

一般社団法人  
日本建設機械施工協会誌 (Journal of JCMA)

2022

# 建設機械施工 **2**

Vol.74 No.2 February 2022(通巻864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



福島エコクリート全景 福島復興事業の一環として設立された、  
わが国最大規模の石炭灰リサイクル施設

### 巻頭言 コンクリートのカーボンニュートラル

技術報文

- カーボンリサイクル・コンクリート「T-eConcrete®/Carbon-Recycle」の開発
- 部材製造速度を2倍にするサイトPCa用超速硬コンクリートの開発
- 廃PETを原料にリサイクルした高耐久アスファルト改質材の開発
- コンクリート舗装のひび割れ補修材およびつまり物除去工法の開発
- PC橋梁の内部鋼材破断検知ソリューション 他

行政情報

カーボンリサイクルの取り組み

交流の広場

- 凍らせて、混ぜて、溶かすだけで高い強度と成型性を持つ新しいセルローズゲル材料を開発
- 未来につながる光学レンズの可能性

統計

令和3年度 主要建設資材需要見通し

一般社団法人 日本建設機械施工協会

KOBELCO

掘削サイクル  
タイムアップ

↑  
**8%**

従来機とのHモードでの比較



新型13t 特設サイト

Performance X Design



## それは未来に挑むための 次世代のパフォーマンス。

サイクルタイムを8%向上させた掘削性や NETIS に新規登録された先進技術。  
快適性、操作性を高めたインテリアデザイン。  
数々の技術を磨き上げ、進化を遂げたSK135SRの誕生です。

**NETIS登録**

省エネ技術搭載型バックホウ  
登録番号:KT-200147-A

イーグルアイビューステム  
登録番号:KT-200085-A

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



# SK135SR

SK125SR SK130SR+

コベルコ建機株式会社

東京本社 / 〒141-8626 東京都品川区北品川 5-5-15 ☎03-5789-2111 www.kobelco-kenki.co.jp

# 令和4年度 日本建設機械施工大賞の公募について

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

令和4年度の表彰につきましても、下記により公募いたしますので、内容検討の上、奮ってご応募いただきますよう、ご案内いたします。

## 1. 表彰の目的

**大賞部門**は、我が国の建設事業における**建設機械及び建設施工に関する技術等に関して、調査・研究、技術開発、実用化等**により、その**向上・普及**に顕著な功績をあげたと認められる業績を表彰し、**地域賞部門**は、従来の施工方法・技術を**改良あるいは普及**させるなどの**取り組み**を通じて、**当該地域の事業者等で建設事業の推進に寄与したと認められる業績**を表彰し、もって**国土の利用、開発・保全及び経済・産業の発展に寄与**することを目的とします。

## 2. 表彰対象

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

## 3. 表彰の種類

表彰は、**各部門とも最優秀賞、優秀賞**とします。最優秀賞は総合的な評価の最も高かったもの、優秀賞はそれに準ずるものに与えられます。なお、ユニークなアイデアあるいは特に秀でた特徴を有するような提案があれば、選考委員会賞として表彰することもあります。

受彰者には賞状及び副賞として1件につき下記の賞金を授与します。

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

## 4. 表彰式

本協会第11回通常総会（令和4年6月16日（木）予定）終了後に行います。

## 5. 応募

「日本建設機械施工大賞応募要領」に基づく応募用紙の提出により行われます。大賞部門と地域賞部門の両方へ応募することもできますが、同一内容の業績では、両部門へ重複して応募することはできません。なお、**自薦、他薦を問いません。**

応募の詳細についてはホームページ（<http://jcmnet.or.jp>）を御覧下さい。応募の締め切りは、**令和4年2月28日（月）（必着）**です。（申し込みアドレス：nomura@jcmnet.or.jp）

## 6. 選考

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

## 7. その他

受賞業績は、概要を本協会機関誌「**建設機械施工**」及び本協会**ホームページ（HP）**に、応募業績は本協会**HP**に一覧表として掲載いたします。

以上

# 日本建設機械要覧 2022年版

近日発売のご案内

本協会では、国内における建設機械の実態を網羅した『日本建設機械要覧』を1950年より3年ごとに刊行し、現場技術者の工事計画の立案、積算、機械技術者の建設機械のデータ収集等に活用頂き、好評を頂いております。

本書は、専門家で構成する編集委員会の審査に基づき、良好な使用実績を示した国産および輸入の各種建設機械、作業船、工事用機械等を選択して写真、図面等のほか、主要緒元、性能、特長等の技術的事項、データを網羅しております。購読者の方々には欠かすことのできない実務必携書となるものと確信しております。



参考：写真は旧版（2019年版）です

## 発刊日

令和4年3月25日（予定）

## 体裁

・B5判、約1,280頁／写真、図面多数／表紙特製

## 価格（消費税10%含む）

一般価格 53,900円（本体49,000円）

会員価格 45,100円（本体41,000円）

（注）送料は1冊900円（複数冊の場合別途）

## 特典

「日本建設機械要覧 2022年版」購入の方への特典として、当協会が運営するWebサイト（要覧クラブ）上において2001年版から2019年版までの全ての日本建設機械要覧のPDF版が閲覧及びダウンロードできます。これによって2022年版を含めると1998年から2021年までの建設機械データが活用いただけます。

## 2022年版 内容

- ・ブルドーザおよびスクレーパ
- ・掘削機械
- ・積込機械
- ・運搬機械
- ・クレーン、インクラインおよびウインチ
- ・基礎工事機械
- ・せん孔機械およびブレーカ
- ・トンネル掘削機および設備機械
- ・骨材生産機械
- ・環境保全およびリサイクル機械
- ・コンクリート機械
- ・モータグレーダ、路盤機械および締め固め機械
- ・舗装機械
- ・維持修繕・災害対策用機械および除雪機械
- ・作業船
- ・ICT建機、ICT機器
- ・高所作業車、エレベータ、リフトアップ工法、横引き工法および新建築生産システム
- ・空気圧縮機、送風機およびポンプ
- ・原動機および発電・変電設備等
- ・建設ロボット
- ・WJ工法、CSG工法、タイヤ、ワイヤロープ、燃料油、潤滑剤および作動油、検査機器等

## 今後の予定

好評をいただきました2019年版につづき「日本建設機械要覧 2022年版」の電子版も作成し、より利便性の高い資料とするべく準備しております。御期待下さい。

## ◆ 購入申込書 ◆

一般社団法人 日本建設機械施工協会 行

購入申し込みは随時受け付けております。

□3/31（木）までに納品希望……（この場合本申込書は3/10までに必着で送付下さい）  
 ↑（チェックを入れてください）

日本建設機械要覧 2022年版	冊
-----------------	---

上記図書を申込み致します。令和 年 月 日

官公庁名 会社名			
所 属			
担当者氏名	④	TEL	
		FAX	
住 所	〒		
送金方法	銀行振込 ・ 現金書留 ・ その他（                      ）		
必要事項	見積書（      ）通 ・ 請求書（      ）通 ・ 納品書（      ）通 （      ）単価に送料を含む、（      ）単価と送料を2段書きにする（該当に○） お願い：指定用紙がある場合は、申込書と共に送付下さい		

### ◆ 申込方法 ◆

- ①官公庁：FAX（本部、支部共） E-mail（本部 tosho-hanbai@jcmanet.or.jp）  
 ②民 間：（本部へ申込）FAX E-mail（ " " " " ）  
 （支部へ申込）現金書留のみ（但し会員はFAX申込可）

※北海道支部はFAXのみ

※沖縄の方は本部へ申込

（注）関東・甲信・沖縄地区は本部へ、その他の地区は最寄の下記支部あてにお申込み下さい。

【お問合せ及びお申込先】

本 部	〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館	TEL 03 (3433) 1501 FAX 03 (3432) 0289
北海道支部	〒060-0003 札幌市中央区北三条西2-8 さっけんビル	TEL 011 (231) 4428 FAX 011 (231) 6630
東北支部	〒980-0014 仙台市青葉区本町3-4-18 太陽生命仙台本町ビル5F	TEL 022 (222) 3915 FAX 022 (222) 3583
北陸支部	〒950-0965 新潟市中央区新光町6-1 興和ビル	TEL 025 (280) 0128 FAX 025 (280) 0134
中部支部	〒460-0002 名古屋市中区丸の内3-17-10 三愛ビル	TEL 052 (962) 2394 FAX 052 (962) 2478
関西支部	〒540-0012 大阪市中央区谷町2-7-4 谷町スリースリースビル	TEL 06 (6941) 8845 FAX 06 (6941) 1378
中国支部	〒730-0013 広島市中区八丁堀12-22 築地ビル	TEL 082 (221) 6841 FAX 082 (221) 6831
四国支部	〒760-0066 高松市福岡町3-11-22 建設クリエイトビル	TEL 087 (821) 8074 FAX 087 (822) 3798
九州支部	〒812-0013 福岡市博多区博多駅東2-4-30 いわきビル	TEL 092 (436) 3322 FAX 092 (436) 3323

記入いただいた個人情報は、お申込図書の配送・支払い確認等の連絡に利用します。また、当協会の新刊図書案内や事業活動案内のダイレクトメール（DM）送付に利用する場合があります。

（これらの目的以外での利用はいたしません）当協会のプライバシーポリシー（個人情報保護法方針）は、ホームページ（[http://www.jcmanet.or.jp/privacy\\_policy.htm](http://www.jcmanet.or.jp/privacy_policy.htm)）でご覧いただけます。

当協会からのダイレクトメール（DM）送付が不要な方は、下記□欄にチェック印を付けてください。

当協会からの新刊図書案内や事業活動案内のダイレクトメール（DM）は不要

関係部署にも回覧をお願いします

橋梁架設工事及び設計積算業務の必携書

# 橋梁架設工事の積算

令和3年度版

∞∞∞ 改定・発刊のご案内 ∞∞∞

一般社団法人 日本建設機械施工協会

謹啓、時下益々ご清祥のこととお喜び申し上げます。

平素は当協会の事業推進について、格別のご支援・ご協力を賜り厚く御礼申し上げます。

さて、このたび国土交通省の土木工事積算基準が改定され、令和3年4月以降の工事費の積算に適用されることに伴い、また近年の橋梁架設工事の状況、実績等を勘案し、当協会では「橋梁架設工事の積算 令和3年度版」を発刊することと致しました。

なお前年度版同様、橋梁の補修・補強工事の積算に際し、その適用範囲や積算手順をわかりやすく解説した「橋梁補修補強工事積算の手引き 令和3年度版」を別冊（セット）で発刊致します。

つきましては、橋梁架設工事の設計積算業務に携わる関係各位に是非ご利用いただきたくご案内申し上げます。

敬具

## ◆内容

令和3年度版の構成項目は以下のとおりです。

- 〈本編〉 第1章 積算の体系
- 第2章 鋼橋編
- 第3章 PC橋編
- 第4章 橋梁補修
- 第5章 橋梁架設用仮設備機械等損料算定表
- 〈別冊〉 橋梁補修補強工事 積算の手引き  
(補修・補強工事積算の適用範囲・手順の解説)

## ◆改定内容

国交省基準の改定に伴う歩掛等の改定のほか、令和2年度版からの主な改定事項は以下のとおりです。

1. 鋼橋編
    - ・架設用仮設備機械組立解体歩掛の諸雑費率の改定
    - ・現場溶接用ストロングバックの名称、形状の改定
    - ・鋼製橋脚工現場溶接工歩掛の一部改定
  2. PC橋編
    - ・ポストテンション桁製作工歩掛の改定
    - ・プレキャストセグメント主桁組立工7分割歩掛の策定
    - ・ポストテンション場所打ホロースラブ橋工、ポストテンション場所打箱桁橋工、横組工のPCケーブル工歩掛の改定
    - ・セラミックインサート設置工歩掛の策定
  3. 橋梁補修編
    - ・疲労き裂の諸雑費率内訳と1箇所定義を掲載
    - ・湿式剥離剤工法における環境対策資機材及び安全衛生保護具の説明文と使用数量の改定
    - ・積算例の改定
- 別冊「橋梁補修補強工事 積算の手引き」
- ・本編改定内容を反映



● A4判／本編約 1,050 頁（カラー写真入り）  
別冊約 200 頁 セット

### ●定価

一般価格：11,000 円（本体 10,000 円）  
会員価格：9,350 円（本体 8,500 円）

※ 別冊のみの販売はいたしません。

※ 送料は別途。

※ また、複数または他の発刊本と同時に申込みの場合についても送料は別途とさせていただきます。

●発刊 令和3年5月26日

関係部署にも御回覧をお願いします。

大口径・大深度の削孔工法の設計積算に欠かせない必携書

# 大口径岩盤削孔工法の積算

## 令和2年度版

∞∞∞ 改訂・発刊のご案内 ∞∞∞

令和2年5月 一般社団法人 日本建設機械施工協会

謹啓、時下益々ご清祥のこととお喜び申し上げます。  
平素は当協会の事業推進について、格別のご支援・ご協力を賜り厚く御礼申し上げます。  
本協会では、令和元年9月に「大口径岩盤削孔工法の積算 令和元年度版」を発刊し、関係する技術者の方々に広くご利用いただいております。

さて、このたび国土交通省の土木工事積算基準が改正され、令和2年4月1日以降の工事費の積算に適用されること等に伴い、当協会では、これまで隔年で発刊しておりました大口径岩盤削孔工法の積算を改定し「大口径岩盤削孔工法の積算 令和2年度版」を発刊することと致しました。

つきましては、大口径岩盤削孔工事の設計積算業務に携わる関係各位の皆様には是非ご利用いただきたくご案内申し上げます。 敬具

### ◆ 内容

令和2年度版の構成項目は以下のとおりです。

第1編 適用範囲	第2編 工法の概要
第3編 アースオーガ掘削工法の標準積算	第4編 パーカッション掘削工法の標準積算
第5編 ケーシング回転掘削工法の標準積算	第6編 建設機械等損料表

### ◆ 改訂内容

令和元年度版からの主な改訂事項は以下のとおりです。

#### 国土交通省土木工事標準積算の改正に伴う改訂

アースオーガ掘削工法に用いるクローラ  
クレーンの排出ガス対策型への移行  
標準積算例に解りやすく解説  
国土交通省基準に準拠した機械等損料表の改定  
最新の施工実績に更新

● A4判／約230頁（カラー写真入り）

● 価格

一般価格：本体6,000円＋消費税

会員価格：本体5,100円＋消費税

※ 送料は一般・会員とも

沖縄県以外 700円

沖縄県 450円（但し県内に限る）

※ なお送料について、複数又は他の発刊本と同時に申込みの場合は別途とさせていただきます。

● 発刊 令和2年5月15日



# 令和3年度版 建設機械等損料表

- 発売日 : 令和3年5月7日
- 体裁 : A4判 モノクロ 約480ページ
- 定 価 : 一般価格 8,800円 (本体8,000円+税10%)  
          会員価格 7,480円 (本体6,800円+税10%)  
          【郵送を希望される場合は、送料別途となります】

## ■ 内容

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



一般社団法人 日本建設機械施工協会

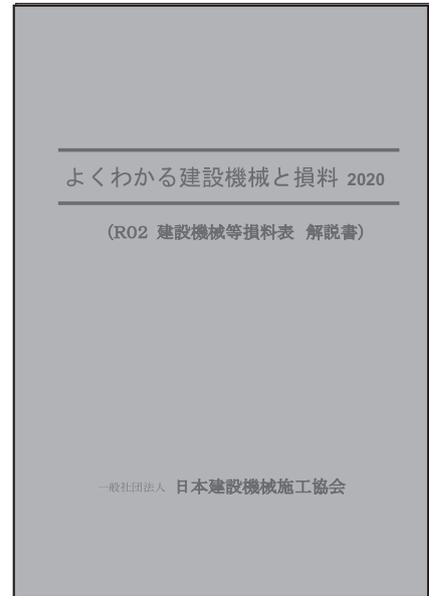
## 「令和2年度版 建設機械等損料表」の解説書 「よくわかる建設機械と損料 2020」の発売について

一般社団法人 日本建設機械施工協会(会長:田崎 忠行)は、5月下旬に書籍「よくわかる建設機械と損料 2020」を下記の通り発売します。

本書は先に発刊した書籍「令和2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効・有益な資料と考えます。是非ご活用下さい。

なお今回、解説文の文字を大きくしています。



書籍の表紙イメージ

\*\*\*\*\* 記 \*\*\*\*\*

■発売日：令和2年5月

■体裁：A4判、一部カラー、約330ページ

■本体価格(税別・送料別)

一般：6,000円

会員：5,100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) R02損料算定表の主な改正点を表にして紹介
- (4) 19件の関連通達・告示類の位置付けと要旨を解説
- (5) 建設機械器具のコード体系を大分類別に図示
- (6) 損料算定表に掲載の大半の機械器具について、その概要・特徴を写真・図を添えて紹介
- (7) 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
- (8) 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 \*\*\*\*\*

■お問い合わせ先

東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館内)

一般社団法人 日本建設機械施工協会 (TEL:03-3433-1501)

# 2019年版 日本建設機械要覧 電子書籍(PDF)版 発売通知

当協会では、国内における建設機械を網羅した『日本建設機械要覧』を2019年3月に刊行し、現場技術者の工事計画の立案、積算、機械技術者の建設機械のデータ収集等に活用頂き、好評を頂いております。

このたびこの建設機械要覧に関して更に便利に活用いただくよう新たに次の2種類の電子書籍（PDF）版を発売いたしますので、ここにご案内申し上げます。

是非とも活用いただきたく、お願い申し上げます。

1	商品名	日本建設機械要覧2019 電子書籍（PDF）版	建設機械スプック一覧表、 電子書籍（PDF）版	
2	形態	電子書籍（PDF）	電子書籍（PDF）	
3	閲覧	Web上で閲覧 パソコン、タブレット、 スマートフォンからアクセス	Web上で閲覧 パソコン、タブレット、 スマートフォンからアクセス	
4	内容	要覧全頁	spec一覧表	
5	改訂	3年毎	3年毎	
6	新機種情報	要覧クラブで対応	要覧クラブで対応	
7	検索機能	1.単語検索	1.単語検索	
8	附属機能 注) タブレット・スマートフォンは、 一部機能が使えません。	・しおり ・拡大・縮小 ・付箋機能 ・ペン機能 ・目次からのリンク ・各 章ごと目次からのリンク ・索引からの リンク ・メーカーHPへのリンク	・しおり ・拡大・縮小 ・付箋機能 ・ペン機能 ・メーカーHPへのリンク	
9	予定販売 価格 (円・税込)	会員	55,000（3年間）	49,500（3年間）
		非会員	66,000（3年間）	60,500（3年間）
10	利用期間	3年間	3年間	
11	同時ログイン	3台	3台	
12	認証方法	ID+パスワード	ID+パスワード	
13	購入方法	WEB上にて申込み（HP参照下さい）	WEB上にて申込み（HP参照下さい）	

## 発売時期

令和元年5月 HP : <http://www.jcmanet.or.jp/>

様々な環境で閲覧できます。  
タブレット、スマートフォンで外出先でもデータ  
にアクセスできます。

## Webサイト 要覧クラブ

2019年版日本建設機械要覧およびスプック一覧表電子書籍（PDF）版購入の方への特典として、当協会が運営するWebサイト（要覧クラブ）上において2001年版から、2016年版日本建設機械要覧のPDF版が閲覧及びダウンロードできます。これによって2019年版を含めると1998年から2018年までの建設機械データが活用いただけます。

また、同じ要覧クラブ上で新機種情報も閲覧およびダウンロードできます。



お問合せ先：業務部 鈴木英隆 TEL：03-3433-1501 E-mail：suzuki@jcmanet.or.jp

# 2019年版 日本建設機械要覧

## 発売のご案内

本協会では、国内における建設機械の実態を網羅した『日本建設機械要覧』を1950年より3年ごとに刊行し、現場技術者の工事計画の立案、積算、機械技術者の建設機械のデータ収集等に活用頂き、好評を頂いております。

本書は、専門家で構成する編集委員会の審査に基づき、良好な使用実績を示した国産および輸入の各種建設機械、作業船、工事用機械等を選択して写真、図面等のほか、主要緒元、性能、特長等の技術的事項、データを網羅しております。購読者の方々には欠かすことのできない実務必携書となるものと確信しております。



### 発刊日

平成31年3月

### 体裁

- ・B5判、約1,276頁／写真、図面多数／表紙特製
- ・2016年版より外観を大幅に刷新しました。

### 価格（消費税10%含む）

一般価格 53,900円（本体49,000円）

会員価格 45,100円（本体41,000円）

（注）送料は1冊900円（複数冊の場合別途）

### 特典

2019年版日本建設機械要覧購入の方への特典として、当協会が運営するWebサイト（要覧クラブ）上において2001年版から2016年版までの全ての日本建設機械要覧のPDF版が閲覧及びダウンロードできます。これによって2019年版を含めると1998年から2018年までの建設機械データが活用いただけます。

なお同じ要覧クラブ上で2019年版要覧以降発売された新機種情報もご覧いただけます。

### 2019年版 内容

- ・ブルドーザおよびスクレーパ
- ・掘削機械
- ・積込機械
- ・運搬機械
- ・クレーン、インクラインおよびウインチ
- ・基礎工事機械
- ・せん孔機械およびブレーカ
- ・トンネル掘削機および設備機械
- ・骨材生産機械
- ・環境保全およびリサイクル機械
- ・コンクリート機械
- ・モータグレーダ、路盤機械および締固め機械
- ・舗装機械
- ・維持修繕・災害対策用機械および除雪機械
- ・作業船
- ・ICT建機、ICT機器（新規）
- ・高所作業車、エレベータ、リフトアップ工法、横引き工法および新建築生産システム
- ・空気圧縮機、送風機およびポンプ
- ・原動機および発電・変電設備等
- ・建設ロボット
- ・WJ工法、CSG工法、タイヤ、ワイヤロープ、燃料油、潤滑剤および作動油、検査機器等

# 論文投稿のご案内

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

当協会ホームページ <http://www.jcmanet.or.jp>

## ★投稿対象

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

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

## ★部門

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

## ★投稿資格

原稿の投稿者は個人とし、会員資格の有無は問いません。

## ★原稿の受付

随時受け付けます。

## ★公表の方法

当協会機関誌へ掲載します。

★機関誌への掲載は有料です。

★その他：優秀な論文の表彰を予定しています。

## ★連絡先

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 (機械振興会館)

日本建設機械施工協会 研究調査部 論文担当

E-mail : ronbun@jcmanet.or.jp

TEL : 03 - 3433 - 1501

FAX : 03 - 3432 - 0289

## ◆ 日本建設機械施工協会『個人会員』のご案内

会費：年間 9,000円(不課税)

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

### ★個人会員の特典

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

この機会に是非ご入会下さい!!

## ◆一般社団法人 日本建設機械施工協会について

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

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

### 一般社団法人 日本建設機械施工協会とは…

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

#### ■会員構成

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

#### ■主な事業活動

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

#### ■主な出版図書

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

その他、日本建設機械施工協会の活動内容はホームページでもご覧いただけます！

<http://www.icmanet.or.jp/>

※お申し込みには次頁の申込用紙をお使いください。

### 【お問い合わせ・申込書の送付先】

一般社団法人 日本建設機械施工協会 個人会員係  
〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館2F  
TEL:(03)3433-1501 FAX:(03)3432-0289

一般社団法人 日本建設機械施工協会 会長 殿

下記のとおり、日本建設機械施工協会 個人会員に入会します。

令和 年 月 日

個人会員入会申込書	
ふりがな	生年月日
氏名	昭和 平成 年 月 日
勤務先名	
所属部課名	
勤務先住所	〒 TEL _____ E-mail _____
自宅住所	〒 TEL _____ E-mail _____
機関誌の送付先	勤務先 自宅 (ご希望の送付先に○印で囲んで下さい。)
その他 連絡事項	令和 年 月より入会

**【会費について】年間 9,000円(不課税)**

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

**【その他ご入会に際しての留意事項】**

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

**【個人情報の取扱いについて】**

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

No.	発行年月	図 書 名	一般価格 (税込)	会員価格 (税込)	送料
1	R 3年 9月	道路除雪施工の手引	4,950	3,960	700
2	R 3年 5月	橋梁架設工事の積算 令和3年度版	11,000	9,350	900
3	R 3年 5月	令和3年度版 建設機械等損料表	8,800	7,480	700
4	R 3年 1月	情報化施工の基礎 ～i-Constructionの普及に向けて～	2,200	1,870	700
5	R 2年 5月	よくわかる建設機械と損料 2020	6,600	5,610	700
6	R 2年 5月	大口径岩盤削孔工法の積算 令和2年度版	6,600	5,610	700
7	R 2年 5月	令和2年度版 建設機械等損料表	8,800	7,480	700
8	R 元年 9月	大口径岩盤削孔工法の積算 令和元年度版	6,600	5,610	700
9	R 元年 6月	日本建設機械要覧2019年電子書籍(PDF)版	66,000	55,000	-
10	R 元年 6月	建設機械スペッカー一覧表2019年電子書籍(PDF)版	60,500	49,500	-
11	R 元年 5月	令和元年度版 建設機械等損料表	8,800	7,480	700
12	H31年 3月	日本建設機械要覧 2019年版	53,900	45,100	900
13	H30年 8月	消融雪設備点検・整備ハンドブック	13,200	11,000	700
14	H30年 5月	よくわかる建設機械と損料 2018	6,600	5,610	700
15	H29年 4月	ICTを活用した建設技術(情報化施工)	1,320	1,100	700
16	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	700
17	H25年 6月	機械除草安全作業の手引き	990	880	250
18	H23年 4月	建設機械施工ハンドブック(改訂4版)	6,600	5,604	700
19	H22年 9月	アスファルトフィニッシャの変遷	3,300		700
20	H22年 9月	アスファルトフィニッシャの変遷【CD】	3,300		250
21	H22年 7月	情報化施工の実務	2,200	1,885	700
22	H21年 11月	情報化施工ガイドブック2009	2,420	2,200	700
23	H20年 6月	写真でたどる建設機械200年	3,080	2,608	700
24	H19年 12月	除雪機械技術ハンドブック	3,143		700
25	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	2,933	700
26	H17年 9月	建設機械ポケットブック(除雪機械編)	1,048		250
27	H16年 12月	2005「除雪・防雪ハンドブック」(除雪編)**	5,238		250
28	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)**	3,520		250
29	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	1,540	700
30	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		700
31	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		700
32	H15年 6月	地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル	550		250
33	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	6,160	700
34	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)	2,724	2,410	700
35	H11年 10月	機械工事施工ハンドブック 平成11年度版	8,360		700
36	H11年 5月	建設機械化の50年	4,400		700
37	H11年 4月	建設機械図鑑	2,750		700
38	H10年 3月	大型建設機械の分解輸送マニュアル**	3,960	3,520	250
39	H9年 5月	建設機械用語集	2,200	1,980	700
40	H6年 8月	ジオスペースの開発と建設機械	8,382	7,857	700
41	H6年 4月	建設作業振動対策マニュアル	6,286	5,657	700
42	H3年 4月	最近の軟弱地盤工法と施工例	10,266	9,742	700
43	S 63年 3月	新編 防雪工学ハンドブック【POD版】	11,000	9,900	700
44	S 60年 1月	建設工事に伴う濁水対策ハンドブック**	6,600		250
45		建設機械履歴簿	419		250
46	毎月 25日	建設機械施工	880	792	700
			定期購読料 年12冊 9,408円(税・送料込)		

購入のお申し込みは当協会 HP <http://www.jcmanet.or.jp> の出版図書欄の「ご購入方法」から「図書購入申込書」をプリントアウトし、必要事項をご記入のうえ、FAX またはメール添付してください。

※については当協会 HP <http://www.jcmanet.or.jp> の出版図書欄をご参照ください。

# 新しい建設材料, コンクリート工, コンクリート構造

特集

巻頭言

行政情報

特集・  
技術報文

## 4 コンクリートのカーボンニュートラル

河合 研至 広島大学 大学院先進理工系科学研究科 社会基盤環境工学プログラム 教授

## 5 カーボンリサイクルの取り組み

コンクリート分野を中心に

土屋 博史 経済産業省 資源エネルギー庁 長官官房 カーボンリサイクル室長/資源・燃料部 石炭課長

## 13 カーボンリサイクル・コンクリート

### 「T-eConcrete<sup>®</sup>/Carbon-Recycle」の開発

カーボンネガティブを実現した鉄筋コンクリートの実用化を開始

大脇 英司 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 主幹研究員

荻野 正貴 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 副主任研究員

## 18 i-Construction の実現に寄与する環境配慮型コンクリートの 活用に関する提案

坂田 昇 鹿島建設(株) 執行役員 土木管理本部 土木技術部長

村上 陸太 ㈱竹中工務店 常務執行役員 技術本部長

## 22 暑中期のコンクリート工事の施工性を改善できる

### 新しい暑中コンクリートの開発 サンワーク<sup>®</sup>

伊佐治 優 ㈱大林組 技術研究所 生産技術研究部

桜井 邦昭 ㈱大林組 技術研究所 生産技術研究部 主任研究員

## 27 コンクリート締固め管理システムを開発

AIを活用し締固め状況を可視化

仲条 仁 ㈱ Create-C 代表取締役/CEO

宇野 昌利 清水建設(株) 土木技術本部 インノベーション推進部 主査

山口 浩 清水建設(株) 土木技術本部 基盤技術部

## 33 部材製造速度を2倍にするサイトPCa用超速硬コンクリート の開発

超速硬コンクリート「Site-ハイファード」をロジポート加須に初適用

西岡由紀子 ㈱竹中工務店 技術研究所 建設基盤技術研究部門 建設材料グループ 研究員

小島 正朗 ㈱竹中工務店 技術研究所 建設基盤技術研究部門 建設材料グループ グループリーダー

深沢 茂臣 ㈱竹中工務店 東京本店 技術部

## 38 木造と鉄骨造が組合わされた混構造建物の施工

熊谷組福井本店の建設

佐部 哲治 ㈱熊谷組 北陸支店建築部

増子 寛 ㈱熊谷組 建築事業本部 中大規模木造建築推進室室長 兼 建築技術統括部技術推進部長

## 46 プレキャスト栈橋上部工の施工合理化工法の開発

鋼管杭の打込み誤差に柔軟に対応できる鉄骨差込み接合構造

網野 貴彦 東亜建設工業(株) 技術研究開発センター 新材料・リニューアル技術グループ グループリーダー

田中 亮一 東亜建設工業(株) 技術研究開発センター 新材料・リニューアル技術グループ 主任研究員

若松 宏知 東亜建設工業(株) 土木事業本部 設計部第二課 課長

## 52 タブレットを用いたダムの敷均し・締固め管理

和辻総一郎 安藤ハザマ 建設本部 土木技術統括部

## 56 生産性向上を目指した鉄道高架橋のプレキャスト化への取り組み

安保 知紀 鉄建建設(株) 建設技術総合センター 研究開発センター 主幹研究員

松本 浩一 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 工事管理室 副課長

石橋 忠良 JR 東日本コンサルタンツ(株) 技術統括

## 62 世界初, 自己治癒コンクリートの大量製造 バジリスク

劉 宏涛 會澤高圧コンクリート(株) 技術研究所 主席研究員 博士(工学)

	67	廃PETを原料にリサイクルした高耐久アスファルト改質材の開発 ニュートラック 5000 高見 承志 花王(株) ケミカル事業部門 機能材料事業部 エコインフラ
	71	コンクリート舗装のひび割れ補修材およびつまり物除去工法の開発 簡易施工で高耐久・LCC 低減可能なコンクリート舗装の補修方法 鈴木 将充 東急建設(株) 技術研究所 土木材料グループ 主任研究員 原 毅 世紀東急工業(株) 技術本部 技術研究所 主任研究員
	77	PC 橋梁の内部鋼材破断検知ソリューション 磁気センシングと IoT によるデータ解析で内部鋼材破断を即検知 SenrigaN 森田 博 コニカミノルタ(株) ビジネスイノベーションセンタージャパン SenrigaN プロジェクトマネージャー 橋本 好之 コニカミノルタビジネスアソシエイツ(株) 事業開発室 事業開発グループ 高倉 一徳 コニカミノルタビジネスアソシエイツ(株) 事業開発室 事業開発グループ
	83	福島復興事業としての石炭灰リサイクルの取り組み フライアッシュを主原料にした環境に優しい建設資材「OR クリート」 横田 季彦 福島エコクリート(株) 代表取締役社長
	89	新たなコンクリートスラグ骨材－石炭ガス化スラグ細骨材 松浦 忠孝 東京電力ホールディングス(株) 技術・戦略ユニット 土木建築統括室 総合エンジニアリンググループ
交流のひろば	94	凍らせて、混ぜて、溶かすだけで高い強度と成型性を持つ新しいセルローズゲル材料を開発 関根由莉奈 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 物質科学研究センター 研究副主任
	98	未来につながる光学レンズの可能性 川口 浩司 (株)タムロン R&D 技術センター 研究開発部 新事業推進課 課長
ずいそう	101	複合体の隠し味 山川 勉 鉄建建設(株) 建設技術総合センター、研究開発センター
	104	剣道との再会 浅野 公隆 三洋テクニクス(株) 代表取締役社長、日本建設機械施工協会東北支部 広報部会長
統計	106	令和3年度 主要建設資材需要見通し 国土交通省 不動産・建設経済局 建設市場整備課
	110	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
	111	行事一覧 (2021年12月)
	114	編集後記 (佐藤・竹田)

◇表紙写真説明◇

福島エコクリート全景 福島復興事業の一環として設立された、  
わが国最大規模の石炭灰リサイクル施設

写真提供：福島エコクリート(株)

東日本大震災及び原子力災害によって失われた福島県浜通り地域等の産業回復を目的とした「福島イノベーション・コースト構想」の一環として設立されたわが国最大規模の石炭灰リサイクル施設。

避難解除地区における新規雇用創出、福島浜通りの石炭灰リサイクルによる産業廃棄物の地産地消、復興工事への建設資材の供給を実現することを事業目標に運営されている。

敷地面積は約3haで、年間約6万tの石炭灰を受入れ、年間約8万tの人工碎石を製造して、県内の建設工事に供給している。

## 巻頭言

# コンクリートのカーボンニュートラル

河合 研 至



セメント・コンクリートの分野においても、カーボンニュートラルに向けた取組みが、にわかに進んでいる。コンクリートを構成するセメントの製造時のCO<sub>2</sub>排出量が多いため、結果的にセメントを使用したコンクリート製造に伴うCO<sub>2</sub>排出量は多くなり、コンクリート製造に伴う年間のCO<sub>2</sub>排出量は、国内における総CO<sub>2</sub>排出量の数%以上は占めているものと思われる。それだけに、セメント・コンクリート分野におけるCO<sub>2</sub>排出量削減は、国内における総CO<sub>2</sub>排出量の削減に大きく貢献するものとなり得る。しかし、セメント製造に伴うCO<sub>2</sub>排出は、焼成時等のエネルギー起源によるものばかりではなく、原料である石灰石から酸化カルシウムを得る際の脱炭酸に伴うCO<sub>2</sub>の排出が排出量の約6割を占めているため、CO<sub>2</sub>排出量の削減は容易ではない。したがって、セメントを結合材として用いる限りにおいて、コンクリートのカーボンニュートラルはそうたやすく達成できるものではない。

コンクリートのライフサイクルを考えたとき、構成材料からコンクリートが製造され、そのコンクリートを用いて構造物が建造され、構造物の供用中に維持管理が行われ、場合によっては補修・補強がなされ、最終的に解体・撤去となって廃棄あるいは再生材としてリサイクルされるといった過程をたどる。試算によると、ある規模の鉄筋コンクリートを想定した場合、ライフサイクルのなかでそれぞれの過程におけるCO<sub>2</sub>排出量が占める割合は、構成材料の製造過程が84.9%、施工過程が4.9%、解体過程が5.3%、廃棄・リサイクル過程が1.2%、各過程に関連する輸送が3.6%となり、圧倒的に構成材料の製造過程におけるCO<sub>2</sub>排出量が高く、その主要因はセメントと鋼材の製造時に発生するCO<sub>2</sub>である。ただし、ここでは、維持管理過程については、構造物によって点検や補修の頻度が大きく異なってくることから省略されている。上記の数値からも、建設時の材料とりわけコンクリートのカーボンニュートラルを積極的に図る必要性がう

かがえる。

しかしその一方で、高速道路の床版補修のような大規模補修を例として、維持管理過程をみると、RC床版打替え補修の場合、セメント、鋼材など材料に起因するCO<sub>2</sub>排出量の割合は全体の42.0%であるのに対して、ウォータージェットやブレーカーを使用した解体作業に伴うCO<sub>2</sub>排出量の割合が全体の48.8%と、材料に起因する排出量を上回る割合を占めるといった結果も得られている。機械類を稼働させる燃料消費に伴うCO<sub>2</sub>排出量の多さを示すものであるが、このような補修工事に限らず、建設現場において機械類を稼働させるために使用する化石燃料の消費を如何にして最小限に抑えられるかは、今後大きな課題となってくるであろう。

カーボンニュートラルを推進するなかで、是非とも留意を願いたいのは、CO<sub>2</sub>のみが環境問題ではない点である。例えばコンクリートの場合、セメント製造は年間で国内総CO<sub>2</sub>排出量の数%を占めていることは確かであるが、その一方で、国内における資源循環量の11~12%に相当する廃棄物・副産物を活用している。CO<sub>2</sub>排出量削減のためにセメント製造量を削減することは、国内における廃棄物・副産物の資源循環を停滞させることにつながりかねないのである。カーボンニュートラルを目指すために取る方策が、他の環境側面に対していかなる影響を及ぼすのかを検討することが重要であると考えられる。先に例示したRC床版打替え補修の場合、CO<sub>2</sub>排出量に関しては材料製造由来が42.0%、解体作業由来が48.8%であるが、NO<sub>x</sub>排出量、ばいじん排出量に関しては材料製造由来がそれぞれ8.9%、5.1%、解体作業由来がそれぞれ82.1%、80.6%と全く異なるのである。カーボンニュートラルの推進は、他の環境負荷の低減も最適化するものであって欲しい。

行政情報

# カーボンリサイクルの取り組み

## コンクリート分野を中心に

土屋 博史

カーボンリサイクルは、カーボンニュートラルを実現するためのキーテクノロジーである。政府としては、カーボンリサイクル技術ロードマップの策定、グリーンイノベーション基金をはじめとする技術開発・実証、国際展開等を通じて、産学の取り組みを後押ししている。本稿では、カーボンリサイクルに係る政府の取り組みや国内外の動向、カーボンリサイクル技術の社会実装に向けた技術開発プロジェクト等を紹介する。

キーワード：カーボンリサイクル, カーボンニュートラル, グリーンイノベーション基金, CO<sub>2</sub> 排出削減・最大化コンクリート

### 1. はじめに

カーボンリサイクルとは、CO<sub>2</sub> を資源として捉え、これを分離・回収し、例えば鉱物化によりコンクリート等の付加価値のある製品へ再利用する取組である(図-1, 2)。

例えば、先行事例の一つであるCO<sub>2</sub>を再利用したコンクリートは、国内外で研究開発・実証が進み、一部商用化されつつある。コンクリート・セメント分野には、様々な技術・製品があるが、一例としては、化学工場等から排出される消石灰から、CO<sub>2</sub>を吸収して固まる材料を製造し、これをコンクリート製造に使用することで、製造プロセスでCO<sub>2</sub>を吸収することな

ごにより、CO<sub>2</sub> 排出を削減することが可能である。

多様なカルシウム等含有廃棄物から、効果的にカルシウム等を抽出・再利用し、CO<sub>2</sub>をコンクリート・セメント生成物等に取り込み活用する技術をはじめ、多岐に亘り取り組みが進んでいる。CO<sub>2</sub> 排出削減・固定量の最大化、コスト低減、セメント生産工程におけるCO<sub>2</sub> 排出削減等を実現し、多様な技術を組み合わせることで持続的な資源循環システムを確立することが重要である(図-3)。

カーボンリサイクルの意義としては、①温室効果ガスを直接的に削減、②水素や再生可能エネルギーの拡大と相乗効果がある、そして最も重要な要素は、③多様な業種が、それぞれの事業分野において、既存イン

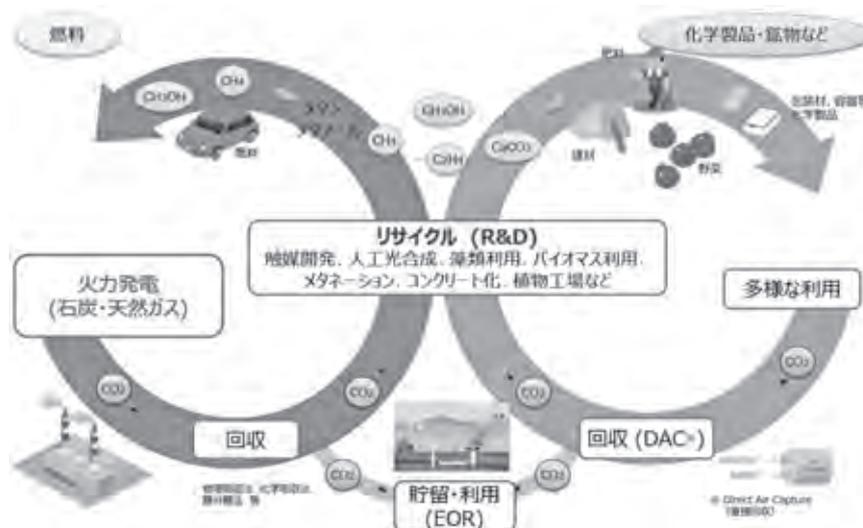
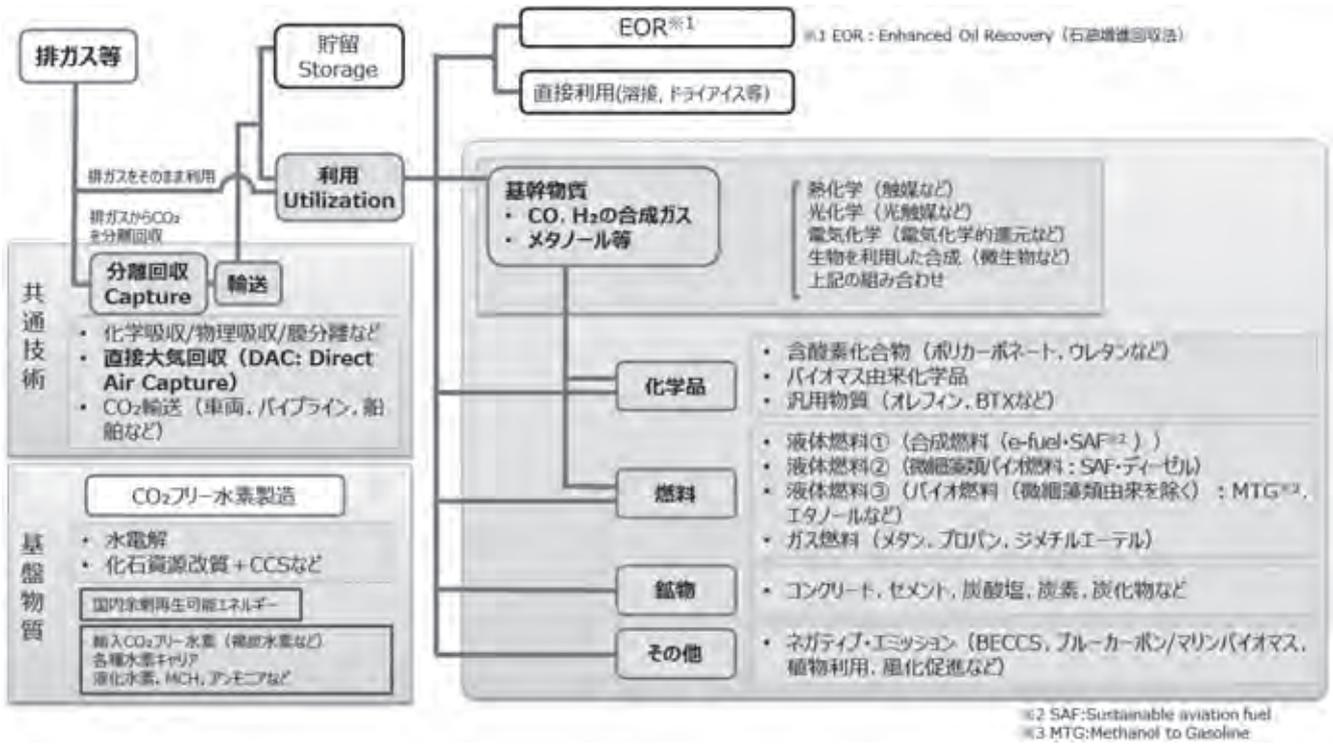
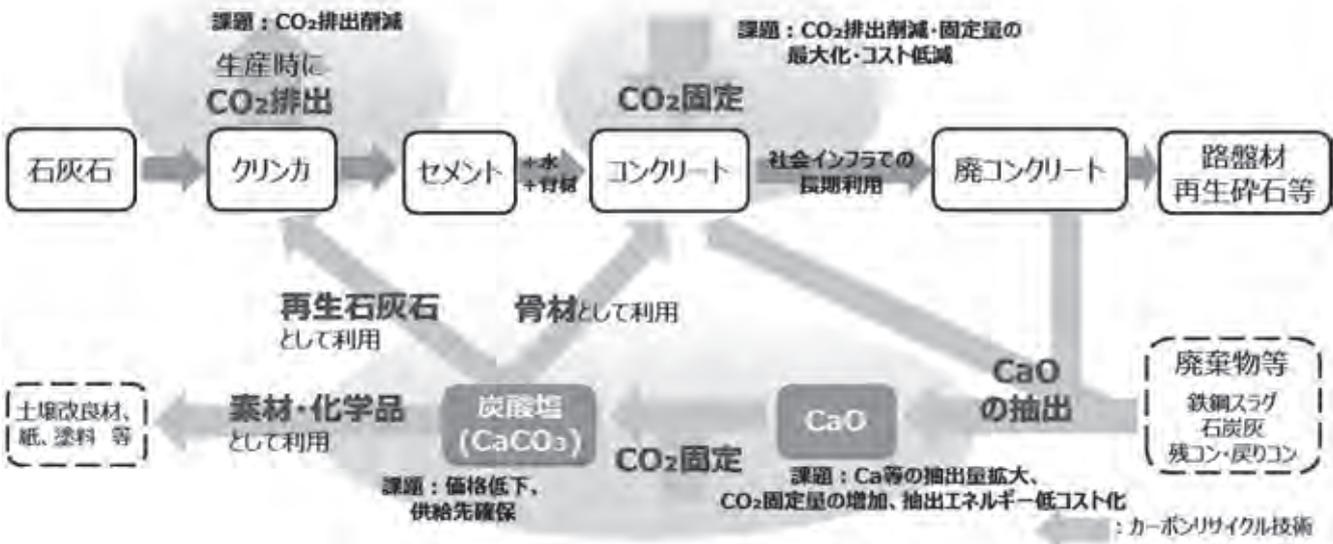


図-1 カーボンリサイクルの概念図①



図ー2 カーボンサイクルの概念図②



図ー3 コンクリート・セメントの全体像

フラを活用して取り組むことが可能な点である。日本のみならず、アメリカ、ドイツ等でも開発・実用化が本格化し始めており、本稿では、カーボンサイクルに係る政府の取り組みや国内外の動向、カーボンサイクル技術の社会実装に向けた技術開発プロジェクト等を紹介する。

## 2. 関連する政府の方針、取り組み

### (1) 政府の方針

2020年10月、2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すことが宣言された。また、2021年10月、第6次エネルギー基本計画が閣議決定され、2030年度に温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目指し、さらに、50%の高みに向けて挑戦を続けるとの方針が示された。

こうした野心的な目標に挑戦するべく、2020年12月に「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」（グリーン成長戦略）が策定された。この中で、カーボンリサイクルはカーボンニュートラル社会を実現するためのキーテクノロジーとして重要分野の一つに位置づけられ、カーボンリサイクル産業実行計画が策定された（図—4）。

さらに、2021年6月に具体化されたグリーン成長戦略では、より具体的に今後の取組方針が示された。この中で、カーボンリサイクル産業実行計画も、内容の深堀とともに分野が大幅に拡充された。追加分野として、鉱物ではセメント、燃料では代替航空燃料(SAF)、合成燃料、合成メタン、グリーンLPG、そして様々なプラスチック原料等がある。カーボンリサイクル技術の社会実装に向け、グリーンイノベーション基金の活用も視野に入れつつ、技術的課題の解決を図るとともに、国内外への普及を戦略的に進めることで、カーボンリサイクル分野における脱炭素化の実現、もってカーボンニュートラル社会の実現に貢献することを目指している。

(2) カーボンリサイクル技術ロードマップ

具体的な取り組みの一つとして、カーボンリサイクル技術・製品を社会実装していく道筋を示すべく、経済産業省は2019年6月、有識者会議による検討を踏まえて「カーボンリサイクル技術ロードマップ」を策定した。同ロードマップでは、カーボンリサイクル技

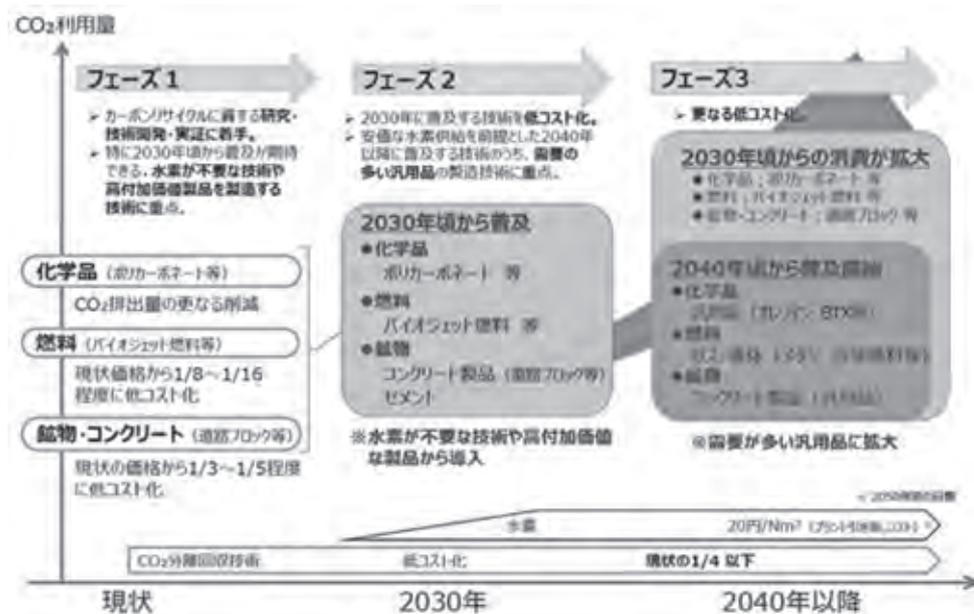
術の、目標、技術課題、タイムフレーム（フェーズ毎の目指すべき方向性）を設定することで、広く国内外の政府・民間企業・投資家・研究者など関係者に共有することにより、イノベーションを加速することを目的としている。さらに、2021年7月には最新動向を踏まえて改訂した（図—5）。ポイントは3点である。

1つ目は、進展のあった新たな技術分野であるDAC（Direct Air Capture）や合成燃料を、今後取り組むべき分野としてロードマップ上に新たに追記した点である。DACとは、大気中から直接CO<sub>2</sub>を分離回収する革新的な技術である。今後は大気中からの高効率なCO<sub>2</sub>回収方法の技術開発を進め、低コスト化を通じて、実用化を目指していく。また、合成燃料とはCO<sub>2</sub>と水素を合成して製造される燃料である。CO<sub>2</sub>の分離回収技術と組み合わせることによりCO<sub>2</sub>を再利用できることから、カーボンニュートラルな脱炭素燃料とみなすことができる。既存の燃料インフラが活用できるため、将来的には導入コストを抑えることが可能であり、2050年にガソリン価格以下のコストを実現すること等を目標として、商用化に向けた技術開発を推進していく。

2つ目は、カーボンリサイクル製品（汎用品）の普及開始時期を2040年頃に前倒しした点である。同ロードマップ初版では、現時点で高コストな水素を使用せずに製造できる製品や高付加価値品の普及時期を2030年頃とし、技術開発やコストダウンが中長期に及ぶ汎用品の普及時期を2050年頃と設定していた。

	現状と課題	今後の取組
コンクリート・セメント	<p><b>CO<sub>2</sub>を吸収して造るコンクリートは実用化済だが、市場が限定的</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・現状のCO<sub>2</sub>-SUICOMはコスト高。 (=既存コンクリートの約3倍の100円/kg)</li> <li>・CO<sub>2</sub>吸収量が限定的。コンクリートの中の鉄骨が錆やすいため（CO<sub>2</sub>吸収により酸化しやすくなるため）、用途限定。</li> </ul>	<p><b>公共調達を活用し販路拡大・コスト低減</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・コスト目標として、2030年に、需要拡大を通じて既存コンクリートと同価格（=30円/kg）を目指す。2050年に、防錆性能を持つ新製品を建築用途にも使用可能とする。</li> <li>・市場規模は、2030年時点で、世界で約15~40兆円を見込む。</li> </ul> <p>①公共調達による販路拡大</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・新技術に関する国交省データベース（NETIS）にCO<sub>2</sub>吸収型コンクリートを登録。国・地方自治体による公共調達を拡大。2025年日本国際博覧会でも導入を検討。さらに、国際標準化を通じ、アジアへの販路も拡大。</li> </ul> <p>②変化する販路拡大</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・防錆性能を持つ新製品を開発。建築物やコンクリートブロックに用途拡大。標準化等導入に向けた支援による民間部門での需要拡大を検討。</li> <li>・CO<sub>2</sub>吸収量の増大と低コスト化を両立させた新技術・製品の開発と知財戦略を通じたライセンス事業形態の活用によるシェア獲得・拡大。</li> </ul>
	<p><b>石灰石の燃焼時にCO<sub>2</sub>が発生、しかし大量のCO<sub>2</sub>回収技術が未確立</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・キルンから1日当たり数千トンのCO<sub>2</sub>が発生。現行技術（化学吸収法）では大規模化。</li> <li>・炭酸塩化技術もCO<sub>2</sub>利用量が少なく、またカルシウム類も限定的。</li> </ul>	<p><b>新たな製造プロセスの確立・炭酸塩の利用拡大</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2030年までに、石灰石からの排出CO<sub>2</sub>を100%近く回収する技術の確立を目指す。廃棄物等を用いた炭酸塩やカーボンリサイクルセメント技術も確立し、炭酸塩の利用拡大を図る。</li> <li>・2050年までに、国内工場への導入や東南アジア等のブランドとの技術協力、カーボンリサイクルセメントの普及拡大を目指す。</li> </ul>

図—4 カーボンリサイクル産業実行計画（コンクリート・セメント）



図一五 カーボンリサイクル技術ロードマップ

改訂版では、汎用品に関して、技術・製品開発が進展している状況を踏まえつつ、イノベーションを加速すべく普及時期を2040年頃に前倒しした。例えば、冒頭で紹介したCO<sub>2</sub>を再利用したコンクリートを例に挙げると、現状価格は、ある製品では一般的なコンクリート製品（プレキャストコンクリート）の3～5倍であり、かつ鉄筋の腐食を防ぐ機能が不足しているために、用途が限定的という課題が挙げられる。こうした課題を解決すべく、2030年までに、コスト低減を実現する製造・施工技術を確認するとともに、2025年日本国際博覧会（大阪・関西万博）等における導入等を契機として用途拡大をすすめ、既存製品と同価格水準とすることを目指している。中長期的には、CO<sub>2</sub>固定範囲の制御技術や鉄筋代替材の活用等により防錆性能を持つ製品を開発・実証し、用途拡大や標準化等に取り組みつつ社会実装を進めていく。また、コンクリートの原料であるセメント分野でも製造時のCO<sub>2</sub>回収技術の開発や、回収CO<sub>2</sub>を用いたカーボンリサイクルセメント製品の開発を行う。コンクリート・セメント分野では、上記タイプのほかにも各社・大学が、様々な切り口から積極的に開発・実証を進めているとともに、海外でもスタートアップを中心に取り組みが加速している。こうした情勢を踏まえながら、国土交通省をはじめとした関係省庁、日本建築学会・土木学会・日本コンクリート工学会、関係業界等と横断的に連携しつつ、特許取得等の知財戦略を通じたライセンス事業形態も活用することで、国内外でのシェア獲得・拡大を目指している。

3つ目は、国際連携が進展している状況を踏まえ、

その取組内容を追記した点である。日本はこれまで、カーボンリサイクルについて米国・豪州・UAE等との間で協力覚書を締結し、情報共有や交流を通じて技術開発を共に推進していくことで合意している。特に米国との間では、2021年4月の日米首脳会談において「野心、脱炭素化及びクリーンエネルギーに関する日米気候パートナーシップ」を締結し、この中で、カーボンリサイクルを含む優先分野の技術開発の協力を強化することにより、グリーン成長の実現に向けて協働することを盛り込んだ。

### (3) 国際連携

こうした流れを踏まえ、2021年10月には「東京ビヨンド・ゼロ・ウィーク2021」の一環として、第3回カーボンリサイクル産学官国際会議をWeb形式で開催した。同会議は経済産業省及び国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の共催で2019年より毎年行われている。今回、参加者数は約2,800人、参加国・地域数は32となり、これまではアジア・欧米が主だったところ、今回はそれに加えて中南米（メキシコ、チリ、ウルグアイ等）や東欧（セルビア、ブルガリア等）、中東（サウジアラビア、UAE、クウェート等）へと広がった。議論内容について、2020年は技術紹介や政策要望が多かったが、2021年は、事業事例やクレジット検討のパートナーシップなど、社会実装の進展を伺わせた。

