

一般社団法人
日本建設機械施工協会誌 (Journal of JCMA)

2024

建設機械施工

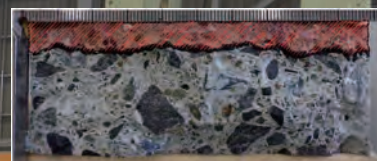


Vol.76 No.4 April 2024 (通巻890号)

特集 新しい建設材料 コンクリート工 コンクリート構造



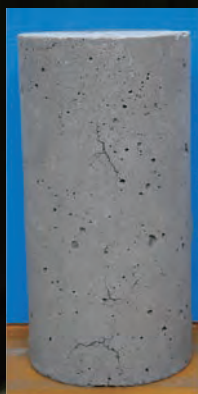
(a) セメントコンクリート



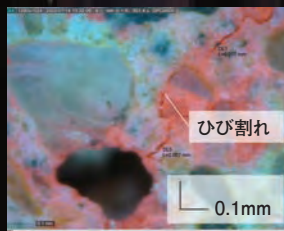
(b) ジオポリマーコンクリート



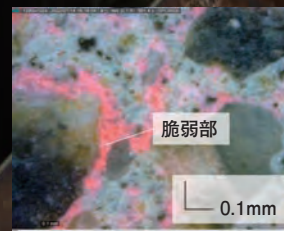
3体平均の
質量減少率48%
(a) セメントコンクリート



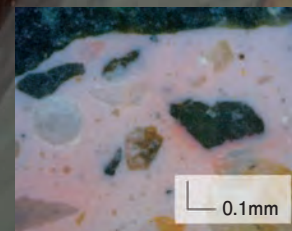
3体平均の
質量減少率3.4%
(b) ジオポリマーコンクリート



(a) 普通コンクリート



(b) 中流動コンクリート



(c) ジオポリマーコンクリート

脱炭素社会と新たな価値創造を実現する建設新材料ジオポリマーコンクリートの開発

巻頭言 カーボンニュートラル化に向けて

特集技術報文

- 炭素繊維強化プラスチックの廃棄物を繊維補強コンクリートに再生利用
- バイオ炭を混和した環境配慮型コンクリートの現場適用
- 海外工事で用いる生コンクリートのフレッシュ性状診断システム
- 耐荷力および耐久性の向上と省力化を実現した電気防食工法の開発
- 凍結しないPCグラウトの開発と実用化
- バクテリアを活用した自己治癒コンクリートの国内展開 他

行政情報

- コンクリート生産性向上検討協議会の動向
- [特別寄稿] 令和6年能登半島地震における国土交通省の災害対策用車両の取り組み
- 新地盤凍結工法「ICECRETE (アイスクリート)」の高度化実証実験
- 解体祭を通じた地域とのかかわりにおける再生コンクリート
- 実家の畑の奮闘記
- 趣味と物へのこだわり

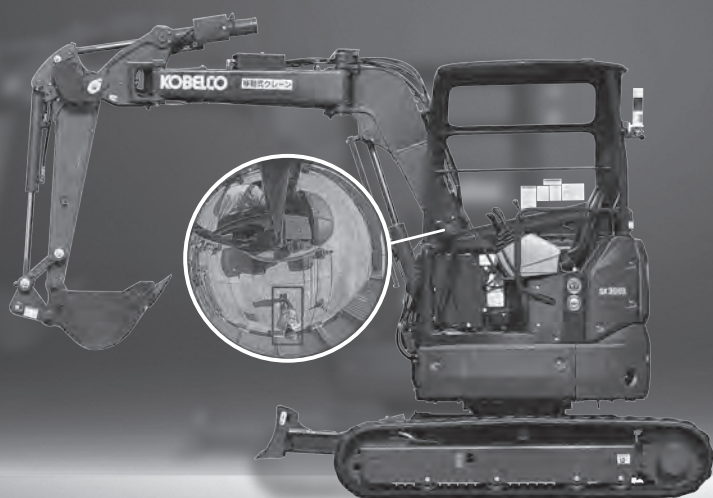
交流のひろば

ずいそう

一般社団法人 日本建設機械施工協会

KOBELCO

機械周辺の人を認識して知らせることで 効率よく作業を行える衝突軽減装置



人
検知



検知対象外

※警報・停止機能はモノに
対しては作動対象外です。

広い範囲を監視

“人”を検知して機械を“停止”

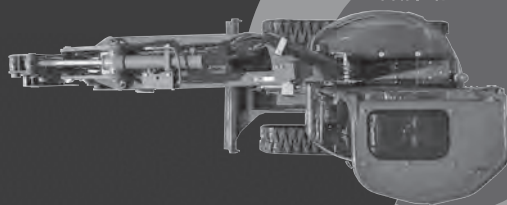
※現場の状況により検知精度に影響が出る場合があります。

ミニショベル向け衝突軽減装置

OmniEye®

NETIS登録済

車両搭載可能AIカメラ(KK-200027-VE)



【運転員への警告エリア】

キャノピー:半径2.5m/キャブ:半径2.7m

【周囲の人への警報/機械停止エリア】

キャノピー:半径1.8m/キャブ:半径2.0m

コベルコ建機日本
WEBサイト



コベルコ建機日本株式会社

本社/〒272-0002 千葉県市川市二俣新町17番地 ☎047-328-7111
www.kobelco-kenki.co.jp

◆ 日本建設機械施工協会『個人会員』のご案内

会 費：年間 9,000円(不課税)

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

★個人会員の特典

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

この機会に是非ご入会下さい!!

◆一般社団法人 日本建設機械施工協会について

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

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

一般社団法人 日本建設機械施工協会とは…

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

■会員構成

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

■主な事業活動

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

■主な出版図書

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

その他、日本建設機械施工協会の活動内容はホームページでもご覧いただけます！

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

※お申し込みには次頁の申込用紙をお使いください。

【お問い合わせ・申込書の送付先】

一般社団法人 日本建設機械施工協会 個人会員係

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館2F

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

一般社団法人 日本建設機械施工協会 会長 殿

下記のとおり、日本建設機械施工協会 個人会員に入会します。

令和 年 月 日

個人会員入会申込書

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

【会費について】年間 9,000円(不課税)

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

【その他ご入会に際しての留意事項】

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

【個人情報の取扱について】

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

論文投稿のご案内

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

当協会ホームページ <https://jcmanet.or.jp/>

★投稿対象

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

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

★部門

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

★投稿資格

原稿の投稿者は個人とし、会員資格の有無は問いません。

★原稿の受付

随時受け付けます。

★公表の方法

当協会機関誌へ掲載します。

★機関誌への掲載は有料です。

★その他：優秀な論文の表彰を予定しています。

★連絡先

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8（機械振興会館）

日本建設機械施工協会 研究調査部 論文担当

E-mail : ronbun@jcmanet.or.jp

TEL : 03 - 3433 - 1501

FAX : 03 - 3432 - 0289

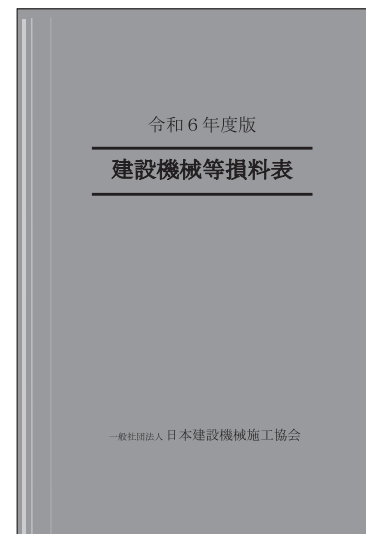
令和6年度版 建設機械等損料表

- 発売日 : 令和6年4月25日
- 体裁 : A4判 モノクロ 474ページ
- 定 価 : 一般価格 本体 8,800円 (税・送料別)
 会員価格 本体 7,480円 (税・送料別)

■ 内容

令和6年度版の構成項目は以下のとおりです。

- 第Ⅰ章 機械損料の構成と解説
- 第Ⅱ章 関連通達・告示等
- 第Ⅲ章 損料算定表の見方(要約版)
- 第Ⅳ章 建設機械等損料算定表
- 第Ⅴ章 船舶損料算定表
- 第Ⅵ章 ダム施工機械等損料算定表
- 第Ⅶ章 除雪用建設機械等損料算定表



書籍の表紙イメージ

一般社団法人 日本建設機械施工協会

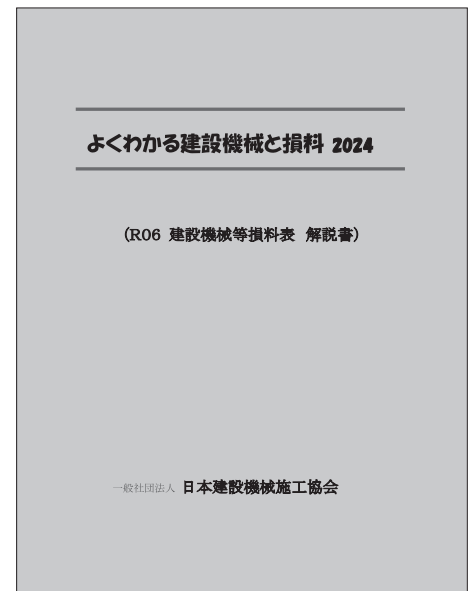
(R06 建設機械等損料表 解説書)

「よくわかる建設機械と損料 2024」の発売について

一般社団法人 日本建設機械施工協会は、5月下旬に書籍
「よくわかる建設機械と損料 2024」を発売します。

本書は先に発売した書籍「令和6年度版建設機械等損料表」の
記載・掲載内容をわかりやすく解説したもので、多くの特長を持って
います。

単に損料に関する理解を深めるだけではなく、機械そのものに
対する幅広い知識を得るという点においても有益・有効な資料と
考えます。是非ご活用ください。



書籍の表紙イメージ

***** 記 *****

■発売予定日：令和6年5月下旬

■体 裁：A4判、一部カラー、約330ページ(見込み)

■本体価格(税別・送料別)：一般:6,600円 会員:5,610円

■内容・特長

- (1) 損料用語を平易な表現でわかりやすく解説
- (2) 換算値損料や損料補正值の計算例を紹介
- (3) 令和6年度版 建設機械等損料算定表の主な改正点を表にして紹介
- (4) 建設機械器具のコード体系を大分類別に図示
- (5) 損料算定表掲載の機械器具の概要・特徴を写真・図を添えて紹介
- (6) 主要な建設機械については、メーカー・型式名を表にして紹介
- (7) 索引でヒットしない機械について、その要因と対処方法を表にして紹介

***** 以上 *****



(一社) 日本建設機械施工協会 発行図書一覧表 (令和 6 年 4 月現在)

消費税 10%

No.	発行年月	図 書 名	一般価格 (税込)	会員価格 (税込)	本部 送料
1	R6 年 4 月	令和 6 年度版 建設機械等損料表	9,680	8,228	770
2	R5 年 10 月	道路除雪施工の手引 (第 17 版)	4,950	3,960	770
3	R4 年 5 月	大口径岩盤削孔工法の積算 令和 4 年度版	6,600	5,610	770
4	R4 年 5 月	よくわかる建設機械と損料 2022	6,600	5,610	770
5	R4 年 3 月	日本建設機械要覧 2022 年版	53,900	45,100	990
6	R3 年 1 月	情報化施工の基礎 ～ i-Construction の普及に向けて～	2,200	1,870	770
7	H30 年 8 月	消融雪設備点検・整備ハンドブック	13,200	11,000	770
8	H29 年 4 月	ICT を活用した建設技術 (情報化施工)	1,320	1,122	770
9	H26 年 3 月	情報化施工デジタルガイドブック 【DVD 版】	2,200	1,980	770
10	H25 年 6 月	機械除草安全作業の手引き	990	880	770
11	H23 年 4 月	建設機械施工ハンドブック (改訂 4 版)	6,600	5,610	770
12	H22 年 9 月	アスファルトフィニッシャの変遷	3,300	2,970	770
13	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
14	H22 年 7 月	情報化施工の実務	2,200	1,870	770
15	H21 年 11 月	情報化施工ガイドブック 2009	2,420	2,178	770
16	H20 年 6 月	写真でたどる建設機械 200 年	3,080	2,618	770
17	H19 年 12 月	除雪機械技術ハンドブック	3,300	2,970	770
18	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
19	H17 年 9 月	建設機械ポケットブック (除雪機械編)	1,100	990	770
20	H16 年 12 月	除雪・防雪ハンドブック (除雪編) 【CD-R】	5,500	4,950	770
21	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
22	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
23	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
24	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
25	H15 年 6 月	地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル	550	495	770
26	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
27	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
28	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
29	H11 年 5 月	建設機械化の 50 年	4,400	3,960	770
30	H11 年 4 月	建設機械図鑑	2,750	2,475	770
31	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
32	H9 年 5 月	建設機械用語集	2,200	1,980	770
33	H6 年 8 月	ジオスペースの開発と建設機械	8,470	7,623	770
34	H6 年 4 月	建設作業振動対策マニュアル	6,380	5,742	770
35	H3 年 4 月	最近の軟弱地盤工法と施工例	10,450	9,405	770
36	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
37		建設機械履歴簿	440	396	770
38	毎月 25 日	建設機械施工	880	792	770
			定期購読料 年 12 冊 10,032 円 (税・送料込)		

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

特集	新しい建設材料, コンクリート工, コンクリート構造
巻頭言	4 カーボンニュートラル化に向けて 野口 貴文 東京大学大学院 工学系研究科 建築学専攻 教授
行政情報	5 コンクリート生産性向上検討協議会の動向 全体最適の導入 (コンクリートの規格の標準化等) 国土交通省大臣官房技術調査課建設システム管理企画室
行政情報・特別寄稿	14 令和6年能登半島地震における国土交通省の 災害対策用車両の取り組み 渡邊 賢一 国土交通省大臣官房参事官 (イノベーション) グループ施工企画室企画専門官
特集技術報文	20 炭素繊維強化プラスチックの廃棄物を 繊維補強コンクリートに再生利用 サーキュラーエコノミーの推進に貢献する「リカボクリート®工法」を開発 平田 隆祥 (株)大林組 技術本部 技術研究所 上級首席技師 沼田 裕介 トヨタ自動車(株) 素材材技術部 基盤開発室 主任
	25 バイオ炭を混和した環境配慮型コンクリートの現場適用 SUSMICS-C【 <u>S</u> ustainable+ <u>S</u> MI(炭)+ <u>C</u> arbon <u>S</u> torage+ <u>C</u> oncrete】の開発 幸田 圭司 清水建設(株) 土木技術本部 基盤技術部 コンクリート G 主任
	31 カーボンリサイクル・コンクリート 「T-eConcrete®/Carbon-Recycle」の社会実装の進展 カーボンネガティブを実現したコンクリートの現状と種々の特徴 大脇 英司 大成建設(株) 技術センター T-eConcrete 実装プロジェクトチーム 荣誉研究員 加藤 優志 大成建設(株) 技術センター 都市基盤技術研究部 構造研究室 主任 宮原 茂禎 大成建設(株) 技術センター 社会基盤技術研究部 材工研究室 課長
	37 海外工事で用いる生コンクリートのフレッシュ性状診断システム AI を実装した WEB アプリ “Slump Checker” の開発 岩城 圭介 鉄建建設(株) 建設技術総合センター 研究開発センター 副所長
	42 軟弱な海底地盤の表層をカルシア改質土に改良する 新技術「バッチ式原位置混合法」 北門 亨允 日本海工(株) 海環境事業推進部 次長 谷本 尚希 日本海工(株) 技術部
	47 脱炭素社会と新たな価値創造を実現する建設新材料 ジオポリマーコンクリートの開発 木作 友亮 (株) IHI 技術開発本部 技術基盤センター 主任研究員 倉田 幸宏 (株) IHI 建材工業 技術本部 開発部 部長
	53 耐荷力および耐久性の向上と省力化を実現した電気防食工法の開発 アラミド繊維・電気防食併用工法 清水宏一朗 三井住友建設(株) 土木本部 土木技術部 リニューアル技術グループ 課長 安藤 重裕 住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 建材製品研究グループ グループリーダー 樋口 正典 三井住友建設(株) 土木本部 次長
	59 環境配慮型コンクリートの開発とエコリーフの取得 右田 周平 戸田建設(株) 技術研究所 構造技術部 主管 尾登 剛 戸田建設(株) イノベーション推進統括部 環境ソリューション部 主管 梅本 宗宏 戸田建設(株) 技術研究所 構造技術部 マスターエンジニア
	62 コンクリート中鉄筋の腐食状態を非破壊で測定する 「Dr.CORR」を研究開発 平間 昭信 飛鳥建設(株) 土木本部 土木技術部 チーフエンジニア 橋本 永手 港湾空港技術研究所 構造研究領域材料研究グループ 研究官 加藤 佳孝 東京理科大学 創城理工学部 社会基盤工学科 教授
	66 凍結しない PC グラウトの開発と実用化 吉岡 憲一 日本高圧コンクリート(株) PC 事業部 技術部長 井上 真澄 北見工業大学 工学部 社会環境系 教授 須藤 裕司 日産化学(株) 化学品事業部 基礎化学品営業部 部長

	72	バクテリアを活用した自己治癒コンクリートの国内展開	大橋 未来 会澤高圧コンクリート㈱ 未来開発本部
	76	AIを利用したコンクリート打設管理システムの開発 構造物の品質向上と現場管理業務の効率化及びトレーサビリティの確保	橋本 大雅 鉄建建設㈱ 土木本部 i-Con 推進部 課長代理
交流のひろば	81	新地盤凍結工法「ICECRETE（アイスクリート）」の 高度化実証実験	相馬 啓 ケミカルグラウト㈱ 地盤改良部 部長 吉川 正 (一財)先端建設技術センター 審議役 西 征一郎 成和リニューアルワークス㈱ 技術部プロジェクト室 課長
	86	解体祭を通じた地域とのかかわりにおける再生コンクリート	長谷川顕花 ㈱都市テクノ 営業部 企画課 (現)再生コンクリート事業担当
ずいそう	91	実家の畑の奮闘記	森部 広邦 鉄建建設㈱ 土木本部 土木部
	93	趣味と物へのこだわり	中山 俊彦 ㈱シーティーエス 執行役員 甲信営業部 部長
JCMA 報告	95	2024 ふゆトピア・フェア in 北広島 除雪機械展示・実演会 開催報告	企画部
部会報告	102	コマツ栗津工場, 岩崎工業(株)見学会 報告	機械部会 除雪機械技術委員会
	104	(株)筑豊製作所 北九州支店見学会 報告	機械部会 機械整備技術委員会
	107	新工法紹介	機関誌編集委員会
	109	新機種紹介	機関誌編集委員会
統計	112	建設工事受注額・建設機械受注額の推移	機関誌編集委員会
	113	行事一覧 (2024 年 2 月)	
	116	編集後記 (平田・佐藤)	

◇表紙写真説明◇

脱炭素社会と新たな価値創造を実現する建設新材料ジオポリマーコンクリートの開発

写真提供：(株) IHI

セメントを全く使用しないメタカオリンを主体としたジオポリマーコンクリート「セメノンTM」は、CO₂ 排出量が削減できるだけでなく、セメントコンクリートとは異なる特徴を有する材料である。圧縮強度と静弾性係数との間に線形の相関が見られること、高い耐酸性を有すること、線膨張係数がセメントコンクリートと大きく異なること等を確認した。

実構造物への適用に向けて、下水道シールドセグメントを試作した。ジオポリマーコンクリートのセグメントであっても、鉄筋降伏後に圧縮破壊に至る曲げ引張破壊を呈した。また、セグメントの曲げ耐力は設計荷重を大きく上回り、セメントコンクリートと同等の構造性能が得られることを確認した。

2024 年(令和 6 年)4 月号 PR 目次
【ア】朝日音響㈱……………後付 1
【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 4
大和機工㈱……………表紙 3

【マ】マルマテクニカ㈱……………後付 6
三笠産業㈱……………後付 5
㈱三井三池製作所……………表紙 3

【ヤ】吉永機械㈱……………後付 2

巻頭言

カーボンニュートラル化に向けて

野 口 貴 文



2050年カーボンニュートラル化に向けた研究開発・生産活動があらゆる産業で精力的に進められている。構造物建設後の使用時の排出、すなわち、建築物の使用時における空調エネルギー・照明エネルギーの使用に伴う排出なども含めると、地球温暖化物質である二酸化炭素（CO₂）排出の50%を占めると想定される建設業界（土木・建築・都市に関わる業界）のカーボンニュートラル化における使命は非常に大きい。カーボンニュートラルを達成するためには、産業を電力部門と非電力部門とに分けた場合、電力部門では①省電力化、②電源の脱炭素化が必要であり、再生可能エネルギー（風力、水力、潮力、太陽光など）を用いた発電への転換などが進められつつある。また、非電力部門では③電化率の向上、④エネルギー・資源の転換、⑤省エネルギー・省電力化が必要であり、非電力部門に属する建設業界においては、低層建築物の木造化や建設現場における重機のハイブリッド化、ZEB（ゼブ、Zero Energy Building）・ZEH（ゼッチ、Zero Energy House）の開発などが進められている。しかしながら、これら5つの方策だけでカーボンニュートラルを達成することは不可能であり、CCS（炭素の回収・貯留、Carbon Capture & Storage）・CCUS（炭素の回収・利用・貯留、Carbon Capture, Utilization & Storage）が必要不可欠とされている。

CCSについては、北海道苫小牧においてNEDO・経済産業省・環境省の受託事業として大規模実証実験が行われている。隣接する製油所で発生したCO₂を分離・回収した後に、海底下3,000mの深度にある火山岩類からなる貯留層、および1,000mの深度にある砂岩からなる貯留層にまで圧入し、泥岩からなる遮蔽層で封じ込めようとする実験であり、2012～2019年において約30万トンのCO₂を圧入し、ここまで安定的な貯留の継続に成功している。ただし、今後、CCSを本格的に事業化しようとする場合には、低コスト化、CO₂輸送手段の確立、貯留適地の確保、法整備などに

加えて、周辺環境へ悪影響を及ぼさないことを永久保証しなければならなくなり、課題は山積している。

一方、CCUSについては、ごみ焼却場、石炭火力発電所、製鉄所、セメント工場などで発生する排ガス中に含まれる高濃度のCO₂、および大気中に広く低濃度で分散しているCO₂を回収して、メタン、エタノール、ウレタン、ポリカーボネートなどといった燃料や化学製品などに変換して再利用する技術であるが、その中には、CO₂をカルシウム（Ca）やマグネシウム（Mg）と結合させて炭酸塩にし、それを有効利用しようとする技術が含まれている。この炭酸塩化は、気体としては安定した状態にあるCO₂をさらに低いエネルギー状態にある炭酸塩（CaCO₃、MgCO₃など）にする技術であるため、地球上では自然に生じる反応を利用したエネルギーのかからない方策である。現在、世界各国において、CO₂を利用したコンクリートそのものの炭酸化技術、およびCO₂から生産された炭酸塩のコンクリートでの利用技術の開発が精力的に進められており、将来、革新的なコンクリートが登場し、従来のポルトランドセメントを用いたコンクリートに置き換わる可能性すら予想される。そうなった場合には、コンクリートの製造方法、構造物の建設方法も、全く想定すらできない方法に置き換わる可能性もある。今後の研究開発の方向性に目を尖らせ、普及可能性の高い技術を見極め、設備・機器も開発を進めていく必要がある。

地球上においてなされる人類の活動は、地球システムに悪影響を与えない形でなされなければならない。つまり、生産活動を地球の自然の循環に組み込むことができるか、地球環境には影響を全く及ぼさない閉鎖系での生産活動体系を構築できるか、が我々に課せられた課題である。

——のぐち たかふみ

東京大学大学院 工学系研究科 建築学専攻 教授

特集>>> 新しい建設材料、コンクリート工、コンクリート構造

行政情報

コンクリート生産性向上検討協議会の動向

全体最適の導入（コンクリートの規格の標準化等）

国土交通省大臣官房技術調査課建設システム管理企画室

国土交通省では、建設産業における生産性の向上や担い手確保等のため、2016年から「i-Construction」を推進しているところである。中でも「全体最適の導入（コンクリート工の規格の標準化等）」についてはi-Constructionの3つのトップランナー施策のうちの一つに位置づけられており、「コンクリート生産性向上検討協議会」を中心に検討を進め、各種ガイドラインの策定等を進めてきたところである。これらの取組については、「建設機械施工 Vol.72 No.9 September 2020」において紹介したところであるが、本稿においては前回掲載時以降の取組及び今後の取組を中心に、コンクリート工の生産性向上に向けた取組を紹介する。

キーワード：i-Construction、生産性向上、コンクリート工、プレキャストコンクリート

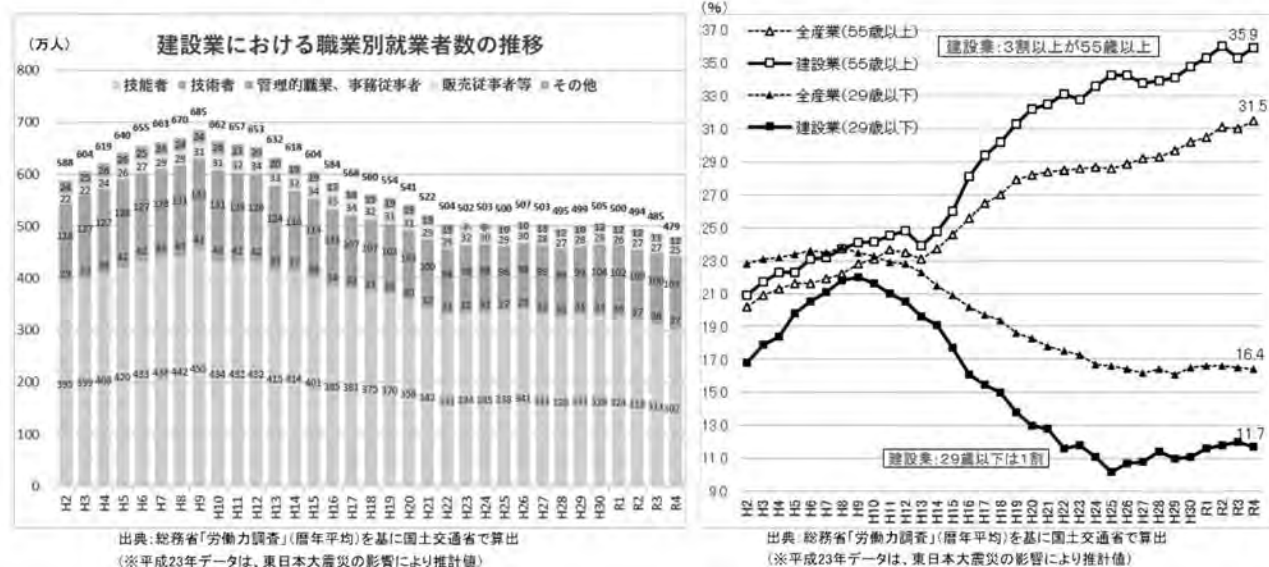
1. はじめに

我が国は、2010年の1億2,806万人をピークに人口減少が始まっており、加えて極めて速いスピードで高齢化も進みつつある。また、我が国の生産年齢人口は1995年をピークに減少局面に突入しており、建設業就業者数もピーク時（1997年）より約30%減少している。年齢構成別では、55歳以上が約36%を占め、29歳以下が約12%にとどまるなど、全産業の中でも就業者の高齢化が著しく進行している（図－1）。今後10年間に、60歳以上の高齢者（約25%、83万人）

の大量離職が見込まれており、それを補う若手入職者の確保、次世代への技術の承継が喫緊の課題である。

このような状況の中、潜在的な成長力を高めるとともに、新たな需要を掘り起こしていくため、働き手の減少を上回る生産性の向上等が求められている。また、産業の中長期的な担い手確保・育成等に向けて、働き方改革を進めることも重要である。

こうした観点から、国土交通省では、2016年より、生産性の向上に取り組んでいるところであり、調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までのあらゆる建設生産プロセスにおいて抜本的に生産性を向



図－1 建設業就業者の推移と年齢構成の変化

上させるために「i-Construction」を推進してきた。

i-Construction においては、トップランナー施策として、「ICT の全面的な活用 (ICT 土工)」、「全体最適の導入 (コンクリート工の規格の標準化等)」、「施工時期の平準化」を設定し、それぞれについて取り組むべき事項を整理した。

本稿では、「全体最適の導入 (コンクリート工の規格の標準化等)」について、プレキャスト製品の適用検討 (大型構造物への適用に向けた VFM の検討) の取組を中心に紹介する。

なお、コンクリート工の生産性向上については、「建設機械施工 Vol.72 No.9 April 2020」において紹介していることから、本稿においては、2020 年 4 月以降の取組を中心に紹介する。

2. 生産性向上に取り組む背景

我が国では、人口減少が進むとともに、極めて速いスピードで高齢化も進みつつあり、経済成長を継続させるためには、生産性を向上させていく必要があると考えられる。

かつての高度経済成長期の実質 GDP 成長率は 1956 年～1970 年までの間の年平均で 9.6%であったが、その間の労働力人口の伸び率は年平均 1.4%程度であり、高度成長の大部分は生産性の向上がもたらしたものであるということが出来るが、近年は生産性が低下しており、生産性向上こそが、これからの成長のキーワードといえる。

このような状況から、調査・測量から設計、施工、検

査、維持管理・更新までのあらゆる建設生産プロセスにおいて抜本的に生産性を向上させる i-Construction は重要な施策の一つである。

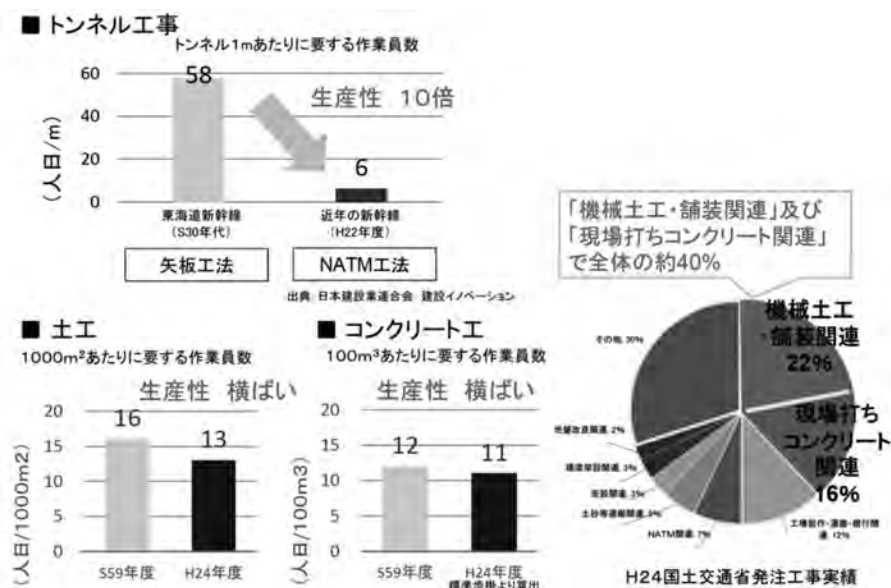
i-Construction を進める上でのポイントは、衛星測位技術や IoT の急速な発展を踏まえ、i-Construction を進めるための視点等について、「建設現場を最先端の工場へ」、「建設現場へ最先端のサプライチェーンマネジメントを導入」及び「建設現場の 2 つの「キセイ」の打破と継続的な「カイゼン」の 3 つに整理した。また、i-Construction のトップランナー施策として、「ICT の全面的な活用 (ICT 土工)」、「全体最適の導入 (コンクリート工の規格の標準化等)」、「施工時期の平準化」を設定し、それぞれについて取り組むべき事項を整理した。

労働力不足は、ピンチのように見えるが、危機的な状況を解決するためのイノベーションを喚起し、建設現場を変えるチャンスでもある。

建設現場の抜本的な生産性向上のためには、3 つのトップランナー施策から取組を始め、対象工種の拡大や継続的な「カイゼン」を進め、建設現場の全てにわたって i-Construction を浸透させることにより、建設現場の生産性革命を実現しなければならない。

今後、ICT、IoT の更なる進展により、想像を超えるイノベーションが起き、建設現場での働き方が大きく変わり、女性や高齢者等といった方々にとって、活躍する機会が大幅に拡大することが期待されるとともに、建設現場で働く人々の労働環境改善や、若い世代の建設業への入職増加も期待される。

i-Construction については、前述したような生産性



図一 2 生産性向上の状況

向上に取り組んでいるところであるが、トップランナー施策に位置付けられている土工とコンクリート工の生産性を他工種と比較すると、例えばトンネル工事の生産性は約50年間で10倍程度向上しているのに対し、土工及びコンクリート工の生産性は30年前からほとんど向上が見られていない。一方で、土工とコンクリート工は直轄工事の全技能労働者の約4割を占めており、改善による効果が大きいと考えられ、積極的に取り組むべき課題となっている（図—2）。

3. コンクリート工の生産性向上の課題

i-Constructionのトップランナー施策の一つである「全体最適の導入（コンクリート工の規格の標準化等）」における課題は以下のとおりである。

建設現場は屋外生産が基本であり、気象条件により作業が影響を受けやすく、特に現場打ちコンクリートは気温が4℃～25℃の環境で打設することが標準とされている。さらに、夏季、冬季における作業に制限がかかるとともに、降雨によっても影響を受けることもあり、計画的な施工が困難な特徴を有する。加えて、橋梁等の構造物によっては、高所作業が必要となり、

危険が伴う労働環境での作業となる。また、型枠の設置、鉄筋の組立などが建設現場毎に異なり、作業が複雑となることから、これに従事する技能労働者も一定程度のスキルが必要となる。

一方、工場製作であるプレキャスト製品を活用する場合は、同サイズの製品を大量に使用する機会は限定的であり、スケールメリットが生じにくい特徴がある。そのため、工場の稼働状況の平準化のために受注を先読みして製品を工場で作成することが考えられるが、同規格の製品が発注されなければデッドストックとなるリスクがあることから、受注してから生産するという工程にならざるを得ず、安定的な生産によるコストダウンが難しい環境にある。

コンクリート工においては、このような課題により、生産性の飛躍的な向上は進みにくかったと考えられる。

4. コンクリート工の生産性向上に向けた検討

(1) これまでの経緯

前述の課題を踏まえ、国土交通省では、有識者、関係団体、研究機関及び発注者が参画する「コンクリート生産性向上検討協議会（以下、「協議会」という）」

表—1 コンクリート生産性向上検討委員会（委員と検討内容）

委員	協議会の内容
■有識者（○会長） 綾野 克紀 岡山大学大学院環境生命自然科学研究科 教授 石橋 忠良 JR 東日本コンサルタンツ(株) 技術統括 小澤 一雅 東京大学大学院工学系研究科 教授 橋本 親典 徳島大学大学院社会産業理工学研究部 教授 久田 真 東北大学大学院工学研究科 教授 ○前川 宏一 横浜国立大学総合学術高等研究院 客員教授 ■関係団体 （一社）日本建設業連合会コンクリート技術部会 （一社）全国建設業協会土木専門委員会 （一社）日本建設躯体工事業団体連合会・東京建設躯体工業協同組合 （一社）全国基礎工事業団体連合会 （一社）建設コンサルタンツ協会 全国生コンクリート工業組合連合会 コンクリート用化学混和剤協会 （一社）プレストレスト・コンクリート建設業協会 （一社）全国コンクリート製品協会 （公社）全国土木コンクリートブロック協会 （一社）道路プレキャストコンクリート製品技術協会 ■研究機関・発注機関 国土技術政策総合研究所 （国研）土木研究所 （国研）港湾空港技術研究所 東日本高速道路(株) （独）水資源機構	・第1回（H28.3.3）：協議会の設置 ・第2回（H28.3.31）：今後の取組方針と検討体制・項目について議論 ・第3回（H28.9.28）：新技術の導入方策等について議論 ・第4回（H29.3.17）：スランプ規定やサプライチェーンマネジメント等について議論 ・第5回（H29.10.10）：全体最適の導入、今後の検討方針等 ・第6回（H30.3.15）：要素技術の一般化、全体最適を図る方法の検討等 ・第7回（H30.9.21）：これまでの取組の整理、全体最適を図る方法の検討等 ・第8回（H31.3.14）：全体最適を図る方法の検討等 ・第9回（R2.7.31）：規格の標準化の検討等 ・第10回（R3.2.9）：規格の標準化の検討等・生コン電子化の検討等 ・第11回（R4.3.1）：規格の標準化の検討等・生コン電子化の検討等 ・第12回（R5.2.9）：規格の標準化の検討等・生コン電子化の検討等 ・第13回（R6.2.28）：規格の標準化の検討等・生コン電子化の検討等

を2016年3月に設置し、次に示す3つの柱を中心にコンクリート工の生産性向上に向けた検討を進めてきており、協議会はこれまでに13回開催されている（表—1）。

- (a) 現場打ち工法とプレキャスト工法のそれぞれの特性に応じた「規格の標準化・要素技術の一般化」
- (b) 調査・測量から設計、施工、監督・検査、維持管理・更新までの建設生産プロセス全体の最適化を図る「全体最適の導入」
- (c) コンクリート工に係る調達・製造・運搬・打設等の各工程の改善を図るための「サプライチェーンマネジメント」

このうち、「規格の標準化・要素技術の一般化」では、施工の効率化が図られる技術、例えば、機械式鉄筋定着工法やプレハブ鉄筋などの技術に関するガイドラインを整備するほか、スランプ規定の見直しやサプライチェーンマネジメントなどにも通じる部材の仕様・サイズなど標準化の検討を進めている。

また、「全体最適の導入」では、ボックスカルバートなどのコンクリート構造物の工法選定において、これまでは従来工法（現場打ち工法）に対してコスト面を中心とした形式や工法選定としていたが、これからはコスト（Money）に対して、省人化、働き方改革寄与度、安全性向上、環境負荷低減などのコスト以外の価値（Value）を評価する考え方を取り入れて「最大価値」で評価することの検討を進めている。

さらに「サプライチェーンマネジメント」では、コンクリート工において、工事受注者、専門工事会社、工場（生コン、プレキャスト製品製作）等、建設現場関係者を含む協議の場を設置し、コンカレントエンジニアリングの考え方を導入し、より効率的なサプライチェーンマネジメントを導入することを検討している。具体的取組としては、生コン情報の電子化（帳票の電子媒体化・スランプの画像解析）に関する検討及びコンクリートの品質管理・検査の省力化に向けたあり方検討を進めている（図—3）。

(2) プレキャスト製品の適用検討（大型構造物への適用に向けたVFMの検討）の取組

(a) 検討プロセス

従来、コンクリート構造物の設計にあたっては、複数の工法や工種を対象に技術面やコスト面、環境面など様々な観点から比較し、設計を行ってきた。

こうした現場打ち工法とプレキャスト工法の比較検討が行われると、プレキャスト工法は現場打ち工法に比べコストが割高になりやすく、コストを重視した比較ではプレキャスト工法が不採用となることが通例であった。そこで、各部材の寸法や材料などの仕様を条件明示する「仕様規定」から、コンクリート構造物に求められる要求性能を明示する「性能規定」とするための考え方をとりまとめ、「土木工事に関するプレキャストコンクリート製品の設計条件明示要領（案）（平

	検討事項	コンクリート工の課題	課題解決に向けた取組
規格の標準化・要素技術の一般化	◆新技術の導入 ・機械式定着工法 ・機械式継手工法 ・流動性を高めたコンクリート	・施工性に優れた新工法、新技術に関する基準が未整備 ・現場打ちコンクリートは、気象条件により作業影響を受けやすく、計画的な施工が困難	以下の基準について整備。※() 対応年度 ・機械式鉄筋定着工法(H28) ・機械式鉄筋継手工法(H28) ・流動性を高めたコンクリート(H28) ・埋設型枠・プレハブ鉄筋(H30) ・コンクリート橋のPCa化(H30)
	◆現場作業の屋内作業化 ・鉄筋プレハブ化 ・埋設型枠	・プレキャスト製品は、受注生産のため、安定的な生産によるコストダウンが難しい	
	◆部材の規格の標準化		・PCa設計条件明示要領(案)(H28) ・土木構造物設計ガイドラインの改訂(H30)
	◆大型構造物への適用		・PCa構造物への機械式鉄筋継手工法(H30) ・大型PCaの活用事例集の作成(R1、R3) ・特殊車両で運搬可能な規格のPCa化(R2)
全体最適	生産性向上に資する技術・工法の導入を促す ◆入札・契約方式の検討	従来の工法より割高な場合が多いことから、設計時に採用されにくく、普及が進まない	・新技術導入促進、ECI方式等の入札・契約方式の導入
	経済性以外の効果を評価する ◆設計手法の検討		・予備設計段階等における比較検討項目の明示(H29) ・VFMを取り入れた評価指標の検討 ・民間の審査制度の活用
SM	◆サプライチェーンマネジメントの導入	コンカレントエンジニアリングの考え方が未導入	・生コン情報の電子化に向けた試行の実施 ・品質管理・検査の省力化に向けたあり方検討 ・革新的新技術の導入・活用

図—3 コンクリート工の生産性向上に向けた検討事項

成 28 年 3 月)」を策定した。

また、プレキャスト工法は、現場打ち工法に比べ工場で製作されるため、天候の影響を受けにくく製品を先行的に製造することも可能となり、組み立て等の作業の機械化による省人化、安全性の向上及び工期短縮などの効果も期待されている。一方、プレキャスト工法は、現場打ち工法に比べコストが高いという課題や運搬上の制約等の課題もあった。この運搬上の制約等の課題を解消し、中型以上のコンクリート構造物におけるプレキャスト製品の導入促進のため、プレキャスト製品の運搬にあたっての留意事項を示し、特殊車両により運搬可能な規格のコンクリート構造物については原則、プレキャスト化することの取組を通知した。「コンクリート構造物の設計・施工段階における生産性向上の取組（令和 3 年 3 月）」に加えて、コスト以外の評価項目を考慮した VFM の概念を取り入れ「最大価値」となるような工法比較検討を導入することにより、更なるプレキャスト製品の導入による生産性向上や省人化を目指してきたところである。

(b) VFM の概念

設計時、橋梁などの橋種を選定する際には、構造物の施工（初期）費用や維持管理費等のライフサイクルコストとともに、価格以外の要素も評価する VFM を取り入れた評価手法が開発されている。これは、同じ価値（Value）のものであればより安く、同じ価格（Money）であればより価値の高いものを購入するという考えであり、仕様規定によって一定の価値（要求性能）が定められている土木構造物であっても、工法の比較検討において、従来の最低価格ではなく、最大

価値を有するものを選定する比較方法である（図—4）。

(c) 現状と課題

繰り返しとなるが土木工事におけるプレキャスト製品の導入は、現場打ち工法とのコスト差が低い小型の製品を中心に活用が進んでおり、中型・大型のプレキャスト製品については、コスト高や運搬の困難さなどにより採用実績が伸び悩んでいた。

この課題を踏まえ、これまで設計条件明示要領、設計ガイドライン及び活用事例集などを策定・改定し、プレキャスト製品の導入の促進を図ってきた。特に小型構造物に対しては「土木工事に関するプレキャストコンクリート製品の設計条件明示要領（案）（平成 28 年 3 月）」によりプレキャスト製品の性能規定化を行い、中型構造物に対しては「コンクリート構造物の設計・施工段階における生産性向上の取組（令和 3 年 3 月）」により、特殊車両により運搬可能な規格のコンクリート構造物については、原則、プレキャスト製品を使用することとしプレキャスト製品の導入を進めてきた（図—5）。

しかし、大型のプレキャスト製品については、標準的な単価設定のないメーカー開発品（特注品）となり、採用にあたりコスト高の影響がより顕著となるため、このコストの課題を解決することの検討が求められていたところである。

(d-1) VFM の考えを取り入れた評価項目の検討

コスト以外の建設現場に寄与する評価項目を検討しプレキャスト製品の導入を図っていくにあたっては、まずは VFM の考えを取り入れた現場打ち工法とプレキャスト工法の比較検討の評価項目を設定することが

プレキャスト工法の導入

建設現場において生産性向上を図る上で、従来工法に対してコスト面を中心とした形式や工法を選定していた。これからは、コストを意識しつつも、VFM の考えを取り入れ「最大価値」となるような検討を導入することとする。

Value for Money の採用

コストの課題解決のため、VfM の考え方を PCaI において採用。

VFM (Value For Money) の概念・・・最大価値 > 最低価格

支払 (Money) に対して最も価値 (Value) の高いサービスを提供するという考え方のこと

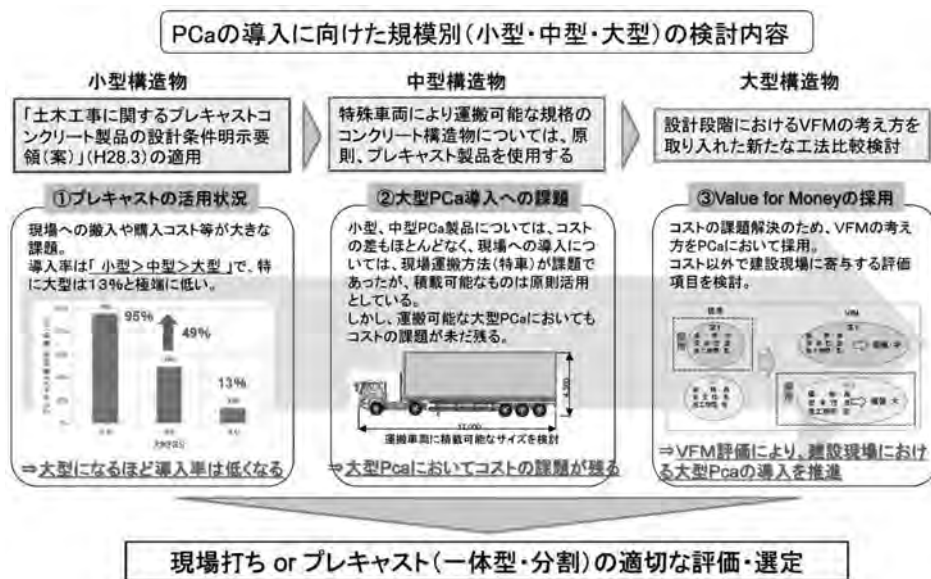


コスト以外の評価項目（案）

- ・省人化効果
- ・働き方改革寄与度
- ・安全性向上
- ・環境負荷低減 等

コスト以外で建設現場に寄与する項目を検討。大型 PCaI 導入に向けた評価項目等を検討し、工法比較における評価の考え方の確立を目指す。

図—4 VFM の考えを取り入れたプレキャスト工法の導入



図ー5 プレキャスト製品の導入に向けた規模別の検討内容

表ー2 VFMの考えを取り入れた評価項目一覧

項目	評価項目	評価細目	評価指標
コスト	費用比較	建設費(概算工事費のみ)	概算工事費(現場条件によっては仮設工や諸経費等の縮減・削減を考慮)
		建設費(設計費込み)	詳細設計費+概算工事費(現場条件によっては仮設工や諸経費等の縮減・削減を考慮)
定量的評価	省人化効果	現場施工作業員の省人化	総人工数
		熟練工の省人化	熟練工(型枠工・鉄筋工・支保工)等の総人工数
		設計～施工に要する労働力の省人化	設計から施工(PCaは製作含む)に要する総人工数
	働き方改革寄与度	工期の短縮(または休日確保)	施工日数(または休日日数)
	安全性向上	労働者の災害リスク	総人工数および施工日数
	環境負荷低減	コンクリートの使用量	CO ₂ 排出量
		CO ₂ 削減効果	製作過程での排出量の差分を反映
	第三者への影響	道路の通行止め日数または迂回距離長さ	道路の通行止めの日数または迂回距離の長さ
定性的評価	省人化・省力化	工事書類の削減・管理の効率化	認定製品対象の有無等
		技能者不足	技能者不足の地域での人工数の低減を評価
	働き方改革寄与度	生産性の向上による働き方改革推進への寄与	生産性向上寄与度(施工日数以外で評価、技術者の負荷軽減度等)
	安全性向上	施工時の安全性向上	総人工数や施工日数以外の高所作業の減少、施工期間の短縮等より、安全性向上を評価
		自動化施工、無人化施工	自動化施工、無人化施工による労働災害リスクの低減効果より、安全性向上を評価
	出来形及び出来ばえ	損傷のしにくさ	コンクリートの仕上がり(美観)や施工初期の強度確保
		塩害・凍害の起こりにくさ	コンクリートの密実性等から、塩害や凍害によるコンクリートの劣化の発生のしにくさ
	施工性(生産性向上)	工事工程への貢献度	通年施工のしやすさを評価
		埋設物の施工制約	仮移設する埋設物の施工性を評価
		施工ヤード(進入路)の確保	施工ヤード(進入路)の確保のしやすさを評価
	施工への影響	施工時期の制約	当初施工条件と大幅に異なる施工期間への対応のしやすさを評価
		地域特性	潮待ち、冬季の積雪影響、降雨影響
	維持・管理	維持管理	補修・修繕の頻度の高低を評価
	景観	景観デザイン	周辺環境との調和

必要となる。評価項目については、橋梁の形式選定の手引きやプレキャスト製品の採用に関する既存のマニュアル・ガイドライン等を参考に「コスト」及び「コスト以外の評価項目（定量的評価項目・定性的評価項目）」を設定し適用の検討を進めている。また、地域特性や現場条件等を考慮して複数設定しており、この中から抽出して運用することが出来るようにしている。

なお、項目毎の評価項目・細目及び指標については、以下の考え方及び表—2のとおりとしている。

- ・「コスト」については、「建設費（概算工事費）」または「建設費（概算工事費）と設計費（詳細設計費）」の合計とした。
- ・「定量的評価項目」については、評価指標を数値でできる項目を設定し、「省人化効果」「働き方改革寄与度」「安全性向上」「環境負荷低減」「第三者への影響」としている。
- ・「定性的評価項目」については、地域性や現場条件を考慮した数値化できない項目を設定し、「省人化・省力化」「働き方改革寄与度」「安全性向上」「出来形及び出来ばえ」「施工性（生産性向上）」「施工への影響」「維持・管理」「景観」としている。

上記評価項目のそれぞれの細目・指標については、表—2のとおり。

(d-2) VFM の考えを取り入れた評価方法の検討

VFM の考えを取り入れた評価方法については、現

場打ち工法とプレキャスト工法の比較検討項目（コスト・定量的評価項目・定性的評価項目）の配点の配分方法、重み付けの検討を進めている。既存のマニュアル・ガイドライン等では、コスト（50点）と定量的評価（50点）として設定し、合計100点として評価する事例が多く見られている。

本検討では、コスト・定量的評価に加えて定性的評価も加味して配点（重み付け）を検討することとしたため、過年度業務（5事例）を用いて、プレキャスト工法と現場打ち工法の評価点を同等とした場合の費用倍率について評価点を変化させて比較検討を実施した。比較検討では、「土木工事におけるプレキャスト工法の活用事例集」などのデータから中型及び大型のプレキャスト工法と現場打ちコンクリート工法の費用倍率が約2倍となっていることを踏まえ、プレキャスト工法が現場打ち工法の費用の2倍の時の評価点を基準点となるような検討を行った（表—3）。

比較検討の結果、評価点の配分は、コスト（60点）、定量的評価項目（24点）、定性的評価項目（16点）となった。

また、評価項目及び配点（重み付け）の詳細として、定量的評価項目及び定性的評価項目の配点を（d-3）の算定方法により算出するものとした。さらに、表—4に評価項目の配点（重み付け）一覧を示す。工法選定比較検討にあたっては、CASE1を基本とし、工事内容や規模、地域性及び現場条件等に応じてCASE2

表—3 配点比較検討表

番号	対象構造物	大きさ	CASE 1（R4年度成果）	CASE 2-1	CASE 2-2
			コスト50% 定量的評価50% 定性的評価 0%	コスト50% 定量的評価38% (10点×3、8点×1) 定性的評価 12%（3点×4）	コスト50% 定量的評価30% (8点×3、6点×1) 定性的評価 20%（5点×4）
1	ボックスカルバート	B3×H3.5	2.8倍	3.6倍	4.5倍
2		B4×H4	3.8倍	4.5倍	6.3倍
3		B4.5×H4	2.6倍	3.3倍	4.4倍
4		B2×H2.5	4.5倍	5.5倍	6.9倍
5		B2.5×H2.3	2.6倍	3.3倍	4.8倍
平 均			3.3倍	4.0倍	5.4倍
評 価			—	×	×

番号	対象構造物	大きさ	CASE 2-3	CASE 2-4	CASE 2-5
			コスト64% 定量的評価22%（6点×4） 定性的評価 12%（3点×4）	コスト60% 定量的評価32%（8点×4） 定性的評価 8%（2点×4）	コスト60% 定量的評価24%（6点×4） 定性的評価 16%（4点×4）
1	ボックスカルバート	B3×H3.5	1.7倍	1.8倍	2.0倍
2		B4×H4	1.8倍	2.0倍	2.2倍
3		B4.5×H4	1.6倍	1.8倍	1.9倍
4		B2×H2.5	1.8倍	2.1倍	2.2倍
5		B2.5×H2.3	1.6倍	1.8倍	1.9倍
平 均			1.7倍	1.9倍	2.0倍
評 価			△	○	◎

