

一般社団法人
日本建設機械施工協会誌（Journal of JCMA）

2020

建設機械施工

2

Vol.72 No.2 February 2020（通巻840号）

特集 新しい建設材料



回一コスト大断面化工法で31mの大スパンを実現した木造倉庫

巻頭言 軽さを活かす木質新素材の可能性

行政情報

- 「建設発生土の官民有効利用マッチングシステム」を活用した建設発生土の有効利用
- 官庁営繕における木材の利用の促進

交流の広場

深海における資源開発技術の現状

部会報告

2019年度 ISO/TC 127土工機械委員会 活動状況報告

統計

建設業における労働災害の発生状況

技術報文

- セメントを使わないコンクリートを用いた天然石材調建材
- 大規模都市木造の実現に向けた取り組み
- 本・仮設兼用鋼-コンクリート合成地下壁の開発
- 塩分吸着型エポキシ樹脂の塩分吸着及び鉄筋腐食抑制効果
- ワイン搾りかすを用いたVOC汚染土壌浄化に関する検討と現場適用 他

一般社団法人 日本建設機械施工協会

KOBELCO

あなたは二度、新体感する。

Performance **X** Design
SK75SR

Performance × Designは、
コベルコが挑む新SKシリーズコンセプト。
ユーザーが求める生産性、安全性を飛躍的に高めること。
ユーザーが体感できる快適性、デザイン性を極めること。異なる
2つの革新が高い次元で融合されることで、新型SK75SRが誕生しました。

エンジン出力* | 登坂走行性能* | アーム掘削速度* | NETIS登録

28%up

26.9%up

15%up

iNDR Integrated
Noise & Dust
Reduction
Cooling System

※SK75SR-3E 型機比数値は条件により変動します。

コベルコ建機株式会社 お問い合わせ 03-5789-2111

SK75SR



令和2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2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
	地域賞部門	最優秀賞	20万円
		優秀賞	10万円
	各部門とも	選考委員会賞	5万円

4. 表彰式

本協会第9回通常総会（令和2年6月16日（火）予定）終了後に行います。

5. 応募

別紙「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。応募の締め切りは、令和2年2月28日（金）（必着）です。（申し込みアドレス：t-abe@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

令和2年度 日本建設機械施工大賞 応募要領

『令和2年度 日本建設機械施工大賞』（大賞部門、地域賞部門）を部門ごとに募集いたします。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。

それぞれの応募用紙を作成していただきます。

1. 表彰対象 （一社）日本建設機械施工協会の団体会員、支部団体会員、個人会員又は建設機械及び建設施工に関する技術等の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。
2. 募集の方法 表彰候補の団体、団体に属する個人及びその他の個人の応募による。
3. 応募の方法 協会所定の応募用紙（大賞部門、地域賞部門）による。
応募用紙は、当協会のホームページ（<https://jcmanet.or.jp/>）からダウンロードし、必要事項を記載の上、Excel形式及びPDF形式とし、電子メールにてお申し込み下さい。
（※Excel形式の枠内に自由にレイアウトして記載）
なお、提出いただいた資料は返却いたしません。
4. 応募締切 令和2年2月28日（金）
5. 記載方法
大賞部門
 - 「推薦文」（自薦・他薦を問わず、1ページ以内）
 - 「業績内容の概要」を記述する（1ページ以内）
 - 「業績内容」（下記aからiまで項目順に、簡潔に10ページ以内）
 - a. 業績の行われた背景
 - b. 業績の詳細な技術的説明
 - c. 技術的効果
 - d. 経済的効果
 - e. 施工または生産・販売実績
 - f. 類似工法または機械との比較
 - g. 波及効果
 - h. 特許、実用新案のタイトル（出願、公開、登録、国内・国外を明記）
 - i. 他団体の表彰等に応募中か、すでに表彰を受けているかを記述
 - 参考資料として次のものを添付して下さい。
 - a. 特許関係（公開または登録済みのものの最初のページの写し）
 - b. カタログ（主要なもの1～2点）
 - c. 学会、技術誌等への発表論文があれば、そのコピー（2～3点）
 - 提出物
応募用紙（「推薦文」・「業績の概要」・「業績の内容」がセットのもの）
参考資料

地域賞部門

- 「推薦文」（自薦・他薦を問わず、1 ページ以内）
- 「業績内容の概要」を記述する（1 ページ以内）
- 「業績内容」（下記 a から e まで項目順に、簡潔に 2 ページ以内）
 - a. 業績の行われた背景
 - b. 業績の説明（工夫した点など）
 - c. 業績の効果
 - d. 施工または生産・販売実績
 - e. 地域への貢献度
- 参考資料として次のものを添付し、簡単に説明文をつけて下さい。
 - a. 学会、技術誌等への発表論文があれば、そのコピー（2～3 点）
 - b. カタログ、パンフレット（主要なもの 1～2 点）
 - c. 新聞記事、写真等（主要なもの 1～2 点）
- 提出物
 - 応募用紙（「推薦文」・「業績の概要」・「業績の内容」がセットのもの）
 - 参考資料