第1部では、国際エネルギー機関（IEA）、米国、サウジアラビア、インドネシア、ノルウェー、豪州、東アジア・アセアン経済研究センター（ERIA）の関

僚等の要人講演に続き、広島県知事から、広島県カーボン・サーキュラー・エコノミー推進協議会などが紹介された。同協議会は、広島大学をはじめ産学官連携による研究開発・実証・マッチング・地域振興を進めており、経済産業省が進める大崎上島のカーボンリサイクル実証研究拠点とも一体となって取り組んでいる。続いて、(一社)カーボンリサイクルファンド会長から、最新動向が紹介された。同ファンドは、2019年設立時は会員数15だったところ、2022年1月時点で87社12個人4自治体(秋田県、香川県、広島県、苫小牧市)となり、業種を越えた連携が加速している。

第2部では、公益財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE)理事長の基調講演を皮切りに、カーボンリサイクルによるCO<sub>2</sub>を利用した鉱物(コンクリートやセメント)、燃料・化学品の動向、未来につながる技術・投資への期待をテーマにパネルディスカッションを行い、活発な議論となった。この中で、参加していたスタートアップ勢からは、成長期に差し掛かり、一段とオープンイノベーションやデータ整備、人工知能など他技術との組合せ、クレジット化の追求等について、大手企業からは、こうしたスタートアップ動向と連携しつつ、従来事業とスピード感を分け、スケールアップ段階で強みを発揮していくとの話があった。研究機関からは、日米豪で同様のポートフォリオを組み、鉱物分野を先行しつつ、将来的にボリュームのあるメタネーションやDAC実現に力を入れていくとの話があった。

なお、本国際会議のサイトには、各社取組に加え、カーボンリサイクル概要の動画を掲載しており、この中で各社から、技術紹介に加えて熱い思いを語っているので、ご覧いただければ幸いである(第3回カーボンリサイクル産学官国際会議 <https://carbon-recycling2021.go.jp>)。

ここで、注目すべき動向の一つがスタートアップの存在、そしてそのイノベーションを支えるコミュニティの存在である。米国でも2010年代前半にいち早く、米エネルギー省等がカーボンリサイクル・コンクリート分野のスタートアップに対して開発支援を始め、このうちの数社がこの1~2年の間に急浮上してきた。そして、この分野に限らず、イノベーションに成功している企業・チームの多くが、地域・産業・大学といった様々なコミュニティの中で、連携と競争のバランスをもって、資金面、経営面、技術面、人材面等で支えられながら、鍛えられ、リスク分散させながらアジャイルに開発・事業化スピードを上げている。筆者自身、米国に留学・赴任した経験の中で、同様の

事例に多く遭遇してきた。カーボンリサイクル政策の推進に当たって、こうした要素を念頭に置きながら、国際連携・競争に臨んでいきたいと考えている。

### 3. カーボンリサイクル技術の社会実装に向けた技術開発プロジェクト

上記背景を踏まえ、政府としてカーボンリサイクル技術の社会実装に向けた技術開発プロジェクトを推進しており、各取り組みを以下のとおり紹介する。

#### (1) カーボンリサイクル関連予算

カーボンリサイクル技術ロードマップに基づき、技術開発・実証に積極的に着手しており、2021年度政府予算ではカーボンリサイクル関連予算として約479億円を計上している。多様な事業者・研究機関の参画の下、NEDOを通じ、鉱物化、化学品製造、CO<sub>2</sub>のバイオ燃料化等の開発、実証を実施しており、以下に事業の一例を示す。

(事業例)

- ・CO<sub>2</sub>を吸収するコンクリートの技術開発
- ・CO<sub>2</sub>を集中的に吹き込んで大量生産した微細藻類を原料としたバイオジェット燃料の開発
- ・CO<sub>2</sub>を利用した合成燃料(e-fuel)製造技術の開発
- ・CO<sub>2</sub>から化学品を製造する人工光合成の技術開発
- ・高効率なCO<sub>2</sub>分離回収技術の開発 等

また、広島県大崎上島をカーボンリサイクル実証研究拠点と位置づけ、係る整備を行うとともに、カーボンリサイクル技術の開発・実証を集中的に進め、イノベーションの結節点とし、コンクリート、化学品、バイオ燃料など多様なカーボンリサイクル技術の「ショーケース」として国内外に発信していくことを目指している。

#### (2) グリーンイノベーション基金(CO<sub>2</sub>を用いたコンクリート等製造技術開発プロジェクト)

2050年カーボンニュートラル目標に向けて、令和2年度第3次補正予算において2兆円のグリーンイノベーション基金をNEDOに造成し、官民で野心的かつ具体的な目標を共有した上で、これに経営課題として取り組む企業等に対して、10年間、研究開発・実証から社会実装までを継続して支援していくこととしている。支援対象は、グリーン成長戦略において実行計画を策定している重点分野のうち、特に政策効果が大きく、社会実装までを見据えて長期間の継続支援が必要な領域に重点化することとしている(図-6)。



図一六 グリーン成長戦略において実行計画を策定した重点 14 分野

この基金を活用し、重点分野の一つであるカーボンリサイクル・マテリアル産業において、コンクリート・セメント分野のカーボンリサイクル技術の社会実装を実現するため「CO<sub>2</sub>を用いたコンクリート等製造技術開発」プロジェクトを実施予定である。研究開発の目標やその内容をこのプロジェクトの研究開発・社会実装計画より、以下に抜粋する。

#### (a) コンクリート分野

研究開発項目 1：CO<sub>2</sub> 排出削減・固定量最大化コンクリートの開発

(目標)

2030 年までに材料製造～運搬～施工に係る CO<sub>2</sub> 排出量の削減及び CO<sub>2</sub> 固定量の増大を図るとともに、コスト低減を実現する CO<sub>2</sub> 排出削減・固定量最大化コンクリートの製造システムの確立 (目標値：CO<sub>2</sub> 削減量 310～350 kg/m<sup>3</sup> (一般的なコンクリート製造時との比較。うち、CO<sub>2</sub> 固定量は、120～200 kg/m<sup>3</sup>)、既存製品と同等以下のコスト (プレキャストコンクリート：30 円/kg 程度、生コンクリート：8 円/kg 程度))

(研究開発内容)

① CO<sub>2</sub> 排出削減・固定量を最大化できる使用材料の選定に関する研究開発

CO<sub>2</sub> を固定する材料は混和材や骨材として利用されることが想定される。これら材料の原料はその状態や組成が調達先ごとに異なるため、画一的な製造手法が確立できない。また、輸送に係るコストも考慮すると、LCCO<sub>2</sub> の観点から合理的に調達可能な材料は地域ごとに異なる。さらに、こうした材料の状態や組成の違

いが、コンクリート基本物性に与える影響も判明していないといった課題がある。

本技術を広く展開していくためには、材料特性に応じた製造手法・指針を示すことが必要となる。これら原料の持続的な調達可能性も考慮しつつ、基本物性を検証し、状態や組成の違いが混和材や骨材に与える影響を評価し、CO<sub>2</sub> 固定効果が高い材料の製造技術や複合技術の開発を行う。

② CO<sub>2</sub> 排出削減・固定量最大化コンクリートの革新的固定試験及び製造システムに関する技術開発

現場施工によるコンクリート製造への適用も見据え、CO<sub>2</sub> 排出削減・固定量最大化コンクリートの試験養生装置・手法の開発を行い、試験を通じてその性能を検証する。また、既存設備も含めた製造システムによる製造性・施工性の実証試験を行う。

CO<sub>2</sub> 排出削減・固定量最大化コンクリートには前例のない材料を使用することから、熱膨張係数といったコンクリートの基本物性値への影響に加え、CO<sub>2</sub> 固定の不均一化、CO<sub>2</sub> 固定時間の長期化といった課題が想定される。また、実証試験においてはエネルギーバランスを踏まえた製造システム全体のコスト最小化といった課題が想定される。

研究開発項目 2：CO<sub>2</sub> 排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理・固定量評価手法に関する技術開発

(目標)

2030 年までに、CO<sub>2</sub> 排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理手法 (CO<sub>2</sub> 固定量の計測・評価手法) を確立するとともに国際標準化を実現

## (研究開発内容)

CO<sub>2</sub> 排出削減・固定量最大化コンクリートの適切な品質管理手法及び横断的な CO<sub>2</sub> 固定量評価技術の確立のための技術開発を行いつつ、土木学会・日本建築学会や国内外の公的研究機関等と連携し、熱膨張係数や長期耐久性などの基礎物性の分析・評価等、標準化に必要となる基礎・基盤的なデータ取得等に取り組む。また、並行して国際標準化に向けた作業を進めることによって、海外市場への進出を促す。

CO<sub>2</sub> 排出削減・固定量最大化コンクリートは、CO<sub>2</sub> 固定プロセスの材料、手法等が異なるため、一般的なコンクリートに対する品質管理手法は適用できない。また、CO<sub>2</sub> 排出削減・固定量最大化コンクリートの品質管理手法及び一般的なコンクリート及び今回開発するコンクリートへの横断的な CO<sub>2</sub> 固定量評価技術は確立しておらず、国際標準も存在しない。そのため、これら手法及び評価法の確立、標準化に向けフィールド検証等を通じた CO<sub>2</sub> 固定量のデータ取得・蓄積等が課題となる。

## (b) セメント分野

研究開発項目 3：製造プロセスにおける CO<sub>2</sub> 回収技術の設計・実証

## (目標)

2030 年までに、石灰石由来の CO<sub>2</sub> を全量近く回収でき、既存の CO<sub>2</sub> 回収手法と同等以上のコスト低減を実現する以下の水準を満たす CO<sub>2</sub> 回収型セメント製造プロセスを確立

- ・プレヒーター内で発生する CO<sub>2</sub> を 80% 以上回収
- ・現在標準的に行われている化学吸収法（アミン法）より低コスト化

※アミン法による CO<sub>2</sub> を 1 トン回収するための標準的なエネルギーは原単位で 2.6 GJ/t-CO<sub>2</sub>

## (研究開発内容)

セメント製造用の原料である石灰石から発生する CO<sub>2</sub> を大量に回収するため、既存設備（NSP キルン）でプレヒーター内の熱を利用するプロセスを活用しつつ、CO<sub>2</sub> を回収する機能を付与するため、既存プラント内に設置するための課題（コンパクト化、コスト低減等）に対応するプロセスの見直しが必要。このため、NSP キルンにおいて、CO<sub>2</sub> 回収が可能な製造プロセスの開発、実証を行う。開発に当たっては、設備内での熱利用も考慮しつつ、回収した CO<sub>2</sub> を利用（例えばメタネーション技術の導入など）しやすいプロセス設計とする。なお、セメント工場は産業廃棄物処理の

一翼を担っており、既存の廃棄物処理も継続できるよう既存プロセスの活用を念頭におきつつ開発を行う。また、研究開発項目 4 と連携し、当該研究にて開発された炭酸塩を用いたセメントが当該プロセスで利用可能となることも検証する。

CO<sub>2</sub> を回収可能な製造プロセスの設計に基づき、実験機の開発、試運転により CO<sub>2</sub> を全量近く回収する技術の確立を図る。新たな製造プロセスによる CO<sub>2</sub> の回収が可能な実証機で検証し、データ収集や最適な稼働条件の設定などを検証する。なお、本プロジェクトでは省エネ効率や品質の確保といった商用化に向けて必要となるデータの検証のため、必要に応じて実験機によるテスト稼働を行った上で実証機による段階的な実証を行うことも可能とする。これにより、CO<sub>2</sub> 回収とともに、従前までと同程度の熱効率が確保可能か実証を行う。また、CO<sub>2</sub> 回収量の測定とともに、不均一な燃焼状態とならないよう燃焼温度の確保、CO<sub>2</sub> 濃度の確認、支燃性ガスの適正值の設定なども適切に行う。

研究開発項目 4：多様なカルシウム源を用いた炭酸塩化技術の確立

## (目標)

2030 年までに、回収した CO<sub>2</sub> から炭酸塩を製造し、炭酸塩をセメント原料等に利用するための以下の水準を満たす技術を確立

- ・炭酸塩化の基盤技術として、廃棄物から 10% 以上の酸化カルシウム（CaO）を抽出し、炭酸塩 1 トンあたりに固定化する CO<sub>2</sub> 固定量が 400 kg 以上
- ・回収した CO<sub>2</sub> から製造した炭酸塩の生成コストが、従来の石灰石の市価の 5 倍程度の価格
- ・炭酸塩の利用の拡大のため、利用技術のガイドラインを策定

## (研究開発内容)

廃コンクリート等や回収 CO<sub>2</sub> を活用した炭酸塩化技術の開発に取り組んでいるが、最新の研究開発成果（廃コンクリートから酸化カルシウムを約 8.5% 抽出）でも酸化カルシウムの抽出量が限定的となっており、廃コンクリート以外の酸化カルシウム抽出可能な廃棄物の検証が進んでいない。さらに、炭酸塩化に必要な CO<sub>2</sub> はイオン化の反応速度が遅いといった特性があり、効率的に酸化カルシウムに固定することが課題。このため、研究開発で大量の酸化カルシウムを抽出・回収する技術の確立、CO<sub>2</sub> を大量に固定する炭酸塩を生成する技術開発を行う。また、酸化カルシウムの抽

出技術の確立に向けて、炭酸塩化に有望なカルシウム等のアルカリ源の選定も併せて行う。さらに、利用技術の確立に向けて、炭酸塩を用いたカーボンリサイクルセメント製造プロセスの開発、炭酸塩のフィラーなどでの利用技術の開発や、利用時の性能確保、また基金事業以外の関連技術や規格・基準等の内容を含んだ技術利用ガイドラインの策定を行うことで、炭酸塩生成コストの低コスト化技術の普及を図る。本成果は、研究開発項目3と連動させて、実用化に向けた実証を行う。

#### 4. おわりに

エネルギーを取り巻く情勢は刻々と変化しており、現在、世界中で脱炭素化が意識される時代となってい

る。2050年カーボンニュートラル実現に向け、キーテクノロジーと位置付けられているカーボンリサイクル、特に当該技術によるコンクリート等へのCO<sub>2</sub>利用は、大規模・長期利用によるCO<sub>2</sub>固定化が可能なことから、脱炭素化への貢献の期待は大きい。様々な課題はあるものの、安全性を前提としつつ、早期の社会実装を実現できるよう、産学官一体となって進めていきたい。

JCMIA

#### 【筆者紹介】

土屋 博史 (つちや ひろし)  
 経済産業省 資源エネルギー庁  
 長官官房 カarbonリサイクル室長/  
 資源・燃料部 石炭課長



# カーボンリサイクル・コンクリート 「T-eConcrete<sup>®</sup> / Carbon-Recycle」の開発

カーボンネガティブを実現した鉄筋コンクリートの実用化を開始

大 脇 英 司・荻 野 正 貴

筆者らのグループは、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CO<sub>2</sub>排出量を抑制した環境配慮コンクリートを開発し、実用を進めている。さらに、カーボンリサイクル技術によりCO<sub>2</sub>を資源として転換した炭酸カルシウムを環境配慮コンクリートに添加し、「カーボンネガティブ」を達成したカーボンリサイクル・コンクリートを開発している。CO<sub>2</sub>排出量はコンクリート1m<sup>3</sup>あたり-55~-5kgであり、70~170kgのCO<sub>2</sub>を固定する。強アルカリ性を保ち、従来と同様に鉄筋コンクリートとして現場打ちコンクリートやコンクリート製品に使用できる。本稿ではこれらのコンクリートの特徴と適用事例をまとめて報告する。

キーワード：コンクリート, カーボンリサイクル, カーボンネガティブ, カーボンニュートラル, 低炭素, CO<sub>2</sub>排出削減, 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を2013年度比で46%削減することを目標としている<sup>1), 2)</sup>。日本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捉えてグリーン成長戦略を打ち出した<sup>3)</sup>。一環として温室効果ガスの主要成分であるCO<sub>2</sub>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の開発を進めている<sup>4)</sup> (図-1)。

筆者らのグループはCO<sub>2</sub>の排出を抑制する環境配慮コンクリート(T-eConcrete<sup>®</sup>シリーズ)を開発し<sup>5)</sup>、さらに、カーボンリサイクル技術で製造される炭酸カルシウムを用いるカーボンリサイクル・コンクリート

(T-eConcrete/Carbon-Recycle)を開発している<sup>6)</sup> (図-2)。「カーボンネガティブ」を達成した新しいタイプの環境配慮コンクリートである。

## 2. CO<sub>2</sub>の排出を抑制する環境配慮コンクリート

社会インフラの構築に重要なコンクリートは、材料の製造過程において1m<sup>3</sup>あたり260~300kgのCO<sub>2</sub>を排出する。排出量の多くは使用するポルトランドセメントの製造に起因するため、この使用量の低減によりCO<sub>2</sub>排出量を抑制した環境配慮コンクリートを製造できる<sup>5)</sup> (図-2)。セメント・ゼロ型はポルトランドセメントの代わりに高炉スラグ微粉末とカルシウム系化合物を用い、従来のコンクリート(ポルトランド

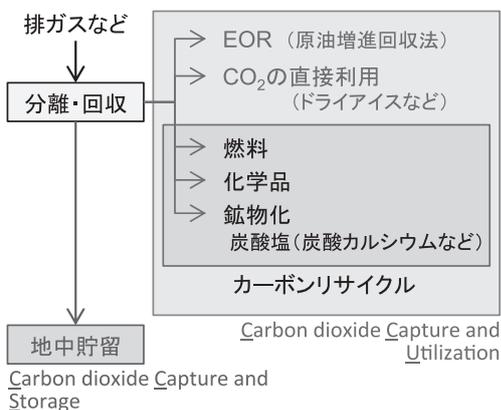


図-1 カーボンリサイクルにおける炭酸塩の製造

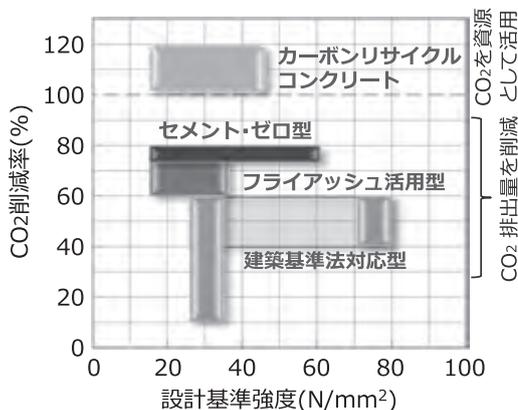


図-2 開発した環境配慮コンクリートの構成と特徴

セメントを用いた同一強度レベルのコンクリート) に対して CO<sub>2</sub> 排出量を 75 ~ 80% 削減する。設計基準強度は 18 ~ 60 N/mm<sup>2</sup> である<sup>7), 8)</sup>。フライアッシュ活用型は、ポルトランドセメント量を 10 ~ 25% に減じ、高炉スラグ微粉末とフライアッシュで置換した。設計基準強度は 18 ~ 36 N/mm<sup>2</sup>、CO<sub>2</sub> 削減率は 60 ~ 80% である<sup>9)</sup>。建築基準法対応型はポルトランドセメントを高炉スラグ微粉末で置換する。置換率が 65% の場合 (高炉セメント C 種: JIS R 5211 に相当)、CO<sub>2</sub> 削減率は 60% である<sup>10)</sup>。建築基準法の指定建築材料として使用できる。いずれも、従来の製造設備 (生コン工場) で製造でき、現場打ちコンクリートやコンクリート製品 (二次製品) として使用できる。

社会実装に向け、実用化技術の開発や環境整備も進めている。例えば、国土交通省が「i-Construction」で推進するコンクリートのプレキャスト化 (二次製品の活用) に呼応し<sup>11)</sup>、二次製品メーカー等と提携して開発を進め<sup>12)</sup>、石材調建材 (T-razzo<sup>®</sup>) やシールドトンネル用セグメント (T-eCon<sup>®</sup>/Segment) として社会実装を始めている<sup>13~17)</sup> (写真-1)。また、安全・安心な社会インフラの提供や実績の積み重ねに不可欠な規準や基準として、土木研究所とガイドライン、マニュアルを作成し、土木学会「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)」を整えた<sup>18)~20)</sup>。これらの成果に対して「平成 26 年度土木学会賞環境賞」(土木研究所と共同)、エンジニアリング協会「2021 年度第 13 回エンジニアリング奨励特別賞」を授かった。

### 3. カーボンリサイクル・コンクリートの開発

コンクリートは建設材料として使用量が多く、また、CO<sub>2</sub> 排出量の多いセメントを利用することから、コンクリートに CO<sub>2</sub> を吸収させる意義は大きい。しかし、CO<sub>2</sub> を吸収させる際には次の課題があった。

- ・コンクリートは強アルカリ性であるが、酸性の CO<sub>2</sub> を吸収すると中性化し、鉄筋の防錆に有効な鉄筋表面の不動態皮膜を失う。
- ・CO<sub>2</sub> の吸収を容易にするためにコンクリートの空隙を増やすと強度が低下する。
- ・これらに対し、防錆能力や強度の低下を避けると CO<sub>2</sub> の回収・固定量が小さくなる。

これらを解決するため、カーボンリサイクルにより CO<sub>2</sub> を吸収して製造した炭酸塩 (図-1) である炭酸カルシウムを、産業副産物である高炉スラグ微粉末を主成分とする強アルカリ性の結合材で固化したコンクリートを開発した。カーボンリサイクル製品を活用するためカーボンリサイクル・コンクリートと呼ぶ (図-2)。利用する炭酸塩の製造は、炭酸化反応が自発的に進むためエネルギー投入量や環境負荷が小さく、早期の本格的な実用化が期待されている。

カーボンリサイクル・コンクリートは CO<sub>2</sub> として吸収せず、炭酸塩に変換して練り混ぜるためコンクリートへの化学的影響が小さく、また、ガスを吸収させる空隙などを設ける必要がない。一方、炭酸カルシウムは水和反応性を示さないため混合量が増えると強度が低下する。強度特性の改善のために水結合材比を小さくするとコンクリートの粘性の増加などにより施工性が低下するが、前章に示した環境配慮コンクリートの開発で獲得した材料設計技術により、炭酸カルシウムを大量に混合しても適切な施工性や強度特性が得られる配合を見出した。特徴を以下に示す<sup>6)</sup>。

- ①大量の CO<sub>2</sub> を固定する。固定量はコンクリート 1 m<sup>3</sup> あたり 70 ~ 170 kg であり、CO<sub>2</sub> の地中貯留 (CCS: Carbon dioxide Capture and Storage) の固定効率: 20 ~ 100 kg/m<sup>3</sup> に匹敵する。
- ② CO<sub>2</sub> の回収、固定により CO<sub>2</sub> 原単位が「マイナス」(-55 ~ -5 kg/m<sup>3</sup>) になる。なお、CO<sub>2</sub> を回収、固定した炭酸カルシウムは本格的な商業化の途上にあるため、1 kg の CO<sub>2</sub> を回収、固定した製



写真-1 環境配慮コンクリートのうち、セメント・ゼロ型の適用事例  
左: 土間コンクリート (枠線内)、中: シールドセグメント (T-eCon / Segment)、右 (2枚): 石材調建材 (T-razzo)

品の製造に0.5 kgのCO<sub>2</sub>を排出すると仮定した。

- ③ CO<sub>2</sub>をガスとして取り込まないことで強アルカリ性を保ち、鉄筋の防錆性能を維持する。
- ④ 生コン工場の通常設備で製造できる。また、強度特性（圧縮強度：20～45 N/mm<sup>2</sup>）や、フレッシュ性状（スランプ12～21 cm，スランプフロー45～60 cm）も従来のコンクリートと同等であり、設計、施工に関して蓄積された技術や経験が活用できる。
- ⑤ 生コン工場や建設現場において高濃度のCO<sub>2</sub>を使用せず、安全性の確保に特別な心配がない。

実験施設の屋内壁への適用例を写真一2および表一1に示す<sup>21)</sup>。幅3 m，高さ60 cm，厚さ12 cmの部材を二次製品工場で製造し，設置した。補強材である鉄筋の一部を鋼繊維に置き換えて，厚さを原設計の14 cmから12 cmに減じた。壁厚が薄くなったが，鉄筋量の削減により鉄筋の間隔が広がることでコンクリートの充填が容易になり，生産性が向上した。プレキャストコンクリートとして通常の二次製品工場の設備を用いて，従来と同様の製造サイクルで製造できた。炭酸カルシウムには，二次製品工場の排気ガスのCO<sub>2</sub>をコンクリート廃材に含まれるカルシウムと反応させて製造したカーボンリサイクル製品を用いた。使用した炭酸カルシウムのCO<sub>2</sub>排出量（前章②に示した推定値とは異なる実測値）とその他の使用材料の製造時のCO<sub>2</sub>排出量からカーボンリサイクル・コンクリートのCO<sub>2</sub>原単位を求めた。補強材（鉄筋と鋼繊維）を含まないコンクリートとして-50 kg/m<sup>3</sup>であり，当初，使用を予定した通常のコンクリートの274 kg/m<sup>3</sup>に対して大きな削減効果（コンクリート1 m<sup>3</sup>あたり324 kg）が得られた。適用した部材におけるCO<sub>2</sub>の排出削減量は1.1トンを超えた。なお，カーボンリサイクル・コンクリートへの鋼繊維の添加による補強効果は通常のコンクリートの場合と同じであり，添加した鋼繊維のCO<sub>2</sub>原単位はそれぞれのコンクリートについて52 kg/m<sup>3</sup>であった。

鉄筋コンクリートとして活用できるカーボンリサイクル・コンクリートは，コンクリート製品（二次製品）だけでなく，生コン（現場打ちコンクリート）としての適用も始まり（写真一3），普及の準備が進んでいる。

#### 4. カーボンリサイクル・コンクリートへの期待と課題

開発したカーボンリサイクル・コンクリートはCO<sub>2</sub>を資源として活用することと，「カーボンネガティブ」



写真一2 鉄筋と鋼繊維を用いた壁部材への適用例

表一1 壁部材に適用した材料の特性と部材の特徴

材料の特性		部材の特徴	
項目	特性	項目	性能
圧縮強度	40 N/mm <sup>2</sup>	形状	3×0.6×0.12 m
スランプ フロー	50±10 cm	数量	16枚
		補強材	鉄筋，鋼繊維
CO <sub>2</sub> 固定量	119 kg/m <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> 固定量	411 kg
CO <sub>2</sub> 原単位	-50 kg/m <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> 削減量	1,120 kg



写真一3 鉄筋コンクリート舗装への適用

(CO<sub>2</sub>排出量：-55～-5 kg/m<sup>3</sup>) となることから，炭素の活用による「経済と環境の好循環」とCO<sub>2</sub>のオフセットによる「2050年カーボンニュートラル」への貢献が期待できる（図一3）。また，コンクリートは将来においても不可欠な社会基盤材料となるから，少なくとも同様の性状や性能を有する必要がある。カーボンリサイクル・コンクリートは従来のコンクリートと同様な性能を有し，通常の生コン工場や二次製品工場の設備で製造できる。このため，従来と同

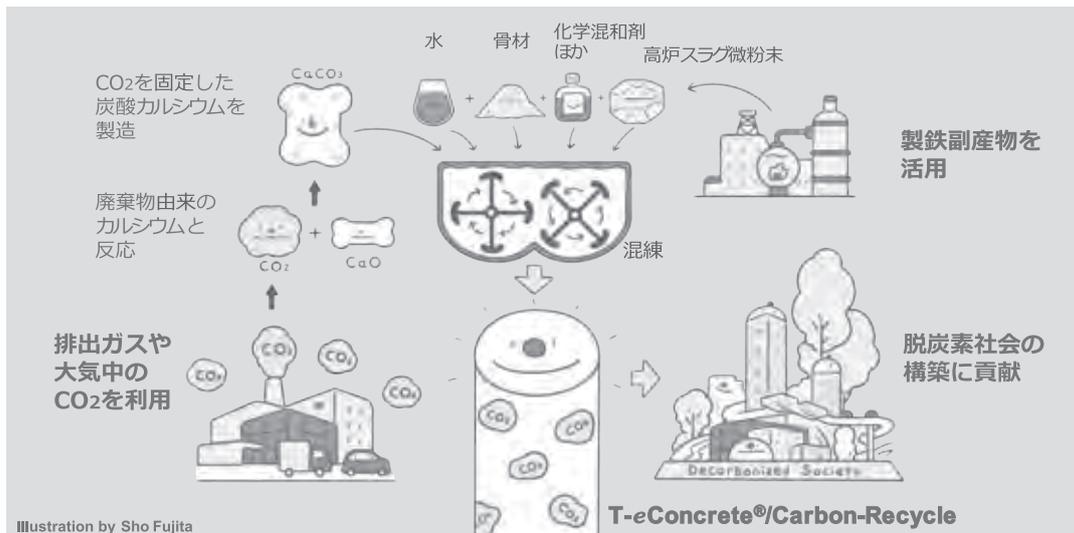


図-3 カーボンリサイクル・コンクリート (T-eConcrete/Carbon-Recycle) による脱炭素社会の構築への貢献

様に生コンや二次製品として鉄筋コンクリート構造物に適用でき、これまでのコンクリートとの円滑な置き換えが可能である。一方、カーボンリサイクル製品は新しく、これを用いたコンクリートに対する法体系や規準類は未整備であり、また、実績も多くない。規準類や法体系の整備に向けて写真-2～3の事例のように適用を増やす努力を継続している。

「2050年カーボンニュートラル」に貢献するためには大量の炭酸塩が必要である。わが国だけでも年間十数億トン排出されるCO<sub>2</sub>を有意に回収、利用するには環境効率や経済効率に優れた方法だけで製造することは難しいと考える。投入エネルギーや資源、製造される炭酸塩とこれを用いたコンクリートの品質やコストなどについて、サーキュラーエコノミーの観点から“地球”というシステムにおける最適化が求められる。そのためにはカーボンリサイクルに係る環境影響評価やカーボンプライシングの方法の確立も急務である。現状における炭素の経済価値を整理した。わが国では「炭素税」とは明示されないが、地球温暖化対策税や石油石炭税、揮発油税、軽油取引税などによりCO<sub>2</sub>排出量1トンあたり4,057円が課税されている。FIT賦課金(再生可能エネルギーの固定買取価格制度における賦課金)を加味すると6,301円/t-CO<sub>2</sub>に相当する<sup>22)</sup>。また、欧州連合域内排出量取引制度(EU-ETS)のクレジット(EUAs)は、2011～2017年には1トンあたり数ユーロであったが、現在(2021年12月)では80ユーロを超えるまで急騰している<sup>23)</sup>。一方、独自にカーボンプライシング(インターナル・カーボンプライシング)を行う企業が増えている。目的や根拠により970～82,735円/t-CO<sub>2</sub>に設定した事例がある<sup>24)</sup>。国内でも2021年4月の時点で118社が導入し、

134社が2年以内の導入を検討している<sup>25)</sup>。前章のカーボンリサイクル・コンクリートの適用例では、コンクリート1m<sup>3</sup>あたりのCO<sub>2</sub>削減量は324kgであった。調査した経済価値を適用すると314～26,800円/m<sup>3</sup>の付加価値が生じる。大量の炭酸塩の供給に向けて環境や経済の効率を検討する目安となる。地球規模のサーキュラーエコノミーにおいて最適化された基盤材料として、カーボンリサイクル・コンクリートを脱炭素社会の構築に適用するためにこれらを踏まえて開発を継続したい。

## 5. おわりに

カーボンリサイクル・コンクリートは、大気や排ガス等に含まれるCO<sub>2</sub>を用いて製造される炭酸カルシウムを利用してCO<sub>2</sub>を回収・固定する。回収・固定したCO<sub>2</sub>量から炭酸カルシウムの製造に係るCO<sub>2</sub>排出量を差し引き、残りをカーボン・オフセットに活用できる。CO<sub>2</sub>排出量の小さい環境配慮コンクリートに炭酸塩を混合するとCO<sub>2</sub>原単位はマイナスになり、「カーボンネガティブ」を実現する。カーボンリサイクル・コンクリートは製造量が増えるほどCO<sub>2</sub>の回収・固定量が増え、「ビヨンド・ゼロ」を果たす社会基盤材料として「2050年カーボンニュートラル」および脱炭素社会の構築への貢献が期待される。

世の中は「2050年カーボンニュートラル」に向けて変化が激しい。カーボンリサイクル・コンクリートを含む環境配慮コンクリートはポルトランドセメントの使用量の削減を前提とするが、セメント製造者の努力により2050年にはポルトランドセメントもカーボンニュートラルになり、使用を抑制すべき理由が解消

することが期待されている。また、カーボンリサイクル技術の進捗も期待できる。脱炭素社会の構築に貢献するため、環境配慮コンクリートもこれらに即して進化を続けなければならない。



#### 《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/2020/1026shoshinh\\_yomei.html](https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinh_yomei.html), (参照 2021-12-23).
- 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 2021-12-23).
- 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](https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/pdf/green_honbun.pdf), (参照 2021-12-23).
- 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 2021-12-23).
- 5) 大脇英司・岡本礼子・松元淳一・渡邊悟士: 混和材を大量に使用したコンクリートと事例, コンクリート工学, Vol.57, No.1, pp.71 ~ 74, 2019.1.
- 6) 大成建設 HP: カーボンリサイクル・コンクリート「T-eConcrete®/Carbon-Recycle」を開発, 2021.2.  
[https://www.taisei.co.jp/about\\_us/wn/2021/210216\\_5079.html](https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/210216_5079.html), (参照 2021-12-23).
- 7) 宮原茂禎・荻野正貴・岡本礼子・丸屋 剛: 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型コンクリートの水和反応と組織形成, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1969 ~ 1974, 2013.
- 8) 岡本礼子・宮原茂禎・坂本 淳・丸屋 剛: 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型コンクリートの物性について, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1981 ~ 1986, 2013.
- 9) 舟橋政司・白根勇二・荻野正貴・中村英佑: 低炭素型のコンクリートの配合設計手法および硬化特性の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.232 ~ 237, 2014.
- 10) 加藤優志・渡邊悟士・山本佳城・黒岩秀介: マスコンクリートへの適用に向けた環境配慮コンクリートの基礎検討, 大成建設技術センター報, No.53, pp.04-1 ~ 04-8, 2020.
- 11) 国土交通省: 土木構造物設計ガイドライン, 2019.3
- 12) 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](https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/210112_5022.html), (参照 2021-12-23).
- 13) 岡本礼子・大脇英司・渡邊悟士・長嶋貴男・高橋健吾・真保亨一: 環境配慮コンクリートを用いた発色性に優れたコンクリートの検討, 令和元年度第 74 回土木学会全国大会学術講演会, V-15, 2019.9.
- 14) 岡本礼子・大脇英司・渡邊悟士・真保亨一・田中裕美: 環境配慮コンクリートで作製した二次製品の促進試験による耐色性能の評価, 令和 3 年度第 76 回土木学会全国大会学術講演会, V-15, 2021.9.
- 15) 渡邊悟士・大脇英司・黒岩秀介: 環境配慮コンクリートを用いた建築仕上材の開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1227, pp.553 ~ 554, 2019.9.
- 16) 堀口賢一・松元淳一・河村圭亮・坂本 淳: 低炭素型コンクリートを使用したコンクリート二次製品の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.213 ~ 218, 2016.
- 17) 大成建設 HP: 国内初 環境配慮コンクリートを用いたシールドセグメント「T-eCon/Segment」を現場導入, 2021.7.1.  
[https://www.taisei.co.jp/about\\_us/wn/2021/210701\\_8227.html](https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/210701_8227.html), (参照 2021-12-23).
- 18) 中村英佑・古賀裕久・渡辺博志: 低炭素型セメント結合材を用いたコンクリート構造物の設計・施工ガイドライン (案), コンクリートテクノ, Vol.35, No.5, pp.9 ~ 14, 2016.5.
- 19) 大脇英司・宮原茂禎・中村英佑: 「環境配慮コンクリート」の設計・施工マニュアルについて, コンクリートテクノ, Vol.35, No.8, pp.49 ~ 54, 2016.8.
- 20) 石田哲也・渡辺博志・小林孝一・大脇英司: 土木学会「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)」の概要, コンクリート工学, Vol.57, No.7, pp.475 ~ 480, 2019.7.
- 21) 大成建設 HP: 「T-eConcrete®/Carbon-Recycle」を建築物に国内初適用, 2021.12.1.  
[https://www.taisei.co.jp/about\\_us/wn/2021/211201\\_8528.html](https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/211201_8528.html), (参照 2021-12-20).
- 22) 経済産業省: 成長に資するカーボンプライシングについて③, 世界全体でのカーボンニュートラル実現のための経済的手法等のあり方に関する研究会, 第 4 回, 資料 2, 2021.4.22.  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/carbon\\_neutral\\_jitsugen/pdf/004\\_02\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/carbon_neutral_jitsugen/pdf/004_02_00.pdf), (参照 2021-12-23).
- 23) 環境金融研究機構 HP: 「欧州排出権取引制度 (EU-ETS) のカーボンクレジット (EUAs) 価格, 先週末から一気に 12 ユーロ前後も下落. 投機筋のあおり買いが霧散. 実需は強く, 上昇基調は消えず (RIEF)」, 2021.12.  
<https://rief-jp.org/ct4/120816>, (参照 2021-12-20).
- 24) 環境省: インターナルカーボンプライシング活用ガイドライン, 2020.3.  
[https://www.env.go.jp/press/ICP\\_guide\\_rev.pdf](https://www.env.go.jp/press/ICP_guide_rev.pdf), (参照 2021-12-23).
- 25) 環境省: インターナル・カーボンプライシングについて, カーボンプライシングの活用に関する小委員会, 第 14 回, 資料 3, 2021.4.2.  
<https://www.env.go.jp/council/06earth/shiryous3.pdf>, (参照 2021-12-23).

#### 【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 社会基盤技術研究部 材工研究室  
主幹研究員



荻野 正貴 (おぎの まさたか)  
大成建設  
技術センター 社会基盤技術研究部 材工研究室  
副主任研究員

# i-Construction の実現に寄与する 環境配慮型コンクリートの活用に関する提案

坂田 昇・村上 陸太

コンクリートは、今まで大量のCO<sub>2</sub>を排出してきており、社会的に大きな問題となっている。これを解決するために様々な機関において環境配慮型コンクリートの研究が進められているが、環境配慮型コンクリートを用いることによるコストアップが大きな課題の一つである。

本稿では、国土交通省の主導で進められている i-Construction を実現する際に環境配慮型コンクリートを活用することによって、コスト的な問題を解決する方法について、その事例を示して提案する。

キーワード：環境配慮型コンクリート, i-Construction, 生産性向上, 高流動コンクリート, 炭酸カルシウム, CO<sub>2</sub>-SUICOM, CO<sub>2</sub>

## 1. はじめに

コンクリートにおける、セメントの製造過程に由来する大量のCO<sub>2</sub>排出問題を解決するために、様々な機関において環境配慮型コンクリートの研究が進められており、コンクリート製造時のCO<sub>2</sub>を削減する技術として、単位セメント量を削減する技術が盛んに開発されている<sup>1)~4)</sup>。また、CO<sub>2</sub>を吸収して硬化するCO<sub>2</sub>吸収型コンクリートが開発され、実用化されている<sup>5)</sup>。さらに、戻りコンクリートや残コンクリートにCO<sub>2</sub>を吸収させて、炭酸カルシウムの微粉末を製造する技術が開発され、既に商品化されている<sup>6)</sup>。これらの技術を単独、あるいは組み合わせることで、コンクリート製造時のCO<sub>2</sub>の排出量を実質ゼロ以下にでき

る、いわゆるカーボンネガティブコンクリートの製造が可能となりつつある(図-1)。

これらの技術は、一般のコンクリートの供給ラインに載せようとすると、材料の供給量に加え、製造工場の施設や環境の整備等の問題があり、それによって大幅なコストアップになることなどの課題がある。技術的な課題については、今後の開発で解決できる可能性が高く、また経済的合理性の確立も実現されるものと考えられる。一方で、環境配慮型コンクリート(カーボンネガティブコンクリート)の普及・展開を妨げる、技術開発では解決できない要因として、コンクリートに対する社会の既成概念が挙げられる。例えば、レディーミクストコンクリートは安価であることが当たり前とされ、自由に成形でき、巨大な構造物が造れる



図-1 環境配慮型コンクリートの全体像

ほどの体積と強度、耐久性を有するにも関わらず、単価は等量のペットボトルの水の1/10にも満たない。また、コンクリート構造物に適用する上で様々な仕様規定や法的規制が存在し、それらがコストアップの要因となっている。

このような社会状況において、コンクリートのコスト上の課題に挑戦するために、筆者らは、国交省が推奨している建設業のデジタル化や生産性向上のためのi-Construction施策に載せて環境配慮型コンクリートを考えることを提案する。i-Constructionの施策を実現する際に環境配慮型コンクリートを活用できれば一石二鳥であり、二つの目的を同時に達成することでコストアップを解決できる方法について、その具体的な例を挙げて以下に述べる。

## 2. i-Constructionの実現に寄与する環境配慮型コンクリートの具体例

ここでは、i-Constructionを実現し、環境配慮型コンクリートを適用できる技術について、具体的な例を用いて紹介する。

### (1) CO<sub>2</sub>を吸収させた炭酸カルシウムを用いた高流動コンクリートの適用

i-Constructionを推進し、将来的に建設現場を工場化して生産性の向上を実現するためには、多くの作業を省人化することが望まれる。現在、コンクリート打設においては、打込み箇所で作業者が棒状パイプレタによってコンクリートを締め固めており、大変な苦渋作業となっている。これに、現在も使われている高流動コンクリート（締め固めを必要としない自己充填性を保持したコンクリート）を用いれば、型枠内にコンクリートを流し込むだけで、コンクリートを打設する

ことが可能となり、かなりの省人化を図ることができる（写真-1）。しかし、高流動コンクリートは通常のコンクリートに比べて高価であるため、高密度配筋部などの特殊な部位にしか使用されていないのが実状である。この高流動コンクリートに環境配慮型コンクリートを適用し、省人化のために標準化されれば、カーボンネガティブを実現しつつ、適用を拡大できる可能性がある。

その方法として、高流動コンクリートの配合設計において必要となる粉体として、コンクリート工場の排ガスから回収した炭酸ガスとコンクリート廃材のカルシウムによって製造した炭酸カルシウムの微粉末<sup>6)</sup>をコンクリートに混入すれば、コンクリートの製造時に排出されるCO<sub>2</sub>を大幅に削減することができる。なお、この炭酸カルシウムの微粉末は、「エコタンカル」として既に市販されている<sup>6)</sup>。また、この炭酸カルシウムの微粉末を混入した高流動コンクリートに、ベースのセメントにCO<sub>2</sub>排出量の少ない高炉セメントB種やECMセメント<sup>1)</sup>、さらにゼロセメント(CemR<sup>3</sup>)<sup>2)</sup>を用いるなどすれば、CO<sub>2</sub>をネガティブ、すなわち造れば造るほど世の中からCO<sub>2</sub>を削減することができるコンクリートとすることも可能となる。炭酸カルシウムの微粉末をコンクリートに混入する技術は、粉体系高流動コンクリートを開発する際に、筆者らが30年前に考案した技術<sup>7)</sup>である。今では通常のコンクリートも含めて一般的な技術としてコンクリート工学会が発刊する「コンクリート技術の要点」にも掲載されるなど、広く使うことができるものである。このような手法を用いると、従来の高流動コンクリートとほぼ同等のコストで環境配慮型のカーボンネガティブコンクリートの適用が可能になる。生産性の向上と、CO<sub>2</sub>の削減という新しい価値を同時に実現することで、通常のコンクリートとの価格差を生産性によって



通常のコンクリートの打設状況



高流動コンクリートの打設状況

写真-1 通常のコンクリートと高流動コンクリートの打設時の状況比較

補うことで広く普及できるものと考えられる。

## (2) CO<sub>2</sub> 吸収型コンクリートの埋設型枠への適用

合板型枠や鋼製型枠は安価であるため、コンクリート施工においてはそれらの型枠が一般的に使用されているが、これらの型枠の取外しを作業員が人力で行っているのが実状である。i-Construction においては、省人化の観点からプレキャストコンクリート部材の活用を推奨しており、型枠もプレキャスト型枠にすることで、コンクリート打設後に型枠を取り外すことなく、構造物が完成する。ただし、プレキャスト型枠は、合板型枠や鋼製型枠よりもコストが高くなる。このコストアップの課題を克服し、i-Construction としてプレキャスト型枠の使用を標準化することができれば、コンクリート施工現場の省人化と CO<sub>2</sub> の削減を両立することができる。

プレキャスト型枠の価格が高くなる理由としては、プレキャストコンクリート部材を工場から建設現場まで運搬するための費用がプラスされることに加えて、プレキャスト型枠の場合には、かぶりが小さくなることから、鉄筋が錆びないように、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用しており、さらに高価となっている。ここで、鉄筋を使用することなく、その代わりとなる安価で強度と耐久性に優れた補強材を用いることができれば、プレキャスト型枠の価格を抑えることができる。その方法として、CO<sub>2</sub>-SUICOM を用いてプレキャスト型枠<sup>8)</sup> (SUICOM 型枠、写真—2) を製造し、その補強材として写真—3 に示すガラス短繊維を用いると、一般的なプレキャスト型枠と同等のコストとすることが可能となる。

その原理は次のとおりである。ケイ酸塩系(silicate)が主成分であるガラス短繊維は、安価で補強効果の高い材料であるが、アルカリ環境下では膨張するため、

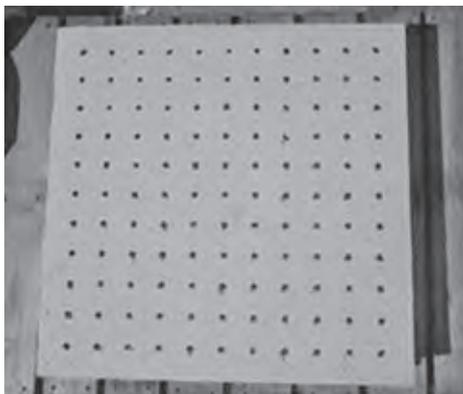


写真—3 ガラス短繊維

通常のコンクリートに混入することができない。しかし、CO<sub>2</sub>-SUICOM は炭酸化させるので、ガラス短繊維を混入しても膨張することはない。また、型枠に作用する外力は、打設時にはコンクリートの流動圧だけで比較的小さく、コンクリート硬化後には内部に打ち込まれた現場打ちのコンクリートと一体となって応力を受けることから、鉄筋ではなく短繊維の補強で十分抵抗できる。このように、安価なガラス短繊維を使うことで、CO<sub>2</sub>-SUICOM のコストアップを抑制でき、CO<sub>2</sub> の吸収・固定という付加価値を加えつつ、通常のエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用したプレキャスト型枠と同等のコストにすることができると考えている。

## 3. 環境配慮型コンクリートの適用拡大のための提案

今後、環境配慮型コンクリートの開発が進み、より安価な技術が開発されていくものと考えられるが、それにも限界がある。今回の二つの事例のように、一つのコンクリートで、i-Construction による省人化とカーボンネガティブの二つの効果を見出すことができる。



製品



設置後の状況

写真—2 SUICOM 型枠

それを評価したコスト体系が確立されれば、建設工事における省人化を図りながら、コンクリートによって大幅なCO<sub>2</sub>削減ができることから、適用拡大に繋がるものと考えられる。

なお、耐久性などの性能を確保するために、様々な仕様や規制が設けられており、環境配慮型コンクリートを活用するうえでの障害となることが少なくない。今後、これらの仕様や規制についても、要求される性能を明確にしたうえで、緩和していくことも環境配慮型コンクリートの適用拡大には必要であると考えている。

J C M A

#### 《参考文献》

- 1) 米澤敏男ほか,「エネルギーCO<sub>2</sub>ミニマム (ECM) セメント・コンクリートシステム」, コンクリート工学, Vol.48, No.9, 2010.9
- 2) 百瀬晴基ほか,「乾燥スラッジ微粉末を混和材として用いたレディミクストコンクリートの開発」, 鹿島技術研究所年報, Vol.66, 2018
- 3) 小林利充ほか,「低炭素型のコンクリート「クリーンコンクリート」」, 大林組技術研究所報, No.80, 2016
- 4) 大脇英司,「混和材を大量に使用したコンクリートと事例」, コンクリート工学, Vol.57, No.1, 2019.1
- 5) 取達剛ほか,「CO<sub>2</sub>排出量ゼロ以下の環境配慮型コンクリートCO<sub>2</sub>-SUICOM」, セメント・コンクリート, Vol.786, 2012
- 6) 佐々木猛ほか,「エコタンカル CO<sub>2</sub>を原料とした環境にやさしい軽質炭酸カルシム」, 土木施工, Vol.62, No.11, 2021
- 7) 坂田昇ほか,「高流動コンクリートの充填性に関する研究」, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.12, No.1, 1990
- 8) 関健吾ほか,「強制炭酸化したガラス繊維補強モルタルへのEガラスの適用性評価」, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.1, 2021

#### 【筆者紹介】

坂田 昇 (さかた のぼる)  
鹿島建設(株) 執行役員 土木管理本部  
土木技術部長



村上 陸太 (むらかみ りくた)  
(株)竹中工務店 常務執行役員  
技術本部長



特集>>> 新しい建設材料, コンクリート工, コンクリート構造

# 暑中期のコンクリート工事の施工性を改善できる 新しい暑中コンクリートの開発

サンワーク®

伊 佐 治 優・桜 井 邦 昭

外気温が高い時期に施工する暑中コンクリートは流動性が低下しやすく、コールドジョイントや充填不良等の施工に起因した不具合の発生が懸念される。そこで、特殊混和剤をコンクリートに後添加することで、外気温が高い場合でも、流動性を長時間保持し、施工性を改善できる新しい暑中コンクリート「サンワーク®」を開発した。本稿では、サンワークの概要および実際の暑中環境下で行った品質検証実験の結果について報告する。

キーワード：暑中コンクリート, 特殊混和剤, 流動性, 施工性, コールドジョイント, 充填不良

## 1. はじめに

夏期におけるコンクリート工事では、流動性が低下しやすくコールドジョイントや充填不良等の施工に起因した不具合の発生が懸念される。このため、暑中コンクリートの施工に際しては、高温に伴うコンクリート品質の低下が生じないように適切な対策をとる必要がある。

しかし、近年ではヒートアイランド現象や地球温暖化の影響等により、夏期に高温となる期間が増加している。

そこで、レディーミクストコンクリート工場(以下、生コン工場という)で製造した普通コンクリートに新たに開発した特殊混和剤を後添加することで、35℃を超える条件でも、流動性を長時間保持し、施工性を改善できる新しい暑中コンクリート(以下、新規コンクリートという)を開発した。

本稿では、新規コンクリートの技術概要ならびに検証実験の結果について報告する。

## 2. 特殊混和剤の概要

新規コンクリートに用いる特殊混和剤の外観を写真一1に示す。この特殊混和剤は液体の化学混和剤で、JIS A 6204「コンクリート用化学混和剤」の減水剤遅延形規格に適合する。なお、特殊混和剤の成分や作用などの詳細については、文献1)を参照されたい。

この特殊混和剤は、コンクリートを積載したアジテータ車のホッパから投入(後添加)して使用する(写

真一2)。また、生コン工場にてコンクリートを製造する際に、他の材料とともに特殊混和剤を投入して製造することもできる。

特殊混和剤の標準的な使用量は、単位セメント量の0.1%~0.3%と少量である。施工時のコンクリート温



写真一1 特殊混和剤の外観



写真二 特殊混和剤の投入状況

度や流動性を確保したい時間に応じて、使用量を調整する。

### 3. 品質検証実験

ここでは、新規コンクリートによる暑中期のフレッシュコンクリートの品質改善効果や硬化コンクリートの品質を検証した結果を示す。検証実験は、コンクリート温度の違いによらず施工性を改善できることを検証するため、表-1に示す4つの時期に実施した。具体的には、コンクリート温度が20℃程度の標準期、25℃～30℃の暑中期①、30℃～35℃の暑中期②、35℃以上となる酷暑期とした。

表-1 品質検証実験の実施時期

呼び方	実施時期	想定した コンクリート 温度	試験時の平均温度	
			外気温	コンクリート 温度
標準期	4月下旬	20℃程度	16.6℃	18.4℃
暑中期 ①	6月中旬	25℃～30℃	27.6℃	29.4℃
暑中期 ②	7月中旬	30℃～35℃	29.9℃	32.8℃
酷暑期	8月上旬	35℃以上	33.2℃	36.8℃

#### (1) コンクリート配合および製造方法

コンクリートの配合は、一般的な土木工事に用いるコンクリートを想定し、表-2に示す生コン工場の27-12-20Nとした。なお、混和剤は標準期には標準形、暑中期および酷暑期には遅延形のAE減水剤を使用した(表-3)。

生コン工場の実機ミキサでコンクリートを製造し、アジテータ車に積み込んだ。新規コンクリートの製造は練上がり30分後に特殊混和剤をアジテータ車のホッパから投入し、ドラムを150秒間高速攪拌させて製造した。なお、特殊混和剤の添加量は暑中期①では単位セメント量の0.1%、暑中期②は0.2%、酷暑期は0.3%とした。

表-2 コンクリートの配合 (27-12-20N)

適用 時期	目標 スランプ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						混和剤 HWR (C × %)	
				W	C	S1	S2	S3	G	標準形	遅延形
標準期	12	52.4	46.1	171	326	329	333	165	976	1.0	-
暑中期										-	1.5
酷暑期										-	1.5

表-3 使用材料

種類	記号	成分および物性
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度 3.16 g/cm <sup>3</sup> , 比表面積 3,280 cm <sup>2</sup> /g
水	W	上水道水, 密度 1.00 g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S1	川砂, 表乾密度 2.62 g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.44%, 粗粒率 2.40
	S2	砕砂, 表乾密度 2.65 g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.05%, 粗粒率 2.69
	S3	川砂, 表乾密度 2.63 g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.05%, 粗粒率 3.20
粗骨材	G	碎石 2,005, 表乾密度 2.69 g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 0.62%, 粗粒率 6.36
混和剤	HWR	AE 減水剤 (高性能タイプ), 標準形と遅延形を使用 ※市販品
	HT	特殊混和剤, 後添加型 ※開発品

#### (2) フレッシュコンクリートの品質改善

スランプの経時変化を図-1に示す。特殊混和剤を用いないコンクリート(以下、従来コンクリートという)の場合、標準期では練上がりから120分にわたり目標とする流動性を満足できていた。しかし、暑中期や酷暑期では温度が高くなるに従い、早期に流動性が低下した。一方で、新規コンクリートは、いずれの実施時期においても練上がりから150分にわたり目標とする流動性を保持できていた。特殊混和剤を用いることで、従来コンクリートを標準期に用いる場合と同等以上に所要の流動性を保持できることを確認した。

ブリーディングの測定結果を図-2に示す。従来コンクリートは、温度が高いほどブリーディングは早期に終了し、ブリーディング率も標準期と比べて半分程度まで小さくなった。これに対して、新規コンクリートでは、実施時期によらず、標準期の従来コンクリートと同等であった。暑中期のコンクリート工事では、ブリーディングの減少により仕上げが困難になり、表面が急激に乾燥してプラスチック収縮ひび割れが生じることもある。このため、新規コンクリートは、暑中期や酷暑期の仕上げ作業を容易にするとともに、仕上がり面の品質確保の上でも有効と考えられる。

許容打重ね時間間隔の測定結果を図-3に示す。

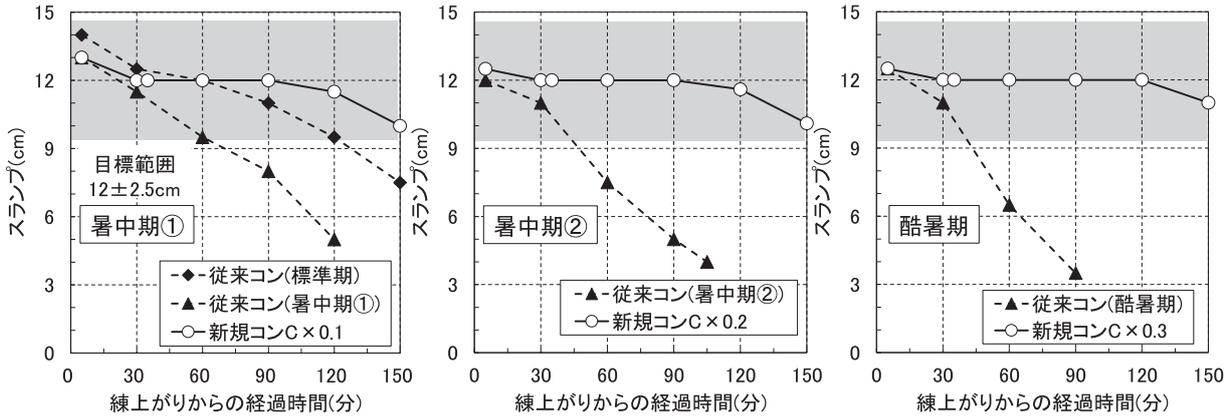


図-1 実施時期ごとのスランプの経時変化

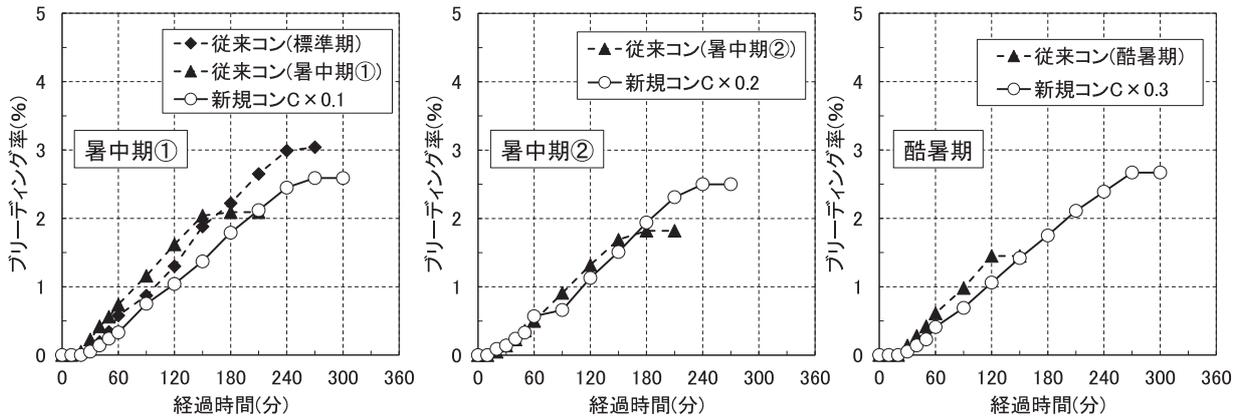


図-2 実施時期ごとのブリーディング率

なお、許容打重ね時間間隔は、文献2)を参考にプロクター貫入試験において貫入抵抗値が $0.1 \text{ N/mm}^2$ に達する時間とした。従来コンクリートは、標準期では3時間以上を確保できたが、暑中期や酷暑期では2時間前後と短くなった。一方で、新規コンクリートの場合は、実施時期によらず3.5～4時間を確保できた。新規コンクリートは暑中期や酷暑期においても許容打重ね時間間隔を長時間確保できるため、コールドジョイントの発生防止に有効であると考えられる。