表—4 評価項目の配点（重み付け）一覧表

項目	評価項目	CASE1		CASE2
		基本配点		地域特性等で選択
コスト評価	費用比較	60 点	60 点	60 点
定量的評価	省人化効果	24 点	6 点	「第三者への影響」を追加する場合は各項目を 4.8 点とする
	働き方改革寄与度		6 点	
	安全性向上		6 点	
	環境負荷低減		6 点	
	第三者への影響		—	
定性的評価	省人化・省力化	16 点	4 点	左記の評価項目より 4 項目を選択し各項目を 4 点とする
	働き方改革寄与度		4 点	
	安全性向上		4 点	
	出来形及び出来映え		4 点	
	施工性（生産性向上）		—	
	施工への影響		—	
	維持・管理		—	
	景観		—	

のように評価項目を選定することができることとした。

（d-3）VFM の考えを取り入れた評価点の算定方法
最終的なプレキャスト工法と現場打ち工法の比較は、コスト（60 点）、定量的評価項目（24 点）、定性的評価項目（16 点）の合計 100 点で比較する。

・コスト、定量的評価

評価指標の優れる数量（評価指標）を満点として、劣る数量は満点×比率により算出。

$$\text{評価点} = \text{比率（優れる数量／劣る数量）} \times \text{配点}$$

・定性的評価

評価指標の優れる評価指標を満点として、劣る評価指標は 0 点とする。

（d-4）VFM の考えを取り入れたプレキャスト導入に向けた今後の展開

今後は、前述の（d-1～3）の検討を踏まえた試行に向けた要領（案）を作成し、各地方整備局の過年度業務成果に適用した試算（検証）及び直轄の新規の設計業務において試行を実施し、受発注者（施工者含む）へのフォローアップ調査などを踏まえて要領（案）に反映していくことを検討することとしている。

このように、各評価項目・細目・指標及び配点（重み付け）については、コンクリート生産性向上検討協議会での議論や試行などを踏まえ更なる検討を進めていくこととしている。

（3）サプライチェーンマネジメントの導入

生コンの生産性向上については、PRISM（革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト）で取組が始

まった「生コン情報の電子化」によるサプライチェーンマネジメントの導入について建設業団体と協力して検討を進めている。

（a）生コン帳票の電子媒体化

生コン帳票の電子媒体化は、従来、紙で管理されていた生コン帳票を製造・出荷・現場受入れ・施工・品質管理の記録を全てクラウド上に保存することで生コン工場の出荷状況や施工現場の打設状況を「見える化」し、供給者、受注者と発注者の 3 者がリアルタイムで確認することができるようになる。このため、施工品質の向上及び省力化が期待されている（図—6）。

現在、全国の 16 件程度の現場において、生コン帳票の電子媒体化が試行され、従来と比べて内業時間の短縮・生コン車の待機時間の減少など施工者及び供給者の両者から好意的な意見が得られている。

令和 6 年 3 月に改定される JIS A5308（レディミクストコンクリート）では、配合計画書及び納入書等の提出について電磁的記録で提出してもよい規定が追加となることから、引き続き生コン帳票の電子媒体化の普及・拡大を図り、建設現場の省人化・省力化を図っていくこととしている。

（b）画像解析によるスランプ全量確認

生コンスランプの画像解析は、生コン車のシュートから流れてくる生コンをカメラで撮影、AI による画像解析を行い、従来の生コン現場受入時の品質試験（スランプ等）を代替えることで大幅な省人化が期待されているものである（図—7）。

現在、全国 19 件程度の現場において、画像によるスランプの全量確認に関する試行が行われており、試



図ー6 生コン帳票の電子媒体化



図ー7 画像解析によるスラブ全量確認

行データの収集・分析を行うとともに既存の検査や品質管理のあり方について検討を進めていくこととしている。

5. 今後の予定

国土交通省では、今後もコンクリート生産性向上検討協議会を中心に、産官学の連携を取りつつ検討を進めるとともに、各取組の効果検証を実施し、必要な見

直しを進めていきたいと考えている。

コンクリート工の生産性向上とともにi-Constructionの取組により、現場の生産性を向上し、魅力ある建設現場が創出されるよう建設業界全体の発展と課題解決を進めていきたい。

J C I M A

【筆者紹介】
国土交通省
大臣官房技術調査課 建設システム企画室

特集>>> 新しい建設材料, コンクリート工, コンクリート構造

行政情報

特別寄稿

令和6年能登半島地震における国土交通省の災害対策用車両の取り組み

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 渡邊 賢一

令和6年（2024年）1月1日16時10分に石川県能登地方の深さ約15kmでマグニチュード7.6の地震が発生した。この地震により石川県輪島市や志賀町で最大震度7を観測したほか、能登地方の広い範囲で震度6強や6弱の揺れを観測し、被害を伴った。

国土交通省が所管する施設を含めて、能登半島に存する公共土木施設の多くが被災し、被害状況調査、応急対策等の任にあたる国土交通省TEC-FORCEをはじめ、各政府機関が現地対策本部にて活動している。

本稿では、令和6年能登半島地震の概要と、国土交通省の災害対策用車両などの取り組みについて紹介する。なお、本稿に掲載されている情報は、執筆時点（令和6年2月末）の情報であり、最新の情報は、各種機関のホームページ等を通じた公式発表を参照いただきたい。

キーワード：令和6年能登半島地震、災害対応、災害対策用車両、建設機械

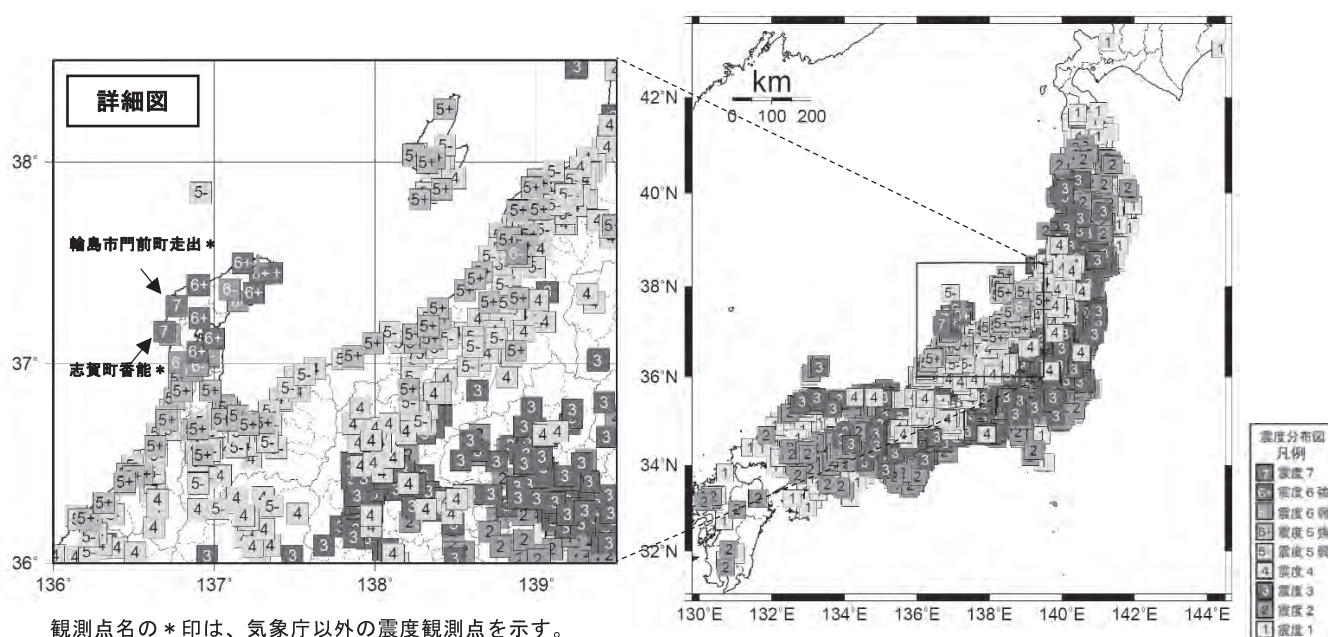
1. はじめに～令和6年能登半島地震の概要～

令和6年（2024年）1月1日16時10分に石川県能登地方の深さ約15kmでマグニチュード（M）7.6の地震が発生した。この地震により石川県輪島市や志賀町で最大震度7を観測したほか、能登地方の広い範囲で震度6強や6弱の揺れを観測し、被害を伴った。M7.6の地震の前後にも規模の大きな地震が発生し強

い揺れが長く続いた。また、石川県では長周期地震動階級4を観測した（図—1）。

気象庁は、同日に、当該地震及び令和2（2020）年12月以降の石川県能登地方で発生している一連の地震活動について、「令和6年能登半島地震」と命名した。

政府の地震調査委員会によると、一連の地震活動は、1月1日以降、地震活動の範囲が広がっており（北東—南西に延びる150km程度の広がり）、これまでの地震活動及



図—1 令和6年能登半島地震 震度分布（地震調査研究推進本部地震委員会作成資料より）

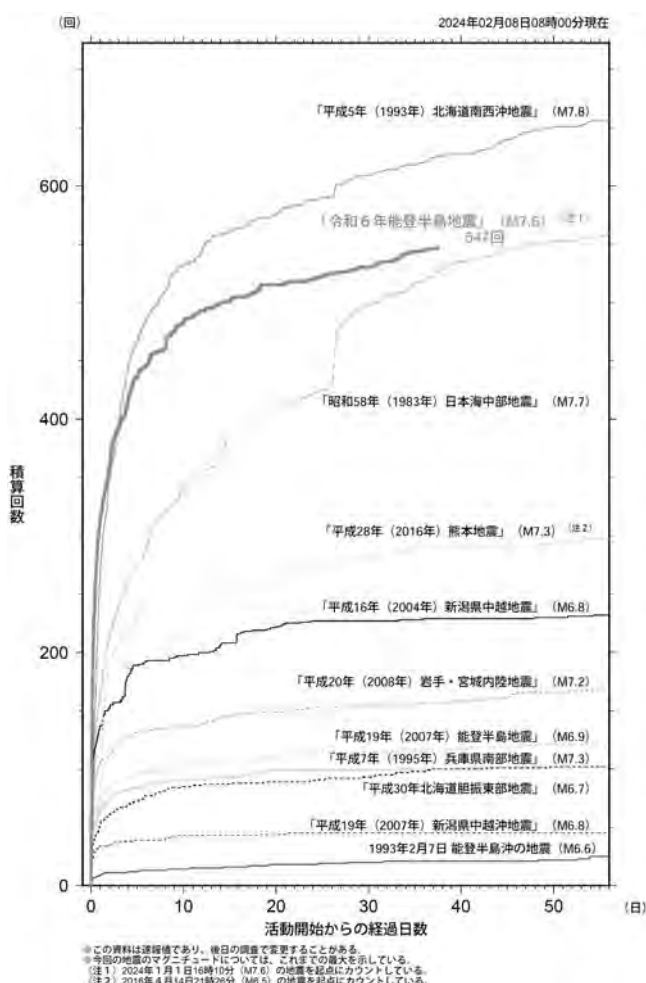
び地殻変動の状況を踏まえると、令和2年（2020年）12月以降の一連の地震活動は当分続くと考えられる。特に今回の活動域及びその周辺では、今後強い揺れや津波を伴う地震発生の可能性があると評価されている（図—2）。

令和6年能登半島地震による被害の状況は、消防庁によると、死者241名、負傷者1,299名、住宅被害は78,291（うち、全壊7,804棟）となっている（消防庁HPより令和6年2月29日時点）。

主要インフラの被害について、高速道路3路線32区間、直轄国道3路線3区間で通行止め、国管理の4河川16か所で堤防沈下・天端クラック等の被害を受けた。また、上下水道の機能停止、20海岸で堤防護岸の浸食、331件の土砂災害、能登空港の滑走路破損、鉄道の運休、22港で防波堤や護岸壁等に被害を受けるなど、能登半島を中心に被害が発生した。

2. 国土交通省の対応について～災害対策用車両の活用～

国土交通省は、1月1日の発災後直ちに国土交通省



非常体制を発令し、特定災害対策本部が設置された。同日18時15分国土交通省特定災害対策本部会議を開催し、同日22時40分には国土交通省特定災害対策本部から、非常災害対策本部に格上げ、以降、定期的に開催され、地方整備局、運輸局及び現地対策本部等と被害状況や対応方針等を共有の上、被災自治体と緊密に連携しつつ初動対応を実施した。

全国から人、資機材を結集し、TEC-FORCEはのべ約5,800班・日、約19,000人・日、給水機能付き散水車は22台（北陸地整外から20台）、照明車は83台（北陸地整外から50台）、待機支援車は32台（北陸地整外から28台）が災害対応にあたっている（写真—1）。

給水装置付き散水車を活用した給水支援について、発災当初から、日本水道協会、自衛隊とともに、避難所における市民への飲料水等の給水、病院における飲料水や雑用水の給水、市役所や災害対応施設における給水等を実施した。

発災後2週目以降は、日本水道協会、自衛隊の給水車は引き続き断水地域の飲料水等を中心に給水活動を行い、国土交通省の給水機能付き散水車は仮設トイレや洗濯用水などの生活に必要な給水活動や上水道配水管の復旧作業支援として、漏水点検のための給水活動など活動の幅を広げていった（写真—2～6）。

今回の災害対応では、能登半島という地理的条件などの要因から、被災地での宿泊先の確保が難しく、被災地周辺の宿泊拠点から被災現場までの移動時間も要することから、上下水道支援班の活動を支援するため、作業従事者の宿泊先として待機支援車10台（東北地整1台、関東地整2台、北陸地整1台、四国地整5台、九州1台）が、輪島市（みなとオアシス輪島マリセンター、道の駅輪島、地原浄水場）、珠洲市（珠洲市民図書館）、能登町（のと海洋ふれあいセンター）へ配備された（写真—7～9）。

さらに、資源エネルギー庁が配備する電源車が派遣されるまでの間の応急対応として、国土交通省所有の照明車を電源として利用するため、避難所へ先行派遣し、施設への給電を行った。また、電力供給が十分ではない避難所へコンセント給電（スマートフォン等家電製品への電力供給）や野外の仮設トイレ等への照明の提供なども行った。具体的には、珠洲市（旧本小学校、第三長寿園、勤労者センター、栗津ビニールハウス、元気の湯跡、珠洲市役所、旧柏原保育園）、輪島市（港公民館、道下集会所、浦上公民館、剣地原子力防護施設）にて実施し、その後、電源復旧が進んだことから、電源支援については1月30日をもって終了している（写真—10、11）。

なお、災害対策用車両については、全国各地より、車両を操作するオペレーターも派遣された（写真—12～15、表—1）。車両の稼働には燃料供給はもちろん、万が一の際の現地整備等も不可欠であり、様々な後方支援活動は、協力事業者の皆様により支えられている（写真—16、17）。



写真—1 孤立地域の解消に向け24時間体制で進められている道路啓開（石川県輪島市）



志賀町 富来活性化センター



珠洲市 珠洲総合病院

写真—2 飲料・雑用水給水



輪島市 移動式ランドリーカー

写真—3 洗濯給水



輪島市内 仮設トイレ約270基

写真—4 トイレ給水



輪島市 清土ポンプ場 配水管漏水調査

写真—5 漏水点検給水



輪島市清土ポンプ場 日本水道協会による配水管漏水調査への給水支援

写真—6 漏水点検給水



写真—7 道の駅 輪島（輪島市）



写真—8 地原浄水場（珠洲市）



写真—9 のと海洋ふれあいセンター（能登町）



写真—10 旧日本小学校への電源供給



写真—11 道下集会所への外部照明提供



写真—12 散水車による給水支援（全地整）



写真—13 照明車による電源支援（関東・近畿・中国）



写真—14 道路啓開の夜間作業支援（関東・中部）



写真—15 待機支援車による水道復旧従事者の宿泊支援等（東北・関東・四国・九州）

表—1 他地整からの応援車両（速報値 ※変わる場合があります）

(台)										
地方整備局	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	計	北陸	合計
照明車		25	5	15	5			50	33	83
散水車	2	8	2	2	2	2	2	20	2	22
待機支援車	4	3	6		3	7	5	28	4	32
その他		1	1	2	4			8	4	12
計	6	37	14	19	14	9	7	106	43	149



写真—16 災害対策車両等への給油（小型ローリーは東北・中部・近畿からも派遣）



写真—17 災害対策車両の現地整備（（一社）日本建設機械施工協会（北陸支部））

3. 今後に向けた課題

令和6年能登半島地震では、半島の先端部の平地が少ない地域で、中山間地の集落につながる道路やライフライン等が寸断され、集落の孤立等が多く発生した。緊急復旧や今後の本復旧・復興のメインルートとなるべき幹線道路に大きな被害が発生し、緊急復旧に時間を要する等、被災地の支援の初動対応が取りづらな状況が発生した。

道路啓開といった緊急復旧時には、民間が保

有する建設機械を活用した早期の作業着手が有効である。国土交通省では、各種業界団体、地域建設業者等協力事業者と災害協定を結んでおり、早期の災害対応にあたってきた。

ここで、建設機械の位置情報を含むテレマティクスデータについては、既にISO15143-3にて国際標準化されており、建設機械メーカーなどの各社において建設機械の状態を監視・把握するシステムが構築され、メンテナンスサービスなどとして展開されている。

様々な課題は想定されるものの、「災害時における

通行可否の情報（通れるマップ）」の取り組みなどを参考に、大規模災害時において災害対応にあたる建設機械などの位置情報を一元的に把握できるシステムが、被災地の早期復旧・復興に寄与できる可能性があると考ええる。

4. おわりに

本稿では、令和6年能登半島地震の概要と災害対策用車両を中心とした国土交通省の取り組みについて紹介した。

国土交通省は、能越自動車道や国道249号沿岸部の本格復旧、沿線の地すべり対策、河原田川の河川・砂防事業など、国が権限代行などにより行う復旧・復興事業を迅速に進めるため、令和6年2月16日に北陸

地方整備局に能登復興事務所を設置した。同事務所は、被災自治体からのインフラの復旧・復興に係る技術的な相談なども受けつつ、地域の皆様や関係機関と連携しながら、被災地の復旧・復興に取り組んでいく。

最後に、令和6年能登半島地震により亡くなられた方々に、心から哀悼の意を表するとともに、避難生活を余儀なくされている被災された皆様に心からお見舞いを申し上げます。そして、復旧に尽力されている方々に敬意を表する。

J C M A

【筆者紹介】
渡邊 賢一（わたなべ けんいち）
（執筆時所属）
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



特集>>> 新しい建設材料, コンクリート工, コンクリート構造

炭素繊維強化プラスチックの廃棄物を 繊維補強コンクリートに再生利用

サーキュラーエコノミーの推進に貢献する「リカボクリート®工法」を開発

平 田 隆 祥・沼 田 裕 介

燃料電池自動車「MIRAI」の高圧水素タンクに使用されている炭素繊維強化プラスチックの端材を、コンクリート補強用繊維として短繊維の形で再生利用する新たな技術「リカボクリート®工法」を開発した。コンクリート補強用繊維は、コンクリートと混ぜることで、粘り強さである靱性を高める繊維質の補強材のことで、建設分野の使用実績は拡大している。本技術を適用した繊維補強コンクリートは、従来の補強用繊維と比べて同等以上の優れた性能を有し、自動車工場の部品置き場の床に適用した。

本技術により、炭素繊維強化プラスチックの廃棄量を削減することができ、サーキュラーエコノミー（循環型経済）の推進に貢献する。

キーワード：炭素繊維強化プラスチック（CFRP）、燃料電池自動車（FCEV）、再生炭素繊維（rCF）、リサイクル、サーキュラーエコノミー、繊維補強コンクリート

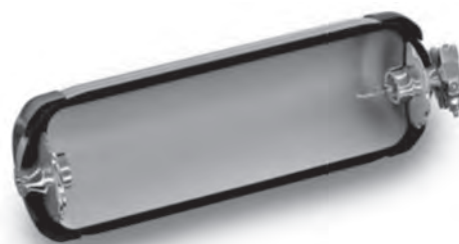
1. はじめに

炭素繊維強化プラスチック（CFRP）は、軽くて強度が高く、耐久性に優れる特長がある。そのため、水素を燃料とする燃料電池自動車の高圧水素タンクや航空機、風力発電の風車ブレードなどに利用されており、適用が拡大している（写真—1, 2）。このCFRPは、炭素繊維に熱硬化性樹脂を含浸させた炭素繊維複合材料の成形加工品である。また、炭素繊維は、単体では比強度の高い「糸」で形状を保持することができないため、プラスチックの他にも、セラミックスや金属と複合化した材料とすることにより、高い強度や弾性と成形性を兼ね備えた加工製品として利用されている。

このCFRPの2020年の世界市場は、14万9千tで、2025年頃からの自動車用途の需要拡大も予測され、航空機用途や風力発電ブレード用途も含めて2030年には34万4千t規模になると想定されている。一方、CFRP工程内端材と使用済CFRPの発生量から推計した廃CFRP処分量は、2020年に5万7千tであったものが、2030年には15万7千tに増加すると推計されている。現状、CFRPは、約30%がリサイクルされずに廃棄されているため、廃棄量の低減が環境保全やコスト低減の観点から世界共通の目標となっている（図—1）。

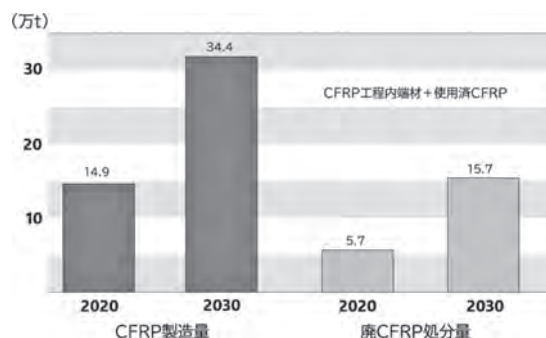


写真—1 燃料電池自動車「MIRAI」 提供 トヨタ自動車㈱



写真—2 燃料電池自動車の高圧水素タンク 提供 トヨタ自動車㈱

しかし、CFRPは強靱な材料であるが故に、その性能を保ったまま加工して再生利用することが難しく、例えば加工の過程で端材として発生したCFRPは、電炉で鉄をリサイクルする工程の原料として使用するとどまっており、本来CFRPが持つ強度を活かした再利用ができていなかった。



図一 1 CFRPの世界市場（製造量と処分量の推計）

2. 開発の背景

(1) 炭素繊維の開発と成長

炭素繊維の起源は、19世紀末にトーマス・エジソン（アメリカ）とジョセフ・スワン（イギリス）が、木綿や竹を焼いて作った炭素繊維を用いて電球を発明したことに遡ると言われている。1950年代に耐熱性が要求されるロケット噴射口の材料が求められ、1956年に米国でレーヨンを用いた炭素繊維が開発された。その後、1959年にアクリル繊維を用いたポリアクリロニトリル系炭素繊維が、1963年にはピッチを用いたピッチ系炭素繊維が、相次いで日本で発明された。1971年に高機能炭素繊維の工業化に成功したのは日本企業で、その後、他の国内メーカーも市場参入し、1970年代にはゴルフシャフトなどにCFRPとして利用された。当初は市場の開拓に苦しみつつも、やがて欧米航空宇宙産業の需要でシェアを拡大した。

現在、日本の炭素繊維は世界シェアの約5割を占めており、日本が世界をリードする先端材料であり、技術力を十分に蓄積している。炭素繊維は、安全保障貿易管理の対象品目にも指定されている。

(2) 繊維補強コンクリートの歴史

圧縮力に比べて引張力に弱い材料を、繊維を利用して複合化して補強する知恵は古くから知られていた。エジプトでは6,000年以前から、日干し煉瓦に粘土や砂と一緒に藁を練り込んでいた。藁には日干し煉瓦を固め、均等に乾燥させてひび割れを無くす働きがあった。この知恵をモルタルやコンクリートに応用したのは19世紀で、1867年に造園師のジョゼフ・モニエ（フランス）が、金網で補強したモルタルを発明しフランス特許を取得したのが最初と言われている。また、1900年にルードリッヒ・ハチェク（オーストリア）が、モルタルに石綿繊維を練り込んだ石綿スレートを発明した。

1960年代に繊維補強コンクリートの研究が進み、

1970年代初めには鋼繊維と耐アルカリ性ガラス繊維がコンクリート補強繊維として実用化された。その後、炭素繊維やアラミド繊維、ビニロン繊維、ポリプロピレン繊維（PP繊維）など様々な種類の繊維を用いたコンクリートが実用化された。

国内建設分野では、鋼繊維がトンネルの二次覆工のコンクリートやコンクリート床版に多用されたが、現在はPP繊維を添加した繊維補強コンクリートが市場の大半を占めている。一方、炭素繊維は、「軽い」、「強い」、「腐食しない」という優れた特長を有するため繊維補強コンクリートの素材としての研究は進んだものの、他の繊維に比べて高価なため、実適用は僅かであった。これまで、炭素繊維は長繊維をシートやグリッド、ロッドに加工して、鉄筋コンクリート構造物自体を補強する用途で利用されることがほとんどであった。さらに、CFRPとして一旦使用された炭素繊維を、建設分野に再生利用する事例は僅かである。

3. CFRP再生利用技術の開発概要

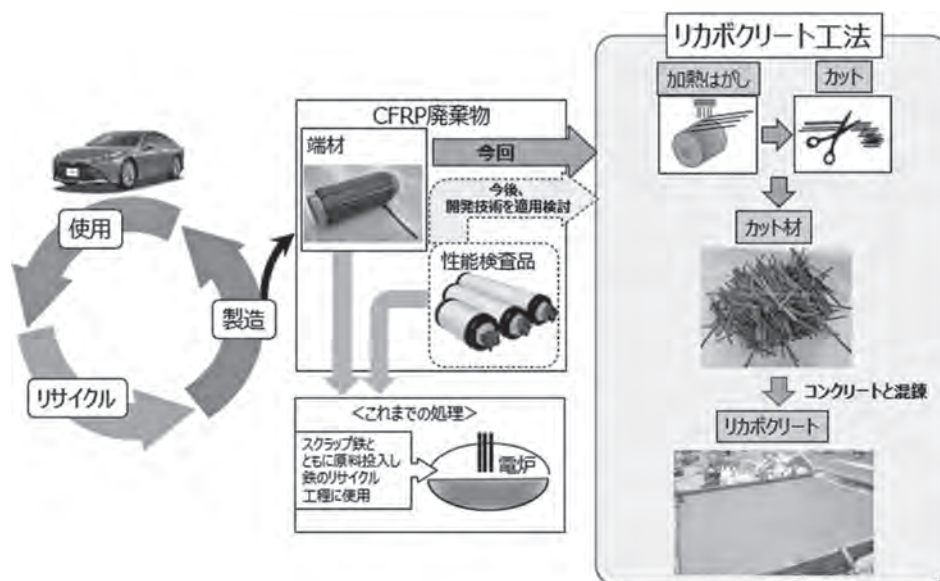
前述の背景から、自動車分野でCFRPとして一旦使用した炭素繊維を、その優れた強度特性を保持したまま再生加工し、製品としてリサイクルする技術の開発を目標とした。その結果、CFRPの再生方法や加工方法、加工品の仕様や品質確認を積み重ね、再生炭素繊維（rCF）をコンクリート補強用繊維として再生利用する新たな技術「リカボクリート（Recycled Carbon Fiber Concrete）工法」（以下、本工法という）を開発した（図一2）。

本開発では、燃料電池自動車「MIRAI」の高圧水素タンクを製造する段階で発生するCFRPの工程内端材であるトウプリプレグ（TPP）端材を用い、独自の熱加工を施した後、コンクリート補強用繊維の用途に適切な長さ・寸法に裁断して再生加工品を製造している（写真一3）。このコンクリート補強用繊維を、適量生コンクリートに添加することで、硬化した後のコンクリートのひび割れ抑制や靱性を向上する技術を実現した（写真一4）。

4. 特長

本技術の特長を下記に示す。

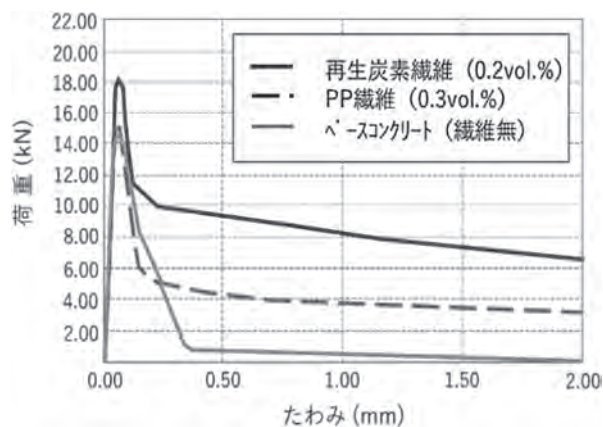
- (1) 独自の熱加工により、CFRP端材表面層からCFRPをはがす技術を確認
TPP工程内端材のCFRPの性能を保ったまま、独



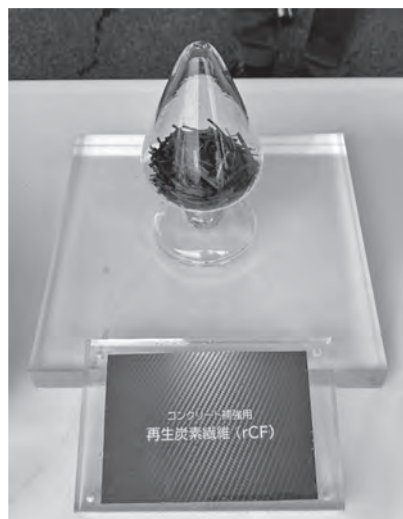
図一 2 資源循環と開発技術の概要



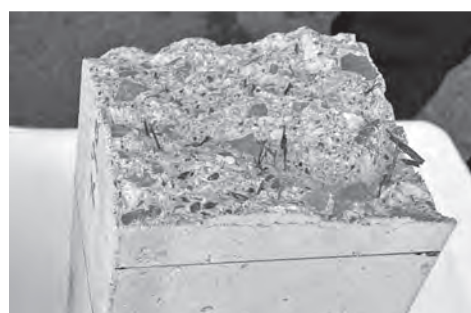
写真一 3 トウプリブレグ (TPP) 工程内端材



図一 3 コンクリート部材の曲げ靱性試験結果 (寸法: 100 × 100 × 400 mm)



写真一 4 CFRP を再生したコンクリート補強用繊維



写真一 5 曲げ靱性試験後のコンクリート断面の様子 (黒く細長い再生炭素繊維)

自の熱加工により連続的にはがすことができ、使用するエネルギーを最小としてコンクリート補強用の再生炭素繊維を成形加工する技術を実現した。

(2) ポリプロピレン製のコンクリート補強用繊維と比べて3分の2の添加量で同等以上の性能を発揮
本工法に使用するコンクリート補強用繊維は、モルタルやコンクリートに添加でき、同じ目的で従来使われてきたポリプロピレン製繊維の3分の2の添加量で、同等以上の圧縮強度や曲げ靱性を発揮する (図一 3, 写真一 5)。

(3) 再生炭素繊維の使用により環境保全やカーボンニュートラルに貢献

本工法に使用する再生炭素繊維は、リサイクルにより新品の炭素繊維を用いた場合と比べて、加工製品のCO₂排出量を最大15分の1程度に削減した。また、通常の補強鉄筋の使用との比較では、CO₂排出量を最大9分の1程度にそれぞれ低減した。

5. 実適用事例

本工法は、自動車工場内の部品置き場の床用コンクリートに初適用した。適用手順は、通常の繊維補強コンクリートと同様の手順で行った（図-4）。

ベースとなるコンクリートには、生コンクリートを使用する。施工現場に到着した生コンクリート車に、足場等を使って後部の投入口から加工した再生炭素繊維を添加し、所定の時間攪拌して繊維を生コンクリート中に均一に分散する。再生炭素繊維を添加した後に、生コンクリートが所定の品質であることを試験で確認する。品質が確認できたら、通常のコンクリートと同様に型枠内に打込む。その後、施工マニュアルに基づき、鋺による仕上げや養生を行う。

6. おわりに

自動車に使用するCFRPも、建設分野の繊維補強コンクリートも、優れた素材を用いて複合化材料とすることで性能を向上してきた。これら両者の技術を融合することで、さらなる改善が期待できる。構造物に使用するコンクリートは、その形状が長年保たれることと、構造材料として強度が担保されることが必要となる。しかし、現代のコンクリート構造物は、コンクリートそのものが劣化する前に、比較的短期間で補強用の鋼材が錆始めて耐力の低下に至る事例も多発して



写真-6 再生炭素繊維の添加



写真-7 本工法の打込み



写真-8 仕上げ

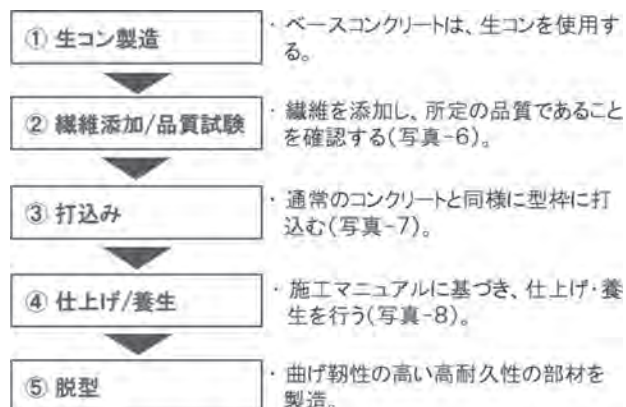


図-4 適用手順

いる。

本稿で紹介した「リカボクリート工法」は、CFRPの市場拡大を背景に、軽く、強く、腐食しない炭素繊維を再生利活用することで、安心・安全・強靱な社会づくりや歴史に残る構造物の建造に挑戦する。このようなリサイクル活動を展開することで、サーキュラーエコノミー（循環型経済）に貢献する。

《参考文献》

- ・トヨタ MIRAI/ トヨタ自動車 WEB サイト <https://toyota.jp/mirai/>
- ・(株)富士経済, 炭素繊維複合材料 (CFRP/CFRTP) 関連技術・用途市場の展望, 2021
- ・(株)矢野経済研究所, リサイクル炭素繊維の評価手法や採用状況に関する国際動向調査, 2022
- ・土木学会誌, CE リポート, 次世代の構造材料の開発を目指してコンクリートの歴史を知る, 2012

【筆者紹介】

平田 隆祥 (ひらた たかよし)
(株)大林組
技術本部 技術研究所
上級主席技師



沼田 裕介 (ぬまた ゆうすけ)
トヨタ自動車(株)
素形材技術部 基盤開発室
主任



バイオ炭を混和した環境配慮型コンクリートの現場適用

SUSMICS-C【Sustainable+SMI(炭)+Carbon Storage+Concrete】の開発

幸 田 圭 司

コンクリート分野におけるカーボンニュートラル社会の実現に向けて、バイオ炭を混和した環境配慮型コンクリートを開発した。バイオ炭はバイオマスが大気中から吸収したCO₂を難分解性の炭素として固定化した材であり、これをコンクリートに混和することで炭素貯留することが可能である。本稿は、バイオ炭を混和したコンクリートのCO₂排出削減効果およびコンクリートとしての基本的な性能試験結果、実現場で適用した事例について紹介する。

キーワード：脱炭素、カーボンニュートラル、環境配慮型コンクリート、バイオ炭、現場適用

1. はじめに

2050年のカーボンニュートラル社会の実現に向けて、建設産業においても他産業と同様にCO₂を主とする温室効果ガスの排出量削減技術が求められている。日本におけるコンクリートの製造における年間のCO₂総排出量は約2,500万tとされており¹⁾、これは我が国の年間の温室効果ガス排出量の約2%を占めている。そのため、コンクリート製造時のCO₂排出量を削減することができれば、カーボンニュートラル社会の実現に大きく寄与することになる。

著者らはカーボンニュートラル社会の実現に向け、普通コンクリートと施工性および品質が同等の汎用的な環境配慮型コンクリートの実現を目的に、バイオ炭を混和することで炭素貯留するコンクリート（以下、バイオ炭コンクリート）の開発を行っている^{2)~4)}。本稿ではその概要および現場適用事例を紹介する。

2. バイオ炭コンクリートによるCO₂排出量削減効果

(1) バイオ炭による炭素貯留

バイオ炭は、2019年改良IPCCガイドラインにお

いて、「燃焼しない水準に管理された酸素濃度の下、350℃超の温度でバイオマスを加熱して作られる固形物」と定義されている⁵⁾。その特長は、バイオマスを構成していた炭素が炭化されることで変化した、通常の下自然条件下においては分解しにくい炭素である難分解性炭素を高比率で含有する点が挙げられる。図—1に本開発で使用したバイオ炭の製造工程を示す。製材所で副産物として発生するオガ粉を工場に運搬し、加圧成型してオガライトとした後に炭化することでバイオ炭（オガ炭）を製造している。これを粉砕・分級することで粉状（約1mm以下）と粒状（約2～5mm）のバイオ炭になり、要求性能に応じてこれらを使い分けてコンクリートに混和している。

バイオ炭による炭素貯留の概念図を図—2に示す。バイオマス中の炭素は、元をたどれば植物が光合成によって大気中のCO₂を吸収したものであるが、燃料として利用されたり、微生物に分解されたりして再び大気中にCO₂が放出される。一方で、バイオマスが炭化されてバイオ炭になると、燃焼されない限りCO₂にほとんど変化しなくなる。よって、バイオマスをバイオ炭に転換し貯留すれば、炭素循環の中で大気中に放出されるCO₂を減らすことができる。これがバイオ炭による炭素貯留の考え方である。



図—1 本検討で使用したバイオ炭の製造過程

表一 二 使用材料の諸元

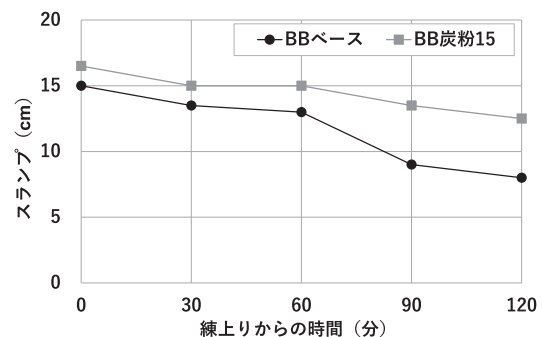
使用材料	産地・仕様	CO ₂ 排出原単位 (kg-CO ₂ /kg)
水 (W)	地下水	0.00025 ⁷⁾
セメント (C)	BB (高炉セメント B 種)・・・密度: 3.04 g/cm ³	0.44 ⁸⁾
	BC (高炉セメント C 種)・・・密度: 2.96 g/cm ³	0.26 ⁹⁾
細骨材① (S ₁)	栃木県佐野市産砕砂, 表乾密度: 2.66 g/cm ³	0.0035 ¹⁰⁾
細骨材② (S ₂)	千葉県市原市万田野産山砂, 表乾密度: 2.60 g/cm ³	0.0035 ¹⁰⁾
粗骨材 (G)	栃木県佐野市産碎石, 表乾密度: 2.70 g/cm ³	0.0028 ¹⁰⁾
バイオ炭	原料: オガ粉, 密度: 1.60 g/cm ³ , 炭素含有率: 77.6%	-2.3
AE 減水剤	変性リグニンスルホン酸化合物・ポリカルボン酸系化合物の複合体	-
AE 剤	高級脂肪酸塩・非イオン系界面活性剤 (バイオ炭混和配合)	-
	高級脂肪酸・非イオン系界面活性剤 (バイオ炭混和配合)	-
	アルキルエーテル型陰イオン界面活性剤 (バイオ炭無混和配合)	-

して 60 kg/m³ のバイオ炭を混和することで CO₂ 排出量が 0 kg 以下, 即ちカーボンネガティブを実現できることになる。

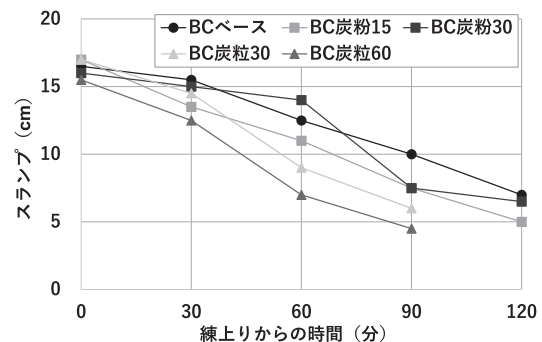
3. バイオ炭コンクリートの性能

(1) フレッシュ性状

バイオ炭コンクリートのフレッシュ性状は, 表一 1 に示すように, AE 減水剤や AE 剤といった混和剤の添加量を調整することで所定のスランプ・空気量が得られることを確認している。バイオ炭は多孔質の材料であり, コンクリート中の自由水や混和剤を吸着するため, それを補うように混和剤量を増加させることでフレッシュ性状を担保している。表一 3 に練上り直後のフレッシュ性状試験結果を, 図一 3 および図一 4 にスランプの経時変化試験結果を示す。バイオ炭を混和していないベース配合と比較して若干スランプロスが大きい水準もあるが, 大きく逸脱するほどではなかった。また, 写真一 1 に示すように水平換算距離 150 m 程度の配管を組み, 実際にポンプ圧送を行い, 圧送前後のコンクリートのスランプ・空気量の変化を確認した。結果を表一 4 に示すが, 圧送後でも大き



図一 3 スランプ経時変化 (BB 配合)



図一 4 スランプ経時変化 (BC 配合)

表一 3 練上り直後のフレッシュ性状試験結果

	BC ベース	BB 炭粉 15	BC ベース	BC 炭粉 15	BC 炭粉 30	BC 炭粒 30	BC 炭粒 60
スランプ (cm)	15.0	16.5	16.5	17.0	16.0	17.0	15.5
空気量 (%)	5.3	5.6	5.1	5.7	5.1	4.8	4.9
Con 温度 (℃)	23	23	22	21	22	24	24



写真一 1 圧送試験配管組立状況

な性状変化は生じておらず、問題なく圧送できることを確認できている。

(2) 圧縮強度

図―5 および図―6 にバイオ炭コンクリートの圧縮強度試験の結果を示す。バイオ炭コンクリートの圧縮強度は一般的なコンクリートと概ね同等であることが確認されている。粒状のバイオ炭を混和した場合は若干圧縮強度がベース配合と比較して小さくなる傾向が認められるが、バイオ炭自体がコンクリートと比較して強度が低いため、力学的な弱部となった可能性が考えられる。しかしながらその影響は限定的であり、圧縮強度が最も小さかったBC炭粒60でも材齢28日で33.9 N/mm² 発現しており、一般的な工事に用いられる汎用的な強度を満足できることが確認できている。

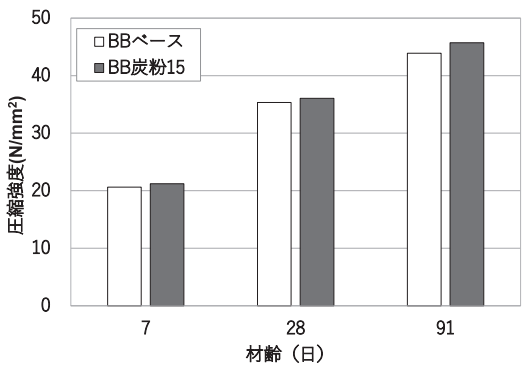
表―4 圧送前後のフレッシュ性状試験結果

配合	状態	スランプ (cm)	空気量 (%)	Con 温度 (℃)
BB ベース	圧送前	15.0	5.6	21
	圧送後	13.0	5.5	24
BB 炭粉 15	圧送前	16.0	5.8	24
	圧送後	15.0	5.8	25
BC ベース	圧送前	17.5	4.9	22
	圧送後	15.5	3.7	23
BC 炭粉 15	圧送前	17.0	5.2	22
	圧送後	16.5	3.6	23
BC 炭粒 30	圧送前	17.0	4.8	23
	圧送後	16.5	4.2	23
BC 炭粒 30	圧送前	15.0	5.1	22
	圧送後	13.5	3.7	23

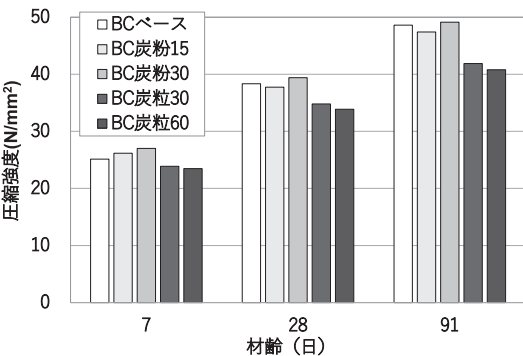
4. 現場適用事例

表―5 にバイオ炭コンクリートを現場適用した2つの事例について、概要を示す。

事例1の土木工事における仮設舗装への適用について、使用した配合および材料の諸元を表―6 および表―7 に示す。なお、バイオ炭の密度は実際に現場適用時に使用した製造ロットで分析した結果を基にしているため、表―2の数値とは若干異なっている。本施工で適用したコンクリートの1 m³あたりのCO₂



図―5 圧縮強度試験結果 (BB 配合)



図―6 圧縮強度試験結果 (BC 配合)

表―5 現場適用事例

	工事分類	適用先	打設方法	適用数量 (m ³)	バイオ炭 混和量 (kg/m ³)	適用配合の CO ₂ 排出量 (kg/m ³)	設計配合比の CO ₂ 排出低減量 (t)
事例1	土木	仮設舗装	ホッパー・バケット打ち	34.5	60	6.7	6.6
事例2	建築	レベルコンクリート	ポンプ打ち	510	60	−15.6 および −13.3*	65.9

※ 2工場からの供給であり、A工場が−15.6 kg/m³、B工場が−13.3 kg/m³である。

表―6 適用配合 (事例1)

セメント 種類	粗骨材 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						AE 減水剤 (C×wt%)	AE 助剤 (A)	CO ₂ 排出量 (kg/m ³)
						W	C	S ₁	S ₂	G	バイオ炭 (粒)			
BB	20	12±2.5	4.5±1.5	55.0	45.5	172	313	593	198	951	60	1.0	2.5	6.7

表—7 使用材料の諸元（事例1）

使用材料	産地・仕様	CO ₂ 排出原単位 (kg-CO ₂ /kg)
水 (W)	地下水	0.00025
セメント (C)	BB (高炉セメント B 種)・・・密度：3.04 g/cm ³	0.44 ⁸⁾
細骨材① (S ₁)	山梨県南巨摩郡南部町産砕砂，表乾密度：2.66 g/cm ³	0.0035 ¹⁰⁾
細骨材② (S ₂)	住友金属鉱山(株) 東予工場産銅スラグ，表乾密度：3.50 g/cm ³	0.0035 ¹⁰⁾
粗骨材 (G)	山梨県大月市初狩町産碎石，表乾密度：2.62 g/cm ³	0.0028 ¹⁰⁾
バイオ炭	原料：オガ粉，密度：1.75 g/cm ³ ，炭素含有率：76.8%	-2.3
AE 減水剤	変性リグニンスルホン酸化合物・ポリカルボン酸系化合物の複合体	-
AE 剤	高級脂肪酸塩・非イオン系界面活性剤	-

排出量は 6.7 kg/m³ であり，ほぼカーボンニュートラルを達成できていると言える。施工時の状況を写真—2 および写真—3 に示す。打込みはホッパーおよびバケットで行ったが，コンクリートの施工性や仕上りは良好であった。

次に，事例2の建築工事におけるレベルコンクリートへの適用について，使用した配合および材料の諸元を表—8 および表—9 に示す。事例1と比較して，単位セメント量が少ない配合であることから，事例1とバイオ炭混和量は同様であるものの，本配合の1 m³あたりの CO₂ 排出量はマイナスの値となっており，カーボンネガティブを実現できている。また，写真—4 および写真—5 に示すように，本施工はポンプ打ちで行ったが，閉塞等のトラブルを生じることなく，通常通りの施工ができており，仕上りも良好であった。



写真—2 コンクリート打込み状況（事例1）



写真—3 仕上り状況（事例1）

表—8 適用配合（事例2）

工場	セメント 種類	粗骨材 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							AE減水剤 (C×wt%)	CO ₂ 排出量 (kg/m ³)
							W	C	S ₁	S ₂	G	バイオ炭 (粉)	バイオ炭 (粒)		
A	BB	20	15±2.5	3.0±1.5	64.9	47.5	174	268	543	240	993	20	40	1.7	-15.6
B					63.3	48.9	173	273	800	0	975	20	40	1.5	-13.3

表—9 使用材料の諸元（事例2）

使用材料	産地・仕様	CO ₂ 排出原単位 (kg-CO ₂ /kg)
水 (W)	地下水	0.00025 ⁷⁾
セメント (C)	BB (高炉セメント B 種)・・・密度：3.04 g/cm ³	0.44 ⁸⁾
工場 A 細骨材① (S ₁)	茨城県潮来市産砂，表乾密度：2.60 g/cm ³	0.0035 ¹⁰⁾
工場 A 細骨材② (S ₂)	栃木県栃木市産砕砂，表乾密度：2.67 g/cm ³	0.0035 ¹⁰⁾
工場 A 粗骨材 (G)	栃木県栃木市産碎石，表乾密度：2.67 g/cm ³	0.0028 ¹⁰⁾
工場 B 細骨材	茨城県神栖市産砂，表乾密度：2.59 g/cm ³	0.0035 ¹⁰⁾
工場 B 粗骨材	栃木県佐野市産碎石，表乾密度：2.70 g/cm ³	0.0028 ¹⁰⁾
バイオ炭	原料：オガ粉，密度：1.61 g/cm ³ ，炭素含有率：78.1%	-2.3
AE 減水剤	リグニンスルホン酸塩・オキシカルボン酸塩	-



写真—4 コンクリート打込み状況（事例2）



写真—5 仕上り状況（事例2）

《参考文献》

- 1) (一社)日本建設業連合会 HP より「低炭素型コンクリートの普及促進に向けて」参照：https://www.nikkenren.com/publication/fl.php?fi=444&f=low-carbon_pamph_A4.pdf（閲覧日：2024年2月7日）
- 2) 幸田 圭司, 木原 亮太, 山本 伸也, 清水 和昭, 田中 博一, 久保 昌史：バイオ炭を混和した環境配慮型コンクリートのフレッシュ性状, 土木学会第77回年次学術講演会, V-244, 2022
- 3) 木原 亮太, 幸田 圭司, 山本 伸也, 清水 和昭, 田中 博一, 久保 昌史：バイオ炭を混和した環境配慮型コンクリートの硬化性状, 土木学会第77回年次学術講演会, V-245, 2022
- 4) 幸田 圭司, 久保 昌史, 山本 伸也, 田中 博一：バイオ炭を混和した環境配慮型コンクリートの基礎物性, コンクリート工学年次論文集, Vol.45, No.1, pp.1222-1227, 2023
- 5) Jクレジット制度 HP より バイオ炭の農地施用方法論参照：https://japancredit.go.jp/pdf/methodology/AG-004_v1.4.pdf（閲覧日：2024年2月7日）
- 6) Carbonfuture HP より Biochar Concrete Applications by Carbonex 参照：https://verra.org/wp-content/uploads/Biochar_Methodology-Assessment-Report_v1.1_clean.pdf（閲覧日：2024年2月7日）
- 7) 東京都水道局 HP より：<https://www.waterworks.metro.tokyo.lg.jp/kurashi/co2.html>（閲覧日：2024年2月7日）
- 8) (一社)セメント協会：セメントのLCIデータの概要, 2022.3
- 9) 辻 大二郎, 小島 正朗, 檀 康弘：二酸化炭素(CO₂)排出量を6割削減できる高炉スラグ高含有セメントを用いたコンクリートの実工事への適用, 建設機械施工 Vol.69, No.3, pp.9-14, 2017.3
- 10) 河合 研至：コンクリートの環境負荷評価 ②コンクリートに関わる環境負荷評価方法, コンクリート工学 Vol.50, No.7, pp.635-639, 2012.7

5. おわりに

本稿では、カーボンニュートラルの実現に向けて開発したバイオ炭コンクリート（SUSMICS-C）の概要および現場適用事例について紹介した。今後は非構造部材で実績を拡大していくとともに、構造部材への適用も視野に入れ、第三者認証の取得に向けても検討を進める。

JCM A

【筆者紹介】

幸田 圭司（ゆきた けいじ）

清水建設㈱

土木技術本部 基盤技術部 コンクリート G
主任

カーボンリサイクル・コンクリート 「T-eConcrete®/Carbon-Recycle」の社会実装の進展 カーボンネガティブを実現したコンクリートの現状と種々の特徴

大 脇 英 司・加 藤 優 志・宮 原 茂 禎

著者らのグループは、コンクリートに使用するポルトランドセメントの使用量を低減してCO₂排出量を抑制し、さらに、カーボンリサイクル技術によりCO₂を資源として製造した炭酸カルシウムを添加して「カーボンネガティブ」を達成したカーボンリサイクル・コンクリートの開発・社会実装を進めている。鉄筋コンクリート構造または無筋構造で、構造部材から仕上げ材まで幅広い用途における実装事例を示し、基本的な性状と用途に応じて付与した性能などをまとめた。また、実装の実績からカーボンリサイクル・コンクリートに適した炭酸カルシウムの性状について示唆を与えた。これらの状況を踏まえ、今後の進め方を展望した。