6. 申込・お問い合わせ先

大 賞 部 門 一般社団法人日本建設機械施工協会

本部

日本建設機械施工大賞事務局 TEL 03-3433-1501 FAX 03-3432-0289
申し込みアドレス：t-abe@jcmanet.or.jp

地域賞部門 一般社団法人日本建設機械施工協会

本部

日本建設機械施工大賞事務局 TEL 03-3433-1501 FAX 03-3432-0289

支部

北海道	TEL 011-231-4428	FAX 011-231-6630
東 北	TEL 022-222-3915	FAX 022-222-3583
北 陸	TEL 025-280-0128	FAX 025-280-0134
中 部	TEL 052-962-2394	FAX 052-962-2478
関 西	TEL 06-6941-8845	FAX 06-6941-1378
中 国	TEL 082-221-6841	FAX 082-221-6831
四 国	TEL 087-821-8074	FAX 087-822-3798
九 州	TEL 092-436-3322	FAX 092-436-3323

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		建設機械スペック一覧表、 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ペ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

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

令和元年度版

∞ ∞ ∞ 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正され、平成 31 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 令和元年度版」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 令和元年度版」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

令和元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 P C 橋編
- 第 4 章 橋梁補修編
- 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)

◆改訂内容

国交省基準の改定に伴う歩掛等の改訂のほか、平成 30 年度版からの主な改訂事項は以下のとおりです。

1. 鋼橋編

- ・アルミ検査路設置歩掛の策定
- ・地組溶接架台施工写真の追加
- ・架設用製作部材単価の改訂

2. P C 橋編

- ・地覆高欄作業車の計算例を追加
- ・桁下足場、橋台・橋脚回り足場ブラケット工の設置月数について追記
- ・外ケーブル工の P E 保護管について規格変更

3. 橋梁補修編

- ・工種毎適用足場の考え方についての表を掲載
- ・支取替工（施工パッケージ以外）の歩掛等改定
- ・落橋防止システム工の掲載構成を変更
- ・外ケーブル工の参考写真を掲載
- ・ブラスト、湿式剥離養生工の歩掛および環境対策費と安全衛生保護具費用の改定

別冊「橋梁補修補強工事 積算の手引き」

- ・施工パッケージを考慮した積算要領への改訂



- A 4 判／本編約 1,050 頁（カラー写真入り）
別冊約 250 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。

※ 送料は一般・会員とも
沖縄県以外 900 円
沖縄県 710 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申込みの場合は別途とさせていただきます。

- 発刊 令和元年 5 月 20 日

<図書紹介>

令和元年度版 建設機械等損料表

- 発刊日 : 令和元年5月6日
- 体 裁 : A4判 モノクロ 約475ページ
- 定 価 : 一般価格 本体 8,000円 (税別)
 会員価格 本体 6,800円 (税別)

■ 内 容

令和元年度版の構成項目は以下のとおりです。

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



一般社団法人 日本建設機械施工協会

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

◆ 購入申込書 ◆

一般社団法人 日本建設機械施工協会 行

日本建設機械要覧 2019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	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）

②民 間：（本部へ申込）FAX

（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 大阪府中央区谷町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）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、下記口欄にチェック印を付けてください。