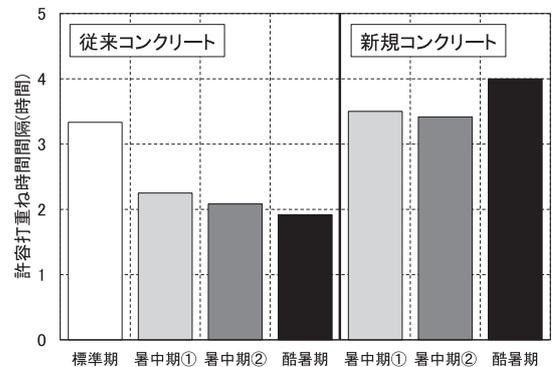


図-3 実施時期ごとの許容打重ね時間間隔

(3) 硬化コンクリートの品質

圧縮強度の試験結果を図-4に示す。コンクリート温度が高くなるに従い材齢1日の圧縮強度は増加したものの、材齢7日以降の圧縮強度は、いずれのコンクリートも同等であった。

中性化深さおよび塩分浸透深さの測定結果を図-5に示す。従来コンクリートと新規コンクリートとも、実施時期によらず測定結果は同等であった。

今回の実験の範囲内では、コンクリート温度の違いや特殊混和剤の有無が硬化コンクリートの品質に与える悪影響は認められなかった。

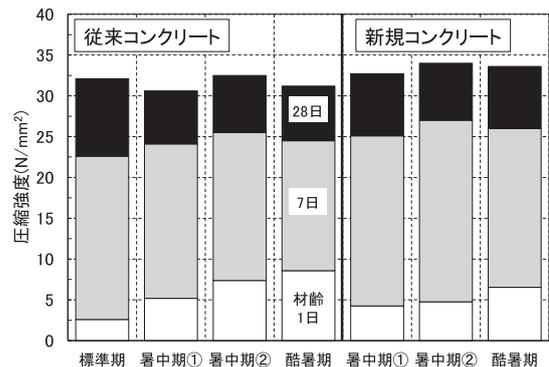
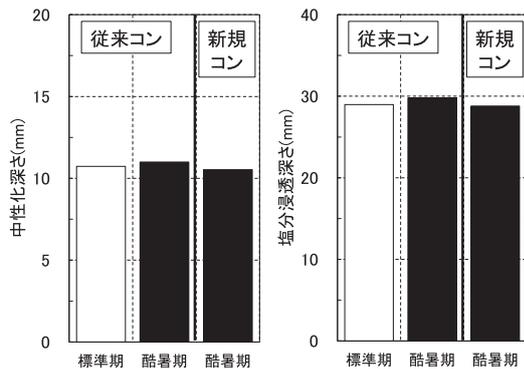


図-4 実施時期ごとの圧縮強度



図一五 実施時期ごとの中性化深さと塩分浸透深さ

#### 4. 施工実験

新規コンクリートを用いることで、暑中環境下でも、施工性を確保し、良好な品質のコンクリート構造物が構築できることを検証するため施工実験を行った。実験では壁状部材（長さ2.0m×高さ0.8m×厚さ0.5m、鋼材量160kg/m<sup>3</sup>、鋼材の最小あき88mm）を用いた。実験は酷暑期に行い、実験時の外気温は約38.5℃、コンクリート温度は36.5℃であった。また、比較のために、標準期に従来コンクリートを用いた実験も行った。なお、夏期施工における厳しい条件を想定し、コンクリートの打込みは練上がり90分後に行った（それまでは、コンクリートをアジテータ車に積載し、日なたで待機させた）。

施工実験の結果を表一4に、コンクリートの打込み状況を写真一3に示す。酷暑期の従来コンクリー

トの場合、練上がりからの時間経過に伴う流動性の低下が大きく、打込み時（練上がりから90分後）のスランプは3.5cmであった。流動性が著しく低下したコンクリートを用いたため、打込み・締固め作業が困難となり、2名で行っても10分以上の時間を要した。

新規コンクリートを用いた場合は、特殊混和剤の効果により流動性の低下は生じることなく、打込み時のスランプは12cmであった。このため、1人でも容易に打込み・締固め作業を行うことができた。打込みに要した時間・人員ともに標準期に従来コンクリートを用いた場合と同等であった。

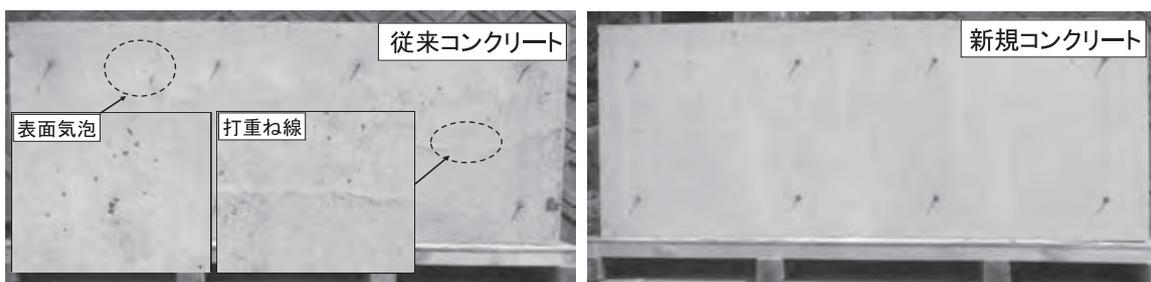
脱型後の仕上がり状況を写真一4に示す。酷暑期に施工した従来コンクリートでは、充填不良は生じなかったものの、径の比較的大きな表面気泡が多数認められるとともに、1層目と2層目の打重ね部分に若干の打重ね線が生じていた。これに対して、新規コンクリートでは、表面気泡や打重ね線は認められず、良好

表一四 施工実験の結果

実施時期	コンクリート種類	打込み時のスランプ	1層の打込みに要した時間	打込みに要した人員
標準期	従来コンクリート	11.0 cm	4分16秒	1名
酷暑期	従来コンクリート	3.5 cm	10分2秒	2名
酷暑期	新規コンクリート	12.0 cm	4分42秒	1名



写真一三 酷暑期におけるコンクリートの打込みおよび締固めの状況



写真一四 酷暑期に構築した壁状部材の仕上がり状況

な仕上がりであった。

以上の結果から、暑中期や酷暑期において施工性を改善し、良好な品質のコンクリート部材を構築する方法として、本稿で示した新規コンクリートは有効であると考えられる。

## 5. おわりに

本稿では、レディーミクストコンクリート工場で製造した普通コンクリートに特殊混和剤を後添加することで、35℃を超える暑中環境下でも、長時間流動性を保持し施工性を確保できる新しい暑中コンクリートの概要および検証結果を報告した。

今後はこの技術を積極的に活用し、暑中期の施工でも高品質で耐久性に優れたコンクリート構造物が構築できるよう努めていきたい。

## 謝 辞

最後に、サンワークの開発に際しては、竹本油脂(株)に多大なるご協力をいただいた。ここに誌面を借りて謝意を表す。

JCM A

### 《参考文献》

- 1) 伊佐治優, 桜井邦昭, 齋藤和秀, 大石卓哉: 特殊混和剤による暑中コンクリートの品質改善に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.941-946, 2020
- 2) 土木学会: コンクリートライブラリー 103, コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策, pp.7-20, 2000

### 【筆者紹介】



伊佐治 優 (いさじ ゆう)  
 (株)大林組 技術研究所 生産技術研究部



桜井 邦昭 (さくらい くにあき)  
 (株)大林組 技術研究所 生産技術研究部  
 主任研究員



# コンクリート締固め管理システムを開発

## AIを活用し締固め状況を可視化

仲 条 仁・宇 野 昌 利・山 口 浩

我が国の建設工事の現場施工品質は、作業員が有する経験知や技能に支えられている面が多く存在し、コンクリート工事、特にコンクリートの打込み及びバイブレータによる締固め作業もその例外ではない。一方、建設作業員（技能者）の高齢化や担い手不足も課題となっており、経験値や技能を定量的に把握・可視化して、客観的な品質管理を行うとともに後進の育成に活用できるデータを取得することが重要である。

本稿では、コンクリート工事の締固めに着目し、人工知能（AI）技術を活用して締固め箇所を定量的に把握することで、従来の作業員の経験による個人のノウハウを利用した定性的な管理から、定量的な管理を実現したシステムについて紹介する。

キーワード：コンクリート打設、締固め管理、画像解析、人工知能、リアルタイム

### 1. はじめに

我が国の建設業を取り巻く環境は、ITの進歩により劇的に変化しつつある。その変化の中心は、ディープラーニングなどの人工知能技術の進展によるところが大きい。

一方、建設業でよく利用されるコンクリート工事の流れは、①コンクリートプラントで製造、②フレッシュコンクリートをアジテータ車を利用して現場に搬入、③型枠内にコンクリートを打込む、④バイブレータによる締固め、⑤表面の仕上げ、⑥コンクリート面の養生、これら作業は30年以上前からほとんど変わっていない。

加えて、コンクリート工事の品質管理は、作業員のノウハウによることが多く、作業員の経験に基づくものであり、脱型後、概ねコンクリートの品質は良好な状態であるが、まれに、豆板などのトラブルが発生する場合もある。一旦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、例えば、補修・補強工事が必要となる。最悪の場合、壊して再構築となり、多くの時間とコストが別途必要となる。

コンクリート工事の締固め作業に着目すると、トラブルの原因は締固め不足に伴う充填不良であることが多い。締固め不足を未然に防ぐためには、筆者らは締固め箇所をリアルタイムに把握し、コンクリートが固まる前に締固め不足箇所を検知・検出し、当該箇所に

対して再締固めすることが課題解決策につながると考えた。

そこで、本稿では、コンクリートの締固めにおけるバイブレータの差し込み振動位置を3次元で正確に計測し、施工時間と対比して、どこをいつ締固めたかを定量的、かつリアルタイムに把握ができるシステムについて紹介する。

### 2. コンクリート締固め管理システム

締固め作業時に管理すべき情報は大きく、①バイブレータ挿入平面位置、②バイブレータ挿入深さ、③バイブレータ挿入時間の3点に集約される。

コンクリート締固め管理システムは、これらの情報をリアルタイムに近い時間で取得、可視化することで、締固め状況の管理を可能とし、締固め不足を予防するシステムである。

#### (1) 締固め位置の把握手法

締固め位置の把握手法は、図1に示す通り、今井ら<sup>1), 2)</sup>が考案したものを基本的に採用した上で、解析結果表示のリアルタイム性を確保するため改良および新規機能を構築したものである。

具体的には、現場作業に関する動画像について、図2のように画像解析AIモデルを用いてARマーカ、ホースの先端、並びに先端位置のカラーリングを検

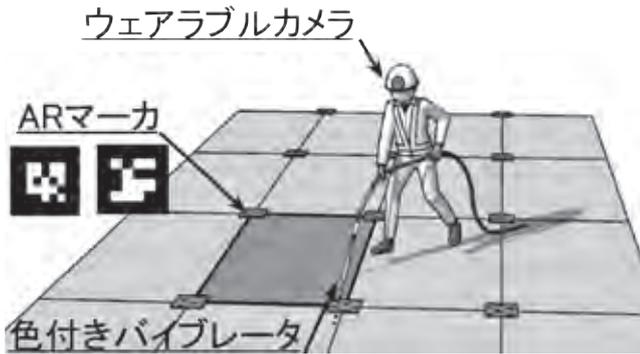


図-1 システム概要図



図-2 締固め位置解析例

出，AR マーカとの相対的な位置から締固め位置を特定するとともに，カラーリングから深さを特定する。

解析に用いる動画は，締固め作業員のヘルメットに装着したウェアラブルカメラで撮影する。

撮影した動画はリアルタイムにクラウドへ送信することが可能なスマートフォンの内蔵カメラを使用(図-3)するとともに，当該スマートフォン上で稼働する作業状況を撮影するアプリを製作した。撮影アプリは，施工箇所番号や作業員を識別するコード等を入力した後，撮影開始する仕組みになっており，撮影画質は5種類(SD, HD, 2K, 4K, 8K)の選択式とし，フレームレートは10FPSに設定した。撮影した動画



図-3 ウェアラブルカメラの設置状況

は1分に1回，クラウドに送信する仕様としている。

(a) パイププレート挿入平面位置

コンクリート打設の型枠や足場に AR マーカを事前に設置(図-4)し，打設者に装着したウェアラブルカメラ(視線カメラ)により締固め状況を撮影することで画像に写り込んだ AR マーカの位置とパイププレートの位置関係を AI により自動分析し，パイププレート挿入平面位置を特定する。

なお，AR マーカは 50 mm 四方の紙に印刷し，ラミネート加工したものを現場に 500 mm 間隔で配置した。個々の AR マーカが有する ID 値とその現場座標値を後述する解析システムに登録する。

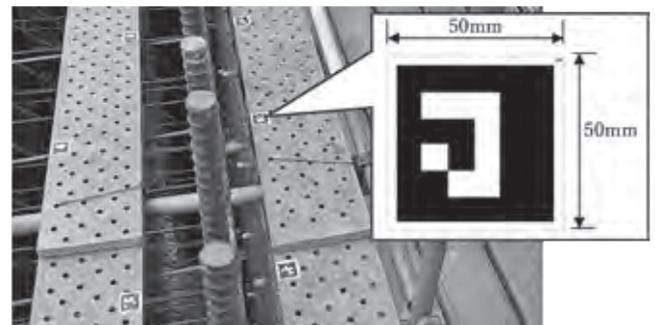


図-4 AR マーカの配置状況

(b) パイププレート挿入深さ

パイププレート挿入深さは，着色加工したホースをウェアラブルカメラにより撮影，色情報を AI によって認識することで取得する。

着色形式は，外側の色の内側に他色を付す形式とし，1つの2重色マーカで50mmとなるようにした。さらに，色マーカの間を25mmあけ，この中間部分にもホース先端からの距離に応じて着色を行った(図-5)。

使用した色は，赤，紫，緑，青，黄，白の計6種類であり，これらを，マーカの外側・内側と，マーカ中間に，図-6のように配置した。これにより，色マー

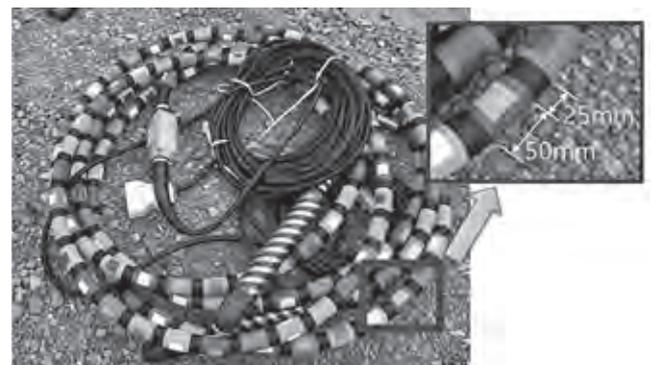


図-5 パイププレートホースのカラーリング

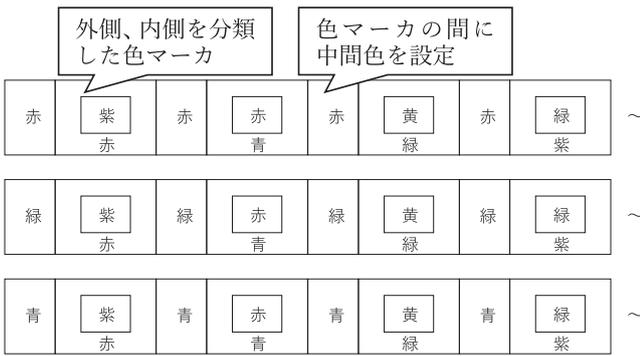


図-6 色の組み合わせパターン (一部分)

カー (50 mm) と中間色 (25 mm) を組み合わせれば、ホース先端からの距離 (差込み深さ) が一意に特定できる。

(c) バイブレータ挿入時間

ウェアラブルカメラにより取得された時系列画像から、バイブレータの動きを AI により分析し、同一箇所において締固めを行っている時間を締固め時間として自動計算することで取得する。

(2) コンクリート締固め管理システム

(a) システム構成

本システムは、撮影から解析処理・結果表示までをリアルタイム化することを目的の1つとするため、クラウドを活用したシステム構成を構築した(図-7)。図-7の網掛け部分がクラウドサーバーで構成している。スマートフォンで撮影した動画をアップロードし、サーバー1に保存されたことをトリガーに以降の自動処理が稼働する。サーバー2の解析処理サーバーを経由し、サーバー3の解析結果を格納するDBで自動処理が終了する仕組みとした。クラウド化する

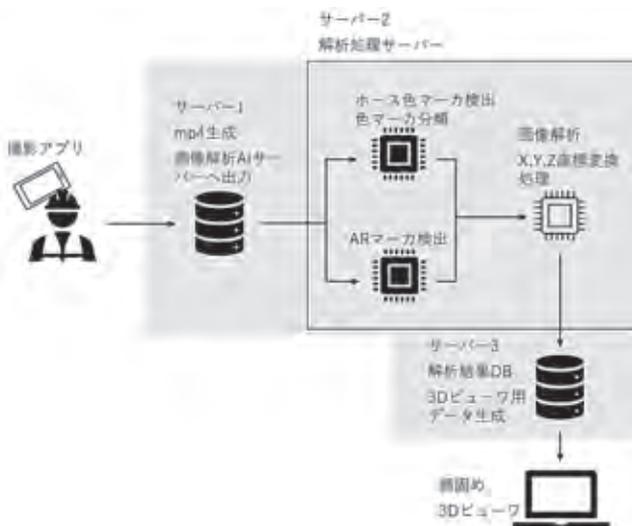


図-7 システム構成図

ことで、解析処理サーバーのマシンスペックの強化が可能となり、処理速度が高速化する。加えて、解析結果をどこでも確認できるため、現場でも、事務所でも、遠隔地であっても確認できるメリットも存在する。

(b) システム内容

AIによる動画画像解析により、算定した締固め位置を可視化するシステムを構築した(図-8, 9)。可視化システムでは、1回のバイブレータの差込みによる締固め位置・深さを1個の球体で表現する仕組みとした。

球体の大きさが、適切に締固められた範囲と考え、具体的には、メーカー推奨値であるバイブレータ直径の約10倍に設定した<sup>3)</sup>。複数作業員の全差込み箇所解析ができれば、球体の塗りつぶしによって、型枠内が順次球体で埋まることとなる。

他方、締固めムラがあれば球体による塗りつぶしの空間が存在することになる。次章で記載する現場では、タブレット端末で図-9を確認しながら、締固め作業を行っている。



図-8 工事情報設定画面



図-9 締固め状況確認画面

(c) 平面位置、深さ推定精度

システムにより推定される平面位置・深さについて、精度確認を目的に比較試験を実施した。

締固めを模擬した状況で、システムを稼働させた際の締固め位置・深さと、実際にそれらを計測した値の

比較を行った。試験状況および比較結果を図—10、表—1に示す。

5回の試験を行った結果、平面位置の誤差は平均して57mm程度、最大で235mmであった。誤差が大きくなったケースは画像に写り込んだARマーカの枚数が少なかったことが要因であり、撮影が上手くいったケースでは精度が高くなることが確認できた。深さ方向の誤差は平均して21mm、最大で75mmの誤差であったが、色の認識については照明等の環境の影響を受けることが分かった。

誤差要因への対処としては、ARマーカの枚数を増やす、その環境におけるAI学習を重ねる等の対応が必要になると考えられる。一方、通常締固めを実施する際、コンクリート標準示方書に示される標準的な締固め実施方法で、間隔は500mm以下、深さは下層に100mm挿入すると記載されており、上記の精度であれば十分これらを管理可能であることが確認できた。

### 3. 現場での適用例

#### (1) 工事概要

開発した締固め管理システムを「雄物川上流大沢川樋門新設工事（発注者：国土交通省東北地方整備局、受注者：清水建設㈱）」で適用した（以降、「対象工事」という）。

対象工事は、平成29年7月雄物川緊急治水対策河川激甚災害対策特別緊急区間の一部で、洪水時に一級河川雄物川から大沢川へ河川水の逆流を防ぐため、大沢川最下流部に築堤し、樋門を設置する工事である。

対象工事の概要を表—2に、完成イメージを図—11、12、現在の施工状況を図—13に示す。

#### (2) 適用結果

対象工事にて、本システムを活用し、コンクリートの締固め管理を行った。

現場では、図—14に示した通り、締固め作業員のヘルメットにウェアラブルカメラを装着した上で、



図—10 試験時のAI処理画像

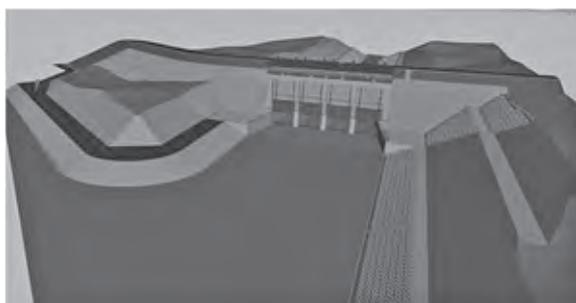
表—1 試験結果一覧

単位：mm

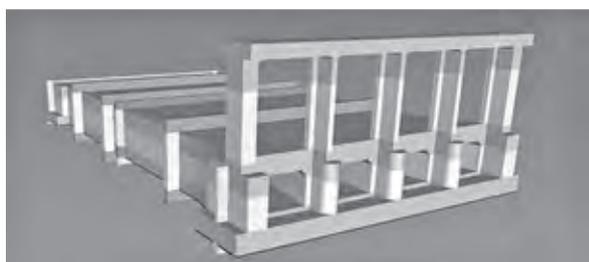
差込No	現場にて計測			AIにて計測			誤差：(現場)-(AI)		
	X座標	Y座標	Z座標	X座標	Y座標	Z座標	X座標	Y座標	Z座標
1	200	580	5360	245	539	5360	-45	41	0
2	298	547	5060	256	564	5135	42	-17	-75
3	270	840	4910	255	896	4985	15	-56	-75
4	590	593	5135	523	358	5135	67	235	0
5	597	420	5285	609	561	5285	-12	-141	0
平均値(2乗和平方根)							18.6	56.6	21.3

表一 対象工事の概要

項目	内容
河川土工掘削 (ICT)	土砂 38,100m <sup>3</sup> 軟岩 20,050m <sup>3</sup> 路体盛土 (ICT) 21,100m <sup>3</sup>
樋門本体	樋門 高さ 15.5 m, 幅 34.2 m, 4 連 BOX 構造 函渠 高さ 6.3 m, 幅 29.4 m 2 m 4 連 BOX 構造
延長	63.8 m
コンクリート量	8,230 m <sup>3</sup> 上屋共
仮締切工	その 1 その 2 分割施工
築堤護岸盛土 (ICT)	39,200m <sup>3</sup>



図一 11 CIM 作成完成予想図



図一 12 CIM 作成躯体打設ロット割



図一 13 現場全景

データを取得 (図一 15), パイプレータの差込み箇所を中心とする締固め効果範囲を可視化 (図一 16) することで, コンクリートの打設層別に, これらを確認して締固め状況を管理した。

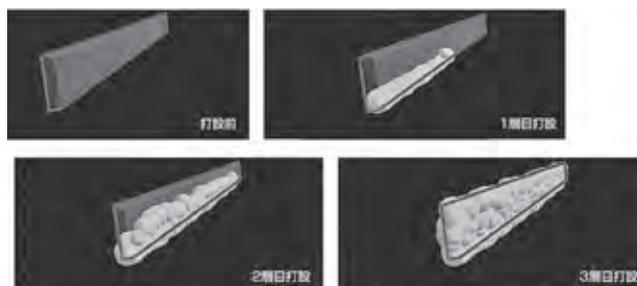
なお, 現場では, 撮影から 10 分以内で解析結果を



図一 14 データ取得準備



図一 15 データ取得状況



図一 16 データ解析結果表示

フィードバックすることができた。本システムの導入の目的として, コンクリートが硬化する前に締固め不足箇所を検出して, 再締固めすることを目的としていたため, これを達成することができた。

#### 4. おわりに

今回, コンクリート工事における締固め箇所を人工知能モデルを活用した動画像解析により, 定量的に把握し, かつリアルタイムに結果をフィードバックするシステムを開発した。本システムに求められる機能は, 動画像から締固め位置を, 早く, 正確にフィードバックする必要があるが, 実際のコンクリート工事では, コンクリートの跳ねなどによるマーカの汚れや張り出した鉄筋等の障害物が存在する。このような実際の現場状況下で取得したデータを教師画像として活用

し、学習を重ねた人工知能モデルにより正確な判断の検証を行ったことが本システムの特徴である。

現場では、解析結果をリアルタイムにフィードバックすると、締固め不足箇所の早期発見と、再締固め等の対処が可能になることを確認した。また、従来までの経験やノウハウに依存する定性的管理から、定量的・客観的な締固め管理に移行する上で、本システムの有用性が高いと考えられる。

本技術を活かした今後の展開としては、締固め不足箇所を自動で判定し、再締固めを必要とする箇所を知らせ、作業員を誘導する機能や経験が浅い作業員への教育・ガイダンスへの活用などが考えられる。

### 謝 辞

本システムは、清水建設㈱、法政大学、東京都市大学、東急建設㈱が、コンクリートの締固め状況の可視化方法について共同出願した特許をベースにシステムを開発しました。あらためてお礼申し上げます。

JCMA

### 《参考文献》

- 1) 今井龍一, 栗原哲彦, 谷口寿俊, 伊藤誠, 横田拓也: ウェアラブルカメラの動画像を用いたパイプレータの差し込み位置の計測プログラムの開発, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.74, No.2, pp.I\_102-I\_112, 2018.
- 2) 今井龍一, 栗原哲彦, 横田哲也: コンクリート打設におけるパイプレータの差し込み深さの計測手法の開発, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.75, No.2, pp.I\_12-I\_21, 2019.
- 3) エクセン㈱: 建設機械総合カタログ (2019年~2020年版), p.7.

### 【筆者紹介】

仲条 仁 (ちゅうじょう じん)  
 ㈱ Create-C  
 代表取締役/CEO



宇野 昌利 (うの まさとし)  
 清水建設㈱  
 土木技術本部 イノベーション推進部  
 主査



山口 浩 (やまぐち ひろし)  
 清水建設㈱  
 土木技術本部 基盤技術部



# 部材製造速度を2倍にするサイトPCa用超速硬コンクリートの開発

## 超速硬コンクリート「Site-ハイファード」をロジポート加須に初適用

西岡 由紀子・小島 正朗・深沢 茂臣

2013年に開発した3時間で脱型・吊上げ可能な超速硬コンクリートを改良して、生コンクリート運搬に十分な可使時間を付与し、サイトプレキャストコンクリートに初適用した。最短3時間で吊上げ強度を発現し、型枠を早期脱型することで1日2回転の急速施工が可能となり、型枠回転数の向上により製造期間の短縮と型枠数の低減を実現した。また午前中にコンクリートを打ち込んだ部材について当日取付けを試行し、有害なひび割れ等なく当日取付けが達成でき、プレキャスト部材のストックヤードの縮小ができること確認した。本技術の適用により狭小地でも手軽にサイトプレキャスト計画が適用でき、大幅な生産性向上を図ることが可能になった。本稿では、プレキャスト部材を対象とした工場用超速硬コンクリート・サイト用超速硬コンクリートの概要と、物流倉庫の工事に適用した事例について報告する。

キーワード：プレキャスト工法，サイトプレキャスト，超速硬コンクリート，早強セメント，蒸気養生

### 1. はじめに

鉄筋コンクリート躯体工事の生産性向上において、プレキャスト部材の利用促進は、施工の省人化、高品質化、短工期化に有効である。しかしながら工場製作プレキャスト工法では、工場から計画地への輸送に際し、部材寸法が制限されることや輸送費により高コストとなる等のデメリットがある。一方、建設現場内でコンクリート部材を製作するサイトプレキャスト工法では、部材寸法や輸送費の制約がなくなるが、部材の製作ヤードと部材を貯蔵する敷地が必要となる。

筆者らは、プレキャスト工場の生産性向上を目的に、2013年に経済性、品質に優れたプレキャストコンクリート工場用の超速硬コンクリート「ハイファード」(以下、本超速硬コンクリートという)を開発している<sup>1)</sup>。今回ハイファードに改良を加え、サイトプレキャスト工法に適用可能な超速硬コンクリート「Site-ハイファード」(以下、本サイト用超速硬コンクリートという)を開発し、現場適用を行った。本稿では、プレキャスト部材用の本超速硬コンクリート・本サイト用超速硬コンクリートの概要と、物流倉庫の工事に適用した事例について報告する。

### 2. 本超速硬コンクリート・本サイト用超速硬コンクリートの特性

#### (1) 本超速硬コンクリートの概要

本超速硬コンクリートはカルシウムサルフォアルミネートと無機塩系材料を含む速硬性混和材をセメントの2~6%添加して加熱養生することで、3時間程度で型枠脱型・部材吊上げ時の所要強度(一般に圧縮強度で12 N/mm<sup>2</sup>程度、部材の形状と吊上げ条件によって異なる)を発現する超速硬コンクリートである。これにより、1日に同一型枠で2回の部材製造が可能となり、製造期間の短縮や型枠数の削減を実現することができる。

また、従来の超速硬セメントや速硬性混和材を大量に使用した超速硬コンクリートに比べ、低コストで、一般建築部材に適用が可能である。

#### (2) 本サイト用超速硬コンクリートの概要

本サイト用超速硬コンクリートは、プレキャスト製品工場用に開発した本超速硬コンクリートを、サイトプレキャスト用に改良したものである。これにより工場製作では輸送できない大型部材についても、建設現場内で1日に同じ型枠で複数回製作可能となり、型枠数の低減に伴う製作ヤードの縮小が期待できる。また、午前中にコンクリートを打ち込んだ部材を3時間後に脱型して、同日の午後に取付けすることで、部材の

貯蔵ヤードの縮小も可能となる<sup>2), 3)</sup>。

従来の本超速硬コンクリートはプレキャスト製品工場用に開発したものであり、コンクリートの可使時間は30分程度であった。サイトプレキャスト工法では、生コン工場から現場サイトまでの生コンクリート運搬が必要となるため、本サイト用超速硬コンクリートでは化学混和剤を改良し、コンクリートの可使時間を90～120分まで伸ばしている。通常、遅延形の化学混和剤によってフレッシュ保持時間を延長すると、初期強度発現性が低下する。本サイト用超速硬コンクリートでは、遅延剤を用いることなく、化学混和剤の主成分であるカルボン酸系ポリマーの分子設計を最適化した改良型減水剤を使用することにより、初期強度発現性を保ったままコンクリートの可使時間の延長を実現した。

図-1は水結合材比45.6%の、改良型混和剤を使用した本サイト用超速硬コンクリートと従来のプレキャスト製品工場用の本超速硬コンクリート、一般のコンクリート（早強セメント使用）のフレッシュ性状の比較である。最もフレッシュ保持性が厳しい夏期を想定し、30℃環境で練り混ぜを行っている。図に示す通り、改良型混和剤によって、通常のコンクリートと同等のスランプ保持性が得られた。

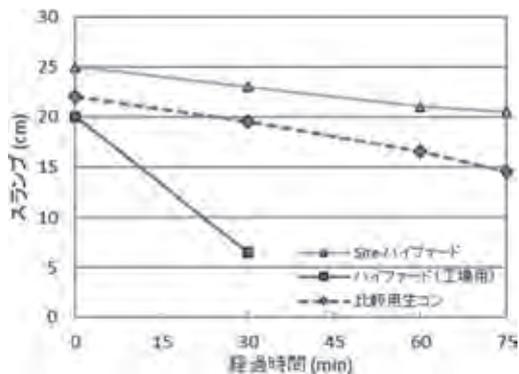


図-1 スランプの経時変化

本サイト用超速硬コンクリートの水セメント比と強度発現の例を図-2に示す。試験体は、実施工においてプレキャスト部材に蒸気養生を行うことを想定し、加温時の強度発現を確認するため、ジュール加熱養生を行った。ジュール加熱養生は、図-3に示す装置を用い、φ100×200mmの試験体両端部に電極と取り付けて交流電流を流して加熱する方法であり、任意の温度履歴に試験体温度を制御することができる<sup>4)</sup>。温度履歴は図-4に示す通り、45℃と75℃の2段階の蒸気養生を行った際の薄部材(t=200mm厚程度)の中心部温度を模擬し、3時間で到達温度75℃となる

ように昇温した。

初期強度は水セメント比や工場の使用材料、コンクリートの練上り温度等によるが、速硬性混和材の添加量や蒸気養生温度を適切に設定することで、図-2に示すように、3～4時間程度で吊上げ所要強度が発現する。

### 3. (仮称) 加須物流センターでの適用

#### (1) 概要

以下本サイト用超速硬コンクリートを物流倉庫の工事に適用した事例について報告する。本建物は、加須市郊外の交通利便性に優れたエリアに位置する延べ面積約12万m<sup>2</sup>、地上4階のマルチテナント型物流施設である。この大きな建物を計画するにあたり、物流施

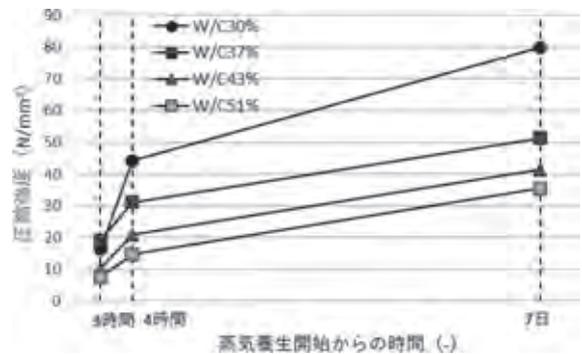


図-2 本サイト用超速硬コンクリートの初期強度発現

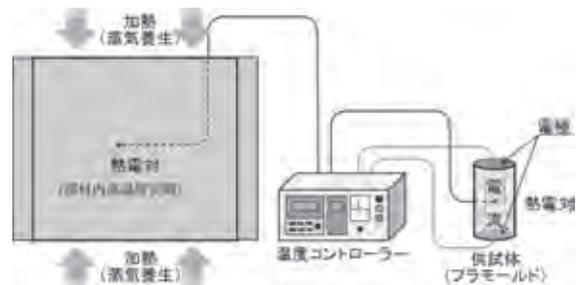


図-3 ジュール加熱養生装置概要

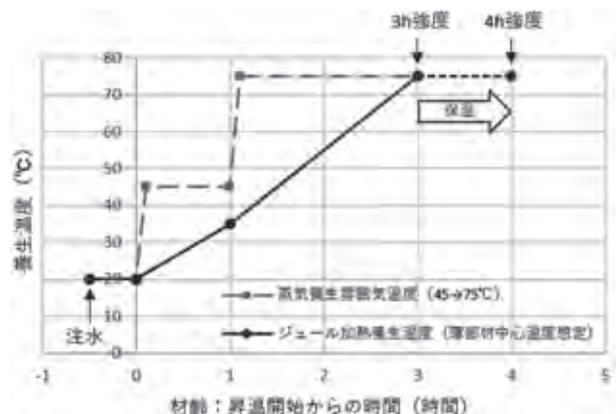


図-4 ジュール加熱養生試験体の温度履歴

設としての機能性に加え、地域や周辺環境への調和をテーマに設計を行った。両面金属板張り断熱パネルと専用サッシを組み合わせた独自の外装システムは、高い気密性・断熱性を確保した省エネルギー性能を有するとともに、色相や反射率を層状に変化させることで抽象的な表現が可能になり、スケールを感じさせない、街の風景に溶け込んだデザインの実現に寄与している（図一5）。



図一5 南西全景写真

#### 建物概要

建物名称：ロジポート 加須

建築地：埼玉県加須市豊野台1丁目317-6

建物用途：マルチテナント倉庫

建物高さ：29.228 m

設計・施工：竹中工務店

設計監理監修：日立建設設計，エノア総合計画事務所

延床面積：121,437.34 m<sup>2</sup>

建築面積：31,539.58 m<sup>2</sup>

構造：鉄筋コンクリート造，鉄骨造

建物規模：地上4階

竣工：2021年7月30日

本建物のランプウェイ棟の腰壁・垂れ壁部材（全137ピース）に、本サイト用超速硬コンクリートによるサイトプレキャスト部材を採用した。部材寸法は縦約3 m、横約5 m、厚さ180 mmで、ひし形をしており、部材重量は6.3 tである。工場製造した場合、公道を使用しての運搬が難しい。本部材の製造期間は躯体施工の繁忙期であり、また、在来工法による現地施工をした場合は支保工設置やコンクリート打込みが高所作業となり、全面足場を架設する必要があるため、サイトプレキャスト工法を採用した。

敷地条件より製作ヤードが限られ、製作期間が短いことから本サイト用超速硬コンクリートを適用し、1日複数サイクルの部材製造を行うことで、製造期間の短縮を図るとともに、製作型枠数を低減することで製

作ヤードを縮小する計画とした。更に、打込み当日の部材取付けにより、部材の貯蔵ヤードの縮小を図る取り組みを行った。

#### (2) コンクリートの製造

コンクリートの使用材料を表一1に、コンクリートの調合を表一2に示す。練り混ぜは、生コンクリート工場のバッチャープラント（二軸強制攪拌型ミキサー3000L）を用いて練り混ぜた。材料は一括投入し、速硬性混和材はバッチャープラントの混和材投入口から手投入した。生コン工場から建設現場までの運搬時間は20分程度であり、通常の生コンクリートと同様にアジテータ車で運搬し、荷卸し時のスランプの目標値は18 cmとした。

表一1 使用材料

材料	記号	種類・物性
セメント	C	早強ポルトランドセメント 密度 3.14 g/cm <sup>3</sup>
混和材	F	速硬性混和材 密度 2.72 g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S1	砕砂 表乾密度 2.70 g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.29%
	S2	陸砂 表乾密度 2.57 g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 2.22%
粗骨材	G	石灰岩碎石 表乾密度 2.70 g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.19%
混和剤	A	改良型高性能 AE 減水剤

表一2 コンクリートの調合

W/B (%)	s/a (%)	スランプ (cm)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
			W	C	F	G	S1	S2
53.2	48.8	18	172	308	16	948	621	252

#### (3) サイトプレキャスト部材製造

本サイト用超速硬コンクリートを用いることで、1日2回転の部材製造が可能となる。今回の計画において、貯蔵ヤードの広さと製作期間から、1日あたり4ピース以上の製作が必要となるため、型枠数を3台とし、2日で3回転の製造を行った（1日あたり4.5ピース）。

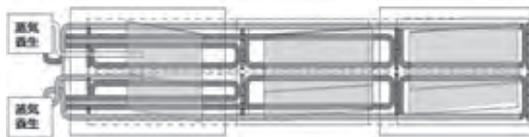
製造の流れは、型枠組立及びベッド面の清掃・型枠の検査を実施し、剥離剤を塗布し、外周部型枠をセットしたのち予め地組した鉄筋を型枠ベッドに配置する。打込み用の金物を設置後、打込み前検査を行い、フレッシュコンクリートの検査に合格したコンクリートをホッパーで打ち込む。部材の製造タイムスケジュールを図一6に示す。

コンクリートは運搬開始時から打込み終了まで、気温25℃以下の場合は120分、25℃を越える場合は90分以内とし、時間管理を徹底した。打込み後表面を平

N日目	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	準備作業	コンクリート打込み	養生			脱型清掃	周辺枠セット	鉄筋セット	コンクリート打込み	片付け清掃	養生
N+1日目	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
	脱型清掃	周辺枠セット	鉄筋セット	コンクリート打込み	養生			脱型清掃	周辺枠セット	鉄筋セット	

図一六 部材の製造タイムスケジュール

滑にし、養生槽をセットして蒸気養生を行った。本サイト用超速硬コンクリートで薄部材を製造する場合、45℃で1時間、75℃で2時間、合計3時間程度の蒸気養生が必要である。蒸気養生システムの概要を写真一1に示す。表面仕上げのため、45℃で1時間養生後に養生シートの一部をめくってコテ入れを行って表面を平滑にし、再度養生シートで覆ったのち75℃で2時間蒸気養生を行った。



写真一1 蒸気養生システム

(4) 吊上げ所要強度確認

蒸気養生が完了した後、携帯型圧縮試験機にて吊上げ所要強度が得られたことを確認した。部材重量と吊上げ条件から算出した吊上げ所要強度は 10.1 N/mm<sup>2</sup>であった。なお、初期強度には蒸気養生による温度履歴の影響が大きく出るため、吊上げ所要強度管理用試験体は部材同一温度養生を行った。部材同一温度養生状況を写真二に示す。φ100×200 mmの横置き鋼製型枠を用い、試験体両端面を開放して周囲を断熱材で覆うように作られた養生箱に試験体を設置し、部

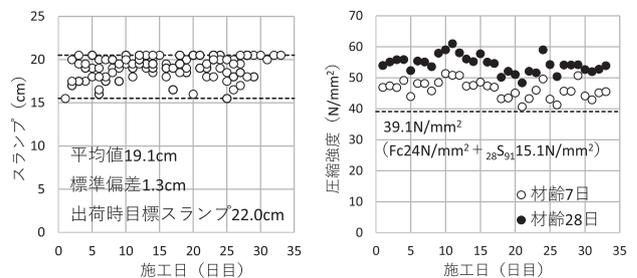


写真二2 部材同一温度養生状況

材と同時に蒸気養生を行って、部材中心部と同等の温度履歴を受けるようにした。試験体3体の平均が吊上げ所要強度を超えていることを確認してから、部材の吊上げを行った。吊上げ後は部材を仮置き台に移動して、部材にひび割れなどが目視検査を行った後、表層ひび割れの防止と中性化抵抗性の増進のため養生剤を塗布した。

(5) 品質安定性

実部材施工における荷卸し時スランプと標準養生強度を図一七に示す。いずれも管理値を満足し、品質の安定性が確認できた。また、材齢3時間の蒸気養生完了直後の強度は4～15 N/mm<sup>2</sup>であった。本施工は冬期であり、強度の日変動はコンクリート温度や外気温の影響と推察されるが、おおむね材齢3～5時間で吊上げ所要強度を満足した。



(a) 荷卸し時スランプ (b) 標準養生強度

図一七 荷卸し時スランプと標準養生強度

4. ヤードの縮小と部材の当日取付け

今回の施工では、2日で3サイクルの部材製造を行うことで、一般のサイトプレキャストコンクリート部材製造の150%の製造力が得られた。これにより型枠数を3台に軽減でき、製造ヤードの縮小を実現した。また、貯蔵ヤードは工程上の取付歩掛を算定すると3,000 m<sup>2</sup>以上必要だったが、本サイト用超速硬コンクリートの適用により貯蔵ヤードを1,950 m<sup>2</sup>に抑えることができ、施工上必要な貯蔵ヤードの縮減を達成した。

更なる生産性向上のため、午前にコンクリートを打

ち込み、3時間後に脱型して午後に取り付けを行う、1日での製造・取付けサイクルを試行した。取付までの手順は、吊上げ所要強度を確認後、仮置き場に移動し養生剤塗布し、縦吊りを行って設置場所に配置する。また、脱型を行った型枠はケレン・清掃に引き続き配筋ユニットをセット後、午後にコンクリートを打ち込み、翌朝には脱型・取付けが可能となる。今回の施工では、試験的に3ピースの当日取付けを行い、有害なひび割れなどもなく取付けできることを確認した（写真-3）。部材の当日取付けが可能になると、貯蔵ヤードを更に削減することができる。今後、特に仕上げ工程がない柱、梁などの構造部材において、本サイト用超速硬コンクリートを使用した、部材の当日取付けが有効であると考えられる。

### 5. おわりに

本稿ではプレキャスト部材製造の生産性向上を目的として開発した工場用の超速硬コンクリートを、サイトプレキャスト用として改良した本サイト用超速硬コ



写真-3 当日製造当日取付サイクル

ンクリート「Site-ハイファード」の現場適用について報告した。生コンクリート運搬が可能となる流動保持時間の確保を実現し、最短3時間での吊上げ強度発現を確認した。また、通常より高温が要求される蒸気養生の計画、打込み回数を考慮した型枠ヤードの計画、急速施工後の貯蔵ヤードの計画を立案・実施し、さらに午前にコンクリートを打ち込み、当日中の部材取付けも実現した。

Site-ハイファードは、短工期化を実現し、かつ経済性と安全性だけでなくプレキャスト化による品質向上が期待できる技術である。さらに貯蔵ヤードを縮小することもでき、都心の狭小地でも手軽にサイトプレキャストコンクリートの適用が可能となる。本技術は、従来の工事計画を大きく変え、生産性向上を実現するものであり、今後更なる普及展開を図ってきたい。

JICMA

#### 【参考文献】

- 1) 小島正朗・石山直希・山本登昭・入内島克明, プレキャスト部材用超速硬コンクリートの開発と適用-やわらぎ森のスタジアムの施工-, コンクリート工学, Vol.52, No.7, pp.582-588, 2014
- 2) 西岡由紀子・山口智己・小島正朗・前田拓海・大石卓哉・玉木伸二, 現場サイトプレキャスト用の超速硬コンクリートに関する研究 その3, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.277-278, 2021
- 3) 深沢茂臣・小島正朗・西岡由紀子・鈴木仁, (仮称)加須物流センターにおける超速硬コンクリートのサイトプレキャスト部材への適用-1日での製造・取付けサイクルの実現-, コンクリート工学, Vol.59, No.8, pp.673-678, 2021
- 4) 西岡由紀子・佐々嘉宣・松下哲郎・小島正朗, 超速硬性混和材と加熱養生を併用する超速硬コンクリートの開発(その12)ジュール加熱法による部材温度追従養生の検討, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.593-594, 2015

#### 【筆者紹介】



西岡 由紀子 (にしおか ゆきこ)  
 (株)竹中工務店 技術研究所 建設基盤技術研究部門  
 建設材料グループ  
 研究員



小島 正朗 (こじま まさろう)  
 (株)竹中工務店 技術研究所 建設基盤技術研究部門  
 建設材料グループ  
 グループリーダー



深沢 茂臣 (ふかさわ しげおみ)  
 (株)竹中工務店 東京本店 技術部

# 木造と鉄骨造が組合わされた混構造建物の施工

## 熊谷組福井本店の建設

佐 部 哲 治・増 子 寛

当社は、1898年創業後、1964年に本社機能を東京に移してから、現在まで半世紀以上に亘って創業地・福井を本店としてきた。しかし、旧本店の建物が老朽化したことから、2018年に解体し新たな福井本店の建設を行うこととなった（写真—1, 2）。本稿では、木造と鉄骨造が組合わされた混構造建物として計画したその施工について紹介する。

キーワード：木造と鉄骨造の混構造、断熱耐火λ-WOOD<sup>®</sup>、木部材建方、養生方法、精度管理、異種構造との接合部、熱橋対策、水分対策、木部材への耐火被覆施工手順

### 1. はじめに

このプロジェクトは、一昨年完成した宿布発電所跡公園の整備事業と一体をなす、創業120周年に伴う創業地の整備事業の一環でもある。同発電所は、当社初の請負工事（明治32年）である。館内にはオフィス空間の他に、創業120年の歴史と創業の精神を次世代の社員やお客様に伝承する歴史記念室も設けている（図—1）。

新本店ビルには、ESGへの取り組みの実証と市場への展開を視野に入れ、環境負荷低減と快適性・生産性の向上を兼ね備えた先進的事例として、「耐火木造」と「ZEB」を採用した。

北陸地域は日本海型気候であり、加えて計画地が都市の中の狭小地のため、ZEBを目指すには多くの制約があった。これに対して木造（CLT耐震壁）を活かした高断熱化、空調設備等の効率化、壁面・屋上太陽光発電による創エネにより、超省エネルギー化を実現し、都市型コンパクトオフィスビルでのZEB化（Nearly ZEB）を実現するとともに、働くための健康的な環境を両立させたスマートウェルネスオフィスとした。

環境認証として、CASBEE建築：Sランク、CASBEEウェルネスオフィス：Sランク、LEED：Goldの認証を取得した。この実績を今後の中高層木造建築における技術開発へつなげ、積極的な展開を図ることで、木造建築やZEBに代表される環境配慮型の建築物の普及に貢献し、SDGsに代表される社会的課題に取り組んでいく。



写真—1 福井本店 外観（東南面）



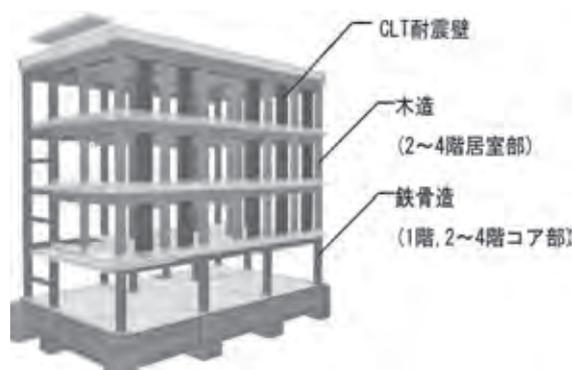
写真—2 福井本店 外観（東面）

### 2. 建築計画（鉄骨造と木造の混構造）

本計画では、図—2に示すように、1階及びコア部分を鉄骨造をとしつつ、2階以上の事務スペースを木造としている（混構造）。木部材には自社開発の断熱

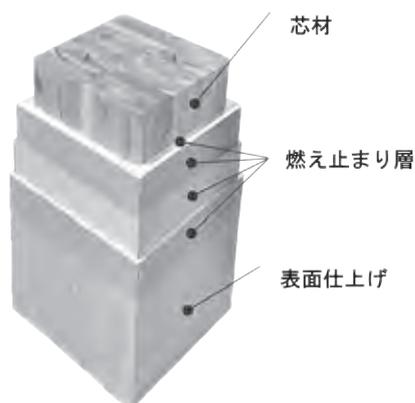


図一 1 各階平面図



図二 福井本店構造概念図

樹種により強度が異なるため、極力2次接着を要しない樹種を選定しコストダウンに配慮した。梁の表面仕上は突板シート、柱は縁甲板とし長期的な仕上材の割れや痩せに配慮している。また、執務スペースの外壁面には厚さ150mmのCLTを2枚組み合わせせたCLT耐震壁を採用した。これにより地震力を負担するとともに、建物外皮としての断熱性の向上にも寄与している。さらに、薄型CLT板を仕上げとして見せるトラス鉄筋付きポイドスラブをエントランスやテラスの天井等に採用している。



図三 断熱耐火λ-WOOD® 概念図

耐火λ-WOOD® (以下、本耐火部材という) を採用した(図三)。執務スペースは最大8mスパンであり、この部分を支持する木梁断面は230×1,020、積雪荷重を支持する最上階の木梁断面は350×1,150である。

福井本店 諸元

【設計期間】	2019年10月～2020年5月
【工事期間】	2020年9月～2021年7月
【建築概要】	
敷地面積	565.51 m <sup>2</sup>
天井高さ	1階：2.8m 2～4階：3.5m (直天)
建築面積	299.35 m <sup>2</sup>
主なスパン	3.6m×8m
延床面積	1,190.85 m <sup>2</sup>
道路幅員	7.95m
建ぺい率	52.93% (許容80%)
駐車台数	8台
容積率	194.78% (許容400%)
地域地区	商業地域、準防火地域、下水道処理区域
構造規模	S造+木造 地上4階
最高高さ	19.97m

軒高 15.97 m  
階高 3.95 m

#### 【主な外部仕上げ】

屋根 外断熱アスファルト防水の上押えコンクリート+遮熱塗装  
外壁 押出成形セメント板, ガルバリウム鋼板  
スパンドレル  
建具 アルミサッシ  
外構 浸透性インターロッキング舗装

#### 【主な内部仕上げ】

エントランスホール 床/花崗岩 JB 壁/ビニルクロス貼 天井/突板不燃シート貼 打合せコーナー  
床/タイルカーペット 壁/和紙クロス貼 天井/コンクリート現し 事務室 床/タイルカーペット 壁/ビニルクロス貼 天井/コンクリート現し

### 3. 施工計画

敷地は静かな住宅地に配置されており南・東面が市道、北・西面が戸建て住宅に面している。そのため施工開始時から近隣に対しては工事による騒音・振動・第三者災害等が発生しないよう十分に考慮し工を進めた。

既存杭撤去から開始し、簡易山留→基礎躯体→鉄骨建方・アンボンドプレス取付→木部材建方・地上躯体・外壁 PC →内外装仕上げの順に施工を行った。採用している工法は鉄骨造と木造の混構造のため、施工図段階で取合い部分など詳細なディテールを作図後部材発注し、施工時には木部材組立時の重機位置や部材の仮置場所などを綿密に決めておき作業の効率化を図った。

また2階から4階の柱・梁部分には1時間耐火性能を有する本耐火部材を採用。本耐火部材は自社の保有技術であり、燃え止まり層を硬質石膏ボードと断熱耐火パネルで現場施工することができる。施工は、本社及びつくば技術研究所と連携し、認定方法に基づきながら創意工夫して行った。

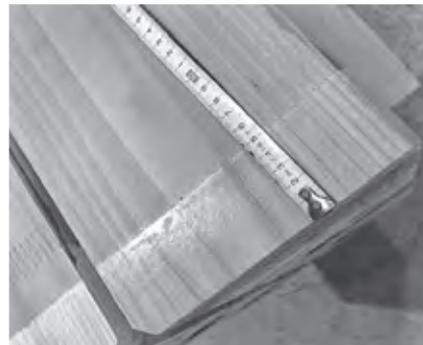
#### (1) 材料手配

木造部柱はスギ、梁はカラマツを使用している。材料は東北地方産を調達し、福島県（FSC CoC 認定工場）にて加工した。CLT 耐震壁の母材は愛媛県、ポイドスラブ下面に用いた薄型 CLT 板（写真—19, 20 参照）の母材は鹿児島県にて製作した。

#### (2) 材料加工・防水塗装・防錆処理

柱、CLT 耐震壁の下端木口部分は、直接コンクリート面と接する納まりであった為、雨や雪からの水分の吸収を防止する目的として、防腐防蟻性能のある乾燥防止剤（A-100）を塗布した（写真—3）。上端についてもコンクリート打設時の水分・施工中の雨や雪の水分吸収防止を目的として木材保護撥水塗料（住友林業：S-100）を塗布した（写真—4）。ガセットプレートとの取合い部分となるスリット内部には塗布が出来ないので、施工中には防水テープを貼り、水分の侵入防止を図ったが（写真—5）、通しボルトやガセットプレート等が突き出す箇所については、シール処理等の防水処理を行わないと小さな隙間から水分が染み込んでしまう原因となった（写真—6）。

ガセットプレート等、木部に組み込む金物にはめっき処理を行ったが、この塗膜厚が付いたことと、熱影響による材料の反り・ゆがみが原因となって、木部側の切り欠き寸法（スリット幅）がガセットプレート厚+2mm では入らなくなってしまった。このため、実際には同寸法を4mm とし対応を行った。その後の工事では、めっき処理から錆止め塗装に変更して対応した。



写真—3 干割れ防止剤塗布状況



写真—4 撥水性塗料塗布状況



写真一五 防水テープによる止水処理



写真一六 ボルト貫通部のシール処理

### (3) 建方準備

事前準備の良否が建方作業の効率性や安全性に大きな影響を及ぼすため、建方作業が建方計画に従ってスムーズに進行するように、事前の準備を十分に整えることが重要である。

木部材の建方では、アンカーボルト・ガセットプレート等取付金物の据付精度の良否がそのまま建方工事の精度に直結する。前節となる鉄骨部分に接合している部材については、鉄骨の建入精度も上部の木部材の建

入精度に影響するため、コンクリート打設前、打設後の精度確認が重要となる。特にCLT耐震壁は引き抜きを受けるアンカーボルトと、せん断を受けるガセットプレートのそれぞれの位置を一体で管理するテンプレートを設置して、位置調整を行う必要があった(写真一七)。

芯ずれのあったアンカーボルトは、テンプレートなどを利用して建方開始前までに適正な位置に揃うよう修正を行った。

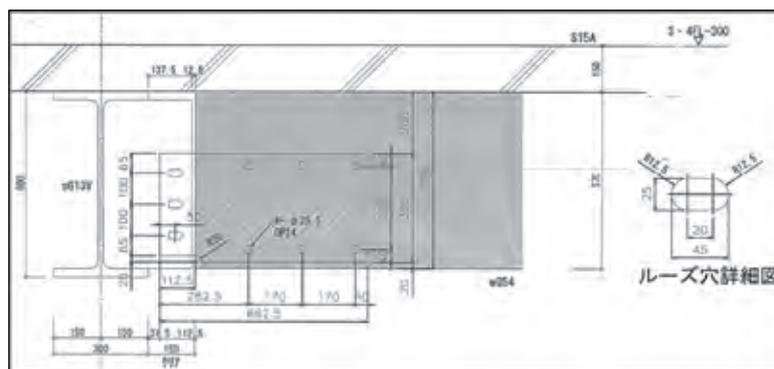
鉄骨部の精度は、柱の倒れ管理許容差： $H/1,000$  かつ  $10\text{ mm}$  以下、建物の倒れ  $H/4,000 + 7\text{ mm}$  かつ  $30\text{ mm}$  以下が基準である。一方、構造図上、鉄骨ボルト孔径のクリアランスは  $2\text{ mm}$  だが、木質構造部ではドリフトピンと木部孔についてはクリアランス無しだったので、施工誤差がそのまま建方精度に直結してしまう。そのため、建入れ調整が可能な様に木質構造梁端の鉄骨接合部分には水平方向のルーズホールを付け若干の誤差を吸収できる様にした(図一四)。

