dependent on manual drilling, which poses significant physical burdens and risks of occupational health issues. To address these challenges, this study developed a mechanized construction method combining an EX-Drill with a rail-road hydraulic excavator, specifically designed to meet the constraints of narrow local railway tunnels. The proposed method eliminates the need for scaffolding and complicated setup changes required in conventional manual operations, thereby improving work efficiency, reducing labor intensity, and enhancing overall safety.

ずいそう

歴史街道を歩く



塩 形 幸 雄

◆はじめに

銀山街道は，天領である石見国大森銀山で産出された銀を山陽の港町尾道まで運ぶために設けられた街道で，近世に整備された山陰と山陽を結ぶ重要な道です。大森銀山から産出した銀は，鞆ヶ浦港や温泉津港から日本海を経て，各地に移出していました。関が原の戦いの後，徳川幕府が直轄領とし幕府の命を受けた大久保長安が銀の産出量を増大させました。この銀を安定的に京，大坂（江戸時代は大坂とある）に運ぶため，石見国大森銀山から備後国尾道まで陸路で運び尾道から大坂まで海路で運びました。この銀を大森から尾道まで運ぶため，当時としては高規格の幅員七尺の銀山街道を切り開いたのです（**図―1**）。

◆銀山街道との出会い

私が銀山街道に興味を持ったのは，大田市大森の和上さんとお会いした時です。学校の先生を退任され，大森銀山ガイドの会の会長をされていました。銀山街道を愛する方の集まりに参加し，夜を明かして語り合いました。その後，銀山街道に夢中になりました。

大森で産出した銀ですが，いったん大森代官所の御銀蔵に貯蔵し，農閑期の 10 月下旬ころから年 1 回尾道に運んでいます。10 貫目ごとに箱に詰めて牛馬約 270 頭の背に積み，約 400 人の百姓の人足によって隊列を組んで大森から尾道まで，3 泊 4 日で運びました。江戸時代の銀の道のりは，1 日目，朝四つ時大森発，昼江の川沿い小原，夕方九日市宿到着，2 日目，朝六つ時出発，昼赤名，国境の赤名峠を越え夜遅く三次宿着，3 日目，朝四つ時発，昼吉舎，宇賀を経て夜遅く甲山宿，4 日目，朝五つ時発，昼市村着，夜遅く尾道へ到着，御銀蔵へ収納します。陸路は，全長約 130 粁の道のり，大変厳しいものでした。尾道から大坂へは船で瀬戸内海を通って運ばれ，大坂の銀座に収められます。当時の船旅は，銀を監視する程度，風待ち，潮待ちのため，各港で上陸，物見遊山をしたりの旅，船内では，適度に船酔していたようです。



図―1 銀山街道ルート

◆全区間を歩き始める

銀山街道など，日本風景街道に指定された道などを，資料を片手に観て歩く・そんなスローライフなスタイルが新たな道のつかわれ方として根づくことを期待しています。こうしたことをきっかけに，あらためて，銀山街道を史実にもとづいて，歩くことを思い浮かべました。

銀の道―大森～尾道へ―ですが，江戸時代，大森銀山でとれた灰吹銀は，尾道まで 3 泊 4 日で運ばれています。このたび，物好き達が大森～尾道まで現代の銀山街道ウォークとして 3 泊 4 日で歩きました。その無謀な紀行を紹介します。

江戸時代，石見国大森で産出した銀は大森を出発，九日市，三次，甲山を経て尾道まで牛馬で運び，船で大坂に運ばれていました。大森～三次経由～尾道まで，農閑期の 11 月下旬，3 泊 4 日で運んでいます。銀の道を歩く会は，江戸時代の史実と同様に，3 泊 4 日で歩いてみようと決意，実行することにいたしました。

1 日目，朝 7 時，大森代官所（石見銀山資料館）にて迎え出発式を行うとともに，8 時前大森代官所を出発，絶景のやなしお道を経由，美郷町粕渕の小原旧本陣にて遅い昼食（近くのワイワイ広場），半駄が峠を経由，九日市宿（旧本陣跡）に到着しました。17 時間，約 31 km の行程，心地よい疲労感でした（**写真―1**）。

2 日目，7 時，飯南町長に見送られ旅館を出発。飯南町長から激励を頂き，勇気づけられました。その後九日市宿で，当日参加の人と合流し出発，出雲街道の分岐の飯南町赤名宿，そして，国境の赤名峠を経由，



写真―１　大森代官所



写真―２　赤名峠



写真―３　銀の道の笠



写真―４　畑古道



写真―５　尾道住吉神社

室集会所において昼食，仏が峠，神之瀬のわたりを経由，三次本陣跡に到着しました。12 名参加，約 12 時間，約 39 km の行程，ずいぶんと身体にこたえました（**写真―２**）。

３日目，７時，三次町を出発，岡田の渡し，一の渡を経由，吉舎宿にて昼食（三次市吉舎歴史民俗資料館），昼から，中山一里塚，小童頼籐，世羅の宿「ひがし」を経由，世羅町赤屋に到着しました。遅くなったため，赤屋神社までとしました。16 名参加，約 12 時間，約 42 km の行程，当時の人の苦労が思い起こされました（**写真―３**）。

４日目，最終日，９月 22 日７時 30 分，赤屋神社前を出発，甲山宿旧本陣跡，宇津戸，宇根古道を経由，道の駅御調において昼食，畑峠，市原常夜灯を経由，尾道の住吉神社に到着しました。19 名参加，約 10 時間，約 30 km の行程で，大地を踏み締めました（**写真―４**）。

住吉神社で，盛大に到着式を開催。到着式では，尾道市観光課長から，大森～尾道までの完歩者に，記念の完歩証がおくられました。４日間の行程は，合計で約 44 時間，142 km の長い道のりでした。参加者は，全員で 37 名，４日とも参加したのは８名，大森～尾道まで完歩したのは４名でした（**写真―５**）。

◆今後に向けて

銀の道については，民間団体関係の「銀の道広域連携実行委員会」が活動を続けており，フォーラムの実施，カレンダーで地域の PR，利用しやすい地図作り，広域案内板の設置，広島発のバスツアーなど，地域連携活動として行っています。また，「銀山街道，陰陽を結ぶ銀の道」として，国土交通省施策の日本風景街道に認定されるなど気運は高まっています。銀の道という歴史遺産を活用して，多くの方が集まり，それぞれの地域の交流・連携が少しずつでも図れました。私もこのような地域活動の取り組みが好きで，暇を見つけては，出かけている今日この頃です。

――しおかた　ゆきお　清水建設㈱　広島支店　参与――

ずいそう

未来を予見した50年前の音楽



岩本英司

ちょうど50年前に世に出た音楽が，今も私たちの耳を楽しませてくれています。1972年12月に解散したロックバンド，はっぴいえんどのメンバーであった大滝詠一氏の「NIAGRA MOON」，細野晴臣氏の「TROPICAL DANDY」，鈴木茂氏の「BAND WAGON」，そして大滝氏が主宰したレーベル「ナイアガラ」の第1弾となったシュガー・ベイブの「SONGS」。いずれのアルバムも発売は1975年です。50年を経て音楽を生み出す技術は，格段の進歩を遂げています。それでも半世紀前のこれら音楽が今なお鑑賞に堪え魅了し続けているのはなぜでしょうか―。昭和100年，戦後80年という節目の今年。テレビや新聞，雑誌でも「昭和」を振り返る企画が数多く見られます。本欄では，時計の針を戻して，未来を予見した50年前の音楽について個人的な見解も交えながら考える機会としたいと思いますので，少々お付き合い下さい。

◆土曜夜のイメージが変わる

1980年代にフジテレビ系列で土曜日の夜に放映されたバラエティー番組「俺たちひょうきん族」の記憶は今も鮮明に残っています。漫才ブームの波に乗って始まったものの，PTA団体からは「子どもに見せたくない番組」というレッテルを貼られていたそうです。それでも1960年代後半に生まれ，中学生になりたてだった私にとっては，少し大人になったような気分を味わえる番組でした。その理由は，エンディングに流れるテーマ曲「DOWN TOWN」にあります。EPOが歌う「ダウンタウンへ繰り出そう～♪」という軽快なメロディー。これを聴くと土曜日の夜がそれまでとは違う何かキラキラするような素敵な時間帯に感じられたものです。

「DOWN TOWN」は元々，山下達郎氏，大貫妙子氏を擁したシュガー・ベイブのデビューアルバム「SONGS」に収められた1曲です。当時，このアルバムは大して売れませんでした。それでも「洋学マニアな空気を邦楽的に展開する」（山下氏）というコンセプトで作り出す彼らの音楽の信奉者は少なからずいたようです。山下氏らと同世代で建設会社に勤める傍ら「おやじバンド」で活躍していた方に以前取材したことがありました。曰く「彼らのことが大好きで学生時代に音楽にのめり込んだのですよ」。そんな言葉もうなずけると，取材をしながら思ったものです。

現役シンガーとして今も活躍する山下氏は前出の「DOWN TOWN」や「パレード」「雨は手のひらにいっぱい」，大貫氏は「蜃気楼の街」「風の世界」「いつも通り」と，それぞれ作り出す楽曲のタイプが異なりますが，それがバンドの個性にもなっていましたし，2人がデュエットした「すてきなメロディー」でも彼らならではの音楽を紡いでいました。

◆自主制作盤がデビューのきっかけ

ナイアガラレーベルからデビューしたのは，山下氏が十代最後に音楽仲間と作った自主制作盤が大滝氏の耳に届き，1973年に行われたはっぴいえんどの解散コンサートで山下氏や大貫氏らをコーラス隊に起用したのがきっかけだそうです。諸々の事情で商業的な成功には結びつかなかったものの，山下氏，大貫氏が音楽界で活躍する最初のきっかけを大滝氏が用意したという事実を聞くだけでも，音楽ファンにはうれしい話です。

レーベルを主宰する大滝氏は，変名（笛吹銅次）を使って録音のエンジニアも務めています。そうした経緯もあってか思い入れが深く，「第1弾がこのアルバムであったことはこのレーベルにとっても私にとっても最高に幸せなことでした」と述懐しています。レーベル第2弾が自身の「NIAGRA MOON」で，自宅を改造したスタジオで録音しています。さまざまなリズムを使って作り出した楽しい作品を通じて，「大きい滝＝ナイアガラ」のごとく，幅広い音楽を届けたいというレーベルの志を示しました。

はっぴいえんどで大滝氏との二枚看板として活動した細野氏の「TOROPICAL DANDY」は後にトロピカル3部作と呼ばれる「泰安洋行」「はらいそ」へと続く一連の作品の初弾です。アメリカを志向していたバンド時代から脱して，世界のさまざまな音楽をごった煮したような作品づくりは，その後イエローマジックオーケストラとして世界を席巻する礎にもなっていきます。

鈴木氏は，はっぴいえんど結成時にギタリストとして大きな役割を果たしていましたが，途中から楽曲づくりにも力を注ぎます。最初に発表した「花いちもんめ」では，ドラマーであった松本隆氏が作った歌詞「紙芝居が店をたたんだあとの狭い路地裏にはヒーローでいっぱい～♪」をメロディーに乗せて独特の世界観を表しました。解散が決まっていた最後のアルバムで米国録音を経験したことが大きな出来事となり，「BAND WAGON」では単身渡米して，あちらのミュージシャンを起用した録音を挙行。ギターで始まる1曲目の「砂の女」ののっけから，本場米国の迫力あるサウンドを日本に届けてくれました。