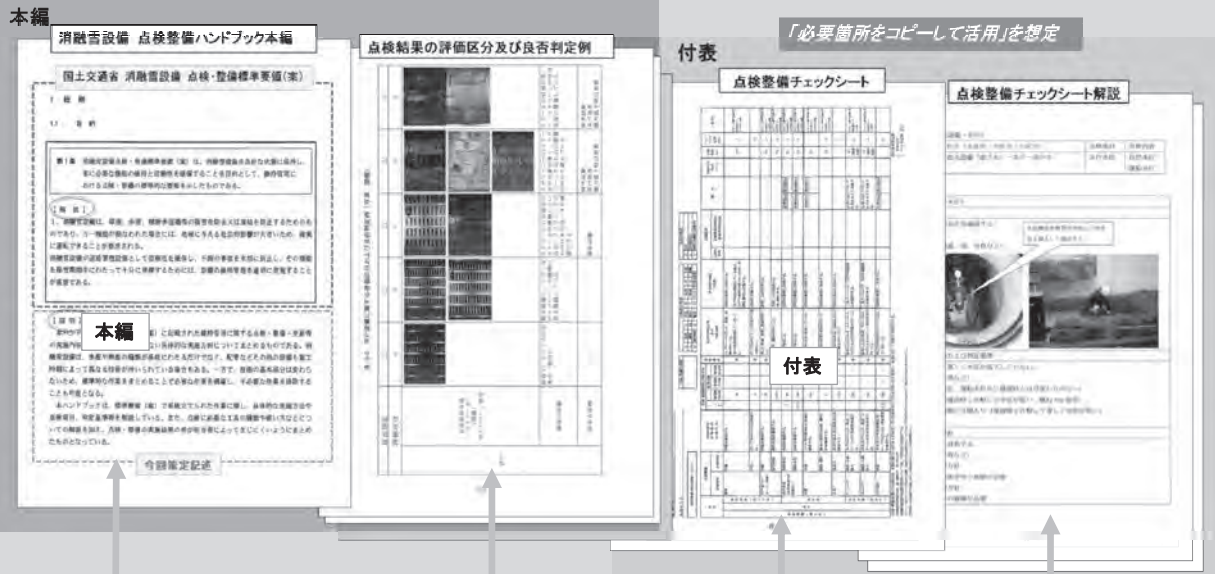
☐ 当協会からの新刊図書案内や事業活動案内のダイレクトメール（DM）は不要

消融雪設備 点検・整備ハンドブック

平成30年7月発刊

本書は、消融雪設備の老朽化対策として平成28年3月に国土交通省が策定した「消融雪設備点検・整備標準要領（案）」の技術者向け解説書です。

■消融雪設備 点検・整備ハンドブック



○箱枠内に「消融雪設備点検・整備標準要領（案）」を掲載し、【説明】として解説事項を箱枠外に掲載。

標準要領の目的理解を支援

○5段階状況写真等を利用した評価例と施設の状態解説、対処方法例を掲載。

的確な判定を支援

○「消融雪設備 点検・整備標準要領（案）」に、実際の点検内容の解説等を追加掲載。

本書の購入者は、出版元ホームページからID、PASSでチェックシートのダウンロードが可能です

技術の継承・支援

○点検方法、判定方法および判定基準、不良時の措置方針を掲載。

若手技術者育成・支援

消融雪設備 点検・整備ハンドブック策定委員会

（一社）新潟県融雪技術協会

〒950-0965 新潟市中央区新光町 6-1 TEL (025) 282-1114/FAX (025) 281-1507

（一社）日本建設機械施工協会 北陸支部
北陸融雪技術協議会

〒950-0965 新潟市中央区新光町 6-1 TEL (025) 280-0128/FAX (025) 280-0134

〒950-0965 新潟市中央区新光町 6-1 TEL (025) 281-8812/FAX (025) 281-8832

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

当協会機関誌に掲載します。

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

■会員構成

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

■主な事業活動

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

■主な出版図書

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

その他、日本建設機械施工協会の活動内容はホームページでもご覧いただけます！

<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.jcmnet.or.jp/privacy/> をご覧下さい。

一般社団法人日本建設機械施工協会 発行図書一覧表（令和2年2月現在） 消費税10%

No.	発行年月	図 書 名	一般価格 (税込)	会員価格 (税込)	送料
1	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
2	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	—
3	R 元年 6 月	建設機械スペック一覧表 2019 年電子書籍 (PDF) 版	60,500	49,500	—
4	R 元年 5 月	橋梁架設工事の積算 令和元年度版	11,000	9,350	900
5	R 元年 5 月	令和元年度版 建設機械等損料表	8,800	7,480	700
6	H31 年 3 月	日本建設機械要覧 2019 年版	53,900	45,100	900
7	H30 年 8 月	消融雪設備点検・整備ハンドブック	13,200	11,000	700
8	H30 年 5 月	よくわかる建設機械と損料 2018	6,600	5,610	700
9	H30 年 5 月	大口径岩盤削孔工法の積算 平成 30 年度版	6,600	5,610	700
10	H30 年 5 月	橋梁架設工事の積算 平成 30 年度版	11,000	9,350	900
11	H30 年 5 月	平成 30 年度版 建設機械等損料表	8,800	7,480	700
12	H29 年 4 月	ICT を活用した建設技術 (情報化施工)	1,320	1,100	700
13	H28 年 9 月	道路除雪オペレータの手引	3,850	3,080	700
14	H28 年 5 月	よくわかる建設機械と損料 2016	6,600	5,610	700
15	H28 年 5 月	大口径岩盤削孔工法の積算 平成 28 年度版	6,600	5,610	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 【H25.6 月号より図書名変更】	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 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。