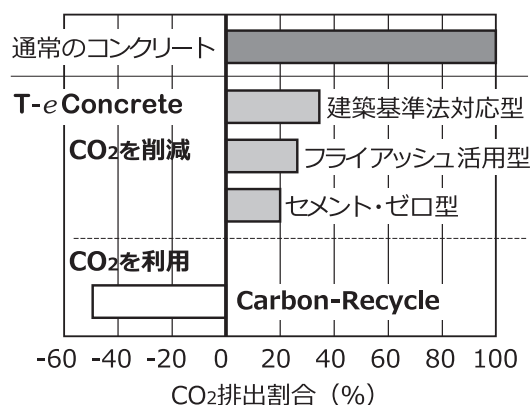
キーワード：コンクリート，低炭素，社会実装，CCU，カーボンネガティブ，カーボンニュートラル，炭酸カルシウム，高炉スラグ

1. はじめに

わが国は「2050年カーボンニュートラル」を宣言し、2030年度の温室効果ガスの排出目標を2013年度比で46%の削減とする^{1), 2)}。政府は温暖化への対応を「経済と環境の好循環」による成長の機会とし、グリーン成長戦略³⁾のひとつとして主要な温室効果ガスであるCO₂を炭素資源として回収・利用するカーボンリサイクル技術（Carbon dioxide Capture and Utilization：CCU）の開発を進めている⁴⁾。

著者らのグループは、ポルトランドセメント（以後、セメント）の使用量を削減してCO₂排出量を抑制する環境配慮コンクリート（T-eConcrete®シリーズ）を開発し、さらにCO₂を資源とする炭酸カルシウム（以後、CCU-CaCO₃）を用いたカーボンリサイクル・コンクリート（T-eConcrete/Carbon-Recycle）の開発・社会実装を進めている（図—1）。カーボンリサイクル・コンクリートはCO₂を炭酸塩鉱物（CaCO₃）として長期に亘り安定して固定し、使用材料に関わるCO₂排出量収支がマイナスとなる「カーボンネガティブ」を達成した⁵⁾。

ここでは、カーボンリサイクル・コンクリートの社会実装の状況を整理し、実装における特徴や今後の展望をまとめた。なお、社会実装の進展を反映し、一部の情報を前報⁵⁾から更新した。



図—1 環境配慮コンクリートの構成とCO₂排出削減効果

2. カーボンリサイクル・コンクリートとは

カーボンリサイクル・コンクリートの特徴を表—1に示す^{6)~8)}。製造時のCO₂排出量が多いセメント（1トンあたり約760kgを排出）に代えて製鉄副産物である高炉スラグ微粉末と刺激材（カルシウム系化合物）を結合材とし、大量のCCU-CaCO₃を用いる点が従来と異なる。CO₂を大量に固定するが強アルカリ性を保ち、鉄筋の防食性能を維持する。また、レディーミクスト・コンクリート工場や建設現場で高濃度のCO₂を扱わず、安全である。これまでに蓄えた設備や施設、知識や経験を活用し、脱炭素社会における基盤材料として円滑に普及させるため、用途・用法や、製造・施

表一 1 カーボンリサイクル・コンクリートの特徴

項目	特徴など
用途・用法	
構造形式	鉄筋コンクリート構造、無筋構造
適用形態	場所打ちコンクリート、二次製品
使用材料	
結合材	ポルトランドセメントを使用せず
CO ₂ の吸収・固定	CCU-CaCO ₃ を活用
骨材・化学混和剤	従来の材料を使用
製造	
コンクリート製造	従来と同様の装置・設備・手順
二次製品製造	従来と同様の装置・設備・工程
施工	
場内運搬・圧送	高流動コンクリートと同等の扱い
締固め・仕上げ	従来と同様
養生方法	従来と同様。暑熱・寒冷に配慮
フレッシュ性状	
流動性・充填性	スランプ／スランプフローで管理
凝結特性	従来と同様
発熱特性	従来より優れる。発熱が小さい
硬化後性状	
圧縮強度	従来と同様に、水結合材比または水粉体比で設計
その他の力学特性	従来と同様に圧縮強度と関係づけ
収縮特性	従来の予測式で推定可能
耐久性	
中性化抵抗性	やや速いが、従来と同様に供用可
塩分浸透性抵抗性	従来より優れる。浸透が遅い
凍害抵抗性	従来と同等。適正な空気導入が必要
ASR [*] 抵抗性	非常に優れる

※：アルカリシリカ反応

工法、材料特性などが従来のコンクリートと同様となるように開発を進めた。

3. 社会実装事例と基本性状

コンクリートは安全・安心な社会基盤の提供に欠かせない。所有者や発注者、使用者の「安全と安心」は新しい材料への「理解と信用」に基づく。例えば長期耐久性は、促進試験などの科学的な手法で「理解」は深まるが、「信用」を得るには長期の供用実績も重要である。2030年、2050年のCO₂削減目標に向け、多様な構造物や使用環境で早期の実装を加速している。

実装したカーボンリサイクル・コンクリート^{9)～18)}の基本性状(表一2)と実装の状況(写真一1)をまとめた。カーボンリサイクル・コンクリートは二次製品工場や移動プラントの常用ミキサーで製造でき、所

表一 2 社会実装の実績のあるカーボンリサイクル・コンクリートの基本性状

項目	基本性状など
ミキサー	製品工場：パン型、強制二軸型 移動プラント：パン型、傾胴型
スランプ	21 ± 2 cm
スランプフロー	45 ± 7.5 ～ 70 ± 7.5 cm
空気量	4.5 ± 1.5 ～ 6.0 ± 1.5%
圧縮強度 [*]	27.5 ～ 50.5 N/mm ²
CO ₂ 固定量	98 ～ 171 kg/m ³
CO ₂ 原単位	-116 ～ -8 kg/m ³
CO ₂ 削減率 [#]	103 ～ 149%

※：各事例における20℃水中養生、材齢28日での平均値。

#：普通セメントを使用した同一強度レベルの従来のコンクリートとの比較。事例毎に比較対象が異なるため百分率で示した。

定のスランプやスランプフローに調整できた。二次製品も従来と同様な養生工程や生産（操業）サイクルで脱型時や出荷時の強度などの規定を満足し、生産性の低下はなかった。空気量は、セメントを使用しないことから、耐凍害性が必要な場合は6.0%とした¹⁹⁾。1 m³あたりCO₂を98～171 kg固定したうえで圧縮強度は27～50 N/mm²となり、十分な強度発現性を示した。CO₂原単位は-116～-8 kg/m³で、従来のコンクリートに対するCO₂削減率は103～149%となり、いずれの事例もカーボンネガティブを実現した。

使用したCCU-CaCO₃の品質を表一3に示す。石灰石微粉末は天然石を粉砕したCaCO₃であり、化学合成されるCCU-CaCO₃と異なるが、化学組成や鉱物組成は類似するため品質規格案の基準²⁰⁾を併記した。なお、データの取得実績が限られる項目は除外した。基準値の一部を満たさない場合でも、表一2のように良好に活用できた。この規格案を目安に実装を重ね、CCU-CaCO₃の品質規格の制定に反映したい。

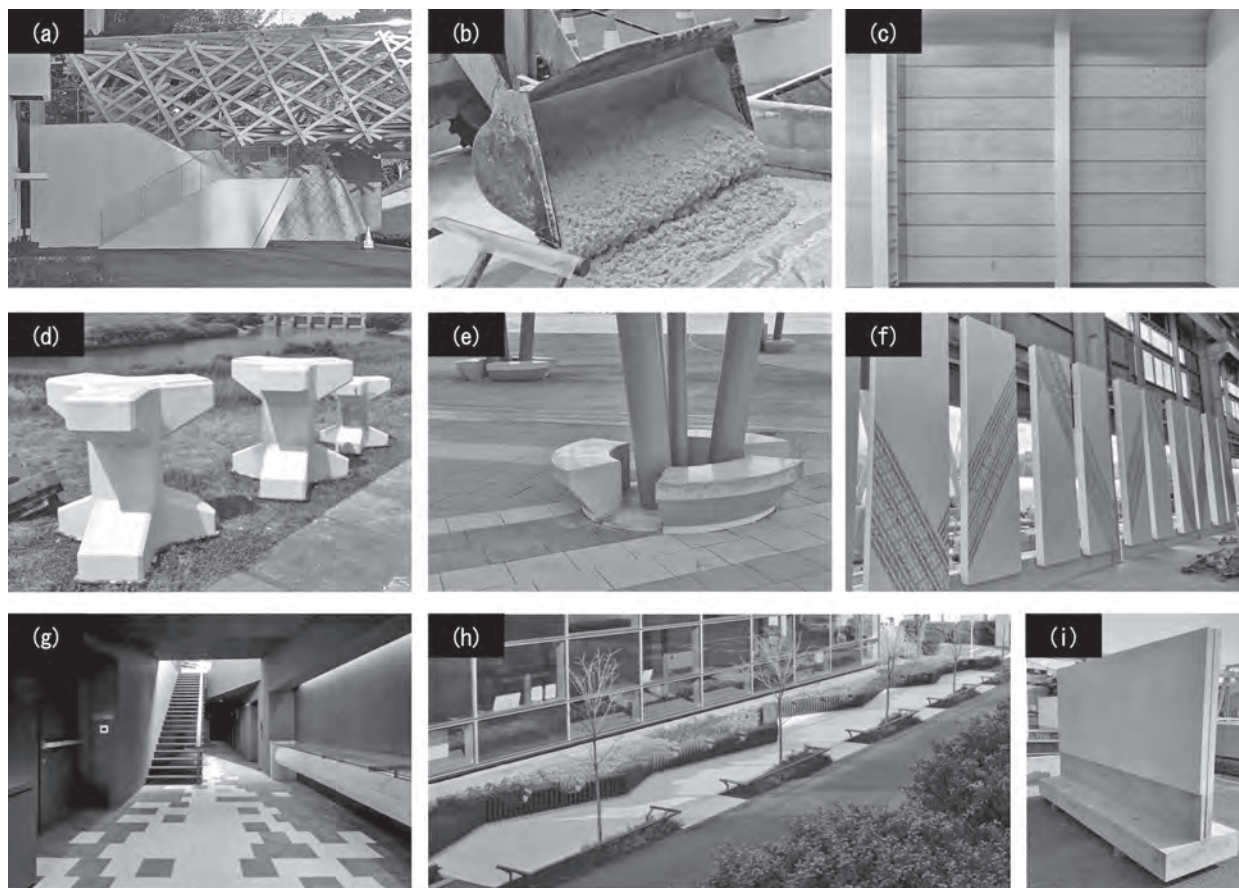
4. 実装事例で個別に確認した性状など

(1) 建築基準法への適合

セメントを使用しないコンクリートを建築物の基礎、主要構造部等に用いるには、建築基準法第20条に則った大臣認定が必要である。カーボンリサイクル・コンクリートを用いた構造物の安全性を確認して大臣認定を取得し、人道橋の基礎と屋外階段に適用した⁹⁾。

(2) 構造体強度の推定

厚さが30 cmと100 cmの部材を、夏期、標準期、冬期に作製し、コアを抜いて求めた材齢91日の圧縮

(a) 人道橋基礎・外階段⁹⁾(b) 現場打ち舗装¹¹⁾(c) 鋼繊維補強壁部材¹⁸⁾(d) 根固めブロック¹³⁾(e) 公園ベンチ¹⁴⁾(f) プレキャスト縦ルーバー¹⁵⁾(g) 天然石材調建材（内装床仕上材）¹⁶⁾(h) 天然石材調建材（舗装ブロック）¹⁷⁾(i) プレキャスト門扉部材¹⁰⁾

写真—1 カーボンリサイクル・コンクリートの社会実装例

表—3 カーボンリサイクル・コンクリートに適用した CCU-CaCO₃ の品質

項目	適用実績	参考規格値*
比表面積 (cm ² /g)	3,560 ~ 8,690	2,500 以上
CaCO ₃ (%)	85.2 ~ 97.7	90 以上
MgO (%)	0.1 ~ 2.9	5 以下
SO ₃ (%)	0.24 ~ 1.8	0.5 以下
Al ₂ O ₃ (%)	0.08 ~ 0.42	1.0 以下
湿分 (%)	0.06 ~ 3.8	1.0 以下

※：JCI-SLP コンクリート用石灰石微粉末品質規格（案）²⁰⁾ から抜粋。

強度と、20℃で水中養生した場合の材齢 28 日の圧縮強度から、構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ を通期で 3 N/mm^2 とした¹⁰⁾。セメントを用いた場合の $3 \sim 6 \text{ N/mm}^2$ と同様であった。

(3) 現場打ち施工

2 種類のカーボンリサイクル・コンクリート（A, B）を舗装に用いた。平均気温は 15.5℃であったが、材齢 28 日の圧縮強度は A： 43.8 N/mm^2 、B： 25.5 N/mm^2

と良好に強度が発現した。材齢 56 日の Torrent 試験では、A：very good, B：good と判定され、通常の施工方法で高品質なコンクリートを得た¹¹⁾。

(4) 鋼繊維補強コンクリートへの適用

カーボンリサイクル・コンクリートは鋼材の防食性がある。鋼繊維を添加して引張軟化曲線を求め、実績のある繊維補強コンクリートの曲線と比較した。両者はよく一致し、同等の引張靱性であると確認した¹²⁾。

(5) 供用期間における CO₂ の吸収・固定の促進

無筋コンクリートの根固めブロックは鉄筋防食の必要がない。刺激材を調整して中性化速度（炭酸ガス吸収速度）を速くし、地上での備蓄中の CO₂ 吸収・固定量を増やした。また、アルギン酸を混合して、水中投入後の藻類の生育による CO₂ 固定（ブルーカーボン）の促進を図った。材料・備蓄・供用の 3 つの段階で複合した CO₂ の吸収・固定効果の検証を続けている¹³⁾。

(6) 環境安全性の確認

河川水や海水、地下水との接触に備えて溶出試験を行い、排水基準より厳しい土壌環境基準（環境省告示第46号、別表）と照らした。いずれの成分も検出下限未満であり、環境安全性を有することを確認した¹³⁾。

(7) 製造安定性

現状では、製造経験が乏しい場合や日常の製造規模より著しく小さい場合があるが、ベンチの製造の例では、数回の製造で習熟できた¹⁴⁾。

また、縦ルーバーでは調合管理強度 33 N/mm^2 に対し平均強度 45.2 N/mm^2 、標準偏差 2.6 N/mm^2 であった¹⁵⁾。いずれも製品工場の通常設備を用いて、安定した製造が可能であった。

(8) 狭隘部への充填性

鉄筋のほか、多数のアクリル樹脂製の棒や取付金具を埋設した狭隘部の多い壁部材に鋼繊維補強コンクリートとして適用し、部材を製造した。狭隘部では鋼繊維の絡み合いにより充填が不十分になることが懸念されたが、スランプフローを $50 \pm 7.5 \text{ cm}$ に管理することで、従来と同様の手順で欠陥なく良好に製造できた¹²⁾。

(9) 意匠性の付与と使用性

石材調建材を製作し、屋内外で床材¹⁶⁾、舗装材¹⁷⁾に使用した。セメントを使わないため白いことを活用し、白御影石調とした。曲げ強度のほか、摩耗抵抗性と滑り抵抗性、耐候性（変色）について試験し、十分な使用性を持つことを確認した¹⁷⁾。

(10) ひび割れの発生

体積変化を拘束したひび割れ試験（JIS A 1151）に

より、主に乾燥収縮によるひび割れが材齢28日までには発生しないことを確認した¹⁸⁾。このコンクリートを用いた壁部材は設置から約2.5年が経過するが、顕著なひび割れは観察されていない。

(11) 曝露試験

根固めブロックの河川堤防での曝露試験¹³⁾は約1.5年が経過した。また、実装事例の追跡調査のほか、神奈川県横浜市における試験体の曝露試験は約4年が経過した。いずれも劣化事象は観察されていない。

5. 今後の展望

カーボンリサイクル・コンクリートのCO₂の回収・固定から社会実装までの流れを図-2に示す。著者らのコアコンピタンスを活かした多様な連携を推進している。

“CCU技術”には環境側面、経済側面から合理的なCCU-CaCO₃の製造が求められる。これを用いたコンクリートの開発ではCCU-CaCO₃の適合性について情報を還流し、両者の有機的な連携により“新材料開発”として環境価値、経済価値を高めている。開発成果の普及には“商品化（製品化）”が必須である。商品開発・製造・販売を司るT-eConcrete研究会²¹⁾のメンバーは30社を超え、供給体制を整えている。また、生産性の向上など、新しい社会に調和させるため3Dプリンターを用いた施工についても検討している²²⁾。

技術的認知度を高め、使用や発注などに関わる多くのルールと整合を図るには“官民連携”は不可欠である。実装に深く関与する建築基準法については、我々を含む民間からの規制改革の要望に対し、内閣府に設置された「規制改革推進会議」が、建築基準法が社会実装に対するハードルにならないよう、環境配慮型コ

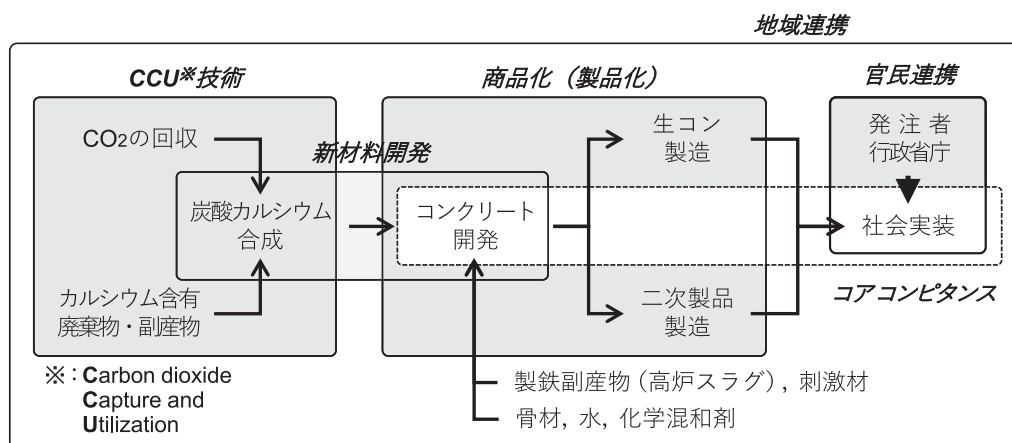


図-2 カーボンリサイクル・コンクリートの社会実装の流れ

ンクリートの社会実装に向けた検討に速やかに着手すべきであるとの考え方に沿って答申を示した²³⁾。

国土交通省はそれに基づき、例えば、建築研究所において「環境配慮型コンクリートを用いた鉄筋コンクリート部材の構造性能に関する検討」として具体的な検討を始めている²⁴⁾。

カーボンリサイクル・コンクリートの社会実装により、炭素とカルシウムに係るサーキュラーエコノミーの場が作られる。廃棄物や副産物の活用には、区域内処理の原則や運搬に係るCO₂の削減を踏まえ地産地消が望まれる。例えば愛知県などとの“地域連携”により、新しい地産地消モデルの導入について地域の環境や経済への効果も踏まえて検討を始めている²⁵⁾。

大きな枠組みでの取組みは「経済と環境の好循環」にも貢献するとして複数の賞を授かった^{26)~28)}。

脱炭素社会の実現には「移行期」が伴い、カーボンリサイクル・コンクリートを取り巻く状況も流動的である。現時点ではCO₂排出量が多いためポルトランドセメントは使用しないが、将来はその限りではない。CCU-CaCO₃についても、例えばグリーンイノベーション基金事業として²⁹⁾、製造法や製品の品質、セメントやコンクリートへの適用性が精力的に検討されており^{30), 31)}、その成果を大いに期待しているが、今後、より優れたCCU材料が開発された場合には、その材料への転換もあり得る。

脱炭素社会、循環型社会の構築に貢献するため、カーボンリサイクル・コンクリートは社会実装を進める一方で、進化を継続しなければならない。

6. おわりに

CO₂を資源とするCCU-CaCO₃と製鉄副産物を主成分とする結合材を用いて「カーボンネガティブ」を達成したカーボンリサイクル・コンクリートの特徴や社会実装の状況、展望をまとめた。

本技術の開発や実装は業界内外の多くの関係者に支えられている。深謝いたします。また、成果の一部は、国土交通省関東地方整備局公募事業「現場ニーズと技術シーズのマッチング」、広島県カーボンリサイクル関連技術研究開発支援補助金による。関係各位に深く感謝いたします。

J C M A

《参考文献》

- 1) 首相官邸 HP: 第二百三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説, 2020.10.26. https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinhyomei.html. (参照 2024-2-26).
- 2) 地球温暖化対策推進本部: 第45回地球温暖化対策推進本部議事要旨, 2021.4. <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/ondanka/kaisai/dai45/gijiyousi.pdf>. (参照 2024-2-26).
- 3) 経済産業省: 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2021.6.18. https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_honbun.pdf. (参照 2024-2-26).
- 4) 経済産業省: カーボンリサイクル技術ロードマップ, 2019.6 (2021.7改訂). <https://www.meti.go.jp/press/2021/07/20210726007/20210726007.pdf>. (参照 2024-2-26).
- 5) 大脇英司・萩野正貴: カーボンリサイクル・コンクリート「T-eConcrete®/Carbon-Recycle」の開発, 建設機械施工, vol.74, No.2, pp.13-17, 2022.2.
- 6) 萩野正貴・大脇英司: 炭酸カルシウムを利用したカーボンリサイクル・コンクリートの基本性状について, コンクリート工学年次論文集, Vol.45, No.1, pp.1090-1095, 2023.
- 7) 加藤優志・渡邊悟士・山本佳城・黒岩秀介: 高炉スラグ微粉末とカルシウム系刺激材を使用した環境配慮コンクリートの建築物への適用に向けた基礎物性評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.45, No.1, pp.1108-1113, 2023.
- 8) 加藤優志・渡邊悟士・山本佳城・今井和正・黒岩秀介: T-eConcrete®/セメント・ゼロ型, Carbon-Recycleの建築物適用に向けた基礎物性評価, 大成建設技術センター報, No.56, pp.05-1~05-7, 2023.
- 9) 加藤優志・一色裕二・坂本正義・小林圭: セメントを使用しない環境配慮コンクリートの構造部材への適用, コンクリート工学, Vol.62, No.2, pp.150-155, 2024.2.
- 10) 今井和正・渡邊悟士・山本佳城・井之上太: CO₂排出量収支がマイナスとなる環境配慮コンクリートの建築物への適用 その1 プレキャスト門扉部材への適用, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1314, pp.627-628, 2023.9.
- 11) 萩野正貴・大脇英司・宮原茂禎・岡本礼子: 移動式コンクリートプラントによるカーボンリサイクル・コンクリートの現場打ち舗装, 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会, V-408, 2022.9.
- 12) 吉田泰・加藤優志・渡邊悟志・黒岩秀介・萩野正貴・大脇英司・佐藤靖昌・永田達也: 環境配慮コンクリートの建築物への適用: 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1302, pp.607-608, 2022.9.
- 13) 近藤祥太・宮原茂禎・大脇英司: CO₂吸収コンクリートを用いた根固めブロックの現地実証試験, 電力土木, No.428, pp.28-31, 2023.11.
- 14) 畑山昌之・大脇英司・松元淳一・岡本修一: 製紙工程で生じる炭酸カルシウムの環境配慮コンクリートへの適用検討, 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会, VI-242, 2023.9.
- 15) 山本佳城・渡邊悟士・今井和正・古市理: CO₂排出量収支がマイナスとなる環境配慮コンクリートの建築物への適用 その2 プレキャスト縦ルーバー部材への適用, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1315, pp.629-630, 2023.9.
- 16) 渡邊悟士・今井和正・山本佳城・上田恭平: CO₂排出量収支がマイナスとなる環境配慮コンクリートの建築物への適用 その3 擬石平板への適用, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1316, pp.631-632, 2023.9.
- 17) 大脇英司・萩野正貴・岡本礼子・宮原茂禎: カーボンリサイクル・コンクリートを用いた天然石材調ブロックによる舗装の事例, 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会, V-407, 2022.9.
- 18) 坂本淳・萩野正貴・大脇英司・岡本礼子・渡邊悟士・加藤優志: 繊維を添加したカーボンリサイクル・コンクリートのプレキャスト部材への適用検討, 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会, V-409, 2022.9.
- 19) 土木学会コンクリート委員会: 混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針(案), コンクリートライブラリー152, 土木学会, 2018.9.
- 20) コンクリート工学協会: JCI規定集1977-2002年度, pp.465-467, 2004.
- 21) 大成建設 HP: 環境配慮コンクリート「T-eConcrete®」の普及展開に向け研究会を設立, 2021.1.12. https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/210112_5022.html. (参照 2024-2-26).
- 22) 木ノ村幸士・田中俊成・張文博・古市理・井坂匠吾: 環境配慮3Dプリンティング配合の開発と実適用, 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会, V-340, 2023.9.
- 23) 内閣府 規制改革推進会議: 規制改革推進に関する答申〜転換期におけるイノベーション・成長の起点〜, 2023.6.1.
- 24) 建築研究所: 共同研究者の募集を行います「環境配慮型コンクリートを用いた鉄筋コンクリート部材の構造性能に関する検討」, 建築研究所ニュース, 2024.1.12.
- 25) 愛知県 HP: 企業から提案のあった「CO₂コンクリート固定化技術を

用いた域内カーボンリサイクルプロジェクト」を支援します，2024.2.9. <https://www.pref.aichi.jp/press-release/aichi-cn-3.html>, (参照 2024-2-26).

- 26) 環境省：令和4年度気候変動アクション環境大臣表彰，開発・製品化部門，2022.12.5.
- 27) 科学技術と経済の会：第11回技術経営・イノベーション大賞 科学技術と経済の会会長賞，2023.2.13.
- 28) 内閣府ほか：第6回日本オープンイノベーション大賞 選考委員会特別賞，2024.2.14.
- 29) NEDO-HP：グリーンイノベーション基金事業概要，<https://green-innovation.nedo.go.jp/about/>, (参照 2024-2-26).
- 30) 荻野正貴・松元淳一・宮原茂禎・近藤祥太・畑 明仁・明渡翔太・池田千博・本田和也・小西正芳：リサイクル炭酸カルシウムを添加したコンクリートを用いた二次製品の製造（その1），令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会，V-589，2023.9.
- 31) 畑 明仁・松元淳一・橋本 理・宮原茂禎・近藤翔太・天野元輝・本田和也・小西正芳：リサイクル炭酸カルシウムを添加したコンクリートを用いた二次製品の製造（その2），令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会，V-590，2023.9.

[筆者紹介]

大脇 英司（おおわき えいじ）
大成建設㈱ 技術センター
T-eConcrete 実装プロジェクトチーム
荣誉研究員



加藤 優志（かとう ゆうし）
大成建設㈱ 技術センター
都市基盤技術研究部 構造研究室
主任



宮原 茂禎（みやはら しげよし）
大成建設㈱ 技術センター
社会基盤技術研究部 材工研究室
課長



海外工事で用いる生コンクリートのフレッシュ性状診断システム

AIを実装したWEBアプリ“Slump Checker”の開発

岩 城 圭 介

海外工事において、施工者自らが所有する現場バッチャープラントで製造する生コンクリートの品質安定化を目的に、フレッシュコンクリートの良否を診断するシステムを開発した。本システムでは、スランプ試験画像におけるスランプ形状と表面テクスチャーを要因としてフレッシュ性状を診断するAIを構築し、WEBアプリに実装することで現地スタッフによるスマートフォンを用いた運用を可能とした。また、製造管理・受入れ検査、圧縮強度試験等の品質管理データのデータベースと上記WEBアプリによる評価結果を一元管理するデスクトップシステムを開発した。

キーワード：海外工事、生コンクリート、品質管理、スランプ試験、スランプ形状、表面テクスチャー、AI

1. はじめに

海外工事では、工事規模が比較的大きいため、あるいは施工場所が僻地であるため、既存のバッチャープラント（以下、BP）のみでは生コンクリート（以下、生コン）の供給量が不足する場合がある。その対策として、施工者が当該工事専用のBPを新設するとともに、自らの責任で生コンを製造・供給する場合があるが、受入れ検査においては、生産者・使用者の立場が曖昧となることで適正な品質管理が行われず、生コン品質の不安定化を招く懸念がある。

本報では、現場BPから供給される生コンの品質安定化を目的に開発した生コンのフレッシュ性状を診断するAIシステムについて報告する。本AIシステムをWEBアプリに実装することで、現地スタッフがスマートフォンを用いてフレッシュ性状の診断を実施可能である。また、生コンの製造管理・受入れ検査・圧縮強度試験等の各段階の品質管理データのデータベースと、上記WEBアプリを統合することで、生コンの品質を一元管理する品質管理者向けデスクトップシステムも実用化した。

2. 海外工事における生コン品質管理の課題

ミャンマーにおける工事で使用した現場BPの例を写真－1に示す。

現場BPにおける生コン製造の日常管理では、骨材

の表面水率の測定、現場配合の設定、計量・練混ぜを含む製造管理、出荷時・現着時のフレッシュコンクリート試験、供試体採取および圧縮強度試験といった一連の品質管理を現地エンジニアや現地スタッフが担当するが、基本的に経験豊富な人材が不足している。

また、生コン品質の安定化には、骨材の品質安定化が重要であるが、海外工事では、採取場所の条件等により細骨材の微粒分量の変動が生じたり、雨季やスコールの影響で保管中の骨材の含水が極端に高くなったりすることがある。さらに、高温環境下ではコンクリート温度の制御を目的に保管中の粗骨材への散水が行われるため、粗骨材の含水が安定しない。以上のように、細骨材・粗骨材の表面水率の変動が大きいと、生コンのフレッシュ性状が安定しにくく、材料分離を生じる場合もある。



写真－1 現場生コン工場の例（ミャンマーの例）

3. スランプ試験の画像を用いたフレッシュコンクリート診断システム

(1) 従来のスランプ試験におけるフレッシュ性状の評価

スランプ試験は、JISのみならずISO、ASTM等の国際規格にも規定され、ほぼ共通形状のスランプコーンが使用されるため、海外工事の生コンを評価する上で有用である。ミャンマーにおけるスランプ試験状況の例を写真—2に示す。スランプ値は施工条件等により設定されるとともに許容範囲が規定されるが、規定の範囲内であっても材料分離や粘性過剰などのフレッシュ性状の問題を有している場合があり、それらの判断は技術者の経験に基づく目視評価にゆだねられている。

スランプ試験後の外観観察による材料分離の評価手法では、粗骨材の偏在やコンクリート縁からのペースト分の先流れが関連づけられている¹⁾。また画像を用いる評価手法としては、スランプ画像を二値化処理し一様に分布しているかを判定する手法が提案されている²⁾。さらに高流動コンクリート用では、スランプフロー試験の画像から材料分離を判定可能な、汎用のAIシステムを用いたWEBアプリが開発されている³⁾。



写真—2 スランプ試験結果の例（ミャンマーの例）

以上の既往の研究を参考に、スランプ試験の画像を分類し、それらを教師データとして機械学習することでAIを構築することとした。

(2) スランプ試験画像を利用したAIによるフレッシュコンクリート診断手法の開発⁴⁾

(a) スランプ画像の分類

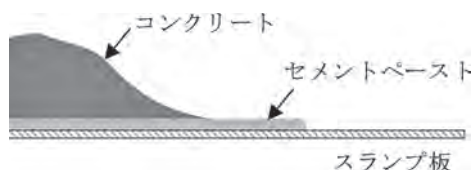
スランプ試験の画像の分類方法としては、スランプ形状および表面テクスチャーの2つの要因を設定し、各要因に対し数水準の分類基準を設けた。

スランプ形状の水準は、材料分離の激しい方から「セメントペースト先走り」(図—1)、「分離気味」、「適正」、「粘性過剰」(図—2)の4水準とした。ここで「分離気味」は、裾が広がったスランプ形状、「粘性過剰」は、スランプ板との付着により裾が広がらず膨れたスランプ形状、「適正」は、「分離気味」と「粘性過剰」の中間で、適度な粘性と流動性を有するようなスランプ形状である。

一方、表面テクスチャーの水準は、「粗い」、「中間」、「滑らか」(図—3)の3水準とした。ここで「粗い」は、粗骨材を覆うペーストが薄く、粗骨材の形が明確な表面テクスチャー、「滑らか」は、粗骨材がモルタルに覆われるため粗骨材が目立たず、スランプコーンの跡がつくような表面テクスチャー、「中間」は、「粗い」と「滑らか」の中間である。なお、海外工事の生コンは、AEコンクリートでないため表面テクスチャーが粗くなりがちであることに留意する必要がある。

(b) 教師データの作成

ミャンマーにおける海外工事にて、現地の品質管理



図—1 スランプ形状の模式図（セメントペースト先走り）



図—2 スランプ形状の模式図（左：分離気味、中：適正、右：粘性過剰）



図—3 表面テクスチャーの模式図（左：粗い、中：中間、右：滑らか）

スタッフが各自のスマートフォンで撮影した品質管理記録用のスランブ試験画像 570 枚を対象に教師データを作成した。

まず、コンクリート主任技士相当の技術者 3 人が、前項に示したスランブ形状と表面テクスチャーの模式図と説明を念頭に置き、スランブ試験の画像 570 枚を各水準に分類した。ある評価者によるスランブ試験画像の分類例を表—1 に示す。また表—1 中に示すように、分類に応じた評価値（スランブ形状：0, 5, 10, 15, 表面テクスチャー：0, 5, 10）を与えた。

表—1 中のスランブ画像の例でも明らかなように、スランブ画像の分類では曖昧な判断を要求し、評価者により異なる分類となる画像が多数あった。そこで、技術者 3 人の評価値の平均値を算出し、各スランブ試験画像にラベル付与することで教師データとした。

またスランブ試験画像は、写真—2 に示すように、試験結果記入用のホワイトボード、平板や地面などの

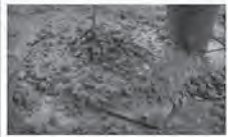
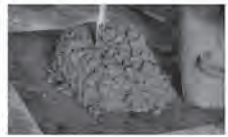
背景や温度測定用試料のカップなどが写り込んでいるため、コンクリート部分の検出が重要と考えられた。そこで、各スランブ試験画像のコンクリート部分を手作業で囲み、コンクリート部分検出用の教師データとした。

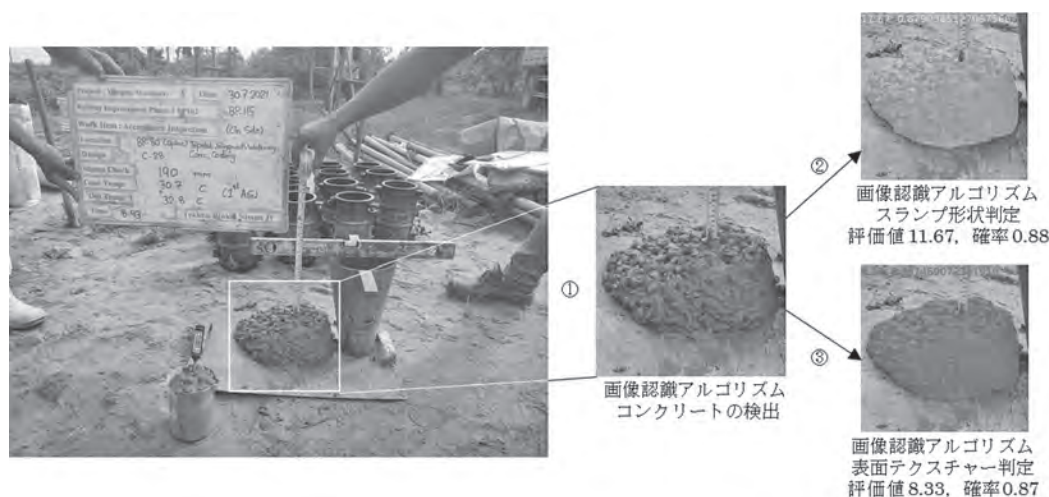
(c) AI 手法の検討

フレッシュコンクリート診断システムでは、図—4 に示すように、①スランブ試験画像からのコンクリート部分の検出、②スランブ形状の判定、③表面テクスチャーの判定の 3 段階で AI を使用した。複数のアルゴリズムを試行し、①、②、③の各ステップで、Meta AI, Detectron2 ライブラリ⁵⁾ の画像認識アルゴリズム Instance Segmentation を選定した。

まず①については、Instance Segmentation の物体検出機能により、コンクリート部分の検出を行った。複数個所を検出するため、カップに入った試料を検出するケースもあったが、検出の確からしさを確立表示することで、スランブしたコンクリートの検出を可能

表—1 各要因・各水準に対応する評価値とスランブ試験画像の例

		スランブ形状			
		セメントペースト 先走り 0	分離気味 5	適正 10	粘性過剰 15
表面テクスチャー	粗い 0				
	中間 5				
	滑らか 10				



図—4 採用した AI 手法の概要

とした。また②、③では、Instance Segmentation のセグメンテーション機能を利用して、スランプ形状、表面テクスチャーの各評価値に分類するとともに該当するラベル（評価値）を割り当てた。

(d) 精度の検証⁶⁾

以上のスランプ試験画像診断システムの精度を確認するために、クロスバリデーションを実施した。クロスバリデーションとは、データの分布の偏りを補正するために、データセットの組み合わせを変えて、学習・テストする手法である。本検討では、平均絶対値誤差 MAE (Mean Absolute Error) を求め、さらに評価値正答に対する診断結果の割合として精度 (%) を求めた。平均精度は、スランプ形状で 76.1%、表面テクスチャーで 76.9% であり、前述のように、曖昧さのある教師データに基づく診断結果としては、実用に耐えるものと考えられる。

4. 現場支援アプリの開発

(1) BP・現場スタッフ向けスマートフォン WEB アプリ “Slump Checker”

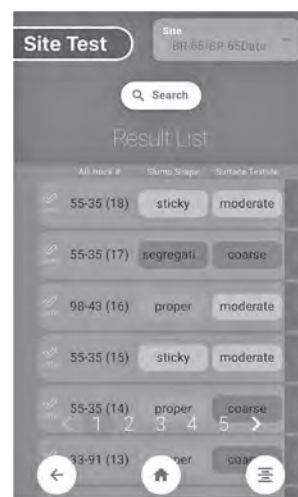
“Slump Checker” は、BP における出荷管理と現場における受入れ検査・フレッシュコンクリートの診断、製造管理へのアラート発信を目的としたスマートフォン WEB アプリである。

生コンの出荷時には、練混ぜ開始時刻・終了時刻、出荷時刻、出荷時スランプ・空気量・コンクリート温度、外気温等を記録するとともに、出荷時スランプの写真を保存することができる。また現場到着時には、フレッシュコンクリートの診断に用いるスランプ試験画像のアップロードに引き続き、受入れ検査に必要な現着時刻、現着時スランプ・コンクリート温度、外気

温等を、出荷情報に追加する形でアジテータ車ごとに記録することができる。スランプ試験画像のアップロードから数十秒経過後には、スランプ形状および表面テクスチャーの評価値と分類結果が得られ、BP・現場スタッフによる閲覧が可能となる。

診断結果の表示画面スクリーンショットを図—5に示す。なお、診断結果の色表示は、直感的に理解しやすくするためにスランプ形状、表面テクスチャーともに3段階とし、最も注視すべき診断結果「材料分離／Segregation」、「粗い／Coarse」を赤色表示した。

以上の一連の作業を、アジテータ車全車を対象に実施することで、各アジテータ車のスランプ形状と表面テクスチャーの診断結果を、図—6 (スクリーンショット) に示すように一覧表示することができ、現場スタッフが診断結果の推移を直感的に把握することが可能となる。この情報は、生コン品質の安定性を監視に有用であり、例えば悪い診断結果の組み合わせが3回以上連続した場合に、生コン工場の製造管理に対してア



図—6 診断結果一覧の例



図—5 フレッシュコンクリート診断結果の例



図ー7 デスクトップシステムダッシュボード機能の例

ラートを発信し製造工程の点検を促すとともに、細骨材・粗骨材表面水率の再測定を指示するなどの対策が可能となる。

(2) 品質管理者向けデスクトップシステム“Total RMC Manager”

“Total RMC Manager”は、主に作業所の品質管理エンジニアがデスクワークにおいて生コンの製造管理・品質管理の状況を管理する目的で開発したデスクトップシステムである。本システムは、前項のスマートフォンWEBアプリを用いて記録したBPにおける出荷管理データと現場における受入れ検査データ、フレッシュコンクリート診断結果を自動的に収録したデータベースで構成される。また、これら以外の生コン製造管理データ（細骨材・粗骨材表面水率、ミキサ負荷電流値等）と圧縮強度試験結果を、Microsoft Excelの専用フォーマットを用いて、上記データベースにインポートする機能を付与することで、生コンの製造管理から品質管理全般を一元管理するデスクトップシステムとした。本デスクトップシステムのユーザーインターフェースは、図ー7（スクリーンショット）に示すような、ダッシュボード機能により作業所品質管理エンジニアによる監視を容易にした。

5. おわりに

フレッシュコンクリート診断システムとして、スランプ試験画像におけるスランプ形状および表面テクチャーを要因としたAIを構築し、これを実装するBP・現場スタッフ向けスマートフォンWEBアプリを開発した。また、フレッシュコンクリート診断結果を含む生コン品質管理データベースを構成し、品質管

理エンジニアによる一元管理を可能とするデスクトップシステムを開発した。

本システムを海外工事に適用することで、現地スタッフ・現地エンジニアの生コン品質に対する意識向上が期待される。今後も、本システムを活用することで、海外工事における生コンの品質安定化に取り組む予定である。

本システムの現場試行・適用にご助力いただいたYangon-Mandalay Railway Improvement Project Phase1 (CP102)、鉄建建設・りんかい日産建設JVの関係各位および本システムの開発でご協力いただいたアイセイ(株)関和彦氏に感謝の意を表します。

JICMA

《参考文献》

- 1) 渡辺博志：現場打ちコンクリート施工の生産性向上，土木技術資料 59-1，pp.26-29，2017
- 2) 親本俊憲，平田真佑子：スマートデバイスを用いたコンクリートの材料分離判定の自動化，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.483-484，2021.9
- 3) 三島直生，鹿毛忠継，山田義智，崎原康平：AIによる高流動コンクリートの材料分離判断システムの開発に関する基礎研究，第73回セメント技術大会講演要旨，pp.96-97，2019
- 4) 福岡瑛莉奈，岩城圭介，川又篤，関和彦：スランプ画像によるフレッシュコンクリート評価診断システムの開発，土木学会年次学術講演会，V-446，2022
- 5) Meta AI, detectron2 (閲覧日：2024/1/29)：https://detectron2.readthedocs.io/en/latest/
- 6) 岩城圭介，川又篤，車紅升，福岡瑛莉奈，國澤博：スランプ試験の画像を用いたフレッシュコンクリート診断システムの開発と実用化，鉄建技術報告 2022 No.36，2023.3

〔筆者紹介〕

岩城 圭介（いわき けいすけ）
鉄建建設(株)
建設技術総合センター 研究開発センター
副所長



軟弱な海底地盤の表層をカルシア改質土に改良する 新技術「バッチ式原位置混合工法」

北 門 亨 允・谷 本 尚 希

従来のカルシア改質土の施工では、グラブ浚渫などにより土運船に積載した粘土をバックホウなどで改質材と混合することで改質し、グラブなどで海中投入する事前混合処理が主流である。

今回開発した「バッチ式原位置混合工法」は、サンドコンパクションパイル工法の専用船に取り付けた密閉式バケットを使用し、軟弱な海底粘土地盤の表層部を原位置で改質する新しい工法である。この工法では、バケット内で粘土と改質材を密閉状態で混合することで、効率的かつ環境に配慮した施工が可能となり、カルシア改質土の用途を拡大できる。本稿では、バッチ式原位置混合工法の概要および施工機械について紹介する。

キーワード：カルシア改質土、原位置混合、表層改良

1. はじめに

浚渫工事で発生する浚渫土は、土砂処分場や埋立地に投入処分されることがほとんどであるが、近年処分場の建設や埋立用地の確保が困難になっている。一方、海域自然再生事業における藻場・浅場・干潟の造成や、港湾や海上空港の建設事業では、大量の良質土砂が必要であり、リサイクル材料の積極的な活用が期待されている。このような背景のもと、軟弱な泥土の土性を改良し、海域自然再生事業や建設事業に有効利用する「カルシア改質土」が開発された。近年では、海洋植物等のブルーカーボン生態系を活用したCO₂吸収源の拡大に向けて、藻場・干潟等の生物共生型港湾構造物を「ブルーインフラ」と位置付けて整備が推進されており、「カルシア改質土」の更なる有効利用が期待されている。

2. カルシア改質土の概要

(1) カルシア改質土の特徴

カルシア改質土（以下、改質土）は、シルト・粘土分を多く含む、高含水比で軟弱な浚渫土に鉄鋼製造の副産物である転炉系製鋼スラグ（以下、改質材）を混合した改質土である（図—1）。水和反応による強度発現・海中投入時の濁り抑制などの特性を有することから^{1), 2)}、浚渫土の有効活用技術として埋立材や浅場・干潟の基盤材などに利用されている。



図—1 カルシア改質土の外観

(2) 従来の施工方法

従来の施工は、浚渫土と改質材を混合する混合プロセスと、混合した改質土を投入する投入プロセスとに大別されており、施工規模・地理的条件・浚渫土の状態などに応じて、最適な混合工法と投入工法が選定される。ここでは、施工実績の多いバックホウ混合工法とグラブ投入工法について記載する。

バックホウ混合工法は、土運船内の浚渫土に改質材を投入して、汎用的な建設機械であるバックホウにより混合する工法である。小規模設備での施工が可能であり、主に小規模施工に適した工法である。グラブ投入工法は、グラブ浚渫船を用いて改質土をグラブバケットにて海中に投入する工法である。投入面までグラブを降ろすことで濁りの発生を抑制できるが、水深が深い場合には施工能率が悪くなる。

3. バッチ式原位置混合工法の概要と施工機械

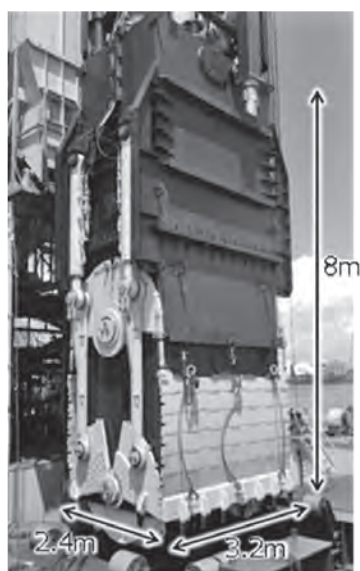
今回開発した「バッチ式原位置混合工法（以下、本工法）」は、サンドコンパクションパイル工法の専用船に取り付けた密閉式バケット（写真—1）を使用し

て、軟弱な海底粘土地盤の表層部を改質する新しい工法である³⁾。

(1) 本工法の施工手順

本工法の施工手順は以下の通りである（図—2）。本工法は、原位置（海底）で一連の施工を実施するため、従来工法のように混合プロセスと投入プロセスとに分かれていない。

- ①先端を開いた状態でバケット内に圧縮空気を送り、バケット内を排水する。
- ②原地盤へバケットを2.5 m 圧入して先端を閉じる（掘削）。
- ③バケット内に取り込んだ粘土を攪拌翼により解泥する。
- ④バケット内に改質材を投入し、攪拌翼で粘土と混合して改質土を製造する。



写真—1 密閉式バケットの外観

- ⑤バケットの先端を開いて地盤から引き抜き、改質土を排出する。

(2) 本工法の特長

本工法には以下の特長がある。

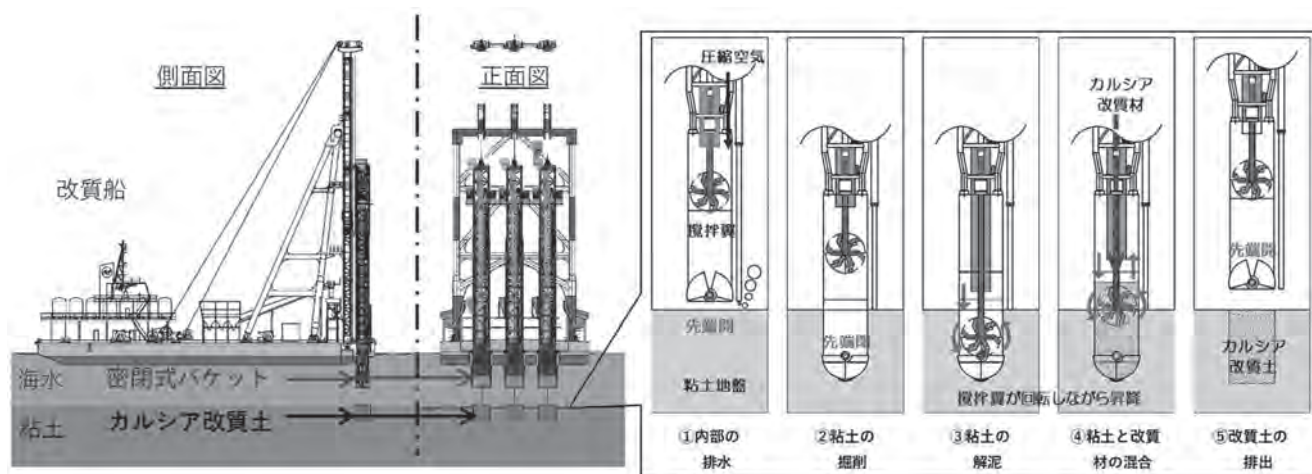
- ・原位置で一連の施工を行うため、施工工程の簡略化が可能である。
- ・海底近傍で改質土を排出するため、施工時の濁り発生を更に抑制できる。
- ・バケット内に余分な水分が含まれないため、改質土の強度品質の向上が期待できる。
- ・25 m までの大水深で施工が可能である。

(3) 施工機械

本工法は、サンドコンパクションパイル工法の専用船の前面に、専用の施工装置（以下、改質機）をアタッチメント形式で取り付け付けた作業船（以下、改質船）で施工する。サンドコンパクションパイル工法と同様に、本工法も三連装の改質機での施工が可能である。また、GNSSを使った位置決め装置により、改質船を正確な施工位置に移動させることができる。

(a) 全体構成

改質機は、改質土製造部・材料投入部、材料貯蔵部に分かれており（図—3）、改質船に備わったウインチのワイヤーにより頂部が吊られている（図—4）。改質機上部のH形鋼は、リーダーの鉛直ガイドレールと固定されており、水平方向の動きのみが拘束される仕組みになっている。また、改質船の船首には改質機の水平方向の動きを拘束するキーパー部があるため、キーパー部の内側を改質機が昇降することで、水平位置を保ったまま改質機の高さを操作できる。次項より、主な施工手順における各機械動作について説明する。



図—2 密閉式バケットを使った施工の流れ

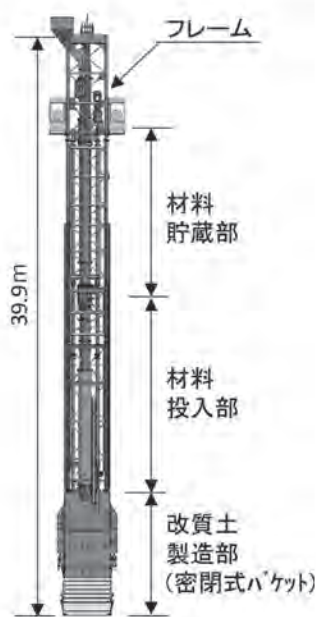


図-3 改質機の構成

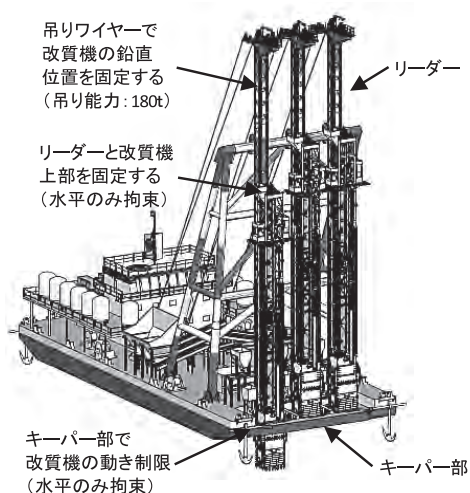


図-4 改質機の取り付け

(b) バケット内の排水

バケット内の圧力調整は、水中排気管を昇降させることで行うことができる。水中排気管はバケットと繋がっており、バケット内の圧力は水中排気管の先端圧力と等しくなる。そのため、バケット内に圧縮空気を送った状態で、水中排気管を改質機とは独立に昇降させることで、バケット内の圧力を調整することが可能である。バケット内を排水する際は、排気管の先端をバケットの先端と同じ高さまで降下させる(図-5a)。