はっぴいえんどの活動期間は1969年から1972年とわずか3年ではありましたが，そこから派生する形で生まれた1975年発売のアルバムは今年に入り，それぞれ違う形で50周年記念盤として再発され，話題となりました（**写真**―1）。当時は商業的に成功せずとも，今もって若い人たちの興味も惹きつけていることには，当のご本人たちも当惑しているようです。2013年12月30日に65歳で急死した大滝氏以外，今も現役で活動することも大きな理由でしょうが，半世紀を経ても鑑賞に堪えうるだけの「未来」を予見していたものであったのではないかと勝手ながら思うところです。



写真―1 「SONGS」50周年記念盤

◆未完の「アメリカン・ポップス伝」

近現代の邦楽・洋楽の研究家としても知られた大滝氏は生前，NHK-FM放送の企画で「アメリカン・ポップス伝」というシリーズ番組を2012年から2013年まで放送しました。自身の原点でもあるエルヴィス・プレスリーのデビュー前後から始まり，1960年代前半までのアメリカン・ポップスの変遷を4期にわたって解説するものでした。シリーズ5期では，1960年代の素晴らしいアメリカン・ポップスの数々を紹介いただけると多くのファンが期待する中で悲報が届けられました。ご自身も4期最後の放送で「いよいよパート5では，本格的に60年代ポップスへと突入していきます。それではまた次回をお楽しみに」と述べていました。これが未完となってしまったことは，本当に残念でなりません。

本欄への寄稿に当たり，学生時代から繰り返し読んできた愛読書「はっぴいえんど伝説」（文庫版・シンコーミュージック刊，萩原健太著）を参考にしていることを最後に報告いたします。

――いわもと・えいじ　日刊建設工業新聞社　事業本部
取締役待遇企画・制作局長――

部　会　報　告

吉野瀬川ダム建設工事・水海川導水トンネル３期工事 見学会報告

機械部会　基礎工事用機械技術委員会

1. はじめに

基礎工事用機械技術委員会では，2025 年 4 月 23 日に吉野瀬川ダム建設工事を，4 月 24 日に水海川導水トンネル 3 期工事の現場見学会を実施した。参加者は事務局を含めて 16 名（**写真**―1）。

2. 吉野瀬川ダム工事

(1) 概要

吉野瀬川ダムは，福井県越前市から鯖江市を流れる一級河川・吉野瀬川の流域において，洪水被害の軽減を目的として建設されている治水ダムである。ダム形式は重力式コンクリートダムであり，堤高 58.0 m，総貯水容量 7,800,000 m^3 を有する。洪水調節により，下流の越前市家久地点での最大流量を 500 m^3/s から 390 m^3/s に低減する効果が期待されている。



写真―1　吉野瀬川ダム堤体前での集合写真

堤体のコンクリート打設には，タワークレーンによる拡張レイヤ工法が採用されている。主要諸元を**表**―1 に示す。

(2) 現場見学

堤体・のり面の状況および機械設備を見学した。

堤体工事は，本体工および減勢工を合わせた総コンクリート打設量 137,000 m^3 のうち，約 130,000 m^3 の打設が完了しており，堤高は約 50 m に達していた。

見学時には左岸側から堤体上に上がり，ダムの貯水域および工事全体を一望した（**写真**―2，3）。堤体上から河川側を覗くと，減勢工の施工状況を確認することができ，貯水域側を眺めると，プラント設備の全体像を一望することができた（**写真**―4，5）。コンクリート打設工は夜間に実施されており，見学時の日中時間帯には資材の振り分け作業が行われていた。

のり面の保護工についてもほぼ完了していた（**写真**―6）。部分的に岩盤が露出している箇所からは，赤褐色の岩盤（地質調査より凝灰岩と思われる）が確認できた（**写真**―7）。

その後，堤体の上流側へと移動し，コンクリート用

表―1　吉野瀬川ダム主要諸元

型式	重力式コンクリートダム
堤高	58.0 m
堤頂長	190.0 m
堤体積	137,000 m^3
総貯水容量	7,800,000 m^3
有効貯水容量	6,800,000 m^3
打設方式	拡張レイヤ工法（ELCM）



写真―2　堤体（本体）工全景



写真―3　堤体見学状況

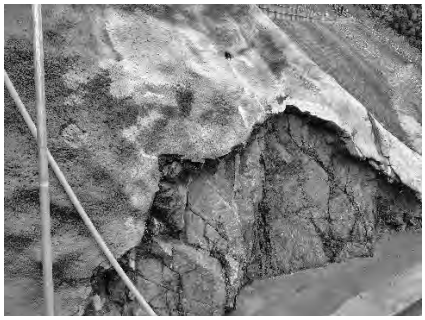


写真―4　河川流域側（減勢工）



写真―５　貯水域側（プラント設備）


写真―６　左岸側のり面状況


写真―７　岩盤露出部

表―２　主要機材

機材	諸元
クレーン	25 t 吊タワークレーン
骨材貯蔵ビン	粗骨材用 ϕ12.0 m×H10.9 m×3 基 細骨材用 ϕ9.5 m×H10.9 m×4 基
バケット	6 m^3
濁水シックナー	100 m^3/hr×2 基

材料の運搬・貯蔵設備，コンクリート製造設備，濁水処理設備を見学した。主要機材を**表―２**に示す。

(3) 現場の工夫と技術的特徴

当現場では，工期短縮を目的とした機材選定が随所で行われており，代表的な例として，大型タワークレーンおよび大容量コンクリートバケット（バッチャープラントで造成されたコンクリートの運搬設備）の採用があげられる。当初は13.5 t 吊タワークレーンと4.5 m^3 バケットという機材構成が計画されていたが，これを25 t 吊タワークレーンと6 m^3 バケットという構成にすることで，タワークレーンによる吊り下げ運用時の旋回数を削減し，作業効率の向上を図ったそうだ。同様に，濁水処理設備においても処理能力の向上を目的とした機材構成の見直しが行われており，当初は100 m^3/hr 級のシックナー１基が計画されていたが，実施工では100 m^3/hr 級を２基で対応している。

このような機材選定から，現場における能率や運用面を重視した工夫がなされていることがうかがえた。実際に，これらの工夫により概略25%の作業時間短縮が実現しており，工事初期には工程に対する余裕が少なく，進捗に遅れが生じていたものの，見学時点では最終工期は確保できる見込みであるとの説明を受けた。

3. 水海川トンネル工事

(1) 概要

水海川導水トンネルは，足羽川ダム建設事業の一環として整備される導水路トンネルであり，福井県今立郡池田町に位置する。

本トンネルは，水海川流域に設置される分水施設から足羽川ダムへ洪水流を導水することを目的としており，足羽川・日野川・九頭竜川の下流域における洪水被害の軽減を図るものである。

施工延長は全体で4,717 m に及ぶ長距離トンネルであり，断面形状は内空径8.5 m の円形である。施工は山岳トンネル工法（NATM）により，金見谷地区側から水海川地区側へ向けた片押し方式で進められている。

(2) 現場見学

現場作業所の乗用車に分乗し，トンネル切羽（トンネル掘削先端）まで案内をしてもらった。切羽ではコンクリート吹付け工が実施されており，鏡吹付け（掘削面へのコンクリート吹付け）によって地山の安定化を図っているとの説明を受けた（**写真―８，９**）。

また，施工中のインバート桟橋を間近で確認させてもらった。現場では跳ね上げ方式の桟橋が採用されており，跳ね上げた状態および降下させた状態の両方を見学し，桟橋上を実際に歩かせてもらった（**写真―10，11**）。

その後，トンネルを出て，車にて山腹を登り，足羽川ダムの展望地点に移動した。展望地点からは，急勾配のベルトコンベヤーの全体構造と，ダム本体および周辺施設の配置状況を俯瞰することができた（**写真―12**）。

(3) 現場の工夫と技術的特徴

水海川トンネルは狭小断面かつ長距離トンネルという特徴があり，その施工条件下における生産性向上と安全性確保を目的とした各種技術的工夫について説明を受けた。以下に代表的な取り組みを示す。

(a) 連続ベルトコンベヤーの採用と配置工夫

断面が狭く車両のすれ違いが困難なため，掘削ずりの搬出には連続ベルトコンベヤーを採用。ベルトは高位置に配置され（**写真―13**），インバート桟橋や施工機材との干渉を避ける工夫がなされていた。ICT によ



写真―８ トンネル切羽見学状況



写真―９ コンクリート吹付け状況



写真―10 インバート桟橋跳ね上げ時



写真―11 インバート桟橋降下時



写真―12 足羽川ダム全景



写真―13 ベルトコンベア配置

る遠隔監視・制御により，機器の稼働状況を一元管理し，トラブルの予防と施工効率の向上が図られていた。

（b）跳ね上げ方式インバート桟橋の採用

断面が狭小であるため，横送り方式のインバート桟橋ではインバート施工と車両通行の両立が困難であったことから，跳ね上げ方式のインバート桟橋が採用されていた。掘削時には桟橋の斜路を跳ね上げて作業空間を確保し，通行時には降下させることで，限られた空間内での施工と通行を両立していた。

（c）ICT の活用による集中・遠隔管理

現場全体に Wi-Fi 網を構築し，連続ベルトコンベヤーや換気設備，クラッシャーなどの機器を一元管理。重機操作席からの遠隔操作や，施工サイクルの見える化により，作業の効率化とトラブル予防が図られていた。

（d）施工管理システムによる手待ち防止

施工サイクルに応じた作業調整が行われており，インバート施工時には通行車両のタイミングに合わせて掘削を一時停止するなど，工程間の手待ちを最小限に抑える工夫がなされていた。

4. 所感

普段，ダム工事やトンネル工事に携わる機会が無いため，両現場の見学は非常に新鮮で，さまざまな機材や設備を間近で見ることができたのは貴重な体験であった。特にダム工事の規模の大きさやトンネル工事の機材数量には圧倒された。

また，両現場に共通して，人材難に関する話があった。人手不足が進む一方で，労務管理の厳密化も求められており，その両立に苦慮している様子がうかがえた。今後，施工のさらなる省人化が求められる中で，建設機械の ICT 化・自動化は継続的な課題であると感じた。

5. おわりに

今回の見学では，吉野瀬川ダム工事および水海川導水トンネル工事の両現場において，施工状況や現場ごとの工夫を直接確認することができた。限られた空間や厳しい工程条件の中で，施工効率の向上を目的とした機材選定や ICT の活用，工程管理の工夫など，現場の創意工夫が随所に見られた。

謝　辞

最後に，お忙しい中ご対応いただいた［安藤ハザマ・建世・清水組・谷口建設特定建設工事共同企業体－吉野瀬川ダム作業所］ならびに［㈱安藤・間－水海川トンネル出張所］の関係各位に，深く感謝申し上げます。



［筆者紹介］
森　拓人（もり　たくと）
調和工業㈱
技術営業部　工法技術課
課長
（一社）日本建設機械施工協会
機械部会　基礎工事用機械技術委員会
委員

CMI 報告

鋼橋の防食技術に関する研究

新田　健太・小野　秀一

鋼橋の代表的な損傷である腐食と疲労の対策を検討することは維持管理上，重要である。これらの課題に対応すべく，施工技術総合研究所では，疲労については，各種の疲労試験機を用いた基礎的な疲労データの蓄積や実構造物の疲労挙動の解明や補修補強工法の検討などの疲労に関する研究を実施してきている。一方，腐食についても，防食皮膜の耐久性に関する研究，鋼橋の塗装塗替えにおける旧塗膜除去方法や素地調整の調査研究，実橋塗膜の剥離原因調査，腐食した部材の耐荷性能の解明などの腐食に関する研究を行ってきている。