特集

巻頭言

行政情報

特集・ 技術報文

新しい建設材料

4 軽さを活かす木質新素材の可能性

佐々木貴信 北海道大学大学院 農学研究院 教授

5 「建設発生土の官民有効利用マッチングシステム」を活用した建設発生土の有効利用

古堅 宏和 国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課 インフラ情報・環境企画室 課長補佐

10 官庁営繕における木材の利用の促進

平野 裕丈 国土交通省 大臣官房 官庁営繕部 整備課 木材利用推進室 木造企画係長

15 CFRP を用いた鋼構造物の補修・補強技術

大垣賀津雄 ものつくり大学 技能工芸学部 建設学科 教授

21 CFRP 接着された鋼構造物の応力伝達メカニズム

石川 敏之 関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 准教授

26 高性能床版の研究開発 鋳鉄を用いた道路橋床版

山口 栄輝 九州工業大学 大学院 工学研究院 教授
飛永 浩伸 日之出水道機器㈱ R&D 総合センター マネージャー
村山 稔 日之出水道機器㈱ R&D 総合センター マネージャー

31 高剛性アスファルト舗装による鋼床版疲労対策の概要

稲荷優太郎 ㈱高速道路総合技術研究所 橋梁研究室 研究員
高橋 茂樹 ㈱高速道路総合技術研究所 道路研究部 舗装研究室
佐々木亮太 東亜道路工業㈱ 技術研究所 第二研究室

37 橋梁用高降伏点鋼板 (SBHS) の利用による鋼橋の施工省力化

高木 優任 (一社) 日本鉄鋼連盟 橋梁用鋼材研究会 幹事長

43 セメントを使わないコンクリートを用いた天然石材調建材

T-eConcrete を用いて CO₂ 排出量とコストを抑えた、意匠性に優れる T-razzo の開発

大脇 英司 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
岡本 礼子 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
渡邊 悟士 大成建設㈱ 技術センター 都市基盤技術研究部 構造研究室 主任研究員

48 大規模都市木造の実現に向けた取り組み

大規模木造をローコストで実現する技術オメガウッドの開発

榎本 浩之 ㈱大林組 設計本部 構造設計部

53 人と環境に優しい仮設資材を土木現場に適用 KAMIWAZA

宮瀬 文裕 清水建設㈱ 土木技術本部 設計部 主査
宇野 昌利 清水建設㈱ 土木技術本部 開発機械部 主査

61 本・仮設兼用鋼-コンクリート合成地下壁の開発

仮設土留め用鋼矢板の本体利用技術 J-WALL[®] II 工法

後藤 宏輔 JFE スチール㈱ 建材センター-建材技術部 土木技術室
古荘伸一郎 ㈱大林組 生産技術本部 設計第一部 設計第一課 課長
西口 正仁 ジュコス㈱ 技術総括部 技術主監

67 鋼繊維補強 PFC (無孔性コンクリート) の開発と適用

河野 克哉 太平洋セメント㈱ 中央研究所 第2研究部 高機能コンクリートチーム リーダー

71 塩分吸着型エポキシ樹脂の塩分吸着及び鉄筋腐食抑制効果

塩分吸着型エポキシ樹脂コンクリート補修材「ハイブリッドエポキシ樹脂」の適用事例

千賀 年浩 日本国土開発㈱ 土木事業本部 土木リニューアルグループ
山内 匡 日本国土開発㈱ 土木事業本部 土木リニューアルグループ グループリーダー
古田 雅和 日本国土開発㈱ 土木事業本部 土木リニューアルグループ

	77	ワイン搾りかすを用いた VOC 汚染土壌浄化に関する検討と現場適用	大橋 貴志 (株)NIPPO 総合技術部 技術研究所 研究第一グループ 主任研究員
交流のひろば	83	深海における資源開発技術の現状 ～世界初！海底熱水鉱床採鉱・揚鉱パイロット試験～	笹原裕太郎 (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 金属資源技術部 海洋資源技術課 課員 五十嵐吉昭 (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 金属資源技術部 海洋資源技術課 課長 山路 法宏 (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 金属資源技術部 海洋資源技術課 担当調査役
ずいそう	88	海から陸に上がる	川北 義正 ワイ・ケイ企画
	91	カメラ愛は止まらない	河本 高広 前田建設工業(株)東北支店 土木部購買グループ
部会報告	93	東京港臨港道路南北線 10 号地その 2 地区接続部及び沈埋函 (7 号函) 製作・築造工事 見学会報告	機械部会 基礎工事用機械技術委員会
	95	加藤製作所(株) 群馬工場見学会 報告	機械部会 基礎工事用機械技術委員会
	97	前田建設工業(株) ICI 総合センター見学会報告	機械部会 基礎工事用機械技術委員会
	99	(独)水資源機構 浦山ダム・日本キャタピラー (同) D-Tech Center 見学会報告	機械部会 路盤・舗装機械技術委員会
	102	ISO/TC 127 国際作業グループ報告	標準部会
	110	新工法紹介	機関誌編集委員会
	112	新機種紹介	機関誌編集委員会
統計	115	建設業における労働災害の発生状況	機関誌編集委員会
	120	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
	121	行事一覧 (2019 年 12 月)	
	124	編集後記 (鈴木・太田)	