(c) バケットの圧入

内部を排水したバケットを地盤に圧入する際には、水中排気管を上昇させることでバケット内の圧力を低く保ち、粘土を吸引しながら改質機を降下させる。圧入後、粘土の取込を確認し、バケットの先端部にあるシャッターを閉じる(図-5b)。

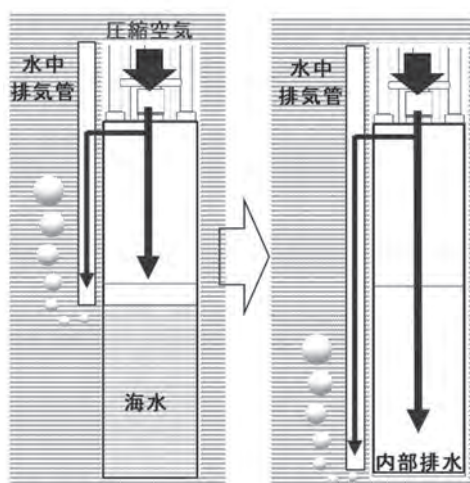
(d) 改質材の投入

改質材は以下の経路で改質土製造部に投入される(図-6)。改質機の材料貯蔵部までの経路は、サンドコンパクションパイル工法と同様である。

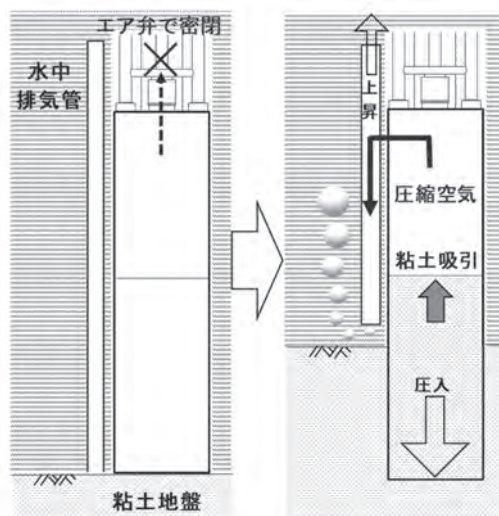
- ①ガットバージ→改質船の砂箱
- ②改質船の砂箱→ベルトコンベア
- ③ベルトコンベア→計量ホッパー
- ④計量ホッパー→移動バケット
- ⑤移動バケット→改質機の材料貯蔵部
- ⑥改質機の材料貯蔵部→材料投入部
- ⑦材料投入部→改質土製造部(密閉式バケット)

(e) 粘土と改質材の混合

バケット内の攪拌翼が回転・昇降することで、取り込んだ粘土が解泥される。解泥後、改質材を投入しながら攪拌翼を回転・昇降させることで、粘土と改質材

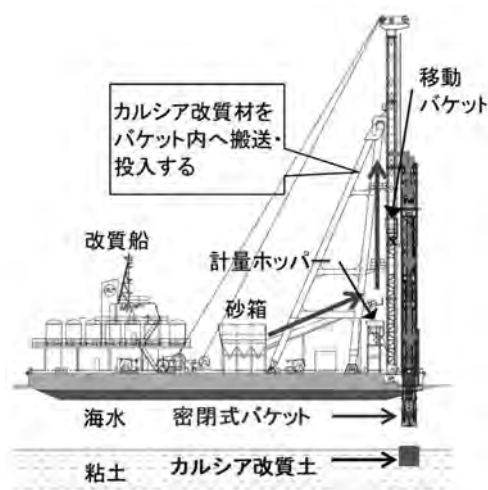


(a) バケット内を排水する場合



(b) バケットを地盤に圧入する場合

図-5 水中排気管による密閉式バケット内の圧力調整



図一六 カルシア改質材の投入経路

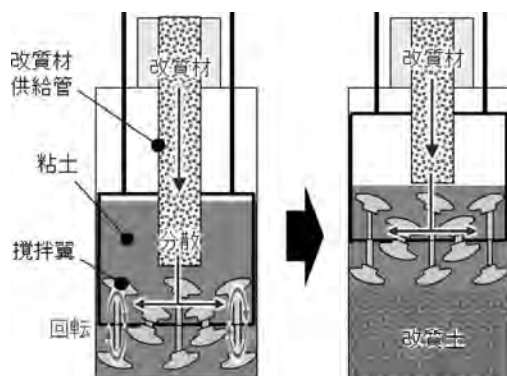
が混合される。改質材供給管は攪拌翼と連動して昇降する機構となっており、改質材供給管を通して攪拌翼の回転部に直接投入された改質材は、攪拌翼の回転によって左右に分散する様になっている（図一七）。

(4) 本工法の用途

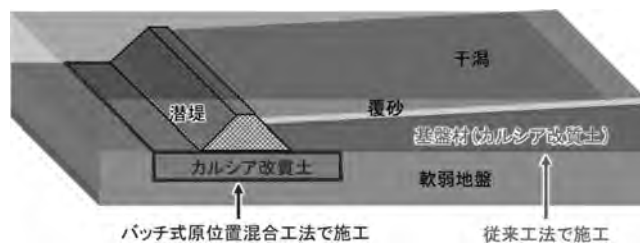
本工法は、軟弱粘土地盤に改質材を直接混合する工法なので、海上から改質土を投入する従来工法とは異なる用途へ適用できる。干潟の造成においては、従来工法では基盤材として改質土を適用できるのに対し、本工法では潜堤直下の地盤の表層改良に適用することができる（図一八）。その他の用途では、航路埋没対策などへの適用が可能である。

(5) 実証試験と公的評価

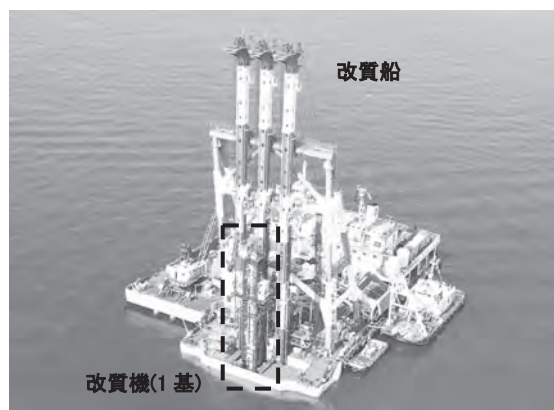
本工法で施工した改質土の品質や施工時の周辺海域の濁りなどを確認するため、2022年7月から2か月にわたり広島港出島地区において実証試験を行った（写真一2）。また、実証試験で得られた成果をもとに、（一財）沿岸技術研究センターによる港湾関連民間技術の確認審査・評価事業に申請し、以下の公的評価を



図一七 粘土と改質材の混合イメージ



図一八 カルシア改質土の適用例（干潟造成）



写真一2 実証試験の状況

取得した⁴⁾。

- ①従来のカルシア改質土の施工方法と同様の配合設計フローが適用可能であること。
- ②地盤の表層2.5mをカルシア改質土に改良することが可能であること。
- ③所定の環境安全品質を満たす原材料を用い、事前に安全性を確認することにより、周辺海域の水質に悪影響を及ぼさないこと。

4. 今後の展開

バッチ式原位置混合工法は、施工工程の簡略化・施工時の濁り抑制のほか、大水深施工や表層改良といった特徴を有しており、従来工法とは異なる用途へ適用できる。今後、本工法の活用提案を通じて、カルシア改質土の普及拡大やブルーインフラの拡大などに貢献し、持続可能な社会の実現に寄与していきたいと考えている。

謝 辞

本工法は、JFEスチール(株)、日本製鉄(株)、五洋建設(株)、東亜建設工業(株)との共同開発であり、貴重なご意見と多大なご協力をいただきました。あらためてお礼申し上げます。

《参考文献》

- 1) (社) 日本鉄鋼連盟 転炉系製鋼スラグ 海域利用の手引き別冊「転炉系製鋼スラグと浚渫土との混合改良工法」, 平成 20 年 9 月
- 2) (一財) 沿岸技術研究センター「港湾・空港・海岸等における カルシア改質土利用技術マニュアル」, 平成 29 年 2 月
- 3) 本田秀樹, 山本佳知, 山口裕章, 谷敷多穂, 宮本一之, 溝口栄二郎: カルシア改質土の原位置混合工法の開発, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.74, 2018
- 4) (一財) 沿岸技術研究センター 港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書, 第 22006 号「カルシア改質土のバッチ式原位置混合工法」, 令和 5 年 3 月



[筆者紹介]

北門 亨允 (きたかど ゆきのぶ)
日本海工(株)
海環境事業推進部
次長



谷本 尚希 (たにもと なおき)
日本海工(株)
技術部



脱炭素社会と新たな価値創造を実現する建設新材料 ジオポリマーコンクリートの開発

木 作 友 亮・倉 田 幸 宏

カーボンニュートラルの実現に向け、土木・建築分野でも CO₂ 排出の少ない材料が求められつつあり、大きく排出量を低減できるジオポリマーが注目されている。ジオポリマーの理解を深めるために様々な試験を実施し、圧縮強度と静弾性係数との間に線形の相関が見られること、高い耐酸性を有すること、線膨張係数はセメントコンクリートと大きく異なること等を確認した。実構造物への適用に向けては、下水道シールドセグメントを試作し、高い付着強度に注意すれば製造に大きな問題はないことが分かった。セグメントの単体曲げ試験では、セメントコンクリートと同等の構造性能が得られることを確認した。

キーワード：ジオポリマー、CO₂ 削減、メタカオリン、耐酸性、セグメント

1. はじめに

18 世紀の産業革命以降、人類が排出する CO₂ は増加の一途をたどっている。気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の報告¹⁾によれば、気候変動対策を実施して 21 世紀末の気温上昇を約 1.5℃に抑えるシナリオ「SSP1-1.9」を実現できれば、2081～2100 年の気温上昇を 1.0～1.8℃に抑えられると予測されている。シナリオ「SSP1-1.9」の実現には、2050 年頃までに温室効果ガスの排出量を実質ゼロにするカーボンニュートラルが必要だとされており、2020 年 10 月に我が国でも 2050 年カーボンニュートラルが宣言された。この実現は容易ではなく、産業界が一丸となって取り組むべき重要課題であると考えられ、土木・建築分野でもカーボンニュートラルに寄与する技術の開発が求められている。

これに対して近年では、産業副産物の高炉スラグ微粉末やフライアッシュを活用することでセメントの使用量を低減した環境配慮型コンクリートや CCU (Carbon dioxide Capture and Utilization) 技術を活用したコンクリート等が発表されている^{例えば 2)}。これらの他にも、セメントを全く使用しないことから CO₂ 排出量を削減することができ、高い耐酸性や耐熱性といった特徴を有する新素材のジオポリマーが注目されている。しかし、ジオポリマーは比較的新しい材料であることから、長い歴史を有するセメントコンクリートに比べれば、技術的な知見は限定的であると言える。そこで、ジオポリマーのさらなる理解を目的とし

て、主として基本特性に関わる様々な試験を実施する。また、構造物への適用に向けて鉄筋ジオポリマーコンクリートの二次製品を試作するとともに、構造試験で一般的な鉄筋コンクリート構造との差異を確認する。

2. ジオポリマーコンクリートの概要

ジオポリマーは、アルミナシリカ粉末（以降、活性フィラーと呼ぶ）とアルカリ溶液との縮重合反応で硬化する固化体の総称であり、1990 年代にフランスの Davidovits 博士によって命名された。ジオポリマーの反応機構を図 1 に示す。活性フィラーの化学結合が、ジオポリマーに含まれるアルカリ成分によって切断され、ケイ素やアルミニウムを含むモノマーが生成される。これらが縮重合反応によって、カリウムやナトリウムを取り込みながらネットワークを形成し、ジオポリマーとして硬化する。

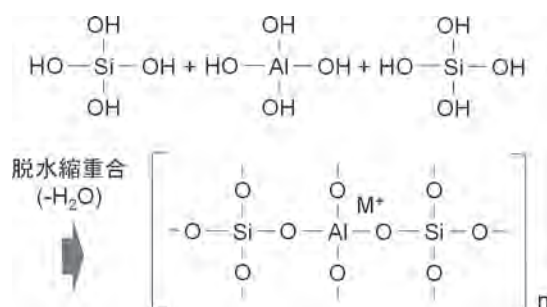


図 1 一般的なジオポリマーの反応機構

ここでは、主に土木や建築向けの構造体に適用することを想定し、セメントコンクリートと同様に細骨材や粗骨材を使用することを前提とする。本書では、骨材を含まないものをジオポリマーペースト、細骨材のみを含むものをジオポリマーモルタル、両者を含むものをジオポリマーコンクリートと呼ぶことにする。土木・建築向けのジオポリマーコンクリートは、活性フィラーにフライアッシュと高炉スラグ微粉末を使用したものが主流であるが、これらはカルシウム成分を多く含むものであり、厳密にはジオポリマー（区分 GP）と区別するために AAMs (Alkali Activated Materials) と呼ばれている³⁾。著者らは、横浜国立大学およびアドバンエンジニアとともに、メタカオリンを主体とした GP に該当する「セメノンTM」を開発した。以降は、「セメノンTM」のことを単にジオポリマーと表現する。

3. ジオポリマーコンクリートの基本特性と応用可能性

(1) 圧縮強度およびスランプ

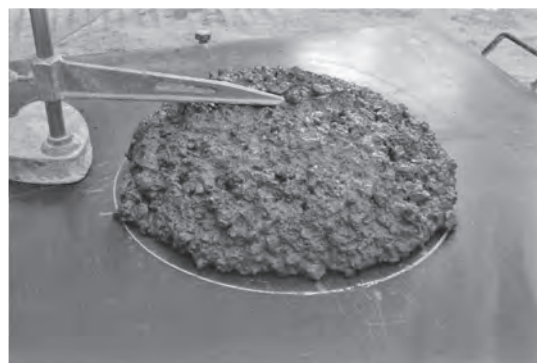
ジオポリマーコンクリートは、配合によって強度発現性が異なるものの、常温でも硬化は可能である。しかし、加温養生を行うことで、より短期的にその性能を高めることができる。開発したメタカオリン主体のジオポリマーコンクリートは、加温養生を行うことによって、 100 N/mm^2 程度の圧縮強度を得ることができる。同配合でスランプやスランプフローを測定すると、概ね中流動コンクリートと同等の 21 cm、400 mm 程度が得られる（写真—1）。ただし、アルカリ剤を含むジオポリマーコンクリートの粘度は、セメントコンクリートに比して大きいため、スランプが大きいからといって容易にポンプ圧送できるわけではない点に注意が必要である。

(2) 圧縮強度と静弾性係数の関係

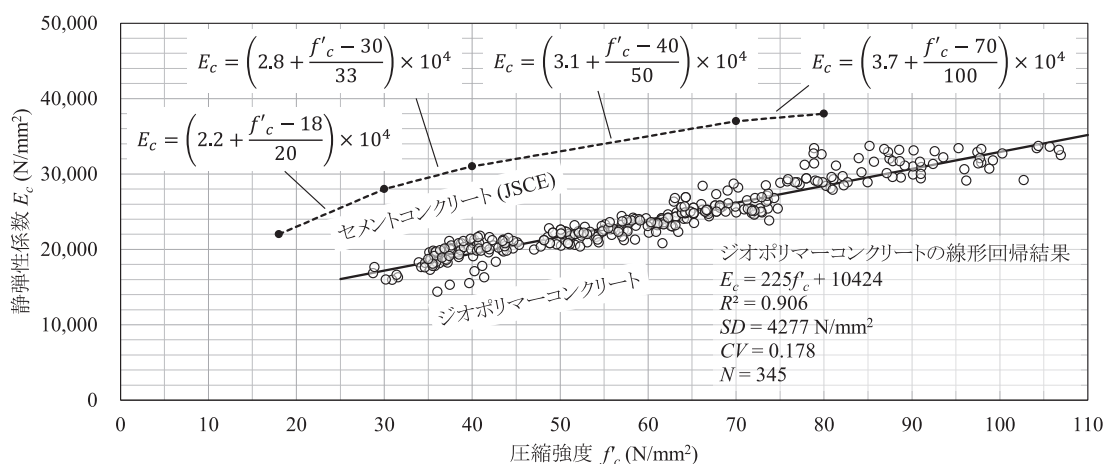
セメントコンクリートとジオポリマーコンクリートは、それぞれ水和反応と縮重合反応といった異なるメカニズムで硬化することから、圧縮強度が同じでも変形特性は異なる。開発したメタカオリン主体のジオポリマーコンクリートについて、圧縮強度と静弾性係数の関係を図—2 に示す。参考のため、土木学会のコンクリート標準示方書⁴⁾に掲載されているセメントコンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係も示している。同一の圧縮強度であれば、セメントコンクリートに比べて、ジオポリマーコンクリートの静弾性係数は小さいことが分かる。図—2 に示した試験データは、活性フィラーの組合せ、アルカリ剤の組合せ、加温養生条件等が様々であるが、それでも広い圧縮強度の範囲で、静弾性係数との間に線形関係が認められる。

(3) 線膨張係数

セメントコンクリートとジオポリマーコンクリートの両者について、中心に埋込み型ひずみ計を設置した $100 \times 100 \times 400 \text{ mm}$ の角柱供試体を作製した。硬化後に雰囲気温度を 20°C から 70°C の範囲で変化させ、昇温時における硬化体の内部温度とひずみとの関係が



写真—1 コンсистенシーの確認



図—2 圧縮強度と静弾性係数の関係

ら、線膨張係数を求めた。その結果を図-3に示す。ジオポリマーコンクリートの線膨張係数は、 $9.5 \mu/\text{℃}$ であり、一般的なセメントコンクリートの $10 \mu/\text{℃}$ と同程度もしくは僅かに小さい結果を示した。

(4) 硬化体の pH

セメントコンクリートの pH は、12～13 程度とされている^{例え5)}。鉄筋コンクリート構造内の鉄筋は、アルカリ環境下で不動態被膜が発生することで発錆が抑制されている。ジオポリマーコンクリートであっても、補強材として内部に鉄筋を配置することが考えられるため、ジオポリマーマトリクスの pH を測定した。セメントペースト硬化体（普通ポルトランドセメント、水セメント比 46%）とジオポリマーペースト硬化体を $75 \mu\text{m}$ 以下の粉末に粉碎し、固液比 1:1 の割合で純水に成分を溶出させ、pH 計で液相の pH を測定した。図-4に示すように、セメントペーストの pH が 13.4 であったのに対し、ジオポリマーペーストの pH は 13.1 であった。配合にもよるが、ジオポリマーペーストの pH は、概ねセメントコンクリートペーストと同程度であることが分かった。

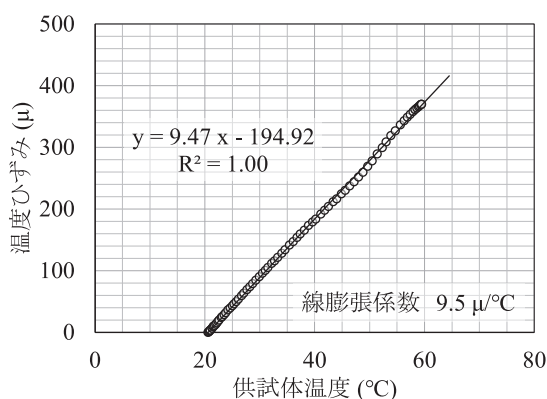


図-3 昇温時の内部温度とひずみの関係

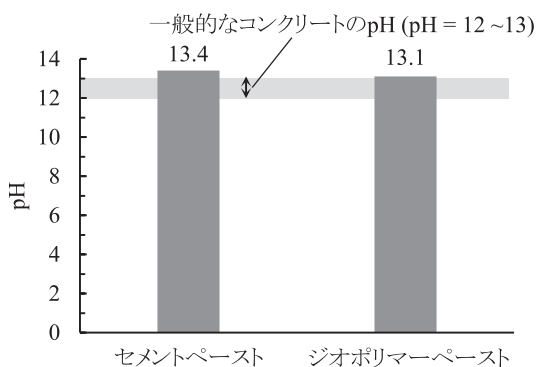


図-4 pH の比較

(5) マクロ組織

セメントコンクリートとジオポリマーコンクリートのマクロ組織を比較するため、デジタルマイクロスコープによって硬化体の断面を観察した。スランブ 8～12 cm 程度の普通コンクリート（普通ポルトランドセメント、単位水量 $155 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、水セメント比 62%）、スランブ 21 cm 程度の中流動コンクリート（普通ポルトランドセメント、単位水量 $170 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、水セメント比 46%）、ジオポリマーコンクリートの 3 種類を観察対象とした。 $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$ の円柱供試体の中心を縦方向に切断し、鏡面研磨した切断面を観察面とした（写真-2）。観察面に赤染料を塗布してから溶剤で拭き取り、欠陥部を赤く染色してからデジタルマイクロスコープで観察した。

各材料の観察結果を図-5に示す。普通コンクリートは、気泡や細骨材をつなぐひび割れが観察された。中流動コンクリートは、ひび割れは少なかったが、ブリーディングが影響したと考えられる骨材界面の遷移帯が観察された。一方、ジオポリマーコンクリートは、セメントコンクリートのように色合いにムラがなく、一様なペーストマトリクスを形成していた。また、骨材周囲や気泡周りにもマイクロクラックや欠陥は見当たらなかった。

(6) 透水性

物質の浸透性を比較するため、代表的にセメントコンクリート（普通ポルトランドセメント、単位水量 $170 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、水セメント比 46%）とジオポリマーコンクリートの透水試験を行った。本試験では、水の浸透深さと加圧条件から透水係数を求めるインプット法を採用し、 $5.0 \text{ kg}/\text{cm}^2$ の水圧を 2 時間加えて拡散係数を求めた⁶⁾。各材料の透水試験結果を図-6に、割裂後の供試体断面を写真-3に示す。ジオポリマーコン

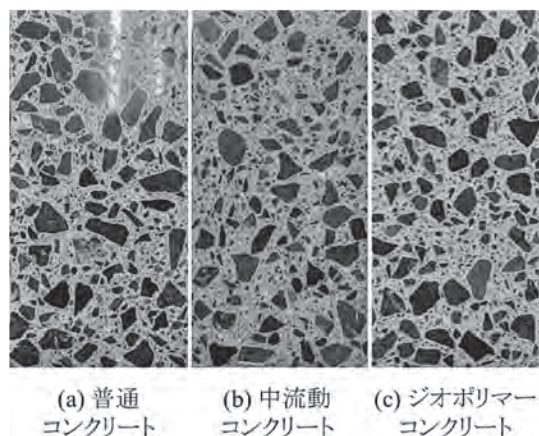
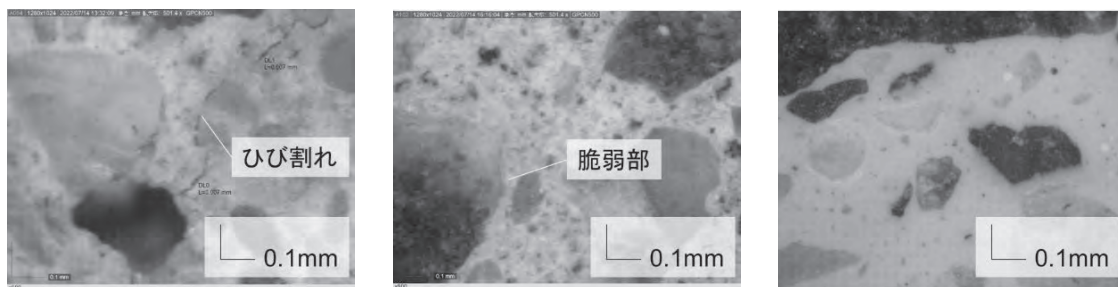


写真-2 マクロ組織の観察用試料

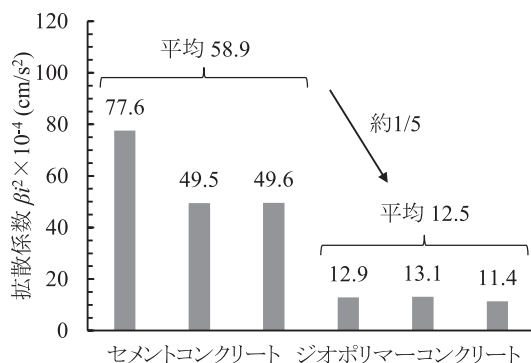


(a) 普通コンクリート

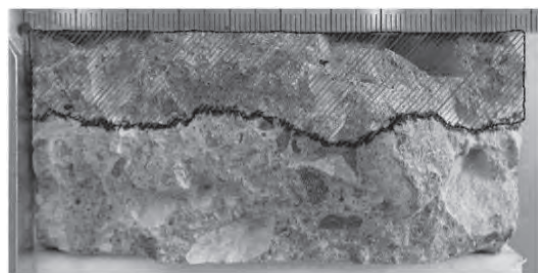
(b) 中流動コンクリート

(c) ジオポリマーコンクリート

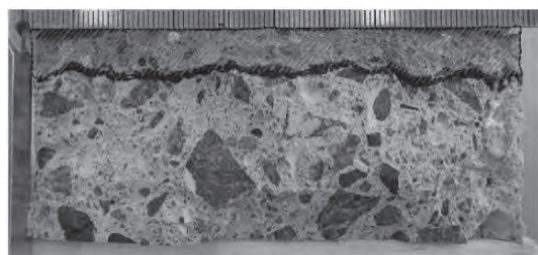
図—5 デジタルマイクロスコープによる観察結果



図—6 各材料の透水試験結果



(a) セメントコンクリート



(b) ジオポリマーコンクリート

写真—3 透水試験後の供試体断面

クリートの拡散係数 ($12.5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}^2$) は、セメントコンクリート ($58.9 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}^2$) の 1/5 程度であることが分かった。普通コンクリートでは、骨材周囲等で局所的に深く浸透する領域が見られたが、ジオポリマーコンクリートの浸透深さは場所によらず一定であった。こうした違いが生じるのは、デジタルマイクロスコープの観察で明らかとなったように、ジオポリ

マーコンクリートは内部欠陥が少ないからだと考えられる。

(7) 耐酸性

ジオポリマーコンクリートは、耐酸性が高いことで知られている。そこで、下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル⁷⁾に基づき、セメントコンクリートとジオポリマーコンクリートの耐酸性を比較した。各材料の円柱供試体を 5% 硫酸水溶液に 112 日浸漬し、質量変化を測定した。その結果を図—7に示す。セメントコンクリートの質量が 48% 低下したのに対し、ジオポリマーの質量は 3.4% の低下に留まり、高い耐酸性を有することが確認された。

(8) 中性子遮蔽ジオポリマーの実現性

各種放射線の中でも、中性子線は遮蔽が難しい。遮蔽に有効な物質としてホウ素が挙げられ⁸⁾、ホウ素を含む中性子遮蔽コンクリートが開発されてきた。しかし、ホウ素が水和反応を阻害して強度を著しく低下させる問題があった。そこで、全く硬化反応が異なるジオポリマーについて、ホウ素含有の可能性を検証し

3体平均の質量減少率
48%

(a) セメントコンクリート

3体平均の質量減少率
3.4%

(b) ジオポリマーコンクリート

図—7 耐酸性の比較

た。ホウ素を含む鉱物であるコレマナイトを細骨材としたジオポリマーモルタルの圧縮強度試験結果を表—1で比較する。コレマナイトを細骨材に使用した場合でも 47.4 N/mm^2 の圧縮強度を示し、陸砂から 18% の強度低下にとどまった。このことから、ジオポリマーであれば、コレマナイトを含む配合であっても、構造物に適用できる程度の圧縮強度が得られることが分かった。

4. ジオポリマーコンクリート製セグメントの試作

(1) 概要

3章では、主にジオポリマーコンクリートの基本特性を紹介したが、実際には鉄筋を配置した鉄筋ジオポリマーコンクリートとして利用されることが多いと想定される。ここでは、ジオポリマーコンクリートによる二次製品の試作例や載荷試験の例を紹介する。

(2) 鋼製型枠への付着

ジオポリマーコンクリートは、セメントコンクリートに比べて金属に対する付着力が大きいことが知られている。そのため、鋼製型枠を用いてジオポリマーコンクリートの二次製品を製作する場合、適切な剥離剤を選定することが重要となる。そこで、建研式接着力試験器を用いて、鋼とジオポリマーコンクリート界面の付着強度を測定した。その結果を図—8に示す。剥

離剤を用いない場合、界面の付着強度は 4.97 N/mm^2 であり、非常に高い値を示すことが分かる。セメントコンクリート製品の製造で用いられる鉱物油系の剥離剤を用いることで、界面の付着強度は 3.80 N/mm^2 まで低下したが、それでも一般的なセメントコンクリートの付着強度に比べて高い値となる。鹿島らの研究⁹⁾で付着強度の低減効果が見られた塗膜系の剥離剤を用いることによって、付着強度が 0.19 N/mm^2 まで低下した。このことから、鹿島らの報告にあるように、塗膜系の剥離剤を用いてジオポリマーコンクリートと鋼を完全に遮断することが、有効な対策であると考えられる。一方、鋼と強力に付着することから、ジオポリマーコンクリートに埋め込んだ鉄筋は、セメントコンクリートに比べて引抜き抵抗力が大きくなる。このことから、ジオポリマーコンクリートでは、鉄筋の重ね継手長さやアンカーの定着長さを低減できる可能性があるものと推察される。

(3) セグメントの試作

次に、ジオポリマーコンクリートでシールドセグメントを試作した。試作品の外観を写真—4に示す。剥離剤の選定に気を付けることで、セメントコンクリートと同様にジオポリマーコンクリートの二次製品を製作することができる。加温養生条件やジオポリマーの配合を変更することで、脱型時期を調整することも可能であるため、製作の実態に合わせて合理的な工夫を施す余地もある。

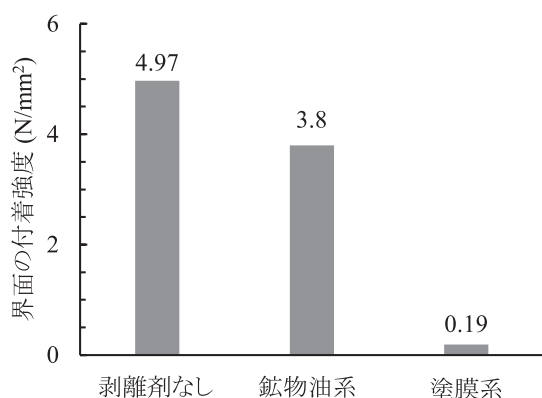
(4) セグメント単体曲げ試験の例

既報¹⁰⁾で、鉄筋ジオポリマーコンクリート梁の静的4点曲げ載荷試験の例を紹介したが、ここでは下水道シールドセグメントの単体曲げ試験（静的4点曲げ載荷試験）の例を紹介する。載荷試験の概要と試験状況をそれぞれ図—9および写真—5に示す。載荷試験の諸元は、日本下水道協会の規格¹¹⁾に基づいている。アーチアクションの影響を低減するため、両支点とも回転と水平移動を許容する点が、梁の載荷試験とは異なる。試験で得た荷重と支間中央たわみの関係を

表—1 圧縮強度試験結果の比較

	Case 1	Case 2
細骨材	陸砂	コレマナイト
S/B (wt%)	3.01	4.03
圧縮強度 (N/mm^2)	58.0 (1.00)	47.4 (0.82)

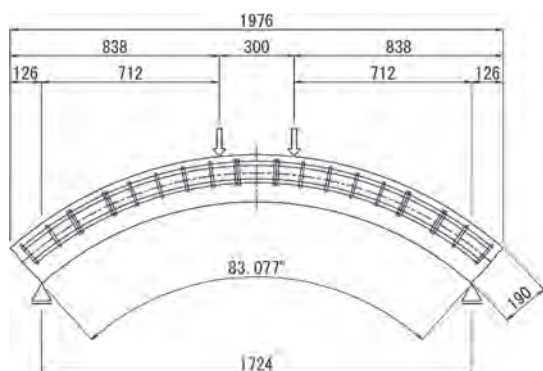
* S は細骨材，B は結合材（活性フィラー）



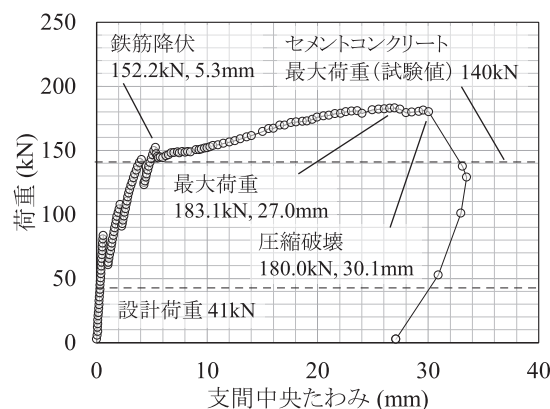
図—8 界面条件を変化させた付着強度



写真—4 セグメント試作品の外観



図一 9 載荷試験の概要



図一 10 荷重と支間中央たわみの関係



写真一 5 載荷試験の状況

図一 10 に示す。載荷初期で荷重の増減が見られるが、これは下水道セグメントであることから、トンネル内面側にかぶりに加えて厚さ 50 mm の防食被覆層を設けていることが影響している。ジオポリマーコンクリートのセグメントであっても、鉄筋降伏の後に圧縮破壊に至る曲げ引張破壊を呈している。セグメントの曲げ耐力は設計荷重を大きく上回り、また同諸元のセメントコンクリートに比べて耐力やじん性は劣るものではないことが確認された。

5. おわりに

メタカオリンを主体とした GP である「セメノンTM」について、基本特性、二次製品の製造性、構造性能について述べた。ジオポリマーコンクリートは、CO₂ 排出量が削減できるだけでなく、セメントコンクリートとは異なる特徴を有する材料である。ジオポリマーコンクリートだから実現できることに焦点をあて、特徴を活かした使い方をするのが今後の発展に有効だと考える。本研究に際しては、横浜国立大学の藤山知加子教授およびアドバンエンジンの方々にも多大なご協力をいただきました。ここに、深く感謝を申し上げます。

J C M A

《参考文献》

- 1) Lee, H. et al, Synthesis report of the IPCC Sixth Assessment Report (AR6), Longer report, IPCC, 2023
- 2) 久田真ら, 環境配慮型コンクリートの全体像と今後の展望, コンクリート工学, Vol.60, No.10, pp.881-887, 2022
- 3) 土木学会, コンクリート技術シリーズ No.132, 土木分野におけるジオポリマー技術の実用化推進のための研究小委員会 (361 委員会) 成果報告書, 2022.
- 4) 土木学会, コンクリート委員会 コンクリート標準示方書改訂小委員会, 2022 年制定 コンクリート標準示方書 [設計編], 2023
- 5) 小林一輔, コンクリートの炭酸化に関する研究, 土木学会論文集, No.433, pp.1-14, 1991
- 6) 村田二郎, コンクリートの水密性の研究, 土木学会論文集, No.77, pp.69-103, 1961
- 7) 日本下水道事業団, 下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル, 2017
- 8) 大石晃嗣, 原子炉施設の遮蔽材料, コンクリート工学, Vol.31, No.11, pp.49-53, 1993
- 9) 鹿島大雄ら, 各種離型剤によるジオポリマーモルタルと鋼板の剥離性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.2053-2058, 2017
- 10) 木作友亮ら, ジオポリマーコンクリート「セメノン」の開発とその特性, コンクリートテクノ, Vol.42, No.8, pp.68-73, 2023
- 11) 日本下水道協会, シールド工用標準セグメント 標準 RC セグメント, 2001

【筆者紹介】

木作 友亮 (きさくともあき)
(株) IHI
技術開発本部 技術基盤センター
主任研究員



倉田 幸宏 (くらた ゆきひろ)
(株) IHI 建材工業
技術本部 開発部
部長



耐荷力および耐久性の向上と省力化を実現した 電気防食工法の開発

アラミド繊維・電気防食併用工法

清水 宏一朗・安藤 重裕・樋口 正典

沿岸部や寒冷地のコンクリート橋では、海水飛沫や凍結防止剤散布などに伴う塩害により、耐久性能や耐荷性能が著しく低下するような劣化が確認されている。塩害により劣化したコンクリート橋には補修補強対策を行ったとしても、既にコンクリート中に侵入した塩化物イオンにより、再劣化する事例も多い。そこで、塩害により劣化したコンクリート橋の劣化の進行抑制と補強を可能にした「アラミド繊維・電気防食併用工法」を開発した。

キーワード：塩害、電気防食工法、アラミド連続繊維シート、テープ式陽極材、省力化

1. はじめに

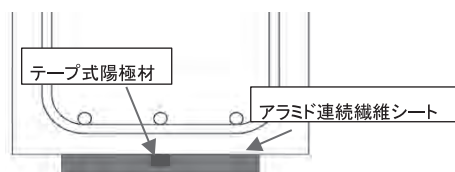
沿岸部や寒冷地のコンクリート橋では、海水飛沫や凍結防止剤散布などに伴う塩害により、耐久性能や耐荷性能が著しく低下するような劣化が確認されている。塩害により劣化したコンクリート橋における補修対策としては、一般に劣化部を除去して修復する断面修復と、新たな塩化物イオンなどの劣化因子の侵入を低減する表面保護が行われ、必要に応じて補強対策も講じられる。しかしながら、既にコンクリート中に侵入した塩化物イオンを完全に除去することは困難であり、再劣化する可能性があることから、既に腐食が開始している鉄筋の腐食進行を抑制することも重要である。

そこで、塩害により劣化したコンクリート橋の補修・補強工法として、アラミド繊維シートによる補強工法と電気防食工法を併用した「アラミド繊維・電気防食併用工法」を開発した。鉄筋腐食の進行抑制については、継続的な通電を行うことによってコンクリート中の鉄筋の腐食反応を電気化学的に制御する電気防食工法を採用した。従来の電気防食工法では陽極材をコンクリートに埋め込んでいたが、本工法ではテープ式陽極材(チタン製の薄いテープ状の陽極材)をコンクリート面に貼り付ける方式とし、陽極材の施工の省力化と経済性の向上を図った。また、アラミド繊維シートによる補強工法については、アラミド繊維シートが非伝導材料で、防食電流の分布を阻害せず均一な防食効果が得られることや、テープ式陽極材を保持、保護することによって、防食効果の長期安定性が期待できることから選定した。

本稿では、実橋の応力変動を考慮した静的載荷試験や実橋を模擬した施工性試験などの結果をもとに、本工法の防食性能や施工性、経済性などについて検討したので報告する。

2. 工法の概要

陽極材は扱いやすいチタン製のテープ式陽極材(厚さ 0.08 mm)を使用する。この陽極材をコンクリート表面に薄く塗布したセメントペーストで貼り付け、その上にアラミド連続繊維シートを貼り付けて固定する構造である。本工法の概要(断面)を図一1に、写真一1にテープ式陽極材の設置状況を示す。



図一1 本工法の概要(断面)



写真一1 テープ式陽極材の設置状況

3. 梁試験体による性能確認試験

(1) 梁試験体の概要

梁試験体の概要を図一2に示す。試験体は、橋梁の使用時の応力状態を再現できるように試験体の寸法、プレストレスやアラミド連続繊維シートの補強量、載荷荷重を決定した。コンクリートは一般的なポストテンションタイプのPC橋梁に使用されるレディーミクストコンクリート(40-12-20N)とした。なお、コンクリートの圧縮強度は、1度目の載荷試験時が55.9 N/mm²、暴露後の載荷試験時が64.0 N/mm²であった。

試験体の補強鉄筋はすべてエポキシ鉄筋とし、陽極との間で電流を流すための対極を軸方向鉄筋に沿って設置した。対極には13×150 mmのチタンメッシュを用い、主として電流の分配を評価する目的で、載荷時の等曲げ区間(図一2に示した支間中央500 mmの範囲)に3本設置した。表一1に主要使用材料を、写真一2に陽極材およびアラミド繊維シートを貼り付けた試験体下面の状況を示す。

性能確認試験は、橋梁の使用時を再現した載荷試験、屋外暴露試験、耐荷力がやや低下した状態を再現した載荷試験の順番で行った。

(2) 橋梁の使用時を再現した載荷試験

載荷する荷重は、橋梁の使用時に近いひび割れ幅0.4 mm程度まで載荷することとし、ひび割れの発生やひび割れ幅に着目して除荷と載荷を3回繰り返すこととした。荷重ステップを図一3に示す。

試験体は、載荷荷重136 kNでひび割れが発生した。その後、荷重が大きくなるにしたがってひび割れが進展した。図一4に最大荷重時のひび割れ図を示す。

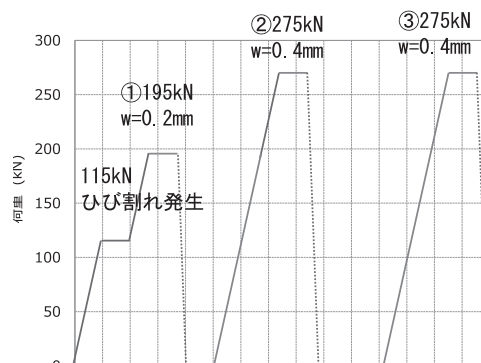
また、載荷試験中は、アラミド連続繊維シートの剥離はなく、鉄筋やアラミド連続繊維シート、陽極のひずみはほぼ近い値を示したことから、載荷試験時はそれぞれの材料が付着を確保し、同じ挙動をしていたと考えられる。3回目の荷重載荷時の荷重-ひずみ曲線

表一1 主要使用材料

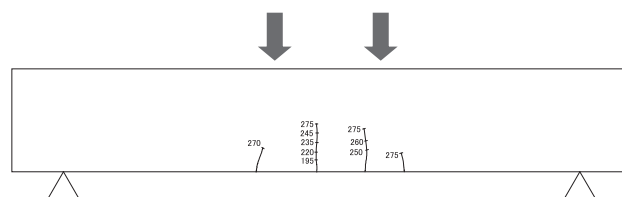
種類	仕様等
コンクリート	レディーミクストコンクリート(40-12-20N)
鉄筋	SD345 (D13)
PC 鋼材	SBPR930/1180B 種2号 φ32 (ポリエチレンシースを使用)
アラミド繊維シート	AK-40 (1層)
陽極材	Titanium Grade 1 (幅20 mm×厚さ0.08 mm)



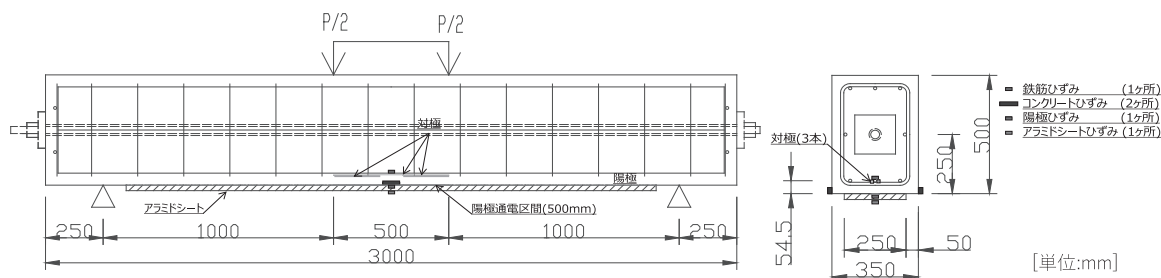
写真一2 試験体下面の状況



図一3 荷重ステップ



図一4 最大荷重時のひび割れ図



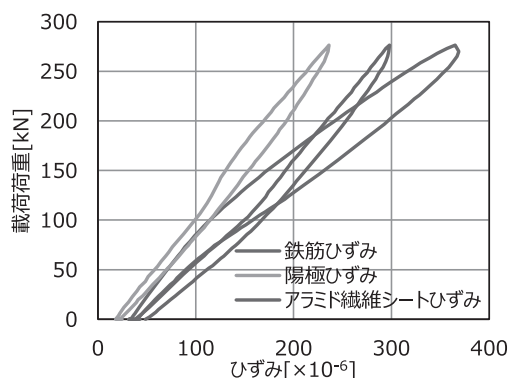
図一2 梁試験体の概要

を図—5に示す。

電気防食については、各対極に供給された防食電流量は、いずれも載荷前と比較して、各荷重において同程度であり、本試験の範囲内では載荷による防食電流の分配に影響がなかったものと評価できた。表—2に各荷重ステップの電流分配率を示す。

(3) 屋外暴露試験

載荷試験後、試験体のプレストレスを除荷し、約1年間千葉県船橋市の雨掛かりのある屋外で暴露した。暴露中は載荷試験中と同様の方法で3つの対極への電流量を測定した(図—6)。電流量は、降雨の影響により変化が生じており、載荷試験時に発生したひび割れから水が浸入したことによると考えられた。ただし、その変化は小さく、電流分配に大きな影響を与えていないことが確認できた。写真—3に屋外暴露試験状況を示す。



図—5 3回目載荷時の荷重-ひずみ曲線

表—2 各荷重ステップの電流分配率

(mA)

	対極1	対極2	対極3	合計
載荷前	1.02	0.90	1.04	2.99
② 275 kN-1 回目 載荷前	0.99	0.93	1.05	2.99
③ 275 kN-2 回目 載荷前	1.00	0.92	1.05	2.99
除荷後	1.01	0.92	1.04	2.99

(4) 耐力力がやや低下した状態を再現した載荷試験

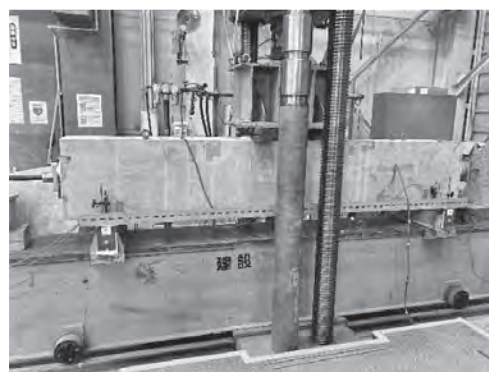
暴露試験後、再び試験体にプレストレスを導入し、載荷試験を行った。荷重は、耐力力がやや低下した状態を再現するため、鉄筋降伏に近い350 kNまで載荷した。最初に350 kNまでの載荷を2回行い、その後、活荷重変動分の荷重195 kNで繰り返し載荷を10回行った。載荷試験状況を写真—4に示す。

図—7に暴露後の荷重-ひずみ曲線を示す。暴露後の試験においても、鉄筋やアラミド連続繊維シート、陽極のひずみはほぼ近い値を示したことから、それぞれ同じ挙動をしていたと考えられる。

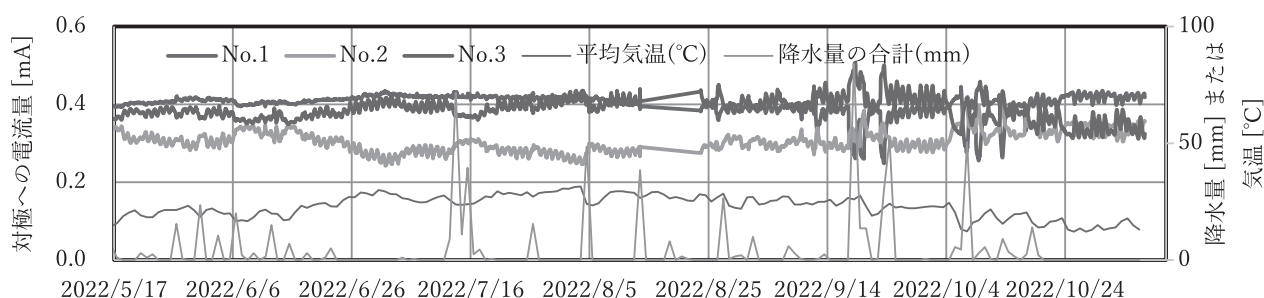
また、今回の試験では鉄筋降伏に近い状態まで載荷したため、アラミド連続繊維シートの剥離が発生した。ひび割れが発生している支間中央部やひび割れ付近の陽極に沿ってアラミド連続繊維シートの剥離が確



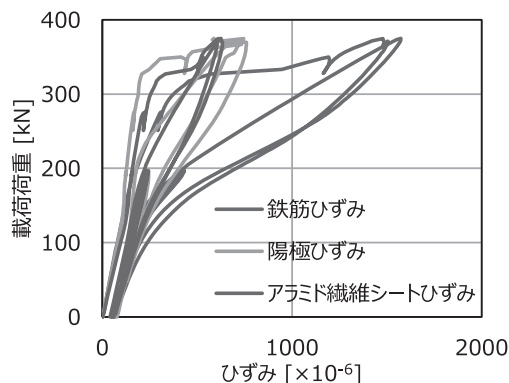
写真—3 屋外暴露試験状況



写真—4 載荷試験状況



図—6 屋外暴露中の各対極への電流量の経時変化



図ー7 暴露後の荷重-ひずみ曲線

認できた（図ー8）。

表ー3 に荷重ステップ毎に測定した各対極への電流分配率を示す。暴露後の載荷直前に測定した電流分配率は、図ー5 の最終時の傾向通り対極1が若干大きくなり、対極3が若干小さくなっていた。2回の載荷後、若干ではあるが対極1と対極3の電流分配率の差が広がっている。一方、195 kNでの10回の繰り返し載荷の影響は確認されなかった。陽極の剥離が生じたりやひび割れが進展したことの影響であると考えられる。

以上の試験により、橋梁の使用状態において、本工法の防食効果と補強効果が保持されることが確認できた。

4. 施工性確認試験

(1) 試験概要

施工性確認試験は、吊り足場内から橋梁下面の施工を想定し、箱桁内の床版下面部で実施した。本試験に先立って、複数ある施工方法を比較検討する事前確認試験を行った。施工方法を確定後、準備作業からテープ式陽極の設置完了までの施工を行い、施工性の確認や歩掛の採取などを行った。

(2) 事前確認試験

実証橋の試験に先立ち、施工方法の確認として、ディストリビュータの貼り付け方法、テープ式陽極材の貼り付け方法、ディストリビュータとテープ式陽極材の

表ー3 各荷重ステップの電流分配率 (%) (暴露後)

	対極1	対極2	対極3
載荷前	36.7	32.8	29.2
1回目 (350 kN) 載荷時	41.0	32.5	27.9
2回目 (370 kN) 載荷時	37.4	33.1	26.0
除荷後	41.4	34.2	24.5
繰り返し載荷後	41.6	36.1	23.7

接続部の溶接方法の検討を行った。

(a) ディストリビュータの貼り付け方法

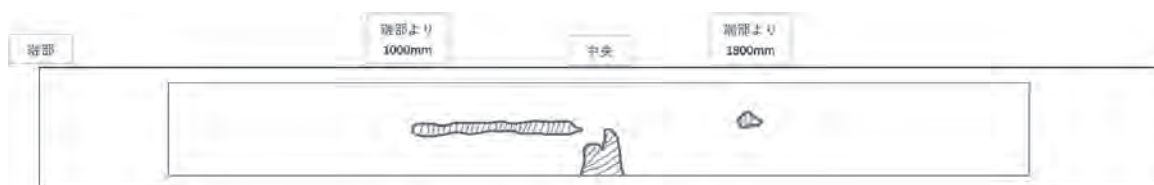
ディストリビュータのコンクリートへの設置方法は、ディストリビュータから下地コンクリートへの通電が不要であることから、エポキシ樹脂で貼り付ける方法とした。テープ式陽極材とディストリビュータが重なる箇所では、溶接時にエポキシ樹脂が損傷する事が判明したため、テープ式陽極材とディストリビュータが重なる80 mm程度は、エポキシ樹脂を塗布せずに施工し、陽極材の通電などの不具合が生じない事を確認した。ディストリビュータ貼り付け状況を写真ー5に示す。

(b) テープ式陽極材の貼り付け方法

テープ式陽極材のコンクリート面への貼り付けは、低電気抵抗性で薄付け施工可能なセメントペーストを使用した。ペースト塗布前にペースト塗布部の幅が30 mmとなるようにマスキングを行った。その後、ペースト施工部を刷毛により湿らせ、ペースト材料をコテによりセメントペーストを塗り付けた。セメントペーストの塗り付けの作業を追いかけるようにテープ式陽極材を指により押し付けながらコンクリート面へ貼りつけた（写真ー6）。



写真ー5 ディストリビュータ貼り付け状況



図ー8 アラミド連続繊維シートの剥離（試験体下面）



写真—6 テープ式陽極材貼り付け

セメントペーストの塗り厚が薄すぎる場合、テープ式陽極材の浮きが生じやすいことが判明し、浮きが生じにくいペーストの塗り厚は1 mm 程度必要であることが確認できた。

テープ式陽極材の剥がれ落ちについては、試験時の路面の通行がない箱桁内の天井面施工においてセメントペーストのみで剥がれ落ちないことを確認した。実際の橋梁の施工では、路面の通行や風などの影響があることから、マスキングテープによる剥がれ落ち防止対策も実施して有効性を確認した。また、このマスキングテープはテープ式陽極材に直交して貼り付け、アラミド連続繊維シートの施工前にコンクリート表面からはいで除去するものである。そのため、はがす際に、テープ式陽極材と一緒に剥がれ、陽極とペースト間に浮きを生じさせる可能性があった。したがって、剥がれ防止措置を行う場合には、マスキングテープとテープ式陽極材が直接付着しないようにする必要があることを確認した。

マスキングテープの除去を施工翌日に実施した場合、ペーストの硬化によりマスキングテープを除去することが困難な箇所が多数あった。この状況に対処するため、施工完了直後にマスキングテープを除去することとし、テープ式陽極材の浮きが発生するような問題が生じないことを確認した。