### (4) 足場計画

建方作業の効率性及び安全性を確保するため、建方条件に応じた仮設設備(外部足場、内部足場等)を適切に設置することが肝要である。中大規模木造建築工事の足場は、主としてドリフトピンの打込みやボルト



写真一七 テンプレートによる位置調整



図一四 鉄骨取合部のルーズホール

の締め付けの作業床として必要となる。設置に際しては、作業性、移動効率などを考慮する必要がある。鉄骨建方では鳶工が梁上で作業を行うが、木質構造の建て方ではスラブ上からの作業となる。梁を固定するドリフトピンを打ち込むために作業員が力を入れやすい姿勢を確保できる適度な高さの足場を設ける必要があった（写真—8、9）。

(5) 揚重機の配置計画

重機は建設地の現況に合わせて計画し配置及びサイズ選定をする。今回は狭小地での建設であった為、鉄骨建方時は建て逃げ方式となり50tラフテレーンクレーンにて建方を行った（写真—10）。その後、木部材の建方については積層工法となり、前面道路の一部を申請の上使用してクレーンの設置場所を確保した。鉄骨

より木質構造部材の方が軽量になるが、建設地によっては作業条件が悪くなる場合もありクレーン性能を下げる事が出来ない。今回は作業半径が大きくなった事もあり70tラフテレーンクレーンにて建方を行った（写真—11）。

(6) 建方計画

建方の作業は主に、地組、吊込み、建込み、建入れ（建入れ直し）、本締めから成る。その作業を柱、梁、耐震壁の順に行う（図—5）。

(a) 地組

地組とは、建方に先立って地上で複数の部材を組み立てることである。木質構造フレームの接合は、金物とボルト等による場合が多いので、これらを建方前に木部材に取付けるための地組が必要となる。組立時に



写真—8 仮設足場



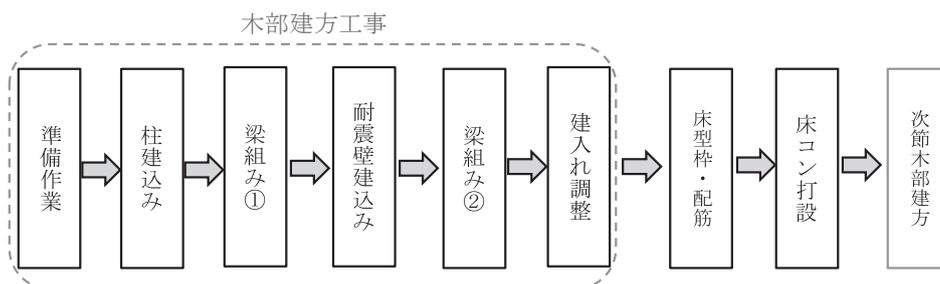
写真—10 50tクレーンによる鉄骨建方



写真—9 仮設足場上でのドリフトピン打込み



写真—11 70tクレーンによる木部材建方



図—5 木部材の1フロアにおける施工フロー



写真-12 通しボルトの出寸法合せ



写真-14 ドリフトピン先端のテーパー長



写真-13 同上 (調整後)



写真-15 逆さ掛矢

は、孔芯間距離等の寸法精度を確保することが肝要である。今回、梁接合金物と梁とのクリアランスがボルト先端で5mmであったため、通しボルトの両サイド出寸法を合わせるのに苦労した(写真-12, 13)。

(b) 建方(建込み)

建方は、予め決められた順序に従って木質構造部材を所定の位置に取付け、直ちに、アンカーボルト、接合金物、接合具などの仮留め及び仮締めを行って固定する。

ドリフトピンは先端をテーパー状にすることによりガセットプレートの孔にスムーズに入れることが出来るが、10mm程度のテーパー長は必要かと思われる。今回ドリフトピンの有効長さを確保する為、テーパー長を小さくしたのもあったが、建方時のドリフトピンの入りが悪く苦労した。施工性を確保するには、ドリフトピンのテーパー長を確保することを前提として、ドリフトピンの本数・径を調整するのが望ましい(写真-14)。

柱の建方はスラブ上から行った。この際、「逆さ掛矢」を使う事により下に居ながら、上からの力で柱部材をスラブから突出したサヤ管形状の金具に打込んだ(写真

— 15)。

CLT耐震壁上部の梁については、後から耐火被覆の為のボード類を貼ることができなかつたので、建方時に仕込む必要があつた。さらに上階の耐震壁用の通しボルトも仕込む必要があるので、梁材を横向きに置いて仕込み作業を行うヤードを設けた(写真-16)。

本耐火部材周囲の耐火被覆用のボード張り施工については、工場での先行施工も考えたが、雨・雪による石膏ボードの吸水に伴う劣化があることに加え、ドリフトピン打込みのためのスペースを予め空けておく範囲も必要だったこと等から、現場での施工とした(写真-17)。

CLT耐震壁の固定用金具(タフネスコネクター)



写真-16 木梁を横向きにした取付作業



写真一七 木部材の耐火被覆は後施工

は、取付を行うためのエポキシ樹脂の硬化を待つ為に養生期間を置く必要がある。部材搬入後の取付けでは建方を直ぐに始められないため、今回は現場とは別のヤードに先行搬入し取付けた。梁上部スラブコンクリートとの接合用金具(ラグスクリュー)についても、先行取付の方が精度管理が容易であるため、同じく先行搬入のうえ取付を行った。現場内にこれらの作業スペースが確保出来る場合には、現場で処理する事を考えた方が効率的である。

CLT 耐震壁の吊込み方法には、クランプを用いた方法又はアイボルト等を加工孔に差し込む方法等がある。今回は、ドイツ製の木質材料用吊り具(パワークランプ)を使用して吊込んだ。吊ワイヤーの角度が極端に開かないように取付位置を決定するか、吊り作業時に天秤を使用するなどの検討が必要となる(写真一八)。

一般的に中低層の鉄骨造では一度に全層を建てる事が可能である。これに対し、木造を含むハイブリッド構造の本件では、主に作業床を確保するため、各階の床コンクリート打設後に木部材の建方を行う必要があったため積層工法となった。鉄骨造と同様に、木造の範囲についても、床コンクリートを介さずに CLT 材等の木構造部材と一緒に建方が出来れば、より効率的な組み立てが可能となる。



写真一八 パワークランプを用いた吊込み・木質材料吊り具

#### (c) 木板付きボイドスラブの施工

今回、薄型 CLT 板を仕上げとして見せるトラス筋付きボイドスラブをエントランスやテラスの天井等に採用している。材料の仕上げとして見せる面(仕上面)の表裏を間違えない様にするるとともに、材の隙間からの水分やノロの侵入による汚れ防止のために隙間処理が必要となる。また、デッキプレートを介した木部材との熱橋を回避すべく、梁側面、即ちデッキプレート端部に受け材を設置する必要が生じた。一般に、鉄筋付きデッキプレートの効果により支保工の減少を図れるが、今回はデッキプレート端部も支持する必要があったので、全体としての支保工数量はあまり変わらなかった。今後検討が必要である(写真一十九、二十)。



写真一九 木板付きボイドスラブ(スラブ上面)



写真二十 同上(スラブ下面)

## 4. その他

上述のように、敷地形状や部材寸法に応じた仮設計画、天候等に配慮した養生計画、耐火被覆の施工手順、積層工法から鉄骨同等の連層建てへの模索等の他に、以下のような課題が考えられる。

### (1) 人材育成

今回、建方従事者は「鳶工」ではなく「大工」であった。このため中大規模木造建築の建方の経験が少な

く、当初はクレーンへの合図方法・建方全体の段取り等不慣れなこともあって時間が掛かる面が見られた。今後、木質構造の建物が増え、これらの施工への習熟度が上がるとともに、経験者や多能工が増えることにより施工の効率化・省力化が図れると思われる。

## (2) 吸水・乾燥収縮に対する配慮

今回は冬場の施工ということもあり、木部材全体に撥水材を塗布しておいたが、木部材の上に積雪が長時間残ると水分を吸収してしまうので、別途、養生の必要があった。極力、縦置きにて仮置きするのが望ましい。一方、乾燥により表面の収縮が進むと、硬い年輪部分が浮きだち、相対的に年輪間の柔らかい部分に、ささくれが生じる場合がある。このため、人が触れる可能性が高い部位などには、予め十分注意しておく必要がある。その程度に応じ、相応の補修等が必要となる場合がある。

## 5. おわりに

今後の課題として下記を考えている。

### (1) FSC 認証の取得・展開

今後は、健全な森林保全を図るべく、材料から加工組立てを通じた FSC 認証の取得・展開が求められる。

### (2) コストダウン

カーボンニュートラルを目指し、サステナブルな材料としての木材の活用が積極的に進められている。このような中、木材の生産・製材から加工組立、設計、施工までの一連の工程において、一層の人材育成、設備投資、技術開発等が求められている。これらにより、更なるコストダウンが図られ、古来同様、木材がより身近なものになるものと考えている。

## 謝 辞

最後に本件では、住友林業(株)の石田様、間中様、住友林業ホームエンジニアリング(株)の伊藤様をはじめ、関係各位には多大な御協力をいただいた。ここに記して謝意を表す。

JCMA

### 【筆者紹介】

佐部 哲治 (さべ てつじ)  
 (株)熊谷組 北陸支店建築部



増子 寛 (ましこ ひろし)  
 (株)熊谷組 建築事業本部  
 中大規模木造建築推進室室長  
 兼 建築技術統括部技術推進部長



# プレキャストト栈橋上部工の施工合理化工法の開発

## 鋼管杭の打込み誤差に柔軟に対応できる鉄骨差込み接合構造

網野 貴彦・田中 亮一・若松 宏知

海上栈橋における鋼管杭の打込みは作業船からの海上打込みが一般的であるため、打込みに高い精度を要求することが難しい。そのため、栈橋上部工のプレキャスト化にあたっては、鋼管杭の打込み誤差に対応しやすい上部工との接合構造が有利となる。そこで、鉄道構造物等設計標準・同解説に示される鉄骨鉄筋差込み接合方式を応用した鉄骨のみの接合構造を提案し、海上作業の省略・簡略化による施工性および安全性の向上、工程短縮等の全体最適化を図る一連のプレキャスト施工技術を開発した。本稿では、本工法の概要を説明するとともに、実大スケール試験体を用いた曲げ載荷試験の結果を紹介する。

キーワード：海上栈橋, プレキャストコンクリート, 杭頭接合部, 鉄骨差込み接合

### 1. はじめに

近年、建設業界では、国土交通省を中心にi-Constructionを推進しており、その取組みの一環として、コンクリート工の生産性向上に向けた検討が盛んに行われている。そのうち、現場作業の効率化や施工時期の平準化を目的とした部材のプレキャスト化が注目されている。港湾分野においても、防波堤ケーソンなどの大きなものから消波ブロック等の比較的小さいものまで、プレキャストコンクリートを利用した施工はすでに標準的に採用されている。しかし、これらはプレキャストコンクリート間の接合など、設計上の配慮がほとんど必要のないものである。栈橋のような複合構造物では、杭や上部工およびプレキャストコンク

リート間の接合が重要となるため、これまでは大規模な栈橋築造における急速施工が求められるケース以外では積極的に採用されてこなかった。その一方で、海上におけるコンクリート施工では、特殊技能を有する作業員が必要で多大な労力を要し、工事進捗が海象条件等に大きく左右されるため、海上での現場作業を省力化させることが喫緊の課題となっている。そこで本稿では、栈橋上部工を構成する杭頭部、梁、床版のすべての部材をプレキャスト化し、鋼管杭と上部工の接合に鉄骨差込み構造を採用することで、海上作業の省略・簡略化による施工性および安全性の向上、工程短縮等の全体最適化を図る一連の施工技術を紹介する(図-1参照)。

- 栈橋上部工を構成する杭頭部、梁、床版をプレキャスト化
  - ・海上作業の省略・簡略化
  - ・施工性・安全性の向上
  - ・工程短縮等の全体最適化

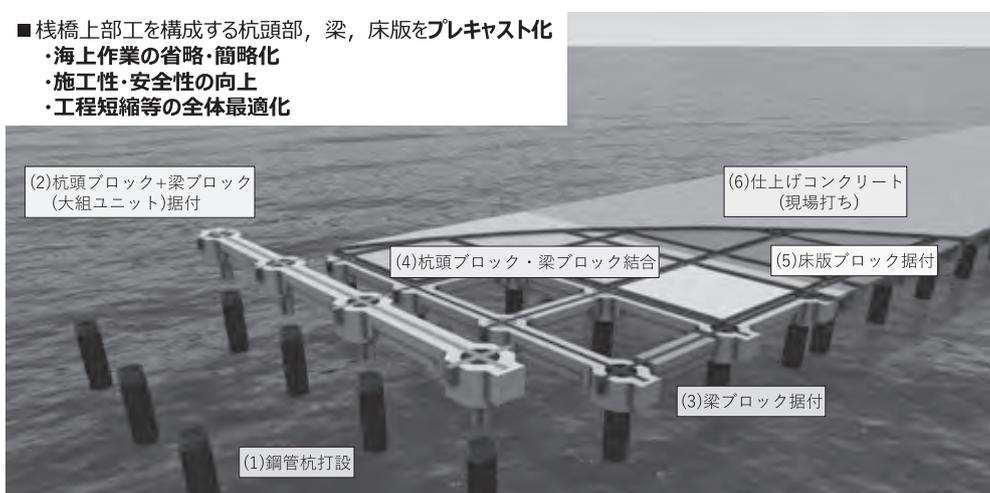


図-1 本工法の施工手順 ※図中の番号は施工順序を示す

## 2. 工法の概要

栈橋上部工のプレキャスト施工の合理化を図る上で着眼すべき点は、波や潮流等の影響により海上からの杭の打込みに高い精度を要求することができない点である（港湾工事における杭の打込みは、一般に、設計に対して平面位置で±10 cm、高さ位置で±5 cmで管理される）。この杭の打込み精度の課題から、従来は杭と上部工の接合部は大掛かりな支保工を構築し、現場打ちコンクリートにより施工することが主流であった。しかし、杭頭部を現場打ちコンクリートで施工する場合、上部工寸法が大きいことで大掛かりな支保工を要するだけでなく、鉄筋・型枠等の資材置場の確保、潮間作業によるコンクリートの品質や安全性の確保に対する配慮が必要になるなど様々な課題があった。一方で、栈橋上部工をプレキャスト施工した事例もあり、これまでは鞘管方式と呼ばれる杭頭接合方式が用いられることが多かった。ただしこの方式では、設計上許容される鞘管内側と鋼管杭外側のクリアランスの確保が重要であるため、杭天端の打込み位置の測量結果に応じて、プレキャストコンクリートの製作途中で、鞘管や鉄筋等の配置を微調整するなどの対応を強いられた報告もある<sup>1)</sup>。

上記を踏まえ、主として杭頭部における鋼管杭との接合構造に着目し、次のコンセプトにより開発を進めた。本工法で採用する杭頭接合構造は、鉄道構造物等設計標準・同解説で紹介される鉄骨鉄筋差込み方式を参考にしたもので（図-2<sup>2)</sup>参照）、鉄道構造物等設計標準・同解説<sup>3)</sup>に準じた設計手法を適用できるものである。ただし本工法では、鋼管内面と差込み鋼材のクリアランスを十分に確保するために、補強鉄筋を省略した鉄骨コンクリート造とした点で異なる（図-3参照）。

- 1) 杭頭部、梁、床版をプレキャスト化し（図-4参照）、杭頭部の現場打ち施工に必要な大掛かりな支保工を省略する。

- 2) 杭の打込み誤差（平面位置：±10 cm）を考慮し、差込み鋼材と鋼管内面のクリアランスを確保した設計を事前に行っておくことで、杭頭ブロックの製作作業や据付作業を大幅に簡略化する（図-5参照）。すなわち、杭天端の測量結果を待たずに（杭頭ブロック毎に設計図の変更を伴わずに）、杭頭ブロックの製作を進めることができ確実に工程短縮を図る。
- 3) 杭の打込み誤差（高さ：±5 cm）に対して、通常の杭天端測量のみを実施し、測量結果に応じて高さ調整プレートを陸上で設置し、高さ調整のため

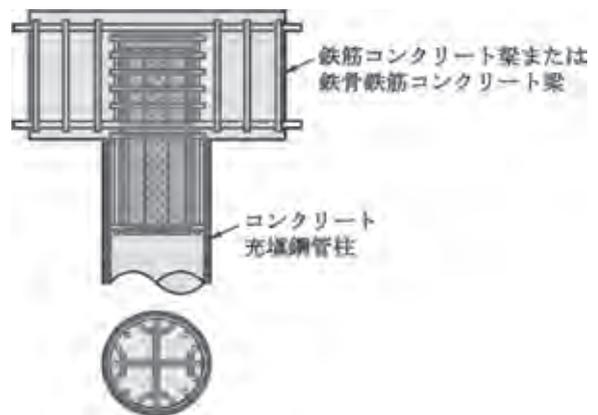


図-2 鉄骨鉄筋差込み方式<sup>2)</sup>



図-3 本工法における杭頭接合構造

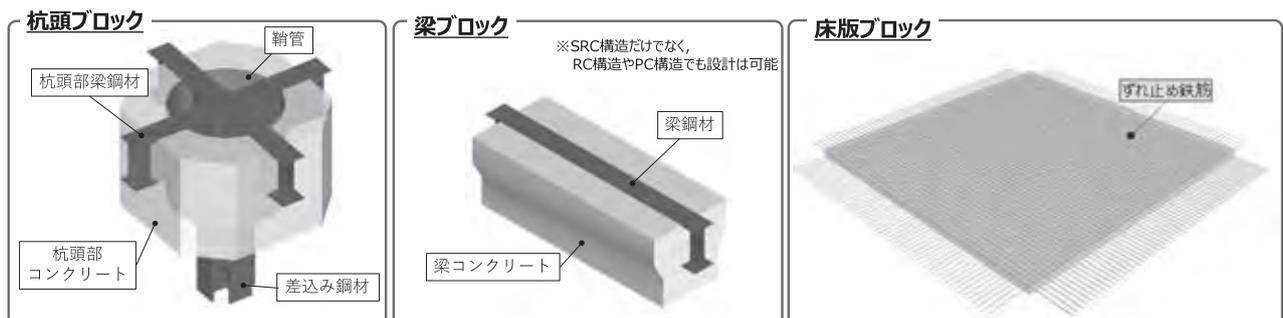
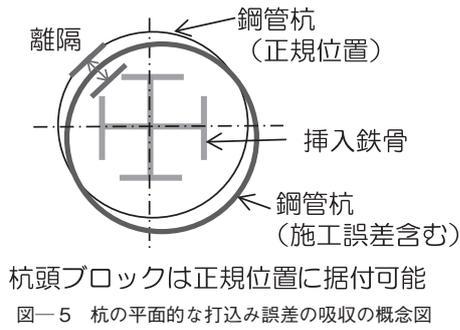


図-4 本工法で用いる各プレキャストブロックの例

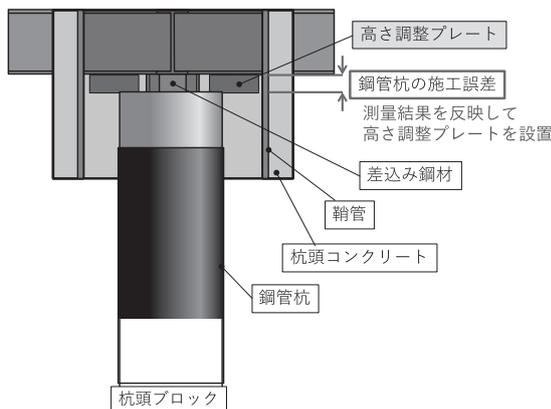


の杭頭部の処理等の海上作業を省略する（図一六参照）。

すなわち、鉄骨差込み接合構造の採用により、杭の打込み誤差が管理基準値範囲内に収まってさえいれば、プレキャスト上部工を設計図面どおりの所定の位置に構築できるようにしたことが大きな特長である。なお、栈橋には様々な構造形式があるが、本工法は主として直杭式栈橋に適用でき、耐震性能としてレベル1地震動が要求される一般の栈橋への適用を想定している。これは、4章で示すように、直杭を模擬した実大スケールの載荷試験に対して設計の妥当性を検証できていること、また現状では、レベル2地震動が求められる栈橋全体の破壊挙動や修復性等の評価に対する評価手法の確立までには至っていないことによる。ただし、杭頭接合部の設計は文献3)に準じて行うため、レベル2地震動が対象の栈橋でも設計検討は可能と考えている。

### 3. 施工の手順

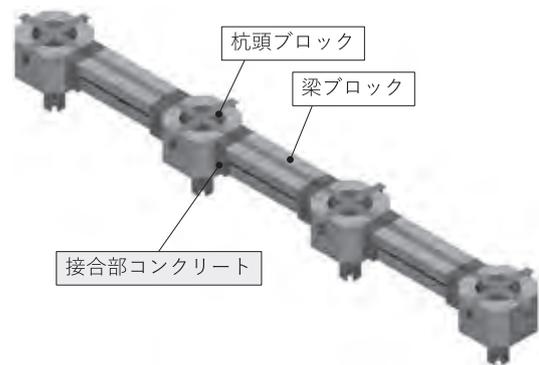
本章では、図一四に示すように、梁ブロックに鉄骨鉄筋コンクリート造を採用したときの構築手順を概説する。なお、梁ブロックを鉄骨鉄筋コンクリート造とすることで、杭頭ブロックの設置や杭頭ブロックと梁ブロックの接合が容易になり、梁ブロックの部材の



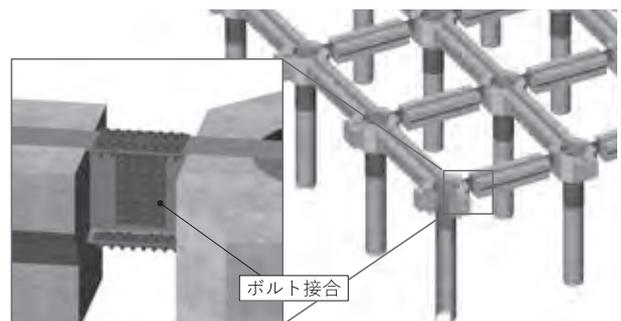
図一六 杭の高さ方向の打込み誤差の吸収の概念図

断面耐力や剛性が高められるため杭間距離も大きくすることができ、副次的に杭本数の低減も期待できる。ただし、鉄骨差込み接合は、通常の鉄筋コンクリート造やプレストレストコンクリート造に対しても適用できることを付記しておく。

- 1) 杭を所定の位置に打ち込んだ後に、杭天端が所定の打込み誤差範囲内に収まっていることを確認する。
- 2) 杭天端の測量結果に基づき、杭頭ブロック内の梁ブロックと連結する鋼材下面に測量結果を反映した高さ調整プレートを陸上にて溶接する（図一六参照）。
- 3) 杭内側に差込み鋼材と杭を接合させるための中詰めコンクリートを打ち込むための底蓋を設置した後に、杭天端上に杭頭ブロックを所定の位置に据え付ける。なお、陸上のヤードにて、杭頭ブロックと梁ブロックを接合し大組ユニット化しておくことで、据付回数の低減を図ることができる（図一七参照）。
- 4) 杭頭ブロックと梁ブロックの接合にあたって、接合箇所に簡易足場を設置し鉄骨間をボルト接合する（図一八参照）。また、杭頭ブロックおよび梁ブロックから吐出する鉄筋間は、重ね接手もしくは機械式接手により接合し、接合部コンクリートを打ち込むための型枠を設置する。



図一七 大組ユニットの例



図一八 杭頭ブロックと梁ブロックの接合の例

- 5) 杭頭ブロックから吐出する差込み鋼材と杭を接合するための中詰めコンクリート、および杭頭ブロックと梁ブロック間の接合部コンクリートを打ち込む。
- 6) 床版ブロックを据え付け、最後に仕上げコンクリートを現場打ち施工する。

#### 4. 実大スケール試験体による耐力評価実験

本章では、本工法における杭頭接合部の耐力評価を行った結果を紹介する。実験で用いた試験体を図-9、各種材料の仕様や力学的性質を表-1および表-2に示す。本実験では、挿入鉄骨の定着長の低減を期待して、挿入鉄骨のフランジ部に孔あき鋼板ジベル(以下、PBLと称す)を配置した。また、載荷試験は、実際の栈橋とは天地逆向きで試験体を固定板の上に設置し、試験体中央部を浮かせた状態で、図-9(a)に示す載荷点位置に水平ジャッキで加力することで行い、水平荷重は正負交番載荷により漸増させ、軸力は作用させない条件とした。試験体の製作および載荷試験状況を図-10に示す。

試験体製作に先立って、文献3)に示される鉄骨鉄

筋差込み方式による接合部の耐力算定方法に基づき、3つの破壊モード(接合部鋼管降伏破壊、差込み部材せん断破壊、差込み部材曲げ破壊)に対する耐力を算定した。ここで、差込み部材とは「中詰めコンクリートと挿入鉄骨(差込み鋼材)からなる合成部材」を指し、

表-1 鋼材の力学的性質

部材名称	仕様	降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )
鋼管杭	STPY400	320
挿入鉄骨	フランジ	SS400
	ウェブ	SS400
梁鉄骨	SS400	310
梁主筋	上側	SD345
	下側	SD345

※試験成績書による

表-2 コンクリートの力学的性質

部材名称	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )
中詰め・間詰めコンクリート	39.1	40,300
模擬上部工コンクリート	37.9	37,700

※テストピースを用いた試験結果による

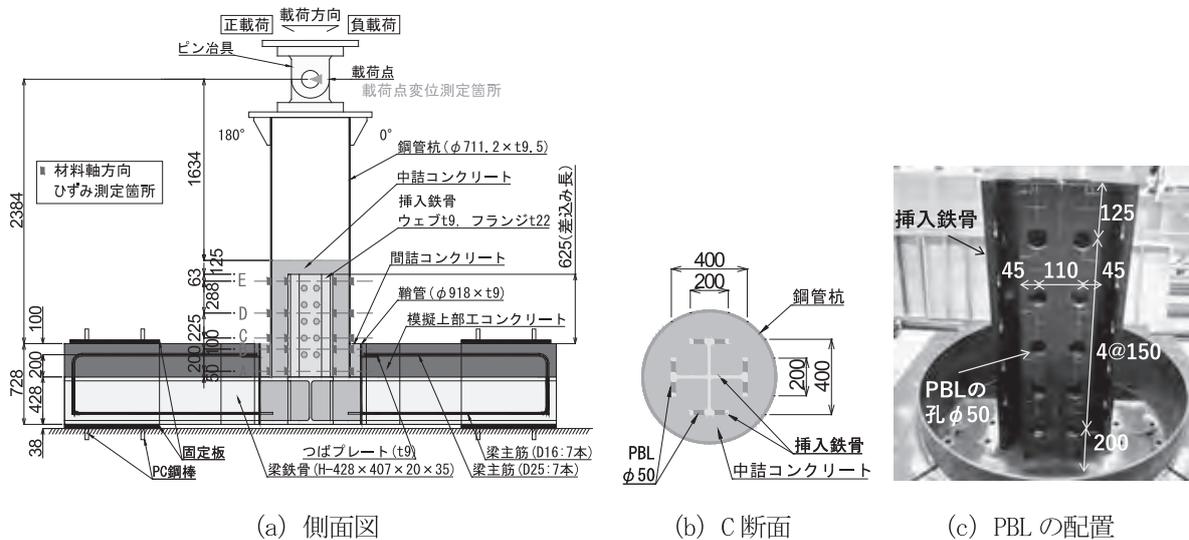


図-9 試験体概要 (図中の寸法の単位は mm)



図-10 試験体の製作および載荷試験状況

接合部鋼管降伏破壊とは「杭頭接合部の範囲における鋼管杭が差込み部材との支圧力の伝達（てこ作用）により斜め方向に引張降伏する破壊」を指している。表一3に、文献3)に示される耐力算定式を用いて、図一11に示す断面にて試験体条件から計算された各種破壊耐力を示す。なお、本試験体では、差込み部材の曲げ耐力算定断面の位置付近にPBLを配置したことから、差込み部材の曲げ破壊耐力および曲げ降伏耐力の算定にあたって、孔による挿入鉄骨（差込み鋼材）の断面欠損を考慮した算定値を示した。また、载荷試験の結果では差込み部材の曲げ破壊を確認できなかったため、表一3には差込み部材の曲げ降伏耐力の算定値も付記した。

水平荷重と载荷点位置における水平変位の関係を図一12に示す。図中の白抜ききのデータは、载荷方向の正負を切り替えた際の各ステップにおける最大荷重を示している。この結果によれば、水平荷重480kNのときにB断面の挿入鉄骨（差込み鋼材）の引張縁が降伏した。次いで、水平荷重643kNのときにE断面

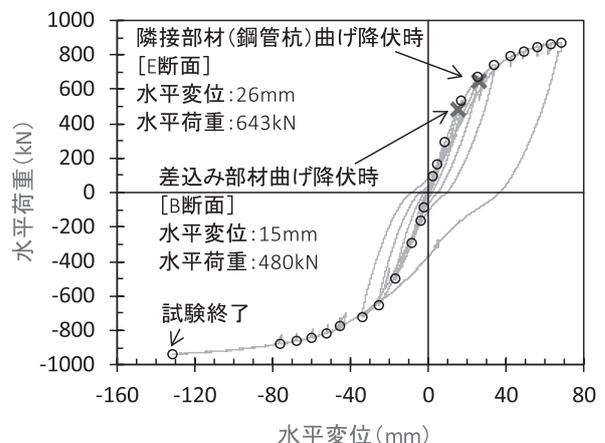
表一3 各種破壊耐力の算定値（PBLの孔による断面欠損を考慮）

項目		耐力
隣接部材	梁の曲げ破壊耐力	2,531 kN・m (1,018 kN)
	鋼管杭の曲げ降伏耐力	1,162 kN・m (638 kN)
杭頭接合部	接合部鋼管降伏破壊耐力	3,144 kN・m (1,319 kN)
	差込み部材のせん断破壊耐力	3,955 kN
	差込み部材の曲げ破壊耐力	1,054 kN・m (433 kN)
	※差込み部材の曲げ降伏耐力	663 kN・m (278 kN)

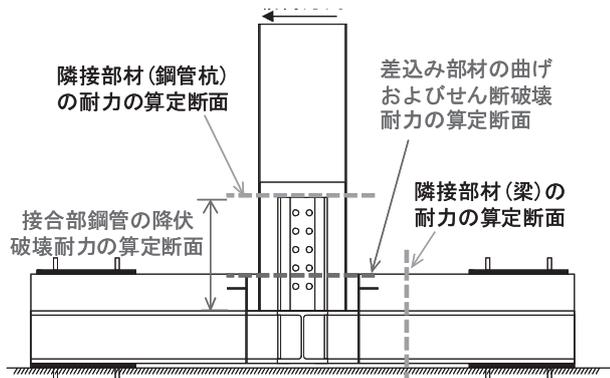
※梁の曲げ破壊耐力は、図一11に示す断面における曲げ耐力、せん断耐力のうち、先行破壊する曲げ耐力の値を示した。  
 ※鋼管杭の降伏耐力は、図一11に示す断面において、中詰めコンクリートを無視した杭断面のみを考慮した算定値である。  
 ※（ ）内の数値は、各破壊耐力の抵抗モーメントを载荷位置から算定断面までの距離で除して水平荷重に換算した値である。

の隣接部材（鋼管杭）の引張縁が降伏し、この値は表一3に示した隣接部材（鋼管杭）の曲げ降伏時の水平荷重の算定値（638 kN）とほぼ一致していた。試験終了までにE断面の隣接部材（鋼管杭）が降伏したときの変位の約5.1倍まで変位を与えたが、荷重の低下は見られず、試験終了後の試験体の切断面を確認したところ、図一13に示すように、杭頭接合部および隣接部材（梁）においてコンクリートの圧壊等の痕跡は見られなかった。

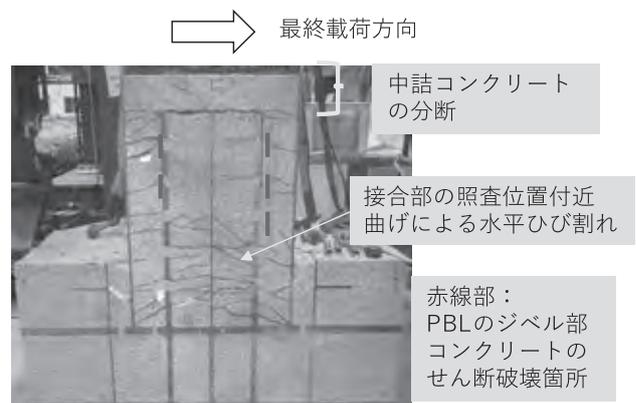
このように、差込み部材の曲げ降伏時の水平荷重において算定値（278 kN）に対し実験値（480 kN）が乖離し、さらに差込み部材の曲げ破壊時の水平荷重の算定値（433 kN）に対し実験では破壊が確認されなかった理由としては、本工法の杭頭接合構造は、図一9(a)に示すように、鋼管杭の上端部（図一9(a)では下端部）が上部工に埋め込まれていることによる。すなわち、本工法における杭頭接合部は、文献3)に示される耐力算定式によって差込み部材断面の曲げ耐力を考慮しておくことで、十分に安全側の接合部耐力を保証できていると考えることができる。なお、本载荷試験の詳細については文献4)を参照されたい。



図一12 水平荷重と水平変位の関係



図一11 本試験体の各種破壊耐力算定位置



図一13 载荷試験後の試験体切断状況

## 5. おわりに

本稿では、筆者らが開発したプレキャスト栈橋上部工の施工合理化工法の概要と、本工法で採用している鉄骨差込み接合の接合部耐力を検証した結果の一部を紹介した。

本工法は、栈橋上部工の大半をプレキャスト化することで、海上作業の大幅な工程短縮や安全性、ならびに栈橋コンクリートの品質向上を期待するものである。なお、机上での試算結果ではあるが、約6,000 m<sup>2</sup>の栈橋築造を想定した場合、従来の場所打ちコンクリート施工に比べて、海上作業に要する施工期間やコストをそれぞれ約3割、約1～2割縮減できる可能性があることを確認している。これは、海上での足場や型枠支保工などの仮設工をほぼ省略できるためである。また、潜水作業も省略できるため、熟練工の担い手不足の解消においても有効な技術になることが期待される。

ただし現状では、本工法を適用した事例はない。今後、本工法の試験施工や施工実績の積上げを推進し、施工歩掛りやコスト等の海上コンクリート施工の生産性に関する情報を収集していきたい。また、杭頭部のみならず、梁や床版等も含めた施工合理化技術（要素技術）の開発を推進し、ICT導入等による機械化・自動化技術の開発にも発展させていきたいと考えている。

JCM A

### 《参考文献》

- 1) 川俣奨：栈橋上部工受梁のプレキャスト化施工について, Marine Voice21, Vol.302, pp.12-15, 2018.8
- 2) 池田学・福本守・谷口望：鉄骨鉄筋差込み接合方式の耐力算定法, 鉄道総研報告, Vol.28, No.1, pp.35-40, 2014.1
- 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 - 鋼とコンクリートの複合構造物, 2017
- 4) 小林雄一・田中亮一・網野貴彦・若松宏知：鉄骨差込み接合方式による栈橋杭頭接合部の耐力評価実験, (公社)コンクリート工学会, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.2, pp.985-990, 2021

### 【筆者紹介】



網野 貴彦 (あみの たかひこ)  
東亜建設工業(株) 技術研究開発センター  
新材料・リニューアル技術グループ  
グループリーダー



田中 亮一 (たなか りょういち)  
東亜建設工業(株) 技術研究開発センター  
新材料・リニューアル技術グループ  
主任研究員



若松 宏知 (わかまつ ひるとも)  
東亜建設工業(株) 土木事業本部  
設計部第二課  
課長

## タブレットを用いたダムの敷均し・締固め管理

和 辻 総一郎

重力式コンクリートダム（RCD 工法）や台形 CSG ダムの打設などでは、複数のブルドーザによる敷均しや振動ローラによる締固めを同一エリア内で同時に実施している。このため、現場の工事監理者は個々の重機の作業状況をリアルタイムに確認することが難しかった。本稿では、工事監理者が各重機の敷均しから締固めまでの稼働状況と、それらの複数の重機の稼働位置などが、タブレットの同一画面上でリアルタイムに確認できる、「敷均し・締固め統合管理システム」を開発し、実験場で実機を用いて検証を行った結果を報告する。

キーワード：ダム、堤体打設、敷均し、締固め、ブルドーザ、振動ローラ、小型振動ローラ、タブレット管理

### 1. はじめに

一般的なコンクリート構造物の打設ではコンクリートポンプ車等によってコンクリートをポンプ圧送し、打ち込みを行い、棒状バイブレータをコンクリート内部に挿入して締固めるといった流れとなる。

一方、コンクリートダムの工事においては一般のコンクリート工事と比較して、ボリュームが膨大であり、施工が3次元に大きく広がっているなどの特徴がある。このため、ゼロスランプの超硬練りコンクリートを用いた RCD 工法に代表される面状打設工法や、ダムサイトの近くで容易に入手できる岩石質材料にセ

メント、水を添加し、簡易な練り混ぜにより製造される CSG を用いた台形 CSG ダムなど、大量打設が可能な工法が開発されている。これらのダムではコンクリートや CSG をダンプトラックなどで運搬し、ブルドーザで敷均し、振動ローラで締固めを行うなど、汎用的な施工機械を複数台使うことで大量打設を可能としている（写真—1 参照）。

ブルドーザの敷均し厚さや振動ローラによる締固め回数は、堤体の築造に使用する RCD コンクリートや CSG の密度や強度といった品質に大きく影響する。このため、事前に試験施工を行って最適な敷均し厚、締固め回数を決定する。現在、敷均し厚さや締固め回



写真—1 ダム打設状況（台形 CSG ダム）

数、それらに使用する重機の軌跡管理はGPSを用いたマシンガイダンスなどにより行われることが多くなってきた。ガイダンス機能により、重機オペレータは運転室のモニターで逐次施工状況を確認できる一方で、現場の工事監理者がこれらをリアルタイムに確認できる状況とはなっていない。

そこで、本稿では、各重機の敷均しから締固めまでの稼働状況と、それらの複数の重機の稼働位置などがタブレットの同一画面上でリアルタイムに確認できる、「敷均し・締固め統合管理システム」を開発し、実機を用いた実験場で行った検証結果について報告する。

## 2. システム概要<sup>1)</sup>

本システムはジオサーフ(株) (現：ライカジオシステムズ(株)) の情報化施工ソリューションシステムであるiCEに重機の施工状況が確認できる重機監視装置を付加したものである。

iCEはブルドーザ、振動ローラといった重機にRTK-GPSを搭載し、リアルタイムにセンチメートルオーダーの精度で重機の位置を求め、重機の位置をオペレータにアナウンスし、施工支援を行うものである。高精度なGPSの位置情報をもとに、重機の施工区域のどこを走っているかを瞬時に判断し、既定の敷均し厚や転圧回数と照らし合わせながら、リアルタイムに敷均し・締固め管理を行うことができる。

本システムは重機にソフトウェアを搭載し、重機ごとに施工データ(敷均しデータ・締固めデータ)を収集する。収集された施工データはネットワーク接続した現場事務所のパソコンに送られ、そこから現場の工事監理者のタブレットに稼働状況が転送される。図-1に本システムの概要図を示す。

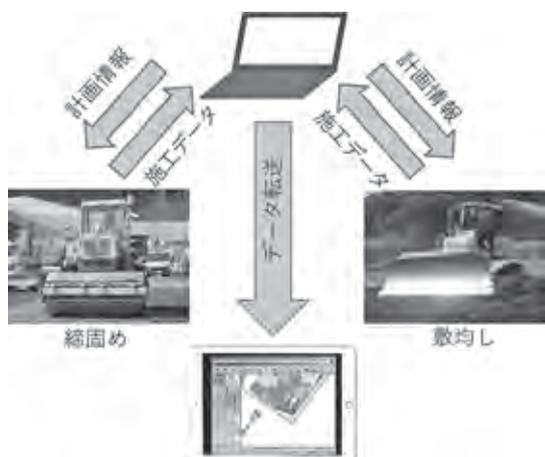


図-1 システム概要

## 3. 検証試験概要<sup>2)</sup>

検証は図-2に示す形状の実験場で試験施工を行った。試験は、25 cm / 層 × 4 層を 19 t 級湿地ブルドーザ 2 台で敷均し、最終層を 11 t 級振動ローラ 2 台で締固めた。なお、端部の締固めはハンドガイド式 1 t 級小型振動ローラ 1 台で行った。最終層ではブルドーザの敷均しと振動ローラによる締固めを同時に行い、異なる重機が稼働した状況でのシステムの確認を行った。小型振動ローラのマシンガイダンス機能は、その振動によってGPSなどが誤作動するため、開発が遅れていたが、GPSアンテナを比較的振動が少ないガードカバーに設置し、システム(ノートパソコン)をオペレータが背負うことで対応した。システムを搭載した小型振動ローラを写真-2に示す。

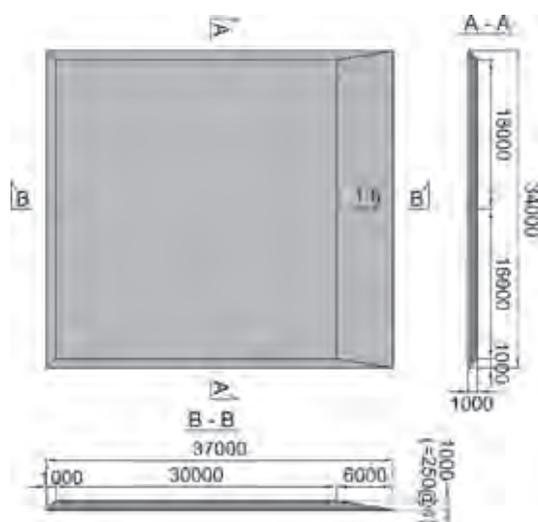


図-2 検証実験形状

表-1 実機試験項目

機種	台数	実施項目
19 t 級湿地ブルドーザ	2	敷均し：25 cm × 4 層
11 t 級振動ローラ	2	転圧：6 回 / 層 (1.0m / 層)
1 t 級小型振動ローラ	1	転圧：6 回 / 層 (1.0m / 層)

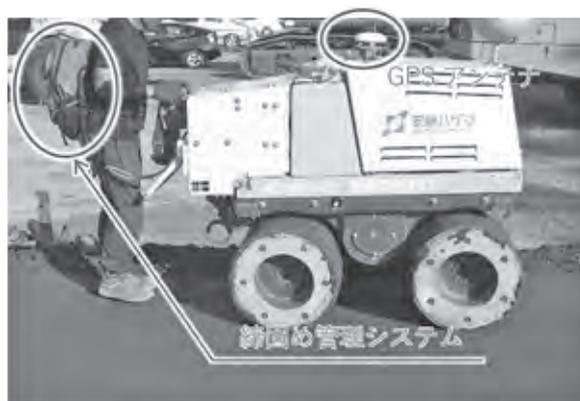


写真-2 小型振動ローラへのシステム搭載

#### 4. 検証試験結果<sup>2)</sup>

本システムで行った敷均し・締固め管理の検証結果を以下に示す。

図-3～5のモニタ画面の通り、操作画面は分かりやすいグラフィカルユーザーインターフェースにより、オペレータに負担のかかる複雑な操作を一切排除し、現場導入時の作業修練時間の短縮を可能としている。

図-3はタブレットに表示された全重機の稼働状況の表示画面である。ブルドーザと振動ローラの異なる重機が稼働している状況において、タブレット上にすべての重機の位置および稼働状況が確認できる。これにより、工事監理者は全体の作業状況、進捗を把握できる。なお、各重機は最大8台まで設定が可能である。

全重機の稼働画面からタブレット上の個別の重機をタップすると個々の重機の詳細状況が確認できる。図-4はブルドーザの稼働状況画面である。ブルドーザは自機の動きと敷均し状況に加え、他のブルドーザによる敷均し厚の分布状況が表示される。図-5は振動ローラの稼働状況画面である。振動ローラは自機の動きと作業状況に加え、他の振動ローラの動きや軌跡および転圧回数が表示される。重機の個別状況が把握できることにより、作業の過不足や効率性、オペレータの技量などが把握でき、重機の配置変更やオペレータへの指示などにより、その場での是正が可能である。

重機搭載モニタはタブレットと同様にオペレータ自身の作業状況に加えて、同じ作業を行っている周りの重機の状況が確認できる。また、振動ローラの転圧回数は合算でき、近くの別の重機に対応を指示することができる。

小型振動ローラへのシステムの適用については、振動によるGNSSアンテナの不具合は認められず、タ

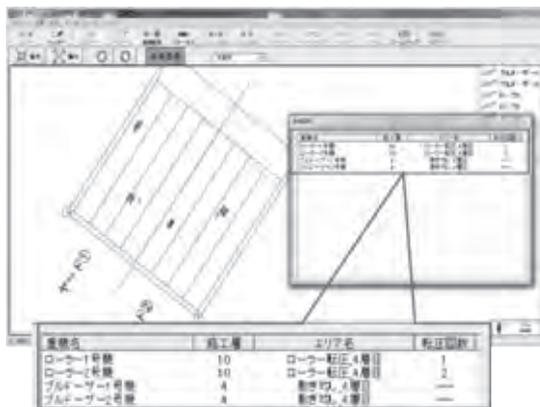


図-3 全重機の稼働状況表示画面

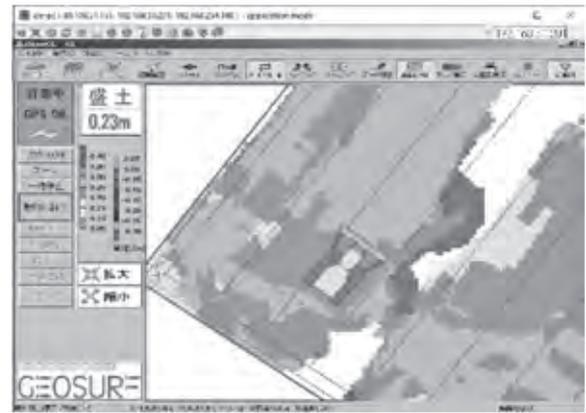


図-4 ブルドーザの稼働状況表示画面



図-5 振動ローラの稼働状況表示画面

ブレットのモニタからも、リアルタイムの位置、軌跡、転圧回数の状況が確認できた。これにより、締固め範囲のすべてで所定の転圧回数の有無の確認ができる。

#### 5. トータルステーション (TS) を用いた小型振動ローラ検証試験

山で囲まれた山岳地帯でのダム工事や坑道内での敷均し・締固め作業などを行う工事では、GPSを受信しづらい状況となる。このため、写真-3に示す坑道内を想定したトータルステーション (TS) を用いた軌跡管理の検証を別途行った。検証では写真-4に示すとおり、小型振動ローラの上部にプリズムを取り付け TS で自動追跡を行った。

TS を用いた小型振動ローラの軌跡・転圧回数の記録を図-6に示す。この結果、TSにおいても小型振動ローラの軌跡管理・転圧回数管理がパソコンやタブレットで行えることを確認した。一方、現状ではTSのスキニングの速度は3点/s程であり、転圧速度が速い場合やメッシュ間隔が小さい場合は転圧を認識しない場合がある。また、TSとプリズム間に障害物があるとTSがプリズムをロストすることがある。実



写真-3 TSを用いた検証試験状況

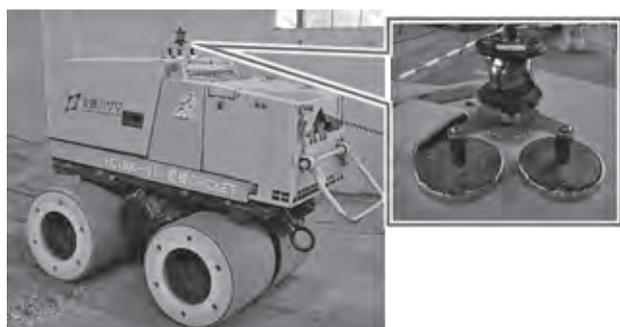


写真-4 プリズム設置位置

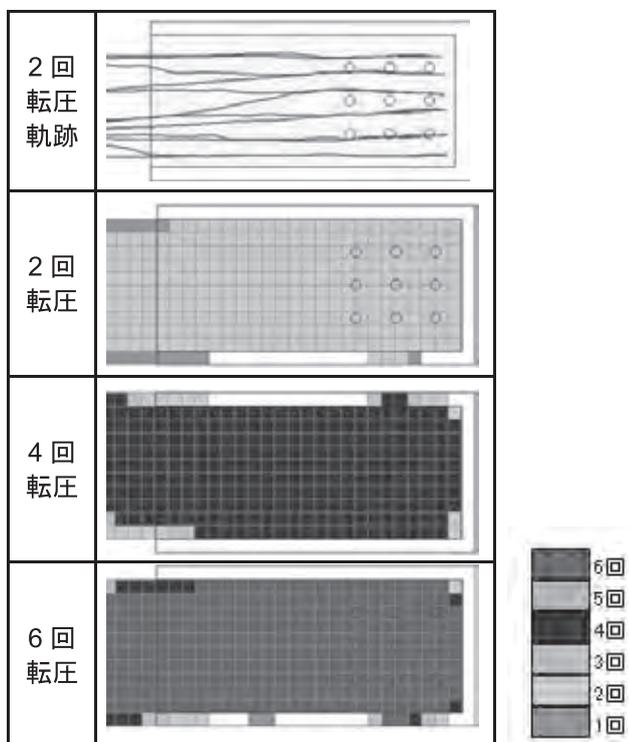


図-6 TSを用いた軌跡および転圧管理

施工においてはこれらの点についての対策を施す必要がある。

## 6. システムの効果

本システムの使用により、工事監理者はその場で全体および個別の作業状況を確認し、施工の不足箇所や無駄を素早く把握できるため、改善・是正が可能となった。これにより「作業効率および作業能力の向上」「作業の平準化」に繋がり、品質および生産性が向上する。

## 7. おわりに

建設業界では建設機械の自動化、自律走行の開発が進められている。開発の過渡期においては、マシンガイダンス搭載型や自動および遠隔操作搭載型そしてオペレータ操作型の建機の混在作業が予想される。特に様々な工種、機械が錯綜して同時に稼働する大型工事では、作業管理システムの開発が必要となる。

また、今後の建設機械の開発においては通信方法が重要な要因となる。本稿ではGPSに加え、TSを用いた小型振動ローラの検証を行っている。小型振動ローラの検証結果は、大型のブルドーザや振動ローラにおいても十分流用できるものであると考えている。

本システムは、作業管理のプラットフォームの方向性を示したものであり、今後は様々な機械、作業に対し実証的な試験を実施し、機能を高めていく所存である。

JICMA

### 《参考文献》

- 1) iCE取扱説明書 ジオサーブ(株)
- 2) 和辻総一郎, 渡邊純章, 藤田司, タブレットを用いたダムの敷均し・締め管理, 土木学会第76回年次学術講演会(2021) VI-944

### 【筆者紹介】

和辻 総一郎 (わつじ そういちろう)  
安藤ハザマ  
建設本部 土木技術統括部



# 生産性向上を目指した鉄道高架橋の プレキャスト化への取り組み

安 保 知 紀・松 本 浩 一・石 橋 忠 良

鉄道高架橋の構築工事は、高所での作業や複雑な配筋作業が多く、これらの作業の大幅な省力化や工期短縮が求められており、プレキャスト工法の活用による生産性向上が期待されている。鉄道高架橋を構成している柱や梁、床版をプレキャスト化する場合、各部材の接合工法が生産性に与える影響は大きく、熟練技術を必要とせず作業時間を短くできる接合工法の開発に取り組んでいる。本稿では、構造試験や施工試験から得られた内容について報告する。

キーワード：鉄筋継手, 省力化, 工期短縮, 柱, 梁, 接合工法

## 1. はじめに

我が国の人口減少に伴う生産年齢人口の不足が深刻な状況にあり、特に建設業界では技能者の高齢化や技能者不足が大きな課題となっている。このような背景の中、鉄筋コンクリート工事では生産性向上を目的にプレキャスト工法の活用が期待されている。プレキャスト工法の大きなメリットは、現場での施工期間を大幅に短縮できることであるが、一方で場所打ち工法で設計された構造物をそのままプレキャスト化すると、部材の製作費や架設費が大幅に増大するデメリットが生じる。

対象としている鉄道高架橋は、一般的に杭やフーチング等の地中部に構築される基礎部と柱、梁、スラブといった地上部に構築される部材で構成されている。今回の取り組みは、基礎部を除いた地上部の構築について、柱や梁、スラブを全てフルプレキャスト部材とすることで、現場作業を省力化でき、施工期間も大幅に短縮できる工法の開発である。この取り組みは、1ブロック当たり3～4径間程度の鉄道高架橋の柱、梁、スラブをそれぞれ1～2日間で施工することで、1ブロックを5日間で構築し、さらに工事費を現場打ち工法と同等以下にすることを目標としている。

プレキャスト工法を採用するにあたっては、プレキャストを前提にした構造計画を行うことが大切である。プレキャスト工法のコスト増加の最も大きな要因の一つは部材の製作費である。特に、型枠の製作費が占める割合が大きいことから、部材の製作段階において型枠の転用回数を多くすることが大切となる。その

ためには、ある程度の施工数量があり、同一の部材を組合せた構造形式とする必要がある。また、コストが増加する別の要因としては、運搬・架設費がある。現場サイトでの製作であれば、運搬の制約は比較的少ないが、工場からの運搬を前提にする場合は、部材の長さや重さ等が制約されるため、運搬費に大きく影響する。さらに、都市部等の狭隘な施工箇所では、資機材の輸送路や重機の配置スペースが確保できる構造計画が必要となる。図-1は、都市部の連続立体交差事業を想定して、部材を工場から運搬することを前提としたプレキャスト化高架橋のイメージである<sup>1)</sup>。運搬の制約として部材長さを12m、重量を20t以下とし、部材の種類も最少になるように検討した構造である。

プレキャスト工法における技術的に重要な要素は部材の接合方法であり、その中でも鉄筋の継手構造は構造物の性能や製作費とともに、現場での施工速度に大きく影響を与える。本稿では、施工速度に優れている鉄筋継手を用いた基礎と柱の接合、および柱と梁の接

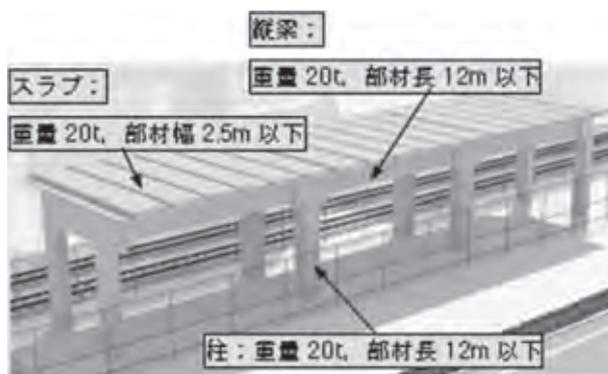


図-1 プレキャスト化をイメージした高架橋<sup>1)</sup>

合について、それぞれの力学的性能を確認するための載荷試験や、施工性を確認するための組立試験を実施したので、それらの結果を紹介する。

## 2. 鉄道高架橋のプレキャスト工法の現状

鉄道高架橋のプレキャスト工法の主な実績には、例えば、京急蒲田駅付近連続立体交差事業にハーフプレキャスト工法を適用した事例<sup>2)</sup>がある。部材をハーフプレキャストとすることで部材重量が軽く、運搬や架設に大きな重機を必要としない工法であり、特に事例のような狭隘な市街地での適用に優位性がある。しかし、部材架設後には、鉄筋・型枠組立、中詰めコンクリートの打設等の作業が現場で発生し、生産性向上のためには、現場での作業量を削減することが求められる。

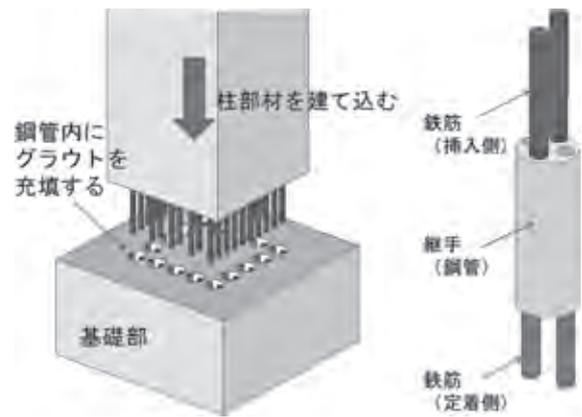
また最近では、現場での作業を極力省略し大幅な施工期間短縮を目的に、フルプレキャスト工法が新幹線建設工事<sup>3)</sup>に適用されている。この事例では、部材の軸方向鉄筋を機械式継手に挿入しながら架設を行い、目地部の型枠組立の後、機械式継手のグラウトを注入するだけであり、現場での作業量が少ないことから、大幅な工期短縮が見込める工法である。しかし、梁部材の接合作業では、部材端部から突出した軸方向鉄筋を水平に差し込む必要があるため、架設箇所に仮支保工を設置し、重量が重い梁部材をスライドさせながら接合している<sup>3)</sup>。現場での施工性の向上や工事費のさらなる縮減には、仮支保工や足場等の仮設備を削減することが求められる。