◇表紙写真説明◇

ローコスト大断面化工法で 31 m の大スパンを実現した木造倉庫

写真提供：(株)大林組

大規模木造架構を建設するために必要な大断面構造材を、合理的なコストで実現した技術『オメガウッド』(単板積層材 (LVL)・集成材をボルトやビスで綴って一体化し大断面を形成する技術)を開発した。これを構造部材とした事例として、鳥取県境港市における 31m × 48m の無柱空間倉庫を紹介する。この倉庫を建設するにあたり、ローコストかつロングスパン架構の実現に向けて、高剛性・高耐力の LVL 材を構造材に採用し、架構形式としては方杖・タイバーを配置して大梁たわみの抑制を図っている。このようなローコスト大断面化技術を活かして、ハイブリッド木造・超高層木造・大規模木造に取り組んでいく。

巻頭言

軽さを活かす木質新素材の可能性

佐々木 貴 信



2015年9月の国連サミットで採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」に記載された国際目標「SDGs (Sustainable Development Goals)」は、持続可能な世界を実現するための相互に密接に関連した17のゴールと169のターゲットから構成されており、特に「陸上資源」に関して、陸域生態系の保護・回復、持続可能な利用の確保、持続可能な森林の経営等が謳われている。日本国内でもSDGsの達成に向けてその動きが活発化しており、昨年度に閣議決定された「未来投資戦略2018」においては、林業改革として原木生産の集積・拡大、スマート林業の推進、生産流通構造の改革、木材需要の拡大、研究開発の推進が明示されている。

国内の森林は戦後に植林されてきた人工林が成長し、国内の需要量を賄えるほどの蓄積量に達している。一方、木材自給率は2011年から毎年増加し、2018年には36.6%に達しているものの、2016年に閣議決定された「森林・林業基本計画」での目標(2025年までに木材自給率50%)には達していないのが現状である。目標達成のためには、住宅向けの建築用材などの従来用途以外への新たな用途開発による木材需要の拡大が不可欠であり、「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」(2010年制定)では公共建築物等を対象として、国が率先して木材利用に取り組む基本方針が示されている。近年、東京オリンピック関連施設を始め、近年の学校施設や事務庁舎、公営住宅などの公共建築物の木造化が進んでいる背景にはこうした動きがある。一方、この法律には、木材を利用したガードレール、高速道路の遮音壁などの道路関連施設の設置に関する条文があり、土木分野における木材利用もその潜在的なポテンシャルの高さから新規需要の一つとして期待されている。

屋外での厳しい環境下に置かれる土木分野での木材利用は、常に耐久性が課題となるため、劣化しにくい使い方や、設計面での配慮、防腐処理等の配慮が不可

欠であるが、これらの課題を考慮しつつ、軽さや、入手や加工のし易さといった木材の特徴を活かした新たな用途開発も進められている。新しい木質材料CLT (Cross Laminated Timber: 直交集成板) は、木材の挽き板(ラミナ)を層毎に並べて、各層の繊維方向が直交するように積層接着した木質系材料であり、コンクリートスラブのような厚みのある大きな板である。CLTは1990年代にオーストリアで開発・実用化され、欧州や北米、オーストラリアに広く普及しており、壁や床材としてCLTを使った構造は箱を積み上げるイメージで、短い工期で中高層の木造建築物も多数建設されている。日本国内のメーカーが製造するCLTのサイズは様々であるが、最大で幅3m、長さ12m、厚さ270mmの製品が製造可能であり、この材料の大きさを考えれば土木分野での活用も考えられる。国産材のCLTにはスギやヒノキ、カラマツのラミナが使用されているため、単位体積重量はコンクリートの1/6~1/4程度と軽量であり、この軽さもまた、土木用途を考えた場合のメリットとなり得る。こうした特徴に着目し、橋梁の床版としてのCLT活用の可能性が検討されている。現行の設計荷重に対応するように橋梁を改修する際、床版厚さの増加に伴い主桁の補強が必要になるようなケースにおいて、RC床版と同程度の断面で取替えが可能となれば、CLT床版は重量が軽い分、桁補強を行わずに改修できる可能性がある。輪荷重走行試験等によるCLT床版の疲労耐久性の検証や、CLT全体をFPRシートでラッピングしたり、ポリマーセメントで包埋することで防水・防腐効果を得る方法が開発され、秋田県内にCLT床版を用いた林道橋や農道橋が試験的に施工されている。

低炭素型の資源循環型社会基盤の形成を進める上で木質バイオマスの利用の意義は大きく、建設分野においてもこうした木材・木質材料の活用が進められることを期待したい。

行政情報

「建設発生土の官民有効利用マッチングシステム」を活用した建設発生土の有効利用

古 堅 宏 和

国土交通省においては、建設発生土の工事間利用を拡大するため、従来の公共工事間だけでなく、民間工事と利用調整し、官民間で建設発生土を工事間利用することを目指して、平成 27 年度から「建設発生土の官民有効利用マッチングシステム」（以下、官民マッチングシステム）を試行している。