(c) ディストリビュータとテープ式陽極材の接続部の溶接方法

ディストリビュータとテープ式陽極材の接続部の溶接には専用溶接機を使用した(写真—7)。この箇所は通電性を確保する必要があることからテープ式陽極材の上下をディストリビュータで挟んだ3枚を重ねて溶接する構造としたが、溶接時の陽極材の変形が大きくなりアラミド繊維シートの貼り付け施工に影響を及ぼすことが懸念された。そのため接続部はそれぞれ1枚ずつで接続する構造とし、通電性や施工性を確認した。また、溶接箇所が多数ある場合、テープ式陽極材が溶接の熱により変形量が大きくなるため、交差部の溶接箇所については3カ所程度とし、導通が確保でき



写真—7 専用溶接機端子部

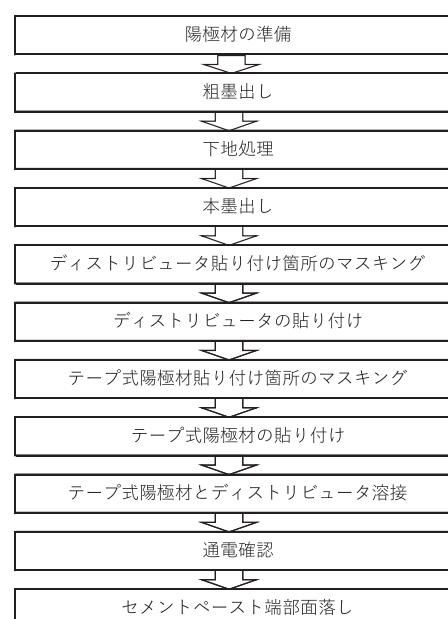


写真—8 テープ式陽極材とディストリビュータ溶接

ることを確認した(写真—8)。

(3) 施工性確認試験

事前試験で施工方法を確定させたのち、準備から陽極材設置完了までの施工性を確認した。テープ式陽極材は厚さ0.08 mm、幅20 mmを使用し、ディストリビュータは厚さ0.1 mm 幅20 mmのテープ状のものを使用した。テープ式陽極材の施工長さは10 m、ディストリビュータ設置箇所は2カ所とし、天井面への施工を行い、各工程における施工性の確認と施工時間を測定した。施工フローを図—9に示す。



図—9 実証橋における施工フロー

本工法は、テープ式陽極材をコンクリート表面に貼り付ける工法であり、一般的なリボンメッシュを用いた工法のように陽極を埋め込む溝切の作業が不要である。そのため、本試験で実施した10mの陽極設置にかかる作業は、一般的に使用されているリボンメッシュ陽極材を使用した電気防食工法に対して50%省力化できることが確認できた。

5. おわりに

アラミド繊維シートによる補強工法と電気防食工法を併用した「アラミド繊維・電気防食併用工法」の防食性能や施工性、経済性について確認を行い、実用化に目途をつけた。今後は、塩害により劣化した中小規模のコンクリート橋に対して本工法の適用を積極的に提案し、サステナブルな社会の実現に貢献していきたいと考える。

J C M A

《参考文献》

- 1) 清水宏一郎, 佐々木 亘, 山本誠, 安藤重裕: アラミド連続繊維シート補強と併用可能な電気防食工法の実験的検討, 第31回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.429-432, 2022.10

【筆者紹介】

清水 宏一郎 (しみず こういちろう)
三井住友建設㈱
土木本部 土木技術部 リニューアル技術グループ
課長



安藤 重裕 (あんどう しげひろ)
住友大阪セメント(株)
セメント・コンクリート研究所
建材製品研究グループ
グループリーダー



樋口 正典 (ひぐち まさのり)
三井住友建設㈱
土木本部
次長



環境配慮型コンクリートの開発とエコリーフの取得

右 田 周 平・尾 登 剛・梅 本 宗 宏

近年、環境配慮の観点から建設資材の脱炭素化が求められており、筆者らは産業副産物である高炉スラグ微粉末を使用した環境配慮型コンクリート「スラグリート®」を開発した。さらに、セメントの7割を高炉スラグ微粉末に置換した「スラグリート®70」において、(一社)サステナブル経営推進機構が認証する SuMPO 環境ラベルプログラムである「エコリーフ」を取得した。

キーワード：環境配慮、コンクリート、エコリーフ、脱炭素、高炉スラグ、建設技術審査証明

1. はじめに

近年、環境配慮の観点から、建設資材の脱炭素化が求められている。特にコンクリートに使用されるセメントは、その製造過程で多くの二酸化炭素を排出するため、混合セメントの利用拡大が掲げられている¹⁾。混合セメントは、セメントの一部を高炉スラグやフライアッシュ等の産業副産物に置換したもので、一般的に使用される普通ポルトランドセメントに比べ、二酸化炭素の排出量を低減できる。そこで、筆者らは、高炉スラグ微粉末を使用した環境配慮型コンクリート「スラグリート®」(以下、本コンクリート)の開発および実用化を進めてきた²⁾。さらに、本コンクリートを積極的に普及・展開していくために、セメントの7割を高炉スラグ微粉末に置換した「スラグリート®70」

(以下、本コンクリート 70)において、(一社)サステナブル経営推進機構が認証する SuMPO 環境ラベルプログラムである「エコリーフ」を取得した。ここでは、その概要について報告する。

2. 本コンクリートの開発

(1) 本コンクリートの概要

本コンクリートは、産業副産物である高炉スラグ微粉末をセメントの代替として用いることで、コンクリート製造時の二酸化炭素の排出量を低減したコンクリートである。図-1に示すように、目標とする環境性能や適用部位によって選択的に適用できるように、使用するセメントの種類や高炉スラグ微粉末の使用量を変えた3種類のメニューを取り揃えている。

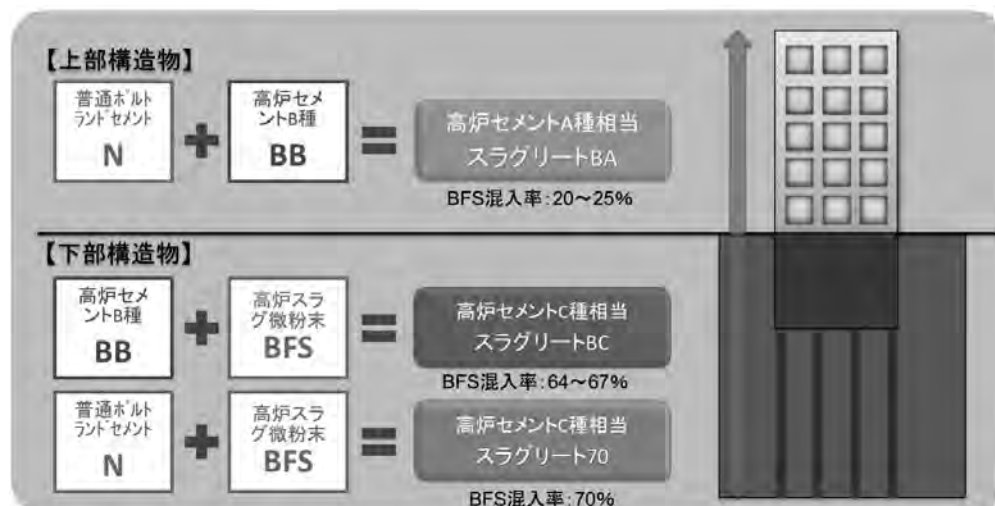


図-1 本コンクリートの種類と適用範囲

(3) 確認申請マニュアルの整備について

本コンクリートは建設技術審査証明を取得しているものの、JIS への適合性については、最終的に建築主事等の判断による。そこで、全国の建築主事等へ統一して説明ができるように、本コンクリート確認申請マニュアルを整備した。このマニュアルには「JIS 適合性チェックシート」があり、これを活用することで、本コンクリートの適合性に関する項目を整理することができるため、本コンクリートを適切に建築構造物へ使用することが可能となる。

3. 本コンクリート 70 のエコリーフ取得

現在、建築物のライフサイクルにわたる温室効果ガス削減が議論されており、特に資材製造・建設段階の排出量（建設時 GHG^{*}排出量）の評価・削減が注目されている。エコリーフは、ISO14025 に準拠した「製品ライフサイクルアセスメントに基づく環境影響評価」の結果を開示する公平性・透明性の高い環境ラベルであり、個々の建設資材の排出原単位を示す有効な方法である。今後、本コンクリートを用いて建設時 GHG 排出量の削減を拡大するには、信頼性の高い排出原単位（kg-CO₂/m³）による発注者への提案が必要だと考え、現在施工中の超高層ビルに適用した呼び強度 40 の本コンクリート 70 において、国内初となる生コンクリート製品のエコリーフを取得した（図-3）。
※ GHG…Green House Gas（温室効果ガス）



JR-BY-23001E

図-3 エコリーフマーク

4. おわりに

今回、スラグリートについて第三者機関による建設技術審査証明を取得し、建築確認申請マニュアルを整備した。さらに、生コンクリートとしては初のエコリーフを取得した。今後は脱炭素社会の実現に向けて、様々なコンクリート構造物に対し、環境配慮性のあるスラグリートを積極的に活用していきたい。

「スラグリート[®]」は、西松建設(株)との共同開発品です。

JCMA

《参考文献》

- 1) 環境省：地球温暖化対策計画，2016.5.13
- 2) 土木研究所，戸田建設(株)，西松建設(株)：低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書（V），2016

【筆者紹介】

右田 周平（みぎた しゅうへい）
戸田建設(株)
技術研究所 構造技術部 主管



尾登 剛（びとう ごう）
戸田建設(株)
イノベーション推進統括部 環境ソリューション部 主管



梅本 宗宏（うめもと むねひろ）
戸田建設(株)
技術研究所 構造技術部
マスターエンジニア



コンクリート中鉄筋の腐食状態を非破壊で測定する「Dr.CORR」を研究開発

平 間 昭 信・橋 本 永 手・加 藤 佳 孝

一般的に、鉄筋コンクリート構造物中の鉄筋の腐食状態を把握するためには、コンクリートをはつり出して鉄筋と測定機器を導通して確認する方法や、構造物からコンクリートを採取して中性化深さや塩化物量を測定して鉄筋の腐食状態を推定する方法がある。また、鉄筋の腐食状態を測定する場合、測定中はプローブを手で保持し続ける必要があり苦渋作業となっている。そこで、非破壊で測定できる原理を電気化学理論と解析によって裏付けた腐食測定機「Dr.CORR」を開発した。これまでに試験体および構造物での実証を行い、完全非破壊による鉄筋の腐食状態を把握できる方法を確立した。また、プローブの軽量化と特殊ゲルの使用によるハンズフリーでの測定を可能とし、プローブの保持という苦渋作業の問題も解消した。

キーワード：鉄筋コンクリート構造物，維持管理，鉄筋腐食，非破壊測定，交流インピーダンス

1. はじめに

膨大な社会基盤施設を抱えるわが国において、その施設の多くを占めるコンクリート構造物については、劣化が顕在化している構造物も存在しており、その対策が急務である。コンクリート構造物の維持管理にかかるコストを削減するためには、劣化による変状が顕在化する前に対策を講じる予防保全的な対策をとることが有効であるとの認識が広まっており、法令においても2014年から知識と技能を有する者が5年に1度、近接目視を基本とする点検が行われている。この近接目視は、ひび割れなどの変状が顕在化したコンクリート構造物の健全度を把握するには有効であるが、変状が顕在化する前に対策を講じる必要がある場合には、近接目視の結果に基づいた診断では補修・補強の対応が遅れる可能性が想定される。

コンクリート構造物の劣化の一つとして塩害がある。一般に、コンクリート中の空隙水はpH12~13の強アルカリ性であり、鉄は表面に不動態皮膜を形成し、腐食しにくい状態にある。しかし、コンクリートの中性化や外部から侵入する塩化物イオンの影響によって鉄筋の腐食速度は増大し、その鉄筋の腐食によってコンクリートにひび割れが発生する。鉄筋の腐食が進行するほど、補修や補強に掛かる時間や費用が多くなるため、効率的な維持管理には、腐食ひび割れ発生前に鉄筋の腐食を把握することが重要である。

このような社会背景を受けて、筆者らは、コンクリート中の鉄筋の腐食状態を非破壊で測定する方法について共同研究開発を進め、鉄筋腐食測定機「Dr.CORR」（以下、腐食測定機）による測定方法を確立した（写真—1）。その測定方法について、紹介する。

2. 本手法の概要

(1) 従来の測定方法

腐食状態を把握する測定方法として、交流インピーダンス法がある^{1)~5)}。交流インピーダンス法は電極の配置が重要であり、3電極法や4電極法と呼ばれる電極配置が多く用いられている。

図—1 a) は、一般的な3電極法の電極配置である。図中のWE_V、WE_I、CE、RE はポテンシオスタットの端子で、それぞれ電位差測定用の作用極端子、電流印加用の作用極端子、対極端子、照合電極端子を示す。3電極法では、コンクリート表面の測定点に対極



写真—1 鉄筋腐食測定機本体および測定プローブ

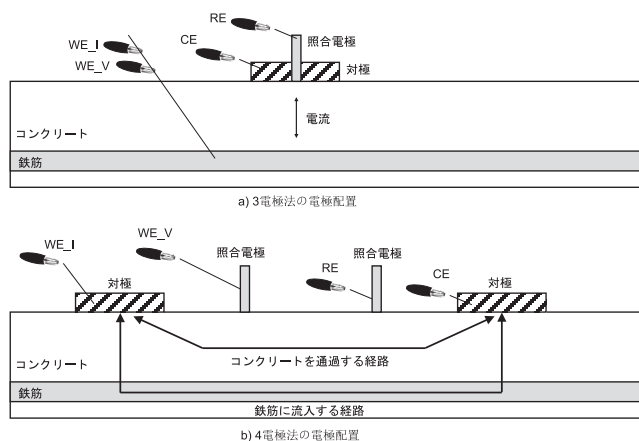


図-1 3電極法と4電極法の一般的な電極配置

と照合電極を配置する。WE_V, WE_I, CE, RE をそれぞれ図-1 a) に示すように接続し、照合電極・鉄筋間の電位差変化が規定量となるように対極・鉄筋間に交流電圧を印加、その際の電流を測定する。照合電極・鉄筋間の電位差変化を測定された電流で除すことでインピーダンスを得る。これを様々な交流周波数で実施し、周波数-インピーダンスのプロファイルを求めたものがインピーダンススペクトルである^{6)~8)}。一般的な3電極交流インピーダンス法では、WE_V, WE_Iを鉄筋に接続する必要があることから、コンクリート構造物の一部をはつり出す必要がある。一方で、端子が鉄筋に接続されていることから「電流の行き先」は鉄筋であり、すべての電流が鉄筋に流入すると考えてよい。これは、測定結果を解析する上で有利な点で、3電極法の測定結果は定量的に扱うことができる。

図-1 b) は一般的な4電極法の電極配置である。4電極法では、コンクリート表面に2つの対極を配置し、2つの対極の間に2つの照合電極を配置する。WE_V, WE_I, CE, RE をそれぞれ図-1 b) のように接続し、照合電極間の電位差変化が規定量となるように対極間に交流電圧を印加、その際の電流を測定する。3電極法の場合と同様、照合電極間の電位差変化と電流からインピーダンスを算出する。このように、4電極法では鉄筋と端子を接続する必要がなく、非破壊で測定可能な点で簡便性に優れている。非破壊で測定可能である点はいくつかの先行研究でも注目されており^{8)~10)}、世界的に検討が進められている。しかし、図中で示す通り、4電極法では電流の一部が鉄筋に流入せずにかぶりを通過する。そのため、鉄筋に流入した電流を数値解析などで別途把握しなければ、測定結果に対して定量的な解釈を与えられない場合が多い。

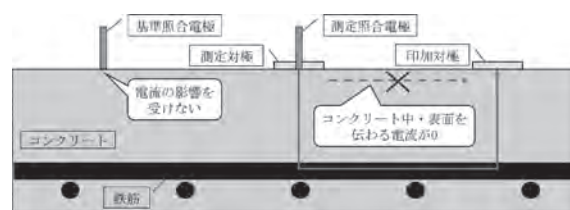


図-2 本手法の電極配置

(2) 測定原理

筆者らが開発した手法^{11)~15)}では、鉄筋と端子を接続することなく3電極法と同じインピーダンススペクトルが得られる。したがって、4電極法のように非破壊でありながら、3電極法のように定量的な測定結果が得られる手法である。その測定原理を簡単に紹介する。詳細な測定原理は文献^{13)~15)}を参照されたい。

図-2に本手法の電極配置および概要を示す。コンクリート表面の測定点に対極および照合電極を設置し、測定点から十分離れた異なる2点に対極および照合電極を配置する。図のように、測定照合電極と基準照合電極の電位差が規定量となるように対極間に電流を印加して、電流値を測定する。ここで重要となる要素は、①コンクリート中・表面を流れる電流が0であり、対極間に流れる電流がすべて鉄筋を流れること、②基準照合電極が対極間に流れる電流の影響を受けない、の2点である。そのため、測定対極-印加対極と、測定照合電極-基準照合電極の距離を十分に離す必要がある。

(3) 腐食測定機の特徴

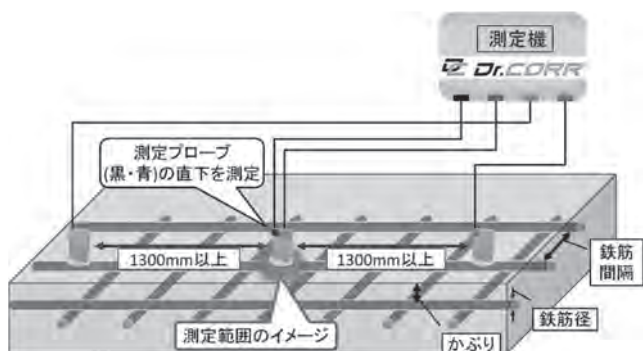
本手法の主な特長は次の通りである。

- ・コンクリートをはつり出すことなく構造物中鉄筋のインピーダンスが測定可能である。
- ・測定に使用する3つのプローブは独自に開発した粘着導電性ゲルで固定するため、測定中はハンズフリーでの測定が可能である。
- ・パソコンやモバイルバッテリーから給電が可能であるため、大掛かりな電源装置が不要である。
- ・独自の電圧制御システムによってプローブ間に適切な電圧を印加することで、精度の高い測定が可能である。
- ・測定されたインピーダンスを解析し、鉄筋の腐食速度および腐食レベルを表示する。

(4) 本手法による測定方法

本手法による測定方法は次の通りである(図-3)。

- ・測定対象鉄筋の直上に3つの測定プローブを設置する。



図—3 本手法による鉄筋腐食測定イメージ

- ・測定プローブは測定対象と導通している鉄筋上かつ、それぞれのプローブが直線距離で1,300 mm以上離れるように設置する。
- ・専用のソフトウェアによってインピーダンススペクトルを自動で取得、解析を行う。
- ・鉄筋かぶり、鉄筋径および鉄筋間隔を入力することで分極抵抗および腐食速度を推定する。

3. 鉄道高架橋補修工事での測定事例

測定精度の検証およびデータの蓄積を目的として、いくつかの補修工事現場にて測定を実施した。その一例として、鉄道高架橋補修工事での適用事例について紹介する（写真—2）。

(1) 従来方法（3電極法）との比較

鉄筋と測定機器を接続する従来の測定方法である3



写真—2 鉄道高架橋補修工事での測定状況

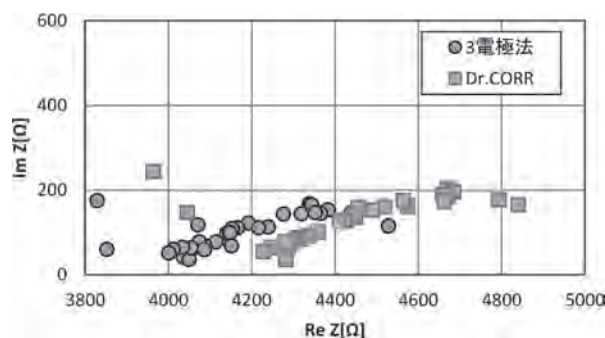
電極法と、本手法の測定結果を比較し、測定結果の精度を検証した。その測定結果を図—4に示す。図中にプロットされる半円を容量性半円と呼び、半円と実数部 $\text{Re } Z$ 軸との交点からなる直径が分極抵抗となる。どちらの方法でも、同程度の分極抵抗となり、同程度の精度を有することを確認した。

(2) 専用ソフトウェアによる腐食判定

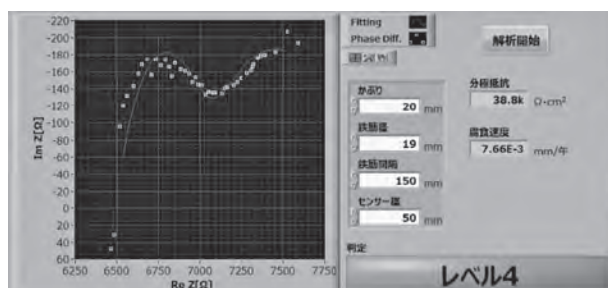
測定結果の画面および測定箇所の鉄筋状態を図—5に示す。測定結果の画面に表示される判定レベルは5段階で表示され、腐食速度に応じて設定したレベルが表示される。なお、判定レベルの初期設定はCEB(ヨーロッパコンクリート委員会)の基準となっているが、任意での設定も可能である。測定ではノイズの少ないインピーダンススペクトルを得ることができ、腐食速度から判定されたレベルも鉄筋の状態と対応するものであった。また、測定中に鉄道車両が通過し、測定箇所が振動する状況であったが、粘着導電性ゲルの効果により、測定中にプローブが落下することはなかった。

4. おわりに

コンクリート構造物の劣化の中で最も深刻なのは鉄筋の腐食であるが、実構造物中の腐食の状況を把握することは極めて難しい。従来は鉄筋腐食の間接的な要因であるコンクリートの中性化の進行程度や、コンクリート中の塩化物イオン量を把握してきた。ただし、



図—4 従来方法（3電極法）と腐食測定機の測定結果比較



図—5 腐食測定画面および測定箇所の鉄筋



コンクリートの品質や構造物の立地環境によっては、コンクリート中の鉄筋の表面の塩化物イオン濃度が同一であっても、腐食する場合もあるし、腐食しない場合があるなど、これらの情報はあくまでも間接的な参考情報にしかなり得ない。その結果として、効果的かつ効率的な維持管理の実現が難しい状況にあった。なぜなら、個々の構造物のLCCを最小化するための対策の実施時期などが定まらないため、複数の構造物を管理するときに、LCCに基づいた対策等の実施の優先順位を定めることができず、現状では場当たりの維持管理にならざるを得ない状況にある。

このような現状に対して、本手法は、コンクリート構造物の劣化の主要因である鉄筋腐食を、完全非破壊で定量的に把握することができる。このため、この結果に基づき、妥当性の高いLCCの算定が可能となり、複数の構造物を管理する場合の優先順位や、長期的な予算の平準化が可能となるなど、従来に比べて飛躍的に実現性の高い維持管理計画を立案することが可能となる。加えて、従来方法では、はつり出しが必要であるのに対して完全非破壊となったことにより、はつり作業に伴う粉じんや汚水などの発生がなくなり作業環境は大きく改善される。また、ハンズフリーでの測定可能となり、上向きでプローブを保持し続けるという苦渋作業からも作業員は解放されることになる。結果として、作業の生産性向上および作業者の労働安全性を飛躍的に高めることにも貢献することができる技術である。高度経済成長期に建設された構造物は、いよいよ劣化が顕著化してくる頃であり、膨大な構造物のストック量を考えれば、調査方法は簡便であることが望ましい。本手法が調査のハードルを下げ、コンクリート構造物の効率的な維持管理の推進に貢献すれば何よりである。

謝 辞

本手法の開発、現場測定および展開に際して、クリアパルス(株)、エフティエス(株)、ならびに関係各位の皆様方からご協力を賜りましたことに対し、この誌面をお借りして厚くお礼申し上げます。

J C M A

【参考文献】

- 1) C. Andrade, L. Soler, C. Alonso, X. R. Novoa, and M. Keddarn, (1995), Corros. Sci., 37, 2013.
- 2) R. Vedalakshmi, V. Saraswathy, H. W. Song, and N. Palaniswamy, (2009), Corros. Sci., 51, 1299.
- 3) Y. Hoshi, T. Koike, T. Okamoto, H. Tokieda, I. Shitanda, M. Itagaki, and Y. Kato, (2019), J. Electrochem. Soc., 166, C3316.
- 4) Y. Hoshi, C. Hasegawa, T. Okamoto, M. Soukura, H. Tokieda, I. Shitanda, M. Itagaki, and Y. Kato, (2019), Electrochemistry, 87, 78.
- 5) S. Feliu, J. A. Gonzalez, J. M. Miranda, and V. Feliu, (2005), Corros. Sci., 47, 217.
- 6) C. Andrade, M. Keddarn, X. R. Novoa, M. C. Pérez, C. M. Rangel, and H. Takenouti, Electrochim. Acta, 46, 3905 (2001).
- 7) Y. S. Choi, J. G. Kim, and K. M. Lee, (2006), Corros. Sci., 48, 1733.
- 8) D. A. Koleva, K. van Breugel, J. H. W. de Wit, E. van Westing, N. Boshkov, and A. L. A. Fraaij, (2007), J. Electrochem. Soc., 154, E45.
- 9) C. Andrade, I. Martinez, and M. Castellote, (2008), J. Appl. Electrochem., 38, 1467.
- 10) M. Keddarn, X. R. Novoa, and V. Vivier, (2009), Corros. Sci., 51, 1795.
- 11) 金子泰明, 橋本永手, 加藤佳孝: 交流インピーダンス法を用いた完全非破壊での腐食程度推定, コンクリート構造物の補修・補強 アップグレード論文報告集 19, pp.397-400, 2019年10月
- 12) 加藤佳孝, 橋本永手, 金子泰明, 平間昭信: 電気化学手法を用いたコンクリート中鉄筋の腐食状況を把握する方法の提案, コンクリート工学 59 (5), pp.416-421, 2021年
- 13) 橋本永手, 田中基, 金子泰明, 加藤佳孝: コンクリート中鉄筋との導通を要しないインピーダンススペクトルの把握手法, コンクリート工学年次論文集 43, pp.1211-1216, 2021年7月
- 14) 田中基, 橋本永手, 金子泰明, 加藤佳孝: コンクリート中鉄筋との導通を要しない腐食状態推定手法の検討, コンクリート工学年次論文集 43, pp.1229-1234, 2021年7月
- 15) Nagate Hashimoto, Motoki Tanaka, Yasuaki Kaneko, Yoshitaka Kato, Akinobu Hiram: Development of a method for obtaining Nyquist plots identical to those of the three-electrode AC impedance method in concrete-embedded rebar without requiring electrical continuity, Journal of Applied Electrochemistry, 53, pages1895-1909, 2023年

【筆者紹介】

平間 昭信 (ひらま あきのぶ)
飛鳥建設(株)
土木本部 土木技術部
チーフエンジニア



橋本 永手 (はしもと ながて)
港湾空港技術研究所
構造研究領域材料研究グループ
研究官



加藤 佳孝 (かとう よしたか)
東京理科大学
創域理工学部 社会基盤工学科
教授



凍結しない PC グラウトの開発と実用化

吉 岡 憲 一・井 上 真 澄・須 藤 裕 司

寒中施工において PC グラウトを注入するためには、橋梁全体や大部分を覆う大がかりな雪寒仮囲いを設ける必要がある。この場合、雪寒仮囲い内を暖める給熱機に使用する燃料が充填する PC グラウト量に比べて過大となるケースが多く見受けられ、コスト面だけでなく二酸化炭素排出による環境への悪影響も懸念される。

そこで、既存の PC グラウトに亜硝酸リチウムを主成分とする混和剤を添加するだけで、氷点下に曝された環境下においても初期凍害を受けず、さらに PC 鋼材の腐食抑制に優れた性能も発揮する「高耐久・高耐寒グラウト混和剤」を開発した。

本稿では、本混和剤を添加した PC グラウトの耐寒性能、防錆性能などと実橋への適用事例を報告する。

キーワード：PC グラウト、亜硝酸リチウム、耐寒性能、防錆性能、CO₂ 削減

1. はじめに

現行の PC グラウト設計施工指針では、日平均気温が 4℃ 以下になるような寒中においては、PC グラウトの注入作業を行わないことを標準としている¹⁾。一方、PC 鋼材をダクトへ挿入した後、PC グラウトを注入するまでの期限を最大 8 週間と規定¹⁾しており、寒中施工においてこの期限内に PC グラウトを注入するためには、橋梁全体や大部分を覆う大がかりな雪寒仮囲いを設ける必要がある。この場合、養生囲い内を暖める給熱機に使用する燃料が充填する PC グラウト量に比べて過大となるケースが多く見受けられ、コスト面だけでなく二酸化炭素排出による環境への影響も懸念される。また、万一 PC グラウトが凍結すると、PC グラウトの凍結膨張によりコンクリート部材に PC 鋼材に沿ったひび割れが生じる危険性が高い。このため積雪寒冷地においては、寒中グラウト施工を避けざるを得なくなり、PC グラウトを速やかに注入できないケースも多い。

この問題の解決には、雪寒仮囲いや給熱を行わなくとも、低温環境下で凍結しない PC グラウトの開発が必要である。そこで、既存の PC グラウトに添加するだけで、氷点下に曝された環境下においても初期凍害を受けず、さらに PC 鋼材の腐食抑制に優れた性能も発揮する「高耐久・高耐寒グラウト混和剤」を開発した。

2. 混和剤の概要

(1) 概要

本混和剤は亜硝酸リチウムを主成分とした硬化促進剤である。亜硝酸リチウムは耐寒性ととも初期強度発現性に寄与するだけでなく、鋼材の防錆効果を発揮するセメント系補修材の防錆成分としても広く使用されており、セメント系材料への多量添加が可能かつ流動性変化が比較的小さいことが知られている^{2), 3)}。

名 称：高耐久・高耐寒グラウト混和剤 [マスタフロー 125] (以下、MF と称す)

主成分：亜硝酸リチウム

密 度：1.25 g/cm³

外 観：黄色透明液体

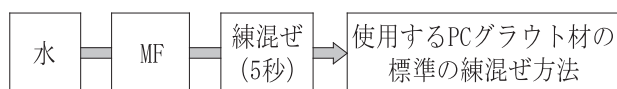
P H：8～10

開発者：北見工業大学、日本高圧コンクリート(株)、日産化学(株)、ポゾリスソリューションズ(株)

(2) 使用方法

MF は水溶液タイプであり、既存の高粘性型（流下時間（JP 漏斗）14～23 秒）または超低粘性型（流下時間（JP 漏斗）3.5～6 秒）の PC グラウトに添加するだけで優れた耐寒性能を発揮する。

練混ぜ方法は練混ぜ水に MF を投入し 5 秒練り混ぜる。その後は使用する PC グラウトの標準の練混ぜ方法に従う。図—1 に練混ぜ方法を示す。



図一 練混ぜ方法

(3) MF 添加率

PC グラウトの経験最低温度と PC グラウトの型別の MF 添加率を表一に示す。これは、MF 添加率と PC グラウトの養生温度および圧縮強度の相関を試験により把握し、決定した。

表一 MF 添加率

PC グラウトの 経験最低温度		-5℃ まで	-10℃ まで	-15℃ まで	-20℃ まで
MF 添加率 (%) ^{a)}	高粘性型	3	5	7	9
	超低粘性型	3	5	7	

a)：粉体（またはセメント）質量に対する MF の固形分量の割合

3. MF を添加した PC グラウトの強度発現性

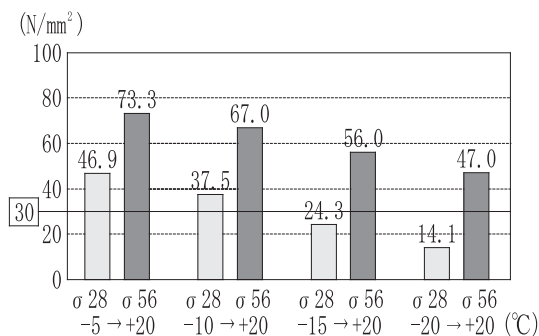
前章で示した MF 添加率と練混ぜ方法で製造した PC グラウトの圧縮強度と養生温度の関係を図一2、3に示す。養生条件は、練混ぜ直後から材齢 28 日まで -5℃、-10℃、-15℃、-20℃のそれぞれの温度での養生とした。また、冬期から春、夏期になったと想定し、材齢 29 日目からは 20℃の温度を与え、材齢 56 日目に圧縮強度試験（JSCE-G 531）を実施した。PC グラウトの水粉体比 W/P（または水セメント比 W/C）は、粘性ごとに規定された流下時間（JP 漏斗）¹⁾を確保するため試験練りによって決定し高粘性型の水セメント比を 43%、超低粘性型の水粉体比を 38%とした。

(1) 高粘性型 PC グラウトの圧縮強度

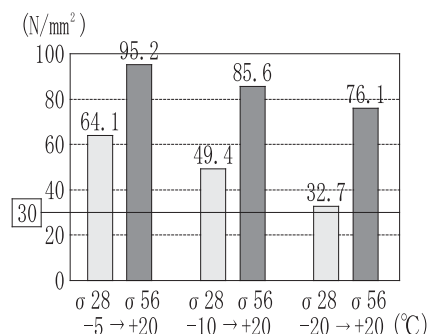
高粘性型 PC グラウトに MF を添加したケースでは、-10℃養生においても、材齢 28 日で PC グラウトの基準圧縮強度（30 N/mm²）を上回る 37.5 N/mm²の圧縮強度が発現した。また、-15℃と-20℃で材齢 28 日まで養生した供試体も材齢 28 日では 30 N/mm²を下回ったものの、そののち温度を与えると強度が増進し、材齢 56 日では-15℃養生で 56.0 N/mm²、-20℃養生で 47.0 N/mm²の圧縮強度が発現した。

(2) 超低粘性型 PC グラウトの圧縮強度

超低粘性型 PC グラウトに MF を添加したケースでは、-20℃養生においても、材齢 28 日で PC グラウトの基準圧縮強度（30 N/mm²）を上回る圧縮強度が発現し、温度を与えるとさらに強度が増進し、材齢 56 日で 76.1 N/mm²の圧縮強度が発現した。



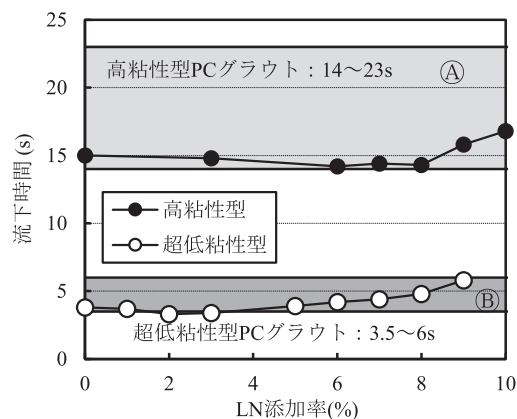
図二 圧縮強度と養生温度の関係（高粘性型 PC グラウト）



図三 圧縮強度と養生温度の関係（超低粘性型 PC グラウト）

4. MF を添加した PC グラウトの流動性

MF の添加が PC グラウトの流動性に与える影響を確認するため JP 漏斗による流動性試験（JSCE-F 531）を実施した。図一4に PC グラウトの流下時間と MF 添加率の関係を示す。図中の①は高粘性型の、②は超低粘性型 PC グラウトの流下時間の管理範囲¹⁾である。高粘性型および超低粘性型ともに MF 添加率の増加に伴い流下時間が長くなる傾向にあるものの、表一に示す MF 添加率の使用範囲においては流下時間の管理範囲を満足することを確認した。なお、PC グラウトの水粉体比 W/P（または水セメント比 W/C）は、前章と同じ高粘性型の水セメント比を 43%、超低粘性型の水粉体比を 38%とした。



図四 流下時間と MF 添加率関係

5. MF を添加した PC グラウトの腐食抑制効果の確認

(1) 概要

凍結防止剤を散布する環境や海洋環境のように過酷な塩害環境に曝される PC 構造物では、高濃度塩分がコンクリートに浸入してコンクリート内部へ徐々に浸透拡散し、シースが腐食により消失して PC 鋼材が著しく腐食する事例が報告されている⁴⁾。

一方でコンクリート部材内に埋設された鋼材の腐食抑制対策の一つとして、亜硝酸イオンの供給が有効であることが広く知られている⁵⁾。亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制効果についての研究は 1960 年代から始められ、その後 1980 年代以降にコンクリート中の鉄筋の耐食向上のため亜硝酸リチウムの適用が検討された。亜硝酸イオンによる鋼材腐食抑制メカニズムには諸説あり、亜硝酸イオンがアノード型抑制剤として働く酸化剤としての効果（不動態皮膜再生効果）^{6), 7)} や亜硝酸イオンが鋼材表面に吸着することにより鉄の溶解を抑制する効果^{8), 9)} などが提唱されており、それらが複合的に働いている可能性がある。現在は塩害や中性化により劣化した構造物に対する補修材料に多く利活用されているが、PC 鋼材を保護する PC グラウトに添加した場合の腐食抑制効果に関するデータが不足している。

そこで、亜硝酸リチウムを主成分とする MF を添加した PC グラウトの鋼材腐食抑制効果を確認することを目的として、MF と高濃度塩分を含有する PC グラウト供試体を作製して促進腐食試験を行った。

(2) 実験要因

表—2 に実験要因を示す。PC グラウトの設計施工指針¹⁾を参考に現在汎用されている PC グラウトは超低粘性型のものを用い、流下時間の管理範囲 3.5～6 秒¹⁾を満足するように水粉体比 (W/P) は 38%とし、MF 添加率は結合材に対して 0～9%の範囲で 4 水準

設定した。PC グラウトに含有する塩分濃度 (Cl^-) は、実際の高濃度の塩害環境下にあるコンクリート躯体内に含まれる塩分濃度の調査結果⁴⁾を参考に、 $\text{Cl}^- = 12 \text{ kg/m}^3$ となるように NaCl 試薬により調整した。

(3) 供試体概要

図—5 に供試体概要を示す。供試体は JCI-SC3 法「塩分を含んだコンクリート中における補強用棒鋼の促進腐食試験方法—乾湿繰返し法—」に準拠し、高さ 200 mm、直径 100 mm の円柱供試体とし、中心位置に PC グラウト供試体に垂直に PC 鋼棒を 1 本埋設した。PC グラウト内には MF と内在塩分として NaCl が含有している。また、PC グラウト供試体の上面、下面から劣化因子が侵入することで PC 鋼棒の腐食に影響を受けることを防ぐためにエポキシ樹脂で被覆した。

(4) 促進腐食試験方法

促進腐食試験方法は JCI-SC3 に準拠して温度 15℃、湿度 60%の乾燥期間 4 日間、温度 70℃、湿度 90%の湿潤期間 3 日間を 1 サイクルとし、20 サイクル行った。促進腐食試験の 20 サイクル終了後に PC グラウト供試体から PC 鋼材を取り出し、PC 鋼材の腐食面積率を算出し、腐食の程度を評価した。

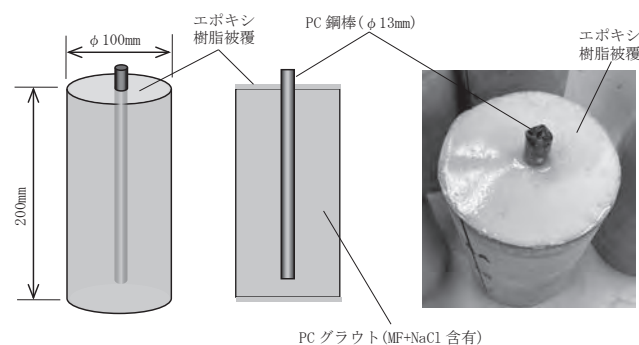
(5) 実験結果および考察

表—3 に促進腐食試験 20 サイクル終了後に供試体から取り出した PC 鋼材の腐食状況および腐食面積率を示す。MF0 のケースでは腐食面積率（3 体の平均）は 49.6%であった。一方で、MF 添加した 3 つのケースでは MF 添加率に関わらず腐食が確認されず腐食面積率はいずれも 0%であった。

以上より、高濃度の塩分 ($\text{Cl}^- = 12 \text{ kg/m}^3$) を含有する PC グラウトに MF を 3% 以上添加することで PC 鋼材の腐食抑制効果が得られることを確認した。

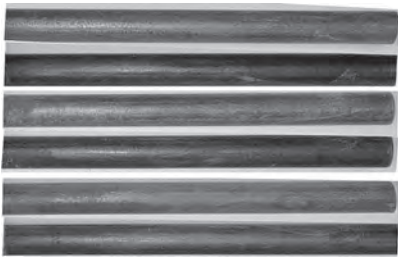
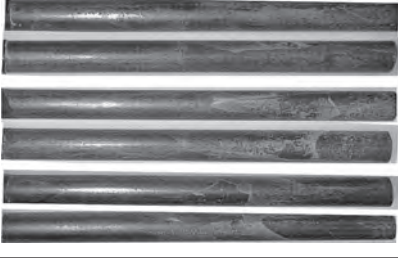
表—2 実験要因

要因	仕様
PC グラウトの粘性タイプ	超低粘性型
PC グラウト配合	W/P=38%
MF 添加率	0, 3, 6, 9%
PC グラウトの塩分濃度	12 kg/m ³
試験項目	促進腐食試験
	PC 鋼材の腐食面積率



図—5 PC グラウト供試体概要

表—3 PC 鋼材の腐食状況および腐食面積率

	PC 鋼材腐食状況 (20 サイクル終了後)	腐食面積率
MF0		49.6%
MF3		0%
MF6		0%
MF9		0%

6. 二酸化炭素削減の取り組み

(1) 概要

地球温暖化対策が喫緊の課題となっている中、日本においても 2050 年までに温室効果ガスの排出量を全

体としてゼロにする、カーボンニュートラルを目指すことが宣言された。これにより建設現場においてもカーボンニュートラル達成のために、二酸化炭素排出量の削減が求められている。表—4 に工事概要を、図—6 に橋梁一般図を示す。

本工事では、PC グラウトの施工時期が冬期に計画されており、架橋位置である八王子市の 1 月における過去 30 年の日平均気温は 3.4℃、日最低気温は -1.8℃であるため PC グラウトの凍結が懸念された。そこで、本工事では、雪寒仮囲いや給熱設備を設けることなく、MF を添加した PC グラウトを使用し二酸化炭素の削減を試みた。

(2) 耐寒 PC グラウトの概要

表—5 に配合表を示す。PC グラウトのベースには超低粘性型のもの (W/P=37.0%) を使用し、施工期間 (1 月上旬) の最低気温の想定から MF の添加率は 3% とした。

写真—1 にプラント全景を示す。PC グラウトの練混ぜおよび PC グラウト注入に使用する機材は、通常

表—4 工事概要

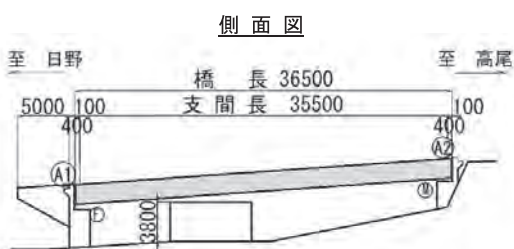
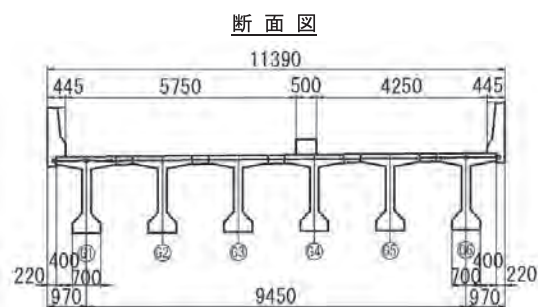
工事名	R2 国道 20 号八王子南 BP 寺田地区側道橋上部その 2 工事			
発注者	関東地方整備局 相武国道事務所			
工事場所	東京都八王子市寺田町地先			
工 期	令和 2 年 11 月 1 日 ~ 令和 4 年 3 月 31 日			
橋梁形式	形 式	ポストテンション方式 PC 単純 T 桁橋	桁 長	36.300 m
	橋 長	36.500 m	支間長	35.500 m

表—5 配合表

配 合	設定温度 (℃)	W/P (%)	W (kg)	P ^{b)} (kg)	MF ^{c)} (kg)
1 バッチ (3 袋あたり)	-5	37	24.4	75	5.625

b) : 太平洋ハイジェクター (Premix-AD)

c) : 重量比 固定分 : 水 = 40 : 60



(単位 : mm)

図—6 橋梁一般図

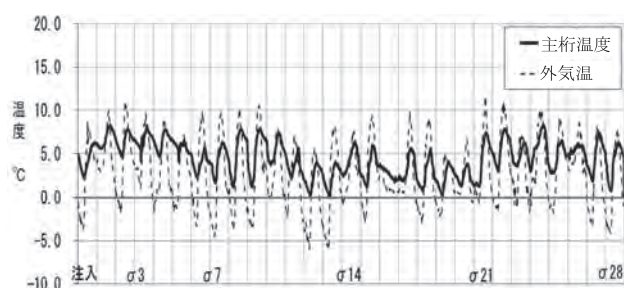


写真一 プラント全景

期の施工と同じグラウトミキサー（100 L 練り丸型）とグラウトポンプ（スクイズ式）を使用した。練混ぜ方法は、2 章と同様である。

(3) PC グラウトの品質管理

図一 7 に材齢 28 日までの主桁温度と外気温の温度履歴、表一 6 に品質管理試験結果を示す。PC グラウト注入時の外気温は 2℃、PC グラウトの練上り温度は 16℃であった。材齢 3 日目までの最低気温は -2℃であり、材齢 13 日目には最低気温が -6℃、主桁温度も 0℃まで低下したがいずれの品質基準試験結果も判定基準を満足した。また、参考値として、注入口と排出口で採取した圧縮強度用供試体を用いて材齢 28 日の強度も確認した結果、注入口で 62.4 N/mm²、排出口で 56.3 N/mm²であった。さらに、約 35 m 圧送した後の流下時間のロス は 0.7 秒であり、注入圧力の変化もほとんど認められなかった。



図一 7 温度履歴

表一 6 品質基準試験結果

試験項目	規格値	試験結果	
		練混ぜ直後	排出口
レオロジー試験	3.5 ～ 6 s	4.7 s	5.4 s
圧縮強度試験	30 N/mm ² 以上	62.4 N/mm ²	56.3 N/mm ²
ブリーディング率試験	0.3% 以下	0.0%	—
体積変化率試験	- 0.5 ～ 0.5%	- 0.3%	—

(4) 二酸化炭素の削減量

今回の PC グラウト施工において、仮に雪寒仮囲いを設けて 給熱養生を行った場合を想定して二酸化炭素の削減量を算出した。

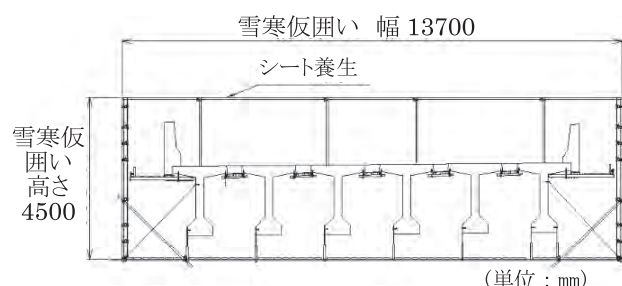
(a) 雪寒仮囲いモデルの概要

図一 8 に PC グラウト養生のための雪寒仮囲い設置した場合の断面図、表一 7 に仮囲いの寸法などを示す。なお、仮囲いの延長は橋長の両端に 1.0 m の余裕を加え、長さ 38.5 m とした。

(b) 二酸化炭素削減量の算出

八王子市における 2022 年 1 月の平均気温は 2.7℃であり、雪寒仮囲い内を PC グラウト注入後 3 日間 5℃以上に加熱したと仮定して、熱損失量 Q (kcal/h) を算出した¹⁰⁾。その他の条件として、囲い材料をシート、熱損失係数ΣK は 10、換気回数 N は 4.3 回とした。この条件のもとで熱損失量を算出すると 41,513 kcal/h、灯油消費量は 470 L となり、CO₂削減量は 1,170 kg-CO₂¹¹⁾であった。

また、雪寒仮囲いの設置および給熱養生が不要となるため、約 20%のコスト削減であった。



図一 8 雪寒仮囲い図

表一 7 雪寒仮囲い寸法

幅	13.700 m	放熱面積	1524.7 m ²
高さ	4.500 m	主桁体積	216.0 m ³
長さ	38.500 m	内部空气体積	2157.5 m ³

7. おわりに

雪寒仮囲いや給熱を行わなくとも、低温環境下で凍結しない PC グラウトの開発を目的として、亜硝酸リチウムを主成分とした MF の添加が PC グラウトの流動性や氷点下環境における強度発現性に及ぼす影響について検討した。また、MF を添加した PC グラウトの鋼材腐食抑制効果を確認することを目的として、MF と高濃度塩分を含有する PC グラウト供試体を作製して促進腐食試験を行った。さらに実橋での施工において、MF を添加した PC グラウトの二酸化炭素削減

減効果を確認した。

本件によって得られた知見を以下にまとめる。

- ①温度条件ごとに PC グラウトの MF 添加率を適正に設定することにより、練混ぜ直後から氷点下環境で養生しても良好な強度発現が得られることを確認した。
- ②高濃度の塩分 ($\text{Cl}^- = 12 \text{ kg/m}^3$) を含有する PC グラウトでも MF を 3% 以上添加することで PC 鋼材の腐食抑制効果が得られることを確認した。
- ③実橋の寒中施工において、MF を添加した PC グラウトを使用することで、雪寒仮囲いの設置や給熱養生を行わずとも、良好な品質を確保しつつ CO_2 を大幅に削減できることを確認した。

寒中において PC グラウト施工を行う場合、これまで大がかりな雪寒仮囲いと給熱養生が必要であり、働き方改革やカーボンニュートラルを目指すうえで課題となっていた。MF は既存の PC グラウトに添加するだけで、雪寒仮囲いや給熱養生を行わなくとも寒中において PC グラウト施工が可能となることから、これらの課題解決の一助となると考えられる。

一方、MF に含まれるリチウムは、電気自動車や携帯電話のバッテリーの原料として需要が多く価格が高騰している。この問題を解決するため、安価で耐寒性のある材料と組み合わせた新たな混和剤の開発に取り組んでいる。成果がまとまり次第、別の機会にご紹介したい。

J C M A

《参考文献》

- 1) プレストレストコンクリート工学会：PC グラウトの設計施工指針－改訂版－，2012.12
- 2) 北川明雄，堀孝廣，中村裕二：コンクリート表面被覆型亜硝酸塩含有モルタルの防錆効果，セメント・コンクリート論文集，No.43，pp.520-525，1989
- 3) 堀孝廣，山崎聡，榊田佳寛：防錆モルタルに関する研究，コンクリート工学論文集，Vol.5，No.1，pp.89-91，1994.1
- 4) 岩城一郎，上原子晶久，子田康弘，内藤英樹，皆川浩，鈴木基行：著しい塩害を受けた道路橋 PC 桁内部のコンクリートおよび鋼材の物性評価，土木学会論文集 E，Vol.66，No.4，pp.413-432，2020.11
- 5) コンクリートメンテナンス協会：コンクリート構造物を対象とした亜硝酸リチウムによる補修の設計・施工指針（案），2021.5
- 6) Rosenberg, R, A. et al. : American Society for Testing and Materials STP 629, pp.89-99, 1977
- 7) J. T. Lundquist Jr., A. M. Rosenberg and J.M. Gadis : A Corrosion Inhibitor Formulated with Calcium Nitrite for Chloride-Containing Concrete-II Improved Electrochemical Test Procedure, CORROSION/77 San Francisco, The International Corrosion Forum Devoted Exclusively to the Protection and Performance of Materials, pp.14-18, 1997
- 8) 高谷哲，須藤裕司，山本貴士，宮川豊章：コンクリート中における亜硝酸イオンの鋼材腐食抑制メカニズム，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，pp.1270-1275，2014
- 9) 高谷哲，須藤裕司，内藤智大，江良和徳，山本貴士，宮川豊章：コンクリート中における亜硝酸イオンの腐食抑制メカニズムおよびその効果に関する基礎的研究：Journal of the Society of Materials Science, Japan, Vol.63，No.10，pp.722-728，2014
- 10) 日本建築学会：寒中コンクリート施工指針・同解説，第 5 版，pp.74-84，2010.1
- 11) 算定方法及び排出係数一覧.PDF（環境省 温室効果ガス排出量 算定・報告・公表制度 HP）：[https:// ghg-anteikohyo.env.go.jp/calc](https://ghg-anteikohyo.env.go.jp/calc)（閲覧日：2022.8.5）