## 3. 基礎と柱の接合工法

### (1) 工法概要

基礎と柱を接合する工法の概要を図一2に示す。この工法の鉄筋継手には、筆者らが開発した鋼管拘束型鉄筋継手<sup>5)</sup>を用いる。この継手の特徴は、一組の鉄筋をある程度の離隔を確保した状態で重ね合わせ、それを取り囲むように鋼管を配置し、鉄筋を重ね合わせた範囲を拘束することで継手の強度を確保する構造である。

主な施工手順は次の通りである。①基礎部を構築する際に定着用の鉄筋と継手用の鋼管を設置する。②柱部材を建て込む直前に、鋼管内にグラウトを充てんする。③柱部材から突出した鉄筋を鋼管内に挿入しながら柱を接合する。鋼管内に充てんするグラウトは、一軸圧縮強度が60 N/mm<sup>2</sup>程度の無収縮モルタルであ

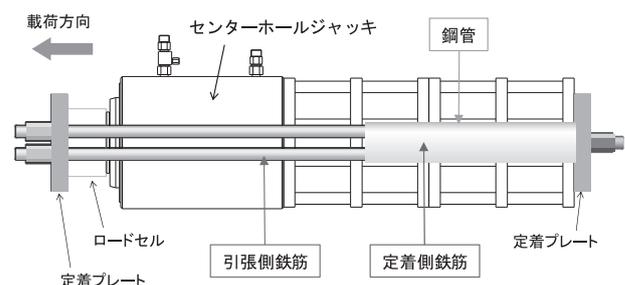


図一2 柱接合工法の概要

り、特殊な材料を使う必要がない。また、鋼管内のグラウトの状況を直接目視で全数確認できるため、施工の信頼性が高い鉄筋継手工法である。なお、鉄筋の配置や施工性を考え、2本の鉄筋を1組とした継手構造としている。

### (2) 鉄筋継手の引張特性

鋼管拘束型鉄筋継手の引張強度や破壊性状を確認するために、図一3に示すような、2本の鉄筋に同時に引張力を作用させる引張試験を実施した<sup>5), 6)</sup>。引張試験は、鉄筋の規格強度や継手長さ、鋼管径・厚さ等をパラメータとして全18ケース実施したが、ここでは鉄筋の節形状の違い(ねじ節、たけ節)に着目し、鉄筋規格強度をSD490、継手長さを640 mm (20φ, φ:鉄筋公称直径)、鋼管厚さを6.6 mmとしたケースについて紹介する。



図一3 引張試験概要

ねじ節鉄筋を用いた試験では、写真一1(a)のように継手端部がコーン状に破壊した後、継手内部から鉄筋が抜け出して荷重が急激に低下した。これに対し、たけ節鉄筋を用いた試験では、写真一1(b)のように継手端部にコーン状の破壊が見られたものの、鉄筋の抜出しは発生せず鉄筋の破断に至った。

次に、鉄筋の応力とひずみの関係を図一4に示す。図の縦軸は、鉄筋の応力を試験時降伏強度で除して無



(a) ねじ節鉄筋 (b) たけ節鉄筋  
写真-1 鉄筋の抜き出し状況

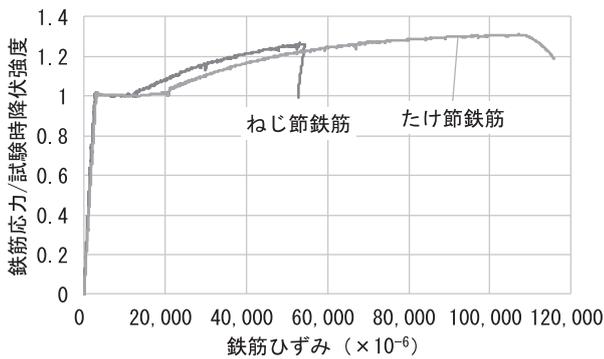


図-4 鉄筋の応力とひずみの関係

次元化している。ねじ節鉄筋を用いた試験結果は、鉄筋降伏強度の1.3倍程度（JIS規格引張強度程度）まで鉄筋の応力は上昇するが、鉄筋のひずみが $50,000 \times 10^{-6}$ 程度で抜け出している。これに対し、たけ節鉄筋を用いた試験結果では、最終的に鉄筋の破断に至った。

以上のことから、たけ節鉄筋を用いた場合、鉄筋の継手長さを $20\phi$ にすれば、鉄筋の母材強度以上の引張強度を有していることが確認できた。

(3) 鋼管拘束型鉄筋継手で接合した柱の変形性能

鋼管拘束型鉄筋継手を基礎部に設けた時の柱の地震時の性能を確認するため、図-5に示すような、2体の実規模試験体による正負交番載荷試験を実施した。試験体 No.1 は、柱の軸方向鉄筋をフーチング内で直接定着した。試験体 No.2 は、フーチング内に鋼管拘束型鉄筋継手を設けて柱と接合した。鉄筋は全てたけ節鉄筋とし、載荷試験時のコンクリートの圧縮強度は約  $50 \text{ N/mm}^2$ 、継手グラウトの圧縮強度は約  $65 \text{ N/mm}^2$  であった。載荷は、柱頂部に一定軸力 ( $3 \text{ N/mm}^2$ ) を作用させた状態で、フーチング上面から  $2,400 \text{ mm}$  の位置で正負交番に載荷した。

試験結果のうち、荷重と変位の関係を図-6に示す。この時、軸力による付加モーメントも加味した水

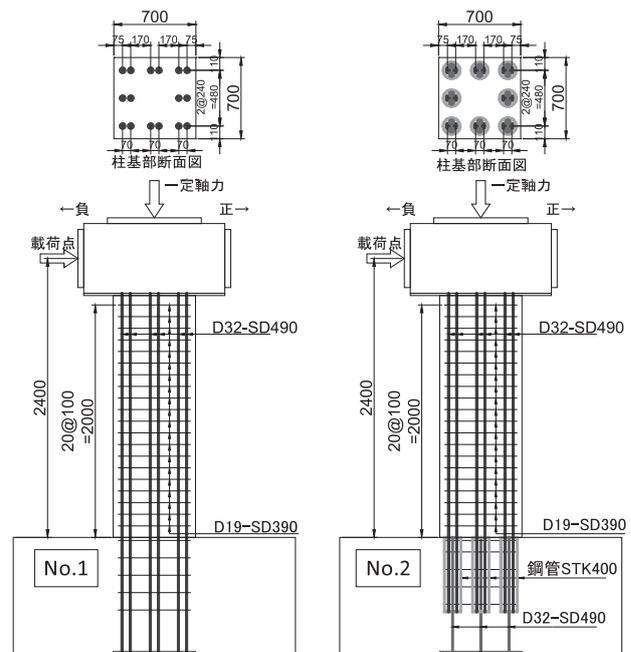


図-5 正負交番載荷試験概要

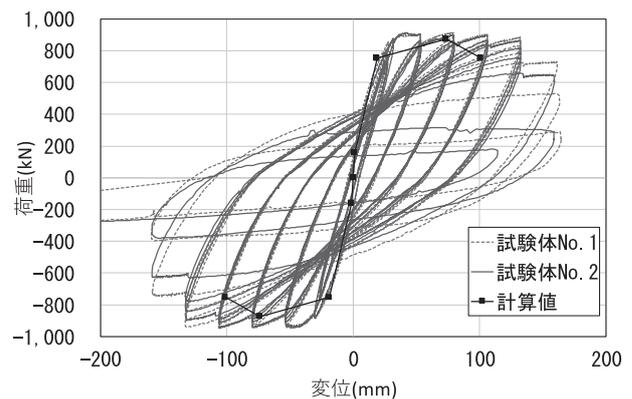


図-6 荷重と変位

平荷重として表記した。試験体 No.1 と No.2 の履歴は同等の結果となり、鉄道標準<sup>7)</sup>により算出した計算値を包絡する結果となった。

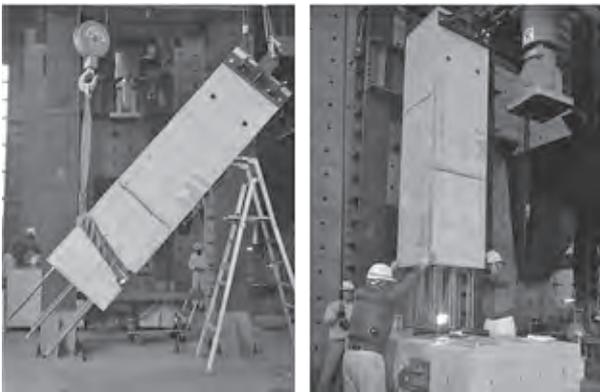
以上のことから、基礎部に鋼管拘束型鉄筋継手を設けて柱を接合した場合、継手のない鉄筋コンクリート部材と同等の変形性能を有しており、鉄道標準により算出した計算値を満足することが確認できた。

(4) 柱接合方法の施工性

柱部材の接合方法の施工性を確認するため、実規模の試験体を用いて組立試験を実施した。継手部のグラウト充てん状況と柱の建込み状況を写真-2および写真-3に示す。柱部材の接合に要した時間は、建込み完了まで約5分であり、特殊な技量も必要なく施工性が非常に良いことを確認した。



写真一 2 グラウト充てん状況



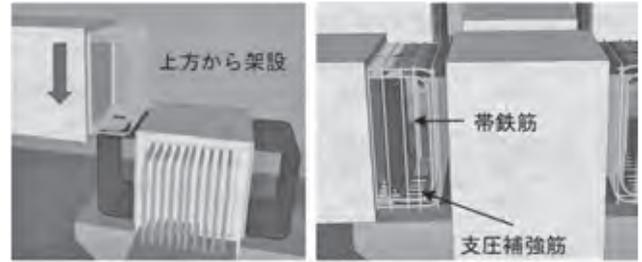
写真一 3 柱部材の組立状況

## 4. 柱と梁の接合工法

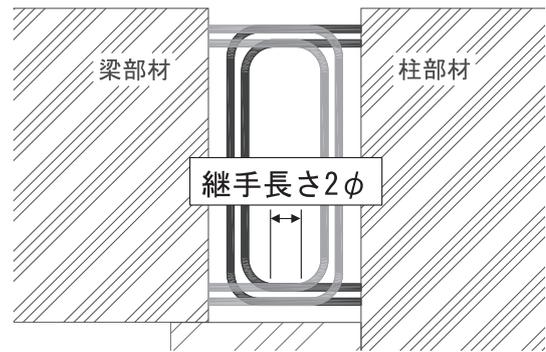
### (1) 工法概要

梁を接合する工法の概要を図一 7 に示す。この工法の鉄筋継手には、既往の研究成果である閉合鉄筋継手<sup>8)</sup>を用いている。この継手を用いることで、柱側面から突出したコの字鉄筋に、梁端部から突出した同様のコの字鉄筋を重ね合わせるように、梁部材を上方から架設することを可能とした。さらに、この継手の特徴は、図一 8 のように直線部の重ね継手長さを  $2\phi$  以上確保できれば、継手区間での施工誤差の調整が可能であることである。また、柱部材に仮設のブラケットを設置するか、柱部材製作時に梁受け部材を構築し、これで梁を受けることで支保工や支柱等の仮設備を省略することができる。

主な施工手順は次の通りである。①柱部材に仮設のブラケットを設置する。(製作段階で柱部材に梁受け部材を構築する場合は不要である。)②梁部材を上方から架設する。③継手部の支圧補強筋および帯鉄筋を組み立てる。④型枠を組立て、コンクリートを打ち込む。



図一 7 梁接合工法の概要



図一 8 継手長さ

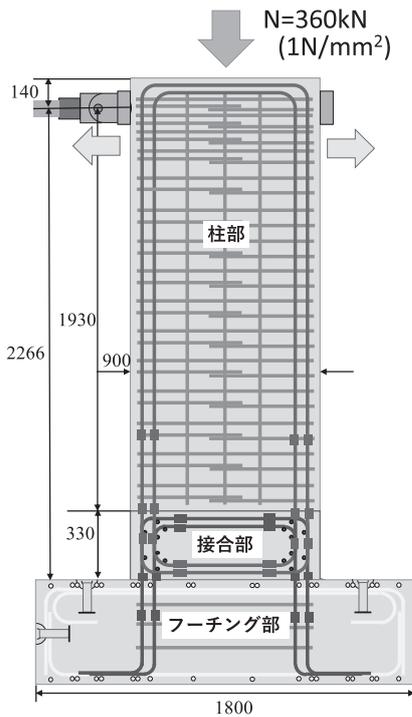
### (2) 曲げ特性

閉合鉄筋継手のように、鉄筋の曲げ内半径を小さくすると、鉄筋の曲げ加工部の内側から腹圧が作用し、鉄筋の内側のコンクリートが割裂破壊して接合部の耐力が低下する。そのため、継手鉄筋の曲げ加工部(隅角部)へ継手鉄筋の直角方向に補強鉄筋を配置し、鉄筋の継手長さを  $2\phi$  以上確保することで、接合部の耐力が一般的な鉄筋コンクリート部材と同等の耐力を確保している<sup>8)</sup>。また、軸方向鉄筋を 2 段配置した場合にも鉄筋コンクリート部材の曲げ耐力と同等であることが確認されている<sup>9)</sup>。

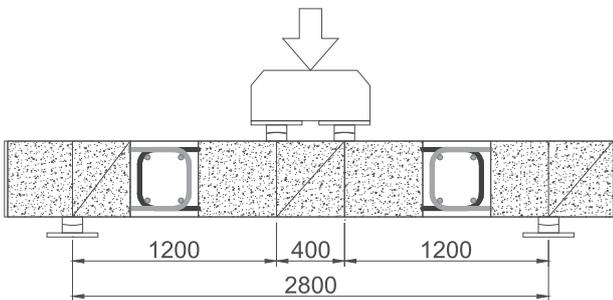
さらに、繰返し作用を受けた時の接合部の耐力と変形性能を確認するために、図一 9 に示すような正負交番載荷試験を実施し、鉄筋隅角部内側に補強鉄筋を配置することで、正負繰返し作用を受けても接合部の曲げ耐力は計算値と同等であることが確認できた<sup>10)</sup>。さらに、鉄筋降伏時の変形量は計算値と概ね近い値となったが、最大荷重時の変位が計算値よりも小さい結果となった。この接合部の塑性化の限界を載荷試験で確認された範囲までに制限する設計とすることで、性能照査が可能である。今後は、変形性能の向上について検討を進めていく予定である。

### (3) せん断特性

閉合鉄筋継手で接合した部材のせん断特性を確認するために、図一 10 に示すような 4 点曲げ載荷試験を実施した。その結果、写真一 4 に示すように、全て



図一 九 正負交番載荷試験概要図



図一 十 載荷試験概要図



写真一 四 せん断破壊状況

の試験ケースにおいて閉合鉄筋継手内部には明確な損傷は認められず、接合部が梁部材のせん断耐力に与える影響は小さく、一般的な RC 部材として算出した計算値と同等の耐力を有していることを確認した<sup>11)</sup>。

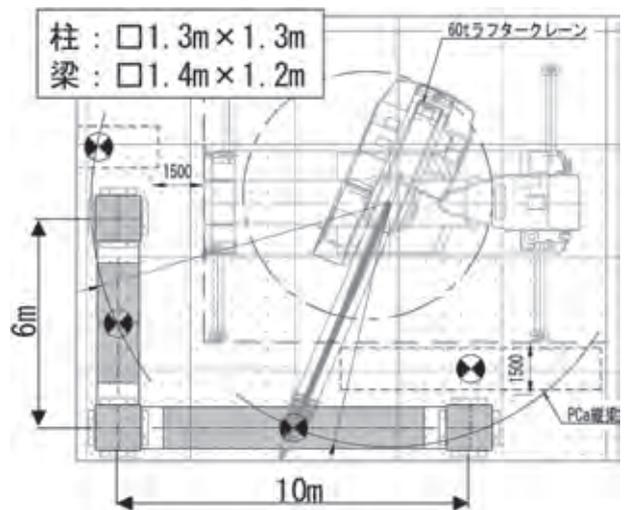
(4) 疲労特性

鉄道高架橋の梁のように列車荷重を受ける部材は、疲労破壊に対して安全性を確保する必要がある。そこで、接合部の疲労性能を確認するため、閉合鉄筋継手

で接合した梁部材を用いて高サイクル疲労試験を実施した。その結果、鉄道標準<sup>7)</sup>に従って算出した疲労寿命以上の繰返し回数を載荷しても鉄筋の破断には至らず、その後の静的載荷においても曲げ耐力の低下は見られなかった<sup>9)</sup>。

(5) 柱・梁接合方法の施工性

柱と梁部材の接合方法の施工性を確認するため、実規模の試験体を用いて図一 11 のような組立試験を実施した。柱部材をあらかじめ設置した状態で、縦梁部材および横梁部材を 1 組ずつ架設し、接合部の鉄筋組立および型枠組立までの一連の施工性を確認した。組立試験の施工状況を写真一 5 に示す。架設に要した時間は、縦梁、横梁ともに 5 分程度であり、特殊な技量も必要なく施工性が非常に良いことを確認した。さらに、支圧補強筋と帯鉄筋の組立に要した時間は 1 か所あたり約 15 分であり、型枠の組立に要した時間は 1 か所あたり約 5 分であった。いずれも高所作業車上で作業を行ったが、短時間で組立ができることが確認できた。



図一 一 一 組立試験平面図



写真一 五 梁部材の組立状況

## 5. 生産性向上の可能性

本取組みでは、フルプレキャスト化を積極的に採用することで、仮設足場や支保工・鉄筋・型枠の組立・解体、コンクリートの打込み等の作業を大幅に省略できる点で生産性の向上が見込める。特に、重量物である梁を鉛直方向から架設できることで施工性が向上され、これまでのフルプレキャスト工法に比較してさらなる生産性向上が期待できる。さらに、特殊な技能を必要としない工法であるため、特殊技能者や熟練工を必要とせず、技能者不足に対しても貢献できる工法である。

次に、施工期間の短縮による生産性向上に対して、次のように施工期間を試算した。ここでは、プレキャスト部材をタイムリーに搬入でき、重機の配置がプレキャスト部材の搬入に影響を与えないという条件の下、3～4径間程度の1層鉄道高架橋を想定して、構築に要する工期を施工試験の結果を基に試算した。なおここには、杭やフーチング等の基礎部の構築は含まない。

まず柱部材の建込みは、仮固定を含めて約1日で完了し、次に縦梁の架設は、落橋防止対策を含めて約1日で設置が完了する。その後、横梁とスラブの架設を約2日間で設置し、最後に接合箇所のコンクリートもしくはモルタルの充てんを約1日で施工できると試算した。この結果、3～4径間程度の1層鉄道高架橋の架設工事を5日間で完成させることを可能とし、施工期間の短縮による生産性向上が見込める。

最後に、プレキャスト部材の接合法には、特殊な材料や工法を使用しないため、プレキャスト部材の製作費を安く抑えることが可能であり、プレキャスト工法のデメリットの一つであった工事費の縮減にも貢献できると思われる。

## 6. おわりに

プレキャスト工法は生産性向上に有効であるといわれるが、計画段階からプレキャスト工法が採用されることは極めて稀である。現場打ち工法で設計された構造物を施工段階でプレキャスト工法に変更しても、同じ規格の構造物がある程度まとまった規模でなければ、プレキャスト工法の優位性を活かすことができない。そのため、プレキャスト工法を採用するには、計

画・設計・発注も含めた、プレキャスト工法に適した体系を整備することも大切である。

最後に、更なる生産性向上を目指して、今後も工法の深度化や新たな工法の開発を進めていきたいと考えている。本稿で紹介した工法が、プレキャスト工法の普及拡大の一助になれば幸いである。

JCMA

### 《参考文献》

- 岡田ら：鉄道ラーメン高架橋を5日で構築するプレキャスト構造に関する検討，令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会，V-232，2020。
- 服部ら：鉄道営業線近接・直上におけるHPCa工法を適用したラーメン高架橋の構築，コンクリート工学，Vol.50，No.3，pp.275-281，2012。
- 山根ら：鉄道初のフルプレキャストラーメン高架橋を採用した新幹線建設工事－北陸新幹線，福井開発高架橋－（その1）～（その3），令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会，VI-366～VI-368，2020。
- 田所ら：プレキャストコンクリート部材を用いて高架橋を建設する，RRR，Vol.77，No.6，2020。
- 土井ら：プレキャスト柱部材の接合部に用いる鋼管拘束型鉄筋継手の性能評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.42，No.2，2020。
- 土井ら：鋼管で拘束された重ね継手の引張性能に関する研究，令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会，V-618，2020。
- 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物），2004。
- 渡邊ら：補強鉄筋を有する閉合形状に曲げ加工した重ね継手に関する実験的研究，土木学会論文集 No.791/VI-67，2005。
- 土井ら：閉合鉄筋継手を用いたPRC桁の連続化，令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会，V-520，2021。
- タークルら：2段の閉合重ね継手により接合されたプレキャスト部材の変形性能に関する実験的検討，令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会，V-210，2021。
- 安保ら：閉合鉄筋継手で接合した梁部材のせん断破壊に関する実験的検討，令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会，V-203，2021。

### 【筆者紹介】

安保 知紀（あほ ともり）  
鉄建建設(株) 建設技術総合センター  
研究開発センター  
主幹研究員



松本 浩一（まつもと こういち）  
東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 工事管理室  
副課長



石橋 忠良（いしばし ただよし）  
JR 東日本コンサルタンツ(株)  
技術統括



# 世界初, 自己治癒コンクリートの大量製造

## バジリスク

劉 宏 涛

本稿は、コンクリート構造物の耐久性確保や長寿命化をメインとするサステナブルな技術の開発を目的とした、バクテリアの代謝活動でコンクリートのひび割れを自己治癒する技術の開発、量産化に成功したことについて紹介するものである。本技術は、コンクリート製造時に Bacillus 属の特殊バクテリアと餌の元となるポリ乳酸で構成された自己治癒材を混入して、硬化後にコンクリートにひび割れが発生した時、雨などの水分によってバクテリアが餌を分解し析出した炭酸カルシウムで、最大幅 1 mm のひび割れを閉塞することができる。

また、本技術のサステナビリティ効果を、社会的側面・経済的側面・環境的側面の3要素からも評価した。その結果、本技術による製品は、サステナブル社会の構築にインフラ・建築物の建設資材として大きく貢献できることが分かった。

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

コンクリートおよびコンクリート構造物は、大昔から人間の生活や多様な活動を支える基盤として、人類の文明構築に大きな役割を果たしてきた。いまは世界中の構造物の半数以上はコンクリートと言われている。それ故、これらのコンクリート造構造物の建設、維持および廃棄の際に大量の CO<sub>2</sub> を排出し、地球温暖化の一因にもなったことも紛れもない事実である。このため、カーボンニュートラル、脱炭素化を実現したサステナブルな社会の構築に向けて、新たなコンクリートソリューションを開発し社会実装することが強く求められている。

このような要請に応えるよう、サステナブルなコンクリート技術が活発的に研究・開発されている。その中、「自己治癒コンクリート」が大きく注目され幾つか開発された。補修や補強の作業を必要とせずに、コンクリート内部にあらかじめ用意されている機構によって水密性など少なくとも一つ以上の機能を回復するといった自己治癒コンクリートの活用により、構造物の長寿命化や、維持管理の簡素化およびライフサイクルコストの削減が可能となる。同時に構造物の長寿命化により CO<sub>2</sub> の排出量も大幅に低減することができ、顕著な脱炭素効果も有する。このような自己治癒コンクリート技術の内、一つのバクテリアとコンクリートを

融合した自己治癒コンクリート技術があった<sup>1)</sup>。そのユニークな発想や高い自己治癒効果には多くの関心が寄せられている。

この技術は、2010年にオランダ・デルフト工科大学のヘンドリック M. ヨンカース博士らによって開発され、2015年欧州特許庁による欧州発明家賞や2020年オランダ Cobouw2020 イノベーションアワードにそれぞれノミネートされた<sup>2)</sup>。2016年から同じくバイオテクノロジーを応用した自己治癒コンクリートの開発を手掛けている筆者所属の会社は、博士らチームとの交流をきっかけに、本技術の量産化を共同で進めて2020年11月に世界で初めて「バジリスク」(以下、本自己治癒材という)という製品の量産化に成功した<sup>3)</sup>。

### 2. 本技術のメカニズムと量産化の取組み

#### (1) 本技術のメカニズム

コンクリートは社会基盤の構築に重要な役割を担っている一方、宿命的にもひび割れの発生がほぼ避けられない。コンクリート構造物に使われる鉄筋コンクリートにとって、ひび割れが発生すると、そこから水分、酸素、二酸化炭素および有害イオン等が侵入し、コンクリートの塩害や凍害および鉄筋腐食を起し、構造物の耐久性を著しく低下させる。その対策として、コンクリート製造時に膨張剤(材)を入れ、ひび割れ

を極力発生させない技術や、ひび割れが発生しても自己治癒する技術など、様々な技術が開発されている。本稿にて紹介する微生物の生命活動を利用した自己治癒コンクリート技術は、まるで人体が傷を治すようなセルフメンテナンスの機能をコンクリート構造物に付与するものである。本稿ではその自己治癒のメカニズムを以下に説明する。

バクテリア (Bacillus 属, 枯草菌と同じ種類) の顕微写真を写真-1 に、本自己治癒材の外観を写真-2 に、ひび割れ自己治癒の概念を図-1 に、生化学反応を図-2 に、実験室における実証実験の結果を写真-3 にそれぞれ示す。

この種のバクテリアは耐アルカリ性を有し、乾燥されると生成した胞子の中で休眠状態となる。コンクリート製造時に、胞子状のバクテリアと餌の元となるポリ乳酸で構成された自己治癒材として投入される。コンクリート硬化後ひび割れが発生した場合、そこから雨水などの水分や酸素が入るとバクテリアは目を覚

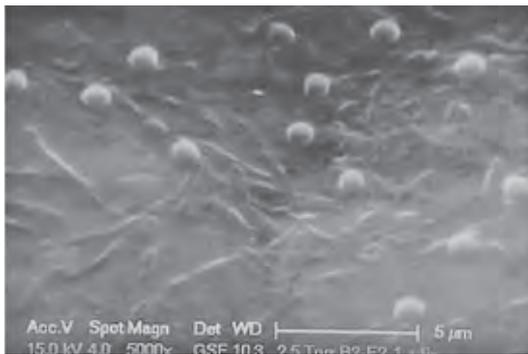


写真-1 バクテリアの顕微写真 (5,000 倍)



写真-2 バジリスク治癒材の外観

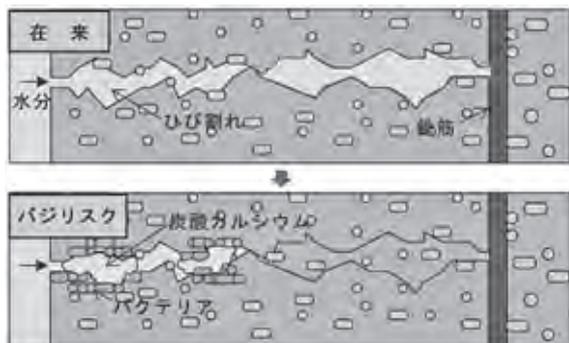


図-1 バクテリアによるひび割れ自己治癒概念図

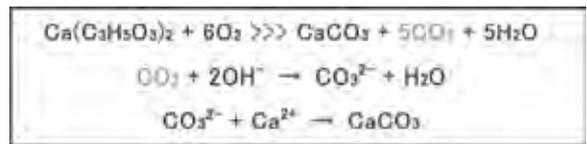


図-2 バクテリアの生化学反応

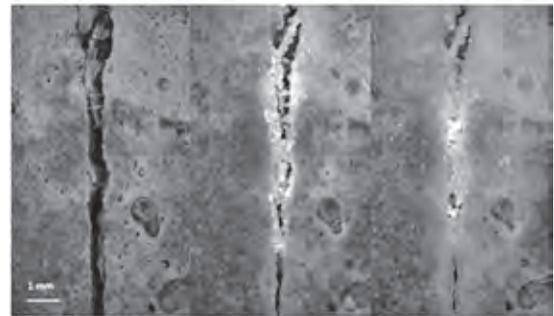


写真-3 水中養生による自己治癒の様子

ます。水分や酸素およびポリ乳酸の水で分解された乳酸カルシウム (餌) を取り込んで、バクテリアが短時間で分裂を繰り返し個体数を爆発的に増やしながら生物の代謝活動によって炭酸カルシウムを生成する。同時に二酸化炭素および水も生成する。生成された水はひび割れ周辺未水和のセメントと反応し水酸化カルシウムを生成し、さらにこの水酸化カルシウムは二酸化炭素と反応して炭酸カルシウムを作る。生成されたこれらの炭酸カルシウムが沈着、蓄積でひび割れを塞いでいく。このように、ひび割れの自己治癒により、有害因子のコンクリート内部への侵入や鉄筋の腐食等を防止することができ、コンクリート構造物の長寿命化に繋げる。

本自己治癒材の標準添加量はコンクリート 1 m<sup>3</sup> あたり 5 kg で、最大幅 1 mm のひび割れを閉塞することができる。ひび割れが完全に塞がると水と酸素の供給が絶たれ再度胞子を纏って、次のひび割れ発生まで休眠に入る。

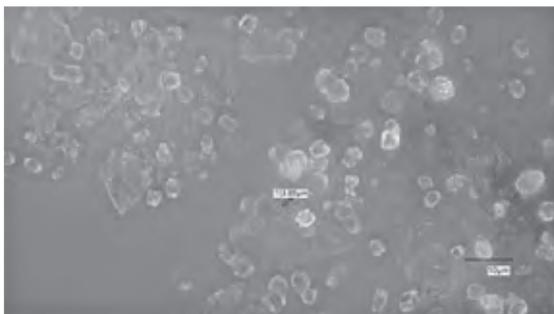
なお、このバクテリアは高アルカリ環境に耐え胞子内“休眠”の状態でも 200 年まで生存することが可能とされている<sup>1), 2)</sup>。

バジリスクコンクリートの日本国内における実証実験を、筆者所属会社のコンクリート製品工場内の大型製品養生用コンクリート水槽を用いて行った。その結果、水槽外壁に人工的に導入したひび割れを約 2 週間で自己修復することができた (写真-4, 5)。

また、本技術のメカニズムを生かして、コンクリート製造時に混入する自己治癒材以外に、既存コンクリートの大きな幅のひび割れや欠損面を修復する自己治癒モルタル補修材や、既存コンクリートの大面積の



写真一4 ひび割れ自己治癒日本での実証実験



写真一5 ひび割れに生成した炭酸カルシウム (5,000倍)

微細ひび割れを補修する自己治癒液体補修材の製品も開発された<sup>3), 4)</sup>。

なお、自己治癒の概念には、コンクリートの物性値がすべて元通りになる「完全自己治癒」と、特定の損傷機能のみを回復する「選択自己治癒」の二つ意味が含まれている<sup>5)</sup>。本稿で取り上げた自己治癒コンクリートは、構造物の供用期間中に発生したひび割れのみを細菌の代謝活動により修復し漏水や鉄筋腐食を防止するのを主要な目的とする「選択自己治癒」に属されている。また、本自己治癒材バジリスクとは空想のトカゲの名で、自切した尻尾が再生されることから本技術のイメージとしている。

## (2) 量産化の取込み

実は筆者所属の会社には、コンクリート構造物の長寿命化やメンテナンス作業の効率化が、今後のサステナブルな社会の実現に向けて必要であるとの考えに立ち、納豆菌等の代謝を応用した同様の技術開発構想を進めていたが、ヘンドリック M. ヨンカース博士らの自己治癒コンクリート技術を知り、直接オランダ・デルフト工科大学に赴きヨンカース博士らデルフトの研究チームに会い交流が始まった。交流を深めるなかで、博士が試作に成功した製品の小型化、量産化を共同で進めることとなった。

一般に製品を量産化するには、「量産化の壁」または「死の谷」というような言葉があるように、数多くの素晴らしいアイデアや製品は、この壁を乗り越えられずに社会実装に至らなかったことから、その難しさが窺える。本技術の量産化にも繰り返しの試行錯誤を経て、次のような考案に辿り着いた。コンクリート内に入った自己治癒材を守るためのカプセル方式という従来の生産方法を再検討し、細菌と餌となるポリ乳酸を減圧した密封容器内で高速回転ミキサーによって攪拌することで、ポリ乳酸の中に細菌を均一分散で封じ込む製法を約2年半掛けて開発に成功した。自己治癒材は顆粒から粉粒体となったことで、コンクリートの中でさらに細かく分散され、自己治癒の効果が飛躍的に向上した。筆者らは医療用の攪拌機を専門とするドイツの機械メーカーと組み、特殊ミキサーを採用することでこの量産製法を成功に導いた<sup>6)</sup>。昨年11月より、年間70万 $m^3$ のコンクリートに供給できる本自己治癒材の生産体制を整え、国内に向けての販売を開始した<sup>3)</sup> (写真一6)。



写真一6 本自己治癒材製品の生産設備

## 3. 本技術の特長

本技術は、コンクリート構造物の供用期間中にひび割れが発生しても細菌の代謝活動により自己治癒ができることから、構造物の長寿命化およびメンテナンスの簡素化を実現する。これは、顕著な脱炭素効果とライフサイクルコスト (LCC) 削減に効果をもたらす。さらに省資源や省エネルギーおよび省人化や省力化の効果を有することにもつながる。

(a) 脱炭素効果：本技術は構造物の寿命が大幅に延長されることで、従来のスクラップ・アンド・ビルド方式によるコンクリートの使用量を根本的に低減することができ、ライフサイクルにおける $CO_2$ 排出量を大幅に低減することが可能となる。その概念を図一3に示す。本技術の普及により、低炭素型のコンクリート技術として脱炭素社会の実現に貢献できるものと期待

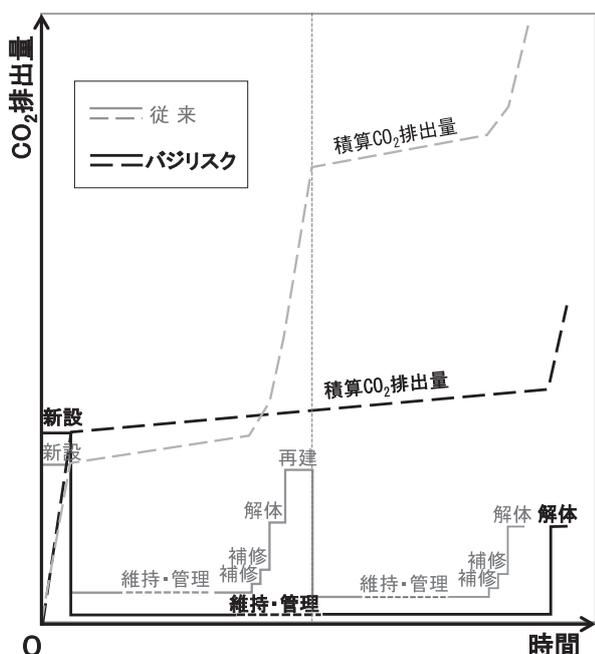


図-3 ライフサイクルにおけるCO<sub>2</sub>排出量の低減効果

される。

(b) 経済の効果：本技術の利用は、イニシャルコストがある程度増加するが、コンクリート構造物の長寿命化や、メンテナンスの軽減化につながり、ライフサイクルコスト（LCC）が逆に下がる可能性が十分にあると考えられる。

一般に、技術や製品等に対するサステナビリティ効果の評価の方法は、1) 社会的側面、2) 経済的側面、3) 環境的側面の3要素から行われる。本技術は、レジリエンス性の高い①使用性、②安全性、③普及性から構成される社会的側面や、ライフサイクルコスト削減や省人化・省力化を実現した経済的側面、およびCO<sub>2</sub>排出量の大幅な削減や省資源化の環境的側面の3要素とも高く評価できる。まさに真のサステナブルなインテリジェント建設資材と言えるであろう。

また、本技術は、コンクリートのひび割れを閉塞することにより、水漏れや鉄筋腐食を防ぐことを可能とするが、コンクリートの強度回復効果は期待できない。なお、環境や人への影響については、EU規格や日本のデータベースとの照合により、無害な添加材に分類されている。

#### 4. 本技術の主要用途

本技術は、特に乾燥状態でない環境下のコンクリート全般に利用できるが、特に水関係の構造物や地下建築物およびトンネルなど、漏水対策に関する維持管理が困難な構造物のひび割れ修復に大きな効果が期待で

きる。また、乾燥条件下における自己治癒コンクリート構造物（プレキャスト構造物を含む）には、ひび割れが発生した場合、ひび割れ部に散水することでバクテリアの活性化を促進し、ひび割れ修復の速度を上昇することができる。また、既存のコンクリート構造物に発生した大きなひび割れや欠損に対しては、自己治癒モルタル補修材を用いることで、補修モルタルにひび割れが発生しても自己治癒することができる。また、高所のコンクリート外表面の微細なひび割れを修復するには、自己治癒液体補修材をドローンに搭載し、ひび割れ部に直接噴霧する方法で、省人化や安全面での効果が得られる。

さらに、本技術は、海洋コンクリート構造物の長寿命化にも活躍の場が広がる。特に再生可能エネルギーの主力電源化に大きく期待される風力発電の分野、とりわけ風力発電のタワーは、コンクリートの耐久性や耐食性およびメンテナンス軽減の特長から、一部または全部でコンクリート化する傾向が世界範囲に及んでいる。そこで、コンクリート部に本技術を活用することでコストの低減が見込まれ、風力発電事業に高い付加価値をもたらすことができると考えられる。さらに、浮体式洋上風力発電に採用されているコンクリート浮力体に対しては、最も重要視される水密性が、ひび割れの自己治癒機能により保証されるため、高いパフォーマンスを与えられられる。なお、バクテリアの海水環境下における生存および活性化については、実際にバクテリアを海水に浸漬して確認した。その結果を写真-7に示す。顕微鏡観察で海水に浸漬されたバクテリアの生存および活性化は、長時間経過しても問題がないことが確認できた。



写真-7 海水中バクテリアの生存状況 (5,000倍)

また、本技術による製品、特に自己治癒材は、実用化以来プレキャストコンクリート製品に使用する実績が多かったが、最近、レディーミクストコンクリートへの利用も増えている。これまでコンクリートの数量

に換算して 3,550 m<sup>3</sup> 分の自己治癒コンクリートを出荷し、今後も加速的に採用されることが見込まれる。そのなか、大型コンクリート工事にも採用が増えており、2021年6月23日に、日本国内初の大規模自己治癒コンクリートが採用された<sup>7)</sup>。写真—8に示す札幌市水道局より発注された豊平川水道水源保全管理センターほか新設工事において、水資源の受け皿となる池状構造物2基の内、1基に自己治癒コンクリート約420 m<sup>3</sup>が採用された。また、オランダにおいても建築と土木の大型構造物に数多く採用されている<sup>2)</sup>。写真—9に示したのはアペルドールン市のヘットロー宮殿増設工事(2020年, 5,000 m<sup>3</sup>)で、写真—10はゼーラント州の廃水処理プラント工事(2020年)である。



写真—8 札幌市豊平川水道水源保全管理センター工事



写真—9 オランダヘットロー宮殿増設工事



写真—10 オランダゼーラント州廃水処理プラント工事

## 5. おわりに

本稿で紹介したバクテリアを活用した自己治癒コンクリート技術は、従来のコンクリート工学の枠を超えて、硬化後のコンクリートに発生したひび割れを、微生物の力で治癒するという画期的なものであり、日本において世界初の量産化に成功した。この技術の最大メリットは、例えば中性化を受けたコンクリートであっても、発生したひび割れを自己治癒で閉塞し、有害な因子の内部への侵入を遮断することである。これにより、構造物の耐久性が担保され、繰り返しひび割れを治癒することで耐久性が飛躍的に向上することでコンクリート構造物の長寿命化の実現は可能となる。これはサステナブルな社会を支えるインフラ・建築物の建設に大きく貢献できるものと期待される。

昨今、「インフラや建築物寿命100年の時代は到来だ!」と叫ばれているが、地球温暖化が急激に進んでいる中で環境の対策としてはまだ十分とは言い難く、さらに寿命を1世紀ないし数世紀に延ばすことが必要であろう。筆者らは、今回のコンクリート自己治癒技術の開発・実用化に成功したことに満足せず、今後はコンクリートと様々なテクノロジーを掛け算にして、さらに多くのサステナブルな社会実現に貢献できる技術を開発していく所存である。

JCMIA

### 《参考文献》

- 1) R. M. Mors, H. M. Jonkers Feasibility of Lactate derivative based agent as additive for concrete for regain of crack water tightness by bacterial metabolism (2016)
- 2) Basilisk Self-healing concrete <https://www.basiliskconcrete.com/en/>
- 3) 日経クロステック/日経コンストラクション「バクテリアが直す自己治癒コンクリート、世界初の量産技術を確認」(2020.11.25) <https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00107/00137/>
- 4) 会澤高圧コンクリート(株) [Basilisk] <https://www.aizawa-group.co.jp/>
- 5) JCI-TC075B セメント系材料の自己修復性とその利用法研究専門委員会「セメント系材料の自己修復性とその利用法研究専門委員会報告書」(2008年)
- 6) (株)幻冬舎メディアコンサルティング 真の老舗企業とは何だ? 「サステナブル経営の真髄」とは『コンクリート業界の革命児が挑む 老舗イノベーション』2021年10月29日発売
- 7) 北海道建設新聞 2021年7月13日号『自己治癒コンクリ大規模採用/札幌市水道局発注工事 現場打ちでは今回が初』

### 【筆者紹介】

劉 宏涛 (りゅう こうとう)  
会澤高圧コンクリート(株)  
技術研究所  
主席研究員 博士(工学)



# 廃PETを原料にリサイクルした高耐久アスファルト改質材の開発

## ニュートラック 5000

高見 承志

筆者らは廃棄されるペットボトルを原料の一部として活用したアスファルト改質材「ニュートラック 5000」(以下、本改質材という)を開発した。本改質材は、家庭などから出るペットボトルを回収、分別、破碎した後、特殊脂肪酸や添加剤などを加えてアスファルトの耐久性を向上させる改質材として生まれ変わらせたものである。改質材を加えた舗装は従来のアスファルト舗装に比べ耐久性を向上と合わせて、500 ml ペットボトル換算で約 1,500 本を活用でき、(舗装面積 100 m<sup>2</sup> 当たり) 環境に配慮した「グリーン舗装」を実現する。施工は従来のアスファルト舗装と同様に、アスファルトフィニッシャーでの敷き均し、マカダムローラやタイヤローラの転圧での施工が可能である。

キーワード：廃プラスチック、リサイクル、グリーン舗装、高耐久、アスファルト、改質材

### 1. はじめに

昨今、国際的に環境汚染対策に関する議論が盛んに行われている。とりわけ廃棄プラスチック(廃プラ)の増加および海洋流出は深刻な社会問題となっており、効果的な廃プラリサイクル技術の開発が望まれている。アスファルト舗装材料としての廃プラの適用は、近年世界的に注目を浴びているリサイクル手法のひとつである。骨材の代替、またはアスファルトバインダーの代替として廃プラが使用されており、欧米諸国を中心に基礎検討および実施工による供用性確認が精力的に為されているが、日本国内での適用事例は限られている。また、一般的なアスファルト舗装と比較して耐久性が向上することが見出されているものの、高いレベルの耐久性が求められる道路への適用に関しては課題が残る。本稿では廃プラを原料とした高耐久アスファルト本改質材の開発について報告する。

### 2. 技術の概要

#### (1) 本技術の開発背景

筆者らは、豊かな生活文化の実現と社会のサステナビリティへの貢献に向けて、舗装分野においても人への安心・安全の提供、環境へのやさしさの提供を主軸にグリーンインフラに寄与する研究開発に取り組んでいる。本技術は、ボトルやフィルムといった主要廃プラに使用されているポリエチレンテレフタレート(PET)

に着目した。これまでに筆者らは、優れた耐久性向上効果をアスファルト舗装へ付与可能なポリエステル系樹脂改質材<sup>2)</sup>を開発しているが、PETも同様にポリエステル構造を有する化合物である。そこで、廃PETを改質材の原料として有効利用できないかという着想に至った。

#### (2) 本技術の特徴

##### (a) 廃PETを原料にリサイクル

アスファルト舗装は、親油性のアスファルトと親水性の骨材(石・砂)を混ぜ合わせたものだが、両者の親和性が低いことが耐久性低下の原因となる。筆者らは、樹脂プラスチックがアスファルトと骨材の親和性を高めることに着目し、ポリエステル系樹脂改質材<sup>2)</sup>を開発した。さらなる積極的なリサイクルへの取り組みとして、原料となる樹脂プラスチックに廃PETを活用する技術を構築した。本改質材は、廃PETをただ砕くだけではなく、特殊脂肪酸や特殊アルコール、特殊添加剤などを加えて化学反応させ、機能性を有した新たな物質として生まれ変わらせているのが特徴であり、本来廃棄されるはずの材料から新たな価値を創造するという“ポジティブリサイクル”を実現した製品である(図-1)。

##### (b) 耐久性能が約5倍に向上、マイクロプラスチックの発生も抑制

本改質材を添加したアスファルト合材を作製し、耐久性試験を行った。また、廃PET樹脂をそのままア



図一 廃ペットを活用し、本改質材に生まれ変わるまでの流れ

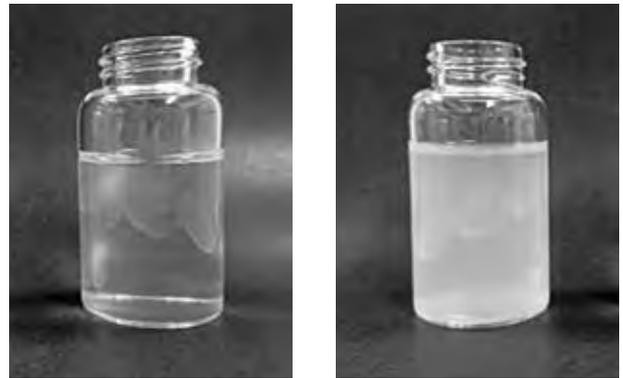
スファルト混合物に添加したアスファルト合材も作製し、両者の性能比較を行った。アスファルトは改質II型を使用し、本改質材または廃PET樹脂の添加量はアスファルトに対し20%（合材中約1%）とした。

耐久性の評価に際しては、高いレベルの耐流動性を適切に評価するため、舗装調査・試験法便覧に示されるホイールトラッキング試験（以下、WT試験という）の条件よりも重荷重とし、走行速度を低速とした重荷重低速WT試験で評価した。また、供試体を60℃の水中に1時間浸漬後、60℃水中にて試験を行った。

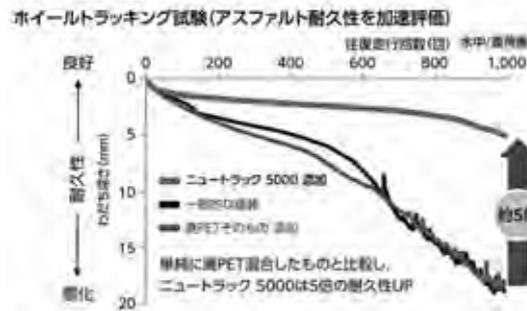
検討の結果、本改質材を合材中に約1%配合すると、無配合（一般的な舗装）、廃PET樹脂をそのままアスファルト混合物に添加した配合と比べて舗装の耐久性を約5倍向上させることが可能となることが判明した（図一2）。また、耐久性が向上した本改質材入りアスファルト混合物では、アスファルト摩耗由来のマイクロプラスチック（5mm以下のプラスチック）の発生を抑制出来ることが確認出来た（写真一）。

(c) 既存工法との施工性の違い

施工の面において、一般的に重交通用途で使用される半たわみ性舗装はセメントミルク注入による養生工程が新たに加わるため、約一週間の施工期間を要する。本改質材配合のアスファルト混合物は強度が半たわみ性舗装と同等でありながら、アスファルトに混ぜ



写真一 走行試験後のマイクロプラスチック抑制状況の比較



本改質材配合



一般的な舗装

図一2 走行試験後の耐久性能の比較

て使用するだけなので一般道路に使用される改質II型

アスファルト混合物と扱いは同じで、施工は一日で完了する。作業するヒトにも道路を利用するヒトにも優しいのが本改質材の特徴である（図一3）。

(d) 舗装の視認性向上

本改質材を添加したアスファルト舗装は従来と比較して、より黒いのが特徴である（写真一2）。そのため、ドライバーから白線が確認しやすく、安全走行へ大きく寄与することが示唆される。また、店舗の駐車場舗装に利用すると、店舗の美観を引き立て、かつ、いつまでも新しい店舗の印象を与える事が出来る。

### 3. 施工事例

大手物流施設での採用事例を紹介する。物流施設内は大型トラックが激しく往来することで舗装にわだち掘れや骨材飛散が発生しやすい。また昨今の物流施設は稼働時間が長く、舗装修繕時に割く時間も限られる。今回は、舗装の高耐久化が求められる箇所、かつ、早期交通開放のニーズが合致し採用に至った。

施設内の舗装の約7,000 m<sup>2</sup>で施工され、500 ml ペットボトル換算で10万5,000本分の廃PETを使用した

環境に配慮した舗装である。

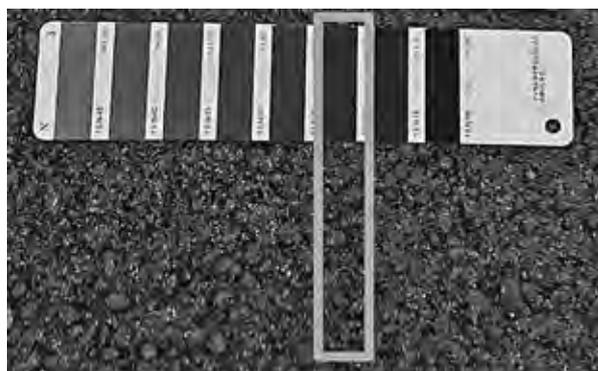
2021年3月には自治体公道で適用された（写真一3, 4）。供用9か月の段階では良好な状態を維持できている。今後、さらに経過観察を行い、耐久性を評価していくとともに、自治体と協業し自治体内から出る廃PETを回収して本改質材の原料とする検討も行っていく。



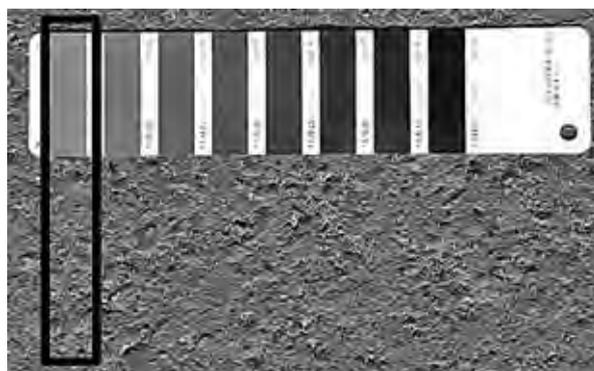
写真一3 適用現場写真



図一3 舗装種類別の施工期間（施工面積 2,000m<sup>2</sup> の一例）



本改質材配合



一般的な舗装

写真一2 本改質材による視認性向上



施工前



施工後

写真—4 適用現場写真

#### 4. おわりに

今回、環境に配慮した舗装技術開発の一環として、原料の一部に廃PET素材を使用した本改質材「ニュートラック5000」を開発した。種々試験の結果、本改質材は、従来の廃PET樹脂を利用した手法と比較して優れた舗装耐久性を付与できることから、軽交通道路のみならず、高い耐久性が求められる道路など多種多様な現場に対して廃プラを有効利用できると期待される。今後、供用状態の確認等によりさらなる知見収集を行っていき、本改質材を添加した舗装を「グリーン舗装」として広く展開していく所存である。

JCMA

#### 《引用資料》

- 1) 柏木 他. : 廃PET素材を原料としたアスファルト改質材の開発と適用事例 第34回日本道路会議, 2021.
- 2) 福利 他. : ユニークなアスファルト改質効果を持つ新規ポリマー添加剤の開発 第33回日本道路会議, 2019.