本稿では、この官民マッチングシステムの取組内容や実績、登録方法などについて紹介する。

キーワード：建設発生土、マッチング、有効利用

1. はじめに

公共工事においては、従前から公共工事間で建設発生土のマッチングを行うシステムを運用し、工事間利用を促進している。しかし、工期や土質が合致せず、工事間での利用調整が不調となり、やむを得ず新材を購入し、建設発生土を受入地へ搬出する場合がある。

一方、民間工事においては、新材購入や建設発生土受入地への搬出を前提とした工事発注がなされており、建設発生土の工事間での利用調整は少ない。

このような背景から、建設発生土の工事間利用を拡大するため、従来の公共工事間だけでなく、民間工事と利用調整し、官民間で建設発生土を工事間利用することを目指して、平成 27 年度から「建設発生土の官

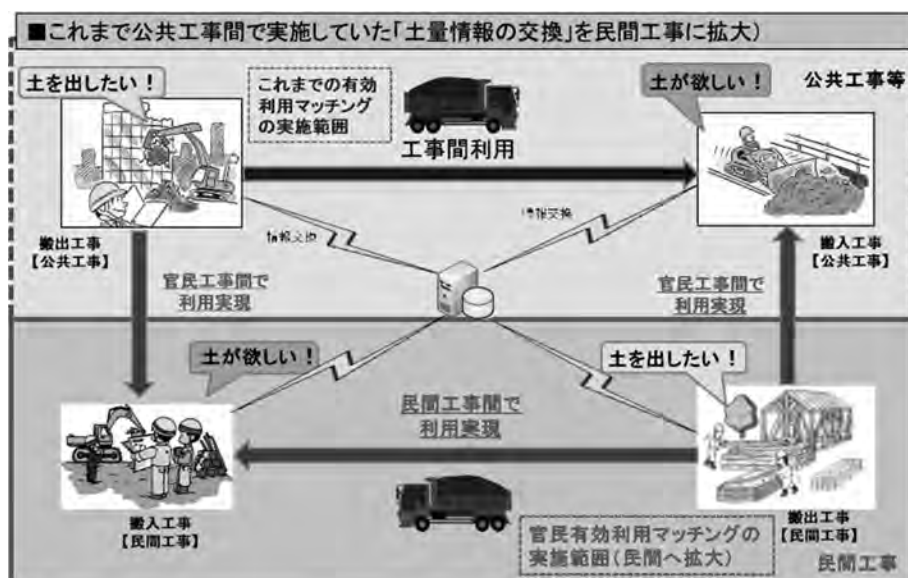
民有効利用マッチングシステム」（以下、官民マッチングシステム）を試行している。

本稿では、この官民マッチングシステムの取組内容や実績、登録方法などについて紹介する。

2. 官民マッチングの取組

(1) 官民マッチングの概要

「官民マッチング」とは、民間工事で発生した建設発生土を公共工事に利用する、又は、公共工事で発生した建設発生土を民間工事で利用するものであり、民間工事と公共工事の間で建設発生土を土砂代無料で有効利用（工事間利用）することをいう（図—1）。



図—1 官民マッチングの概要

(2) 期待される効果

(a) 公共工事と民間工事の両方に期待される効果

①コスト削減効果

試行マッチングでの実現事例におけるコスト削減効果を試算すると、運搬費、処分費、新材購入費の削減により、一工事当たり平均で搬出工事 5,600 万円、搬入工事 3,200 万円であった。

(b) 民間工事で期待される効果

民間工事ではコスト削減効果以外にも次の効果が期待できる。

①適正な搬出先確保

近年、東京 23 区などの大都市地域では、適正な建設発生土受入地の確保が困難となっており、民間工事の建設発生土を公共工事で利用することにより、適正な建設発生土の搬出先を確保できる。

②工事の効率化

運搬距離が短くなることにより、運搬車両の回転数を増やすことが可能となり、早期に運搬が完了し工期を短縮できる。また、工期を短縮できない場合でも確保する必要があるダンプ台数を削減できる。

③環境影響への配慮

建設発生土受入地への搬出量を削減することにより、建設発生土受入地が延命化する。

この結果、新たな建設発生土受入地の開発が抑制され、自然環境が保全される。さらに、これまでの試行マッチングの事例では、多くの場合で建設発生土受入地への搬出に比べて運搬に伴う環境負荷が低減された。

④CSR 向上

公共工事との工事間利用により、公共事業の円滑な執行へ貢献することが CSR 向上につながるとともに、社会への PR にも役立つ。

3. 官民マッチング実績

平成 27 年度から官民マッチングの試行を開始しており、平成 30 年 6 月末時点の登録土量は、搬出工事が約 2,240 万 m^3 、搬入工事が約 1,580 万 m^3 となっている。