【筆者紹介】

吉岡 憲一（よしおか けんいち）
日本高圧コンクリート(株)
PC 事業部
技術部長



井上 真澄（いのうえ ますみ）
北見工業大学
工学部 社会環境系
教授



須藤 裕司（すどう ゆうじ）
日産化学(株)
化学品事業部 基礎化学品営業部
部長



バクテリアを活用した自己治癒コンクリートの国内展開

大橋 未来

自己治癒コンクリートは、CO₂排出量が多いコンクリート業界に革新をもたらす画期的な技術である。バクテリアの代謝活動によって発生したクラックを自己修復する仕組みを持ち、構造物の長寿命化とメンテナンスコストの削減に貢献する。日本では、自己治癒コンクリートの量産化が進み、国内での導入事例も増加している。さらに、国土交通省や経済産業省などからも評価を受け、道路や公共工事など幅広い分野で採用が進んでいる。しかし、これだけでは2050年のカーボンニュートラル目標の達成には至らず、産官学連携による取り組みが今後も重要である。

キーワード：ひび割れ, バクテリア, 炭酸カルシウム, 自己治癒, 長寿命化, サステナビリティ

1. はじめに

コンクリート及びコンクリート構造物は、過去より人々の生活を支える基盤として、人類の文明の進化にも重要な役割を果たしてきた。また、その主要な構成材料である石灰石や砂、砂利などの大量入手のしやすさから、世界では水に次いで2番目に使用されるほど、人類にとっては必要不可欠なマテリアルと言っても過言ではない。

一方で、コンクリートの製造時に大量のCO₂を排出することは、コンクリート業界にとって大きな課題ともなっている。コンクリートを構成する重要な材料であるセメントは石灰石を焼成して製造する過程で大量のCO₂を排出し、セメント1トンを製造するごとに0.8トンのCO₂を排出すると言われるほど、環境負荷の高い材料であることは明らかである。

このコンクリート業界から排出される大量のCO₂が地球温暖化の一因ともなっていることは紛れもない事実であり、国内外において脱炭素化に向けた潮流が激しさを増す中、我々もコンクリートにおける脱炭素化に貢献することが出来る新たなソリューションの開発を行い、実装することが強く求められている。

近年はコンクリートメーカーや建設業者の研究開発部門や、大学などの教育機関が中心に脱炭素に貢献する様々なコンクリートソリューションが開発されている。

そのなかでも、自己治癒コンクリートは、コンクリートにあらかじめ用意されているシステムによって、人

間が自らに発生した傷を治癒させるようにバクテリアの代謝活動を利用してコンクリートのクラックを修復することで、構造物の維持管理を簡素化し、ライフサイクルコストの削減を実現させることを可能とする。それと同時に構造物の長寿命化を実現し、解体と再生産時に発生する大量のCO₂の排出を削減することが可能となる画期的なテクノロジーである。

本稿では、コンクリートの脱炭素化ソリューションのひとつとして、この自己治癒コンクリートのメカニズムや国内での採用事例、そしてこのテクノロジーを活用したコンクリート業界における脱炭素運動について紹介する。

2. 自己治癒コンクリートの概要

バクテリアの代謝活動を応用したこの自己治癒コンクリート技術は、2010年にオランダ・デルフト工科大学のヘンドリック M. ヨンカース博士が率いる研究チームによって開発され、2015年に欧州特許庁による欧州発明家賞や、2020年にはオランダ Cobouw2020 イノベーションアワードにノミネートされる形で評価を受けた。当社は2016年よりオランダ研究チームとの交流を開始し、産業ベースでこの技術を普及させるための量産化技術について共同で研究を継続し、2020年11月に世界で初めて「自己治癒コンクリート Basilisk」として日本国内における量産を開始した。

そもそも、コンクリートには、乾燥収縮やセメントの水和熱などをはじめとした様々な原因によるひび割

れが発生し、このひび割れの発生は避けることができない宿命とも言えるだろう。このようなひび割れが発生すると、そこから水分や酸素や CO_2 、有害イオンなどが混入し、内部の鉄筋を腐食させることで構造物の耐久性を著しく低下させてしまう。その対策としてこの技術は、コンクリートに発生した初期段階のひび割れを絶えず修復していくことでコンクリート構造物の長寿命化を実現させることが出来る。ここからは自己治癒コンクリートのメカニズムを解説する。

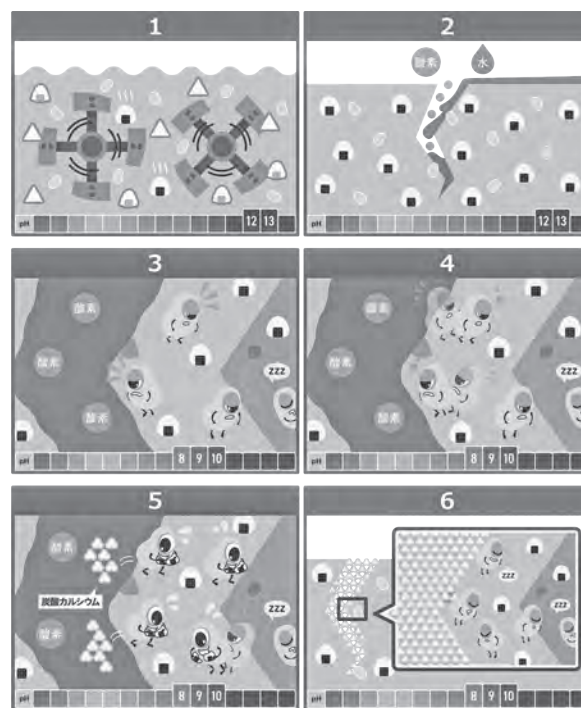
自己治癒コンクリートの材料に含まれるバクテリア(Bacillus 属、枯草菌と同じ種類)は、耐アルカリ性で乾燥状態においては孢子として休眠状態となる。

胞子上のバクテリアは、コンクリート製造時にバクテリアの養分となるポリ乳酸(生分解性プラスチック)とともに自己治癒材として投入される(写真—1)。ポリ乳酸は、生コンクリート内の高いアルカリと練り混ぜ水によって加水分解されることで乳酸カルシウムに変化し、バクテリアとともに生コンクリート全体に分散される。

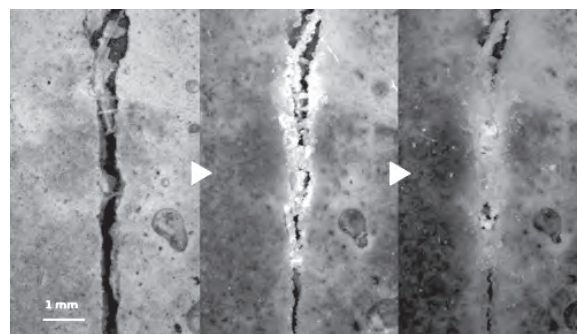
コンクリートの硬化後にひび割れが発生すると、そこから雨水や酸素が侵入し、ひび割れ表面のコンクリートの pH が下がる。この水分と酸素の侵入、そして pH の低下という 3 つの条件によってコンクリート内部で休眠状態であったバクテリアは活動を開始し、周囲に存在する乳酸カルシウムを摂取し代謝活動によりクラック内部に炭酸カルシウムを排出することでクラックを埋めていく。バクテリアは代謝活動時に少量の水と CO_2 を排出するが、ひび割れ周辺の未水和のセメントと水分が反応することで水酸化カルシウムを生成し、更に CO_2 と反応することで炭酸カルシウムを作る。この炭酸カルシウムが蓄積されることでひび割れが閉塞すると、水分と酸素の供給が停止されるため、バクテリアは再び休眠状態となり、次のひび割れの発生に備えるのである(図—1、写真—2)。



写真—1 自己治癒材



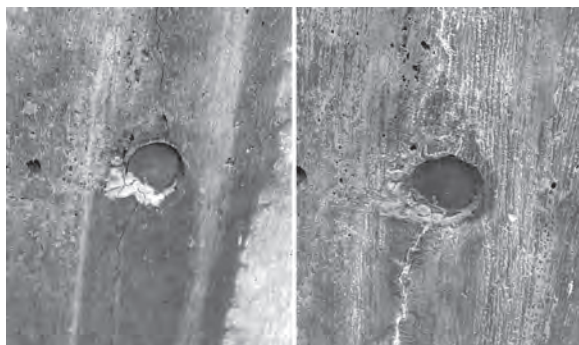
図—1 自己治癒メカニズム



写真—2 水中養生における自己治癒の様子

なお、バクテリアは代謝活動を行うと同時に、酸素を取り込むことでおよそ 20 分に一度の速さで分裂をすることが確認されている。この分裂を 4～5 回繰り返すと、最初に分裂を行ったバクテリアは死滅するが、他のバクテリアの養分となる。また、このバクテリアは休眠状態でおよそ 200 年生存することが可能とされている。

この自己治癒技術によってひび割れが修復されることと修復にかかる期間を測定させるための実証実験を、当社の大型製品の養生用水槽を用いて実施した。この水槽は建設時よりクラックの修復を長期暴露試験として行う目的により、あえて漏水対策等をせず、クラックの発生をしやすい状況にした。建設時から半年後に水を張ったところ、全体に発生したおよそ 20 本のクラックより大量の漏水があったが、その後約 2 週間ですべての漏水が停止した(写真—3)。クラックを埋めている部分は白色の物質が目視で確認できるほ

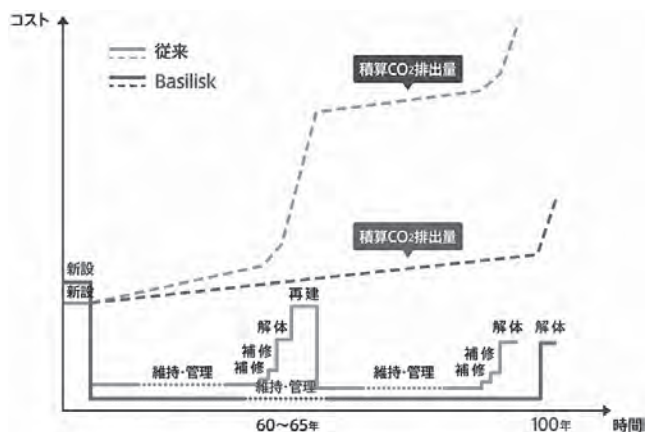


写真—3 養生用水槽による暴露試験の様子

ど発生しており、この物質の成分を分析したところ、バクテリアの代謝活動により排出された炭酸カルシウムであることも確認された。

このようにして自己治癒材が含まれたコンクリート構造物は、わずかな傷を人体が自ら治し続けるように、バクテリアの活動可能な環境さえ整えば常に初期段階のひび割れを治し続けることが出来る「自己治癒コンクリート」となる。

このバクテリアの代謝活動によってコンクリート表面の小さなひび割れを修復し続けることが出来るので、コンクリート内部の鉄筋の腐食の原因となるようなコンクリート表面のひび割れの進行や水や有害イオンなどの劣化因子の侵入を防ぎ続ける事を可能とする。本技術は導入において特別な設備を必要とせず、 1 m^3 あたりに自己治癒材を5kg投入するだけで自己治癒コンクリートの製造を可能とするが、材料費としてある程度のイニシャルコストは発生する。しかし、コンクリート構造物を長寿命化させることにより、メンテナンスの軽減や、コンクリート構造物の長寿命化によって作り変えて発生するコストを削減させることから、ライフサイクルコスト（LCC）が下がる可能性を十分期待することが出来る（図—2）。

図—2 コンクリートの長寿命化によるライフサイクルコストとCO₂排出量のイメージ

また、本技術によって構造物の寿命を大幅に延長させることによって、従来の作っては壊すというスクラップ・アンド・ビルド型のビジネスモデルからは脱却し、コンクリートの使用量を戦略的に低減させることや、ひび割れのリスク低減によりかぶりの厚さの低減が見込まれる。

これらのことから、本技術を普及させていくことで、インフラメンテナンスの担い手の減少や脱炭素社会の実現といった、大きな課題の解決への貢献が期待される。

3. 国内での自己治癒コンクリートの展開

この自己治癒コンクリートは、コンクリート 1 m^3 あたりに自己治癒材5kgを添加することで製造することが出来るため、プラントに特別な設備を高額の費用をかけて導入することや、特別な配合計算を行う必要がないというメリットがある。

当社では2020年11月の量産化開始の翌年1月には、この自己治癒コンクリートなどを始めとしたコンクリートにおける脱炭素技術を、希望する同業他社に包括的に技術移転し、コンクリート分野の脱炭素を全国的な活動として加速させるためのプログラム「aNET ZERO イニシアティブ」を提唱した。

2024年2月現在、このプログラムに参加するプレキャストメーカーは50社となり、コンクリート分野の脱炭素を加速させるために自己治癒コンクリートを始めとした脱炭素に貢献するコンクリート技術の導入と普及を進めている。また、自己治癒コンクリートの試験練りを行った生コンプラントは全国で70プラントを超え、日本全国での自己治癒コンクリートの供給体制の整備が加速している。

4. 採用事例と国内における評価

自己治癒コンクリートの採用事例は当社だけではなく、「aNET ZERO イニシアティブ」に参加するプレキャストコンクリートメーカーにおいても導入事例が次々と発表されている。

自己治癒材の中に含まれるバクテリアが水と酸素によって活動を開始するという特徴から、雨水や用水などで水分が十分に供給されることが期待できる農業や河川分野の治水工事や、道路分野で生コン・プレキャスト関わらず多く採用されてきた。

大規模な採用事例では、2021年に札幌市内で札幌市水道局発注の大型池状構造物にBasilisk仕様の生コ

ンクリートが採用（写真—4）。また、2023年には宮崎県において九州地方整備局発注の地域高規格道路でBasilisk仕様のボックスカルバートが採用されるなど（写真—5）、バクテリアの代謝機能によって期待されるコンクリートのメンテナンス軽減が評価を受けて公共工事での採用も広がっている。

2022年8月には「Basilisk HA 自己治癒コンクリート」として国土交通省の新技术情報提供システムNETISに登録されたほか、国内の表彰については、2023年1月に経済産業省、国土交通省、厚生労働省、文部科学省が連携し、ものづくりの第一線で活躍する技術などを表彰する「ものづくり日本大賞」の「優秀賞」を受賞した。

また、2023年9月には国土交通省より、2050年カーボンニュートラルに向けた道路分野の取り組みについての中間取りまとめとして、政府目標である2030年度における温室効果ガスを2013年度から46%削減、2050年カーボンニュートラルの実現のために、大きく4つの分類に分けた対応策が必要であるとした中で、「道路のライフサイクル全体の低炭素化」を掲げた。これは道路の計画・建設・管理の各段階においてCO₂排出量の削減を目指したもので、具体的な項目として「道路インフラの長寿命化」が含まれている。

同省発表内の資料において、「道路橋や舗装等につ

いて、予防保全の観点から計画的・集中的に長寿命化を図り、インフラの更新頻度を減らすことでCO₂排出量の削減を目指す」とあるが、この考え方は自己治癒コンクリートによって可能となるメンテナンスコストとCO₂排出量削減の考え方と同じものであり、自己治癒コンクリートによる長寿命化というアプローチが今後脱炭素に大きく貢献できる手立ての一つとして確立されることを強く期待出来るだろう。

5. 今後の展望

本稿で紹介したバクテリアの代謝機能を活用した自己治癒コンクリートテクノロジーは、人々の生活に必要な不可欠な建設資材であるコンクリートが持つ、原材料の調達を含めたサプライチェーンにおいて大量のCO₂を排出することや、宿命的にひび割れの発生をほぼ避けることが出来ないという大きな課題の解決に貢献できる画期的なマテリアルである。

この技術は先述の国土交通省が掲げた方針や近年のメディアへの露出によって脱炭素に貢献するテクノロジーであるという認識が広まりつつあるが、この自己治癒技術によって削減できるCO₂排出量は、長寿命化しなかった場合に発生する建替え時に発生するCO₂排出量だけであり、この技術だけでは政府の目標とする2050年カーボンニュートラルの実現まではほど遠いのが現状である。

これからも、産業界が行政や教育機関などと産官学民連携を通じてカーボンニュートラルひいてはカーボンネガティブに資するような技術を開発し、業界全体で普及を進めるような取り組みが必要だと考える。

J C M A

《参考文献》

- ・劉 宏涛, 世界初、自己治癒コンクリートの大量製造, 建設機械施工, vol.74, no.3, p.62-66, 2022年2月
- ・酒井 亨, バクテリアを活用した自己治癒コンクリート技術, コンクリート工学, vol.59, no.11, p.933-937, 2021年11月
- ・国土交通省 道路局, “2050年カーボンニュートラルに向け、道路分野の取組を加速します～カーボンニュートラル推進戦略 中間とりまとめの公表～”, 国土交通省, 2023. https://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_001698.html, (参照 2024-02-19)

〔筆者紹介〕

大橋 未来（おおはし みき）
會澤高圧コンクリート(株)
未来開発本部



写真—4 大型池状構造物（北海道）



写真—5 地域高規格道路（宮崎県）※提供（株）ヤマウ

AI を利用したコンクリート打設管理システムの開発 構造物の品質向上と現場管理業務の効率化及びトレーサビリティの確保

橋 本 大 雅

建設工事におけるコンクリート打設作業は、打設計画に基づき、職員が作業状況を目視で確認して作業員へ指示を出しているのが現状である。しかし、職員の経験不足や施工規模などにより、判断ミスや対応の遅れが生じ、作業効率の低下や品質トラブルを発生させてしまう事象が起こりうる。

本稿では、コンクリート打設作業時の状況を、AI を活用してリアルタイムに情報化・可視化し、打設管理をサポートするシステムの開発について紹介する。

キーワード：AI, 画像解析, 品質管理, 効率化, トレーサビリティ

1. はじめに

我が国の道路や鉄道などの交通インフラには、強靱かつ高耐久な構造物が必要なため、それらの多くはコンクリート構造物となっている。コンクリート構造物施工に必要となる、生コンクリートの打設作業では、構造物完成時の品質を高めるため、計画に基づき多くの職員が協力しながら作業を行う。

コンクリート工事の品質管理は、職員の経験不足や施工規模などにより、品質トラブルが起こりうる。一度トラブルが発生すると、発注者との協議により対策を検討し、補修・補強作業などを行うこととなる。最悪の場合、一度壊した上での再構築が必要となり、当初の計画にない多くの時間とコストが消費されてしまう。

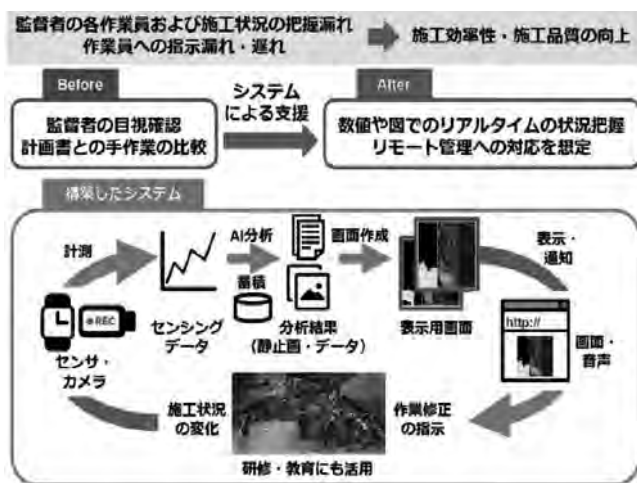
本稿で紹介するコンクリート打設管理システムは、AI により打設状況や作業員の行動を分析・情報化し、リアルタイムに把握することで、施工管理や作業指示をサポートするために開発中のシステムである。また、作業時の施工記録を蓄積することによりトレーサビリティを確保し、類似工事のシミュレーションや、後進の技術者の教育資料としても活用できる。

2. コンクリート打設管理システムの概要

本システムは、AI による人の行動特性に基づく計測データの解析により、その結果の表示や異常通知を行うものである。作業現場に設置した定点カメラや各種センサによって、施工状況の変化が計測・蓄積され

る。同時に、リアルタイムで各情報の分析が実施され、図や表として可視化されることで、現地、もしくは遠隔地からも作業指示が可能となり、施工や品質の向上に繋がる。また、カメラで記録した映像や、分析・可視化した情報は、システム内に蓄積され振り返ることが可能なので、類似工事のシミュレーションや研修・教育に活用できる。このようなシステムの流れを、図—1 に示す。

システム上の分析・可視化された情報は、図—2 に示すブラウザ画面に表示される。左のメニュー項目から画面を切り替え、各種情報が確認できる。これらは作業中リアルタイムに更新される上に、画面下部のコマンドから、時間を巻き戻して過去の状況を確認することもできる。また、PC やスマートフォンから（写真—1）閲覧可能であることにより、作業に携わる全



図—1 システム概要図



図ー2 PC ブラウザによるシステム画面



写真ー1 スマートフォン上画面

ての職員が打設状況を随時確認し、指示出しなどに活用可能である。

現在システム上で確認できる各項目の概要を以下に示す。

(1) ライブ映像

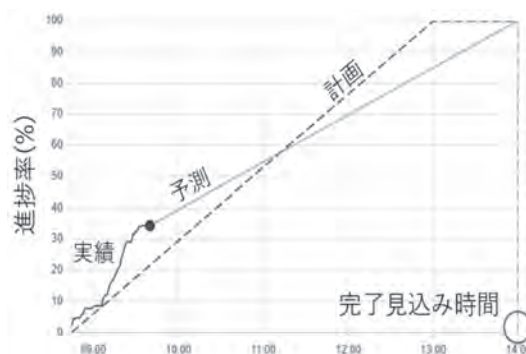
打設現場のリアルタイム映像を閲覧できる。この項目に表示される映像を対象に、AI による解析が行われる。

(2) 打設済み区画

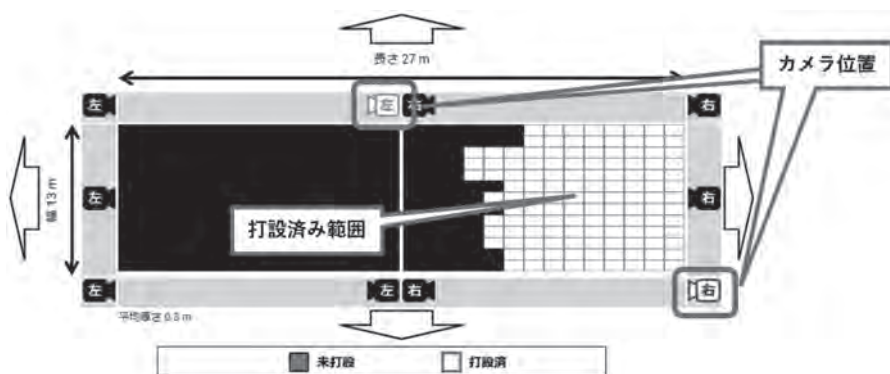
対象現場の打設図面上の打設予定範囲のうち、打設完了した箇所がマス目の塗りつぶしで表現される。また、計測用に使用しているカメラ位置も合わせて表示される(図ー3)。

(3) 打設完了見込み時間

打設作業の進捗をグラフで可視化する。打設ペースと当初計画との乖離や、作業完了の見込み時間を確認できる(図ー4)。



図ー4 打設完了見込み時間



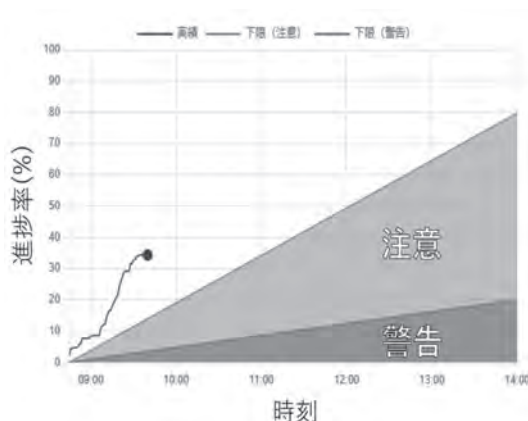
図ー3 打設済み区画

(4) 打設ペース異常警告

打設ペースに遅延がないかどうかをグラフで可視化する。グラフ上には予め設定された、「注意」及び「警告」の下限值が表示され、進捗実績値がこれらを下回ると警告が表示される（図－5）。

(5) コールドジョイント警告

打設済み区画のうち、隣接する部分に生コンがない箇所の露出時間をカウントアップし、経過時間ごとに色分けして表示する（図－6）。



図－5 打設ペース異常警告

(6) バイブレータ担当者の軌跡

バイブレータが直近に滞在した区画と時間が、センシングによるマス目の色の变化で表現される（図－7）。

3. システム試行実績

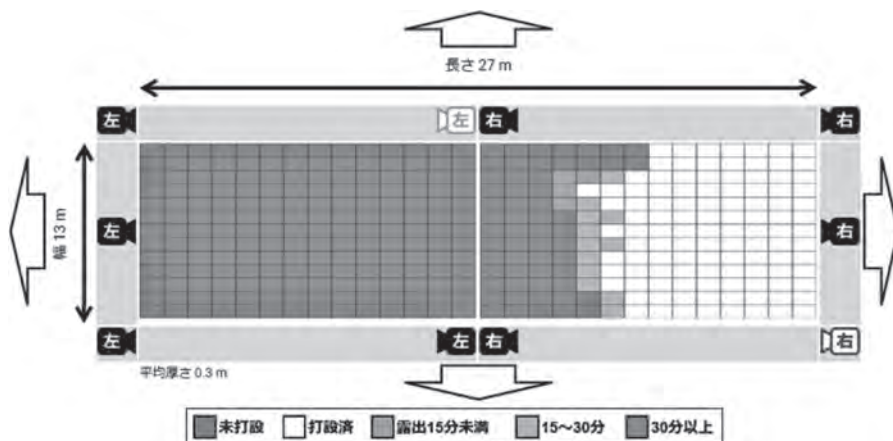
基本システムの構築後、各種構造物に適用できるように、データ収集及び改良のための試行を段階的に進めている。

(1) 床版部

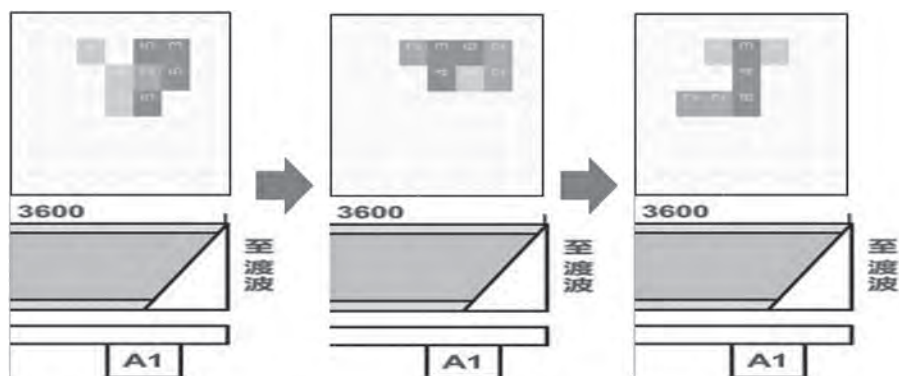
まず構造が比較的単純な床版部のコンクリート打設を対象に、システムの試行を進めた。

本システムは、打設ホースの筒先位置と打設後のコンクリートの色から、AIによる画像解析によって打設済み判定を行っている。この判定結果が、システム上の各メニューの図や表に反映されることを確認した。

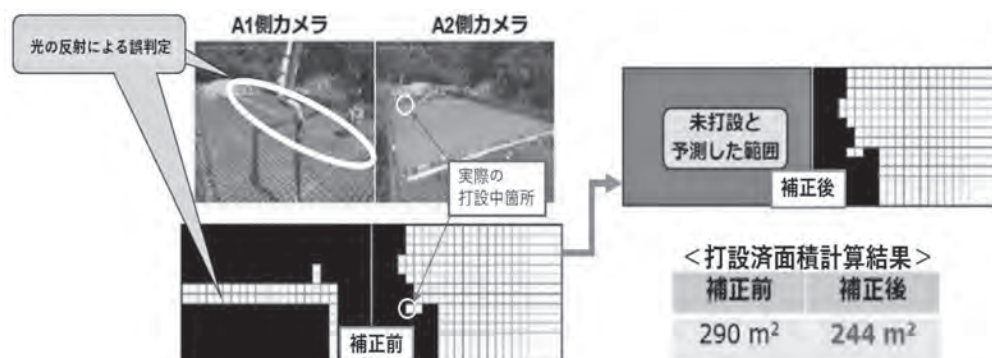
しかし当初のシステムでは、打設済み範囲の誤判定がみられ、天候による鉄筋の反射などが解析に影響することがわかった（図－8）。そこで、これまで打設



図－6 コールドジョイント警告



図－7 バイブレータ担当者の軌跡



図—8 反射による誤判定への対応

エリア全体で行っていた打設済み判定を、打設開始後の経過時間とホース筒先位置から打設エリアを予測・限定して判定を行う仕様へと変更し、判定精度の向上を図った。

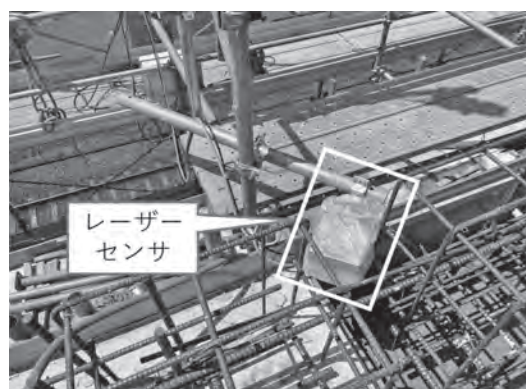
今後の方針として、解析方法は上記の対応などにより確立されているので、AIによる判定精度をさらに高めていく。また、現場導入・商品化に向け、システムの操作性向上を進め、運用する上でのサポート体制を構築していく。

(2) 多層部

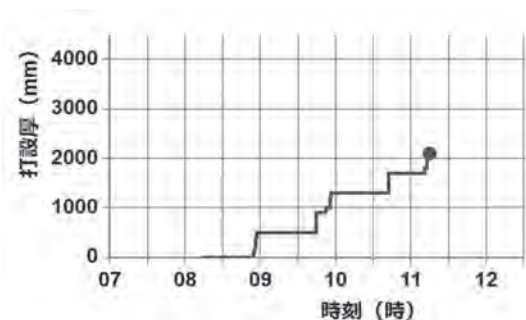
多層打設にも対応するシステムとするため、今回は橋梁のフーチング基礎にてコンクリート打設管理システムを試行した。

解析メニューは床版部打設時と同様とし、打設済み区画は水平方向及び鉛直方向に分割し、多層として立体的な表示に変更した（図—9）。打設判定については、最上層以外の打設状況は画像によるコンクリートの色から判定できないため、打設ホースの筒先及びパイププレートによる打設チームの移動をもって打設済みと判定し、その結果から施工進捗を確認できるようにした。

更にコンクリート打設厚を数値で管理するために、図—10に示すような距離計測レーザーセンサを打設面の真上に設置し、システムとの連動を実施した。そ

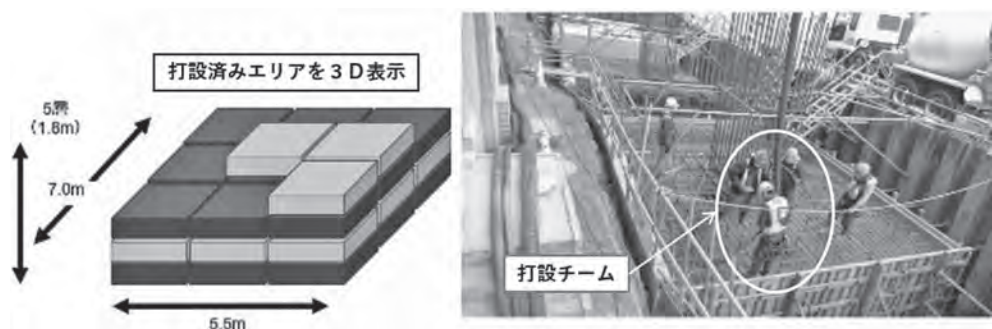


図—10 打設厚レーザーセンサ



図—11 打設厚グラフ画面

れに伴い、センサ設置位置での打設厚をリアルタイムにグラフにて確認できるメニューに追加した（図—11）。現在は、対象工種を拡充するため、大口径深礎や橋脚部での試行も進めている。



図—9 多層部対象時の打設エリア及びライブ映像

4. 今後の課題

コンクリート打設管理システムを開発及び運用していく上での今後の課題を示す。

(1) コンクリート締固め時間の管理

コンクリート締固め時間を管理するために、パイプレータ本体にセンサを直接取り付け、生コンへの挿入時間の計測を検討している。センサには、鉄筋接触に対する耐久性、パイプレータからの熱に対する耐熱性が必要となる。これらの課題をクリアするセンサを検証中である。

(2) 現場導入時のサポート体制

現在、システムとして床版部に関しては最終段階となっている。そこで開発と並行して、現場導入に向けた準備をする必要がある。現場からの使用依頼に対して、機材等の手配、システムの設定や導入時の電話サポートなど、これまでは開発体制のみであったが、弊社内での施工時導入を経て、販売等に向けた体制をつくっていきたい。

(3) 調査・設計から維持管理までの一元管理

本稿で説明したコンクリート打設管理システムを含む、コンクリート構造物施工の各段階で使用するシステムを一元管理するプラットフォーム「TK Construction Flow 360」を開発中である（図—12）。各システムの機能を充実させながら、データ連携による業務の効率化を目指す。



図—12 TK Construction Flow 360 概要図

5. おわりに

本稿では、AIによる画像解析を活用したコンクリート打設管理システムの概要と、ここまでの試行について紹介した。今後はシステムを運用段階まで進め、構造物の品質向上と管理業務の効率化や、施工におけるトレーサビリティを確保し、職員の業務サポートや技術力向上を目指していきたい。

J C M A

【筆者紹介】

橋本 大雅（はしもと たいが）
鉄建建設(株)
土木本部 i-Con 推進部
課長代理





新地盤凍結工法「ICECRETE (アイスクリート)」の高度化実証実験

相 馬 啓・吉 川 正・西 征 一 郎

地盤凍結工法は、地盤改良工法の一つであり、軟弱な地盤の強度増加や透水性の高い地盤の止水性向上のために地中に凍結管を埋設して冷却液を循環させることで、管の周囲の地盤を人工的に凍結させる工法である。凍土は、間隙水を一時的に凍結して固化するもので、その後、融解させることで地盤にセメントや薬液等を残さずに、止水性や強度が高い地盤改良体となる特長を有する。ICECRETE は、冷凍機的一次冷媒にアンモニア (NH_3)、凍結管の二次冷媒に液体の炭酸ガス (液化 CO_2) を使用する最新の地盤凍結システムである。これらの冷媒はどちらも自然冷媒であり、大気環境に配慮した工法である。近年、大深度や大断面の掘削工事が増加して施工時のトラブルの抑制、さらに環境負荷低減も要求されていることから、地盤凍結工法の需要が高まっている。

このため、ケミカルグラウト(株)、(一財)先端建設技術センター及び成和リニューアルワークス(株)は、ICECRETE の更なる高度化を目指した共同研究を実施している。本稿は、2022 年度に実施した実証実験における成果の一部を報告する。

キーワード：凍結、凍土、環境、地球温暖化係数、自然冷媒、液化炭酸ガス

1. はじめに

ICECRETE (以下、本工法) の凍結システムでは、地球温暖化係数がフロン系冷媒と比較して非常に低い、 NH_3 と液化 CO_2 を使用している。化学的に合成されたフロン系冷媒を自然冷媒に転換することで、環境負荷が低減可能となる。凍結システムを図-1 に示す。

CO_2 は大気圧下では、固体と気体の状態でのみ存在

するが、ある一定の高圧力下では液体の状態となる。本工法の凍結システムでは、液化器で液体化された液化 CO_2 を循環ポンプで凍結管内を循環させる。液化 CO_2 は送液中に地盤の熱で一部が気化し、その際の潜熱によって地盤から熱を奪って、凍土を造成する。気化した一部の CO_2 は、 NH_3 を使用した冷凍機内で再液化される。液化する際に放出される熱は、凝縮器により冷却水に移動され、冷却塔から大気へ放熱される。

従来の凍結システムでは、約 -30°C の塩化カルシウム水溶液等のブラインを凍結管に循環させることで、ブラインの送り温度と戻り温度の温度差分の熱量を地盤から奪い、凍土を造成する。冷凍機では、フロン系冷媒を使用した冷凍サイクルにより、地盤から奪った熱は冷却水に移動され、冷却塔から大気へ放熱される。

本工法では、凍結運転中の CO_2 の圧力を 0.8 MPa 程度に保持しており、液化 CO_2 の沸点が約 -45°C となるように制御している。気化潜熱を使用することにより、単位重量当たりで奪う熱量が、 -30°C 程度で循環させるブラインにおける温度差分の熱量と比較して約 60 倍となる。そのため、従来のブラインと比較して 1/10 程度の流量の液化 CO_2 で、同規模の凍土を造成できる。さらに、液化 CO_2 の動粘度は、従来のブラインと比較して、約 1/90 と小さいため、冷媒を循環す

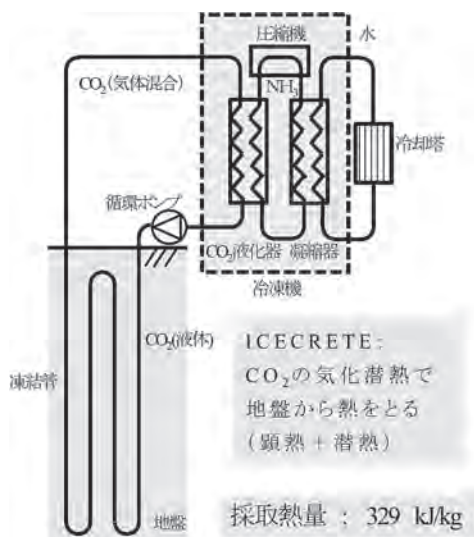


図-1 本工法の凍結システム

る配管やポンプを小さくでき、凍結システム全体の消費電力の削減が可能となった。

本工法では、幅 50 mm、厚さ 5 mm のアルミ製偏平多孔管の IC チャンネルを開発し使用している（写真—1）。IC チャンネルを使用した凍結管の構造概念図を図—2 に示す。IC チャンネルはアルミ製であり、熱伝導性能が鋼材の 4 倍程度、曲げ伸ばしも容易である。また、重量は 300 g/m と軽量で、設計通りの長さのものを工場製作の上、ロール状にして現場搬入できるため、従来の SGP 製の凍結管のような溶接による接続作業は不要である。さらに軽量でフレキシブルなためにクレーンが不要となり、人力で地中に挿入可能なものとなっている。

本工法は 2017 年にシールド到達防護工に初めて採用されて以来、2023 年 12 月時点にて施工実績は 10 件を超えている。

2. 実証実験

共同研究の活動において、これまでの本工法の施工実績を分析した結果、コストダウン、漏洩リスクの低減、出来形の可視化、強制解凍の施工仕様確立、効率的な運転に必要な環境条件の把握を目的とした実験を実施し、必要なデータを収集することとなった。そこで、施工技術総合研究所の模擬トンネルおよび作業

ヤードを使用し、実際の現場にて想定される施工条件を再現した環境下にて、凍土造成実験を実施した。写真—2、3 に実験状況の全景を示し、実験概要を以下に示す。

実験期間：2022 年 4 月～6 月

実験場所：静岡県富士市（施工技術総合研究所）

実験内容：

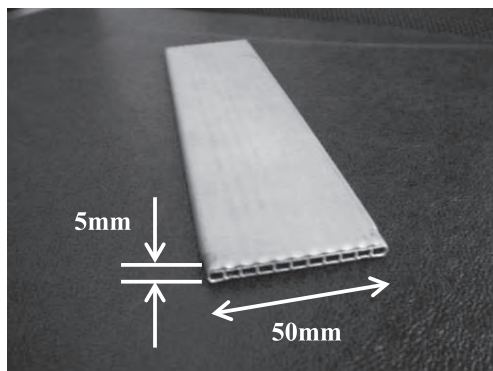
- ・ CO₂ 気液混合割合の検証
- ・ 液化 CO₂ 循環流量の検証
- ・ 自動遮断機能付き専用バルブの検証
- ・ 凍土造成範囲の予測精度向上
- ・ 専用凍結管による強制解凍の検証
- ・ トンネル坑内における凍結設備仕様の検証

主な実験設備：

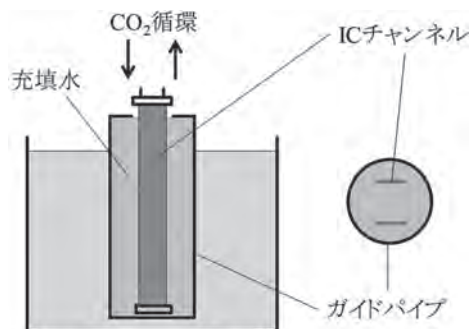
- ・ 凍結プラント（定格電力 55 kW、冷凍能力 100 kW）
- ・ 実験土槽（24 m³×1 基、20 m³×1 基、16 m³×1 基、5 m³×1 基）
- ・ 模擬トンネル（全長 80 m、内空断面積 78 m²）

3. 実験方法

本報告では、前記の実験内容 6 項目のうち、CO₂ 気液混合割合の検証、液化 CO₂ 循環流量の検証、トンネル坑内における凍結設備仕様の検証について紹介する。前述の通り、本工法では、液体の CO₂ が地盤と熱



写真—1 IC チャンネル外観



図—2 凍結管の構造概念図



写真—2 実験全景（冷凍機（左手前）と模擬トンネル（奥））



写真—3 実験全景（凍結プラント（左）実験土槽（右））

交換することで、蒸発する際の気化潜熱を利用して凍土を造成する。つまり、気体だけの状態では地盤から熱を奪うことができず、計画通りに凍土が造成できない可能性がある。そこで、凍土造成期間中のCO₂の気液混合割合がどの程度であるか、実験土槽を用いて確認した。

24 m³の土槽に2 mの凍結管7本を0.8 mピッチで設置し、土砂の投入、加水及び締固めを行いながら、含水率30%の実験土槽を作成した。同時に測温管を設置して、凍土造成時に土槽内の温度を計測し、凍土造成状況を把握した。土槽の外周は、断熱材と輻射熱防止シートを設置して断熱した。7本の凍結管は、凍結延長が2 m×7本=14 mとなるように連続して、直列に接続し、戻り側に気液混合割合を計測できる「乾き度センサー」を設置した。

ここで、気液二相流の乾き度 x は、全質量流量 G (kg/s)に対する気相の質量流量 G_g (kg/s)の比で定義される。

$$x \equiv \frac{G_g}{G}$$

凍結運転期間は14日間とし、期間中の乾き度のデータの経時変化を計測した。運転期間終了時には凍土を掘り起こして、その出来形の寸法も計測した。

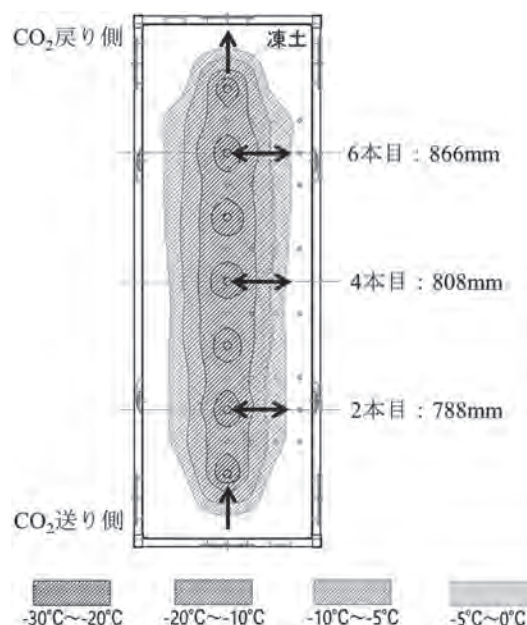
上記の実験と同時に、液化CO₂の循環流量をパラメータとした凍土厚さの検証実験を実施した。流量は0.5, 1.0, 1.5 L/minの3ケースとした。断熱材の仕切り板で、16 m³の土槽を3分割し、2 mの凍結管を0.8 mピッチで2本設置して、凍土を造成した。

実験で使用する凍結プラントの冷却塔は、水冷式（クーリングタワー）と空冷式（ドライクーラー）の2種類とし、模擬トンネル内に設置した。運転期間中に、模擬トンネル内の換気風速を0~1.5 m/secと変化させて、坑内の湿度と温度、冷却塔の電流値と冷却水出入温度差を計測した。

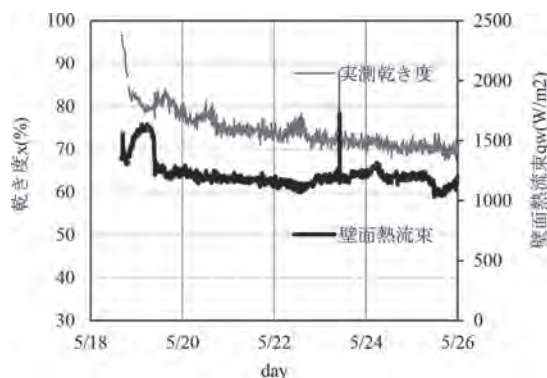
4. 実験結果

CO₂気液混合割合の検証で造成した凍土の寸法を図一3に示す。実験土槽の手前（送り側）から奥（戻り側）に向かって、凍土厚さが小さくなることはなく、凍結管を直列で接続した影響は見られない。

実測した乾き度は、図一4の細い線に示すように、凍土造成開始直後、気相は乾き度100%を計測したが、凍土の成長に伴い、凍結負荷が減少するにつれて低下した。凍結運転期間の後半では、乾き度が70%程度で安定する傾向が見られ、乾き度70%程度の気相で、



図一3 掘り起こした凍土の寸法 (CO₂気液混合割合の検証)



図一4 乾き度と壁面熱流束の関係

凍土厚さが800 mm程度を確保することができた。

実測した乾き度の精度について、乾き度から凍結管の壁面を通過する熱流束に換算し、熱流束の値に基づいて解析した凍土厚さを、実測値と比較した。

凍結管の外径 D (m)、流れ方向の長さを z (m)、管の外から凍結管の壁面を通過する熱流束を q_w (W/m²)とすると、1秒あたりの入熱量は、 $\pi D z q_w$ (W)となる。よって、内部を流れる流体の比エンタルピーの増加量は、 $\frac{\pi D z q_w}{G}$ (J/kg)となる。ここで、 G (kg/s)は供給流体の質量流量である。凍結管の流入口で飽和液が循環したとすると、管入口からの距離 z (m)の位置における乾き度 x は、次の式で表される。

$$x(z) = \frac{\pi D z q_w}{Gr}$$

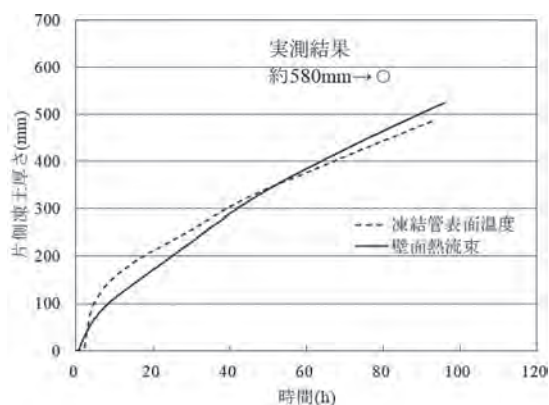
ここで、 r (J/kg)は気化潜熱である。上式より、管壁における熱流束 q_w (W/m²)は、次式で表される。

$$q_w = \frac{Grx}{\pi D z}$$

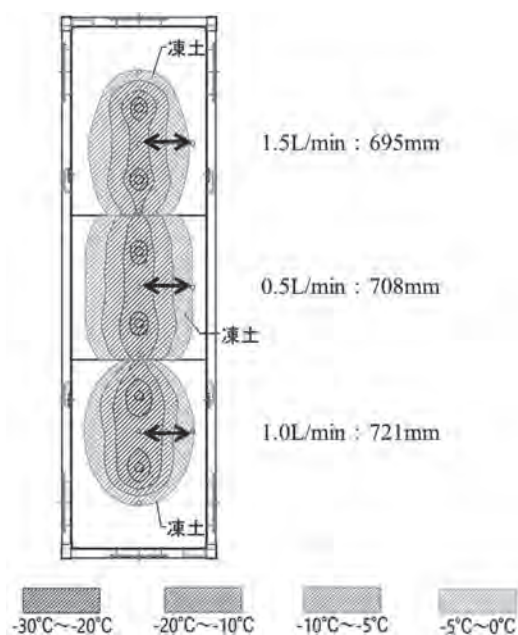
実測した乾き度と上記の計算式により換算した壁面熱流束の関係を図—4の太い線に示す。壁面熱流束は、乾き度と同様に凍結運転初期に大きく、次第に低下していき、約 $1,100 \text{ (W/m}^2\text{)}$ で壁面熱流束が安定する結果となった。

次に、実験土槽をモデルとして、凍結管半径方向の平面を対象とし、非定常空間2次元解析を行った。実験結果から得られた壁面熱流束を凍結管表面に与えて、片側凍土造成厚さの経時変化を解析した。図—5に解析結果のグラフと実測値のプロットを示す。参考として、凍結管表面温度に基づく解析値も併せて示す。実測した凍土厚さは、約80時間後に580mm程度であったことから、解析値と概ね一致する結果となった。

液化 CO_2 循環流量の検証で造成した凍土の寸法を図—6に示す。流量を0.5, 1.0, 1.5 L/minと変化させ



図—5 壁面熱流束、及び凍結管表面温度に基づく凍土成長の解析値と実測値の比較



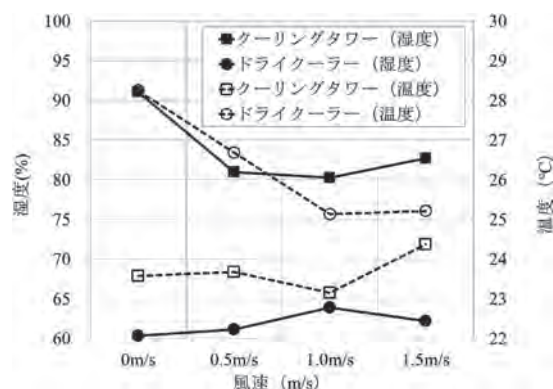
図—6 掘り起こした凍土の寸法（液化 CO_2 循環流量の検証）

たが、3ケースとも凍土厚さは700mm程度となった。設置する凍結管の全長によるが、流量を0.5 L/minまで低下させても凍土造成に必要な気化潜熱が得られることが分かった。

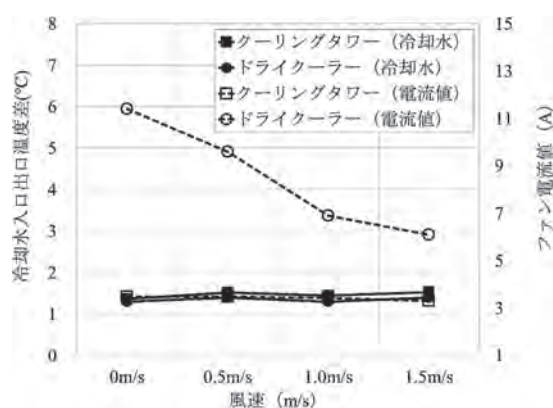
模擬トンネル内の環境変化と冷却塔の運転データの経時変化を図—7, 8に示す。水冷式のクーリングタワー稼働時は風速0.5 m/secで坑内平均湿度が一定となり、空冷式のドライクーラー稼働時は風速1.0 m/secで坑内平均温度が一定となった。運転データでは、空冷式のドライクーラーの電流値への影響が顕著であり、風速1.0 m/sec以上で安定する傾向が見られた。今後、トンネル坑内に凍結プラントを設置する際に必要となる風速の基準とする。

5. おわりに

本実証実験では、ICECRETEの凍結システムの高度化に向けた各実験内容について実験と理論の両面から検証することができた。 CO_2 の気液混合割合について、今回の実験ケースでは、気相が乾き度70%程度まで増加した場合でも、循環流量が0.5 L/minまで低下しても、凍結運転は安定しており、必要な凍土を造成することができた。したがって、配管数量やポンプ



図—7 模擬トンネル内の環境変化



図—8 冷却塔の運転データの経時変化

動力が削減でき、コストダウンが可能であることが判明した。また、トンネル坑内に凍結プラントを設置する条件として、風速 1.0 m/sec 以上必要との知見を得た。今回導入した新しい装置や設備についても、実際の工事で使用する際の標準的な仕様を確立することができた。今後も実験と理論、さらに数値解析を組合せた検証を継続し、凍土造成に影響しない気相の割合の限界を見極め、最適な施工仕様を追求する所存である。

その他に、トータルステーションや地上型レーザースキャナーを併用した凍結管の削孔位置計測と削孔の自動化、限られた本数の測温管の温度データから AI による凍土造成範囲の予測等の研究開発を進めている。今回紹介しなかった研究成果についても、機会を見つけて適宜紹介していく予定である。

J C M A

[筆者紹介]