#### 【筆者紹介】

高見 承志 (たかみ しょうし)

花王(株)

ケミカル事業部門 機能材料事業部 エコインフラ



# コンクリート舗装のひび割れ補修材および つまり物除去工法の開発

## 簡易施工で高耐久・LCC 低減可能なコンクリート舗装の補修方法

鈴木 将 充・原 毅

道路舗装の長寿命化を目的として、コンクリート舗装を積極的に採用する機運が高まっている。しかし、コンクリート舗装の維持修繕の際に、工法や適用方法が不明確なために補修が困難だと考えられていることや、交通開放に時間を要するなどの課題がコンクリート舗装の活用の妨げになっている。筆者らは、コンクリート舗装のひび割れを対象に、補修後の安全性能の回復を目的として、ひび割れ部を一体化する効果が得られる簡便で早期交通開放可能な補修材の開発を行ってきた。本稿では、開発したひび割れ補修材の補修効果、また、確実な注入を担保するため、補修材の注入を阻害するひび割れ内のつまり物を除去する工法の効果について報告する。

キーワード：コンクリート舗装，維持修繕，ひび割れ，曲げ強度，疲労破壊抵抗性，つまり物除去

### 1. はじめに

道路舗装の長寿命化を目的として、コンクリート舗装を積極的に採用する機運が高まっている。コンクリート舗装の長所としては、アスファルト舗装と比較して、高耐久性、低ライフサイクルコスト (LCC)、ヒートアイランド対策 (環境負荷低減)、材料の安定供給、良好な視認性が挙げられる。一方、短所としては、初期コストが高い、養生期間が長い、破損した場合の補修が困難、上下水道・ガス等の公共占用施設の埋設工事が困難、交通騒音、変状後の振動および乗り心地の悪化、すべり摩擦の低下が挙げられる<sup>1),2)</sup>。なかでも、コンクリート舗装の維持修繕を目的とした補修実施の際に、工法や適用方法が不明確なために補修が困難だと考えられていることや、交通開放に時間を要するなどの課題がコンクリート舗装の活用の妨げになっている<sup>3)</sup>。

図-1に提案する補修方法のイメージを示す。従来のひび割れに対する維持修繕の工法は、路盤支持力の低下防止を目的とした雨水侵入を防ぐシーリング工法が大勢を占めている。しかし、シーリング剤では、ひび割れの進展、コンクリート舗装片の飛散等を防止することができず安全面で課題が残る。そこで筆者らは、舗装の安全性能を回復することが新たな目的となり得ると考え、大規模な修繕工事を行うまでの保全対策として、ひび割れ部を一体化する効果が得られる簡便で早期交通開放可能な補修材の開発を行った。

本稿では、開発した補修材によるひび割れ部の一体化の確認として、ひび割れ補修後の静的曲げ強度および静的曲げ強度以下の応力が繰返し作用した場合の疲労破壊抵抗性について、また、確実な注入を担保するため、補修材の注入を阻害するひび割れ内のつまり物を除去する工法の効果について、それぞれ報告する。

### 2. ひび割れ補修材の開発

ひび割れの補修材は、圧入注入器具やシーリング材が不要で簡便に注入可能なこと、補修材の早期硬化による早期交通開放が可能なことを開発コンセプトとして検討を行った。簡易注入は、写真-1に示すようにひび割れの上から自然流下のみで注入することを想定しているが、事前の検討により、筆者らは一般的なひび割れ補修材である超低粘度エポキシ樹脂 100 mPa・s 程度の粘度では、自然流下のみで注入できないことを

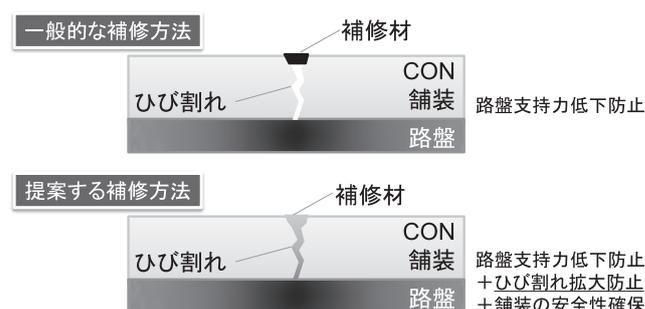


図-1 補修方法のイメージ



写真一 1 ひび割れ注入例

確認している。そこで、更に低粘度化が可能なポリウレタン樹脂を用いて、ひび割れ部の一体化の確認を行った。

### (1) 実験概要

#### (a) 使用材料

表一 1 に使用材料を示す。コンクリートは、粗骨材に碎石を用いており、曲げ強度は、(2) (a) 曲げ試験時で  $4.2 \text{ N/mm}^2$ 、(2) (b) 曲げ疲労試験時で  $5.4 \text{ N/mm}^2$  であった。補修材は、硬化後の樹脂の特徴が異なる 3 種類のポリウレタン樹脂を使用した。補修材の硬化時間は、約 3 分 @  $25^\circ\text{C}$  である。補修材の粘度は、いずれも  $10 \text{ mPa}\cdot\text{s}$  程度以下の極めて低粘度であり、圧力を加えずとも、ひび割れ表面から自然流下のみで注入可能な粘度である。

表一 1 使用材料

種類	記号	仕様・特徴
コンクリート	-	21-12-20H
ひび割れ補修材	PU1	ポリウレタン樹脂, 標準,
	PU2	〃, PU1 より軟性, 粘り強さ強化
	PU3	〃, PU1 より硬性, 接着力強化

#### (b) 試験体の作製方法

コンクリート試験体は、 $100 \times 400 \text{ mm}$  の寸法とした。ひび割れ補修の試験体は、補修前に JIS A 1106 に準拠して試験を行い曲げ破壊させた（初期載荷）。曲げ破壊後の試験体は、ひび割れ幅  $1 \text{ mm}$  となるように固定し、底面と側面のひび割れをシーリングし、ひび割れ表面となる上面から補修材を注入した。補修材の注入後、温度  $20^\circ\text{C}$ 、相対湿度  $60\%$  の環境下で養生を行った。養生期間 7 日以降に各種試験を行った。

#### (c) 実験方法

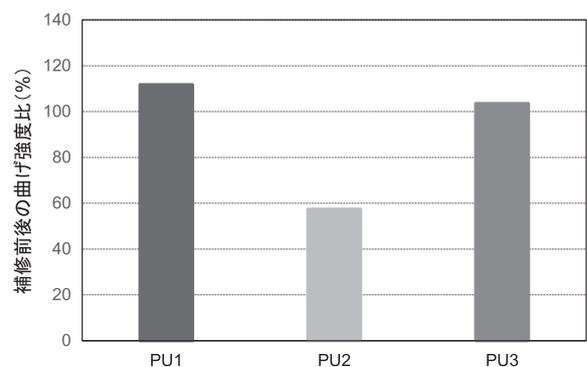
曲げ試験は、JIS A 1106 に準拠して行った。曲げ

疲労試験は、JIS A 1106 を参考に、上限応力と下限応力を設定し、正弦波の繰返し荷重を  $5 \text{ Hz}$  で与えた。上限応力は、初期載荷の曲げ強度の  $90\%$ 、 $80\%$ 、 $70\%$  に設定し、下限応力は、既往の研究<sup>4), 5)</sup> から、 $0.29 \text{ N/mm}^2$  として、各 2 体ずつ試験した。なお、比較としてひび割れを導入しない条件（補修無し）でも試験を行った。

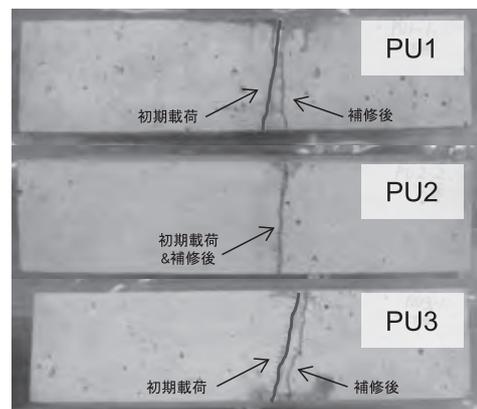
### (2) 実験結果

#### (a) 曲げ試験（静的載荷）

図一 2 に曲げ試験結果、写真一 2 に曲げ試験後のひび割れ状況を示す。なお、曲げ試験後のひび割れは、青線で初期載荷のひび割れ、赤線で補修後の曲げ試験で発生したひび割れを示している。PU1 および PU3 は、初期載荷のひび割れと異なる箇所から新たにひび割れが発生して破壊に至り、曲げ強度が補修前と同等以上に回復することが確認された。一方、PU2 は、初期載荷のひび割れから破壊し、補修後の曲げ強度が補修前の  $57\%$  程度と曲げ強度が回復しないことが確認された。この理由として、PU2 は発泡量が多く破壊断面の樹脂の空隙が多かったこと、硬化後の樹脂が他と比較して軟らかく剛性が低いことが原因と考えられた。



図一 2 曲げ試験結果



写真一 2 曲げ試験後のひび割れ状況

試験結果より、曲げ疲労試験はPU1およびPU3の補修材で実施した。

(b) 曲げ疲労試験（動的繰返し荷重）

図-3に曲げ疲労試験結果、写真-3に曲げ疲労試験後の破壊断面を示す。図中には、コンクリート舗装の設計用疲労曲線<sup>6)</sup>の実績式および破壊確率P<sub>50</sub>%の実験式を併せて示している。補修無しは、破壊確率P<sub>50</sub>%の実験式と同程度の回数で破壊もしくは設定繰返し回数200万回を超えており、試験の妥当性が確認できる。PU3は、ばらつきがあるものの設計用疲労曲線に近い回数で破壊に至った。破壊形態は、補修したひび割れと異なる箇所から新たにひび割れが発生して破壊した。以上のことから、PU3により補修したひび割れ部は、繰返し荷重に対して弱点とならないものと考えられた。

一方、PU1は、PU3と同程度の回数で破壊に至るものもあるが、早期に破壊するケースも確認された(図-2中赤矢印)。早期に破壊したPU1の破壊断面を観察すると、断面下端はコンクリート部分から破壊しているが、下端1/4付近～上端まで補修材が確認された。この理由として、繰返し荷重で徐々にPU1とコンクリート界面の付着が切れ、局部的に曲げ強度が低下した可能性が考えられる。

以上の結果より、ひび割れ部を一体化し、ひび割れ

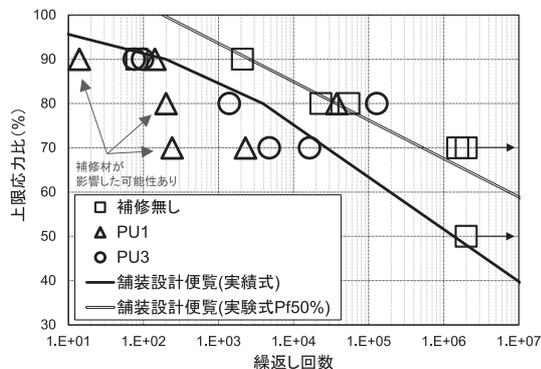


図-3 曲げ疲労試験結果

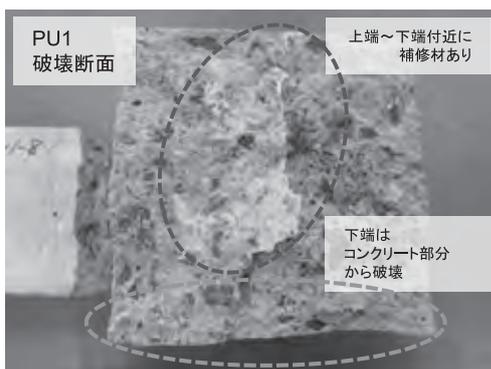
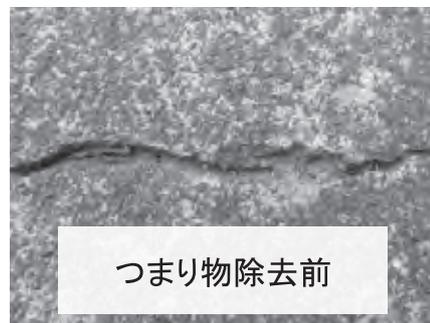


写真-3 曲げ疲労試験後の破壊断面 (PU1)

補修箇所曲げ荷重が作用した場合でも弱点とならないPU3をひび割れ補修材として選定した。

3. ひび割れ内つまり物除去工法の開発

供用中のコンクリート舗装のひび割れ内つまり物がある場合、補修材が注入できないため、除去する必要がある(写真-4)。そこで、補修材を確実に注入するため、ひび割れ内のつまり物を効果的に除去する工法の開発を行った。なお、つまり物除去は、道路舗装の維持修繕工事規模から、小型且つ100Vを電源とする装置程度で実施可能とすることを開発コンセプトとして検討を行った。



つまり物除去前



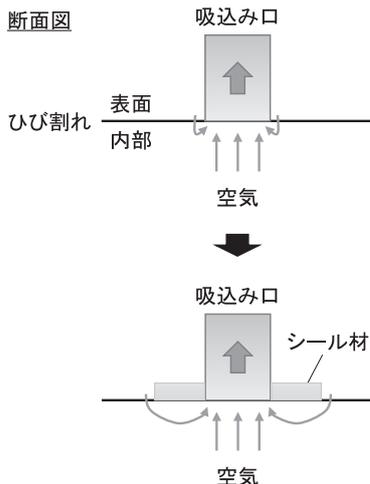
つまり物除去後

写真-4 つまり物除去前後の外観

(1) つまり物除去の方法

従来のつまり物除去の方法は、圧縮空気の吹付けとなるが、つまり物を深さ方向に押し込む可能性があるため、吸引する方法が適していると考えられた。しかし、吸引機によりそのままひび割れ表面から吸引を行うと、表層のつまり物しか除去できないという問題がある。そこで、吸込み口に加工を施すことで、つまり物の除去の効果を高める方法を考案した。

図-4に考案したつまり物除去のイメージを示す。考案したつまり物除去方法は、ひび割れ表面から吸引を行う際に、シール材を設置して、より外側の表面から空気を流入させることで、ひび割れ内の気流を長大



図一四 考案したひび割れ内つまり物除去のイメージ

化し、つまり物を効果的に除去するものである。考案したつまり物除去方法の効果を確認するため、模擬ひび割れ試験体を用いて室内実験を行った。

(2) 室内モデル実験

(a) 実験概要

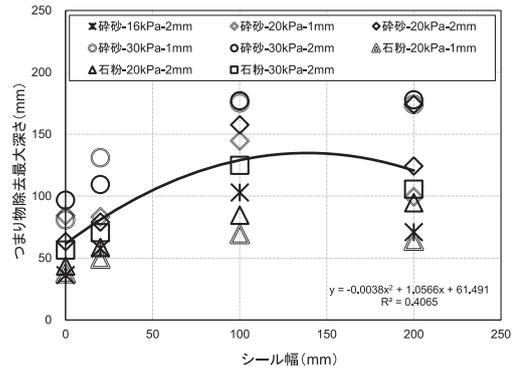
表一2に実験条件を示す。模擬ひび割れ試験体は、横 600 mm×縦 300 mm のアクリル板 2 枚を重ね合わせて再現した。ひび割れ幅は、アクリル板に間隔調整用のゴム板を挟み、固定ボルトの締め込みで調整した。模擬つまり物は、アクリル板の隙間（ひび割れ）に横 550 mm×縦 250 mm の寸法で充填した。吸込み口は、模擬試験体の中央上面に吸引機用のシール（長さ 5 mm）を設置し、実験上はこの状態をシール幅 0 mm とした。シール幅は、吸引機用シール端部からの片側の長さとし、吸込み口の左右に設置した。

表一2 実験条件

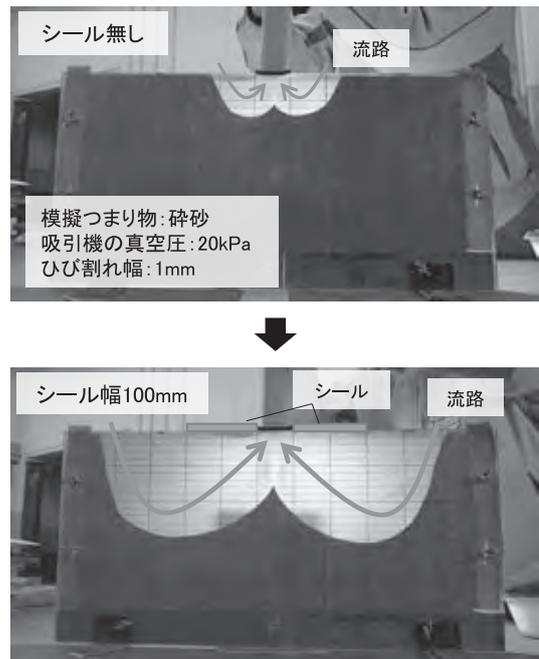
項目	条件
模擬つまり物	砕砂 (0.6 mm top), 石粉 (0.3 mm top)
吸引機の真空圧	16 kPa, 20 kPa, 30 kPa
ひび割れ幅	1 mm, 2 mm
シール幅	0 mm, 20 mm, 100 mm, 200 mm

(b) 実験結果

図一5にシール幅とつまり物除去最大深さの関係、写真一5に実験状況を示す。つまり物除去最大深さは、模擬つまり物の種類、吸引機の真空圧、ひび割れ幅に関わらず、シールをすることで大きくなることが確認された。ただし、シール幅 100 mm まで大きくなる傾向を示すが、200 mm で同程度もしくは小さくなる傾向を示した。この結果より、シール幅を 100 mm



図一五 シール幅とつまり物除去最大深さの関係



写真一五 室内モデル実験状況

と設定することが効果的であると考えられた。

除去深さは吸引装置の能力をさらに強力にすることで実験値の上限を超えて増加する可能性も考えられるが、維持修繕作業で一般的に用いられる 100 V 電源を使用する吸引機としては今回使用した最大真空圧 30kPa の機種が最高性能となる。

以上の結果より、ひび割れ内つまり物除去工法は、ひび割れ表面に 100 mm 幅のシールを行い、最大真空圧 30 kPa で吸引する仕様とした。

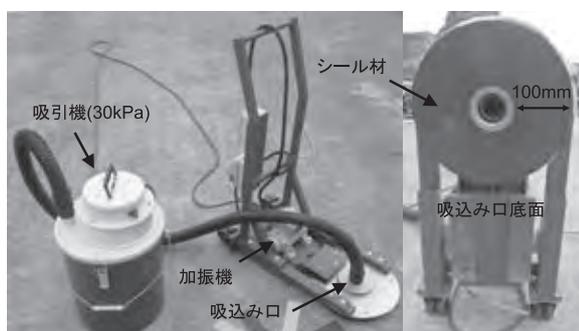
4. 現場適用実験

室内実験により、ひび割れ補修材およびひび割れ内つまり物除去工法の効果が確認できたため、つまり物除去装置を試作し、補修材の注入と併せて現場適用実験を行った。

### (1) 実験概要

現場適用実験は、ひび割れ表面につまり物があるコンクリート舗装(厚さ 15 cm, ひび割れ幅 0.5~5 mm, 施工延長 1 m)を対象として行った。実験の手順は、試作装置によるつまり物除去, 補修材の注入, コア採取による補修材の注入状況の確認とした。なお, 対象としたひび割れ部でつまり物除去を行わない場合は, 補修材が表面に留まり注入できない状況であった。

写真一六に試作したつまり物除去装置の構成を示す。シール材は, 室内実験の結果からシール幅 100 mm のラバーフォームを設置した。加振機は, つまり物がひび割れ内に固着している場合に備えて付加した。



写真一六 つまり物除去装置の構成

### (2) 実験結果

写真一七に実験状況, 写真一八にコア断面を示す。実験の結果, ひび割れ内つまり物除去工法の適用により, ひび割れ表面のつまり物が除去され, 補修材の注入が可能となった。補修材は, 想定していた簡易注入のイメージ通り, ひび割れの上から自然流下のみで注入できた。コア断面観察の結果, 補修材は, コンクリート舗装厚さ 15 cm を超えて路盤まで到達していることが確認された。

この結果より, 開発したひび割れ補修材とひび割れ内つまり物除去工法を適用することで, ひび割れ表面につまり物があるコンクリート舗装のひび割れを一連の作業で補修できることが実証できた。

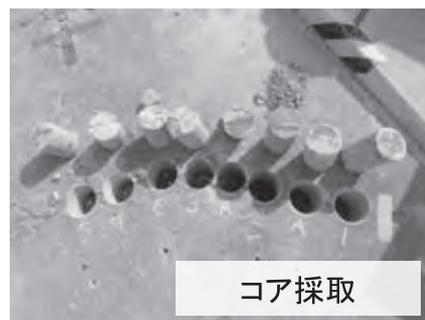
ただし, 補修材の粘度が低いため, ひび割れから路盤に流出しており, 一部に未充填箇所が発生していた。対策として, 補修材の注入後に珪砂を散布して流出抑制となる樹脂モルタルの土台を造り, その上に注入してひび割れ内を充填する方法が有効であることをその後確認している。



つまり物除去

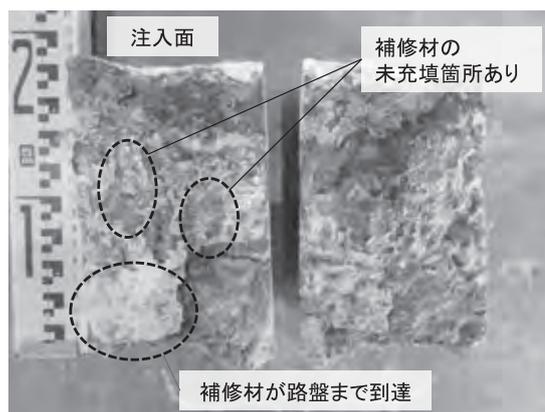


補修材の注入



コア採取

写真一七 現場適用実験の状況



写真一八 補修材注入後のコア断面

## 5. おわりに

本稿では, 開発した補修材によるひび割れ部の一体化の確認結果, ひび割れ内のつまり物を除去する工法の効果について報告した。

補修材によるひび割れ部の一体化の効果について

は、接着力を強化したポリウレタン樹脂をひび割れ補修材として用いた場合、ひび割れ部が一体化し、静的曲げ強度の回復および繰返し荷重に対して弱点とならないことが確認できた。

ひび割れ内のつまり物を除去する工法については、シール材を用いて吸引による空気の流路を長大化することで、ひび割れ内のつまり物を効果的に除去できることが確認できた。

現在、ひび割れ補修材およびつまり物除去工法は実用化に至っており、今後、普及活動を通して道路舗装の長寿命化に貢献したいと考えている。

JCM/A

《参考文献》

- 1) 日本道路協会：コンクリート舗装ガイドブック 2016, 2016.3
- 2) セメント協会：コンクリート舗装の普及に向けた取組みについて，重工業研究会と業界紙記者との定例懇談会，資料2，2017.10

- 3) 土木研究所：コンクリート舗装の維持修繕に関する研究，平成27年度重点研究報告書，2016.
- 4) 伊吹山四郎他：鋼繊維補強コンクリートの曲げ疲労特性，コンクリート工学年次論文集，Vol15, No.1, pp.421-424, 1979.
- 5) 水越陸視他：SFRCの曲げ疲労ひび割れ進展寿命の評価，コンクリート工学年次論文集，Vol22, No.3, pp.199-204, 2000.7
- 6) 日本道路協会：舗装設計便覧平成18年度版，2006.2

【筆者紹介】

鈴木 将充 (すずき まさみつ)  
東急建設(株)  
技術研究所 土木材料グループ  
主任研究員



原 毅 (はら つよし)  
世紀東急工業(株)  
技術本部 技術研究所  
主任研究員



# PC 橋梁の内部鋼材破断検知ソリューション

## 磁気センシングと IoT によるデータ解析で内部鋼材破断を即検知 SenrigaN

森田 博・橋本好之・高倉一徳

老朽化が著しい道路や橋など目視では確認できないコンクリート構造物の内部鋼材破断は、耐荷力を大きく損なう隠れた社会問題である。コア技術は磁気を活用した独自開発である磁気ストリーム法（以下、本検知技術という）と既存技術の漏洩磁束法をコンクリート構造物の特徴によって、同一装置で使い分け、完全非破壊で内部鋼材破断検知を可能とする。本稿では橋梁などの耐荷力の残像性能のシミュレーションを可能とし、具体的な補修設計の策定に貢献する技術について紹介する。

キーワード：道路, 橋梁, 維持管理, コンクリート, PC 橋, 内部鋼材, 破断, IoT, 磁気

### 1. はじめに

最近メディアでも多く取り上げられているが、我が国ではインフラの老朽化が急激に進んでいる。

図-1を見ると、非常に多くの橋梁が高度成長期に建設されており、一般的に言われている耐用年数50年を超える橋梁の割合が2025年を超えるあたりから急増し、過半数を超えられている。

次に、コンクリート橋梁の劣化要因（図-2）であるが、PC 橋梁を例にすると、プレストレスコンクリートとPC 鋼材で、構成されており、内部のPC 鋼材が、強度を保つ上で、非常に重要な役割を担っている。

さらに高度成長期に数多く建てられた際の施工不良や沿岸部に近い地域での塩害、北陸地方など寒冷地では、凍結防止剤といった日本特有の地域特性から、劣化が加速している橋梁が存在してきているのが現状である。

ただし、現在の法定点検では、外観の確認を中心とした近接目視中心の検査であり、橋梁の内部の状況を把握するところまでは至っていない。

このまま橋梁を放置していくと、内部の鋼材が劣化、酷い状況になると、破断をし、一定数を超えると、崩落に繋がる。ただし、実用的な非破壊検査方法は未だ確立されていないと思われるので、そこに着目し、非破壊で内部鋼材の破断検知が可能な技術開発を進めてきた。

### 2. SenrigaN (PC 鋼材の内部鋼材破断検知ソリューション) の概要

SenrigaN（以下、本ソリューションという）は、コンクリート構造物の内部鋼材破断を可視化するソリューションであり、磁気センシングと、IoT による

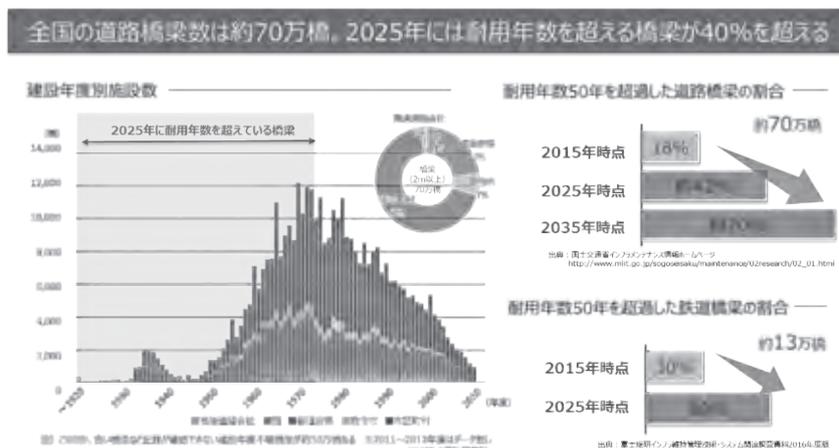


図-1 加速するインフラの老朽化



図-2 コンクリート橋梁の劣化要因

データ解析で、破断箇所を特定する。

計測原理は、自社開発の本検知技術と、従来手法である漏洩磁束法を利用する。どちらも同じ筐体で利用できるが、本検知技術と、漏洩磁束法の使い分けは、鋼材の太さや、かぶり深さによって使い分ける。

PC 橋梁を例とすると、ポステン桁では本検知技術を利用し、プレテン桁の場合は漏洩磁束法を利用する（図-3）。

また参考程度であるが、実験室にて試験用として入手した鋼材で作成した試験体にて計測をし、計測結果を鋼材の径とかぶりを軸としてどの計測手法が適用で

きるかまとめてみた（図-4）。

最後にソリューションの特長として、以下の3点をあげる。

- ・リアルタイムで計測したその場で破断有無の確認が可能。計測データは即時に鋼材破断クラウドにアップされタブレット端末等ですぐに結果を確認できる。
- ・2人で計測できる利便性。
- ・独自のアルゴリズムによる破断解析で、スターラップの影響を減らし、深かぶり部位の破断検知を可能とする（図-5）。

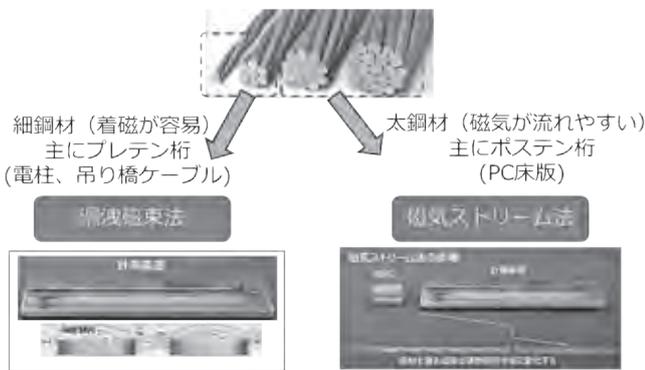


図-3 磁気ストリーム法と漏洩磁束法の使い分け

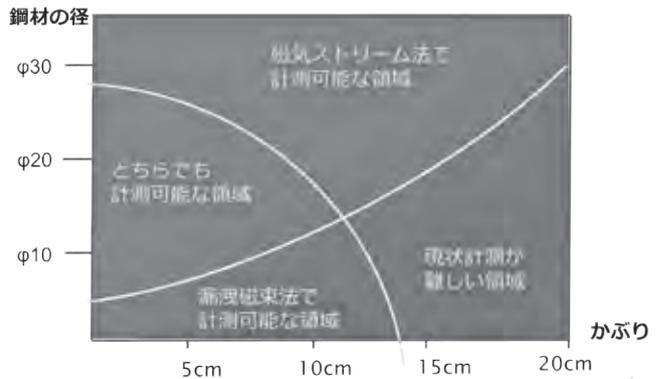


図-4 実験室での試験体計測からの推測値

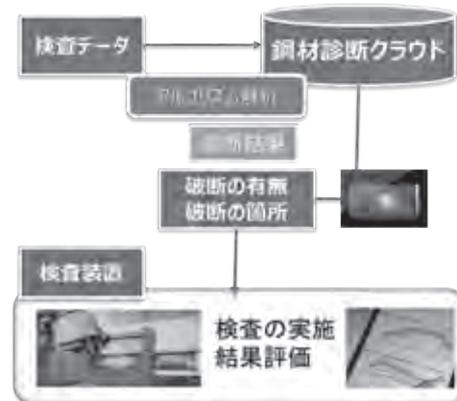
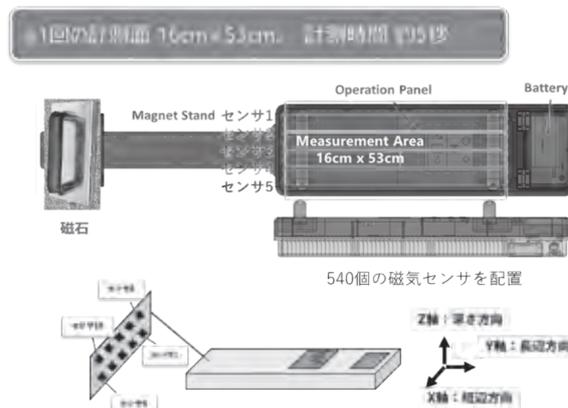


図-5 ソリューション概要（計測機器及び破断診断クラウド）

### 3. 計測原理（本検知技術） ※従来手法である漏洩磁束法は執筆から除外

本検知技術とは、コンクリートの外側から内部鋼材に対して特殊な磁石をあてがい、1方向から磁場をかける事で、破断による磁場の急減衰現象を捉える方式である（図-6）。

原理としては、内部鋼材に破断がないとき磁力は距離と比例して徐々に弱まりながら一定方向に流れる為、センサで検知した磁力は一定方向に下がっていくが、破断箇所があると、磁力の流れが途中で分断されるため、分断されたところを境にして磁力が急激に下がる。

このような磁力の変化により鋼材の破断を検知することが可能である（図-7）。

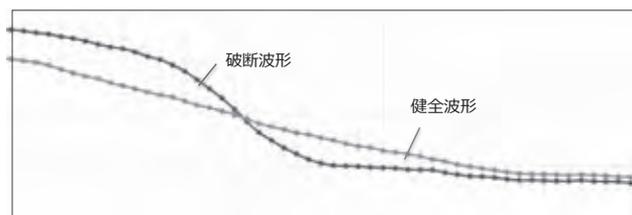


図-7 健全と破断波形のイメージ（シミュレーションによる波形）

### 4. 実験室における結果

ここで実験室に設置したポステン PC 橋桁モデルを使った計測結果例を紹介する。

計測対象の鋼材は直径 28.6 mm の 19 本撚り線からなる PC 鋼材（1S28.6）を内径 45 mm、厚さ 0.27 mm の標準タイプシース管に挿入したもの。グラウトは未充填（図-8）。

◆計測モデルは、健全 PC と破断 PC を 20 cm 離して配置した 2 本構成モデル（図-9）とする。

計測手順は、磁石を利用する場合と利用しない場合の 2 ステップとなる。

- ・第 1 ステップでは、磁石を設置して磁気ストリームを鋼材に発生させた状態で計測（図-10）。
- ・第 2 ステップでは、計測装置を同じ位置で動かさずに、磁石を外した状態で計測（図-11）。

第 1 ステップの計測データから第 2 ステップの計測データを減算。

磁石設置で計測したデータには磁石による磁気ストリーム成分のほか、計測対象が予め帯磁している自発成分や地磁気などの環境磁気が含まれるため、環境磁



図-8



図-9 2本構成モデル



図-10 計測手順 第1ステップ



図-11 計測手順 第2ステップ



図-6 本検知技術の原理

場である磁石なしの計測データを減じることで、純粋な磁気ストリーム成分のみを取り出すことができる。

磁石ありとなしの2回の計測データは計測装置からすぐにクラウド上の鋼材診断サーバに送信され、サーバ上で2回のオリジナルデータと減算処理された差分演算結果を確認することができる。

ここで計測装置は幅16cm方向には4cm間隔で5個の3軸センサが2段構成で備わっており、長さ方向に1cm毎にセンサが配置されて計測を行う。そのため、幅16cm、長さ53cmの領域に対して、5×54個の3軸2次元磁場データが2面得られる。

2本構成モデルの差分演算結果を全体図(図-12上)とセンサ1~5の破断位置拡大図(図-12下)を示す。

センサ1は健全なPC鋼材上に、センサ5付近に破断したPC鋼材が配置されるよう計測装置を設置し、計測をする。計測結果をみると、破断側のセンサ5の破断位置#26付近で明らかな急減衰が発生することが確認できる。

この実測結果はシミュレーション解析結果とも一致する。本稿ではZ軸波形の紹介にとどめるが、Z軸成分、Y軸成分、Z軸成分にも破断の特徴波形が得られ、3軸の波形を総合的に分析することで検証精度は向上する。

## 5. 実橋計測による精度 (研りにより答え合わせ例)

ここでは、漏洩磁束法になるが、2つの実橋にて計測した結果について、研り答え合わせを実施した為、代表的な結果例を紹介する。なお紹介する2橋ともプレテン桁の為、漏洩磁束法による計測である。図-13は、本ソリューションで計測する事で、破断箇所を推測し、マーキング後に研り答え合わせを実施したものである。結果的にPC鋼線の2本撚線のうち1本の素線破断が検知できている事がわかる。図-14の計測結果の波形を見ればわかるが、0番センサの

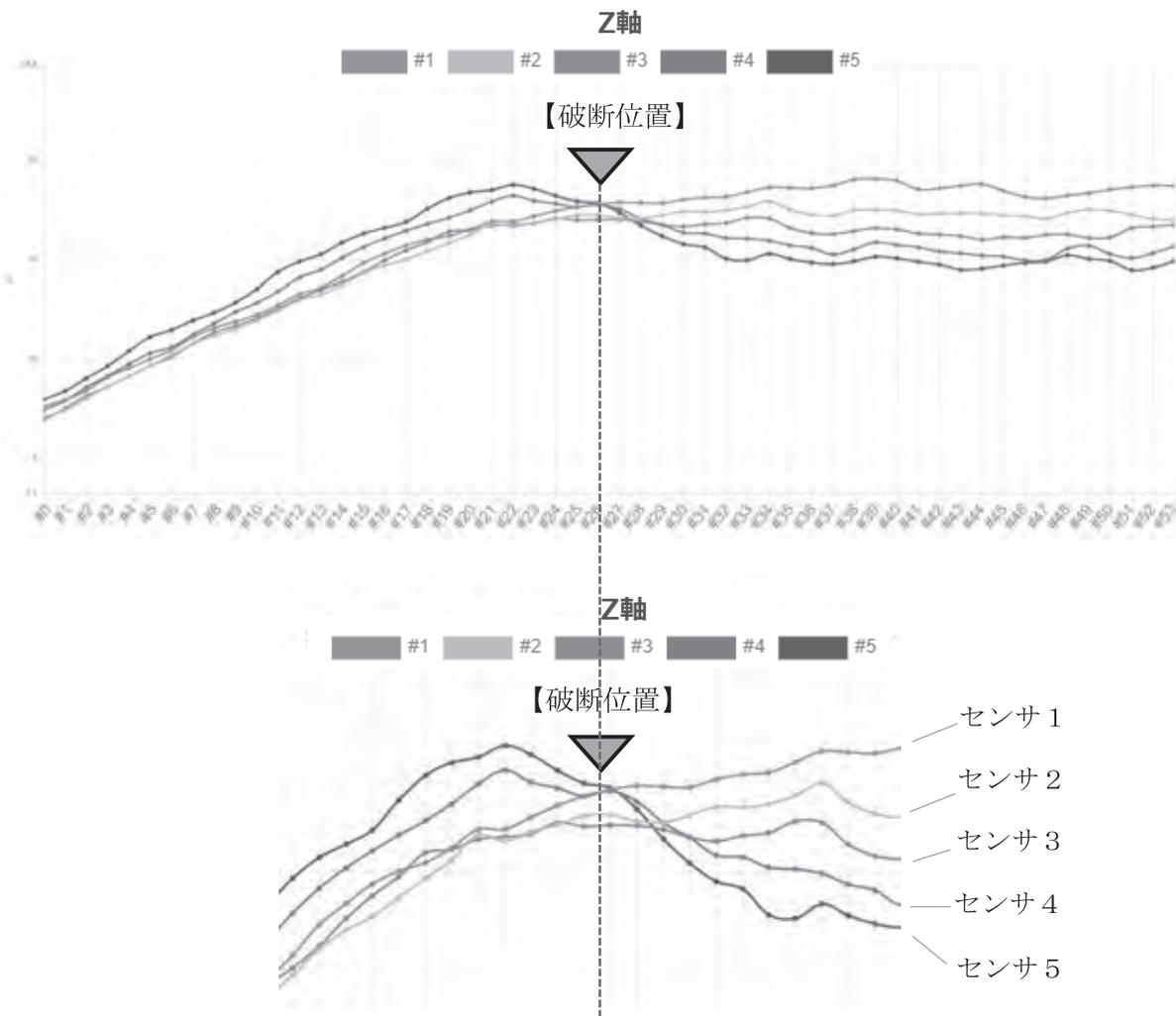
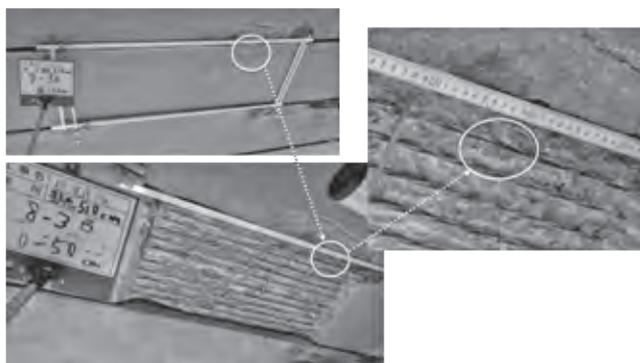


図-12 (上) 2本構成モデルの差分演算結果を全体図  
(下) センサ1~5の破断位置拡大図

50 cm の位置に破断波形が出ているが、これが破断位置を示しているものである。

図一 15 においても、同様にプレテン桁であり、調査後マーキングし、研り答え合わせを実施したが、PC 鋼線の 7 本撚線のうち 1 本の素線破断を検知できている。

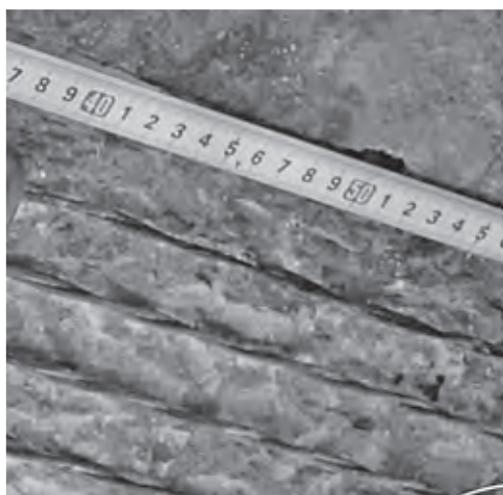
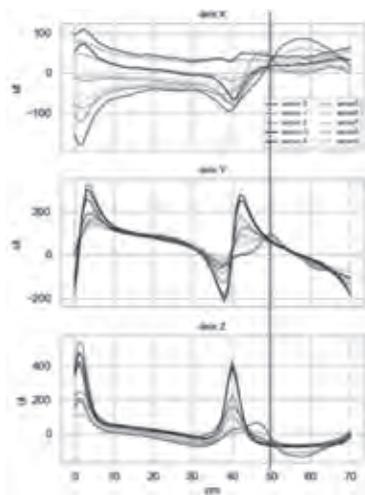
本ソリューションによる漏洩磁束法の計測では、全破断だけでなく、素線破断もしっかり検知できる事が実橋での研り答え合わせから性能証明する事ができている。



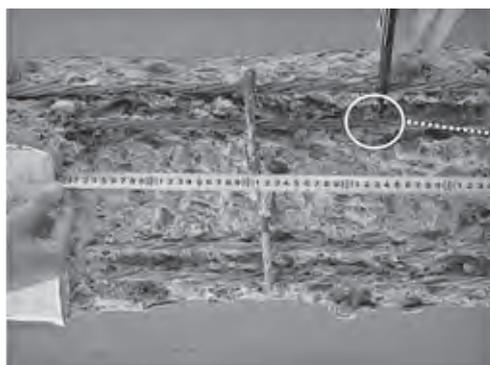
図一 13 2 本撚線のうち 1 本破断 (素線破断)

## 6. おわりに

いままで説明してきた通り、内部鋼材の破断位置を的確に示す事が出来れば、コンクリート構造物の耐荷力のシミュレーションが可能となり、耐荷力の不足分を補う具体的な補修補強の設計が可能となる。また、図一 16 にある通り、従来の詳細検査では、X 線や RC レーダーを用い、鋼材の位置を特定してから、はつり作業を実施し、内部を確認する作業が一般的である。ただこののはつり作業は、内部鋼材を痛めるリスクもあり、さらに専門性や、効率性が非常に悪い。本ソリューション SenrigaN であれば、誰でも簡単に完全非破壊で内部鋼材の破断可否を効率的に確認する事が可能となる。このような取り組みが、従来の架替え前提の維持管理ではなく、いかに悪いところを早くみつけ、補修を繰り返し、構造物のライフタイムを長くするかを可能とする。これが結果的に維持管理におけるトータルコストの削減に繋がると考えている。現在は、更なる利便性向上として、AI を用いた自動判定を活用し、データ解析アルゴリズムで波形をわかりやすく誰が計測しても破断箇所がわかるようなユーザイ



図一 14 本ソリューションによる波形と、素線破断の拡大画像



図一 15 7 本撚線の 1 本の素線破断を検知



# 福島復興事業としての石炭灰リサイクルの取組み フライアッシュを主原料にした環境に優しい建設資材「OR クリート」

横 田 季 彦

当社は、2011年に発生した東日本大震災及び原子力災害によって失われた福島県浜通り地域等の産業回復を目的とした国家プロジェクトである「福島イノベーション・コースト構想」の一環として、2016年に設立、2018年3月から操業を開始した。具体的な事業概要は、福島県浜通りに位置する石炭火力発電所から発生する石炭灰を主原料に人工砕石 OR クリート（以下、本製品という）を製造し、県内の多くの建設工事に供給している。本稿では、事業概要と、本製品の基本特性および適用実績、ならびにカーボンニュートラル時代に向けた新たな取組みについて紹介する。

キーワード：福島イノベーション・コースト構想、石炭灰、石炭灰混合材料、路盤材

## 1. はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災に伴う原子力災害によって、福島県浜通りは多くの産業が失われ、震災後10年が経過した現在においても全面的な帰還困難区域解除に至っていない。このような現状に対しては、国および県は福島復興の国家プロジェクトとして「福島イノベーション・コースト構想」を立ち上げ、福島県浜通り地域の産業回復に取り組んでいる。当社事業は、この「福島イノベーション・コースト構想」のうち、環境・リサイクル分野の生産拠点の一つに位置付けられており、地域雇用の創出、復興工事への資材提供および県内産業副産物の「地産地消」を事業目標としている。石炭灰を主原料にした本製品の製造は2018年4月から開始しており、2021年11月時点で約30万t製造し、約29万tが県内の建設工事で活用されている。

いるが、石炭火力発電所に隣接して建設されている石炭灰の海面埋立処分場は公有水面埋立法の対象となることから有効利用にカウントされている。このため、実質的な有効利用率は海面埋立分の約17%を除く必要があり、80%弱となっている。また、図-2に示

## 2. 石炭灰リサイクルの現状

全世界的な温室効果ガス削減の取組みにより、石炭火力発電所の削減が進められようとしているが、図-1に示すように、2019年度におけるわが国の石炭灰発生量は、(一財)石炭フロンティ機構が実施している石炭灰全国実態調査<sup>1)</sup>によれば約1,234万t/年で、このうち電気事業からの排出量は約854万t/年となっている。これらの石炭灰のリサイクル率は約97%と、産業副産物のリサイクル率としては高水準を維持して

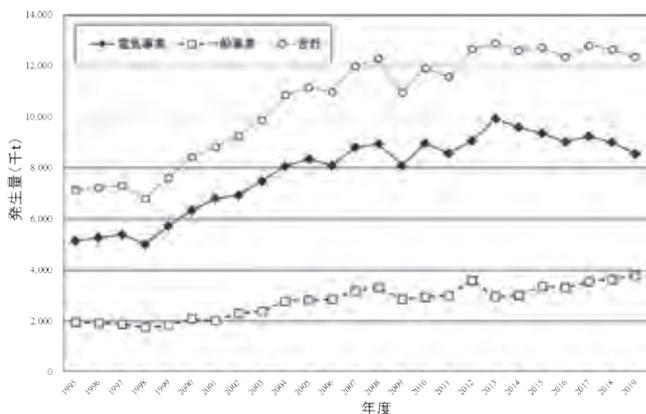


図-1 わが国における石炭灰発生量の推移

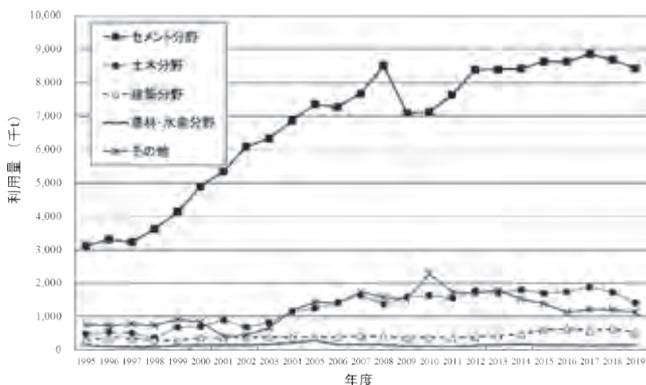


図-2 石炭灰利用分野の推移

すように石炭灰の有効利用先の約70%はセメント分野での利用であるが、今後公共工事の縮減に従いセメント需要量も低減が予測されるため、セメント分野での利用拡大は期待できない状況にある。このようなことから、石炭灰を主原料にした石炭灰混合材料の土木資材としての利用拡大が望まれており、土木学会では石炭灰混合材料の土木資材分野での利用促進を目的に「石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針(案)」<sup>2)</sup>を発刊した。

一方、地球温暖化対策として、温室効果ガスの実効的な排出削減、全体としてのカーボンニュートラルの実現に向けた政策が進められており、温室効果ガス発生量の約80%を占める電力事業においては、電源構成比率の見直しが行われた。2021年の「第6次エネルギー基本計画」<sup>3)</sup>では、2030年度における石炭火力発電の比率を19%に低減して、再生エネルギー分野の比率を高める方針が示されており、これに伴い石炭灰の発生量も約40%低減することが推定されている。しかしながら、石炭火力低減分を補う他発電方式の目途が立っていないこと、前述のように公共工事の縮減によりセメント分野利用も少なくなることが予想されること、等から土木資材分野をはじめとした石炭灰混合材料分野への利用に対する期待は大きい。

### 3. 福島イノベーション・コースト構想

福島イノベーション・コースト構想は、東日本大震災及び原子力災害で大きな被害を受けた福島県浜通り地域等15市町村の産業を回復するため、新たな産業基盤の構築を目指す国家プロジェクトであり、廃炉、ロボット・ドローン、エネルギー・環境・リサイクル、農林水産業、医療関連および航空宇宙の6つの分野を対象に、多くの研究開発施設の開発、関連企業の誘致を行うもの(図-3, 4)で当社事業はこのうち、エネルギー・環境・リサイクル分野の拠点事業に位置付けられている。

### 4. 事業の概要

事業目標を図-5に示す。同図に示すように、事業は福島イノベーション・コースト構想の一環として、経済産業省の「津波・原子力災害被災地域雇用創出企業立地補助金」、および復興庁の「復興特区利子補給制度」を活用し、避難解除地区における新規雇用の創出(新規雇用創出)、福島県浜通りの復興事業への土木資材の提供(復興工事への寄与)、および福島

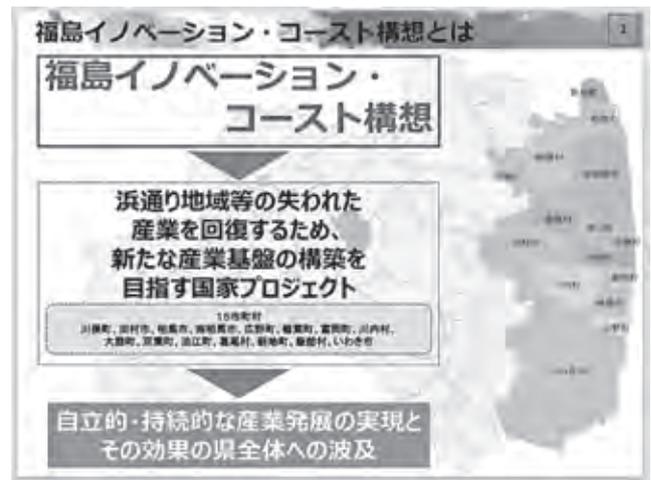


図-3 福島イノベーション・コースト構想とは

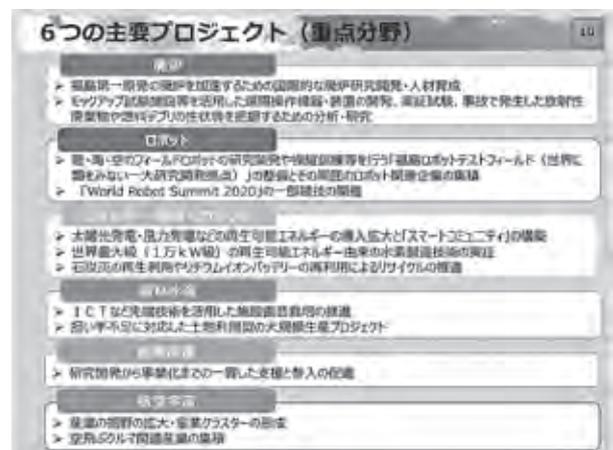


図-4 福島イノベーション・コースト構想の主要プロジェクト



図-5 福島エコクリートの事業目標

県浜通りに立地する石炭火力発電所から発生する石炭灰のリサイクル(産業副産物の地産地消)、の3つを事業目標として、2018年3月に稼働開始した。具体的な事業としては図-6に示すように、福島県浜通りに位置する2つの石炭火力発電所(東北電力原町火力発電所, JERA 広野火力発電所)から年間約6.0万tのフライアッシュを受入れ約8万tの再生碎石を製造し、県内の建設工事へ供給するものであり、石炭灰リサイクル施設としてはわが国最大級のプラントである。



図一六 福島エコクリートの事業概要

## 5. 石炭灰混合材料

### (1) 本製品の概要

当社が製造している本製品（写真一1）は火力発電所から発生する石炭灰を主原料にした人工砕石であり、前述の土木学会・技術指針（案）<sup>2)</sup>においては、表一1に示す粒状材のうち破碎材に分類される。また、製品寸法からは礫材、または礫質土に該当し、施工現場に搬入された時点では通常の地盤材料として扱うことが可能である。

なお、本製品は2019年4月に福島県の「うつくしま、エコ・リサイクル製品」に認定されている。

### (2) 本製品の製造フロー

本製品の製造フローを図一7に示す。同図に示すように、石炭火力発電所からジェットバック車で搬入された

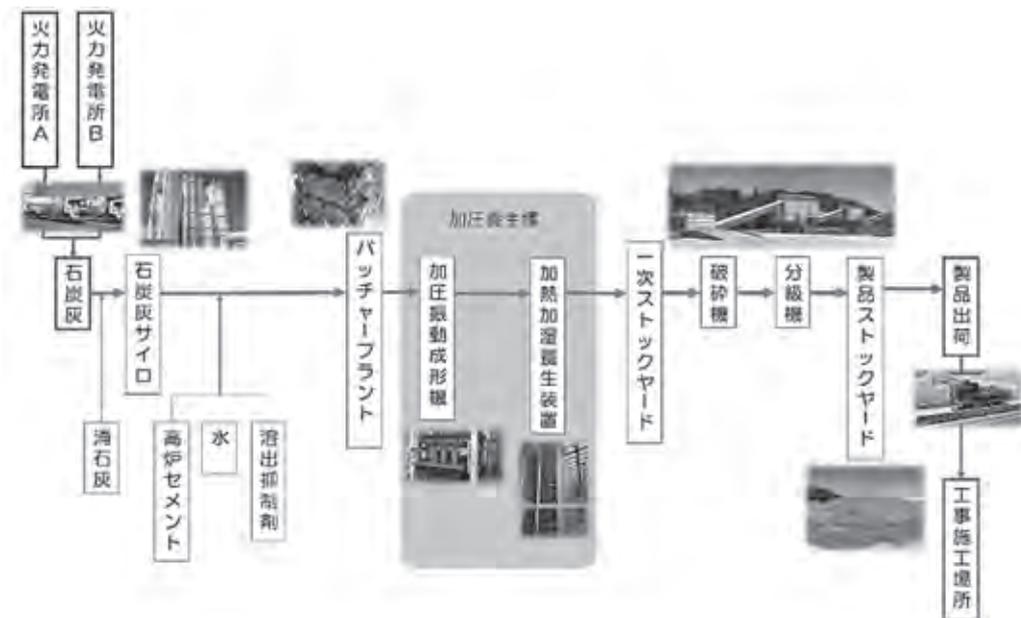


写真一1 本製品 OR クリート

石炭灰は一旦専用サイロに貯蔵され、バッチャープラントでセメント、水および混和材料と混合攪拌された後、加圧振動成型装置によって約33cm角のブロックに成型され、高温高湿の養生槽内で約2日間静置後、所要の寸法（最大寸法40mm）に破碎して製品化して出荷される。

表一1 石炭灰混合材料の分類

形態（種別）		概要（製造方法）	外 観
粒状材	破碎材	石炭灰にセメント、水、必要に応じて土砂、石膏等を混合して一旦固化させた後、掘削・破碎した土砂代替品	
	造粒材	石炭灰にセメント、添加材および水を加えて造粒して製造した砂質土代替材	
塑性材		工事現場近傍において、石炭灰にセメント、土砂および水を攪拌混合して製造した石炭灰混合材料	
スラリー材		施工場所において、石炭灰にセメント、水を混合しスラリー状にしたもの	



図一七 本製品の製造フロー

(3) 本製品の基本特性および環境安全性

表一 二 に本製品の基本特性を示す。本製品は通常の碎石等にくらべて多孔質で軽量であることを大きな特徴としている。また、環境安全性に関しては、5,000 m<sup>3</sup> に1回の頻度で重金属含有量試験および重金属溶出試験を実施し、環境安全性を満足していることを確認した上で出荷している。

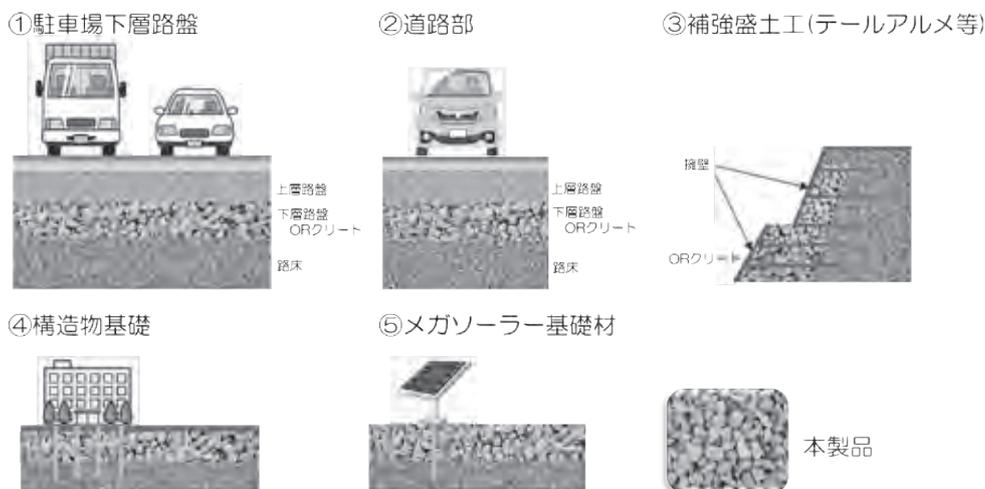
表一 二 本製品の基本特性

試験項目	基準値	本製品
土粒子の密度 g/cm <sup>3</sup>	-	2.3程度
自然含水比 %	-	20%程度
液塑性限界 %	6以下	NP
最大乾燥密度 g/cm <sup>3</sup>	-	1.2g/cm <sup>3</sup> 程度
最適含水比 %	-	30%程度
95%修正CBR %	20%以上	65%以上
表乾密度 g/cm <sup>3</sup>	-	1.7g/cm <sup>3</sup>
吸水率 %	-	20~25%
すりへり減量 %	50%以下	45%以下

(4) 本製品の適用事例

本製品の適用イメージを図一 八 に、一般的な施工フローを図一 九 に、製造量および出荷量の推移を図一 一 〇 にそれぞれ示す。これらの図に示されるように、本製品は前述したように、2018年3月のプラント開始から現在までに約30万t製造され、約29万tが県内の建設工事に活用されている。主な適用先は道路・

駐車場の下層路盤材、メガソーラー基礎碎石、盛土および建築基礎材である。本製品の選定理由としては、福島県浜通りにおけるリサイクル資材の積極的利用、



図一 八 本製品の適用イメージ



材料出荷・運搬



材料現場搬入



材料敷均し



敷均し・転圧完了

図-9 施工フロー

RC 材の代替利用，軟弱地盤での軽量性，軽量であることによる運搬車両の低減，初期における防草性能等があげられている。特に大規模なメガソーラ建設工事においては，本製品が搬入初期に pH10～11 のアルカリ性を呈することから，維持管理における除草費の低減に寄与している。

### (5) 新たな分野への取組み

弊社では本製品の利用分野として前述の一般的な建設資材への適用のほか，表-3 に示す分野への取組みを行っている。これらの取組みはいずれもカーボンリサイクル技術に関するものであり，CO<sub>2</sub> 排出を削減するカーボンニュートラル時代に向けたものである。このうち IGCC スラッグの利用検討は，IGCC スラッグの混合による品質向上と，セメント添加量低減を目的としたものである。また，環境修復材利用分野は石炭灰混合材料の多孔質，りん酸吸着能力，シリカ・カルシウム溶出特性等に着眼した用途開発であり，他の石炭灰混合材料では既に活用実績も報告されている<sup>4)</sup>。

## 6. おわりに

本製品 OR クリートの事業化および実用化開発においては，経済産業省，福島県及び南相馬市の補助金を活用しており，福島県浜通りの復興においては新規雇用創出の観点からも重要な拠点となっている。また，全世界的な温室効果ガス削減政策からはカーボンニュートラルの実現は重要な課題であり，石炭灰を主原料としているため，カーボンリサイクル技術の早期の社会実装実現を目指し，今後も福島県浜通りの復興に寄与していきたい。

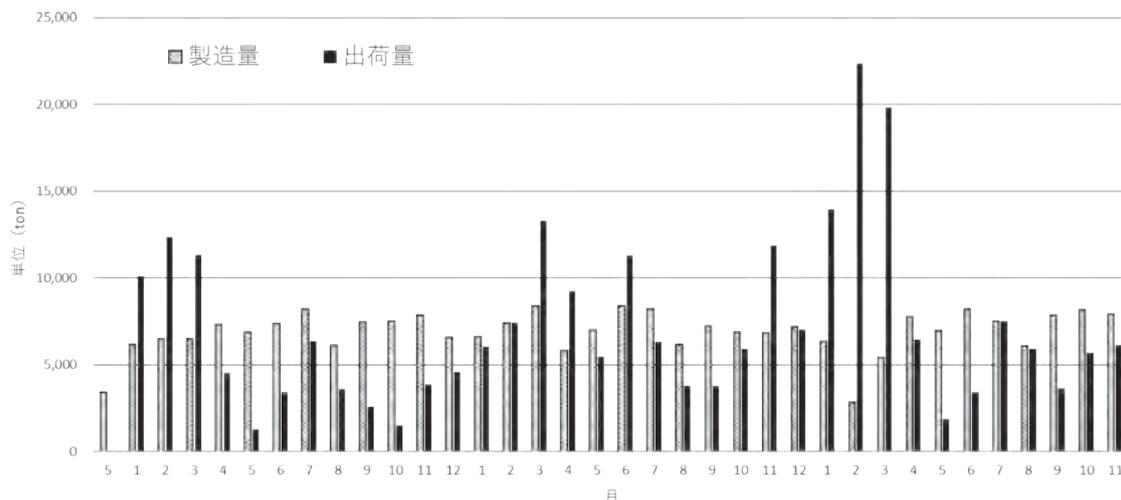


図-10 本製品の製造量および出荷量の推移

表-3 カーボンニュートラルに向けた新たな取組

検討項目	具体的検討内容	備考
IGCCスラグの石炭灰混合材料への活用検討	カーボンニュートラル時代の次世代石炭火力発電である石炭ガス化複合発電方式から発生するIGCCスラグ（CGS）を混合利用することにより製品の品質向上を図る。またこれによりセメント添加量の低減も目指す。	福島県実用化開発補助金テーマ
石炭灰混合材料の環境修復材料利用	石炭灰混合材料の多孔性、軽量性およびリン酸吸着能に着目して、①閉鎖水域の環境修復、②藻場整備によるブルーカーボンの実現を目指す。	福島県実用化開発補助金テーマ
CO <sub>2</sub> 吸着材として石炭灰混合材料活用	本製品の炭酸化（CO <sub>2</sub> の吸着特性）を検討し、製品の付加価値を高める。	