そのうち、平成 31 年 3 月時点で 29 件約 27 万 m^3 のマッチングが実現している。

実現事例として以下のような事例がある。

【事例 1：公共工事からの建設発生土を民間工事の埋め戻し材として 2016 年 8 月に約 7,100 m^3 を使用（写真—1）】



写真—1 事例 1：搬出工事（左）、搬入工事（右）



写真—2 事例 2：搬出工事（左）、搬入工事（右）

〈搬出側（公共）〉

地方公共団体が発注した下水道管渠築造工事

登録土量：24,664 m^3

土工期：2015 年 2 月～2015 年 7 月※

土質区分：第 2 種建設発生土

※掘削時の工期であり、その後仮置場に存置

〈搬入側（民間）〉

解体工事の地下室撤去埋め戻し材として利用

登録土量：14,000 m^3

土工期：2016 年 7 月～2016 年 10 月

土質区分：第 3 種建設発生土

【事例 2：民間工事からの建設発生土を公共工事の盛土材として 2015 年 10 月に約 7,500 m^3 を使用（写真—2）】

〈搬出側（民間）〉

建築物の地下空間の建設工事で大量に発生する建設発生土を搬出

登録土量：20,000 m^3

土工期：2015 年 9 月～2015 年 11 月

土質区分：第 3 種建設発生土

〈搬入側（公共）〉

道路の路体用盛土として建設発生土を利用

登録土量：30,000 m^3

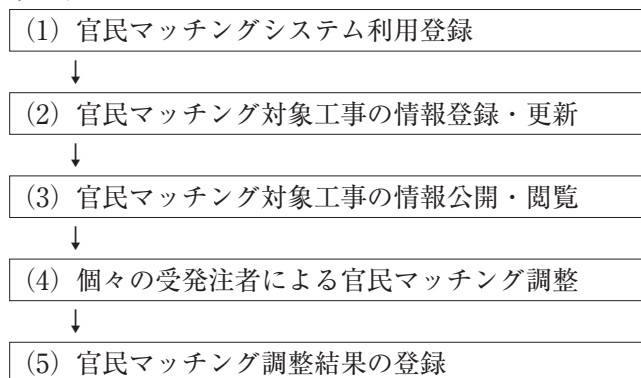
土工期：2015 年 9 月～2015 年 12 月

土質区分：第 1 種建設発生土

4. 官民マッチングの利用方法

官民マッチングについては以下のような手順で利用

する。



(1) 官民マッチングシステム利用登録

(a) 登録資格

公共機関（公共工事発注者）については特に登録基準は設けていないが、民間機関が官民マッチングを利用するには、官民マッチング HP より利用登録をする必要がある。

民間機関については、①国及び地方自治体の工事入札参加資格保有者（以下、「公共工事入札参加資格保有者」という）、②公共工事入札参加資格保有者以外、でそれぞれ以下のとおり登録条件がある。

①公共工事入札参加資格保有者

原則、参加登録時に次に該当する者以外は登録が可能である。

- ・地方自治法施行令第167条の4の規定に該当する（入札参加禁止）
- ・国等から指名競争入札参加者としての指名停止又は警告を受けている

②公共工事入札参加資格保有者以外

登録基準を次のとおりとし、該当する官民マッチング対象工事ごとに登録審査を受けることを原則とする。

イ) 工事発注者

土木工事の発注者は、開発許可等の関係する法律に基づく許可取得者、建築工事の発注者は、建築基準法に基づく建築確認申請取得者とする。

ロ) 工事受注者

工事受注者（元請者又は下請者、下請者には二次下請以下も含む）は、建設業法の建設業許可業者であり、官民マッチング対象工事契約済みの者とする。

③民間機関共通

①、②の民間機関は次の条件を満たすこと。

- ・会社更生法、民事再生法の対象者でないこと
- ・暴力団の構成員による不当な行為の防止等に関する法律による暴力団及び暴力団関係者との関係がないこと

- ・これまでの官民マッチングにおいて協定等違反行為等をしていないこと。

(b) 登録方法

公共工事入札参加資格保有者は、資格取得時及び更新時に会社単位で登録申請書を事務局に提出し承認を受ける必要がある。

公共工事入札参加資格保有者以外は、官民マッチング対象工事ごとに登録申請書を事務局に提出し承認を受ける必要がある。

事務局は、申請者が上記（a）に該当することを確認の上、参加の承認を行い、登録承認書を交付するものとする。

(2) 官民マッチング対象工事の情報登録・更新

(a) 対象工事条件

①工事規模

工事間利用を促進する観点から工事規模の制限はない。

②仮置き場を利用する工事

仮置き場を経由する工事間利用については、建設発生土を適正に管理できる体制が整っている仮置き場を利用する場合に限って、官民双方の担当者が確認し、合意した場合に官民マッチングの対象とすることができる。