本稿では，当研究所において取り組んでいる防食技術に関する研究のうち，亜熱帯海洋環境下における各種暴露試験と腐食環境調査，接着性シリコーンゴム製防錆材料の防錆性能評価，塩分を含むサビ鋼板上への適用を想定した低温低圧型金属溶射工法による防錆技術の検討事例について紹介する。

キーワード：土木，社会基盤施設，鋼橋，腐食，暴露試験

1. はじめに

多くの社会基盤施設は高齢化が進み，今後も年齢を重ねていくばかりではなく，維持管理すべき施設は増加していくことが予想されている。これら施設の維持管理の重要性はますます高まるものと考えられ，当研究所においても様々な維持管理に関連する検討課題における調査研究に取り組んでいる。

社会基盤施設のうちの鋼橋においては，疲労，腐食，遅れ破壊が代表的な損傷として挙げられる。一般に鋼橋における防食対策として，塗装による防食皮膜の施工が行われているものの，十分な塗膜厚を確保することが困難とされる部材の角部やボルトを含めた添接部，湿潤環境になりやすい桁端部，雨水等が滞水しやすいトラス格点部は，皮膜が早期に劣化し腐食が発生しやすい部位とされている[1)]。また，既設の鋼橋では一般に，定期的な塗装塗替えが行われており，特に腐食環境が厳しい地域については，重防食塗装系が採用されているが，先述の通り，腐食環境が厳しい部位においては，様々な要因から早期にサビが再発する事例も報告されている。

そこで，維持管理における腐食への対応として，関係機関では各種多様な技術が開発されており，たとえば，耐候性鋼材やクラッド鋼などの防食性のより高い鋼材の開発，高耐久塗装材料の開発，ブラスト工法をはじめとした旧塗膜の除去技術や素地調整技術の高度化，各種犠牲防食材料を用いた防食下地の高度化，サビ転換材などの開発などが挙げられる。

本稿では，当研究所が行っている耐発錆・防食に関する調査研究のうち，亜熱帯海洋環境下における各種暴露試験と腐食環境調査，接着性シリコーンゴム製防錆材料の防錆性能評価，塩分を含むサビ鋼板上への適用を想定した低温低圧型金属溶射工法による防錆技術の性能検討事例について紹介する。

2. 亜熱帯海洋環境下における暴露試験および腐食環境調査

大気環境における耐久性や防食性能の評価を目的として，塗装や防食下地等の防食材料が施工された試験体を大気暴露する暴露試験が行われる。当研究所では，暴露試験場として，**図―1**に示すように，日本南端に位置する，東海大学沖縄地域研究センターが管理している西表島網取桟橋を利用して各種の暴露試験を実施している。当暴露試験場は，飛来海塩粒子量が多く，高温多湿，紫外線も強い環境である。

暴露試験状況の一例を**写真―1**に示すが，沿岸部や桟橋部に防食塗装を施した鋼板や防食鉄筋などの試験体を暴露し，定期的に腐食状況を把握するための外観観察および電気的計測などを実施している。現在実施している暴露試験は，各関係機関から受託しているものを含めて10種類以上にのぼる。



図―１　暴露試験場位置



沿岸部



桟橋部

写真―１　暴露試験状況

一方，暴露試験結果を適切に評価するためには，暴露試験場の環境，すなわち気温や湿度，飛来海塩粒子などの環境条件を把握しておくことが重要である[2)]。西表島網取桟橋においても，これまでに㈱高速道路総合技術研究所ら関係機関との共同研究においてワッペン式暴露試験を実施し，腐食量や腐食速度の算出を試みている。このうち当研究所では，**写真―２**に示すように，網取桟橋下面および上面に設置したSM490とSMA400AWの鋼材で板厚３mm，６mm，９mmの各試験片の断面観察やサビ組成調査を行い，鋼種や設置



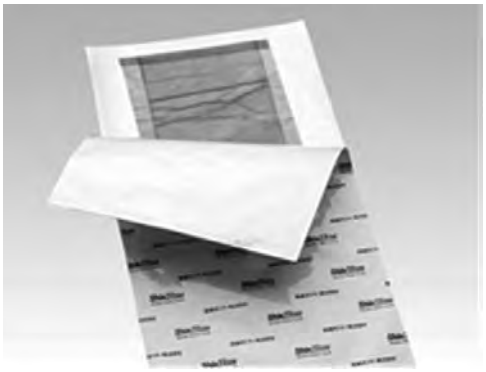
写真―２　ワッペン式暴露試験状況

位置によるワッペン式暴露試験方法の検討および評価を行っている。

3. 接着性シリコーンゴム製防錆材料の防錆効果性能確認試験

接着性シリコーンゴム製防錆材料は，硬化前は粘土状で柔らかく，自由に賦形することができ，大気に触れると水分と反応して硬化しながら対象物に強く密着した弾性的な厚膜を形成できる特長がある。１日で実用強度まで硬化接着し，約１週間で完全硬化する。

ここでは，**図―２**に示すように，施工を考慮して，厚さ２～３mmのシート状に加工した接着性シリコーンゴム製材料を貼付することで，鋼材の防食工法の一つとしての防錆性能を評価している。試験方法としては，亜熱帯海洋環境下での暴露試験および複合サイクル試験による腐食促進試験の２種類とした。暴露試験体としては，**写真―３**に示すボルト部を模擬したもので，C5塗装面，溶融亜鉛めっき面，防食下地なしの素地面に接着性シリコーンゴム製防錆材料を施工している。他方，複合サイクル試験体については，防食下地なしの鋼板に接着性シリコーンゴム製防錆材料を施工したものである。複合サイクル試験については，



図―２　シリコーンゴム製材料



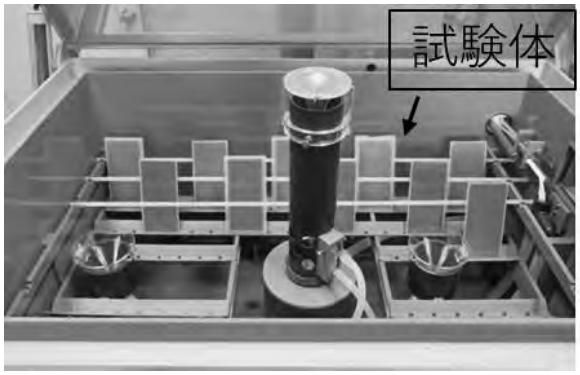
写真―３　ボルト模擬試験体暴露試験



写真―４　複合サイクル試験機

写真―４に示す複合サイクル試験機を用いて，JIS K 5600-7-9 に準じた負荷試験（サイクル A）に基づいて実施している。

暴露試験結果については，期間が約 750 日経過した時点でも C5 塗装面および溶融亜鉛めっき面に接着性シリコーンゴム製防錆材料を適用したボルトからサビの発生は確認されず，防食効果を保持していることが確認されている。また，複合サイクル試験については，**写真**―５に示すように 800 サイクル経過後もサビの発生は確認されておらず，防食性能を保持していることが確認されている。暴露試験については，引き続き継続する予定である。



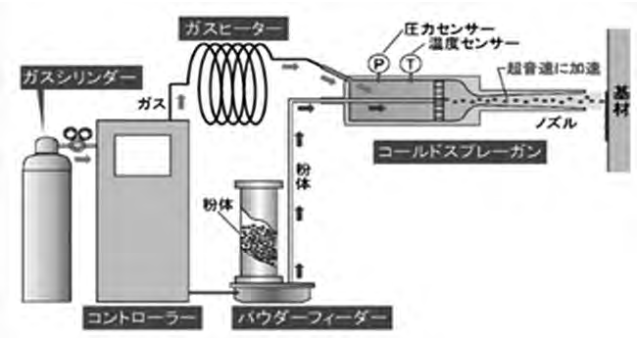
写真―５　複合サイクル試験状況

4. 低温低圧型金属溶射技術を適用した塩分残存サビ鋼板における防食性能確認試験

鋼橋では，新設や塗替え塗装において，一般的に塗装による表面被覆による防食工法が適用されている。このうち，塗替え塗装においては，旧塗膜の除去や素地調整の程度が，再塗装後の耐久性に影響を及ぼすことから，例えば再塗装面上の付着塩分量に規定値があり，その基準値以上の塩分が確認された場合，高圧水洗などによって塩分量を調整した後に塗替え塗装を行うこと[2]が規定されており，素地調整における品質確保が重要と考えられている。一方で，構造詳細が複雑な箇所や著しいサビの発生部では，再塗装面にサビや塩分が残存してしまっていることが早期のサビ再発に繋がっているとの指摘があり，このような部位への対応も重要な課題である。

このような課題に対して，**図**―３に示すように低温低圧型金属溶射技術[3]（Cold Spray 技術，以下 CS）に着目した防錆・防食技術の研究開発を，琉球大学をはじめとした関係機関と実施している。当技術は，亜鉛とアルミナの混合粉体を融点より低温かつ低圧で専用ノズルから超音速で鋼材面へ衝突させ，固相のまま密着させ，強固かつ緻密な皮膜層を形成する技術である。サビが残存する腐食鋼板面でも強固な密着力を有し緻密な金属皮膜の形成が期待できることが明らかになっており[4),5)]，今回は，塩分が残存するサビ鋼板への CS による成膜が防食性能の向上に及ぼす影響について，暴露試験により検証している。

試験体は，**表**―１に示す SM490，SM400，SMA400 の３種類の鋼板を用意し，**図**―４の手順に従い複合サイクル試験によって厚さ 50 μm 以上となるサビ層



図―３　低温低圧型金属溶射技術



図―４　試験体作成手順

表―１　試験体パラメータ

防食技術	鋼材	試験体数	施工前サビ厚	残存塩分	防食膜厚
低温低圧型金属溶射	SM490	各3体	50μm以上	150mg/m^2	75～100μm
	SM400				
	SMA400				
	SM490	各3体		500mg/m^2	
	SM400				
	SMA400				
	SM490	3体	新材	-	



写真―６　低温低圧型金属溶射技術による成膜



図―５　暴露試験状況（琉球大学構内暴露試験場）

を生成させ，そのサビ層に塩分が約 150 mg/m^2，約 500 mg/m^2 が残存するように調製している。その後，作製した塩分を含むサビ鋼板試験体に対して，**写真―6** に示すように CS を適用して膜厚 75 μm ～ 100 μm で防食皮膜を成膜している。

作製した CS 施工試験体については，**図―５** に示すように，亜熱帯環境下にある琉球大学構内の屋外暴露試験場（年平均気温 23℃，年平均相対湿度 79.6％，年平均飛来塩分量 0.22 mdd，年平均腐食速度 0.001 mm/year，離岸距離約 2 km の大気環境）で南向きに設置し，暴露試験を実施している。現在は，暴露開始から１年が経過した段階であるが，サビの発生は確認されず，塩分を含むサビ鋼板においても防食効果が保持されているものと考えている。なお，比較対象として有機ジンクリッチペイントを塗布した試験鋼板についても暴露試験を併行して実施している。引き続き，暴露試験を継続する予定である。