相馬 啓（そうま ひろし）
ケミカルグラウト(株)
地盤改良部
部長



吉川 正（よしかわ ただし）
（一財）先端建設技術センター
審議役



西 征一郎（にし せいいちろう）
成和リニューアルワークス(株)
技術部プロジェクト室
課長





解体祭を通じた地域とのかかわりにおける再生コンクリート

長谷川 顕 花

本稿に登場する「解体祭」は、建物解体事業と地域交流とを紐づけることを目的とした取り組みである。「解体祭」は、地鎮祭や竣工式など、建物を建てる際に様々な行事があるならば、壊すときにも行事があってもいいのではないかという発想から始まった。

「解体祭」を行うことで、地域住民や関係者に、建物との別れを惜しみつつ、解体工事を身近に感じてもらい、地域住民からの理解を得ることが、この取り組みを行う大きな目的だ。

嫌悪工事である解体工事と地域住民との架け橋となることを期待して企画を行っている。

今回は、「解体祭」の目玉展示でもある「再生コンクリート」による、地域住民への今後の訴求について述べる。

キーワード：再生コンクリート、カーボンフリー、解体祭、解体工事の現状、近隣住民との共存

1. はじめに

一般的には「再生コンクリート」は、コンクリートがらから取り出した砂利（再生骨材）を用いたコンクリートを指すが、本稿では粉砕したコンクリートがらを圧縮成形することで再生する技術¹⁾により製造された素材を「再生コンクリート」と呼ぶ。

この技術では、圧力を与えるとセメント水和物が塑性変形する特性を活用する。コンクリートがらを粉砕して得られる粉を圧縮成形することで、セメント水和物が間隙を埋めつつ接着剤の役割を果たして硬化する。条件によっては元のコンクリートを上回る強度を付与することも可能であり、解体現場で出たコンクリートがらを100%再生することができる。

その技術を活用し、ブロックを製作、またそのブロックでモニュメントを作成する目的の共同研究契約が、(株)都市テクノと東京大学生産技術研究所「建築物の総合的保存保全に関する研究グループ」、武蔵野美術大学ソーシャルクリエイティブ研究所の三者間で結ばれた。

現在、(株)都市テクノの解体現場で排出されたコンクリート廃棄物を再利用したリサイクルコンクリートを製作し、新築建物に展示する試みを行っている。

2. コンクリートリサイクルの現状

5年ごとに実施される国土交通省の実態調査では、解体現場から出る廃棄物のうち「コンクリート塊」が50%と半分を占めており、次いで「アスファルト・コンクリート塊」が28%と、全体で78%がコンクリート関連の廃棄物という結果が出ている。

再利用の状況としては、解体現場で排出されたコンクリートは、道路の路盤面などの骨材として再生利用されることがほとんどだ。

平成30年に行われた調査では99%が再利用されたという調査結果が出ているものの、公共事業の減少による路盤材需要の減少、高度経済成長期の建造物の老朽化による解体需要の増加により、コンクリート廃棄物が中間処理業者のキャパシティを超えているのが現状だ。都内で大きな工事が重なると中間処理場を確保することが難しくなっている。

また、解体による廃コンクリートを骨材として再生させるには、付着物の除去などを行う必要があり、費用もかさむ。併せて、結着にはバージンセメントを混ぜる必要があることから、カーボンフリーとは言えない。

複合的な理由から建材への利用は進まないのが現状だ。

これらの課題は建設業の人材不足と相まって、工期の遅れにつながることから、我々のような解体業者の頭を悩ませている。

3. 新技術への期待

しかし、先ほども申し上げた通り、この技術では、300 ミクロン以下にパウダー化したコンクリート廃棄物を圧縮するため、100%のリサイクルが可能となる。

また、リサイクルできることはもちろんだが、中間処理場に粉碎機器と油圧機器を中間処理施設に設置し、直接生産の場として生産したりサイクルコンクリートを流通させることも可能ではないだろうか。

コンクリート以外でも、中間処理施設と一体化したリサイクル工場は近年多くなっている。

例えば、ある会社では、タイルカーベットの収集運搬を行う中間処理施設としての機能を持ちながら、同時に加工を行い、タイルカーベットの素材として出荷を行っている。

その他にもペットボトルや身近な製品の収集運搬とリサイクルを同時に行う施設は多く、この再生コンクリートでも同様の取り組みを行えないか思案している。

中間処理施設とリサイクル工場が同じ敷地になることで運搬の際に排出される CO₂ を削減でき、環境配慮も同時に行うことができる。

4. 解体の現状

解体工事の話に戻るが、ここ最近、解体工事の件数は増加し続けており、2028 年にピークを迎えるとされている。

少子高齢化が進む中、新たに建物を建てることよりも、すでにある建物を壊すことの方が増えるといっても過言ではない。

しかし、大学で「建築学科」はあっても「解体学科」はないように、解体工事というものは一般的な目線から見るとブラックボックス状態である。

筆者も入社するまでは、「建物の解体」と聞くと鉄球をぶつけてコンクリートの壁を破壊したり、ダイナマイトを爆発させてビルが倒壊するような工事を想像していた。

実際はそのようなことはなく、建物にあった工法で上階から順に解体を行っており、システム化されている。どうしても大きな音が出ることは避けられないが、条例で 85 デシベル (dB) を超えないようにすることが求められており、また振動についても振動規制法によって、75 デシベル (dB) を超えないよう制限されている。

廃棄物もマニフェストで厳しく管理されているのだ

が、どちらも周知がうまくいっていないのが現状であるといえよう。

5. 解体の正しい周知

要旨でも紹介したように、「解体祭」という取り組みがある。

解体祭でスタッフをしていると「ダイナマイトを使うのか」「鉄球をぶつけるのか」等の質問を冗談半分、本気半分で受けることが多くある。

地域住民にも入社前の筆者と同じように、中で何が行われているかが可視化されず、怖いイメージだけが先行しているのだ。

工事前に近隣へ説明があるとはいえ、なかなかイメージを払しょくすることは難しい。

何より、実際に大きな音が出たり、少しの粉塵が舞ったりすることは避けられず、近隣住民のストレスをすべて取り除くことは現実的に不可能だ。

だからこそ、この取り組みを通じて地域住民とのコミュニケーションを図り、不安を払しょくし、好意的にとまではいかずとも、建物の解体が日常の延長線となり、共存してもらえるようになることが 1 つの目標である。

そのため、この解体祭では、楽しいだけでなく、現場でどのような解体が行われるのか、廃棄物の処理方法がどうなっているか等、解体について学べる展示も多く行っている (写真—1)。

再生コンクリートの展示やワークショップもその中の 1 つである (写真—2)。

6. なぜ再生コンクリートなのか

筆者は、再生コンクリートの技術の研究をしている人間ではないため、解体業や解体祭の運営に携わっている面から見た再生コンクリートの魅力について話し



写真—1 解体祭写真 (壁ペイント)



写真-2 再生コンクリートワークショップ



写真-3 再生コンクリート展示を見る来場者

たい。

先述した通り、解体祭でも「再生コンクリート」の展示を行い、来場者である近隣住民と関わる機会をいただくことも多い（写真-3）。

そのため、来場者から建物に関する思い出話を聞くことがしばしばある。

解体祭で別れを告げる建物には、数十年間その建物に関わった人の数だけ思い出があることを実感することができるのだ。

例えば第1回の解体祭を行った Daiwa 御成門ビルは1978年竣工であるから、45年分のビルとかかわった人たちの思い出がある。

思い出のコンクリートを圧縮し、再生してモニュメントとしてまたその場所に設置する。そうすると、その場所を目にするたび、その場所の歴史や思い出を記憶の中によみがえらせることができる。

再生コンクリートは技術の側面から見ても十分魅力的であるが、解体祭などを通して、コンクリートに物語を持たせることで無機質なコンクリートそのものの思い出を語りかけてくる装置として機能する。

物語性のあるコンクリートというのは、バージンコンクリートにはない魅力であり、付加価値といえるのではないだろうか。

7. 物語性を付加価値に

(1) 住民に寄り添う再生コンクリート

高度経済成長期に建てられたコンクリート建造物が寿命を迎えつつある中、建て替えや解体への批判のニュースも多く目にする。

先ほど申し上げたように、建物というのはそれだけ地域住民から愛され、親しまれ、大切にされてきたものののだ。

コンクリート建造物は、戦後の復興の象徴でもあり、その建物一つ一つが日本を盛り立ててきた先人たちの汗と涙、そして思い出の詰まった歴史的遺産である。

今、各地で解体に対する反対運動のニュースを目にすることも多いように、それらを壊すという事実に対して、地域住民に大きな喪失感が生じるのは避けられない。

それと同時に、耐震やアスベスト、バリアフリーなど、古くなった建造物に対する問題は枚挙に暇がない。修繕や建て替えが必要不可欠であることはまぎれもない事実だ。

だからこそ、そこにあった建物のコンクリートを再生し、もう一度設置することで、思い出を新たな形で共存させながら、歴史と一緒に紡いでいく。

地域住民の喪失感をカバーしながら新たな一歩を一緒に進めることができるのではないかと期待している。

(2) ただのコンクリートからプレミアムな商品へ

解体とは少し違うが、2022年に宝塚歌劇団の劇場の座面改修が行われた際、張り替えた座面の布を再利用したクッションが抽選で販売された。

座席番号のプレートが使用されたノベルティがついており、ファンの心をくすぐるグッズである。

その他にも航空会社であるJALではライフベストを再利用したポーチ、ANAではボーイング777をはじめとした航空機のエコノミークラスのシートを使用したPCケースなど、多様な再利用グッズが発売されている。

どれもファンや利用者の思い出に訴える商品だ。

であれば、その建物を取り壊す際、その思い出の品が建物を再生したコンクリートで作られたグッズも

あって良いのではないだろうか。

実際 2025 年に、帝国劇場が解体されることが決まっているが、観劇ファンとしては、俳優たちの汗と涙がしみ込んだコンクリートで作った帝劇ビルの超ミニチュアや、記念グッズなどがあれば、ファンの心はくすぐられるのではないだろうか。

もちろんコンクリートには重量があり、制限はあるだろうが、不可能ではない。

無機質なイメージのあるコンクリートではあるものの、思い出や物語性を持たせることで、商品として十分に訴求ができると筆者はかなり本気で思っている。

再生コンクリートを量産して製品化することは、もちろん環境配慮等において最も必要なことであることは間違いない。

だからこそ、それらにナラティブな付加価値をつけることは、再生コンクリートへの興味の入り口を増やすきっかけとしての機能を果たしてくれるのではないだろうか。

間口を広げることで、その先の解体における課題や環境問題への興味関心へ繋げる。

再生コンクリートをただのコンクリートとしての利用だけで終わらせないことが、この再生コンクリートの広がりにも一役買ってくれると信じている。

8. 「知らない」が武器

現在の会社に入社するまで、解体はもちろんコンクリートとは全く無縁の人生であり、解体のカの字も知らずに生きてきた。

しかし、産学協同の地域イベントの運営などを行う上では、この「知らなさ」も大切にしている。原点に立ち戻り来場者の目線に立つことで、興味関心を持つ点が分かるからだ。

地域とのイベントと携わりながらも解体の仕事を少しずつ知って行く中で、解体と地域をもっと密接にできないか、また、自分自身が解体や廃棄物について深く知りたいという思いから、この事業に注力させていただくこととなった。

知らないから怖いものも、知っていくと面白くなるし忌避感が薄れていく。

解体祭の来場者にもそう思ってもらえるよう、業界を知らない人の目線で考えることを大切にしながら、自分自身が今も学び続けている。

まだまだ門外から入ってきた素人に近い人間であるからこそその突飛な発想を存分に活用していきたい。

廃棄物やリサイクルに触れてこなかった人に興味を

持ってもらうことが、今の筆者の役割だと言えるだろう。

またその先に、コンクリートを排出する事業者である「解体」に興味をもってもらい、理解を深めてもらえるよう、今後も周知活動を行っていきたい。

9. 今後の動向

今までにない取り組みである再生コンクリート技術の実用化には脱型や量産といった面で課題も多く残る。

また、建材として活用するためには多くの精査が必要となることは間違いない。

しかし、先ほど申し上げたように中間処理場のキャパシティの問題の解決は急務であり、今後必要とされる技術であることは間違いないだろう。

今後はコンソーシアム等の枠組みを作り、製造、中間処理施設、デベロッパー等様々な企業を巻き込み、多面的な意見や知識を取り入れ、より良い方法での技術活用を目指す。

課題は多くあるものの、このプロジェクトが業界全体の未来を照らす光になることを期待している。

10. おわりに

筆者が生まれた翌年に京都議定書が採択され、小学生のころから社会科の学習でリサイクルについて授業があったり、総合的な学習の中で空き缶を集める授業があったりと「リサイクル」や「環境に配慮した」という言葉自体はとても身近にあった。

とはいえ、幼い頃はまだリサイクルや環境への配慮をセールスポイントにする企業CMなどは少なく「SDGs」という言葉が盛んに叫ばれるようになってきたのは、パリ協定が定められ、東京オリンピックを目前に控えた大学卒業前後だったと記憶している。

問題は山積みではあるが、2020 年以降、徐々に風向きが変化しているのを感じる。

この風向きとともに、サステナブルで豊かな未来に向け、再生コンクリートを多面的に発展させていきたい。

なお、再生コンクリートはおろか、コンクリートとセメントとの違いも知らなかったような筆者に、解体やコンクリートについて教えてくださった関係者の皆様には、この場をお借りしてお礼を伝えさせていただきたい。

そして、プロジェクトを通して業界に還元ができるよう、尽力していきたい。

《参考文献》

- 1) 酒井雄也, Biruktawit Taye TAREKEGNE, 岸利治: 圧力作用によるセメント硬化体の再生と体積変化の制御, 土木学会論文集 E2, Vol. 72, No.1, pp.32-40, 2016

[筆者紹介]

長谷川 顕花 (はせがわ あきか)
㈱都市テクノ
営業部 企画課
(現) 再生コンクリート事業担当



ずいそう

実家の畑の奮闘記

森 部 広 邦



7年前に父が他界し、母も痴呆で施設に入り、実家が空き家になりました。家の前に庭木と畑がありましたが主を失い草が生い茂るようになりました。実家は自宅から車で10分位の距離なので近くではありますが単身赴任中なのでちょくちょく訪れることもできず、約200m²の草は月1回の草むしりでは全く歯が立ちません。草はあっという間に大きくなります。除草剤を散布して表面の草は無くなりましたが、スギナの地下茎はなかなかしぶとく無くなりません。

5年前

ある日、近所の同級生から「庭の木が道路に倒れ掛かって邪魔になってるよ」とメールを貰い、妻から送られた写真も見てもこれはダメだとなり、大工の友達に電話で「通行の邪魔にならないように木を切って」とお願いして切ってもらいました。このままでは強風でまた倒れ掛かったり、枝がお隣に伸びて迷惑を掛けるなど大変な事になると思い、庭木を全部チェーンソーで切って畑にしました。

畑全体を耕せば雑草対策になると思い、電動の耕運機を購入して耕しました(写真—1)。

後になり分かったことですが、スギナの地下茎は耕運機で耕すとブチブチに切断された地下茎からそれぞれ新芽を出しスギナが増殖することになるらしいです。これでOKと思ってやってしまいましたが、その後はズーとスギナが芽を出し苦しめられることになりました。



写真—1 電動耕運機

3年前

対策をして木も草も無くなったんですが(表面上は)、あまりにも殺風景だと思い、道路際に花を植えました。春にジニアの苗をネット購入してネット情報で育てると、秋にはまあまあの大きさの株に育ち、近所の方の評判も良かったので、冬にパンジーの苗に植え替えました。また、チューリップ、ユリの球根も植えると、春に綺麗な花が咲き、育てる楽しさが芽生えました。

2年前

花だけじゃなく野菜もやってみようと思い、ミニトマト、トマト、キュウリ、ナスの苗を植えました。キュウリ、ナスはまあまあの収穫で、ミニトマトは10株を剪定しないでそのまま育てたらジャングルのようになってしまう手こずりました。大玉トマトは最初に受粉させないとその後の出来が悪くなるようで、ほとんど実がなりませんでした。

小松菜、ミニチンゲンサイの種を蒔くと立派に育つのだけど、どうしても虫が付く。奥さんの評判も悪いので薬物野菜はちょっとダメみたい。

ニンジン、ミニダイコンはまあまあの出来で、中には先が二股三股に分かれてセクシーな感じのもありましたが、それも趣があって良い。

タマネギの種を蒔き、苗にして定植したら大玉の立派なタマネギができました。

花は前年通りのジニア、パンジー、チューリップ、ユリなど苗と球根を植えて綺麗に咲きました。

畑を耕し、種まき、草むしりは私の担当。水やり、収穫は妻の担当で、食べきれない分は近所の友人に配って食べてもらっています。

1年前

野菜の苗はミニトマト、トマト、キュウリ、ナス、ピーマンを植えました。ミニトマトは前年を踏まえ剪定したら今度は貧弱になっちゃって、これは剪定しない方

が良いのか？試行錯誤です。ニンジンも前年の評判が良かったのでもう一度。ダイコンはミニではなく普通サイズの種を蒔き、どちらもちゃんと育ち収穫できました（写真—2）。

トウモロコシの種を蒔いて収穫はできましたが、中には虫に食べられたり、粒がちゃんと出来てなかったりしたものもありました。トウモロコシの大敵はアワノメイガの幼虫で防虫しないと食べられちゃうらしい。トウモロコシのひげは食べる粒のひとつひとつから伸びていてちゃんと受粉できないと粒に成らないらしい。ひげと粒の数は同じなんだって。

タマネギも前年同様種を蒔き苗にして約300本を定植して育成中。今年5月から6月に収穫予定。

収穫した野菜を洗えるように流し台を設置しました（写真—3）。

花は前年まで苗を購入していましたが、今回は種を蒔いてみました。偉いものでちゃんと大きくなりました（写真—4）。



写真—2 ニンジン，ダイコン



写真—3 野菜を洗うための流し台



写真—4 種から育った花

今後

野菜を2年育ててみましたが、まだまだ知らない事がたくさんあって奥が深くおもしろい。失敗しても誰かに迷惑かける訳でもないし、それなりに育ってくれます。知らない事、分からない事を勉強する、試してみるって本当におもしろい。収穫役の妻との会話も増えたような気がするし、老後の良い趣味ができたのかなと思います。

——もりべ ひろくに 鉄建建設(株) 土木本部 土木部——

ずいそう

趣味と物へのこだわり

中山 俊彦



私が子供の頃から様々な生活用品, 生活家電, 雑誌, おもちゃが世に溢れ出した。壊れたら捨てる, 飽きたら捨てる, が当たり前。大量生産, 大量消費の昭和の時代です。

両親が転勤族でした。引っ越しの度に段ボール箱に入れる物, ごみ袋に入れる物を別ける事を幾度か繰り返しました。今となっては貴重な「超合金」のロボットも残念ながら溶解したみたいです。

当時集めていたライダーカードが残っていました。仮面ライダーの他にも, 昭和のヒーローが1,000枚近く残っています(写真-1)。

この頃から私の物へのこだわりが始まりました。購入前に品物を厳選し永く使っていきます。

中学生のお年玉で購入した初の高額商品「スカイセンサー 5900」は今でも使えます。小さなトランジスタラジオからこの後の初代ウォークマンへと続きます(写真-2)。

社会に出るとまずは車です。今はこちら DS4 クロスバックです(写真-3)。恐らく車に興味のない人にはわからないと思います。

同じ車種とすれ違った事が有りません。どんなに古くなっても古さを感じさせないのが良い所です。

前回も1台のフランス車を10年以上乗りました。今乗っているのも壊れるまで乗ります。

もう1台は15年前新築した家に採用した薪ストーブの薪を集めて運ぶ為の車です(写真-4)。

見た目は普通の軽トラですが, こだわりは, 軽自動車唯一の4気筒エンジン+スーパーチャージャー。しかもRRの4駆。とんでもない軽トラです。インターネット上では農道のボルシェと呼ばれています(笑)。

家の暖炉もこだわりました。バーモントキャスティング社の白い薪ストーブです。この色は現在入手が来ないレアなものとなりました(写真-5)。



写真-1 昭和のヒーロー



写真-3 愛車1



写真-2 ソニーのラジオ



写真-4 愛車2



写真—5 家の薪ストーブ

冬は温かい薪ストーブですが、大変なのは薪の調達です。原木を運ぶ為の軽トラ、チェーンソー4台、薪割り機が備わりました。それらを整備する各種工具も充実しています。

家のリビングはBOSEのスピーカーが複数台並び大迫力・重低音の映画鑑賞がいつでもできます。

2階の部屋にはゴルフセット3セット+パター十数本。ゴルフだけはいくら道具にこだわってもスコアは上達しませんね（笑）。

そして電子ドラム！それも限定ペダルのツーバス仕様です。ドコドコとXジャパンの紅を叩いています（写真—6）。

カメラは現在2台。ライカとペンタックスです。共に画素数とかの性能以上に綺麗な画質が大好きです。

腕時計も何だかんだ30本を超えました。高級品・ブランド品は有りませんがこちらも永く使っています（写真—7）。

庭の物置もキットハウスを購入し自分で組立てまし



写真—6 こだわりの電子ドラム



写真—7 腕時計



写真—8 原チャリ

た。外壁は家と同じものを張り合わせています。

バイクもレアです。最高時速30km。自転車よりも遅いけどカッコイイです。ねじ類を全てステンレス製に交換し細部までこだわっています（写真—8）。

アウトドア用品も一通り揃っています。鉄骨テント、30年前のコールマンのランタン。ネットオークションで高額取引されているので驚きました。

今一番の関心は、愛犬「ルル」ちゃんの毎日です。2年前に保護されて我が家の一員となりました。吠える事も無く、何も自己主張が無く、一歩も外に出た事が無い悲しい5年間だったのですが、やっと慣れてきたところです。どうやら繁殖犬としてずっとケージの中で餌を貰い、役目が終わり殺処分される所を保護団体により助けてもらいました。今や立派な我が家の一員です。

という事で、長々と私のこだわりをお話しましたが最後に一言、

お互いに物を大切に、命有るものはもっと大切にしたいものですね……。

——なかやま としひこ

(株)シーティーエス 執行役員 甲信営業部 部長——

JCMA 報告

2024 ふゆトピア・フェア in 北広島 除雪機械展示・実演会 開催報告

企画部

1. はじめに

「ふゆトピア・フェア」は、北国のふゆの克雪・利雪・親雪などの技術開発や取組みに関する情報発信に加え、ふゆを生かした地域づくり・地域活性化を目的に開催されています。今年、北海道北広島市において「2024 ふゆトピア・フェア in 北広島」と題して、令和6年1月10日、11日の二日間にわたり開催されました。

（一社）日本建設機械施工協会では、「2024 ふゆトピア・フェア in 北広島」の一環として除雪機械の展示・実演会を主催しました。除雪機械展示・実演会は、高度化された最新の除雪技術や除雪機械を紹介すると

もに、冬期の道路交通確保において除雪機械が果たしている役割を一般の来場者に広くご理解していただくことを趣旨としています。昭和36年に青森で初めて開催されて以来、東北、北海道、北陸の3地域が交替で実施しています。

今回は、官公庁・自治体・除雪機械メーカーなど併せて13団体が大型から小型の除雪機械、凍結防止剤散布装置ほかを展示・実演しました。開催期間中は二日間とも天候に恵まれ、国土交通省北海道開発局、北海道、北広島市、出展各社をはじめ多数の方々のご協力、ご支援をいただきました。以下にその状況について写真を主体として報告いたします。

表－1 展示機械・機材一覧表

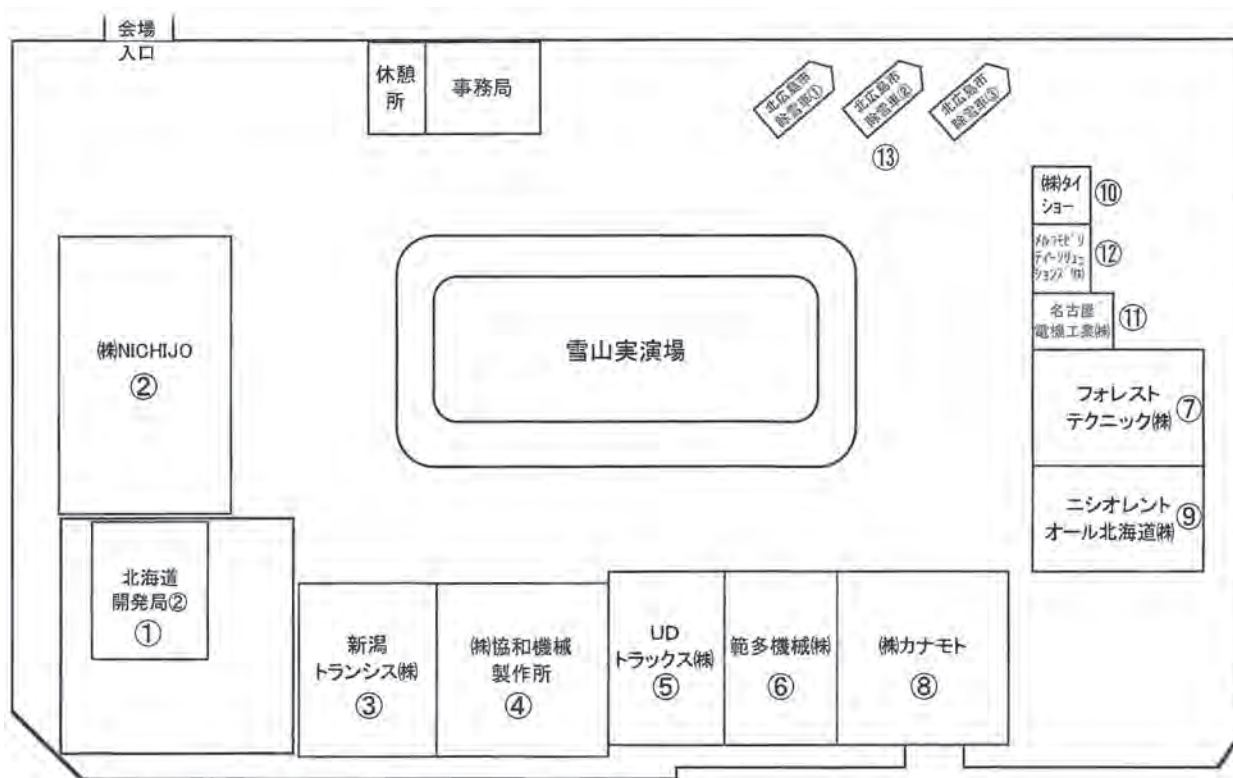
No.	出展団体 (五十音順)	出展機械・機材			台数	実演
		機 種	形 式	規 格		
1	(株)カナモト	タイヤショベル	0.4 m ³	接触防止センサー付	1	○
		ダンプトラック	4 t	折りたたみ式補助アオリ付	1	
2	(株)協和機械製作所	除雪トラック	10 t 専用 6×6		1	
3	(株)タイショー	凍結防止剤散布機	ZM-300		1	
		凍結防止剤散布機	ZR-110		1	
4	名古屋電機工業(株)	小型車載標識装置	W-L026-H	ヒーター仕様	1	
		散光式警光灯	各種	ヒーター仕様、防眩機	2	
		スマートフリックス	各種	標準、小型	2	
		ソーラー式積載型車載標識装置	TB-L018-3		1	
5	新潟トランス(株)	ロータリ除雪車	NR403		1	○
6	ニシオレントオール北海道(株)	タイヤショベル	L60		1	○
		電動式ホイールローダー	L25		1	
7	(株)NICHIO	ロータリ除雪車	HTR308A	2.2 m 級	1	○
		一車線積込型ロータリ除雪車	HTR308L	2.6 m 級、一車線積込型	1	
		小型除雪車	KBR108	1.5 m 級、兼用式	1	
		ブレード装置	マルチブレード		1	
		小型除雪車	HTR88	1.3 m 級	1	
		凍結防止剤散布車	NWS35SS5	湿式、2.5 m ³ 級	1	
8	範多機械(株)	凍結防止剤散布車	MS-40BIT (D)	乾式、4.0 m ³ 級	1	
9	フォレストテック(株)	オイルクイック クイックカプラー	CAT902		1	○
		ホイールローダー (シャッター付バケット)	CAT910		1	
10	メルコモビリティソリューションズ(株)	CAR VISION		除雪機能付バックカメラ	1	
		WD-SC040		除雪機能付作業灯	1	
		軽トラ		軽トラに実機を装着	1	
11	UD トラック(株)	Quon 除雪車	2DG-CZ6×6AMT		1	
12	北海道開発局	ロータリ除雪車 (i-Snow)	HTR408	2.6 m 級	1	○
13	北広島市 (北広島道路維持共同組合)	ロータリ除雪車	YDS-R03F		1	
		除雪トラック	2DG-CZ5BL		1	
		除雪ドーザ	WDR-70C6		1	
		パトロールカー			1	

2. 開催概要

- ①開催日時：令和6年1月10日(水) 10:00～16:00
令和6年1月11日(木) 10:00～15:00
- ②開催場所：北広島市イベント広場（北広島市共栄315番地）
- ③出展団体（企業は五十音順）
 (株)カナモト
 (株)協和機械製作所
 (株)タイショー
 名古屋電機工業(株)
 新潟トランス(株)

- ニシオレントオール北海道(株)
 (株)NICHIGO
 範多機械(株)
 フォレストテック(株)
 メルコモビリティソリューションズ(株) (旧 (株)菱和)
 UDトラックス(株)
 北海道開発局
 北広島市
- ④来場者数
 除雪機械展示・実演会：1,800名
 (10日850名, 11日950名)

⑤会場案内図



図一 会場案内図

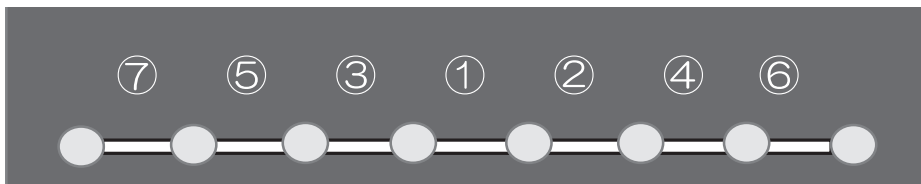
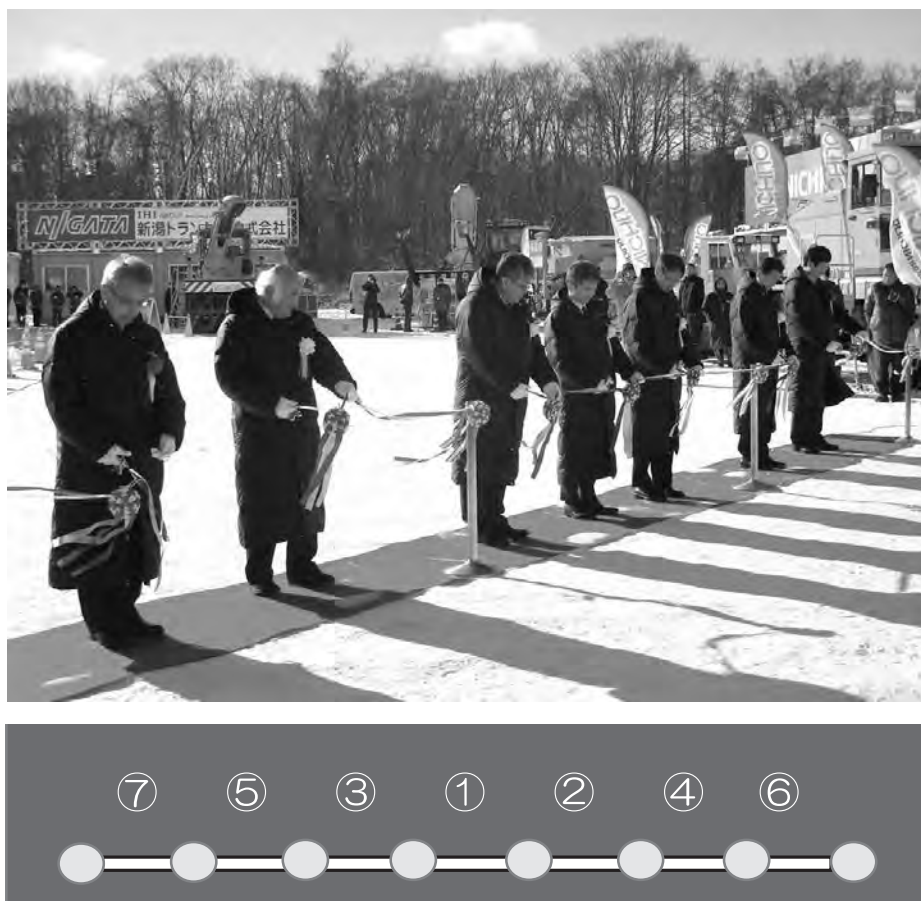
3. 会場風景

〔オープニングセレモニー〕

除雪機械展示・実演会のオープニングセレモニーでは、まず令和6年1月1日に発生した能登半島地震により亡くなられた方々に1分間の黙とうを捧げました。その後、(一社)日本建設機械施工協会 岩見業務執行理事による開会挨拶(写真一)に続き、来賓の皆様と関係者によるテープカットが行われ賑々しく開会いたしました(写真二)。



写真一 (一社)日本建設機械施工協会 岩見業務執行理事による開会挨拶



テープカットして頂いた方々

- | | |
|--------------------------------|---------|
| ① 国土交通省 大臣官房 技術調査課 施工企画室長 | 森川 博邦 様 |
| ② 国土交通省 北海道開発局 事業振興部長 | 井上 勝伸 様 |
| ③ 北海道 建設部 建設政策局 維持管理防災課 維持担当課長 | 黒田 健一 様 |
| ④ 北広島市 副市長 | 水口 誠 様 |
| ⑤ 出展者代表 (株)協和機械製作所 代表取締役社長 | 藤枝 靖規 様 |
| ⑥ (一社)日本建設機械施工協会 業務執行理事 | 岩見 吉輝 |
| ⑦ (一社)日本建設機械施工協会 北海道支部長 | 柳屋 勝彦 |

写真—2 来賓，関係者によるテープカット

[来場者の見学状況]



写真—3 出展者ブースを見学する来場者



写真—4 ちびっ子達も来ました



写真―5 主催者の案内を受ける北海道開発局次長



写真―6 出展者ブースを見学する北広島市副市長

[除雪機出展各社のブース]



写真―7 株式会社カナモト



写真―8 株式会社協和機械製作所



写真―9 株式会社タイショー



写真―10 名古屋電機工業株式会社



写真―11 新潟トランス株式会社



写真―12 ニシオレントオール北海道株式会社



写真一 13 株式会社NICHIO



写真一 14 範多機械株式会社



写真一 15 フォレストテック株式会社



写真一 16 メルコモビリティソリューションズ株式会社



写真一 17 UDトラックス株式会社



写真一 18 国土交通省 北海道開発局



写真一 19 北広島市

[除雪機械の実演状況]

写真—20 (株)カナモト タイヤショベル 0.4 m³, 接触防止センサー付

写真—21 新潟トランスス(株) ロータリ除雪車 (NR403)



写真—22 ニシオレントオール北海道(株) 電動式ホイールローダー (L25)



写真—23 (株)NICHIOJ ロータリ除雪車 (HTR308A), 小型除雪車 (KBR108)



写真—24 フォレストテック(株) オイルクイック クイックカプラー (CAT902)



写真—25 北海道開発局 ロータリ除雪車 (i-Snow 仕様)



4. おわりに

近年の気象統計データや地球温暖化現象に基づいて、将来の日本の雪の変化を解析した結果では、年間の降雪量、年最大積雪深、および厳冬期の降雪量は減少傾向になりますが、厳冬期の短期間の大雪については増加することが予測されています。すなわち、除雪・排雪に関して、より効果的・効率的なハード・ソフト技術が一層重要となっています。

「2024 ふゆトピア・フェア in 北広島」の一環とし

て開催された、「除雪機械展示・実演会」において最先端の技術や機械をご覧いただいたことで、積雪地の道路交通を確保して生活環境を守るために除雪技術や除雪事業が果たしている役割をご理解いただければ幸甚と存じます。

最後に、開催に当たって多大なご尽力を賜りました、国土交通省北海道開発局、北海道、北広島市、出展各社をはじめとした多くの皆様に厚く御礼申し上げます。

部 会 報 告

コマツ栗津工場、岩崎工業(株)見学会 報告

機械部会 除雪機械技術委員会

1. はじめに

除雪機械技術委員会にてコマツ栗津工場及び岩崎工業(株)の見学会を実施した。見学スケジュールは以下の通りである。今回の工場見学は新型コロナウイルスの流行による外出制限などがあり、実に4年ぶりの開催となった。

2. 見学スケジュールと参加者

令和5年10月30日(月)

コマツ栗津工場見学 13:30～15:30

令和5年10月31日(火)

岩崎工業(株)見学 8:30～10:00

参加者は除雪機械技術委員会の委員、所属会社9社、(一社)日本建設機械施工協会からとなり総勢27名であった。

3. コマツ栗津工場見学(写真—1～3)

コマツ栗津工場は1938年に設立され、見学した新組立ラインは2014年に稼働を開始している。生産ラインは2本で一方はホイールローダー及びモータグレーダーのホイール系組立ライン、もう一方は油圧ショベル及びブルドーザーの履带式組立ラインと別れている。これらのラインが見学日には32台/日のピッチでラインアウトしていた。

見学の中でも注目すべきは同一車種の組み立てにおいてもロット生産を行っておらず、同一ライン上で一

台ごとに違う機種を組み立てている。この生産方式が成り立つ仕組みとしては作業員への徹底した事前教育と伺った。実際に作業員を見ているとムダな動きがなくスムーズな組み立て作業であった。

製品の品質確認のための取り組みとしてライン内では専門職による工程検査が行われており、ラインアウト後は検査ブース内では1台で300項目以上の完成検査が行われている。この厳格なダブルチェック体制によりコマツ製品の高い品質が保たれていることが実感できる。

工場見学は見学ラインが整備されている一連の流れの中で、途中に改善活動の紹介コーナーがあり従業員が考えた改善の展示がされている。ここの内容は目から鱗のものが多数あり見学者の足も止まっていた。主に作業改善となる治具を3Dプリンターにて製作しているもので、例として「コーキング剤のキャップを両手で開けていた」の改善としてネジ無しキャップを製作し片手で開けられる改善。「ネジロックの塗布が一



写真—2 工場生産ライン



写真—1 工場全景



写真—3 集合写真

様にならない」の改善は塗布を一様に行える部品を製作しネジロックのボトルに取り付けていた。最後に「手の小さい作業員が電動ドライバーを押しづらい」はリンク機構を設け改善している。

4. 岩崎工業(株)工場見学（写真—4～6）

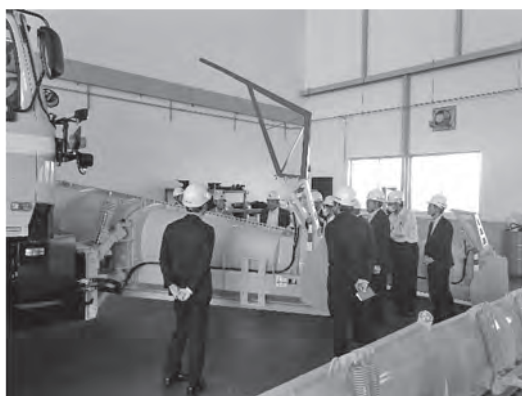
岩崎工業(株)の工場は福井県あわら市にあり田園に囲まれた、のどかな風景の中に佇んでいる。従業員約50名で年間約250台の除雪トラックを生産している。

工場は装置の製作、装置架装、塗装を行っている。今回見学させていただいたのは装置の製作及び架装の現場である。

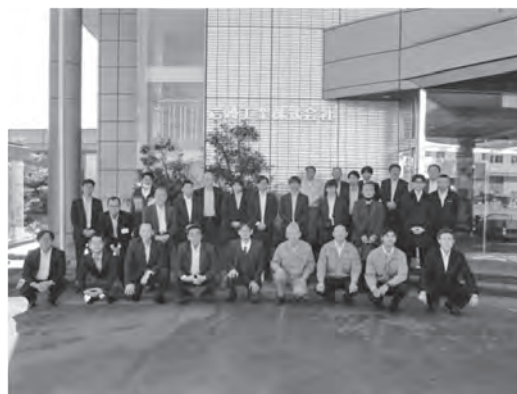
生産しているのは主に国土交通省、ネクスコ向けの



写真—4 工場全景



写真—5 工場見学風景



写真—6 集合写真

除雪トラックであり、設計、営業及び製造部門の人間が他部門業務を補完していることから数多くの生産を可能としているとのこと。

工場内の印象としては製作現場及び組み立て現場においてそれぞれの間隔が十分に取られており、また整理整頓も行き届いた工場であった。

5. おわりに

今回、久しぶりの開催と比較的近距离にある会社ということもあり2日間で2社の工場見学をすることができ大変有意義であった。

コマツ栗津工場及び岩崎工業(株)の方々には感謝いたします。またお世話になり大変ありがとうございました。

【筆者紹介】

久末 忍（ひさすえ しのぶ）
 ㈱NICHIO
 除雪機械技術部 部長
 （一社）日本建設機械施工協会
 機械部会 除雪機械技術委員会 委員



部 会 報 告

(株)筑豊製作所 北九州支店見学会 報告

機械部会 機械整備技術委員会

1. はじめに

JCMA 機械部会の機械整備技術委員会では、コロナ禍に伴い長らく年間行事である見学会の活動を自粛していたが、コロナウィルスの収束に伴い、昨年度に引き続き本年度は令和5年12月5日に(株)筑豊製作所北九州支店への見学会を実施した。

参加者は機械整備技術委員と事務局の8名であった。

2. 見学スケジュール

令和5年12月5日(火)

13:30 小倉駅集合

13:30～14:00 (株)筑豊製作所 北九州支店へ移動

14:00～14:30 会社概要説明

14:30～16:00 施設、設備の見学及び質疑応答

16:00～16:30 小倉駅へ移動、解散

3. (株)筑豊製作所 会社概要

■設立 : 1946年(昭和21年)6月

■代表者 : 麻生 英樹

■従業員数 : 240名

■本社 : 福岡県糟屋郡新宮町の野 741-1

■支店概要 : 北九州支店

福岡県北九州市戸畑区大字中原 46-127

敷地面積 約 21,400 m² (6,461 坪)

建物面積 約 6,000 m² (1,806 坪)

(株)筑豊製作所はエンジン、建機、クレーン、産機など幅広い機械の修理、点検、販売、開発を行っており、九州を主なエリアとし各地に支店営業所を展開している。

今回、見学をさせて頂いた(株)筑豊製作所 北九州支店は、製鉄で有名な北九州市の戸畑区に位置し、建設機械をはじめ、鉄道や船舶、発電機などに搭載されている、世界各社、各種の最新大型ディーゼルエンジン整備に対応をすべく、2020年10月に新設され、最新鋭の設備が導入された工場である。北九州支店ではディーゼルエンジンの整備のみでなく、各種建設機械やコンプレッサーの整備も行っている。

4. 工場見学

① エンジンを始め建設機械を整備するには一般的な資格の他にも、エンジンメーカーやエンジンごとに必要な認定資格など、様々な資格が必要となる。これら様々な資格を従業員ごとに所有資格が一目でわかるよう、場内に技能資格所有者一覧を掲示し所有資格を明確にすると共に、従業員のモチベーション向上も同時に図られていた(写真—2)。

② 洗浄が必要な部品をセットするだけで部品の洗浄を可能とする、大型、中型、小型の自動部品洗浄装置が導入されていた(写真—3)。



写真—1 参加者集合写真



写真—2 技能資格一覧を見学する参加者

また、金属表面の錆や焼け、グリス、塗装などをレーザーのエネルギーにより効率的に除去するレーザークリーナーが導入されており、手作業では多くの時間を要する部品洗浄作業の効率化が図られていた（写真—4）。

場内には汚れたエンジンを丸ごと搬入し、ブラストによる事前洗浄が可能なブラストルームも完備されている。

- ③ 組み上がったディーゼルエンジンのテスト装置として、最大 6,300 kW (8,570PS) の水動力計（馬力試験機）をはじめ、2,100 kW、900 kW の自動制御テストベンチが場内に設置され、エンジン回転数と出力トルクを正確に測定することが可能となっている。

エンジンをテストするにはエンジンを高回転まで回すことが必要となり、その際にエンジンからは大きな騒音が発生する。その為、テストルームは工場外への防音にも十分考慮されており、二重シャッターの採用や場外への排気マフラーからの騒音対策もされている。また、排気色も常時監視出来るよう、マフラー棟には監視カメラが設置され、コントロールルームからモニターでの監視が可能となっていた。



写真—3 部品洗浄装置



写真—4 レーザークリーナーの実演

また、エンジンのテストには、顧客からの立ち合い依頼にも対応出来るよう、顧客専用のモニタリングルームも完備されている。

この日は鉄道用大型ディーゼルエンジンのテスト準備が行われていた（写真—5）。

- ④ ディーゼルエンジンのみでなく、油圧ショベルや大型クレーン、アタッチメントなど、建設機械やコンプレッサーの整備も行われていた（写真—6）。

大型車両も搬入可能な塗装ブースでは、塗装の仕上がりや作業者の環境を考慮し、空気が上部から下部へと流れる換気設備が採用されていた。

- ⑤ 工場ではエンジン試験装置に使用する水や洗浄水、トイレなど様々な場所で多くの水を利用する。北九州支店では環境を考慮し、場内に設置したタンクに雨水を集め、これら設備へ集めた雨水を再利用することで数百 m³ の水を節約することに成功している。

また、エアコンの一括集中管理をするなど、環境にも考慮された工場となっていた。

非常時への対応として非常用発電機が設置されており、災害時に外部からの電力が遮断された場合に



写真—5 パワーテストの準備をしているエンジン



写真—6 建設機械整備場



写真一七 整備中のエンジン前にて

も、この発電機で工場の電力を補うことが出来る。場内には従業員向けの食堂が完備されている。食堂には Wi-Fi も設置され、ちょっとした打ち合わせにも使用可能となっており、コミュニケーション向上にも貢献しているように見られた。

また、ランドリールームやシャワールーム、従業員ごとの専用ロッカーや畳の休憩ルームも設けられているなど、ディーゼルエンジンや機械整備への設備のみではなく、周辺環境や従業員の労働環境にも

配慮がされた工場となっていた。

5. おわりに

見学会では大型ディーゼルエンジンの整備のみでなく、工場の設備についても詳しく説明を頂き非常に貴重な体験をさせていただきました。

今回の見学会を快く受けて頂き、当日は説明及び案内をして頂きました(株)筑豊製作所の岡田執行役員、尾倉執行役員、平田次長、平井課長、並びに(株)筑豊製作所 北九州支店関係者の皆様にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

【筆者紹介】

太田 陽一 (おおた よういち)
 (株)加藤製作所
 プロダクトサポート部 サポートセンター
 課長代理
 (一社) 日本建設機械施工協会
 機械部会 機械整備技術委員会 委員



新工法紹介 機関誌編集委員会

04-463	山岳トンネル工事における 計測作業の遠隔化技術 『Tunnel RemOS-Meas.』	西松建設 ジオマシン エンジニアリング アラヤ
--------	--	----------------------------------

▶ 概 要

山岳トンネル工事では、ベテラン作業員の引退や若手入職者の減少によって、将来的に施工品質の低下や労働力の不足が懸念されている。また、切羽では肌落ち災害がたびたび発生しており、作業員が切羽に立ち入る機会の削減（切羽作業の無人化）が課題となっている。そのような背景から、当社では山岳トンネルにおける各種施工重機の遠隔化・自動化技術の開発に取り組んでおり、その一環として無人計測台車『Tunnel RemOS-Meas.（トンネルリモスメジャー）』を開発した（図—1）。

本装置は切羽近傍における計測作業の遠隔化を目的とした台車であり、任意の計測機器を搭載して、タブレット端末による遠隔操作で走行や計測作業を行うことができる。台車の幅、長さ、高さは各々 100 cm 程度、足回りはクローラとなっており、重機との離合、狭隘な箇所や不整地での走行・旋回が可能であるため、計測作業を掘削サイクルの合間に迅速に行える。例えば、カメラを搭載した場合には切羽写真の撮影、3D レーザースキャナの場合には切羽掘削に伴うあたり箇所や面的変位のリアルタイム計測、ガス検知器の場合には可燃性ガス等の濃度測定が可能である。なお、計測機器の搭載スペースは昇降リフトとなっており、使用場面に応じて高さを調整できる。

切羽写真の撮影等、計測のたびに同様の経路を走行する定型業務を効率化するために、SLAM による自律走行機能の実装も進めている（図—2）。台車に複数の LiDAR やカメラ、制御用 PC を搭載し、LiDAR で取得したトンネル壁面や周辺環境の点群データを基に自己位置を推定することで、側壁と一定の距離を保ちながら駐機場所と切羽の間を自動で走行することができる。周囲の重機や人、切羽等を LiDAR で検知しており、障害物との衝突の危険性を察知した際の回避や、切羽近傍へ到着した際の停止が可能である。また、駐機場所においては、事前に設置した AR マーカーをカメラで視認することで、良好な精度で出発・駐機を行うことができる。遠隔操作による制御を基本とし、定型業務の実施時にタブレットで設定を切り替えることで自律走行モードに移行する。

▶ 特 徴

①計測作業の遠隔化による安全性向上

計測作業時に切羽近傍に立ち入る機会が軽減されるため、安全性の向上が期待される。

②自律走行機能の活用による効率化

計測のたびに同様の経路を走行する定型業務時に自律走行機能を活用することで、作業の効率化を図ることができる。将来的には、計測自体の自動化も進めることにより、計測作業の完全無人化が期待される。

▶ 用 途

- ・山岳トンネル工事における計測作業

▶ 実 績

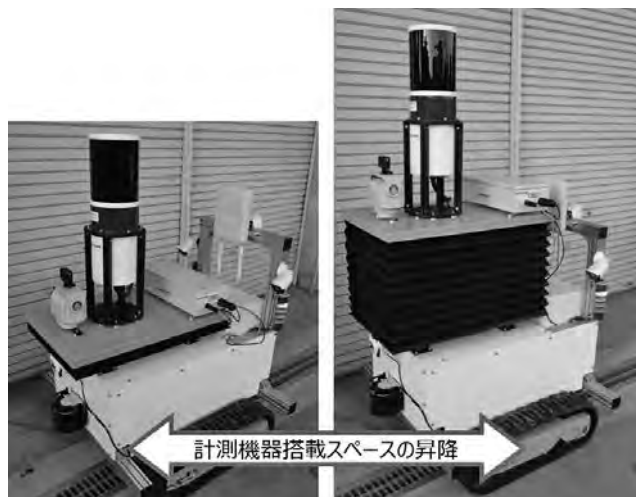
- ・国内山岳トンネル工事での試行

▶ 問 合 せ 先

西松建設(株) 技術研究所

〒105-0001 東京都港区虎ノ門 2-2-1

TEL：03-3502-0247



図—1 無人計測台車『Tunnel RemOS-Meas.』



図—2 自律走行機能の概要

新工法紹介

11-126	自動化建設機械の 無線緊急停止システム	大成建設
--------	------------------------	------

▶ 概 要

建設機械の自動化は、安全性向上・生産性向上・人手不足解消の観点から、建設現場で望まれている技術である。2022年には国土交通省が関係業界・省庁参画のもと「建設機械施工の自動化・自律化協議会」を設立し、建設機械施工の自動化・自律化・遠隔化技術の早期普及を推進している。このような背景から、建設会社だけではなく、様々な業界からも建設機械の自動化の取組みが聞こえている。ここで、これらの取組みを加速させるためには、自動化建設機械を安全に運行させるための「緊急停止システム」が必須である。従来の自動運転では各種機器やセンサ類を活用し、また自動運転プログラムを搭載することで成り立っているが、これらが予期せず誤動作した場合、監視者からの指示で建機を緊急停止させる等の迅速な対応が求められる。そこで、大成建設はこれらのリスクを低減すべく、「機能安全」の考え方にに基づき、緊急停止信号を発信する送信器や建設機械に搭載する受信器の故障、及び送信機の電池切れ等、不測の事態が起きても確実に自動化建設機械を無線で緊急停止させるシステムを東京大学と共同で開発した。

▶ 特 徴

①自動化建設機械の緊急停止機能を強化

既往の緊急停止システムは、現場の監視者がボタンを押すことで送信される緊急停止信号を、自動運転中の建設機械が受信することで緊急停止する。これに対して開発したシステムは、監視者が所持する送信器側から自動化建設機械の受信器側に常時動作許可信号が連続送信されており、送信器の故障や電池切れ、及び遠距離等に伴う無線の不具合等が発生し、動作許可信号が途切れた場合、建設機械は直ちに緊急停止する。

②建設現場の様々な環境条件下でも適用可能

建設現場では場所や規模が多種多様で、Wi-Fi等の通信方式を使った様々なシステムが導入されている。そのため、このシ

ステムでは建設現場毎に重複しない無線を選択できるよう無線部分の入替を可能にしている。2022年に「デジタル簡易無線(351 MHz帯)」を使用した実験を行ったところ、見通しの良い条件下で最大9 kmまで到達できることを確認している。