JCM/A

## 《参考文献》

- 1) (一財)石炭エネルギーセンター;石炭灰全国実態調査報告書(令和元年度実績), 2021.3
- 2) 土木学会;石炭灰混合材料を地盤・土構造物に利用するための技術指針(案), コンクリートライブラリー 159, 2021.3
- 3) 経済産業省資源エネルギー庁;エネルギー基本計画, 2021.10
- 4) 例えば, 日比野忠史, 山本民次, 樋野晴美, 斎藤直;石炭灰造粒物覆砂による環境修復効果-汽水域をフィールドとして-, 土木学会論文集 B2Vol.B2-65, 2009



## 【筆者紹介】

横田 季彦 (よこた すえひこ)  
福島エコクリート(株)  
代表取締役社長



# 新たなコンクリートスラグ骨材－石炭ガス化スラグ細骨材

松浦 忠孝

2021年、エネルギーと環境問題に貢献するクリーンコール技術である石炭ガス化複合発電（Integrated coal Gasification Combined Cycle, 以下「IGCC」という。）の大型商用機が福島県内で相次いで運転を開始した。石炭ガス化スラグ細骨材（以下、「CGS」という。）は、このIGCCの副生スラグから成る新たなコンクリート用スラグ骨材であり、現在、利用定着を目指して様々な研究・検討が展開されている。本稿では、CGSおよびこれを用いたコンクリートの特徴、ならびにJIS A 5011-5制定と設計施工指針作成への取り組みについて紹介する。

キーワード：クリーンコール, IGCC, 石炭ガス化スラグ, コンクリート用スラグ骨材, JIS A 5011-5, 設計施工指針

## 1. はじめに

SDGsやカーボンニュートラル社会の実現に向けて、環境負荷低減の機運は日々高まっている。エネルギー部門はその最たる対象であり、技術革新が世界的に求められている。IGCCは、高効率であるとともに、二酸化炭素の分離・回収技術の適用が比較的容易で、カーボンリサイクルとの掛け合わせによってカーボンニュートラルに貢献できる有用な発電方式である。そのため、IGCCの実用化と普及拡大は大いに期待されており、その実現には副生スラグの処理・有効利用方策の確立が不可欠である。一方、環境負荷低減が求められるのはコンクリート分野も例外ではない。コンクリートを構成する材料のうち骨材に着目すると、採掘によって生じる環境負荷を低減する必要があることはもちろんのこと、良質な天然骨材が世界的に枯渇していることも相まって、今後より一層の再生資源利用が求められることは不可避であると考えられる。

CGSは、この両者の課題解決に貢献する環境にやさしい建設資材である。2020年10月にJIS A 5011-5（コンクリート用スラグ骨材－石炭ガス化スラグ骨材）が制定され、2021年から流通を開始した正に新しい材料であるため、工事等への適用実績はまだ少なく、利用定着・拡大は継続的な課題である。

本稿では、CGSの利用定着に資するべく、CGSの骨材としての品質、およびCGSを用いたコンクリートの特徴を示すとともに、JIS A 5011-5制定、利用方

法の標準を示す土木学会および日本建築学会の設計施工指針作成への取り組みについて紹介する。

## 2. CGSの特徴

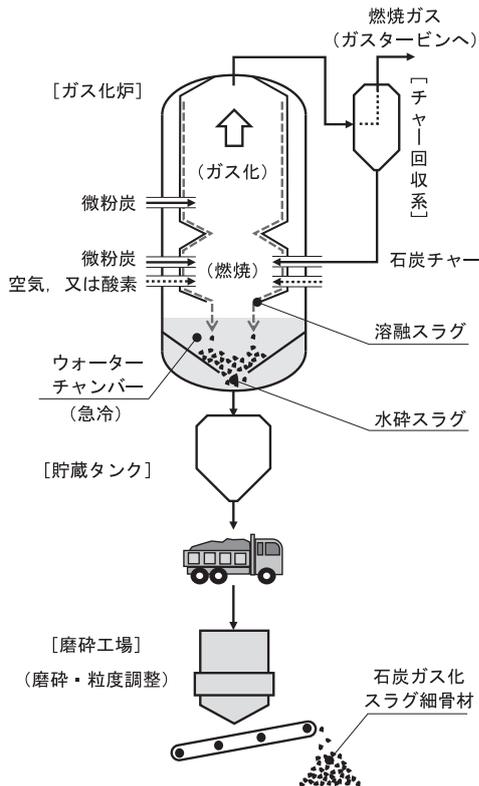
### (1) CGSの製造工程

図1にCGSの製造工程の例を示す。IGCCは、ガス化炉で生成した高温の石炭ガスを燃料とするガスタービン発電とその排熱を利用した蒸気タービン発電を組み合わせた複合発電方式である。ガス化炉内では石炭のガス化に伴って石炭中の灰分のみが高温熔融され、熔融スラグとして炉底部に流下する。流下した熔融スラグはウォーターチャンバーで急冷され、水砕スラグとして系外に取り出される。CGSは、この水砕スラグを磨砕などによって粒度・粒形を調整して製造される。

### (2) CGSの品質

#### (a) 化学成分

CGSの主成分は、二酸化ケイ素（ $\text{SiO}_2$ ）、酸化アルミニウム（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）、酸化カルシウム（ $\text{CaO}$ ）が占め、同じく石炭由来のフライアッシュに近い。ただし、IGCCには亜瀝青炭など低灰融点の石炭が用いられるため、国内に流通するフライアッシュと比べると $\text{CaO}$ はやや多い傾向にある。CGSの化学成分ごとの質量分率は、既往の文献<sup>2)</sup>のとおり石炭中の灰分組成に概ね依存する。すなわち、石炭種類（以下、「炭種」



図一1 CGSの製造工程の例<sup>1)</sup>

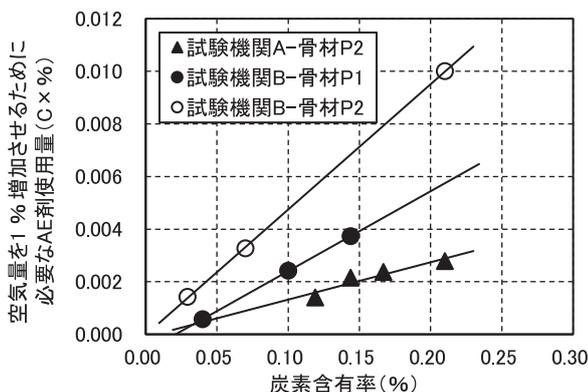
という。)を特定することによってCGSの化学成分をおよそ推定することができる。

(b) 炭素含有率

CGSには微量の炭素分が含まれる。図一2に示すように、炭素含有率（全試料に対する炭素分の質量分率）とコンクリートの空気量を増加させるために必要なAE剤の使用量には線形的相关が認められる。そのため、JIS A 5011-5では、AE剤の使用量が過剰にならない範囲でコンクリートの品質および配合が管理できるように炭素含有率の上限値0.10%が規定されている。

(c) 絶乾密度・吸水率

CGSの絶乾密度は、2.5～3.1 g/cm<sup>3</sup>の範囲に分布



図一2 炭素含有率とAE剤使用量の関係の例<sup>3)</sup>

する。JIS A 5011-5では、使用期間中の密度変化が利用の妨げとならないように、絶乾密度の推定値を見本値として予め示し、見本値に対する許容差を規定して一定の範囲に品質を管理するものとしている。絶乾密度の見本値は、利用する炭種の灰分組成から推定した値に実績を加味して製造事業者が設定し、その適用期間はIGCCプラントの燃料計画および在庫状況を踏まえた受渡当事者間の協議によって定められる。なお、同一炭種における絶乾密度の標準偏差は既往の実績において0.03 g/cm<sup>3</sup>程度である。

また、CGSの吸水率は、0.2～1.0%の範囲に分布し、フェロニッケル細骨材や銅スラグ細骨材など他のスラグ細骨材と比べても低いことが特徴である。

(d) 環境安全品質

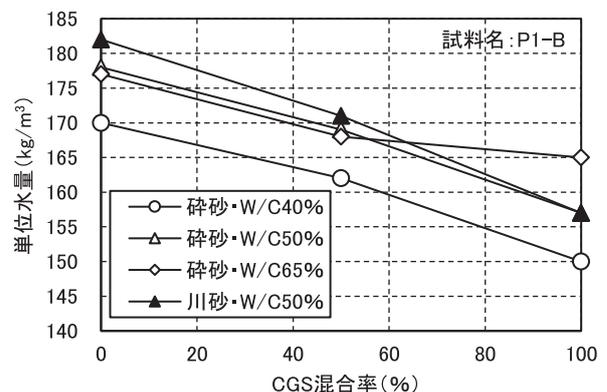
これまでに製造されたCGSは、重金属等の有害物質をほとんど含んでおらず、CGS単体で環境安全品質基準を満足している。なお、循環資材として環境安全性に配慮するために、JIS A 5011-5では、環境安全品質基準と試験方法が規定されている。

(3) CGSを用いたコンクリートの特徴

(a) フレッシュ性状

CGSを用いたコンクリート（以下、「CGSコンクリート」という。）は、全細骨材に対するCGSの容積比（以下、「CGS混合率」という。）を増やすと、同一コンシステンシーを得るための単位水量を低減できる場合がある。図一3にその事例を示す。これは、比較対象の細骨材にもよるが、CGSの粒度・粒形がよいこと、骨材表面が平滑であることが影響しているものと考えられ、CGS利用のメリットのひとつと言える。

一方、CGS混合率を過度に増やすとブリーディングが増大する傾向が確認されている。図一4にその事例を示す。ブリーディングの増大は他のスラグ骨材でも同様の傾向<sup>4)</sup>が認められており、骨材密度がや



図一3 CGS混合率と単位水量の関係の例<sup>3)</sup>

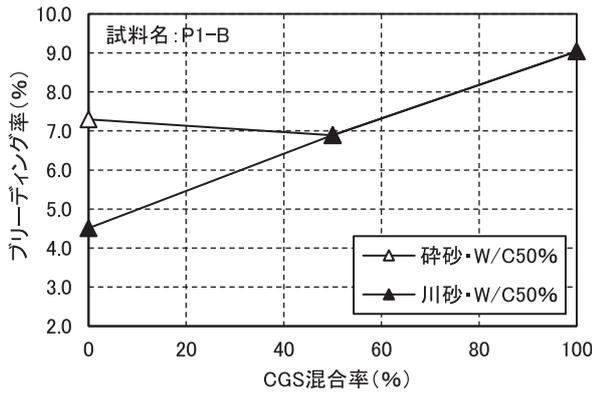


図-4 CGS 混合率とリーディング率の関係の例<sup>3)</sup>

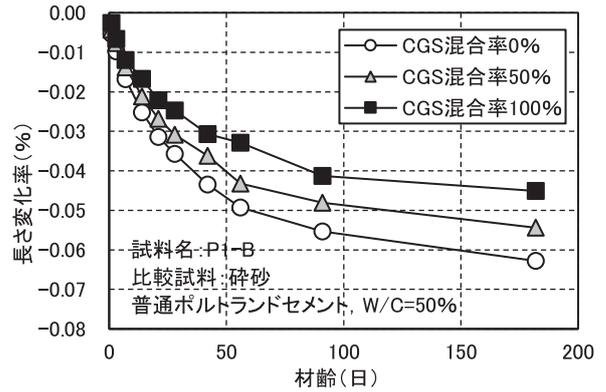


図-6 長さ変化試験結果の例<sup>3)</sup>

や大きいこと、骨材表面が平滑で保水能力が低いことに起因するものと考えられる。

(b) 強度, ヤング係数

CGS コンクリートの圧縮強度は、材齢 28 日では天然骨材を用いたコンクリートと同等かやや低下する傾向が認められている。一方、CGS コンクリートの材齢経過に伴う強度増進は大きく、材齢 1 年に及ぶと天然骨材を用いたコンクリート以上の強度が得られるケースが多く認められている。図-5 にその事例を示す。このような強度増進は、CGS の化学成分などから骨材界面のポズラン反応によるものと推察されており、現在詳細な研究が進められている。

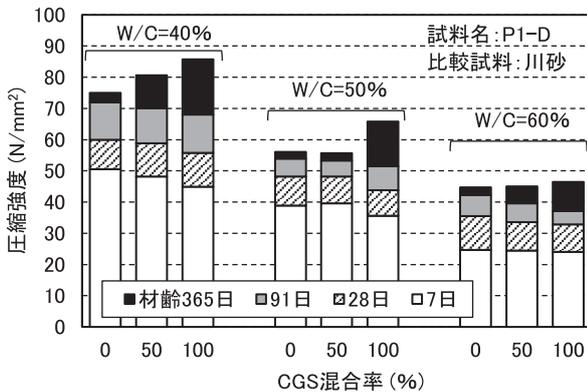


図-5 CGS コンクリートの圧縮強度試験結果の例<sup>5)</sup>

(c) 体積変化

CGS コンクリートは、CGS 混合率を増やすと乾燥収縮が小さくなる傾向が認められている。図-6 にその事例を示す。これは単位水量の低減による効果に加え、CGS 自身の吸水率が小さいこと、CGS コンクリートのヤング係数が大きいことが寄与しているものと推察される。

(d) 耐久性

CGS コンクリートの塩化物イオンに対する見掛け

の拡散係数は、CGS 混合率の増大に応じて小さくなる傾向が認められている。図-7 にその事例を示す。これは、物質移動抵抗性に影響を及ぼす遷移帯が CGS の反応性によって緻密化されたためと推察され、現在詳細な研究が進められている。

凍結融解試験 (JIS A 1148 A 法) の質量減少率の結果の例を図-8 に示す。この結果から CGS 混合率の増大に伴ってスケーリングによる質量減少が増大する傾向が認められる。スケーリングは、リーディングによる表面層直下の脆弱層によって誘発されることが知られており<sup>7)</sup>、CGS コンクリートにおいてもリーディングがスケーリングの増大要因と考えられる。

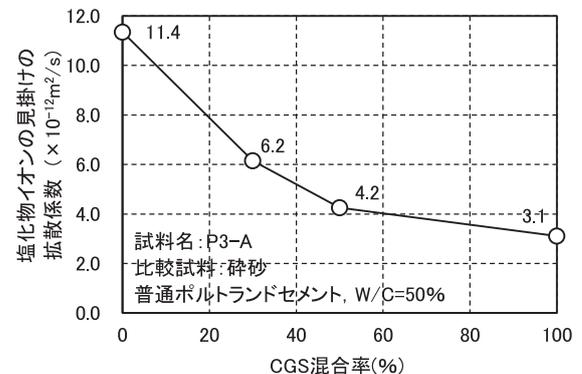


図-7 CGS 混合率と見掛けの拡散係数の関係の例<sup>6)</sup>

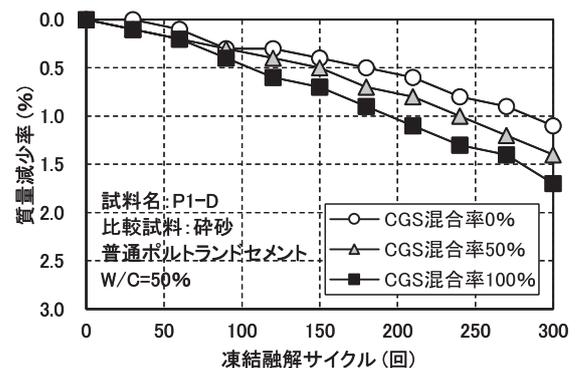


図-8 凍結融解試験 (質量減少率) の結果の例<sup>5)</sup>

### 3. 規格化・標準化への取組み

図一9にCGSの規格化・標準化への取組み工程を示す。東日本大震災後、IGCC大型商用機の建設計画を契機に、経済産業省、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）の協力のもと、コンクリート用骨材としての利用定着を目指して、2015年から学識経験者、関係省庁、使用者及び電力関係事業者から成る委員会を組織し、以降の研究・検討を重ねた。この研究成果を踏まえて、2019年にJIS原案作成委員会（委員長：長瀧重義 東京工業大学名誉教授、分科会主査：阿部道彦 工学院大学名誉教授）を組織して、コンクリート用骨材としての品質および試験方法の審議がなされ、翌2020年にJIS A 5011（コンクリート用スラグ骨材）規格群の第5部として、JIS A 5011-5（石炭ガス化スラグ骨材）が規格化された。

	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25-
JIS A5011-5	経産省補助事業 有効利用検討委員会	NEDO事業				▼2020.10 JIS原案作成委員会	2020.JIS公示				
JIS A 5308						改定調査	原案作成	情報提供		▼JIS改正	
設計施工指針 ・土木学会 ・日本建築学会						NEDO事業 研究・調査 作成・審議					
コンクリート等への利用状態	廃棄物利用 (自ら利用が主体)					有価物利用 非JISコンクリート				JISコンクリート	

図一9 CGSの規格化・標準化と利用定着へのロードマップ

また、引き続き利用の標準化にも着手した。土木部門では、2020年6月から土木学会／コンクリート委員会／石炭ガス化スラグ骨材細骨材を用いたコンクリートの設計・施工研究小委員会（委員長：岩城一郎 日本大学教授）の活動を開始し、建築部門では、同年7月から建築研究振興協会／石炭ガス化スラグ骨材委員会、2021年4月からは日本建築学会／材料施工委員会／鉄筋コンクリート工事運営委員会／石炭ガス化スラグ骨材を使用するコンクリートの施工指針作成小委員会（委員長：小山明男 明治大学教授）の活動を開始し、先に述べたCGSコンクリートの特徴を踏まえて、設計、配（調）合、施工の標準化に向けた調査・研究、検討が進められている。指針としての発刊はいずれも2023年を予定しており、ここでは利用の優位性、または利用上の注意点を含めて示される予定である。指針の発刊によって、多くの方にCGSの特徴を理解いただき、利用が拡大されることを期待したい。

### 4. 実規模構造物等への適用例

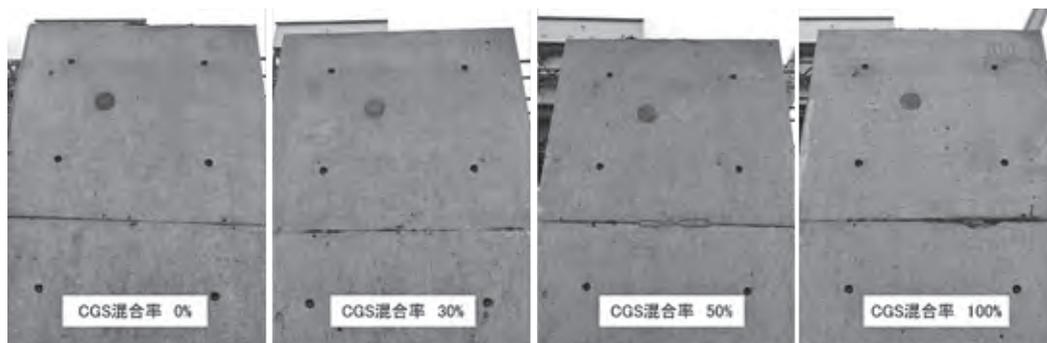
CGSは新しい材料であるため、現時点では採用事例に乏しい。今後、IGCCの立地地域を中心に、現場打コンクリート、プレキャストコンクリート製品の実績拡大を図っていく計画であるが、ここでは先行の採用事例を紹介する。写真一1は、プラント構内のコンクリート舗装である。CGS混合率50%で施工した結果、打上り面に色ムラ、痘痕、脆弱部はなく、仕上がりは極めて良好であった。また、乾燥収縮が小さいという特徴が活かされ、ひび割れ発生も少ないことが確認されている。写真一2は、高さ2m、部材厚0.3mのT形コンクリート擁壁である。コンクリートの打ち込みにはコンクリートポンプ車および圧送配管による施工が適用されている。この施工におけるコンクリートの品質および施工結果については、既往の文献<sup>8)</sup>で報告されており、適用した配合範囲（CGS混合率50%以下）であれば、概ね一般のコンクリートと同様に扱うことができ、十分な施工性を有することが確認されている。また、写真一3に示すように、コンクリートの仕上り面についても色ムラ・表面の荒れ・砂すじ等の発生はなく、CGSの利用によって外観上の品質に与える影響もほとんどないことが確認されている。



写真一1 コンクリート舗装への適用事例



写真一2 コンクリート擁壁への適用事例



※ 上部の補修痕は、試験のためにコア採取したもの

写真-3 CGS コンクリートの擁壁側面の外観

## 5. おわりに

本稿は、既報<sup>1), 9)</sup>を一部引用し、CGSの骨材としての品質、CGSコンクリートの特徴、規格化・標準化の取組みについて概説した。十分な利用実績に先立って規格化し、また、標準化を目指すその意義は、副生スラグの処理がエネルギー分野の技術革新と環境問題の障害になることなく、更にCGS有効利用の定着・拡大によって持続可能な社会の実現に貢献することにある。現在もCGSに関する研究は多岐に渡って展開されており、順次その成果が報告されるため、是非これらも参照されたい。本稿が今後のCGS利用普及の一助となれば幸いである。

JCM A

### 《参考文献》

- 1) 長瀧重義, 阿部道彦, 松浦忠孝: JIS A 5011-5 (コンクリート用スラグ骨材-第5部: 石炭ガス化スラグ骨材) の制定概要, コンクリートテクノ, pp.10-14, 2021.2
- 2) 松本宗浩, 古屋憲二: 石炭ガス化スラグの原料炭種による品質への影響, 土木学会第74回年次学術講演会, V-25, pp.1-2, 2020
- 3) NEDO: クリーンコール技術開発 石炭利用環境対策事業 石炭利用

環境対策推進事業 石炭ガス化溶融スラグ有効利用推進事業 2016年度～2018年度成果報告書, 2020.3

- 4) 上田敦, 國府勝郎, 宇治公隆: スラグ細骨材を用いたコンクリートの品質向上に関する研究, 土木学会論文集E, Vol.62, No.2, pp.462-476, 2006
- 5) 松浦忠孝, 鷺巣正樹, 前島拓, 岩城一郎: 石炭ガス化スラグ細骨材を用いたコンクリートの基礎的性質に関する検討, セメント・コンクリート論文集, Vol.75 (投稿中)
- 6) 宮村優希, 岩波光保, 中山一秀: 石炭ガス化スラグを用いたコンクリートの強度特性および海洋環境下における耐久性に関する検討, セメント・コンクリート論文集, Vol.74, No.1, pp.207-214, 2020
- 7) 権代由範, 月永洋一, 庄谷征美, 阿波稔: コンクリート部材の断面厚さの相違が表層部脆弱層の形成に及ぼす影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.64, No.1, pp.391-397, 2010
- 8) 松浦忠孝, 木村博, 橋本紳一郎: 石炭ガス化スラグ細骨材を用いたコンクリートのフレッシュ性状の経時変化と圧送性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.1, pp.47-52, 2021
- 9) 長瀧重義, 阿部道彦, 松浦忠孝: JIS A 5011-5 (石炭ガス化スラグ骨材) 制定の概要, コンクリート工学, Vol.59, No.6, pp.496-501, 2021.6

### 【筆者紹介】

松浦 忠孝 (まつうら よしたか)  
東京電力ホールディングス(株)  
技術・戦略ユニット 土木建築統括室  
総合エンジニアリンググループ





## 凍らせて、混ぜて、溶かすだけで高い強度と成型性を持つ新しいセルロースゲル材料を開発

関 根 由 莉 奈

環境中に残留するプラスチック由来の環境問題を解決するために、自然界に存在する微生物により生分解される生分解性材料に関心が高まっている。しかし、多くの生分解性材料では強度や成型性の向上が課題であった。本研究では、“凍らせたセルロースナノファイバーにクエン酸溶液を混ぜて溶かす”ことにより、高い圧縮負荷にも耐えるミクロレベルの強固な三次元ネットワーク構造を形成することを発見した。本手法により得られたセルロースゲルは食用の素材のみから構成されるにも関わらず、高い圧縮負荷の特性を有し、また、様々な三次元形状に成型できる高い成型性を示した。さらに、有害物質を吸着する吸着剤としての可能性も示した。このように、木材などから得られる“セルロース”、レモンなどに含まれる“クエン酸”、そして“水”を素材として用い、かつ“凍結”という身近な現象を利用することで環境にやさしいユニークな特性を持つゲル材料を開発することに成功した。本成果は、環境に優しい新たなプラスチック代替品や環境浄化材料、さらには機械材料など様々な用途への応用が期待される。

キーワード：セルロースナノファイバー、凍結架橋、ハイドロゲル

### 1. はじめに

植物の細胞壁に含まれるセルロースなどのバイオマス素材を活用した材料は、プラスチック由来の環境問題の解決策として注目を集めている。なかでも、バイオマス素材を原料とした生分解性ゲルは、環境浄化材や医療材料として幅広い展開が期待されている。ここで、“ゲル”について簡単に紹介する。ゲルとは、高分子を化学的または物理的に架橋することで形成される高分子ネットワーク構造に自重の90%以上の水を安定に含む材料である。身近では寒天ゲルやコンタクトレンズなどのゲル材料が馴染深い。ゲルは多量の水を含み、生体組織と似ている粘弾性を示すことから特に医療医薬分野で多用されてきた。様々な用途に適したゲルが現在でも多く研究開発されている。

ゲルの合成手法として、大きく分けて物理架橋と化学架橋の2つが用いられる。物理架橋ゲルは、非共有結合の水素結合やクーロン力などから形成される可逆架橋構造を有する。一般的に、物理架橋ゲルは触媒や架橋剤を用いずに形成可能で、無害な物質のみから構成されることが多く、バイオ分野で幅広く利用されている。しかし、化学架橋ゲルと比べて強度が弱い場合が多い。化学架橋ゲルは、共有結合により形成される不可逆架橋構造を有する。化学架橋ゲルは物理架橋ゲ

ルよりも熱に対して安定で分解し難く、固体的な性質が優位である。高強度で安定な化学架橋ゲルはその応用性を広げる一方、その高い安定性により、例えば分解させる必要がある用途には向かない。また、その合成過程において、人体や環境に有害な化学物質を必要とする場合が多い。このように、分子の結合様式や構造を制御することによって今まで様々な特性を有するゲルが研究開発されてきた。

本稿では、ごく最近著者らが発見した、極めて高い圧縮強度を有するセルロースナノファイバーゲルについて紹介する<sup>1)</sup>。本ゲルの特徴として、生分解性かつ食用の素材のみから成り、極めて簡易な方法を形成可能で、高い成型性を有する点が挙げられる(図-1)。前述のように水素結合などの比較的弱い結合様式から成る物理架橋ゲルは分解性に富み、鋳型や生分解性インプラント材料などの用途に適しているが、大きな変形を加えると壊れてしまうといった物理的強度の脆弱さが課題であった。化学架橋や精密合成された分子を用いることで架橋構造を制御し、強度を向上させる手法もあるが、分解性や無毒性が損なわれる場合が多い。このような課題に対して、著者らは水溶液が凍結する際の相分離構造を利用することで物理架橋の結合様式を制御して強度を向上させる方法を発想し、研究を行った。

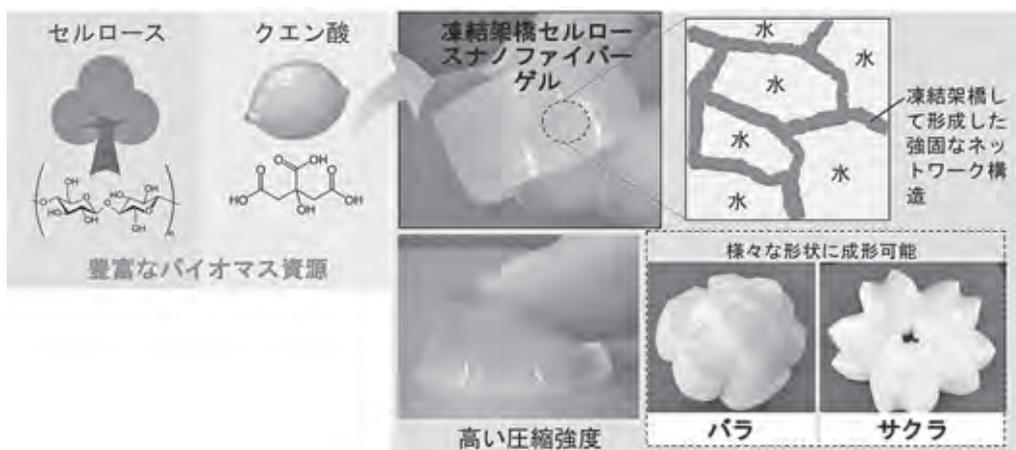


図-1 凍結架橋セルロースナノファイバーゲルの概要

## 2. 凍結架橋カルボキシメチルセルロースナノファイバーの開発

本研究では、木材から抽出されるカルボキシメチルセルロース (CMC) ナノファイバーと檸檬などに含まれるクエン酸を用いてゲルの形成を試みた。セルロースナノファイバーとは、木材から得られる木質繊維を物理的または化学的にナノオーダーにまで微細化した素材であり、ナノサイズの直径を持つファイバーが分散したゾル状物質で存在する。環境不可が少なく、軽量かつ強度が高く、国内の供給力も高い素材であることから利用用途の拡大が期待されている。CMC ナノファイバーは、セルロースナノファイバーの水酸基の一部がカルボキシル基で修飾された素材である。一方、クエン酸は、柑橘類などに含まれる有機酸の一種であり、その水酸基とカルボキシル基を有する。CMC ナノファイバー、クエン酸両者とも食品添加物として用いられており、食べることも可能である。

CMC ナノファイバーとクエン酸は両者ともカルボキシル基と水酸基を有し、水素結合を介して反応することが可能である。従って、両方を水中で混ぜ合わせるだけで水素結合により架橋構造が形成され、CMC ナノファイバーがネットワーク構造を形成することで

ゲルが形成することが推測された (図-2)。最初に、CMC ナノファイバールにクエン酸水溶液を加え数時間静置したところ、固形物が形成することを確認したが、その物理的特性は脆弱であり、指で押すとすぐに壊れてしまった (図-3 (a))。普通に両者を混ぜ合わせただけでは脆弱なゲルとなってしまったが、上述したように、ゲルはその結合様式を変えるとその強度や特性が変化する材料である。したがって、同じ素材を用いても水素結合の様式を制御することで強度や性質を変化させることが可能なのではないかと考えた。そこで、CMC ナノファイバールを凍結させ、出来た凍結体が凍結した状態のまま、クエン酸水溶液を一定量加えて0℃以上で静置し、CMC ナノファイバールを溶解させた (図-3 (b), (c))。融解後、固形物の形成を確認したところ、圧縮に対する強度は著しく向上し、圧縮強度は80 MPa以上を示した。このように、凍結処理を施しただけで圧縮強度が飛躍的に向上することを発見した。

## 3. 凍結架橋ゲルの高強度発現のメカニズム

なぜ凍結処理により CMC ナノファイバーゲルの圧縮強度が飛躍的に向上したのだろうか？ 以下のような

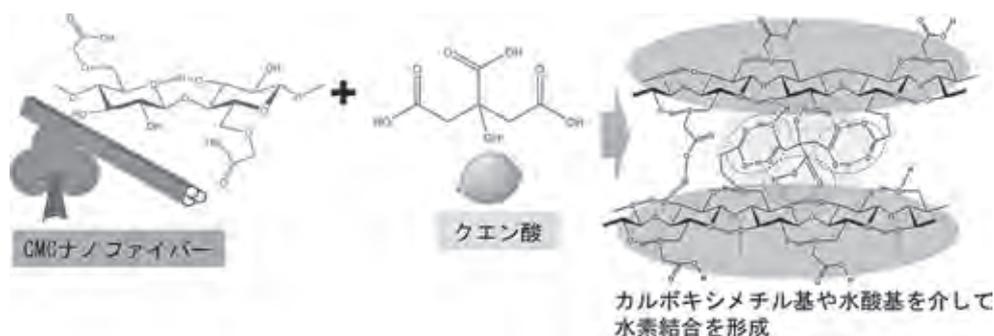


図-2 CMC ナノファイバーとクエン酸の反応



図-3 凍結架橋 CMC ナノファイバーゲルの作製

メカニズムが考えられる。一般的に、砂糖水のように溶質（砂糖）を溶かした水溶液をコップに入れて凍結させると、一見してコップの中に“氷の塊”が形成されるが、微視的には氷結晶中に砂糖が取り込まれることはなく、凍結に伴う相分離により氷から押し出された砂糖の濃厚水溶液層が氷結晶の周りに形成される。砂糖の主成分であるスクロースは水酸基を持ち、水分子と比較的強く相互作用する。そのため、スクロースと相互作用している水分子は氷に取り込まれることはなく、スクロースとの相互作用を形成したまま留まるため、氷の周りには濃厚な溶質水溶液が形成していると推測される。この濃厚水溶液は、極めて高濃度の溶質を含むため、0℃以下でも凍結しない（凝固点降下している）と考えられる。CMC ナノファイバーの凍結体中においても同様の現象が起これと考えられる。

CMC ナノファイバーは砂糖と同じく水と相互作用する水酸基及びカルボキシル基を有する。そのため、CMC ナノファイバーを凍らせると一見して“氷”が形成されるが、氷の周りには CMC ナノファイバーの濃厚溶液が連続的に存在していたと考えられる（図-4）。

ここに CMC ナノファイバーと水素結合を形成するクエン酸水溶液を入れると、氷の微結晶の周りで CMC ナノファイバー濃厚溶液とクエン酸の架橋反応が進行する。この反応により、氷結晶の周りに存在していた CMC ナノファイバーが架橋されて固定化されることで氷の融解後も凍結時における CMC ナノファイバーの凝集構造が維持され、圧縮強度の飛躍的な向上に寄与したと考えられる（図-4）。本研究で見出したこの架橋反応を凍結架橋法と呼ぶことにした。

#### 4. 凍結架橋カルボキシメチルセルロースナノファイバーの特徴、特性

凍結架橋法を用いた CMC ナノファイバーゲルの利点と今後の可能性について述べる。上述のように、凍結架橋 CMC ナノファイバーゲルは極めて高い圧縮強度を示した。その含水率を測定したところ、自重の90%以上の水を含むことが分かった。安定な構造骨格に高い含水性を示すことから、例えば疎水性のフィルム状でゲルを押し込むと水を排出しながら変形し、力を離すと水を吸いながら完全に元の形に戻るとい

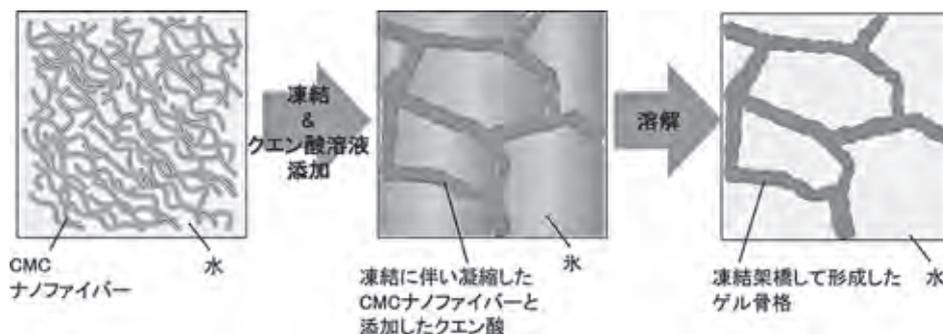


図-4 凍結架橋のメカニズム

た、スポンジのような挙動を示した。従って、ゲル中における水の透過を利用した用途も想定出来る。

このゲルの利点として挙げられるのは様々な物質を固定化出来ることである。本架橋法は, CMC ナノファイバーズを凍結して, クエン酸水溶液を注ぎ, 溶かすだけという簡易な手法である。そのため, 例えば凍結前に CMC ナノファイバーズと粘土のような粉状物質を混ぜ合わせて凍らせ, 架橋させると, 粉状物質を簡単にゲル内部に固定化することが出来る。実際に吸着剤として利用されているベントナイトを固定化したゲルが高効率に色素などを吸着出来ることを確認した(図-5)。さらに, ゲルに固定化した場合, ベントナイト単体よりも吸着性は向上していた。凝集しやすいベントナイトのような粉末物質を凍結すると, そ

れらが剥離されて表面積が増加し, その為に吸着効率が向上したと考えている。

他の利点として, 凍結時にモールドなどを用いることで自在な3次元の形に加工できる点が挙げられる(図-1)。このゲルは生分解性であり, アルカリ性環境下で分解する特性を有することから, 第2の物質や材料の鑄型としても用いることが出来ると考えている。今回は CMC ナノファイバーとクエン酸の組み合わせによるゲルを主に紹介したが, 本研究で開発した凍結架橋法はその他の高分子等にも適用可能であると考える。“凍結”と“凍結構造体における反応”を利用した様々な今後の材料展開が期待される。

JICMA

《参考文献》

- 1) Y. Sekine et al., Eco-friendly Carboxymethyl Cellulose Nanofiber Hydrogels Prepared via Freeze Cross-Linking and Their Applications, ACS Appl. Polym. Mater. 2 (12) 2020年, 5482-5491.

【筆者紹介】

関根 由莉奈 (せきね ゆりな)  
 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
 物質科学研究センター  
 研究副主幹



図-5 ベントナイトを固定化した CMC ナノファイバーゲルが色素を吸着する様子



## 未来につながる光学レンズの可能性

川口 浩司

(株)タムロンは、あらゆる分野の光学製品の開発・製造・販売を行っており、特に写真カメラ用交換レンズは自社ブランドとして、高倍率ズームレンズなど幅広いレンズ製品を提供してきた。この分野で培った光学設計・筐体設計・部品加工技術・組立技術などのノウハウを軸に新事業の開拓も行っている。会社紹介を兼ねてこれまで取り組んだ新規事業の一部を紹介する。

キーワード：レンズ、監視カメラ、車載、遠赤外線、医療、宇宙

### 1. はじめに

当社は1950年の創業から70年以上にわたり、写真カメラ用交換レンズのみならず古くは双眼鏡やAF顕微鏡装置なども手掛けてきた。カムコーダー（ビデオカメラとVTRの一体化）最盛期には、市場ニーズに合わせた製品開発も行い、民生用から業務用・産業用までさまざまな分野の光学機器開発に挑戦してきた。

近年では撮影機器（スマートフォン・ウェアラブルカメラなど）の機能・性能向上により個人でのカメラ撮影がより手軽さを増している。その中でも当社は一眼レフ／ミラーレスカメラ用交換レンズ開発に注力し、さまざまな撮影シーンに合わせた価値創造に取り組み、日々進化する映像技術と市場ニーズに向けて光技術での社会課題の解決を目指している（写真—1）。

### 2. 監視カメラ用レンズ

1980年代には監視カメラ用レンズ開発に着手し、現在では当社の主力事業の一つとなっている。当時の監視カメラ用レンズは単焦点レンズが主流であった。その時代に、先人達の熱意と工夫により、当社はパフォーカルレンズ（可変焦点レンズ）の開発を行った。これが市場に広く受け入れられ、グローバル顧客の獲得および販売網構築を通じ、監視カメラ用レンズの需要が飛躍的に拡大した（写真—2）。

監視カメラに搭載されているセンサーも時代と共に進化し、VGA（30万画素）から始まり、現在ではFull-HDや4K（約800万画素）の解像度を超えるシステムまで登場している。カメラの進化に合わせてレンズの高解像度化はもちろん、利便性の向上を目指した高倍率・小型化などの革新にも努めてきた。さらに夜間監



写真—1 さまざまな光学製品



写真—2 監視カメラ用レンズ

視を目的とした近赤外照明搭載の監視カメラも登場し、レンズ側からもカメラ性能を更に発揮すべく、可視光と近赤外光でのピントズレを補正するレンズ技術開発にも貢献してきた。現在は監視カメラへの機械学習の機能搭載も始まり、レンズの高精度化・高性能化・多様化が今後ますます必要となってくる。

### 3. 車載用レンズ

2008年頃、車載用レンズの事業化に着手。車載カメラと言えば今ではさまざまな種類・用途が挙げられるが、バックモニター（リアビュー）が車載カメラとしての主流の当時に、当社はセンシング用（白線認識や夜間含む前方視認など）の車載用レンズの開発に取り組み始めた。小型化と高精度化を同時に実現することが必須であったため、小径のガラス非球面レンズを始めプラスチックレンズなどの活用も行いながら小型化と高精度化の両立に努めた。特にセンシング用レンズでは逆光などの悪条件下でも画像認識する必要があるため外乱光（ゴースト・フレア）の低減など高度な光学性能の達成に向けてレンズ成形技術や光学コーティングの技術開発に注力し、自動車メーカーの求める品質をクリアし採用されてきた。その様な取り組みを経て今では自動運転を目指したセンシング用のLiDAR光学モジュールの開発も行っており、新たな自動車社会の実現に向けた歩みに合わせて、事業の発展を目指している。

### 4. 遠赤外線用レンズ

これまで人の眼で見える物や近赤外（照明含む）の波長領域において見えるレンズを軸に新たな市場展開をしてきた。ここでは、人の眼では捉えられない波長（主に8～14 $\mu\text{m}$ ）における物体からの放射熱を画像として捉えるための遠赤外線用レンズの開発を紹介す

る。この事業領域での課題は光学レンズとして使える材料である。遠赤外の波長域を透過する材料としては、主にゲルマニウム、硫化亜鉛（ZnS）、シリコン、カルコゲナイドガラスなどがあるが、可視光域のガラス材料と比べると種類が限られてしまう。この分野では限られたレンズ材料と光学設計・製造技術を駆使した製品開発を行い上市する事に繋がった。

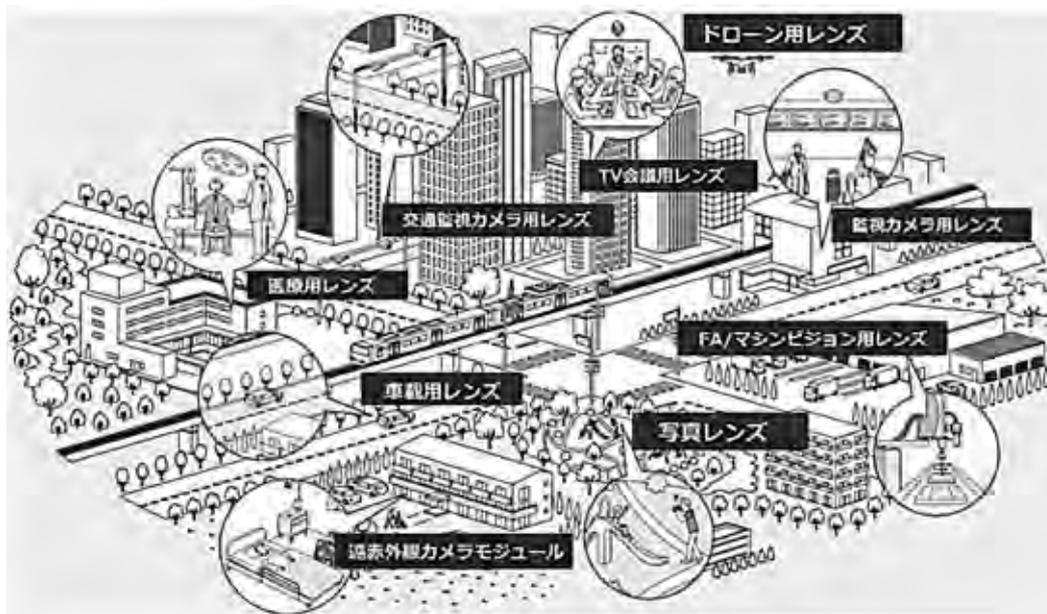
近年ではコロナ禍における建物入口付近での人の体表温度計測（モニタリング）に使われたりするなど、日常生活の中でも馴染んできたと思う。当初手掛けたレンズは遠赤外のズームレンズなどもあり、望遠側では2km以上先の人物を高感度で検知でき、且つ光学防振システムを搭載して（写真—3）、ハイエンド・長距離の監視システムへの搭載を目指した。最近では低画素タイプでの遠赤外線カメラモジュール（レンズ＋カメラユニット）の開発を行い熱画像の取得と高精度な温度計測を実現し進化し続けている。



写真—3 遠赤外線レンズでの撮影画像

### 5. 医療用レンズ

上記で述べた通り、一部カメラモジュールの開発は行っているがレンズ・光学技術が主軸である事は変わらない。そのような中で医療分野への参入を目指してきた。医療分野も当然ノウハウの塊であり同じレンズとは言え簡単には参入できない部分があった。まずは知見のある方々との連携を図り、8Kの解像度を実現した硬性内視鏡の原理試作を開発した。硬性内視鏡は腹部に小さな穴をあける腹腔鏡手術で使用される物が代表的である。小さい穴を通る長細い機器のためレンズとしてはリレー系の光学設計や極小径のレンズ加工など加工技術を含めた新しい開発も行った（写真—4）。これらの技術開発の結果、今では医療用のレンズデバイスの供給を行っている。今後も継続して新たな医療用の光学技術（分光・蛍光観察用光学フィルターや検査用レンズなど）への参入を目指している。



図一 1 光学製品の利用シーン



写真一 4 極小径レンズ

## 6. そして宇宙へ

他にも検討中のテーマではあるが、宇宙ビジネスにも関心を寄せている。昨今の活発な宇宙概況を俯瞰しても近い将来月面や惑星での資源開発が進む事を大きく期待したい。資源開発は無人での作業だけでなく、有人居住区などのインフラ開発も必要とされるだろう。その様な時代に向けて宇宙環境でも耐えられるレンズ（耐放射線・表面防汚コーティング・耐振動衝撃）や一台で広角から望遠まで撮影するためのズームレンズ（アクチュエータ技術）や暗い環境でも高感度で撮影するための大口径でありながら小型化したレンズ（軽量化）など当社としても解決すべき課題は山積している。しかしレンズ単体では実現出来ないためカメラやシステムとの融合が不可欠になってくる。この部

分の課題を解決しながら、当社のレンズが宇宙で活躍できる事を期待したい。

## 7. おわりに

光学レンズ自体はアナログデバイスではあるが、IoT化が進む社会の中でさまざまな機器の眼となり社会基盤には必要不可欠な情報源になっている（図一1）。眼では捉えきれない波長帯域も含め、光学レンズ製品はあらゆる産業や暮らしにより貢献できることを期待し、今後も未来の社会課題の解決に向けて新しいテーマに取り組んでいく。他にもさまざまな光学デバイスの開発も行っているため、当社のHPなどお気軽にアクセスいただきたい。

タムロン技術情報 HP：<https://www.tamron.co.jp/technology/>

JICMA

### 【筆者紹介】

川口 浩司 (かわぐち こうじ)  
 (株)タムロン R&D 技術センター  
 研究開発部 新事業推進課  
 課長



ずいそう

## 複合体の隠し味

山 川 勉



### 1. はじめに

「隠し味」といえば、すぐに料理の隠し味、例えば、「味の素」などの調味料を思い浮かべる方が多いと思います。私は、今回、無機物・有機物の複合体であるコンクリートの隠し味について話題提供させていただきます。コンクリート中の有機物、増粘剤に関しては、コンクリート、 $1\text{m}^3$ を、 $2,350\text{kg}$ とすると増粘剤は $60\text{g}/\text{m}^3$ であり、 $0.0026\text{w}/\text{w}\%$ 、この添加量は十分に隠し味でしょう。

私の略歴は、

#### 略歴

- ・22歳～33歳；豊順鉱業(株) [現(株)ホージュン]  
ベントナイトに関する研究開発
- ・33歳～65歳；信越化学工業(株) モルタル・コンクリート用混和剤に関する研究開発
- ・65歳～現在；鉄建建設(株) 英文資料の和訳及びコンクリート施工などに関する研究開発

です。

「コンクリート」と書きましたが、33歳まで、セメント、モルタル、コンクリートなどとは関係のない世界で過ごしていました。

### 2. コンクリートとの出会い

豊順鉱業ではベントナイト（無機物）と界面活性剤の一つである4級アンモニウム塩（有機物）との複合体である「有機ベントナイト」（塗料の増粘剤などに使用）及びベントナイト（無機物）と高密度ポリエチレン（有機物）との複合体である遮水（防水）シートの開発に従事しました。

信越化学工業で初めてセメントに出会い、モルタル用とコンクリート用の混和剤の研究開発に従事しました。この時、既に33歳。コンクリートの分野では遅れてきた青年とでもいうのでしょうか。

鉄建建設ではコンクリートを研究対象ではなく、初めてこれを使用・施工側から見る立場になりました。

いうまでもなく、コンクリートは無機物（水、セメント、細骨材、粗骨材）と有機物（減水剤などの混和

剤）との複合体です。私は一貫して無機物と有機物の複合体を研究開発してきましたが、やっと、最終製品であるコンクリートを施工（使用）する側であるゼネコンでの立場に立ったこととなります。

### 3. 私がかかわった2つの特殊コンクリート

#### (1) 水中不分離性コンクリート

水中不分離性コンクリートが実用化されたのは1986年頃です。それまでは、単位セメント量の多い「水中コンクリート」が使用されていましたが、水中（海中）に打設する際、分離するという問題がありました。水中打設でも分離せず、流動性（自己充填性）に優れたコンクリートは当時、「夢のコンクリート」でした。明石海峡大橋の橋脚などに使用されています。

隠し味であるセルロースエーテル系増粘剤の添加量は、 $2.5\text{kg}/\text{m}^3$ で、 $0.11\text{w}/\text{w}\%$ と、これは立派に隠し味たる添加量かと思えます。

#### (2) 高流動コンクリート

コンクリートは通常、施工の際、バイブレータ（振動締め機）を用います。この作業が必要なため、コンクリート打設は効率化が図れず、骨材分離せずに水のように流れるコンクリート、自己充填コンクリートは夢のコンクリートの一つでした。1986年に岡村氏によりプロトタイプが提唱されましたが、コスト面などで課題があり、普及には至りませんでした。

セルロースエーテル系増粘剤の使用により、夢を実現でき、その添加量は、 $60\sim 400\text{g}/\text{m}^3$ 、 $0.0026\sim 0.017\text{w}/\text{w}\%$ と、これも隠し味たる添加量でしょう。

### 4. 開発における評価方法

開発の世界では、「評価方法」が得られたらその開発の70%は出来上がったと言われることがあります。目標とする特性とそのレベルが、逐次、把握できるということでしょうか。フレッシュコンクリートの流動性は、古典的ですが、レオロジー（物質の変形と流動、スランプフローと塑性粘度・降伏値）を駆使して、表

現(評価)されてきました。しかし、これらを指標としている間は、私の開発はほとんど進みませんでした。

ところで、料理の世界には、「うまい」、「うま味」という言葉があります。日本人による過去の偉大な発見の一つに、うまみ成分であるイノシン酸とグルタミン酸があります。イノシン酸ナトリウムは、1913年に鯉節から小玉新太郎が、グルタミン酸ナトリウムは、1917年に昆布だしから池田菊苗が発見しました。

味には、「五味」つまり、「甘味」、「酸味」、「塩味」、「苦味」、「うま味」があり、うま味は“UMAMI”として、海外でも通用しています。

「夢のコンクリート」実現のための混和剤の開発にはまず、コンクリートの特性を、上述の五味のように分解することが必要だと考えました。

この考えに至るまでに、約5年かかりましたが。

ここで、化学の面白さの一つ。グルタミン酸には、化学記号は同じで異なる物質が存在します。L-グルタミン酸は、いわゆる味の素であり、うま味が感じられます。一方、これの光学異性体であるR-グルタミン酸にはうま味はなく、むしろ、苦い味がします。しかし、“L-”、“R-”、両者の物理的特性、化学的特性は同じです。

甘味の世界に目を向けると、砂糖(主成分はショ糖(Sucrose))は、原材料の違いによって、「テンサイ糖」、「キビ糖」、「果糖」、「グラニュー糖」、そして和菓子に用いられる「和三盆」などに分けられ、用途によって使い分けられています。このように、甘味一つをとっても、いろいろな感覚が研ぎ澄まされ、対象によって使い分けられています。

この考え方をコンクリートの評価に活かさない手はありません。フレッシュコンクリートは「非ニュートン流体」の一種で、「どろどろ」、「ねばねば」、「ぶるぶる」、「さらっと」等々といった言葉でその動きが表現されています。

物理的特性を用いて分解・整理すれば、塑性粘度の大小、降伏値の大小で一応区別できますが、これをさらに拡張して材料分離抵抗性まで考慮すれば、粘着力という概念も必要であることが分かりました。この粘着力をどのように測定し評価すればよいのか。コンクリートの教科書には勿論、書かれていませんし、過去の論文にもありません。どこに、どの分野に回答を求めればよいのか、途方にくれました。

では、どうすればよいのか。肝心なことは、案外、身近なところにあるものです。ヒントは他の分野での粘着力の測定です。そうです、料理、食品の世界でした。コンクリートとは全く別の世界に多くの宝石が転

がっていました。すぐに食品関連の展示会に足を運びました。食品では、粘着力のある、「水飴」、「あんこ」、「蜂蜜」から粘っこいが粘着力のない「チューインガム」までを測定できる機器が既に開発されていました。この測定機器は高アルカリ(pH12以上)であるコンクリートの測定には適しませんでした、ここで使えないと諦めるのではなく、工夫すればよいのです。測定機器の接触部分をステンレス製部品に代えました。

さらに、コンクリートには潤滑性という特性の評価も必要です。これに関しては、土質分野で従来から使用されている「一面せん断試験機」が適用できました。この機器は、地すべりなどの評価に使用されている測定器で、比較的大型の装置でした。これはモルタルなどに直接は使用できませんので、小型化し、感度を上げました。これにより、鉄筋で挟まれた部分をコンクリートが通過する際の「変形性」(流動性)と「潤滑性」が測定可能になったこととなります。

冒頭に紹介した五味の世界では、既にpHメーターのような形の味覚測定器が開発され、実用化されています。コンクリート分野でも、このような簡単な機器でコンクリートの多くの特性、つまり、流動性・空気量・水セメント比・潤滑性・粘着性・レオロジーなどが測定できる時代が来ることを期待しています。

## 5. 開発者に必要な特性

私には少し重い小題ですが、思いつくままに。

技術開発には何が必要かと問われる場合があります。その際には、「好奇心」と「継続力」(粘り強さ)と答えています。

社会人として必要とされる「協調性」は、研究開発ではやや要求度が低くなると思っています。但し、「謙虚さ」、「リーダーシップ」は必要な要素だと思います。「独創性」もよく挙げられますが、これは好奇心と粘り強さでカバーできると考えています。

また、「感性を研ぎ澄ます」ことも重要です。

コンクリートを研究テーマとして間もない頃、あるゼネコンの研究者の方から、「山川さん、あなたはコンクリートに詳しくなるのではなく、化学者の立場からアドバイスして欲しい」と言われました。恐らく、その時の私のコンクリートの知識があまりにも幼稚だったのでしょう。その後、いろいろと考える機会があり、なるほど、ゼネコンにはコンクリートに関するプロの研究者は多く、彼らが考えない立場からの意見が欲しいということだったのだと気づき、肩の荷が下ると共に、コンクリートに対する見方が大きく変わ

りました。

思えば継続して「無機物と有機物との複合体」を研究し、先輩・同僚・部下にも恵まれ、何よりも「製品開発」から「これを用いて構造物を造り上げる」という、「化学メーカー」から「ゼネコン」まで勤めるという貴重な機会を与えられたことに感謝します。

## 6. リフレーミング

「前から見ていたものを後ろから見る」、「表面だけを見ていたものを内部からも見る」等々、見方を変えることの重要性を指摘されることが多くあります。

これは、今までの常識に捉われず、新たな観点（視点）から考えることが重要ということなのでしょう。

高流動コンクリート用の混和剤（増粘剤）を開発する際も同様でした。後述の「第一世代」とは異なり、「低添加量（低コスト）で、材料分離抵抗性に優れること」、「材料分離抵抗性に優れ、かつ流動性にも優れること（相反する特性の両立）」はクリアできましたが、相変わらず、セルロースエーテル系混和剤には「粉末添加」しかできないという欠点がありました。時流は、添加の容易な液体系、つまり、減水剤と一体化した「一液型減水剤」です。セルロースエーテルは優れた増粘剤であり、高アルカリ、かつ高濃度の  $Ca^{2+}$  の中でも増粘し、コンクリート中で使用可能な数少ない増粘剤ですが、塩分の多い液体中では、「塩析」（溶けない）が起こるという欠点がありました。セルロースエーテルの化学構造や分子量などを検討しましたが、塩析により減水剤中ではすぐに沈降し、一液型減水剤としては使用できないものでした。

ここで私が考えたことは、「溶かす」ことではなく、「溶けない状態で安定化させればよい」ということでした。巷ではこれを「逆転の発想」というのですが、当初は全く自信がありませんでした。溶けない状態のセルロースエーテルをより小さな粒子とし、減水剤の粘度を上げれば安定化すると考えました。そして、この安定化を短時間で評価できる装置も見つかりました（評価方法の確立）。その後も簡単ではありませんでしたが、「発想の転換」と「適切な評価方法」により、「セルロースエーテルを含む一液型減水剤」を世に出すことができました。

私が信越化学工業時代に関わった、夢のコンクリートである「水中不分離性コンクリート」と「高流動コンクリート」の配合をまとめると表—1のようになります。

表—1

コンクリートの種別	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )		増粘剤 (g/m <sup>3</sup> )	特 性		
	水	セメント		流動性	分離抵抗性	締固め
普通コンクリート	174	323	—	×	△	要
水中不分離性コンクリート	220	440	2,500	○	◎	不要
第一世代高流動コンクリート	185	370	400	◎	○	不要
第二世代高流動コンクリート	175	318	60	◎	○	不要