5. おわりに

鋼橋における代表的な腐食損傷における防食技術に対して，より厳しい腐食環境である亜熱帯海洋地域で実施している屋外暴露試験や室内での腐食促進実験の事例について紹介した。今後は，亜熱帯海洋環境や複合サイクル試験の厳しい腐食促進条件の評価を引き続き実施することで防食評価方法の高度化を図り，新たに検討されている様々な防食技術に対して，それぞれが想定する腐食環境や耐用年数に応じた防錆・防食性

能の評価が行えるように鋭意研究を進めていきたいと考えている。また，これらの性能評価や研究の成果が，鋼橋ひいては鋼構造物の維持管理においてより良い防食技術の提案や情報提供に繋がり，持続可能な社会基盤の維持に貢献できれば幸いであると考えている。

J C M A

《参 考 文 献》

1）腐食した鋼構造物の耐久性照査マニュアル，土木学会，鋼構造シリーズ 18，2009
2）左藤眞市：大気暴露試験，大阪府立産業技術総合研究所 Technical Sheet，No.07015，2008.2
3）榊和彦：コールドスプレーの概要と最新動向，溶射，vol.47，No.3，pp.113-119，2010.
4）新田健太，下里哲弘，日和裕介：低温低圧型溶射技術を用いた除去困難な残存さびに対する防食下地処理に関する研究，日本鋼構造協会鋼構造年次論文報告集，Vol.30，pp.443 ～ 448，2022
5）Hiwa.Y，Shimozato.T，Tamaki.Y:Denseness and Adhesion of Low-Pressure Cold Spray Coating to Corroded Steel Bridges, International Journal of Steel Structures, Vol.24 No.1, pp109-117, 2024.（DOI:https://doi.org/10.1007/s13296-023-00803-6）

［筆者紹介］



新田　健太（にった　けんた）
（一社）日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所　研究第二部
研究員



小野　秀一（おの　しゅういち）
（一社）日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所　研究第二部
部長



新工法紹介　機関誌編集委員会

04-479	締固め品質の 面的計測システム Geo-DX Compaction™	鹿島建設

▶概　　要

ダムや造成工事における締固め品質管理として，施工箇所の現場密度が規格内にあることを確認するために，砂置換法やRI法といった現場密度試験が行われている。しかし，これらの試験は，人力での試験孔の削孔や試料採取の負担が大きく，また，試験器具は重いため，点在する試験孔間の運搬にも労力を要する。そのため，この品質管理試験の省力化と生産性向上が望まれていた。ダム堤体工や盛土造成工そのものに関しては，自動化重機の導入といった技術革新が進む一方で，品質管理試験においては，未だ人力による作業がほとんどである（**図**―1）。

そこで，締固め品質管理試験の省人化と生産性向上を目的に，比抵抗法を利用した締固め品質の面的測定システム Geo-DX Compaction™（以下，本手法）を開発し，その活用を進めている（**図**―2）。本手法は，地盤の比抵抗を利用し現場密度を算出する新しい締固め品質管理手法である。試験対象の地盤に4つの電極が取り付けられた計測装置を接地・牽引し，転圧面の電気抵抗を連続測定し，事前に取得した比抵抗と現場密度の相関関係を用いて，現場密度を算出する（**図**―3）。

2024年度より，成瀬ダム堤体打設工事において，RI法の代替として本手法が採用され，40リフト（総打設面積 804,681 m^2）を対象に本手法による締固め品質管理を実施した。

▶特　　徴

①本手法により算出した現場密度の誤差は従来法と比較して，±0.05 t/m^3 と僅かであり，実用上十分な精度を有する。

②本手法を導入することで従来法の削孔などに要していた3名の試験員を，計測装置を牽引する牽引機の運転者1名のみに削減し，CSG締固め品質管理試験の省力化を実現できる。

③比抵抗装置の電極間隔を変えることで計測深度を調整し，1層当たり（CSGの場合 75 cm）の平均的な密度を評価できる。

④移動しながら対象地盤の水分量を計測できる散乱型RI水分計と組み合わせることで，地盤材料の締固め品質指標も評価できる。

▶用　　途

・CSGや盛土の締固め品質管理

▶実　　績

・国土交通省東北地方整備局　成瀬ダム堤体打設工事

▶問 合 せ 先

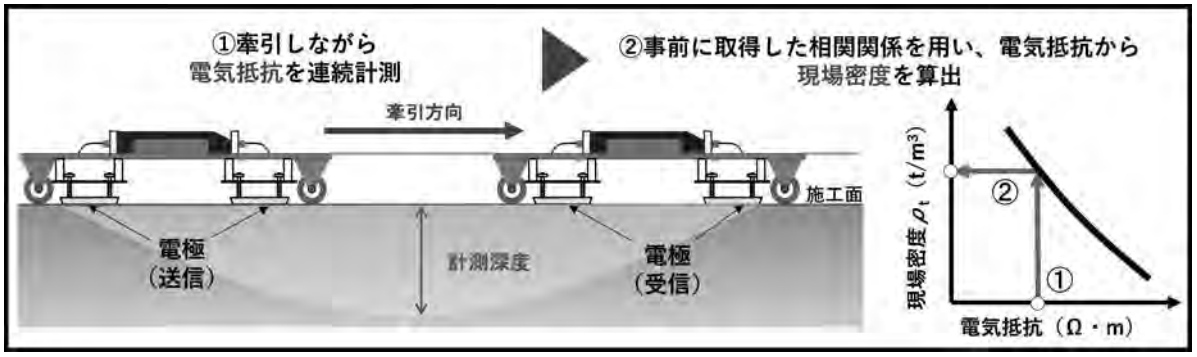
鹿島建設㈱　技術研究所　土質・地盤グループ
〒182-0036　東京都調布市飛田給 2-19-1
TEL：042-485-1111



図―1　従来の品質管理試験状況



図―2　本手法による計測状況

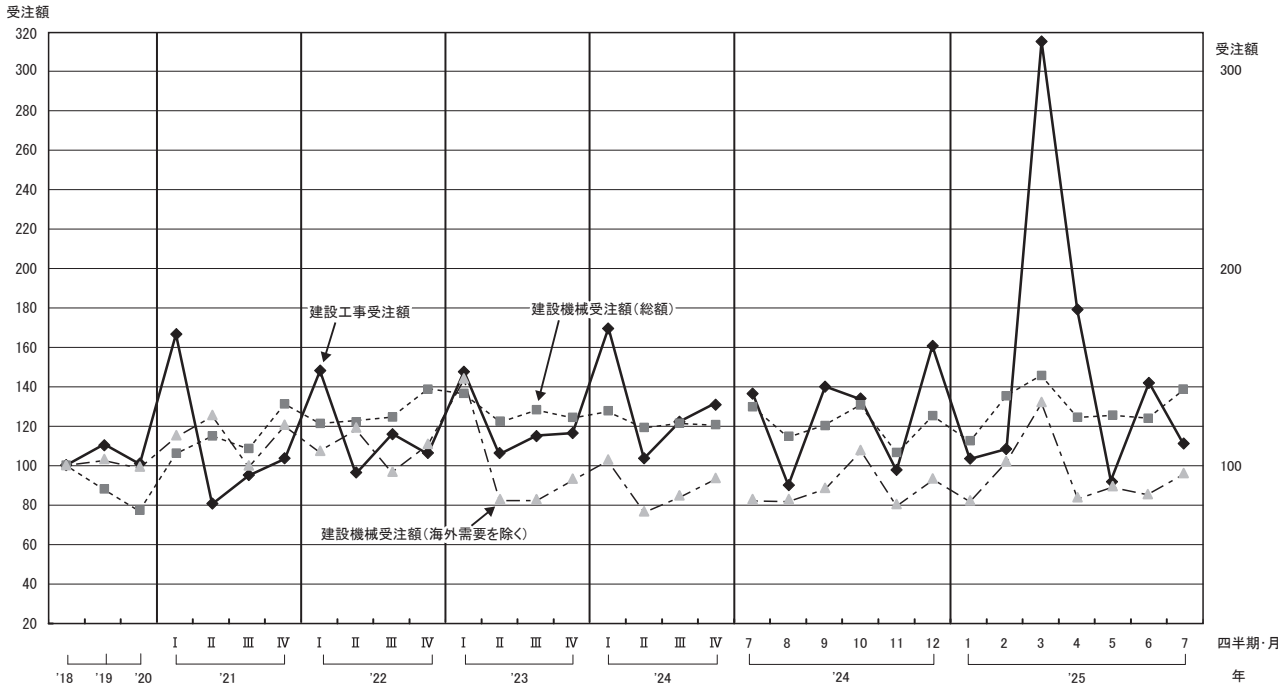


図―3　本手法の計測概要

統　　計　機関誌編集委員会

建設工事受注額･建設機械受注額の推移

建設工事受注額：建設工事受注動態統計調査(大手50社)　（指数基準　2018年平均=100）
建設機械受注額：建設機械受注統計調査（建設機械企業数24前後）　（指数基準　2018年平均=100）



建設工事受注動態統計調査（大手 50 社）

（単位：億円）

年　月	総　計	受注者別						工事種類別		未消化工事高	施工高
		民間			官公庁	その他	海　外	建　築	土　木		
		計	製造業	非製造業							
2018 年	142,169	100,716	24,513	76,207	30,632	8,561	5,799	95,252	46,914	166,043	141,691
2019 年	156,917	114,317	24,063	90,253	29,957	5,319	7,308	109,091	47,829	171,724	150,510
2020 年	143,170	97,457	19,848	77,610	35,447	5,225	4,175	91,725	51,443	171,740	141,261
2021 年	157,839	111,240	22,528	88,713	38,056	4,671	3,874	106,034	51,806	192,900	137,853
2022 年	165,482	119,900	33,041	86,862	33,436	5,252	6,898	114,984	50,496	207,841	130,901
2023 年	172,094	121,790	31,098	90,690	40,060	5,360	4,883	117,929	54,164	217,576	161,186
2024 年	187,396	132,025	33,408	98,615	42,398	5,500	7,476	126,223	61,174	235,561	167,675
2024 年　7 月	16,233	13,082	3,830	9,252	2,234	408	509	12,558	3,675	234,172	10,884
8 月	10,745	7,213	1,676	5,537	2,389	649	494	6,982	3,764	232,972	12,542
9 月	16,514	11,835	3,195	8,640	4,410	470	-200	10,698	5,816	232,437	17,302
10 月	15,846	11,841	2,704	9,137	2,733	444	829	11,419	4,427	236,704	11,626
11 月	11,564	8,959	2,356	6,603	1,812	422	372	8,371	3,193	234,464	13,818
12 月	19,091	14,266	3,888	10,378	3,534	488	803	14,240	4,850	235,561	19,602
2025 年　1 月	12,259	8,279	2,122	6,157	2,879	375	726	8,349	3,910	235,097	12,905
2 月	12,799	8,434	3,150	5,284	3,685	471	208	8,355	4,444	234,077	14,368
3 月	37,390	26,169	4,898	21,271	9,848	477	896	25,046	12,344	248,241	24,117
4 月	21,213	18,621	2,385	16,236	1,902	498	192	17,785	3,428	258,165	9,965
5 月	10,828	7,964	1,911	6,053	1,663	376	824	6,774	4,053	257,065	11,738
6 月	16,817	12,555	2,919	9,635	2,902	534	827	11,805	5,012	256,033	16,619
7 月	13,142	9,242	2,542	6,700	2,229	458	1,213	8,969	4,173	－	－