③複数の自動化建設機械との連携など様々な運行形態に適用

近い将来、生産性向上を果たすべく、複数の自動化建設機械による現場施工が見込まれる。現状では、何人もの監視者が複数台の自動化建機を監視し安全管理を行っている。緊急停止を必要とする自動化建機を特定して停止ボタンを押すこれまでの方式では、瞬時の判断やボタン操作が困難で、停止させるまでに相当の時間を要することが予測される。2023年度は緊急時に複数建機を一括停止させるシステムを開発中である。今後は様々な建設現場での検証を継続し、複数台の自動化建設機械の連携を踏まえた技術開発を推進し、建設機械の自動化技術の安全性、生産性の更なる向上を目指す。

▶ 用 途

・自動化建設機械の安全運行支援

▶ 実 績

・成瀬ダム原石山採取工事での現場実証

・桑名実験場(外部)でのフィールド実証

▶ 問 合 せ 先

大成建設(株) 技術センター 生産技術開発部

〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1

TEL: 045-814-7221



図一 無線緊急停止システム



図二 システム運用形態

新機種紹介

機関誌編集委員会

▶ 〈04〉 運搬機械

23-〈04〉-02	加藤製作所 クローラキャリア	IC70R	'23.5 発売 新機種
------------	-------------------	-------	-----------------

欧州 StageV、北米 Tier4 排出ガス規制対応及び特定特殊自動車排出ガス 2014 年基準適合のエンジンを搭載した積載荷重 7t クラスの新型の全旋回式クローラキャリアである。

IC70R は車高、車幅をコンパクトにすることで輸送性や狭路での作業性の向上を図っている。

最低地上高を 560mm 確保することで悪路での走破性を高めるとともに、機械重心を下げることで安定した走行と転倒事故のリスクを低減している。

運転席から直視できる範囲を大きく確保し、後方カメラ、側方カメラを標準装備とすることで運転席からの死角を減少させ安全性を高めている。

そのほか、安全性の向上として車体の状況に合わせて走行速度、旋回速度を制限する機能を搭載している。

機械下部に対して上部体が旋回している状態や荷台が上がっている状態での走行速度を 50% に制限。走行状態での旋回速度は最大 70% に制限している。

また、エンジンと油圧ポンプを電気制御することで、下り坂走行時にエンジンオーバーランの発生リスクを減少させている。

ROPS キャブ内の運転席はリクライニング・サスペンション付シートを採用し、運転者の体格に合わせてシートが調整できる。また、キャブの高さを下げたことでキャブ乗降性を向上させている。

そのほか、ジョイスティックレバーの操作量に応じてエンジン回転数とポンプ流量を同時に制御し、最適な走行運転・荷台操作・旋回操作を可能とし、レバー操作が中立の時はアイドル状態となり燃料消費を抑えている。

遠隔稼働管理システムの K-cast（テレマティクス）により事務所パソコンなど遠隔で稼働場所、日々の稼働管理など作業の管理、監視が可能である。万が一に故障が発生した場合でも機械の場所、エラー発生状況を遠隔認識することができる。

表—1 IC70R の主な仕様

積載荷重	(t)	7.0
荷台容量（山積み）	(m ³)	4.0
機械質量	(t)	11.6
定格出力	(kW (PS)/min ⁻¹)	140 (190.3)/2,200
走行速度 高速/低速	(km/h)	12.0/8.0
登坂能力	(%)	36
接地圧 空車時/最大積載時	(kPa)	25.8/41.4
旋回半径	(m)	3.22
最低地上高さ	(m)	0.56
クローラ全幅（シュー幅）	(m)	2.49 (0.7)
全長×全幅×全高（輸送時）	(m)	5.55 × 2.49 × 2.68
価格	(百万円)	25.8



写真—1 加藤製作所 IC70R クローラキャリア

問合せ先：(株)加藤製作所 国内営業本部
〒140-0011 東京都品川区東大井 1-9-37
TEL：03-3458-1113

▶ 〈06〉 基礎工事機械

23-〈06〉-01	日立建機 リーダレス型基礎機械 RX3300-7	'23.8 受注開始 新機種応用製品
------------	--------------------------------	-----------------------

RX3300-7 は杭打ち工事などに用いられるリーダレス型基礎機械であり、特定特殊自動車排出ガス 2014 年基準に適合している。

基礎機械とは、スクリュを回転させるオーガや、矢板などを振動させて地中に貫入させるバイプロハンマを用いて、建物の基盤となる杭の設置や柱状の土質改良、土が崩れるのを防ぐための土留め用の矢板の打設・引き抜きなどに使用される建設機械である。

新機種紹介

基礎機械では、スクリュや杭などの打設・引き抜き時の角度をガイドする「リーダ」をフロント部分に備えるタイプが一般的であるが、日立建機のリーダレス基礎機械 RX シリーズは、多関節のフロントを備えており、そのうち2本のアームを独自技術で制御する。1本のレバー操作でアーム先端を水平・垂直に移動させることが可能で、リーダレスでも高い精度でスクリュによる掘削や杭の打設を行うことができる。リーダレスのためクレーン作業が不要となるほか、広い作業範囲の確保や柔軟なフロント姿勢での作業が可能で、狭小地や高さ制限のある場所、段差のある現場にも対応する。

従来機に対し、油圧システムの刷新によりフロント動作速度が上昇しており、シリンダ力の強化により引き抜き能力も平均で22%向上*している。

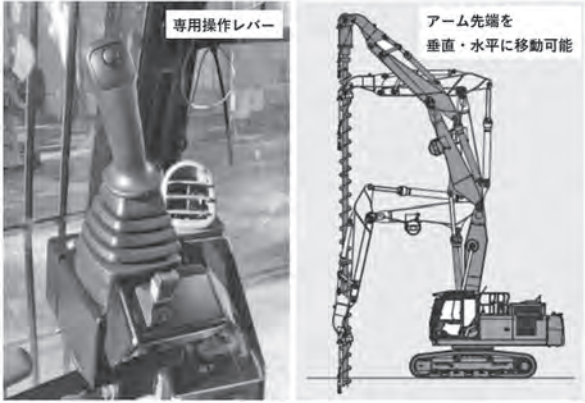
*従来機 RX3300-3 のファーストアーム（機体に一番近いアーム）が96度時の比較

そのほかの機能として、アームの高さ制限機能を装備し、架線などがある場所、橋や高速道路の高架下など、高さ制限のある狭い現場での作業を容易にしている。また、地盤に対して垂直な施工だけでなく、最大30度まで任意の斜杭角度を設定することが可能である。地盤改良工法など、スクリュ先端の移動速度を一定速度に保つ必要がある作業の場合も、自動制御での操作が可能である。

安全性を高める装備として、標準搭載の周囲環境視認装置「AERIAL ANGLE（エアリアル アングル）」により、機体周囲を映像で確認することが可能である。また、運転室内のモニタに RX シリーズ専用の情報を集約して表示し、フロント先端位置などの機械状態を確認できるほか、使用するアタッチメントに合わせて油圧の圧力・流量調整や各種制御の設定も可能であり、視認性と操作性を向上させている。



写真—2 日立建機 RX3300-7 リーダレス型基礎機械



図—1 RX3300-7 の特徴

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

表—2 主な仕様（標準クローラ仕様）

項目		RX3300-7
運転質量	t	39.8
エンジン定格出力	kW/min ⁻¹	210/1,900
旋回速度	min ⁻¹	6.9
走行速度（高／低）	km/h	5.0/3.2
登坂能力	%	36
クローラ全幅	m	3.19
キャブ全高	m	3.29
後端旋回半径	m	3.60
垂直軌跡速度	m/min	13～15
垂直軌跡精度	mm	±50
補助ウィンチ 定格ラインプル	kN	19.6
補助ウィンチ 巻上・巻下ロープ速度	m/min	26
標準小売価格	百万円	82.145

注）価格は工場裸渡し、消費税別

▶ 〈19〉建設ロボット、情報化機器、タイヤ、ワイヤロープ、検査機器等

23-〈19〉-02	ライカジオシステムズ Leica iCON gps160 受信機	'23.4 発売 新機種
------------	-------------------------------------	-----------------

Leica iCON gps 160（以下、iCON gps 160）は、GNSS 移動局や GNSS 基地局、また車両や建設機械に設置しての利用など、1台で様々な用途で使用可能な新型 GNSS 受信機である（写真—3）。基地局として使用する際には、外部アンテナの接続を可能とし、内蔵通信モデムを使用した補正情報の NTRIP 配信や無線を利用した配信に対応。ディスプレイとインターフェースを装備していることで、

新機種紹介

外部コントローラーを必要とせずに、搭載されたソフトウェアで簡単に基地局のセットアップを行うことが可能である。移動局や建設機械／車両搭載用として使用する際には、NTRIP や無線を利用した補正情報を受信して、大型建設プロジェクト用ソフトウェア「Leica iCON site」を搭載したコントローラーで、出来形計測や杭打ちナビゲーション、ブルドーザーや切削機、油圧ショベル向けの簡易ガイダンス機能を利用することが出来る。またオプションの傾斜補正機能を使用することで、移動局としての計測時の計測時間を大幅に短縮することが出来る。車両に設置する場合は、広い範囲を簡単に現況地形や出来形計測することも可能。建設機械に設置する場合には、GNSS アンテナを1台使用するタイプの3D マシンガイダンスで使用する事が出来る（表—3）。iCON gps 160 は、建設現場において GNSS 受信機に求められる様々な用途（写真—4）に対応することで投資効果を最大にする。



写真—3 iCON gps 160

表—3 iCON gps 160 の様々な使用方法

基地局使用時	・常設基地局用の外部アンテナコネクタを装備し、本体は安全な場所に設置しての利用が可能。サードパーティの GNSS アンテナも利用可能 ・「BasePilot」や「SmartGetHere」などの独自のスマートソフトウェア機能により、未知点上での迅速なベースセットアップが可能 ・通信モデムを搭載し、Leica クラウドソリューション経由の簡単かつ迅速なリモート設定またはファームウェアアップロードが可能 ・ユニークで直感的なオンボードソフトウェアにより、追加のハードウェアやソフトウェアを必要とせずに迅速なセットアップと構成が可能
移動局利用時	・ライカの最新 GNSS テクノロジーを搭載 ・独自の GUI を備えた、非常に広く受け入れられている iCON site ソフトウェアへのシームレスな統合 ・ネットワークまたは UHF 無線による GNSS 補正情報の受信 ・ライセンスコンセプトによるオーダーメイドのスマートアンテナ ・オプションの傾斜機能（最大 20°）を使用すると、ポイントの測定と杭打ちが大幅に高速化
車両／建設機械搭載利用時	・車両に搭載し、素早い切土と盛土のチェック、またはより大きな地形モデルを簡単に作成 ・外部アンテナコネクタを装備し、キャビン内に本体を設置し、外部アンテナを使用することは可能 ・建設機械に搭載し、3D マシンガイダンスの世界へのスマートなエントリー、さまざまなマシンタイプをサポート



写真—4 iCON gps 160 の様々な使用場面



写真—5 「Leica iCON site」ソフトウェア

問合せ先：ライカジオシステムズ株

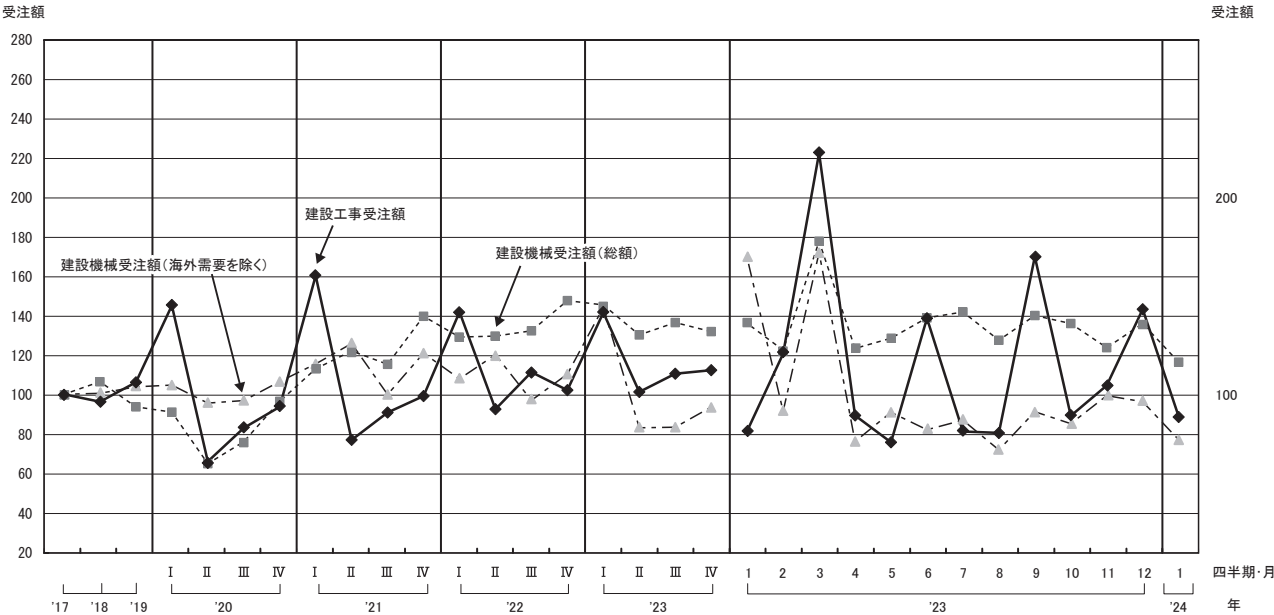
ヘビーコンストラクション事業部

〒108-0073 東京都港区三田1-4-28 三田国際ビル18階

TEL：03-6809-3901

建設工事受注額・建設機械受注額の推移

建設工事受注額：建設工事受注動態統計調査(大手50社) (指数基準 2017年平均=100)
建設機械受注額：建設機械受注統計調査(建設機械企業数24前後) (指数基準 2017年平均=100)



建設工事受注動態統計調査 (大手 50 社) (単位：億円)

年 月	総 計	受 注 者 別						工 事 種 類 別		未消化 工事高	施工高
		民 間			官 公 庁	そ の 他	海 外	建 築	土 木		
		計	製 造 業	非製造業							
2017 年	147,828	101,211	20,519	80,690	36,650	5,183	4,787	99,312	48,514	165,446	137,220
2018 年	142,169	100,716	24,513	76,207	30,632	8,561	5,799	95,252	46,914	166,043	141,691
2019 年	156,917	114,317	24,063	90,253	29,957	5,319	7,308	109,091	47,829	171,724	150,510
2020 年	143,170	97,457	19,848	77,610	35,447	5,225	4,175	91,725	51,443	171,740	141,261
2021 年	157,839	111,240	22,528	88,713	38,056	4,671	3,874	106,034	51,806	192,900	137,853
2022 年	165,482	119,900	33,041	86,862	33,436	5,252	6,898	114,984	50,496	207,841	130,901
2023 年	172,094	121,790	31,098	90,690	40,060	5,360	4,883	117,929	54,164	217,576	161,186
2023 年 1 月	10,021	6,986	1,556	5,430	2,452	336	248	6,867	3,154	207,251	10,213
2 月	14,867	9,285	1,928	7,358	5,010	372	199	9,662	5,204	209,850	12,419
3 月	27,481	18,606	4,053	14,553	7,409	674	791	17,187	10,294	214,894	21,223
4 月	10,993	8,354	2,034	6,320	2,003	528	107	7,807	3,186	215,556	9,294
5 月	9,304	6,854	1,807	5,047	1,772	345	332	6,125	3,179	214,435	10,569
6 月	17,100	12,062	2,801	9,260	3,457	506	1,075	11,401	5,699	215,220	16,006
7 月	9,973	5,877	1,269	4,607	3,360	429	308	5,401	4,572	214,911	9,995
8 月	9,888	7,470	2,331	5,138	1,930	343	146	7,132	2,756	212,974	12,201
9 月	20,973	15,485	2,622	12,863	4,341	643	504	15,905	5,068	216,368	17,673
10 月	10,962	8,266	2,603	5,663	2,197	420	79	8,081	2,881	217,263	11,029
11 月	12,872	9,824	2,094	7,730	2,032	385	631	9,359	3,513	218,161	12,726
12 月	17,660	12,721	6,000	6,721	4,097	379	463	13,002	4,658	217,576	17,838
2024 年 1 月	10,931	7,371	1,467	5,904	2,871	391	298	7,657	3,273	－	－

建 設 機 械 受 注 実 績 (単位：億円)

年 月	17 年	18 年	19 年	20 年	21 年	22 年	23 年	23 年 1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	24 年 1 月
総 額	21,535	22,923	20,151	17,646	26,393	29,024	29,315	2,445	2,198	3,197	2,214	2,308	2,494	2,549	2,289	2,516	2,442	2,221	2,442	2,089
海 外 需 要	14,912	16,267	13,277	10,966	18,737	21,816	22,627	1,509	1,694	2,246	1,795	1,807	2,042	2,070	1,894	2,013	1,973	1,673	1,911	1,665
海外需要を除く	6,623	6,656	6,874	6,680	7,656	7,208	6,688	936	504	951	419	501	452	479	395	503	469	548	531	424

(注) 2017～2019 年は年平均で、2020～2023 年は四半期ごとの平均値で図示した。
2023 年 1 月以降は月ごとの値を図示した。

出典：国土交通省建設工事受注動態統計調査
内閣府経済社会総合研究所機械受注統計調査

行事一覽

(2024年2月1～29日)

機 械 部 会



■トンネル機械技術委員会・幹事会

月 日：2月1日（木）（会議室，Web 併行開催）

出席者：丸山修委員長ほか8名

議 題：①1月開催 WG の報告と今後の進め方について議論 ②技術講演会について：実施報告と次年度への申し送り等について議論 ③令和6年度の活動内容について議論：調査活動の内容決定，見学会候補地について議論，総会日程の決定と講演候補者の選定，令和6年度委員会体制について討議

■トンネル機械技術委員会 機械設備改善 WG

月 日：2月8日（木）（会議室，Web 併行開催）

出席者：椎橋孝一郎リーダーほか13名

議 題：①メンバーより提出された機械設備改善調査票の記載内容の確認と修正 ②WG 活動のまとめ方について討議

■トンネル機械技術委員会 積込・運搬機械調査 WG 見学会

日建リース工業株式会社短距離向けベルトコンベヤの見学

月 日：2月9日（金）

参加者：浅沼廉樹副委員長ほか15名

見学内容：日建リース工業株式会社製の短距離向けベルトコンベヤの実機とデモンストレーションの見学，山武工場の見学，①短距離向けベルトコンベヤの概要説明 ②実機，デモンストレーション見学 ③工場見学 ④質疑応答

■コンクリート機械技術委員会

月 日：2月13日（火）（会議室，Web 並行開催）

出席者：笹谷武委員長ほか11名

議 題：①前回の議事録確認 ②技術発表：大成建設株式会社「コンクリート関連技術紹介」 ③令和6年度活動計画について議論：技術プレゼンの進め方，見学会候補地について

■基礎工事用機械技術委員会

月 日：2月14日（水）（会議室での対面開催）

出席者：樗沢淳一委員長ほか20名

議 題：①各社トビックス：鹿島建設株式会社「未点検に起因する機械・設備関連災害防止に向けた取り組み“e-Tenken システムの開発・運用について”」，ラ

イト工業株式会社「2023年3月ラスベガス建機展について」 ②今後のスケジュールについて：技術プレゼン，各社トビックスの予定，令和6年度の委員会日程

■ダンプトラック技術委員会

月 日：2月15日（木）（会議室，Web 併行開催）

出席者：渡辺浩行委員長ほか5名

議 題：①各社トビックス：日立建機株式会社「エンジンレス・フル電動リジッドダンプトラックの紹介」 ②生産性向上に関する輪講：キャタピラー・ジャパン（同）「新「VISION LINK」の活用」 ③令和6年度活動内容について議論

標 準 部 会



■ISO/TC 195/SC 3/WG 2 国際バーチャル WG 会議

月 日：2月1日（木）夜

出席者：山本卓也委員（株式会社研製作所）ほか20名

場 所：Web 上（ISO Zoom）

議 題：①WD 20770-1.2 コメント審議（続き） ②次回会合予定（3月8日，13日バーチャル）

■ISO/TC 127 土工機械委員会 国内委員会 総会

月 日：2月5日（月）

出席者：小塚大輔委員長（コマツ）ほか31名

場 所：Web 上（Microsoft Teams）

議 題：①親 TC 127，SC 1～SC 4 活動計画及び審議状況報告 ②投票案件 ③その他 ISO 15143-4 国際 WG 会議出席報告

■ISO/TC 127/WG 17 ISO 5757 充電式エネルギー貯蔵システム 国際バーチャル WG 会議

月 日：2月6日（火）夜

出席者：Jon Spomer コンビナー（Bobcat 社）ほか海外15名，日本から小塚大輔委員長（コマツ）ほか2名

場 所：Web 上（ISO Zoom）

議 題：規格適用範囲と表題の審議

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

月 日：2月8日（木）夜

出席者：Jon Spomer コンビナー（Bobcat 社）ほか海外14名，日本から小塚大輔委員長（コマツ）ほか6名

場 所：Web 上（ISO Zoom）

議 題：①接近警報に関する課題の審議 ②既存類似規格との相違比較

■ISO/TC 127/SC 3/WG 5 ISO/TS 15143-4 国際バーチャル有志会議

月 日：2月9日（金）

出席者：Nick Bollweg コ・コンビナー（John Deere 社）ほか海外7名，日本より中川智裕コ・コンビナー（コマツ）ほか2名

場 所：Web 上（ISO Zoom）

議 題：ISO 15143-4 の DTS（最終段階案文）提出へ向けた案文整備

■ISO/TC 195/SC 1 委員会

月 日：2月9日（金）

出席者：川上晃一委員長（日工株式会社）ほか13名

場 所：Web 上（ISO Zoom）

議 題：①SC 1 傘下プロジェクト進捗報告・対応協議 ②CEN/TC 151/WG 8 との情報交換連絡会開催（4月23日）

■ISO/TC 82/JWG 4 ISO 3510 自律式鉱山機械と管制システムとの通信インターフェース 国際 WG 会議（ハイブリッド）

月 日：2月14日（水）～16日（金）

出席者：Eric Moughler TC 127 国際議長（CAT 社）ほか海外5名，日本より岡ゆかりコンビナー（コマツ）ほか8名

場 所：協会会議室10名及びWeb 上（ISO Zoom）5名

議 題：①2月14日～15日：ダンプトラックインターフェース規格 ISO 3510 審議 ②2月16日：プラストホールドリル規格 ISO 24446 審議

■ISO/TC 82/JWG 3 ISO 3502 高度自動・自律採掘の参照枠組及び構成 国際 WG 会議（ハイブリッド）

月 日：2月19日（月）～20日（火）

出席者：Chris Doran コンビナー（Mitacom 社）ほか海外より9名，日本より岡ゆかり議長（コマツ）を含む6名

場 所：協会会議室9名及びWeb 上（ISO Zoom）8名

議 題：①最新の自動採掘システムの整理 ②技術仕様書 TR 案文審議

■ISO/TC 82/JWG 2 ISO 23725 自律システムとフリートマネジメントシステムとの相互運用性 国際 WG 会議（ハイブリッド）

月 日：2月21日（水）

出席者：Martin Politick コンビナー（Wenco 社）ほか海外より8名，日本より岡ゆかり議長（コマツ）を含む6名

場 所：協会会議室9名及びWeb 上（ISO Zoom）7名

議 題：①DIS への各意見への対応審議 ②今後予定：WG 意見聴取で確認の上，FDIS 投票準備

■ISO/TC 195/SC 2/WG 1 道路作業機械・冬期保守用機器 国際バーチャル WG 会議

月 日：2月26日（月）夜

出席者：坂井幸尚委員（コマツ）ほか12名

場 所：Web 上（CEN Zoom）

議 題：① ISO/WD 22142「冬期保守用
機器・用語」コメント審議（続き）
②次回会合予定（4月15日バーチャル）

■ISO/TC 82/JWG 2, 4, 3 ISO 23870 国際WG会議（ハイブリッド）

月 日：2月27日（火）～29日（木）

出席者：Gregory Kittle（John Deere 社）、
Jacob Van Berjeijk（AGCO 社）両コ
ンビナーほか海外より34名、日本よ
り庄司裕之委員（コマツ）ほか2名
場 所：米国ヒューストン及び Web 上
（ISO Zoom）

議 題：①各 Ad hoc グループ進捗報告
②サイバーセキュリティ規格に関する
ISO/TC 127/SC3 側対応審議など
③次回 WG 会議は東京・機械振興会
館にて2024年6月17日～19日に対
面会合予定

■ISO/TC 195 親委員会（予備日）

月 日：2月28日（水）

出席者：佐々木正博委員長（ファースト
ループテクノロジー㈱）ほか6名
場 所：Web 上（ISO Zoom）

議 題：①2023年10月～2024年1月に
開催された WG 会議（バーチャル）の
状況報告 ②各分科委員会案件の審議

建設業部会



■クレーン安全情報 WG

月 日：2月13日（火）

出席者：猪又勝美主査ほか12名（内 Web
参加者3名）

議 題：

〔15：00～16：00〕①クレーンの最新
動向ヒアリング（タダノ）

〔16：00～17：00〕②全クレ「働き方
改革による移動式クレーンの作業時
間」申入れについて意見交換 ③事故
事例発表（2019年住友建機製油圧ショ
ベル事故報告のその後について（鹿島
建設㈱））④建機工のクレーン更新講
習テキスト改訂内容の報告 ⑤その他

■三役会

月 日：2月15日（木）

参加者：森田将史部会長ほか4名

議 題：①2/22 合同部会の開催事前報
告 ②1/26 開催予定：建設業 ICT 安
全 WG 報告 ③2/13 開催予定：ク
レーン安全情報 WG 報告 ④2/20 開
催予定：機電交流企画 WG 報告・
3/19 開催予定：「令和5年度若手現場
見学会」準備報告 ⑤3/4 開催予定：
建設業部会準備報告 ⑥その他

■機電交流企画 WG

月 日：2月20日（火）

出席者：落合博幸主査ほか9名（内
Web 参加者4名）

議 題：①令和5年度若手現場見学会
（横浜環状南線桂台 T）の2024.03 開
催計画について ②令和5年度（2024
年）第24回機電技術者意見交換会開
催内容の見直し・立案について ③そ
の他

■合同部会

月 日：2月22日（木）

参加者：森田将史部会長ほか39名会場
聴講、Web 聴講63ライセンス（1ラ
イセンス複数聴講登録44名）で延
146名聴講

講 演：①「清水建設㈱におけるダイ
バーシティ推進への挑戦～女性活躍推
進、パタニティ休業からの組織風土醸
成～」：清水建設㈱コーポレート企画
室 DE&I 推進部長 西岡真帆様 ②
「2024年物流問題における取組状
況」：㈱アクティオ首都圏支社管理部
長 中村誠一郎様、西尾レントオール
㈱広域営業部部長 滝澤淳様 ③「ア
スファルトフィニッシュ自動操舵・拡
幅システムの技術紹介」：住友建機㈱
道路機械技術部第一設計 G 主任 寺元
陶太様 ④「最近の建設施工行政の動
向について」：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
企画室施工企画室長 森川博邦様

レンタル業部会



■コンプライアンス分科会

月 日：2月6日（火）（Web 会議併用）

出席者：飛山分科会長ほか13名

議 題：①部会長・分科会長挨拶 ②「お
客様の安全技術情報の集約とプラット
フォーム化の検討」の進め方等につい
て ③R6 年度コンプライアンス分科
会活動計画について ④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：2月7日（水）

出席者：中野正則委員長ほか25名

議 題：①令和6年5月号（第891号）
計画の審議・検討 ②令和6年6月号
（第892号）素案の審議・検討 ③令
和6年7月号（第893号）編集方針の
審議・検討 ④令和6年2月号～令和
6年4月号（第888～890号）進捗状
況報告・確認 ※通常委員会及び Zoom
にて実施

■新工法調査分科会

月 日：2月21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

■建設経済調査分科会

月 日：2月26日（月）

出席者：持丸修一分科会長ほか5名（内、
Web 参加2名）

議 題：①令和6年執筆記事検討・意見
交換 ②その他

支部行事一覧

北海道支部



■「2024 ふゆトピア・フェア in 北広島」 第3回実行委員会

月 日：2月22日（木）

場 所：北海道開発局 特別会議室

出席者：谷崎敏彦事務局長（代理出席）
（JCMA ほか17機関）

内 容：①開始報告 ②決算報告 ③余
剰金の扱いについて

東北支部



■令和5年度 東北土木技術人材育成協議 会 幹事会（Web）

月 日：2月1日（木）

出席者：東北地方整備局東北技術事務所
高橋秀典事務所長ほか29名

議 題：①令和5年度 基礎技術講習会：
実施状況、受講者アンケート ②令和
6年度 基礎技術講習会：次年度に向
けた議論のポイント、次年度の方針お
よび予定（案）、各団体からの意見照
会の結果 ③その他

■令和5年度 会津若松市除雪講習会

②特別開催

場 所：福島県 会津若松市コミュニ
ティー施設 ピカリンホール

月 日：2月13日（火）

講 師：三立道路㈱工務課長 長井勇一、
JCMA 東北支部専門技術員 関野広光
受講者：会津若松市 除雪作業従事職員
50名

■情報化施工技術委員会 第2回 幹事会 （Web 併用）

月 日：2月20日（火）

場 所：東北支部 会議室

出席者：鈴木勇治 情報化施工技術委員
会委員長ほか17名

議 題：①令和6年度 インフラ DX 基
礎技術講習会について ②令和6年度

i-Construction (ICT 活用工事) セミナーについて

北 陸 支 部

■企画部会等打合せ会議

月 日：2月15日(木)

場 所：北陸支部事務局

出席者：堤事務局長、本間普及部会長、ほか企画委員2名

議 題：①令和6年度事業計画の立案について ②令和6～7年度の部会長・委員の選出について ③第13回通常総会までの会議日程等について

■令和5年度第1回広報委員会

月 日：2月22日(木)

場 所：興和ビル 10F 小会議室

出席者：宮村兵衛 広報委員長ほか5名

議 題：①支部だより掲載記事について ②編集及び発刊スケジュールについて ③あかしや通信 No.42 の編集内容(案)について

■外国人技能評価試験(2月期)

月 日：2月29日(木)～3月1日(金)

場 所：CAT 北陸教習センター

出席者：堤事務局長ほか2名

受検者：

初級 掘削(小)	学科及び実技	10名
掘削(小)	学科のみ	1名
掘削(大)	学科及び実技	8名
掘削(大)	学科のみ	2名
掘削(大)	実技のみ	1名
締固め	学科及び実技	8名

中 部 支 部

■技術・調査部会

月 日：2月6日(火)

場 所：太陽生命名古屋第2ビル会議室

出席者：宮内秀弘部会長ほか10名

議 題：春季講演会について

■愛知少年院出前授業打ち合わせ

月 日：2月19日(月)

場 所：愛知少年院会議室

参加者：愛知少年院担当官2名、青木保孝 DX・施工部会長ほか2名

内 容：3月29日(金)に実施予定の ICT 施工等に関する出前授業について打ち合わせを行った

関 西 支 部

■令和5年度 施工技術報告会

月 日：2月13日(火)

場 所：建設交流館 グリーンホール

参加者：151名

内 容：①近接構造物への影響に配慮したシールドおよび中間立坑の施工

②国内初となる災害現場における砂防堰堤自動化施工 ③環境に配慮した中性固化材を用いた地盤改良 ④架設機を使用した HSPJ 床版架設工事 ⑤困難な条件下における国内初の超大断面トンネル型減勢工の建設

■建設用電気設備特別専門委員会(第494回)

月 日：2月15日(木)

場 所：中央電気倶楽部 会議室

議 題：①「JEM-TR104 建設工事用受配電設備点検保守のチェックリスト」標準化委員会結果報告 ②「JEM-TR236 建設工事用 400V 級電気設備施工指針」審議 ③その他

中 国 支 部

■第3回企画部会

月 日：2月27日(火)

場 所：広島 YMCA

出席者：玉田一雄部会長ほか6名

議 題：①令和5年度事業報告について ②令和6年度事業計画(案)について ③その他懸案事項

四 国 支 部

■「生産性向上に資する勉強会」

(一社) 日本建設機械施工協会講演会

月 日：2月1日(木)

場 所：国土交通省四国地方整備局松山河川国道事務所(松山市)

参加者：約46名(四国建設青年会議、四国地方整備局)

内 容：講演者：岩見業務執行理事

講 演：未来を建てる建設業界(～生産技術のススメ～)

■香川県 ICT 活用工事支援連絡協議会

月 日：2月6日(火)

場 所：香川用水記念会館

出席者：協議会を構成する8団体・組織から25名が参加、JCMA 四国支部からは事務局長が参加

内 容：①香川県の取組みについて

②四国地方整備局の取組みについて

③意見交換

■協賛事業「四国建設広報協議会」WG

月 日：2月15日(木)

場 所：Web 会議

出席者：協議会を構成する27の団体・組織から25名が参加、JCMA 四国支部からは事務局長が参加

内 容：①令和6年度協議会役員(案)に

ついて ②令和5年度収支報告 ③建設フェア四国 2023 in 高松開催報告 ④建設フェア四国 2025 の開催について ⑤その他

■共催事業「ドローン操作訓練」

月 日：2月27日(火)

場 所：国営讃岐まんのう公園(多目的広場)

共催者：(一社) 建設コンサルタンツ協会 四国支部、(一社) 四国クリエイティブ協会、(一社) 日本建設機械施工協会 四国支部、(一社) 日本補償コンサルタント協会 四国支部、(株)建設マネジメント四国

参加者：共催団体から4社25名、ドローン8機

内 容：公園休園日を利用して、災害発生時に迅速に対応するため、各社所有のドローンを用いて訓練を実施

九 州 支 部

■企画部会 第1回 JCMA 技術講習会

月 日：2月1日(木)

場 所：福岡県糸島市志麻馬場 ショー(株)糸島テクノセンター

出席者：19名

内 容：①環境に配慮した資機材：気象観測ユニット・電子看板等 ②安全に配慮した機器等：重機安全性向上のための監視カメラ・セーフティアラート、遠隔臨場、無線式玉掛け等 ③測量機器：生産性向上 TS・屋外型の拡張現実システム ④ ICT 施工、無人化施工：ICT 施工機械体験・無人化施工機械操作体験

■技術部会 九州地方整備局との勉強会

月 日：2月19日(月)

場 所：リファレンス駅東ビル3階

出席者：23名

内 容：①九州地方整備局からの機械関連業務に関する講義：働き方改革について、能登半島地震に関する対応、令和5年度出水状況、機械設備の近年の動向 ②協会からの情報提供・要望等

■企画委員会

月 日：2月28日(水)

場 所：宝ビル 11F

出席者：9名

議 題：①令和5年度 JCMA 九州支部の主要行事予定について ②会員向け講習会等の取組メニュー ③ JCMA 技術講習会の実施報告 ④技術部会からの報告 ⑤第3回運営委員会について ⑥ R6 年度災害協定について ⑦その他

編集後記

近年、日本人スポーツ選手の活躍は目覚ましく、2020年東京オリンピックでの金メダル獲得、WBC優勝、大谷選手のMLB史上最高額の契約など記憶に新しいと思います。野球やサッカー、バスケットボール、テニスなど国際舞台での躍進が注目され、日本のスポーツ産業だけでなく経済にも大きな影響を与えています。このようなスポーツ選手の成功には常に新しい技術やトレーニング方法を取り入れデータを分析し自己研鑽に努めていることだと思います。またチームメートやコーチなど円滑なコミュニケーションや専門知識の習得も重要です。これらの要素は建設業界でも同様に重要です。新しい技術やトレーニングについてはICT、IoT、AIなどの先端技術や新しい建設材料の活用により効率化や品質向上を図り、データ分析結果から施工プロセスの最適化やリスク管理が可能となります。さらにチームワークやコーチングのように産学官の連携や専門家との協力により高度な技術開発、発展が期待されたいと思います。またスポーツ選手が高いパフォーマンスを維持するために必要な品質と耐久性は、建物や構造物も同様に求められます。特に地震など自然災害に対する安全性を高める技術の開発は重要と考えます。これらのスポーツ選手の成功を教訓に建設業界へどう生かし取り組んでいくかを考

えるのも面白いと思います。

さて、今月号は「新しい建設材料、コンクリート工、コンクリート構造」をテーマに紹介しました。巻頭言では東京大学大学院の野口教授よりカーボンニュートラル化に向けた省エネや再生可能エネルギーの導入の必要性、さらにCCSやCCUS技術も必要不可欠であること、そしてこれら人類の活動は地球システムに悪影響を与えない形でなされなければならないということをご提言いただきました。

行政情報では、国土交通省よりテーマ関連情報のほか、令和6年能登半島地震における災害対策車両の取り組みについて特別寄稿いただきました。

技術報文では、新素材を利用したコンクリート、施工の高速化、安定した品質確保のための技術などの新工法、新技術の開発、地球環境へ配慮した新しい建設材料などの報告を頂きました。

交流のひろばでは、地盤凍結工法における環境負荷低減を目指した取り組み、地域住民が建物との別れを惜しみつつ解体工事を身近に感じてもら「解体祭」の取り組みを紹介いただきました。

最後に、突然の依頼にも関わらず快くご協力いただいた執筆者の皆様、関係者の皆様に深く感謝いたします。皆様から頂いた貴重な情報を共有し、読者の皆様の一助となれば幸いです。

(平田・佐藤)

機関誌編集委員会

編集顧問

今岡 亮司	加納研之助
後藤 勇	新開 節治
関 克己	高田 邦彦
田中 康之	田中 康順
中岡 智信	渡邊 和夫
見波 潔	

編集委員長

中野 正則	日本ファブテック(株)
-------	-------------

編集委員

吉田 真人	国土交通省
大津 太郎	農林水産省
内海 友介	(独)鉄道・運輸機構
岡本 直樹	(一社)日本機械土工協会
河原 圭司	鹿島建設(株)
赤坂 茂	大成建設(株)
藤井 攻	清水建設(株)
桐山 茂雄	(株)大林組
出口 明	(株)竹中工務店
宮川 克己	(株)熊谷組
松本 清志	(株)奥村組
京免 継彦	佐藤工業(株)
平田 惣一	鉄建建設(株)
副島 幸也	(株)安藤・間
松澤 享	五洋建設(株)
那須野陽平	東亜建設工業(株)
佐藤 裕	日本国土開発(株)
丑久保吾郎	(株)NIPPO
室谷 泰輔	コマツ
山本 茂太	キャタピラー・ジャパン
花川 和吉	日立建機(株)
丹治 雅人	コベルコ建機(株)
漆戸 秀行	住友建機(株)
大竹 博文	(株)加藤製作所
田島 良一	古河ロックドリル(株)
鈴木 健之	施工技術総合研究所

事務局

(一社)日本建設機械施工協会

5月号「トンネル特集」予告

・道路トンネルの点検技術 ・「高規格道路ネットワークのあり方 中間とりまとめ」と「WISENET2050・政策集」 ・SENS掘進中に出現した巨大な岩塊群の撤去 ・シールド工事におけるアコースティック・エミッション技術を用いた支障物切削負荷検知システムを開発 ・シールドマシンのローラーカッター交換システムの開発 ・山岳トンネルにおける吹付けコンクリートの自動化 ・山岳トンネル工事における計測作業の遠隔化技術の開発 ・遠隔臨場による岩判定会議 ・山岳トンネル工事における最適発破自動設計施工システムを開発 ・山岳トンネル工事で超高強度吹付けコンクリートを適用 ・山岳トンネルにおける防水シート施工の自動化技術 ・鋼管膨張型ロックボルトの機械打設システムの開発 ・VR空間で遠隔地から「岩判定」トンネル工事現場の施工状況を確認できるシステムを構築 ・吹付厚さのリアルタイム計測と管理「吹付ナビゲーションシステム」を開発 ・山岳トンネルにおけるロックボルト打設の自動化

【年間定期購読ご希望の方】

- ①書店でのお申し込みが可能です。お近くの書店へお問い合わせください。
②協会本部へのお申し込みは「年間定期購読申込書」に必要事項をご記入のうえFAXをお送りください。

詳しくはHPをご覧ください。

年間定期購読料(12冊) 10,032円(税・送料込)

建設機械施工

第76巻第4号(2024年4月号)(通巻890号)

Vol.76 No.4 April 2024

2024(令和6)年4月20日印刷

2024(令和6)年4月25日発行(毎月1回25日発行)

編集兼発行人 金井道夫

印刷所 日本印刷株式会社

発行所 本部 一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番8号 機械振興会館内

電話 (03) 3433-1501; Fax (03) 3432-0289; <https://jcmanet.or.jp/>

施工技術総合研究所 〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154

電話 (0545) 35-0212

北海道支 部 〒060-0003 札幌市中央区北三条西2-8

電話 (011) 231-4428

東北支 部 〒980-0014 仙台市青葉区本町 3-4-18

電話 (022) 222-3915

北陸支 部 〒950-0965 新潟市中央区新光町 6-1

電話 (025) 280-0128

中部支 部 〒460-0002 名古屋市中区丸の内 3-17-10

電話 (052) 962-2394

関西支 部 〒540-0012 大阪市中央区谷町 2-7-4

電話 (06) 6941-8845

中国支 部 〒730-0013 広島市中区八丁堀 12-22

電話 (082) 221-6841

四国支 部 〒760-0066 高松市福岡町 3-11-22

電話 (087) 821-8074

九州支 部 〒812-0013 福岡市博多区博多駅東 2-4-30

電話 (092) 436-3322

本誌上への
の広告は



有限会社 サンタナ アートワークスまでお申し込み、お問い合わせ下さい。

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-21-5 井手口ビル4F TEL: 03-3664-0118 FAX: 03-3664-0138

E-mail: san-mich@zam.att.ne.jp 担当: 田中

FA機器の最適無線化提案

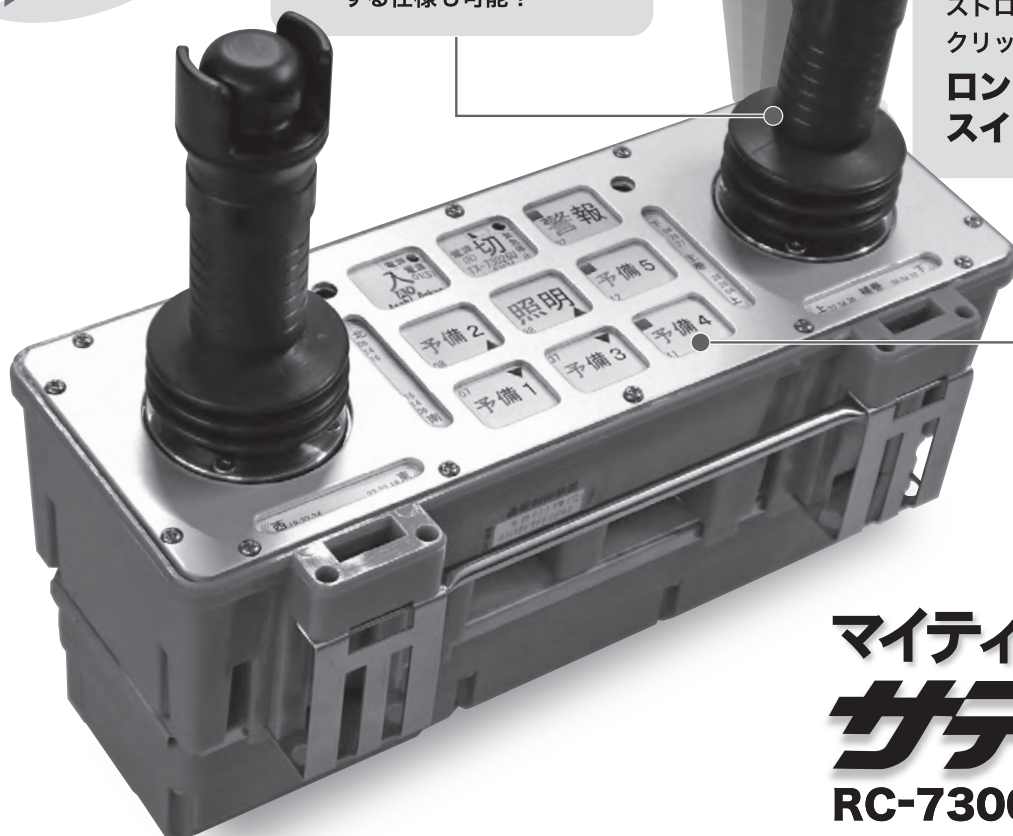
クレーン・搬送台車・建設機械・特殊車輛他
産業機械用無線操縦装置

New!

自社開発した
**3ノッチ式
ジョイスティック**
中立位置に自動復帰
する仕様も可能!

自動復帰!

ストロークが深く、
クリックがハッキリ!
**ロングストローク型
スイッチ** を標準採用



マイティ 429MHz帯・1.2GHz帯
特定小電力モデル対応
サテラ
RC-73000U/G シリーズ

スリムケーブルレス 5800シリーズ 好評発売中!

双方向データケーブルレス

**緊急停止
スイッチ** (オプション)

429MHz帯・1.2GHz帯
特定小電力モデル対応

プッシュロック、
ターンリセット型
キノコスイッチ



クレードルタイプ
充電台対応

**2段押3組
標準型**

- ・インバーター制御の
クレーンに最適!
- ・クリック感ハッキリの
ロングストローク
スイッチ

**429MHz
1216MHzが
同価格!!**



《TC-1000808S》

- ・見えない機械の制御もフィードバック!
- ・双方向制御がこの1セットで対応可能!
- ・新周波数920MHz帯を採用!



常に半歩、先を走る



朝日音響株式会社

〒771-1311 徳島県板野郡上板町引野字東原43-1 (本社工場) FAX.088-694-5544 TEL.088-694-2411
<http://www.asahionkyo.co.jp/>



無線化工事のことならフルライン、フルオーダー体制の弊社に今すぐご相談下さい。また、ホームページでも詳しく紹介していますのでご覧下さい。

朝日音響 検索

杭打工事用

パイルキーパー

海上・河川等での杭打ち作業用、
パイル保持装置

石狩湾新港洋上風力発電事業工事向け
パイルキーパー

仕様

杭 径 最大 ϕ 2500mm

杭重量 最大 90ton

開 閉 油圧駆動

前後スライド範囲 $\pm$ 900mm 油圧駆動

左右スライド範囲 $\pm$ 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、導柵治具、リーダー付



洋上風力発電ジャケット基礎杭工事



吉永機械株式会社

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

URL : www.yoshinaga.co.jp

印刷を核とした「総合サービス企業」です。

大会等の開催運営でお困りになられているお客様に対し、
当社では、資料、要旨、フライヤー等の印刷物だけでなく、
『ライブ・オンデマンド配信』、『会員限定の動画ポータル
サイトの設営』さらには、Zoom等「ハイブリット配信」、
「フルリモート配信」の運営サポートも行っております。



NPC 日本印刷株式会社

営業部 / 〒170-0013

東京都豊島区東池袋4-41-24 東池袋センタービル

電話03(5911)8660(代) <https://www.npc-tyo.co.jp/>

建設機械施工

広告掲載のご案内

月刊誌 建設機械施工では、建設機械や建設施工に関する論文や最近の技術情報・資料をはじめ、道路、河川、ダム、鉄道、建築等の最新建設報告等を好評掲載しています。

■職業別 購読者

建設機械施工／建設機械メーカー／商社／官公庁・学校／サービス会社／研究機関／電力・機械 等

■掲載広告種目

穿孔機械／運搬機械／工事用機械／クレーン／締固機械／舗装機械／切削機／原動機／空気圧縮機／積込機械／骨材機械／計測機／コンクリート機械 等

広告掲載・広告原稿デザイン——お問い合わせ・お申し込み

サンタナアートワークス

広告営業部：田中 san-mich@zam.att.ne.jp

TEL:03-3664-0118 FAX:03-3664-0138

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-21-5 井手口ビル4F

建設機械施工 カタログ資料請求票

本誌に掲載されている広告のお問い合わせ、資料の請求はこの用紙を利用し、ファクシミリなどでお送りください。

※カタログ／資料はメーカーから直送いたします。 ※カタログ送付は原則的に勤務先にお送りいたします。

お 名 前： 所 属：

会社名(校名)：

資料送付先：

電 話： F A X：

E-mail：

	広告掲載号	メーカー名	製品名
①	月号		
②	月号		
③	月号		
④	月号		
⑤	月号		

FAX 送信先：サンタナアートワークス 建設機械施工係 FAX:03-3664-0138

精密さとパワーで建設の現場を支える。

発電機・溶接機・コンプレッサは抜群の性能を誇るデンヨー製品で!



発電機

図書館内並の低騒音を実現!
静音発電機マーリエ



50Hz-7m
43dB

DCA-25MZ

溶接機

最大溶接電流500A&インバータ制御
炭酸ガスエンジン溶接機



溶接電流 500A
(炭酸ガス/カウジン/手溶接)

交流電源
三相 25 kVA

DCW-500LSE

コンプレッサ

アフタクーラ/アフタウォーマ内蔵
電子制御で低燃費&低騒音



DIS-670LS-D



●技術で明日を築く

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

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

Mikasa 

<http://www.mikasas.com>

街づくりを支える、信頼の三笠品質。



転圧センサー

バイプロコンパクター

MVH-308DSC-PAS

NETIS No. TH-120015-VE

タンピングランマー

MT-55H



MVC-F60HS

NETIS No. TH-100006-VE



MRH-601DS

低騒音指定番号5097



FX-40G/FU-162A



MCD-318HS-SGK

低騒音指定番号6190

三笠産業株式会社

MIKASA SANGYO CO., LTD. TOKYO, JAPAN

本社 〒101-0064 東京都千代田区神田猿樂町1-4-3 TEL: 03-3292-1411 (代)

大阪支店 TEL: 06-6745-9631
札幌営業所 TEL: 011-892-6920
仙台営業所 TEL: 022-238-1521
新潟出張所 TEL: 090-4066-0661

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

中国営業所 TEL: 082-875-8561
四国出張所 TEL: 087-868-5111
九州営業所 TEL: 092-431-5523
南九州出張所 TEL: 080-1013-9547

沖縄出張所 TEL: 080-1013-9328

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

ラバウンティシア 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

ウッドシア



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

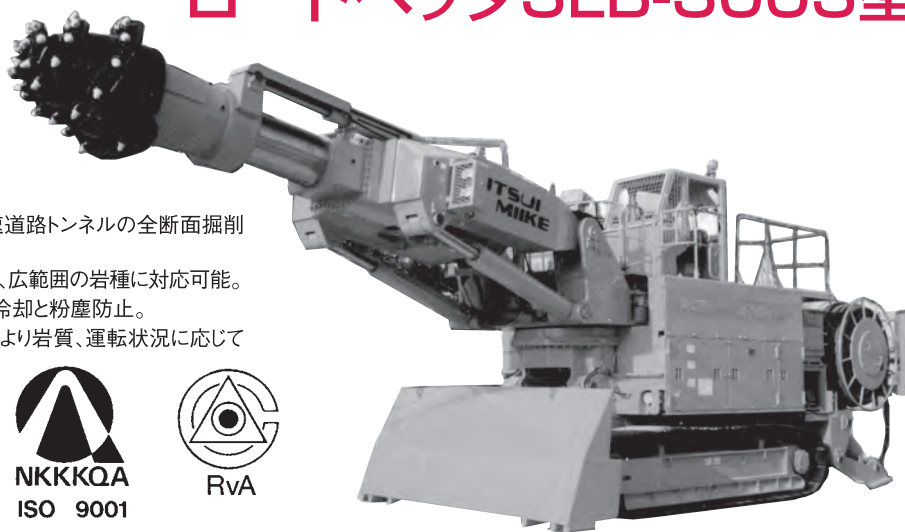
東京都世田谷区桜丘1丁目2番22号 〒156-0054
電話 03(3429)2141
FAX 03(3420)3336

安全・高能率な掘削を実現!

全断面对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对掘削が可能。
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。



製造・販売・レンタル及びメンテナンス

 株式会社 三井三池製作所

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

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

E-mail : sanki@mitsumiike.co.jp

建設機械用 無線操作装置

ダイワテレコン



ICT施工や自動制御に対応可能

ダイワテレコン872

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

取付改造実績

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

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



ハンディータイプ
使いやすさを極めた高機能・高性能
ダイワテレコン810

用途
インバータ制御機器
エンジン制御
油空圧比例制御

DAIWA TELECON
大和機工株式会社

常滑工場 〒479-0002 愛知県常滑市久米字西仲根227番
TEL: 0569-84-8582(直通) FAX: 0569-84-8857
ホームページ <http://www.daiwakiko.co.jp/>
e-mail mekatoro@daiwakiko.co.jp

貴方と
未来を
創りたい

SITECH



SITECH

Trimble
Authorized Dealer

SITECH-JAPAN.COM

サイテックジャパン株式会社 info@sitechjp.com
東京都大田区南蒲田2-16-2 テクノポート大樹生命ビル
TEL: 03-5710-2594 FAX: 03-5710-2731

雑誌 03435-4



4910034350445
00800

「建設機械施工」

定価 八八〇円 (本体八〇〇円 + 税10%)