## 7. 【閑話休題】好きな言葉

最後に、私の好きな言葉を挙げさせていただきます。

- ・努力は必ず報われる、但し、報われるまで努力する必要がある
- ・「加油」（中国語）。日本語では「頑張れ」と同義語です。  
日本語が具体的でなく、「こんなに頑張っているのに、まだ、頑張るの」という言葉が聞かれる中、加油（油を加える）は具体的で分かりやすい。
- ・生きていくのに必要なものは、「希望」、「勇気」そして、「いくらのお金（some money）」。  
チャップリンの映画、ライムライトから。
- ・「謝辞」のない論文は好ましくない。

## 8. おわりに

22歳から現在67歳まで、縁あって3つの会社にお世話になり、コンクリートには遅れてきた青年であった私が、論文投稿と特許を出願するまでになりました。これは3社の方々及び大学、学会などの関係者のサポートによるものと考えています。

改めてこの場をお借りして皆様に感謝いたします。

今回、「複合体の隠し味」と題して二つの特殊コンクリートを挙げ、その開発について書かせていただきました。そして、今も二つの夢のコンクリートが実現しつつあります。一つは、「ジオポリマー（Geopolymer）」であり、もう一つは、「3Dコンクリート」です。間もなく、これらも夢ではなくなるでしょう。そのような希望を抱きながら、この文章を終わらせていただきます。

ずいそう

## 剣道との再会

浅野 公隆



2020年、長男が小学校に入学したのをきっかけに近所の剣道教室に通わせ始めた。七段の先生から「君も高校までやっていたのなら、また始めてみてはどうか。仕事にもよい影響が出ると思うよ」とお誘い頂き、また子供の稽古を見ているうちに自分自身がもう一度やってみたくなったので、26年ぶりに再開した。

ブランクを挟んで剣道を再開する人を“リバ剣（リバイバル剣士の略）”というらしい。改めて防具を揃えて再開して「対人競技はこんなにも面白いものだったのか！」というのが率直な感想である。再開当初は高校時代までのイメージのまま闇雲に打っていたが、道場の高段者の先生方と稽古させて頂く中で、構えから氣勢を充実させて攻め、機会を捉えて打ち切ることを意識するようになり、次の稽古ではここに気を付けようとか、何を意識しようとか、考えを巡らせている。とはいえ、コロナ対策でマスクの上に面を被るのは苦しいし、稽古の度に反省の連続で本当に未熟だと痛感してばかりだが、それでも本当に面白い。

ここでは、再開して改めて感じたことや、仕事との共通点を4点ほど挙げてみたい。

### ①実力を向上させるための教材が豊富

再開当初に痛感したのは、自分が子供の頃に比べて技術向上に資する教材が多いことである。昔の指南書は書店に置いてある種類も少なかったが、現在は動画DVD付の書籍が数多くあり、またYouTubeに様々な先生の講義動画や過去の試合の映像が豊富にあるため、技術的なヒントを得やすく子供達に指導するときも役立っている。

これは剣道に限ったことではなく、どのスポーツにも当てはまるのではないかな。

### ②格言の教え

剣道には「一眼二足三胆四力（いちがんにそくさんたんしりょく）」「四戒（驚（きょう）・懼（きょう）・疑（ぎ）・惑（わく））」という言葉がある。

一眼二足三胆四力は剣道における重要な要素の順序であり、最も重要なのは眼（相手の思考や動作を見る）、次に足さばき、三番目に胆力・決断力、最後に技術を

表す。私も高段者の先生から“居つき”（相手と対峙した際に心が捉われてしまって動けない状況）に関して、「よく相手を見なさい」と御指導頂いた。経営でも外部環境や社内をよく見て事実をしっかり把握することが重要だと思う。また四番目の力（=技）よりも眼足胆が重要とされてるのも、自社の技術や営業力（力）以前に、周りをよく見て（眼）、会社の基礎をしっかり造り（足）、正しい考え方・やり抜く心（胆）が重要と考える。

四戒は驚・懼・疑・惑の四つの邪念であり、心中にこれらの感情を起こしてはならないという戒めである。驚（きょう）は予期せぬことに驚くこと、懼（きょう）は恐怖の念、疑（ぎ）は相手の考えに疑いをもってしまうこと、惑（わく）は惑うことであり、これらの感情が心中にあると、相手の隙を見ることができず自ら萎縮して隙が出て打たれてしまうことを指す。稽古でも打たれる時は四戒のいずれかの感情に自分が支配されていたと痛感することが多い。日々の仕事においても、素直な考えから逸脱して四戒にとらわれてしまうと、うまくいかないことが多い。

### ③日々の積み重ねと工夫することの大切さ

私は小学校2年から高校3年まで剣道に励んでいた。稽古もサボらず一生懸命やった。しかしながら今振り返ると、真剣に取り組んでいたつもりでも「どうやったら相手から1本とれるか」「そのために毎日の稽古で何を考えて練習するか」について、深く考えたり意識して改善していなかったと思う。今は足りないところを考えて稽古に臨み、少しでも上達するように励んでいるが、仕事で言えばまさにPDCAであろう。仮説を立てて行動を計画し実践して反省するというサイクルを愚直に回せるかが、スポーツでも仕事でも同じだと考える。例えば大谷翔平選手などのように結果を出せる人は、考えて工夫しているのだと推察する。

### ④先生方から学ぶこと

剣道は生涯スポーツであり、年齢に関係なく高段者の先生にコテンパンに打ち負かされてしまう。高校生のは年配のOBが稽古に来るときつい稽古になった

ので辛い思い出しかないが、再開後は特に高齢の高段者に積極的に稽古をお願いするようになった。こちらが打つ瞬間（“でばな”という）にその先（せん）を取られたり、応じられてしまうことも多く、こちらの考えを見透かされていたり、或いは打たざるを得ないように追い込まれたり誘われたり、不思議なほど心の動きを読まれ、速さや体力を無力化されて隙を打たれてしまう。また、先生方が子供達に伝える言葉も、勉強させて頂いている。先日は「昇級審査の立ち合い（試合形式の稽古）は短い時間（数十秒）で級を判断されるが、日頃の稽古を積み重ねないと、審査で実力を発揮することは難しい。毎日の稽古を大切にするように」との教えを頂いた。強い先生方は稽古は厳しいが、謙虚で朗らかであり、私も少しでも近づきたいと思う。

また、子供達から見れば私も指導者である。私などが教えるのもおこがましいが、基本をしっかりと身につけてもらうために、稽古法や伝え方を工夫していきたい。

2020年はコロナ禍により剣道教室も稽古が中止と

なったり、地域の錬成教室や試合も行われず、小学6年生の子供達は日頃の成果を発揮する機会が乏しいまま卒業してしまい、非常に残念だった。

2021年は年始のコロナが落ち着いていた時期に幸運にも昇段試験を受験・合格することができた。その後は緊急事態宣言で稽古自粛の状況だったが、年末にかけて徐々に緩和している状況である。指導者としては駆け出しであり、自身も高段者への道はとても遠いが、痺れるように床が冷たい道場で、自らを鼓舞してやっていきたい。

最後に、今回の執筆の機会はJCMA 東北支部の岩本様より頂戴した。岩本様には支部の情報紙編集作業など、私が部会長を仰せつかっている広報部会の活動にて本当にお世話になった。この秋で支部の参与職を引退なされたが、この場をお借りして心より御礼申し上げます。ありがとうございました。

—あさの きみたか 三洋テクニクス(株) 代表取締役社長、  
日本建設機械施工協会東北支部 広報部会長—



## 令和3年度主要建設資材需要見通し

国土交通省 不動産・建設経済局 建設市場整備課

### 1. はじめに

国土交通省では、建設事業に使用される主要な建設資材の年間需要量の見通しを公表することにより、建設資材の安定的な確保を図り、円滑に建設事業を推進することを目的として、昭和51年度より「主要建設資材需要見通し」を毎年公表している。

本稿では、令和3年11月9日に公表した「令和3年度主要建設資材需要見通し」の概要を報告する。

### 2. 対象建設資材

令和3年度主要建設資材需要見通しでは、「①セメント」、「②生コンクリート」、「③骨材、砕石」、「④木材」、「⑤普通鋼鋼材、形鋼、小形棒鋼」および「⑥アスファルト」の6資材9品目を対象とする。

### 3. 需要見通し推計方法

令和3年度の主要建設資材の需要見通しは、「令和3年度建設投資見通し（国土交通省 総合政策局 情報政策課 建設経済統計調査室 令和3年10月19日公表）」の建築（住宅、非住宅）、土木（政府、民間）等の項目ごとの建設投資見通し額（建築補修（改装・改修）投資除く）に、建設資材ごとの原単位（工事費100万円当たりの建設資材需要量）を乗じ、さらに各建設資材の需要実績等を考慮して、令和3年度の主要な建設資材の国内需要の推計を行った。

### 4. 令和3年度主要建設資材需要見通し

#### (1) 令和2年度および令和3年度の概況

令和2年度の主要建設資材の需要実績は、同年度の建設投資見込み（名目値）（建築補修（改装・改修）投資を除く）が前年度比2.5%の減少で、うち建築部門は6.8%の減少、土木部門は5.1%の増加となり、令和元年度の実績値と比べてアスファルト以外の資材が減少となった。

令和3年度の主要建設資材の需要見通しは、同年度の建設投資見通し（名目値）（建築補修（改装・改修）投資を除く）が前年度比2.9%の増加で、うち建築部門は2.2%の増加、土木部門は4.0%の増加と見通されており、アスファルト以外の資材において昨年度実績値と比べて増加と見通される。（※骨材、砕石は前年度との比較ができないため対象外）

令和3年度主要建設資材需要見通しは、図-1および表-1のとおりである。

#### (2) 主要建設資材の需要見通し

##### ①セメント、②生コンクリート

令和2年度における需要実績は、セメントが前年度比5.6%減少の3,867万t、生コンクリートが前年度比4.6%減少の7,818万m<sup>3</sup>であった。令和3年度については、セメントが前年度比0.9%増加の3,900万t、生コンクリートが前年度比1.0%増加の7,900万m<sup>3</sup>と見通される。

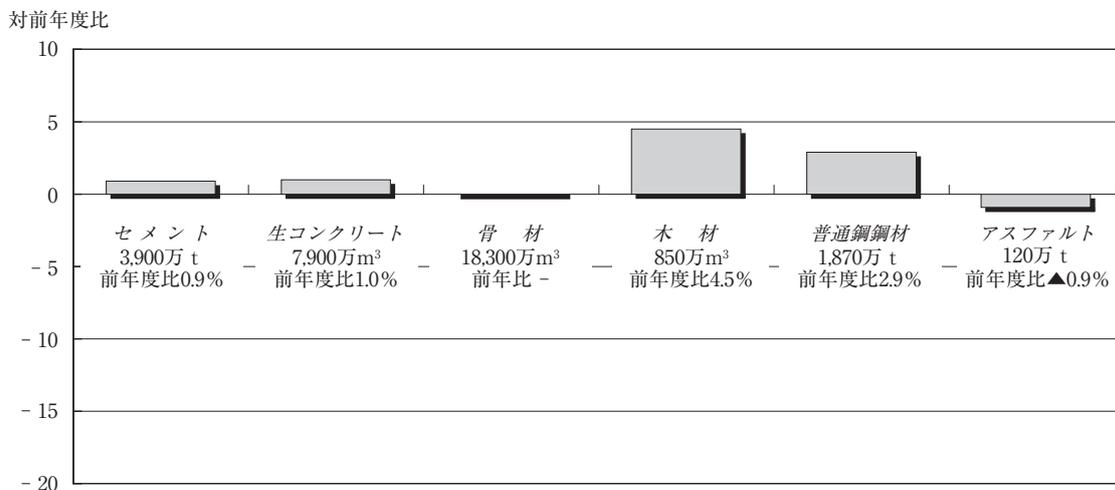


図-1 令和3年度 主要建設資材需要見通し

(注) 1. 棒グラフは、令和2年度の実績値（骨材は推計値）と令和3年度見通し値との対比である。  
2. 骨材は「砕石等動態統計調査」が終了したため、令和3年度より経済産業省「採石業者の業務の状況に関する報告書の集計結果」と（一社）日本砕石協会の「砕石動態調査」から推計している。

表一 主要建設資材の需要量実績値および推計値

資材名称	単位	需 要 量			伸 び 率		
		令和元年度 実績値	令和2年度 実績値	令和3年度 見通し	R2/R1	R3/R2	
セメント	万 t	4,097	3,867	3,900	-5.6%	0.9%	
生コンクリート	万 m <sup>3</sup>	8,196	7,818	7,900	-4.6%	1.0%	
骨 材	万 m <sup>3</sup>	22,297	17,800	18,300	-	-	
	砕 石	万 m <sup>3</sup>	11,402	9,000	9,300	-	-
木 材	万 m <sup>3</sup>	903	813	850	-9.9%	4.5%	
普通鋼鋼材	万 t	1,865	1,817	1,870	-2.6%	2.9%	
	形 鋼	万 t	424	406	420	-4.3%	3.6%
	小形棒鋼	万 t	683	651	670	-4.6%	2.9%
アスファルト	万 t	100	121	120	21.5%	-0.9%	

- (注) 1. 本見通しは、「令和3年度建設投資見通し(国土交通省総合政策局 情報政策課 建設経済統計調査室令和3年10月19日公表)」をもとに推計したものである。
2. 各資材の対象は、セメントは〔内需量〕、生コンクリート、砕石は〔出荷量〕、木材は〔製材品出荷量〕、骨材は〔供給量〕、普通鋼鋼材、形鋼は〔建設向け受注量〕、小形棒鋼は〔建設向け出荷量〕、アスファルトは〔建設向け等内需量〕。
3. 本見通しの有効数字は、セメントは〔100万t〕、生コンクリート、骨材および砕石は〔100万m<sup>3</sup>〕、木材は〔25万m<sup>3</sup>〕、普通鋼鋼材、形鋼および小形棒鋼は〔10万t〕、アスファルトは〔5万t〕。
4. 令和元年度以降の需要量における実績値のうち、骨材、砕石、小形棒鋼は推計値を使用しているため、見込み値(イタリック体)。その他の資材については実績値。

### ③骨材、砕石

令和3年度については、骨材が18,300万m<sup>3</sup>、砕石が9,300万m<sup>3</sup>と見通される。

※令和元年度をもって「砕石等動態統計調査」が中止されたため、令和2年度の見通しから「採石業者の業務の状況に関する報告書の集計結果」と「砕石動態調査」を利用して推計を行っている。そのため、本年度の数値のみを記載している。

### ④木材

令和2年度における需要量実績は、前年度比9.9%減少の813万m<sup>3</sup>であった。令和3年度については、前年度比4.5%増加の850万m<sup>3</sup>と見通される。

### ⑤普通鋼鋼材、形鋼、小形棒鋼

令和2年度における需要量実績は、普通鋼鋼材が前年度比2.6%減少の1,817万t、うち形鋼が前年度比4.3%減少の406万t、小形棒鋼は前年度比4.6%減少の651万tとなると推計される。令和3年度については、普通鋼鋼材が前年度比2.9%増加の1,870万t、うち形鋼が3.6%増加の420万t、小形棒鋼が2.9%増加の670万tと見通される。

### ⑥アスファルト

令和2年度における需要量実績は、前年度比21.5%増加の121万tであった。令和3年度については、前年度比0.9%減少の120万tと見通される。

## 5. 主要建設資材需要量の推移

主要建設資材の国内需要量推移を表一2および図一2に示す。各主要建設資材の需要量実績、需要見通しの対象は、次の(1)～(8)のとおりである。

### (1) セメント

国内メーカーの国内販売量に海外メーカーからの輸入量を加えた販売等の量を対象としている。

「内需量」=「国内販売量」+「輸入量」。

なお、表一2および図一2の令和元年度までは実績値で、(一社)セメント協会の「セメント需給実績」の値を用いている。

### (2) 生コンクリート

全国生コンクリート工業組合連合会組合員工場の出荷量とその他の工場の推定出荷量とを加えた出荷量を対象としている。

「出荷量」=「組合員工場出荷量」+「その他工場推定出荷量」。

なお、表一2および図一2の令和2年度までは実績値で、全国生コンクリート工業組合連合会・協同組合連合会の「出荷実績の推移」の値を用いている。

### (3) 骨材

国内における供給量を対象としている。

なお、表一2および図一2の令和元年度までは実績値で、経済産業省の「骨材需給表」をもとに算出した値である。

令和2年度以降は推計値で、経済産業省の「砕石等統計年報」、「採石業者の業務の状況に関する報告書の集計結果」、日本砕石協会の「砕石動態調査」をもとに算出した値である。

### (4) 砕石

メーカーの国内向け出荷量を対象としている。

なお、表一2および図一2の令和元年度までは実績値、令和2年度以降は推計値で経済産業省の「砕石等統計年報」、「採石業者の業務の状況に関する報告書の集計結果」、日本砕石協会の「砕石動態調査」をもとに算出した値である。

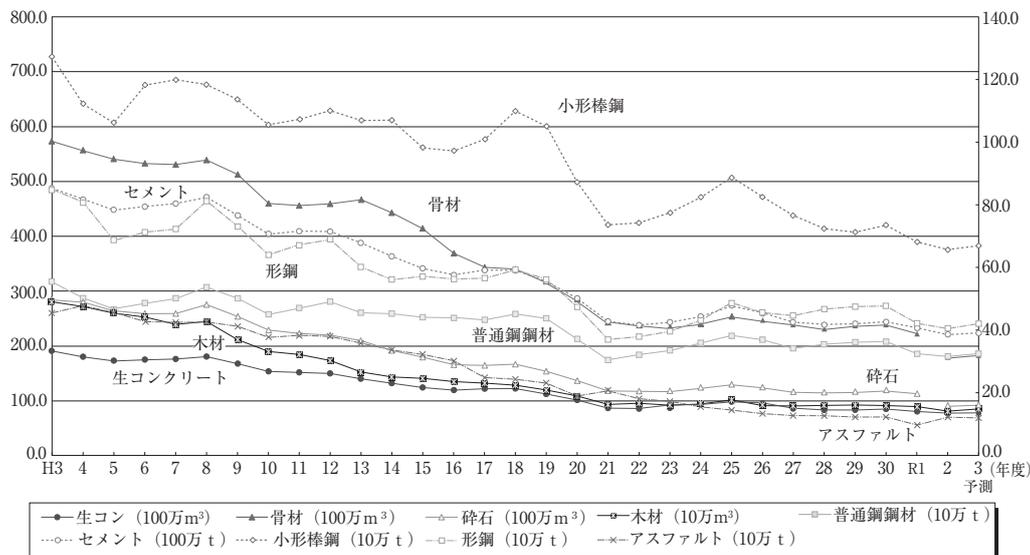
統計

表一 主要建設資材の国内需要実績の推移  
国土交通省 不動産・建設経済局 建設市場整備課  
令和3年11月10日現在

Table with columns for Cement, Precast concrete, Concrete, Stone, Wood, General steel, Reinforcing steel, and Asphalts. Rows show data from Heisei 7 to Heisei 30, including volume and percentage change.

(注) 1. 各資材の需要量は四捨五入して算出しているため、各月の合計と年度計とは一致しない。  
2. 前年度比の▲はマイナス。  
3. 骨材は、平成29年度以降は推計値(イタリック体)で、砕石は令和元年度以降は推計値(イタリック体)となっている。また、令和2年度以降の推計は経済産業省「採石業者の業務の状況に関する報告書の集計結果」と(一社)日本砕石協会「砕石動態調査」をもとに算出している。  
4. 木材のH23年度実績値には、東日本大震災の影響により、平成23年4月～6月の岩手県、宮城県および福島県分の出荷量が含まれていない。  
5. 小形棒鋼は、平成30年度以降は推計値(イタリック体)で、(一社)日本鉄鋼連盟の資料の値(国内向け受注数量から国内建設向け受注量を推計したもの)。

2021年11月10日現在



- (注) グラフの見方・実線(生コンクリート, 骨材, 砕石, 木材, 普通鋼鋼材)については左軸, 点線(セメント, 小形棒鋼, 形鋼, アスファルト)については右軸を参照。
- 骨材は, 平成29年度以降は推計値, 砕石は令和元年度以降は推計値で, 経済産業省「砕石等統計年報」「砕石等統計四半期報」「骨材需給表」をもとに算出。  
令和2年度以降は経済産業省「採石業者の業務の状況に関する報告書の集計結果」と(一社)日本砕石協会の「砕石動態調査」をもとに算出しているためグラフは分割している。
  - 木材のH22・H23年度実績値には, 東日本大震災の影響により, 平成23年2月～6月の岩手県, 宮城県および福島県分の出荷量が含まれていない。
  - 小形棒鋼は, 平成30年度以降は推計値で, (一社)日本鉄鋼連盟の資料の値(国内向け受注総量から国内建設向け受注量を推計したもの)。
  - 令和3年度の需要量は, 見通しの値。
- (資料出所)
- セメント…(一社)セメント協会(セメント需給実績)
  - 生コンクリート…全国生コンクリート工業組合・協同組合連合会(出荷実績の推移)
  - 骨材…経済産業省(骨材需給表)
  - 砕石…経済産業省(砕石統計年報, 採石業者の業務の状況に関する報告書の集計結果)(一社)日本砕石協会(砕石動態調査)
  - 木材…農林水産省(製材統計)
  - 普通鋼鋼材…(一社)日本鉄鋼連盟 資料
  - 形鋼…(一社)日本鉄鋼連盟 資料
  - 小形棒鋼…経済産業省「鉄鋼需給動態統計調査」
  - アスファルト…石油連盟(石油アスファルト統計月報)

図-2 主要建設資材需要量の年度推移

(5) 木材

国内メーカーの製材品出荷量を対象としており, 建設向け以外の量を含んでいる。また, 製材用素材として外材を含んでいる。

なお, 表-2および図-2の令和2年度までは実績値で, 農林水産省「製材統計」の値を用いている。

(6) 普通鋼鋼材および形鋼

国内メーカーの国内建設向け受注量を対象としている。

なお, 表-2および図-2の令和2年度までは実績値で, (一社)日本鉄鋼連盟の資料の値(国内向け受注総量から国内建設向け受注量を推計したもの)を用いている。

(7) 小形棒鋼

国内メーカーおよび国内販売業者からの国内建設向け出荷量を対象としている。ただし, 海外メーカーからの輸入量は含まれていない。

なお, 表-2および図-2の平成29年度までは実績値で, 経済

産業省「鉄鋼需給動態統計」の値を用いて算出している。平成30年度以降は経済産業省の「鉄鋼需給動態統計調査」を用いた推計値。

(8) アスファルト

国内メーカーの建設向けストレートアスファルト内需量のうち, 燃焼用および工業用を除いた国内建設向け等内需量を対象としている。

「建設向け等内需量」=

「国内建設向け内需量」+「建設向け輸入量」。

なお, 表-2および図-2の令和2年度までは実績値で, 石油連盟の「石油アスファルト統計月報」の値を用いている。

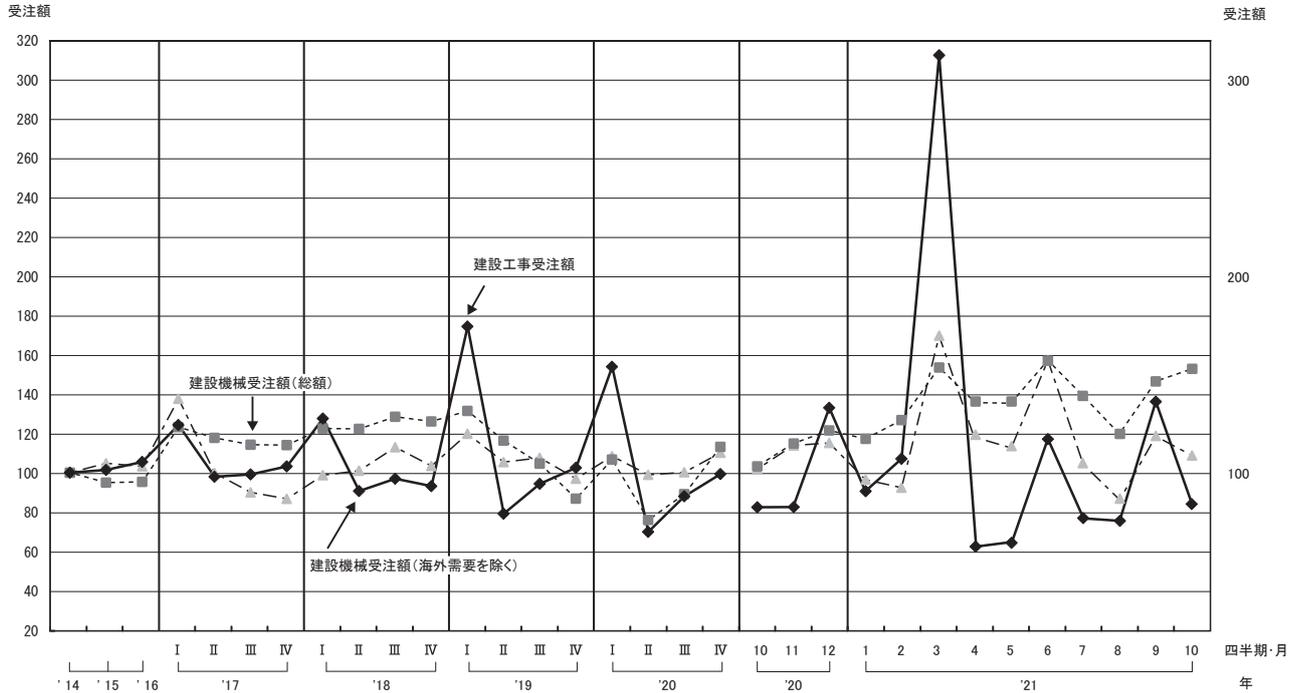
6. おわりに

「主要建設資材需要見通し」は, 国土交通省のホームページ(統計情報のページ)で公表しているので参照されたい。

([https://www.mlit.go.jp/statistics/details/kgyo\\_list.html](https://www.mlit.go.jp/statistics/details/kgyo_list.html))

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 2014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 2014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							
2014年	139,286	80,477	16,175	64,302	43,103	4,822	10,887	86,537	52,748	138,286	125,978
2015年	141,240	96,068	19,836	76,235	35,633	4,993	4,546	95,959	45,281	141,461	141,136
2016年	146,991	99,541	17,618	81,923	38,894	5,247	3,309	98,626	48,366	151,269	134,037
2017年	147,828	101,211	20,519	80,690	36,650	5,183	4,787	99,312	48,514	165,446	137,220
2018年	142,169	100,716	24,513	76,207	30,632	8,561	5,799	95,252	46,914	166,043	141,691
2019年	156,917	114,317	24,063	90,253	29,957	5,319	7,308	109,091	47,829	171,724	150,510
2020年	143,170	97,457	19,848	77,610	35,447	5,225	4,175	91,725	51,443	171,740	14,287
2020年 11月	9,564	6,486	1,782	4,704	1,895	418	764	6,111	3,452	170,235	10,572
12月	15,466	10,468	2,390	8,078	4,191	526	281	10,863	4,603	171,740	14,287
2021年 1月	10,502	6,174	1,004	5,171	3,886	337	105	5,667	4,835	173,721	8,776
2月	12,435	8,190	1,257	6,932	3,293	431	521	7,719	4,716	174,626	10,895
3月	36,395	26,029	3,932	22,097	8,640	499	1,226	24,517	11,879	191,713	18,787
4月	7,252	4,965	1,141	3,824	1,711	396	181	4,239	3,014	188,230	8,931
5月	7,470	4,666	940	3,726	2,440	332	33	4,576	2,894	186,346	8,999
6月	13,631	9,020	1,807	7,213	3,611	500	501	9,074	4,557	187,713	12,869
7月	8,925	6,244	2,042	4,202	2,324	305	51	6,069	2,855	188,502	8,489
8月	8,766	6,304	2,156	4,149	2,059	370	32	6,285	2,481	187,177	10,180
9月	15,826	12,449	1,698	10,750	2,780	419	179	11,984	3,842	188,820	14,729
10月	9,753	7,135	2,003	5,132	2,202	360	57	6,806	2,947	190,874	8,975
11月	10,676	7,495	2,213	5,282	2,269	351	561	6,782	3,894	-	-

建設機械受注実績

(単位：億円)

年 月	14年	15年	16年	17年	18年	19年	20年	20年 11月	12月	21年 1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
総 額	18,346	17,416	17,478	21,535	22,923	20,151	17,646	1,756	1,859	1,793	1,940	2,351	2,089	2,080	2,405	2,132	1,833	2,245	2,341	2,229
海 外 需 要	11,949	10,712	10,875	14,912	16,267	13,277	10,966	1,149	1,245	1,279	1,448	1,444	1,450	1,477	1,562	1,574	1,371	1,611	1,762	1,609
海外需要を除く	6,397	6,704	6,603	6,623	6,656	6,874	6,680	607	614	514	492	907	639	603	843	558	462	634	579	620

(注) 2014～2016年は年平均で、2016～2019年は四半期ごとの平均値で図示した。  
 2020年11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

(2021年12月1日～31日)

## 機械部会



### ■ショベル技術委員会

月日：12月3日(金) (Web会議で開催)

出席者：西田利明委員長ほか13名

議題：①エネルギー消費試験方法\_油圧ショベル編のISO化について：標準部会からの検討依頼に対する討議

②革新的建設機械に関する情報提供依頼の件 ③ショベルの最新情報の共有：ヤンマー建機(株) ICT 建機「ViO30-6 ブレード3D マシンコントロール仕様」の紹介

### ■基礎工事用機械技術委員会

月日：12月8日(水) (会議室での対面開催)

出席者：梶沢淳一委員長ほか19名

議題：①各社トビックス：三和機材(株) 低空頭杭打ち機械「ALEX 工法機」の紹介 ②今後のスケジュールについて ③カヤク・ジャパン(株)の技術プレゼン：会社、事業紹介、火薬類と発破掘削に関する技術説明

### ■油脂技術委員会

月日：12月17日(金) (会議室、Web 並行開催)

出席者：豊岡司委員長ほか26名

議題：①燃料エンジン油関係：バイオ燃料の動向について ②高粘度指数油関係：「高粘度指数作動油規格」の書面審議結果の報告と、質問、意見についての議論 ③規格普及促進関係：・マイクロクラッチ摩擦代替材の検討、・JCMAS オンファイル状況の報告 ④JCMASの改正について：作動油汚染度試験法追記(NAS+ISO/JIS)に関する件 ⑤その他：油脂技術委員会の運営体制と役割分担について

### ■トンネル機械技術委員会・幹事会

月日：12月20日(月) (会議室、Web 併行開催)

出席者：丸山修委員長ほか7名

議題：①令和3年度技術講演会について：最終確認 ②令和4年度委員会活動についての討議：調査活動について、見学会候補地について

## 標準部会



### ■ISO/TC 195/WG 9 自走式道路建設用機械-安全要求 国際バーチャル WG 会議

月日：12月1日(水)夜、2日(木)夜  
出席者：小倉公彦(JCMA 標準部)ほか11名

場所：Web上 (ISO Zoom)

議題：①ISO/DIS 20500-1 共通要求事項他 コメント審議(続き) ②次回の予定(2月8日(火)～10日(木)・3月8日(火)～10日(木))

### ■ISO/TC 127/WG 17 - RESS 国際バーチャル WG 会議

月日：12月1日(水)夜

出席者：海外から16名、日本から正田ISO/TC 127/SC 3 国際議長ほか4名

場所：Web上 (ISO Zoom)

議題：ISO/PWI 5757(再充填可能エネルギー貯蔵システム)規格化検討  
①業務の進捗状況 ②英国規格協会BSIからのプレゼン ③プロジェクトリーダーからの論点指摘 ④今後の予定など

### ■ISO/TC 214/WG 1 高所作業車 国際バーチャル WG 会議

月日：12月2日(木)夜

出席者：海外から19名、日本から事務局1名

場所：Web上 (ISO Zoom)

議題：ISO/WD 16368(高所作業車-設計、計算、安全要求事項及び試験方法)改正案文各専門家意見検討まとめの確認(今後意見聴取の上でCD投票へ)

### ■ISO/TC 127/SC 2/JWG 28 (衝突警報及び回避) 国際バーチャル WG 会議

月日：12月2日(木)夜・7日(火)夜・9日(木)夜

出席者：日本から岡ゆかりコンビナー(コマツ)ほか若干名、海外から十数名程度

場所：Web上 (ISO Zoom)

議題：ISO/CD 21815-3(土工機械-衝突警報及び回避-第3部：一般的リスク範囲及び程度)案文検討

### ■ISO/TC 127/SC 2/WG 12 全身振動 国際バーチャル WG 会議

月日：12月6日(月)深夜

出席者：海外から数名、日本から事務局1名

場所：Web上 (ISO Zoom)

議題：ISO/WDTR 25398(土工機械-搭乗式機械の全身振動暴露の事前評価指針-研究機関、団体及び製造業者の

国際整合測定データ)改正：①データ提出様式作成 ②データの収集及び分析に関して ③ISO/TR 25398 改正方針 ④その他(次回会合など)

### ■ISO/TC 127/SC 3/WG 15-ISO 6011 (表示機器) 改正 国際バーチャル WG 会議

月日：12月14日(火)夜～16日(木)夜(3日間)

出席者：海外から10名、日本から間宮委員長(コマツ)ほか5名

場所：Web上 (ISO Zoom)

議題：ISO/CD 6011(表示用機器)改正案 ①CD投票結果検討 ②各国意見対応 ③対応案に関するWG意見聴取

### ■ISO/TC 127/SC 3/JWG 11 土工機械及び不整地トラッカー 照明・信号・車幅等の灯火及び反射器 国際バーチャル WG 会議

月日：12月14日(火)深夜

出席者：海外から11名、日本から小塚大輔委員(コマツ)ほか6名

場所：Web上 (ISO Zoom)

議題：①ISO/DIS 12509 DIS投票結果確認 ②コメント審議 ③次回の予定(1月24日(月)・27日(木))

### ■ISO/TC 127/SC 3/WG 5 (施工現場情報交換) 国際バーチャル WG 会議

月日：12月15日(水)、17日(金)

出席者：日本から山本茂コンビナー(コマツ)ほか10名以上、海外から19名以上

場所：Web上 (Zoom)

議題：ISO/WDTS 15143-4(土工機械及び走行式道路建設機械-施工現場情報交換-施工現場地形データ)検討  
①前回会合結論の確認 ②(正田国際議長からの)概念実証手順の提案 ③概念実証及び検証への取組 ④案文への意見検討 ⑤その他未処理案件(・BSIとの連携 ・ISO/TC 211(地理情報)との連携の推進 ・附属書への意見検討 ・次回会合)

### ■ISO/TC 127/SC 3/WG 5 - ISO/WDTS 15143-4 (土工機械及び走行式道路工事機械-施工現場情報交換-第4部：施工現場地形データ) 作業結果特設チームバーチャル会議

月日：12月21日(火)

出席者：海外から5名程度、日本から正田国際議長(コマツ)ほか1名

場所：Web上 (Teams)

議題：①概念実証 ②意見集約手順 ③当面の日程

## 建設業部会



### ■クレーン安全情報 WG

月 日：12月6日(月)

出席者：中島康弘主査ほか8名

議 題：①ラフテレーンクレーンのジブ折損事故>モーメントリミッタの設定について ②『つり上げ荷重0.5t未満の取り扱いについて』JCMS スタンスについて ③災害事例報告 ④その他

### ■三役会+臨時建設業 ICT 安全 WG 合同開催

月 日：12月13日(月)

参加者：鈴木博士部会長ほか9名(内 Web 参加者1名)

議 題：【15:30-16:00 三役会】

①11/18 機電交流企画 WG 報告・10/8 機電技術者のための講演会 報告書の進捗状況、千代田幹線工事 Web 視察準備状況報告 ②12/6 クレーン安全情報 WG 報告、ラフテレーンクレーンのジブ折損事故>モーメントリミッタの設定について、『つり上げ荷重0.5t未満の取り扱いについて』JCMS スタンスについて、災害事例報告

【16:00-17:00 三役会+臨時 ICT 安全 WG】③ ICT 安全 WG の今後の活動方針について、三役の委員のそれぞれの考え、WG の位置づけ。“建設業部会内”における安全施工 WG (その他類似会議) との関わり方 (優先順位) 見直しの必要性、国交省協議会が動き始めた際の本 WG のスタンス

④その他、2021 年度下期(2022.01~03)の企画予定調整(企画部会、千代田幹線工事 Web 視察、広域レンタルの商品紹介企画)

### ■機電交流企画 WG

月 日：12月14日(火)

出席者：本多茂主査ほか9名(内 Web 参加者4名)

議 題：①機電技術者のための講演会報告(案)の原稿確認 ②千代田幹線工事 Web 見学会について、開催時期、必要資機材等…現場確認事項の報告と対応 ③その他

## レンタル業部会



### ■コンプライアンス分科会

月 日：12月7日(火)(Web 会議併用)

出席者：中村分科会長ほか14名

議 題：①分科会長挨拶 ②レンタル業

としてのトラック輸送業における運賃について ③各社からの報告事項・情報交換④その他連絡事項等

### ■レンタル業部会

月 日：12月9日(木)(Web 会議併用)

出席者：平部会長ほか17名

議 題：①部会長挨拶 ②コンプライアンス分科会活動状況報告 ③各社の取組事項、部会員共通の問題、課題について ④その他連絡事項等

## 各種委員会等



### ■機関誌編集委員会

月 日：12月1日(水)

出席者：中野正則委員長ほか23名

議 題：①令和4年3月号(第865号)計画の審議・検討 ②令和4年4月号(第866号)素案の審議・検討 ③令和4年5月号(第867号)編集方針の審議・検討 ④令和3年12月号~令和4年2月号(第862~864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：12月15日(水)

出席者：石坂仁分科会長ほか3名(内 Web 参加1名)

議 題：①新工法情報の持ち寄り検討 ②新工法紹介データまとめ ③その他

## 支部行事一覧

### 北海道支部



### ■北海道開発局機械防災エキスパート勉強会

月 日：12月3日(金)

場 所：札幌第1合同庁舎2階講堂

出席者：北海道開発局栗田五輪人建設情報・施工高度化推進官ほか18名

内 容：①基調講演「千島海溝沖地震を想定した地震対策について」②令和3年度における災害発生状況等 ③令和4年度の活動計画(案)について ④その他

### ■令和3年度第4回除雪機械技術講習会の打合せ

月 日：12月17日(金)

場 所：北海道建設会館 F 会議室

出席者：加藤信二技術部会施工技術検定委員会委員長ほか13名

議 題：①令和3年度実施結果 ②令和4年度実施計画 ③その他

## 東北支部



### ■企画部会(書面)

月 日：12月8日(水)

出席者：木村信悦企画部会長ほか5名

議 題：第2回支部運営委員会について  
①令和3年度上半期事業報告について  
②令和3年度上半期事業決算状況について ③情報提供

### ■情報化施工技術委員会

月 日：12月9日(木)

場 所：仙台市 フォレスト仙台

出席者：鈴木勇治 情報化施工技術委員会委員長ほか18名+Web 参加14名

議 題：①令和3年度活動報告 ②令和4年度活動方針

### ■石巻工業高等学校 特別授業

受講生：土木システム科2年生38名  
<座学>

月 日：12月13日(月)

場 所：石巻工業高等学校

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

<実習>

月 日：12月14日(火)

場 所：(株)佐藤工務店 三本木ヤード

内 容：① ICT 建機操作体験 ② TS・GNSS ローバー測量実習 ③ UAV 飛行見学

### ■第2回支部運営委員会

月 日：12月15日(水)

場 所：仙台市 ホテル仙台ガーデンパレス

出席者：高橋弘支部長ほか22名

議 題：①令和3年度上半期事業報告について ②令和3年度上半期事業決算状況について ③情報提供

### ■ゆきみらい2023 担当者打合せ

月 日：12月20日(月)

場 所：会津若松市

出席者：東北地方整備局 企画部 佐々木均技術企画官ほか22名

議 題：①会場について ②開催通知について ③タイトル・テーマ・パネリスト等について

### ■令和3年度 東北土木技術人材育成協議会 担当者打合せ(Web 会議)

月 日：12月21日(火)

出席者：東北地方整備局 東北技術事務所 郡山秀樹総括技術情報管理官ほか23名

議 題：①開催内容について(DX、BIM/CIM の検討) ②開催時期につ

いて（現行の開催回数等の是非）

③開催形式について（オンライン形式の検討）

#### ■令和3年度 i-Construction 施工講習説明者認定試験

月 日：12月22日（水）

<全科目受検>

場 所：仙台市 ハーネル仙台

受検者：27名

<ICT 舗装工のみ受検>

場 所：仙台市 支部会議室

受検者：6名

#### ■EE 東北'22 インフラ DX (ICT) 体験広場 出展者会議

月 日：12月23日（木）

場 所：仙台市 太陽生命仙台本町ビル 6階会議室

出席者：鈴木勇治 情報化施工技術委員会委員長ほか8名+Web 参加7名

議 題：①EE 東北'22の計画等について ②ブース割り当てについて ③課題等に対する改善策、要望について

## 北 陸 支 部

#### ■令和3年度 河川・ダム維持管理技術向上検討会議

月 日：12月1日（水）

場 所：北陸地方整備局河川情報管理室

出席者：堤事務局長

研修生：参加者約50名

#### ■令和3年度 第2回企画部会「ゆきみらい2022 in 白山（除雪機械・展示実演会）」

月 日：12月2日（木）

場 所：興和ビル10F 大会議室

出席者：堤事務局長ほか10名

議 題：「ゆきみらい2022 in 白山」実行委員会について…①「除雪機械展示・実演会」の出展募集・過去の開催報告について ②出展者募集結果について ③出展者募集の担当者について ④白山郷公園調査結果、展示ブース計画について ⑤今後のスケジュールについて ⑥除雪機械展示・実演会の業務分担計画について

#### ■外国人技能評価派遣試験

月 日：12月6日（月）

場 所：興和ビル10F 小会議室

出席者：堤事務局長

受検者：初級 掘削作業 学科試験1名

#### ■令和3年度 新潟市車道除雪オペレータ研修

月 日：12月7日（火）

場 所：新潟市役所本館3F 対策室

講師派遣：穂苅技師長（道路除雪の安全対策について）

受講者：120名（午前及び午後）

#### ■ICT 活用講習会（入門者クラス）

月 日：12月15日（水）

場 所：Web 講習会（Web 発信箇所：新潟総合テレビ ゆめディア 301号室）

出展者：堤事務局長

受講生：309名

#### ■ニイガタ除雪の達人選手権 第3回幹事会

月 日：12月21日（火）

場 所：Web 会議

出席者：堤事務局長

議 題：①開催結果について ②予算収支決算について ③アンケート結果について

#### ■「けんせつフェア北陸 in 新潟2021」第3回実行委員会・第2回幹事会

月 日：12月22日（水）

場 所：Web 会議

出席者：堤事務局長

議 題：①開催結果報告について ②収支決算報告について ③次回（第16回）開催について

## 中 部 支 部

#### ■自律施工勉強会

月 日：12月23日（木）

開催方法：Web 方式による説明及び質疑応答

参加者：林正道中部地方整備局企画部長ほか約50名

#### ■東海農政局情報化施工講習会講師協力

月 日：12月23日（木）

開催方法：Web 方式による講義

参加者：東海農政局職員約30名

## 関 西 支 部

#### ■「緊急災害応急対策業務に関する協定」に関わる災害時機械関係業務の現場対応訓練

月 日：12月7日（火）

場 所：近畿地方整備局 近畿技術事務所

出席者：松本事務局長以下24名

内 容：①TEC-FORCE 活動紹介 ②操作訓練

#### ■近畿地方整備局との意見交換会

月 日：12月15日（水）

場 所：キャッスルホテル

参加者：深川支部長以下14名

内 容：①情報提供 ②意見交換

## 中 国 支 部

#### ■中国地方整備局と（一社）日本建設機械施工協会中国支部との意見交換会

月 日：12月10日（金）

場 所：広島 YMCA 国際文化センター

出席者：中国地方整備局西澤賢太郎企画部長・河合研至中国支部長ほか30名

議 題：①土木機械実務関連 ②インフラメンテナンス、災害対応関連 ③土木機械設備の品質確保関連 ④その他

## 四 国 支 部

#### ■R3JCMA 四国支部「建設施工研修会」

月 日：12月2日（木）

場 所：建設クリエイティブビル第1会議室（高松市）

参加者：33名

内 容：「CAT 次世代油圧ショベル チルトバケット・コンソール及びチルトローテーターカブラデモ」等、全27件の建設記録映像DVDを上映

## 九 州 支 部

#### ■企画委員会

月 日：12月22日（水）

場 所：九州支部 会議室

出席者：企画委員長ほか8名

議 題：①i-Construction 施工による九州支部生産性向上推進会議の開催について ②建設行政講演会の開催について ③令和4年度建設機械施工技術検定実地試験（実技）について ④その他

## 編集後記

今年はかなり厳冬のように、編集後記を執筆しております1/31現在、豪雪地として名高い青森県の酸ヶ湯温泉では、1979年の統計開始以来、1月として最大の積雪深429cmを記録しているとのことですが、読者の皆様はいかがお過ごしでしょうか。

さて、2月号は「新しい建設材料、コンクリート工、コンクリート構造特集」です。

巻頭言は広島大学大学院の河合研至教授に「コンクリートのカーボンニュートラル」と題して寄稿して頂きました。

鉄筋コンクリート構造物では、セメントと鋼材の製造時に発生するCO<sub>2</sub>が非常に多く、建設時のカーボンニュートラルを図る必要がある点、また、長寿命化のための補修補強工事では化石燃料をエネルギーとした機械類が排出するCO<sub>2</sub>削減が課題であることを指摘いただきましたが、その一方でCO<sub>2</sub>削減のみが環境問題ではない点も示していただきました。セメントの製造は国内における資源循環量の11～12%に相当する廃棄物・副産物を活用して

おり、CO<sub>2</sub>排出量削減のためにセメント製造量を削減することは、国内における廃棄物・副産物の資源循環を停滞させることにつながりかねず、カーボンニュートラル推進は、他の環境負荷の低減も最適化するべきものであり、多様な視点を持って取り組むことが肝要であるご提言をいただきました。

行政情報では、カーボンリサイクルの取り組みについて、特にグリーンイノベーション基金(CO<sub>2</sub>を用いたコンクリート等製造技術開発プロジェクト)を中心にご紹介していただきました。

技術報文では、カーボンネガティブコンクリートの開発と実用化、高品質コンクリート、各種プレキャストコンクリート工法、コンクリート工事の施工管理システムや維持管理のための検査方法や補修方法、新しい建設材料等、非常に幅広い内容で、ご執筆いただくことが出来ました。

今月号で紹介させて頂いた様々な技術報文が、読者の皆様の一助になれば幸いです。

最後になりましたが、ご多忙中にも関わらず、快く執筆・寄稿して頂きました執筆者の皆様、関係者の皆様に心より御礼を申し上げます。

(佐藤・竹田)

## 機関誌編集委員会

### 編集顧問

今岡 亮司	加納研之助
後藤 勇	佐野 正道
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	

### 編集委員長

中野 正則	日本ファブテック(株)
-------	-------------

### 編集委員

菊田 一行	国土交通省
大森 茂樹	農林水産省
細田 豊	(独)鉄道・運輸機構
岡本 直樹	(一社)日本機械土工協会
穴井 秀和	鹿島建設(株)
赤坂 茂	大成建設(株)
宇野 昌利	清水建設(株)
阿部 靖	(株)大林組
内藤 陽	(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)
竹田 茂嗣	鉄建建設(株)
副島 幸也	(株)安藤・間
松澤 享	五洋建設(株)
飯田 宏	東亜建設工業(株)
佐藤 裕	日本国土開発(株)
斉藤 徹	(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)
上田 哲司	コベルコ建機(株)
石倉 武久	住友建機(株)
小黑 誠	(株)加藤製作所
園田 満	古河ロックドリル(株)
太田 正志	施工技術総合研究所

### 事務局

(一社)日本建設機械施工協会

### 3月号「建築特集」予告

・国土交通省都市局 Project PLATEAU ・GTL (Gas to Liquids) :天然ガス由来軽油代替燃料のご紹介 ・どこでも大地震を体感できる新型の可搬型体感用振動台「ポーク震」の開発 ・3Dプリンティングで自由局面形状の巨大柱を実現 ・建築生産におけるBIM活用の推進 ・RC造高層住宅用耐震改修構法の開発 ・クレーン自律運転システムの開発 ・ICTを活用した現場生産性向上の取り組み ・「TOPCON "BuildTech" 建築施工ソリューションセンター」紹介 ・ウェアラブルセンサを活用した熱中症予防管理システムの実証実験 ・外壁パネル工事への移動足場の適用 ・世界初、基地局の支持柱の内部に「ポリマテリアル」を充填する施工法の開発 ・MR技術を用いた遠隔現場と検査記録の帳票連携

### 【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) 9,408円(税・送料込)

## 建設機械施工

第74巻第2号(2022年2月号)(通巻864号)

Vol.74 No.2 February 2022

2022(令和4)年2月20日印刷

2022(令和4)年2月25日発行(毎月1回25日発行)

編集兼発行人 金井道夫

印刷所 日本印刷株式会社

発行所 本部 一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番8号 機械振興会館内

電話(03)3433-1501; Fax(03)3432-0289; <http://www.jcmanet.or.jp/>

施工技術総合研究所	〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154	電話(0545)35-0212
北海道支	〒060-0003 札幌市中央区北三条西2-8	電話(011)231-4428
東北支	〒980-0014 仙台市青葉区本町3-4-18	電話(022)222-3915
北陸支	〒950-0965 新潟市中央区新光町6-1	電話(025)280-0128
中部支	〒460-0002 名古屋市中区丸の内3-17-10	電話(052)962-2394
関西支	〒540-0012 大阪市中央区谷町2-7-4	電話(06)6941-8845
中国支	〒730-0013 広島市中区八丁堀12-22	電話(082)221-6841
四国支	〒760-0066 高松市福岡町3-11-22	電話(087)821-8074
九州支	〒812-0013 福岡市博多区博多駅東2-4-30	電話(092)436-3322

本誌上への広告は  有限会社 サンタナ アートワークス までお申し込み、お問い合わせ下さい。

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-21-5 井手口ビル4F TEL: 03-3664-0118 FAX: 03-3664-0138

E-mail: [san-mich@zam.att.ne.jp](mailto: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, 特殊車両他  
産業機械用無線操縦装置

㊄微弱電波 ㊂429MHz帯特定小電力 ㊃1.2GHz帯特定小電力  
㊀315MHz帯特定小電力 ㊄920MHz帯特定小電力

## スリムケーブルレス 5000型

### 緊急停止スイッチの オプション対応スタート!

- ・微弱、429MHz特小、1.2GHz特小 全て対応
- ・8点、12点、16点仕様 全て対応
- ・表示用LED取付他、従来のオーダー対応可

プッシュロック、  
ターンリセット型  
キノコスイッチ



### 充電台に置いて充電

ご希望の多かったクレードルタイプを  
オプションにてご用意!



## ハンディタイプ シリーズ

タフケーブルレス  
《RC-8600N/U/G》



チップケーブルレス  
《RC-3205M・3212M・3208N》



マイコンケーブルレス  
《RC-6000N/U/G》



ケーブルレスミニ  
《RC-4400N》



## ショルダータイプ シリーズ

MAXサテレータ  
《RC-9300U/G》



マイティサテレータ  
《RC-7100・7200N/U/G》



RC-5800U/G  
2段押3組 準標準型  
好評発売中!

- ・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(送信出力1mW)  
の2種類の周波数から選択可能

429MHz、1216MHzが  
同価格!!

## データケーブルレス シリーズ

双方向データケーブルレス  
《TC-1000808S》



データケーブルレス  
《TC-1300・1400N/U/G》



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

# Denyo

www.denyo.co.jp

## 精密さとパワーで建設の現場を支える。

発電機・溶接機・コンプレッサは抜群の性能を誇るデンヨー製品で!



### 発電機

図書館内並の低騒音を実現!  
静音発電機マーリエ



50Hz-7m  
43dB

DCA-25MZ

### 溶接機

最大溶接電流500A&インバータ制御  
炭酸ガスエンジン溶接機



溶接電流 500A  
(炭酸ガス/タウジンク手溶接)

交流電源  
三相 25 kVA

DCW-500LSE

### コンプレッサ

アフタクーラ/アフタウォーム内蔵  
電子制御で低燃費&低騒音



DIS-670LS-D

●技術で明日を築く  
**デンヨー株式会社**

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

札幌営業所 011(862)1221  
東北営業所第1課 019(647)4611  
東北営業所第2課 022(254)7311  
信越営業所 025(268)0791  
北関東営業所 027(360)4570

東京支店 03(6861)1122  
横浜営業所 045(774)0321  
静岡営業所 054(261)3259  
名古屋営業所 052(856)7222  
金沢営業所 076(269)1231

大阪支店 06(6448)7131  
広島営業所 082(278)3350  
高松営業所 087(874)3301  
九州営業所 092(935)0700

# ダム工事用コンクリート運搬テルハ(クライミング機能付)

## 重力式コンクリートダム等の新しいコンクリート運搬装置

コスト・安全・環境に配慮した最適な施工が行えます。

- 特長**
- コストパフォーマンスに優れる。  
機械重量が比較的軽量で、構造がシンプルなので運搬能力に対して安価である。
  - 安全性に優れる  
コンクリートバケットが堤体上空を横切らないので安全性に優れる。
  - 環境に優しい。  
河床に設置されるので、ダム天端付近の掘削を少なくできる。
  - 大型機材の運搬も可能  
専用吊り具で車両等の大型機材の運搬が可能。



### 吉永機械株式会社

〒130-0021 東京都墨田区緑4-4-3 TEL. 03-3634-5651  
URL <http://www.yoshinaga.co.jp>

# 草刈りの事故対策してますか？



## 回転ハサミ刈りで事故を未然に防ぐ！



刈払機 スーパー **カルマー** 系  
お手持ちの刈払機に取付可能

ギヤ減速  
&  
上下逆回転

減速&回転ハサミ  
駆動ギヤシステム



上下逆回転だから  
低速でも草が刈れる

- 国土交通省 NETIS 過去登録製品
- 平成 28 年度「日本建設機械施工大賞」受賞製品

**IDECH**

株式会社 **アイデック**  
IDECH CORPORATION

〒675-2302 兵庫県加西市北条町栗田 182  
TEL.(0790)42-6688 FAX.(0790)42-6633

アイデック公式ホームページ

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

E-mail. [info@idech.co.jp](mailto:info@idech.co.jp)



検索

弊社Webサイトにて

**導入事例 公開中!**



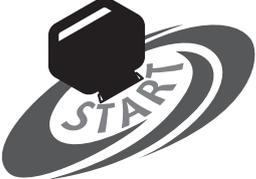
# ツルミ 高圧洗浄機 HPJシリーズ

**エンジン駆動**

**高圧力仕様**

**高耐久仕様**

簡単らくらく



セルスタータ

**ラクセル**®

**力要らずで簡単始動!**

**500** kgf/cm<sup>2</sup>{49MPa}  
(HPJ-20500E型)

**350** kgf/cm<sup>2</sup>{34.3MPa}  
(HPJ-15350E型)



- 用途**
- 断熱材の除去
  - 船体の洗浄
  - 仮設資材の洗浄
  - 改修工事の外壁洗浄
  - 改修工事の塗装剥離 など



スイッチ部  
(セルスタータ付)  
簡単に始動できます。

※写真はHPJ-15350E型

株式会社 **鶴見製作所**

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

北海道支店：TEL.(011)787-8385 東京支店：TEL.(03)3833-0331 北陸支店：TEL.(076)268-2761 近畿支店：TEL.(06)6911-2311 四国支店：TEL.(087)815-3535  
東北支店：TEL.(022)284-4107 北関東支店：TEL.(027)310-1122 中部支店：TEL.(052)481-8181 中国支店：TEL.(082)923-5171 九州支店：TEL.(092)452-5001

www.tsurumipump.co.jp

# 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

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

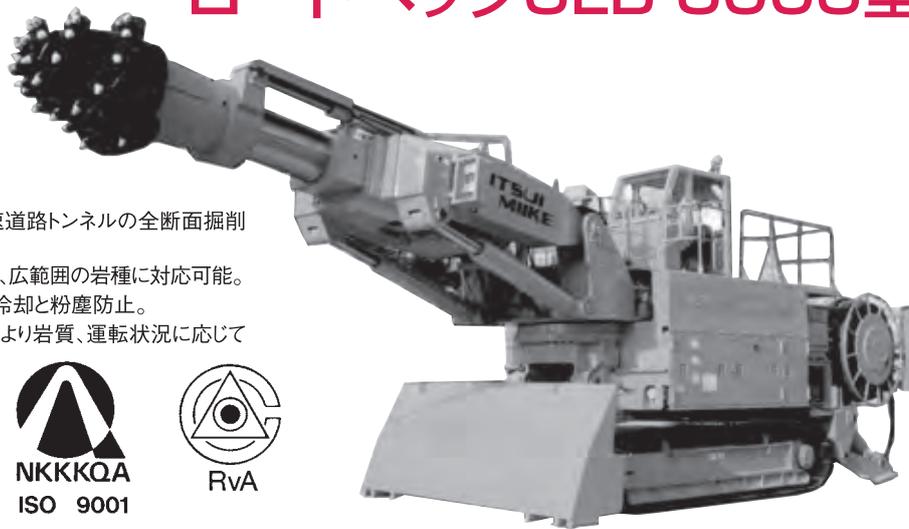
北関東営業所 TEL:0276-74-6452  
長野出張所 TEL:080-1013-9542  
中部営業所 TEL:052-504-3434  
金沢出張所 TEL:080-1013-9538

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

# 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](mailto: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](mailto:mekatoro@daiwakiko.co.jp)

つながり合う 世界が変わる



# Trimble SX12

SCANNING TOTAL STATION



**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



サイテックジャパン  
公式 Facebookページ  
オープンしました。

雑誌 03435-2



4910034350223  
00800

「建設機械施工」

定価 八八〇円 (本体八〇〇円 + 税10%)