建　設　機　械　受　注　実　績

（単位：億円）

年　月	18 年	19 年	20 年	21 年	22 年	23 年	24 年	24 年 7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	25 年 1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月
総　額	22,923	20,151	17,646	26,393	29,024	29,315	28,042	2,476	2,190	2,298	2,504	2,038	2,389	2,146	2,582	2,775	2,379	2,393	2,364	2,645
海外需要	16,267	13,277	10,966	18,737	21,816	22,627	22,097	2,018	1,731	1,809	1,909	1,593	1,873	1,692	2,017	2,044	1,917	1,899	1,895	2,115
海外需要を除く	6,656	6,874	6,680	7,656	7,208	6,688	5,945	458	459	489	595	445	516	454	565	731	462	494	469	530

（注）2018 ～ 2020 年は年平均で，2021 ～ 2024 年は四半期ごとの平均値で図示した。
2024 年 7 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

統 計 機関誌編集委員会

建設企業の海外展開

1. はじめに

昨今，少子高齢化が急激に進行しているわが国においては，新興国を中心とした世界の膨大なインフラ需要を取り込むことが重要な課題となっている。2013 年に「インフラシステム輸出戦略」が策定されて以降，毎年改訂されながら，各種施策が推進されてきた。

2020 年 12 月に経協インフラ戦略会議において決定された「インフラシステム海外展開戦略 2025」の達成に向け，官民連携の下でわが国企業は取組みを実施してきた。

このような状況の中，2025 年度の建設企業の海外展開の状況について，海外進出の歴史を踏まえて紹介する。

2. わが国の建設業における海外進出の歴史

わが国の建設業における海外進出の歴史について，国土交通省「わが国建設業の海外展開戦略研究会中間報告書」（2005 年）をみると，初めて商業ベースで海外に進出したのは，1897 年（明治 30 年）に始まった京城と仁川の間を結ぶ京仁鉄道工事からであるとされている。その後，1901 年には京城と釜山の間を結ぶ京釜鉄道工事，1937 年にはメキシコでの道路舗装工事，1939 年にはブラジルでの水力発電工事を実施したという記録が残されている。この間，これら商業ベースの工事とは別に，わが国の領土拡大等を背景とした海外進出も少なくなかった。台湾縦貫鉄道建設（1898 年―1908 年）などの工事が行われたが，1945 年の太平洋戦争に敗戦したことにより，中断することとなった。

戦後，わが国建設業の海外進出は，東南アジアや韓国における賠償工事という形で再開されたと言われている。賠償工事は，1955 年度の当時ビルマ（現ミャンマー）における水力発電所建設が最初であった。本工事は，1954 年 11 月に署名されたわが国とビルマとの賠償及び経済協力に関する協定に基づく賠償工事の第 1 号であった。賠償工事から商業ベースへと移行していったのは 1960 年代に入ってからと言われている。

また，「海外建設協会 30 年の歩み」を見ると，1960 年代の現地法人での受注は 1966 年度にタイ国での 1 件のみであり，他の受注はすべて本邦法人での受注であった。以降，1972 年まで現地法人による受注はなかったと記されている。わが国建設企業の海外進出が本格化したのは 1970 年代に入ってからである。（一社）海外建設協会（以下「海建協」という。）の資料によると，海外受注実績はオイルショックを背景とした中東における受注により 1970 年代から急伸し，1980 年代に入っても伸び続け，1983 年度に初めて 1 兆円を超えることとなった。1996 年度には過去最高額の 1 兆 5,926 億円を記録したが，1997 年のアジア通貨危機の影響により 1999 年度は 7,297 億円まで下落することとなった。2000 年度に入ると 1 兆円台に回復したが，2001 年度には再び 1 兆円を割り込み，以降 3 年間 1 兆円を超えることはなかった。再び 1 兆円台を回復したのは，2004 年度になってからである。

2017 年度以降受注額は 3 年間伸び続け，2019 年度には 2 兆 570 億円となり初めて 2 兆円を超えた。しかし，2020 年度は新型コロナウイルスの影響を大きく受け，世界的に経済が停滞したことにより，受注額は 1 兆 1,142 億円と大きく減少した。このウイルスの感染が落ち着きを取り戻し始めた 2021 年度より再び増加に転じ，2022 年度は再び 2 兆円を超えた。2023 年度には 2 兆 2,930 億円と過去最高の受注額となり，2024 年度には 2 兆 5,808 億円と最高額を更新した（**図―1** 参照）。

3. 2024 年度の海外建設工事受注実績について

2024 年度におけるわが国建設企業の海外建設工事受注実績について，海建協のデータを用いて紹介する。この受注実績は，同協会会員企業 52 社が受注した海外建設工事（1 件 1,000 万以上）を取りまとめたものである。なお，集計は会員各社間（海外法人を含む）および自社の本邦法人と現地法人間の契約案件（元請・下請による重複分）は除外されており，また共同企業体（JV）による受注については各社の出資比率分が計上されている。

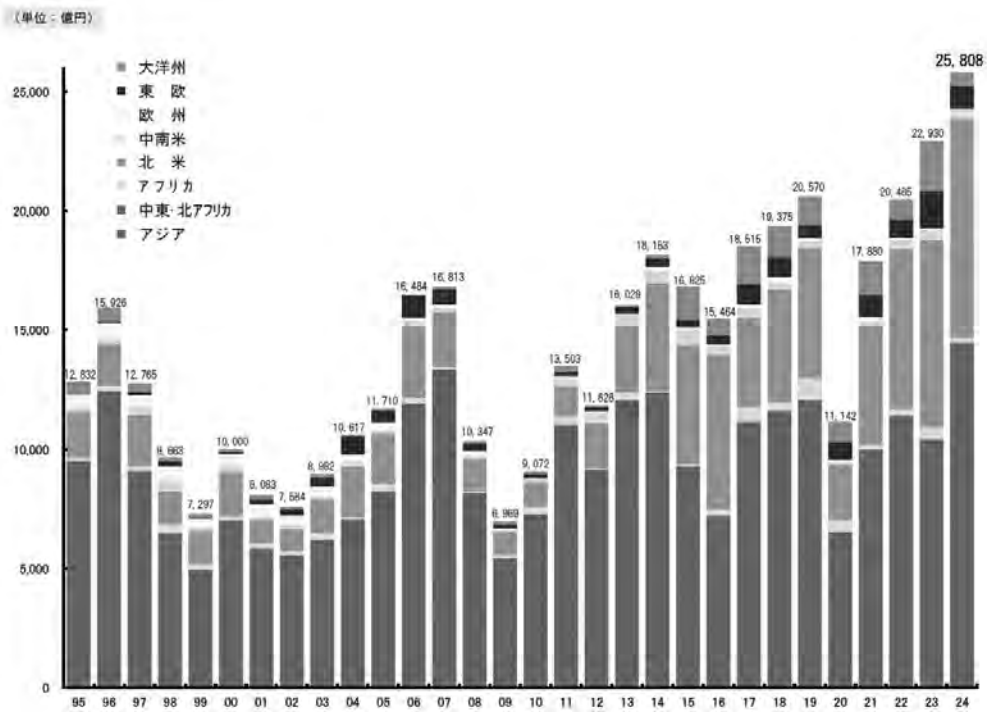
(1) 2024 年度の海外建設工事受注額及び受注件数について

2024 年度の海外建設工事受注額は前年度の受注額 2 兆 2,930 億円と比べ 2,878 億円増の 2 兆 5,808 億円であった。受注件数については，前年度の 1,853 件と比べ 191 件減の 1,662 件であった。

また，2024 年度の海外建設工事受注状況を法人別にみると，本邦法人の受注額は 6,917 億円であり，前年度の 4,123 億円と比べ 2,794 億円（67.8％）上昇した。件数については 407 件となり，前年度の 486 件に比し 79 件減少する結果となった。現地法人の受注額については，1 兆 8,891 億円であり，前年度の 1 兆 8,807 億円に比べ 84 億円（0.4％）の増加となった。件数については 1,255 件となり，前年度の 1,367 件に比し 112 件減少する結果となった（**表―1**，**図―2** 参照）。

(2) 2024 年度各地域における建設工事受注状況について

2024 年度の受注状況を各地域別にみると，アジア，中東・北アフリカ，北米，欧州 4 地域において，前年度より受注額が増加する結果となった。それぞれの地域の受注件数と受注額は，アジアが 1,309 件で 1 兆 4,264 億円（前年度比 39.1％増）中東・北アフリカが 12 件で 190 億円（前年度比 11.2％増），北米が 121 件で 9,161 億円（前年



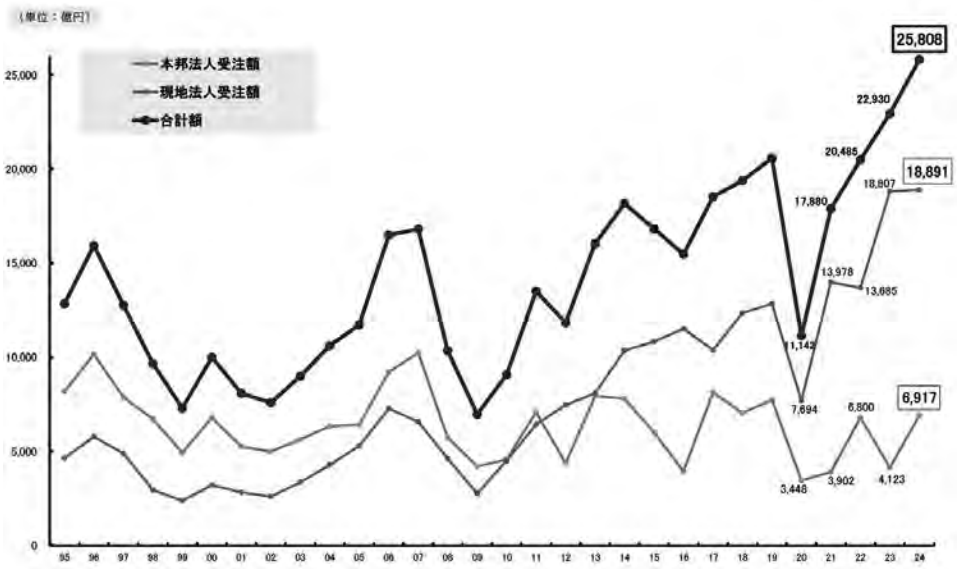
（出典：（一社）海外建設協会）

図―１　海外建設工事受注額（地域別）の推移（1995 年度～ 2024 年度）「海建協調べ」

表―１　2024，2023 年度の海外建設工事受注額の対比「海建協調べ」

（単位：億円）

法人種別	2024 年度		2023 年度		対前年度比：増減	
	件数	金額（構成比率）	件数	金額（構成比率）	件数	金額（前年度比率）
本邦法人	407	6,917　（26.8％）	486	4,123　（18.0％）	－79	2,794　（67.8％）
現地法人	1,255	18,891　（73.2％）	1,367	18,807　（82.0％）	－112	84　（0.4％）
合計	1,662	25,808　（100.0％）	1,853	22,930　（100.0％）	－191	2,879　（12.6％）



（出典：（一社）海外建設協会）

図―２　海外建設工事受注額の推移（1995 年度～ 2024 年度）「海建協調べ」

統　　計

表―2　2024，2023 年度の地域別建設工事受注額の対比「海建協調べ」

（単位：億円）

地域	2024 度		2023 度		対前年比：増減	
	件数	金額（構成比率）	件数	金額（構成比率）	件数	金額（前年度比率）
アジア	1,309	14,264　（55.3%）	1,392	10,252　（44.7%）	－83	4,012　（39.1%）
中　東 北アフリカ	12	190　（0.7%）	14	171　（0.7%）	－2	19　（11.1%）
アフリカ	18	225　（0.9%）	21	501　（2.2%）	－3	－276（－55.1%）
北　米	121	9,161　（35.5%）	148	7,878　（34.4%）	－27	1,283　（16.3%）
中南米	78	401　（1.6%）	119	432　（1.9%）	－41	－31　（－7.2%）
欧　州	18	46　（0.2%）	25	44　（0.2%）	－7	2　（4.7%）
東　欧	55	951　（3.7%）	66	1,557　（6.8%）	－11	－606（－38.9%）
大洋州	51	569　（2.2%）	68	2,094　（9.1%）	－17	－1,525（－72.8%）
合計	1,662	25,808（100.0%）	1,853	22,930（100.0%）	－191	2,879　（12.6%）

度比 16.3%増），欧州が 18 件で 46 億円（前年度比 4.7%増）であった。

増加した 4 地域を受注額の増加額順にみると，アジアが最も増加しており，次いで北米，中東・北アフリカ，欧州の順であった。また，上昇率の高い順にみても，アジアが最も上昇しており，次いで北米，中東・北アフリカ，欧州の順であった。

一方，アフリカ，中南米，東欧，大洋州の 4 地域では，前年度より受注額が減少する結果となった。それぞれの地域の受注件数と受注額は，アフリカが 18 件で 225 億円（前年度比 55.1%減），中南米が 78 件で 401 億円（前年度比 7.2%減），東欧が 55 件で 951 億円（前年度比 38.9%減），大洋州が 51 件で 569 億円（前年度比 72.8%減）であった。

減少した 4 地域を受注額の減少順にみると，大洋州が 1,525 億円と最も減少しており，次いで東欧，アフリカ，中南米の順であった。また，減少率の高い順でみると，大洋州，アフリカ，東欧，中南米の順であった（**表―2** 参照）。

4. おわりに

2025 年度の海外建設受注は，アジアや北米，東欧などにおける建設需要が伸長すると予想されているため，堅調に推移するものと予測されている。

しかし，アメリカ合衆国トランプ大統領の推進する「相互関税」などの政策が及ぼす影響や，中東問題に起因する原油高などをはじめとする国際情勢の影響など，さまざまな不安要素が存在しているため，今後も注視していく必要があると思われる。

行事一覧

（2025年8月1～31日）

機械部会

■コンクリート機械技術委員会

月　日：8月5日（火）（会議室，Web併行開催）

出席者：成澤翔委員長ほか13名

議　題：①見学会に関する協議　②JIS，ISO関連での改正案について協議　③今後の技術発表内容及びスケジュールの確認

■トンネル機械技術委員会・トンネル計測WG

月　日：8月8日（金）（会議室，Web併行開催）

出席者：浅沼廉樹委員長ほか47名

議　題：①特別講演実施（1．MineARC社；機械化トンネル工事と在来型トンネル工事における避難室の紹介　2．㈱演算工房；最近のトンネル計測技術の紹介）　②今後のスケジュールの確認

■基礎工事用機械技術委員会・JCMAS「基礎工事用機械作業エネルギー消費量試験方法」作成WG

月　日：8月22日（金）（Web開催）

出席者：濱口貴和WGリーダほか11名

議　題：①技研製作所様作成のJCMAS草案の検討に際しJCMASエネルギー消費量試験方法説明　②今後の進め方，スケジュールの確認

■ダンプトラック技術委員会

月　日：8月22日（金）（会議室，Web併行開催）

出席者：渡辺浩行委員長ほか7名

議　題：①各社トピックス（1．日立建機㈱；鉱山操業の効率を高めるSolution “LANDCROS Connect Insight”の紹介　2．キャタピラージャパン（同）；持続可能社会に向けての取り組みについて）　②今後のスケジュールの確認

■機械整備技術委員会

月　日：8月27日（水）（会議室，Web併行開催）

出席者：小林一弘委員長ほか11名

議　題：①各社トピックス（1．ユナイト㈱；Hondaが描く電動ビジョン及び電動建機の広がり，バッテリー商流及びGachaco会社概要　2．日立建機㈱；油圧ショベルの電動化，および遠隔・自動化に向けた取り組み）　②バイオ燃料に関する情報共有に向け説明資料の纏め方につき協議　③来年度の委員長の選出について協議

■トンネル機械技術委員会・幹事会

月　日：8月28日（木）（会議室，Web併行開催）

出席者：浅沼廉樹委員長ほか9名

議　題：①見学会候補地の検討　②技術講演会の日程と講演内容について議論　③委員会への新入会員の確認及びWGへの振り分けについて協議　④今後のスケジュールの確認

標準部会

■ISO/TC 195/SC 1 コンクリート機械 委員会

月　日：8月5日（火）

出席者：川上晃一委員長（日工）ほか12名

場　所：機械振興会館会議室及びWeb上（ISO Zoom）

議　題：TC 195ローマ国際会議（9月8～11日）・SC 1総会（9月10～11日）対応協議

■ ISO/TC 195/SC 1/WG 10 ISO/DIS 18651 コンクリート内部振動機 国内専門家会合

月　日：8月6日（水）

出席者：大塚伸夫委員（三笠産業）ほか3名

場　所：Web上（ISO Zoom）

議　題：①DIS 18651「コンクリート内部振動機 - 商業仕様」DISコメント対応検討　②SC 1ローマ総会報告用資料確認　③今後のプロジェクト日程

■ ISO/TC 127/SC 2/WG 35 ISO 22543 機械接近通報装置 国際バーチャルWG会議

月　日：8月7日（木）夜・12日（火）夜

出席者：米国からSpomerコンビナー（Bobcat社），日本から鈴木邦利委員（コマツ）ほか12名（Web）

場　所：Web上（ISO Zoom）

議　題：①接近警報色に関する日本案審議　②今後の予定：次回WG：9月23～26日（米国）

■ ISO/TC 127/SC 3/JWG 16-ISO 23870 走行式機械 - 高速相互接続 国際バーチャルWG会議

月　日：8月14日（木）夜・15日（金）夜

出席者：米国からM.Kerryプロジェクトリーダー（Deere社），日本から正田明平（協会事務局）ほか20名

場　所：Web上（ISO Zoom）

議　題：①第3部と第10部WG意見照会へのコメント審議　②CD省略可否についてのWG内意見確認　③今後の予定：次回WG：11月4～6日（ドイツ・ベルリン）

■ ISO/TC 127/SC 3/WG 5-ISO/TS 15143-4 土工機械及び走行式道路工事機械 - 施工現場情報交換 - 第4部：施工現場地形データ国際WG会議（ハイブリッド）

月　日：8月19日（火）～22日（金）

出席者：（対面）日本から中川智裕コ・コンビナー（コマツ），正田明平（JCMA事務局），米国からDeere社N.Bollwegコ・コンビナー（コマツ）ほか9名，（Web）村山貴之委員（Earthbrain）ほか5名

場　所：ニュージーランド・クライストチャーチ市Trimble社会議室及びWeb上（Google Meet）

議　題：①第3部（テレマティクスデータ･改訂）スコープ審議　②第5部（ロジスティクスデータ・予備業務提案）スコープ審議　③中国が推進するコンクリート機械用施工現場情報交換規格PWI 5342への対応　④今後の予定：次回WG 10月1日（バーチャル）

建設業部会

■三役会

月　日：8月18日（月）

出席者：坂下誠部課長ほか4名（内，Web参加1名）

議　題：①8/19クレーン安全情報委員会の予定報告　②8/21機電交流企画委員会の予定報告内容（機電職就活ガイド改訂進捗，10/9-10機電技術者意見交換会計画等）　③その他（ICT安全DBの改修内容報告等）

■クレーン安全情報委員会

月　日：8月19日（火）

出席者：古口光委員長ほか9名（内，Zoom参加1名）

議　題：①移動式クレーン運転士安全衛生教育更新講習『災害ゼロに向けて』2025年度改訂について（予定：ゲラ確認）　②事故事例発表　③その他

■機電交流企画委員会

月　日：8月21日（木）

出席者：篠宮政幸委員長ほか9名（内，Zoom参加1名）

議　題：①機電職就活ガイドの改訂進捗報告　②10/9-10「第25回機電技術者意見交換会」計画　③その他

レンタル業部会

■コンプライアンス分科会

月　日：8月5日（火）（Web 会議併用）
出席者：兼子分科会長ほか 9 名
議　題：①部会長･分科会長挨拶　②「トラブルシューティングマニュアル」作成について　③各社からの報告事項・情報交換

各種委員会等

■機関誌編集委員会

月　日：8月6日（水）
出席者：中野正則委員長ほか 26 名
議　題：①令和 7/11 月号（第 909 号）（港湾・海洋・海岸施設）計画　②令和 7/12 月号（第 910 号）（先端建設技術）素案　③令和 8/1 月号（第 911 号）（建設機械）編集方針　④令和 7/8 月～令和 7/10 月号（第 906 ～ 908 号）進捗状況報告　※通常委員会及び Zoom にて実施

■新工法調査分科会

月　日：8月20日（水）
出席者：石坂仁分科会長ほか 3 名
議　題：①新工法情報の持ち寄り検討　②新工法紹介データまとめ　③その他

支部行事一覧

北海道支部

■第 2 回施工技術検定委員会

月　日：8月22日（金）
場　所：札幌市（(一社）日本建設機械施工協会北海道支部 会議室）
出席者：板橋伸明総括試験監督者ほか 10 名
議　題：建設機械施工管理技術検定第二次検定（実技試験）の実施要領等について

■令和 7 年度除雪機械技術講習会（第 3 回）

月　日：8月26日（火）
場　所：小樽市（小樽経済センター）
受講者：96 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

東北支部

■令和 7 年度 基礎技術講習会（インフラ DX）（主催：東北土木技術人材育成協議会）

【座学 1】インフラ DX 概論（講師：東北地方整備局 企画部）
【実習 1】遠隔 VR システム体験ほか（講師：JCMA 東北支部）
【実習 2】3 次元測量（講師：JCMA 東北支部）
【実習 3】遠隔臨場（講師：JCMA 東北支部）
【実習 4】遠隔臨場・鉄筋探査（講師：JCMA 東北支部）
⑤回目
場　所：東北技術事務所 研修棟
月　日：8月7日（木）
受講者：20 名

■ EE 東北 '25 第 3 回実行委員会 作業部会（Web 会議）

月　日：8月20日（水）
出席者：東北技術事務所 佐藤英樹 副所長ほか 16 名
内　容：①EE 東北 '25 実施報告　②EE 東北 '25 決算　③EE 東北 '25 アンケート概要　④ EE 東北 '26 について

■東北地方整備局インフラ DX 研修（Ⅰ期）

月　日：8月18日（月）～ 22 日（金）のうち 21 日（木）
内　容：【座学】ICT 活用工事概要，ICT 活用工事の 3 次元計測，ICT 建設機械・【実習】計測実習（TLS，LiDAR）
受講生：10 名（整備局，自治体職員）

■令和 7 年度 1・2 級建設機械施工管理技術検定第二次検定（実技）試験の試験監督者打合せ

月　日：8月21日（木）
場　所：宮城県仙台市 西尾レントオール㈱東北テクノヤード
出席者：布宮明道事務局長ほか 21 名
内　容：新規試験監督者講習，CMI 制作 DVD 視聴，実技試験実施要領，出題・採点基準の説明と打合せ

■令和 7 年度 1・2 級建設機械施工管理技術検定第二次検定（実技）試験

月　日：8月22日（金）～ 26 日（火）
場　所：宮城県仙台市 西尾レントオール㈱東北テクノヤード
受験者数：

種別	1 級	2 級	合計
1 種	29	42	71
2 種	34	371	405
3 種	8	14	22
4 種	38	16	54
計	109	443	552

■東北道路啓開計画等協議会 第 1 回委員会

月　日：8月22日（金）
場　所：東北地方整備局 12 階災害対策室（Web 併用）
出席者：東北地方整備局 井上圭介道路部長ほか 55 名
内　容：①東北道路啓開協議会規約について　②道路法改正による道路啓開の新たな枠組みについて（概要）　③今後の進め方

■ EE 東北 '25 第 3 回実行委員会（Web 併用）

月　日：8月25日（月）
場　所：ハーネル仙台
出席者：東北地方整備局 中尾吉宏企画部長ほか 28 名
内　容：①EE 東北 '25 実施報告　②EE 東北 '25 決算　③EE 東北 '25 アンケート概要　④ EE 東北 '26 について

■ふくしま・けんせつフェア 2025

月　日：8月30日（土）・31 日（日）
場　所：日本大学工学部 50 周年記念館（ハット NE）（福島県郡山市）
主催者：（一社）福島県建設業協会（共催 日本大学工学部，福島県）
後　援：（一社）日本建設機械施工協会東北支部ほか
展示内容：けんせつの「学び」や「しごと」を見て，触れて，体験しよう【㈱アクティオ：遠隔操縦バックホウ「ショベルカーを遠隔操作で動かそう」，福井コンピュータ㈱：VR「バーチャルで工事現場を体験しよう」】
出席者：布宮明道事務局長ほか 3 名，㈱アクティオ，福井コンピュータ㈱
来場者：全体約 4,000 人（遠隔操縦：83 人，VR：147 人）

北陸支部

■令和 7 年度 第 1 回 北陸地方整備局新技術活用評価会議

月　日：8月5日（火）
場　所：北陸地方整備局 4F 会議室
出席者：星野施工技術部会長
内　容：①活用効果事後評価 2 技術　②活用促進技術の指定検討 2 技術　③令和 7 年度推奨技術等の選定結果（報告）

■建設機械施工 外国人技能実習評価試験（8 月期）

月　日：8月20日（水）・21 日（木）
場　所：石川県金沢市 CAT 北陸教習センター
受検者：学科 50 名（初級，専門級），実技 59 名（掘削（小，大），締固め）

■建設機械施工管理技術検定試験
月　日：8 月 23 日（土）・24 日（日）
場　所：石川県小松市 コマツ教習所粟津センタ
受検者：1 級第二次検定（実技）のべ 27 名（第 1 種：7 名，第 2 種：12 名，第 4 種：8 名），2 級第二次検定（実技）のべ 86 名（第 1 種：10 名，第 2 種：71 名，第 4 種：5 名）

■令和 7 年度 第 1 回 北陸圏域道路啓開計画策定協議会
月　日：8 月 29 日（金）
場　所：北陸地方整備局 4F 会議室ほか 2 会場
出席者：髙橋支部長（代理出席：穂苅技師長）
内　容：①北陸圏域道路啓開計画策定協議会規約について　②道路法改正による道路啓開の新たな枠組みについて（概要）　③今後の進め方について　④その他

中　部　支　部

■建設機械施工管理技術検定 第二次検定（実技）
月　日：8 月 29 日（金）～ 31 日（日）
場　所：住友建機販売 愛知教育センター
受験者：1 級 61 名，2 級 177 名

関　西　支　部

■令和 7 年度 1･2 級建設機械施工管理技術検定（第二次検定）試験監督者打合せ
月　日：8 月 8 日（金）
場　所：関西支部
出席者：児玉孝司事務局長以下 6 名
議　題：①実地試験実施要領について　②その他

■令和 7 年度 第 3 回広報部会
月　日：8 月 19 日（火）
場　所：関西支部
出席者：木村泰男広報部会長以下 5 名
議　題：①「JCMA 関西」第 123 号について　②確認事項

■令和 7 年度 1･2 級建設機械施工管理技術検定試験（第二次検定）
月　日：8 月 29 日（金）・30 日（土）
場　所：キャタピラー教習所㈱
延受検者数：129 名（1 級 14 名，2 級 115 名）

中　国　支　部

■令和 7 年度建設機械施工管理技術検定試験 第二次検定（実技）
月　日：8 月 26 日（火）・27 日（水）
場　所：土師ダム上流
受検者：1 級 41 名，2 級 119 名（1 種 16 名，2 種 118 名，3 種 5 名，4 種 21 名）

四　国　支　部

■令和 7 年度建設機械施工管理技術検定【実技】試験監督打合せ
月　日：8 月 8 日（金）～ 21 日（木）間で個別に実施
場　所：日立建機日本㈱中国・四国支社（善通寺市），建設クリエイトビル 4 階 四国支部内（高松市）
参加者：試験監督 8 名参加
議　題：R7 実技試験の実施要領と注意事項について

九　州　支　部

■令和 7 年度 i-con 施工による九州支部生産性向上推進会議幹事会
月　日：8 月 5 日（火）
場　所：リファレンス駅東ビル
出席者：鈴木 i-con 推進会議会幹事長ほか 16 名
議　題：①令和 7 年度 i-con 技術講習会の計画について　②自治体 ICT 施工技術講習会等研修会について　③ JCMA ICT 施工検定試験・更新講習会について　④その他

■建設機械施工管理技術検定 実技試験試験監督者説明会
月　日：8 月 19 日（火）
場　所：㈱リファレンス駅東ビル H-6 会議室
出席者：試験監督者（JCMA）9 名
内　容：試験実施要領等の確認

■企画委員会
月　日：8 月 19 日（火）
場　所：㈱リファレンス駅東ビル H-6 会議室
出席者：14 名
議　題：①令和 7 年度 JCMA 九州支部の主要行事予定について　② i-con 施工による九州支部生産性向上推進会議幹事会の報告　③ JCMA ICT 施工検定試験・更新講習について　④ JCMA 技術講習会について　⑤その他

■建設機械施工管理技術検定 実技試験試験監督者説明会
月　日：8 月 25 日（月）
場　所：コマツ教習所㈱九州センタ
出席者：試験監督者（コマツ）10 名
内　容：試験実施要領等の確認

■建設機械施工管理技術検定試験（実技試験）
月　日：8 月 26 日（火）～ 9 月 1 日（月）
場　所：コマツ教習所㈱九州センタ
受験者：1 級 105 名，2 級 306 名

編 集 後 記

大量生産，大量消費の時代から，将来に向けて持続可能な社会にしていくという社会全体の方向性に伴い，高度成長期に整備された既存構造物・既存設備の更新工事やリニューアル工事の市場も，近年大きくなってきております。

10月号の特集テーマである,『解体，3R，建設発生土・廃棄物処理』を深掘りすることは，技術的だけでなく，人類の喫緊の課題としても非常に重要なことであると捉えることができます。一方で，この分野は，ネガティブな見方や，他に比べて先進的な分野とは言い難いこともあり，社会のルールを逸脱した出来事や，グレーゾーンの存在も多々指摘されている所でもあると思います。また，これまで，何もないところに一から構造物・設備を造ることに専念してきた小職においては，大変難しくもあり，勉強になるテーマでした。

このようなことから，本特集としては，明るい新技術や，その礎となる基礎技術を取り上げることにより，今一度,『解体，3R，建設発生土・廃棄物処理』に正面から向かい合い，再考していくことを再認識していただきたいという思いをもって取り組んでまいりました。

巻頭言では，東海大学の細田先生に『本格化するサーキュラーエコノミー』と題してご寄稿いただきました。先生は，リデュース･リユース･リサイクル推進協議会の会長も務められており,『共創原理によって建設副産物の高度な利用を』と述べられております。

また，行政情報として，今なお記憶に深く刻まれている福島第一原子力発電所の事故における，除染土壌等に関する取り組みについて環境省から情報提供をいただいております。

特集報文では，RC 床版の解体・撤去技術や世界最大級の大型重機による煙突の解体技術，解体した建物の構造部材を新築構造物へ活かすリユースの取り組み，産業廃棄物処理施設の DX 技術導入事例等を紹介しています。

今号で紹介した様々な技術が，将来に向けた持続的社会の創造の一助となることを期待しております。

最後になりますが，ご多忙のところ急なお願いにも関わらずご寄稿いただきました皆様，編集にご尽力いただきました皆様に，心より御礼を申し上げます。

（岡田・丹）

機関誌編集委員会

編集顧問

今岡　亮司　加納研之助
後藤　　勇　新開　節治
関　　克己　田中　康之
田中　康順　中岡　智信
渡邊　和夫　見波　　潔

編集委員長

中野　正則　日本ファブテック㈱

編集委員

吉田　真人　国土交通省
大津　太郎　農林水産省
早矢仕　明　㈱鉄道・運輸機構
岡本　直樹　(一社)日本機械土工協会
丹　　秀男　鹿島建設㈱
田村　　憲　大成建設㈱
岡田　雄大　清水建設㈱
田下依莉花　㈱大林組
鈴木　秀之　㈱竹中工務店
小林　茂樹　㈱熊谷組
田浦　義真　㈱奥村組
京免　継彦　佐藤工業㈱
加取　　新　鉄建建設㈱
副島　幸也　㈱安藤・間
眞鍋　　匠　五洋建設㈱
那須野陽平　東亜建設工業㈱
佐藤　　裕　日本国土開発㈱
丑久保吾郎　㈱ NIPPO
室谷　泰輔　コマツ
二塚　勇吾　キャタピラージャパン
花川　和吉　日立建機㈱
丹治　雅人　コベルコ建機㈱
漆戸　秀行　住友建機㈱
大竹　博文　㈱加藤製作所
田島　良一　古河ロックドリル㈱
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

11 月号「港湾・海洋・海岸施設特集」予告

・港湾工事における二酸化炭素排出量削減に向けた検討 WG における取組紹介　・港湾工事における“新技術カタログ”第 2 弾　・先行杭方式を用いた大型ジャケットによる桟橋工事　・水中掘削機による硬質地盤対応のオープンケーソン工法　・超大型プレキャスト部材を用いた桟橋上部工の急速施工技術　・水中作業の ICT 技術 水中無人化施工技術の開発　・3D プリンティング技術を用いた施工効率化の取組　・港湾コンクリート構造物に対する高機能型表面保護塗料の開発　・実写 VR 空間で杭の誘導が行える「Pile T-Real」を開発　・浚渫作業が体験可能なゲームシミュレーターの開発　・UAV ヘリによる港湾施設の 3 次元形状測量システム　・LiDAR-SLAM 技術を活用した運搬船積載量計測システム　・海底調査技術（しんりゅう 6000）　・RaftCam を使用した桟橋上部工と海面の狭隘空間における床版下面部点検技術　・水中フォトグラメトリ装置による構造物点検への応用

【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 77 巻第 10 号（2025 年 10 月号）（通巻 908 号）
Vol. 77　No. 10　October　2025
2025（令和 7）年 10 月 20 日印刷
2025（令和 7）年 10 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 静岡県富士市大渕 3154	電話（0545）35-0212
北 海 道 支 部	〒 060-0003 札幌市中央区北三条西 2-8	電話（011）231-4428
東 北 支 部	〒 980-0014 仙台市青葉区本町 3-4-18	電話（022）222-3915
北 陸 支 部	〒 950-0965 新潟市中央区新光町 6-1	電話（025）280-0128
中 部 支 部	〒 460-0003 名古屋市中区錦 3-7-9	電話（052）962-2394
関 西 支 部	〒 540-0012 大阪市中央区谷町 2-7-4	電話（06）6941-8845
中 国 支 部	〒 730-0013 広島市中区八丁堀 12-22	電話（082）221-6841
四 国 支 部	〒 760-0066 高松市福岡町 3-11-22	電話（087）821-8074
九 州 支 部	〒 812-0013 福岡市博多区博多駅東 2-4-30	電話（092）436-3322

本誌上への広告は Santana 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

Denyo

www.denyo.co.jp

精密さとパワーで建設の現場を支える。

発電機・溶接機・コンプレッサは抜群の性能を誇るデンヨー製品で!



発電機

図書館内並の低騒音を実現!
静音発電機マーリエ



50Hz-7m
43dB

DCA-25MZ

溶接機

最大溶接電流500A&インバータ制御
炭酸ガスエンジン溶接機



溶接電流 500A
(炭酸ガス/ガウジング/手溶接)

交流電源
三相 25 kVA

DCW-500LSE

コンプレッサ

アフタクーラ/アフタウォーマ内蔵
電子制御で低燃費&低騒音



DIS-670LS-D

●技術で明日を築く
デンヨー株式会社

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

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

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



洋上風力発電ジャケット基礎杭工事

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

YOSHINAGA

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

Santana ART WORKS 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

本誌に掲載されている広告のお問い合わせ、資料の請求はメール、FAX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：

所　　属：

会社名(校名)：

資料送付先：

電 話：　　FAX：

E-mail：

広告掲載 メーカー名	製品名

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

Mikasa
http://www.mikasas.jp



街づくりを支える、信頼の三笠品質。

転圧センサー
バイブロコンパクター
MVH-308DSC-PAS

タンピングランマー
MT-55H

超低騒音型　No.6760



MVC-e60
NETIS No. KT-210039-A



MRH-603DS-SS
NETIS No. KT-190125-VE



MUV-Fe32



MT-e55
NETIS No. KT-210039-A

三笠産業株式会社
MIKASA SANGYO CO., LTD. TOKYO, JAPAN
本社　〒101-0064 東京都千代田区神田猿楽町1-4-3 TEL：03-3292-1411（代）

大阪支店 TEL：06-6745-9631
札幌営業所 TEL：011-892-6920
仙台営業所 TEL：022-238-1521
新潟出張所 TEL：080-1049-0634
北関東営業所 TEL：0276-74-6452
長野出張所 TEL：080-1059-2116
中部営業所 TEL：052-504-3434
金沢出張所 TEL：080-1013-9542
中国営業所 TEL：082-875-8561
四国出張所 TEL：087-868-5111
九州営業所 TEL：092-431-5523
南九州出張所 TEL：080-1013-9547
沖縄出張所 TEL：080-1013-9328

確かな技術で世界を結ぶ　*Attachment Specialists*

可動式ハイキャブ



任意の高さに停止可能

油圧式マグネット



産廃物からの金属片取り出しなどに効果を発揮

自動車解体機



車の解体・分別作業を大幅にスピードアップ

ラバウンティシァ サーベルシリーズ



船舶・プラント・鉄骨物解体に威力を発揮

マテリアルハンドラ



ワイドな作業範囲で効果の良い荷役作業

ウッドシァ



丸太や抜根を楽々切断

マルマテクニカ株式会社

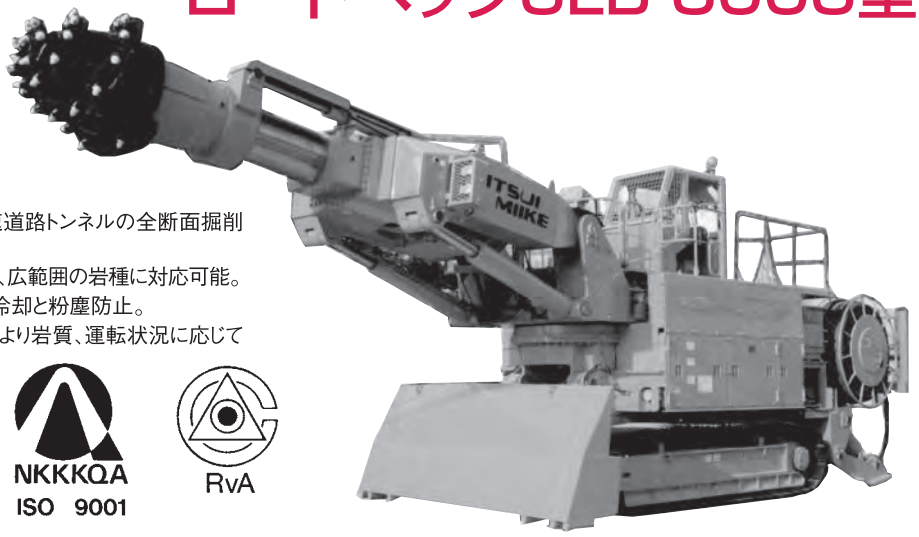
■ 名古屋事業所
愛知県小牧市小針2-18　〒485-0037
電話 0568(77)3312
FAX 0568(77)3719

■ 本社・相模原事業所
神奈川県相模原市南区大野台6丁目2番1号　〒252-0031
電話 042(751)3800
FAX 042(756)4389

■ 東京工場
東京都世田谷区桜丘1丁目2番22号　〒156-0054
電話 03(3429)2141
FAX 03(3420)3336

安全・高能率な掘削を実現!

全断面対応中硬岩用 トンネル掘進機
ロードヘッダSLB-300S型



特　長

1. 最大8.8mの掘削高さで、新幹線、高速道路トンネルの全断面掘削が可能。
2. 300kW:2速切換型電動機の採用により、広範囲の岩種に対応可能。
3. ピック先端に高圧水を散水させ、ピック冷却と粉塵防止。
4. モード切換式パワーコントロール装置により岩質、運転状況に応じて作動設定の変更が可能。
5. 運転操作が優れ、全操作がリモートコントロールで運転可能。
6. ケーブルリール装置により、電源ケーブルの取扱いが容易で移動が迅速。

NKKKQA
ISO 9001

RvA

製造・販売・レンタル及びメンテナンス

株式会社 三井三池製作所

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

http://www.mitsuimiike.co.jp　E-mail：sanki@mitsuimiike.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

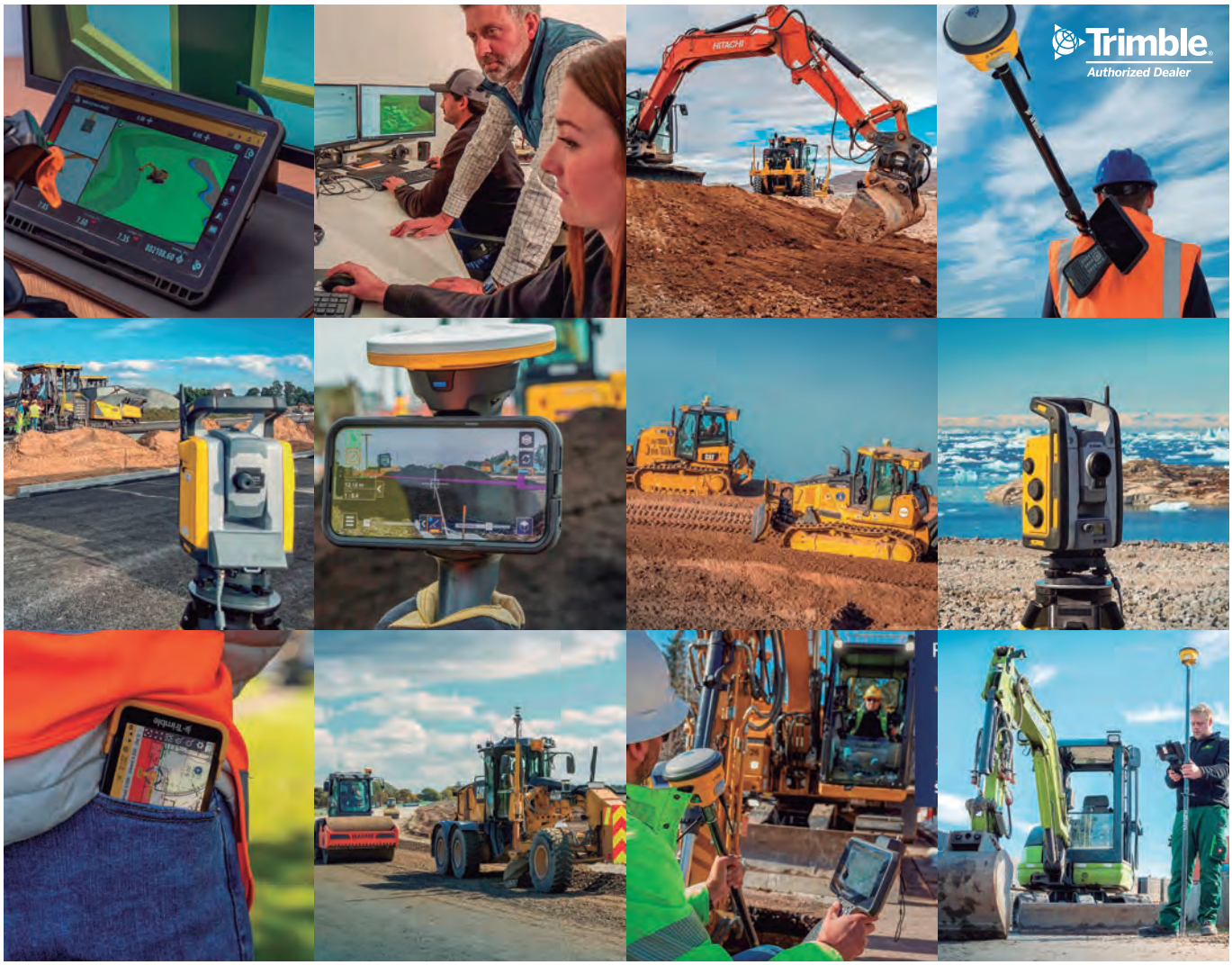
ダイワテレコン810

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
大和機工株式會社

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

令和7年10月25日発行
（毎月1回25日）通巻908号





SITECH JAPAN PREMIUM SHOW

サイテックジャパンプレミアムショー

とどく、近未来

担い手不足、働き方改革。待ったなしの皆様へ
２０２６年もサイテックジャパンプレミアムショーで、近未来のテクノロジーをご体験くださいますようお願い申し上げます。

サイテックジャパン プレミアムショーご紹介

千葉で開催しましたサイテックジャパンプレミアムショーの一部を動画でご紹介いたします。どうぞ下記のQRコードからアクセスください。

自動スライドグレーダー	自動操舵ドーザー	自動操舵ローラー	自律施工油圧ショベル

雑誌 03435－10

4910034351053
00800

「建設機械施工」　定価 八八〇円（本体八〇〇円＋税10％）