建設発生土を適正に管理できる体制とは、次をいう。

- ・工事発注者又は工事受注者（元請者又は下請者）自らで管理している。
- ・仮置き場に搬出入された建設発生土の土量を管理している。
- ・建設発生土を搬出工事ごとに堆積し、他工事の発生土と仕切りや空間の確保等により混ざらないように管理をしている。

③建設発生土の搬入条件

建設発生土の搬入条件は次とする。

イ) 受け入れた建設発生土は、当該工事の施工のみに使用する。但し、公共工事ではこの限りではない。

ロ) 建設発生土は無料で受け入れるものとする。ただし、工事間利用協定等の取り決めにより、例えば、搬出工事側が搬入工事側の搬入土の敷均し等を負担することは可能である。

(b) 登録情報について

登録情報については表—1のとおり。全24項目あり、搬出工事、搬入工事それぞれで入力 of 必須項目が決まっている。

表一 1 相手候補工事選定評価項目、評価基準、配点例

NO	区分	情報項目	工区分	配点	情報項目の概要
1	工事情報	機関名称	○	○	
2		電話番号	○	○	
3		郵便番号	○	○	
4		電話番号	○	○	
5		担当者名	○	○	
6		E-mailアドレス	△	△	
7		工事名称	○	○	工事契約書等の工事名称を公表できない場合は仮称でも可とする。この場合は、工事契約書の写しを事務局に提出すること。(公共工事にも参加資格保有者以外の民間機関は参加登録時に工事契約書の写しを提出するため、再度の提出は必要ない)
8	仮置場	施工場所住所コード	○	○	
9		施工場所	○	○	工事場所の代表地点の番地
10		仮置場有無	△	△	有、無、未定
11	土量情報	搬出入区分	○	○	搬出、搬入
12		土量情報ランク	○	○	第1種、第2種、第3種
13		土量情報最終更新日時	○	○	土量情報最終更新日時
14		土1期(開始)	○	○	開始年月
15		土1期(終了)	○	○	終了年月
16		土量	○	○	m3
17		土質区分	○	○	第1種から4種、記上、不明・未定
18		土質情報	△	△	調査済み、調査中
19		土壌分析調査有無	○	△	有、調査中、無 搬入部が、搬入側現場の原位置において土壌分析調査が必要と判断した場合は、「有」または「調査中」を入力する。
20	調整情報	利用用途	△	○	
21		利用調整申込期限(年月日)	○	○	公共工事の場合は公募期限
22		利用調整終了期限(年月日)	○	○	相手工事を決定する最終月日
23		特記情報	△	△	特記すべき情報があれば入力
24		添付PDF	△	△	土壌分析結果、その他証明書等の添付ファイル

注1:網掛けの情報項目は、執行マッチング時の情報項目
 2:工事区分の○:必須項目
 △:任意項目
 ○:該当しない項目

項目	評価基準	配点
1 一か月に搬入する計画土量	8,400 m ³ 以上 6,000 m ³ 以上 8,400 m ³ 未満 3,000 m ³ 以上 6,000 m ³ 未満	10 7 5
2 運搬事業者	運搬事業者の申込事業者 (元請業者又は下請業者) 申込事業者以外	10 3
3 搬出場所から搬入場所までの距離	50 km 以内 60 km 以内 70 km を超える	5 3 1
4 運搬経路に配置する交通整理員の数	2人以上 1人	5 3



図一 2 官民マッチングの調整のフロー

表一 2 相手候補工事選定評価項目、評価基準、配点例

評価項目	基準	配点
(1) 一か月に搬入する計画土量	8,400 m ³ 以上 6,000 m ³ 以上 8,400 m ³ 未満 3,000 m ³ 以上 6,000 m ³ 未満	10 7 5
(2) 運搬事業者	運搬事業者の申込事業者 (元請業者又は下請業者) 申込事業者以外	10 3
(3) 搬出場所から搬入場所までの距離	50 km 以内 60 km 以内 70 km を超える	5 3 1
(4) 運搬経路に配置する交通整理員の数	2人以上 1人	5 3

(3) 工事情報の公開・閲覧方法

(a) 公開ファイルについて

登録された工事情報については、地域ごと、都道府県ごとに区分してダウンロードファイル(MSエクセル形式(2007およびそれ以降のバージョン))を官民マッチングシステムのホームページ上で公開している。

民間工事については情報登録申請の都度、公共工事については1回/月の頻度で更新している。

(b) 工事情報の閲覧方法

民間工事受発注者および公共工事発注者は、官民マッチングシステムのホームページにアクセスし、別途事務局より提供されるユーザーID、パスワードを用いてログインすることで、公開された工事情報を閲覧することができる。

(4) 個々の受発注者による官民マッチング調整

(a) 調整の流れについて

個々の工事における調整については図一2の流れにより実施される。

複数の民間工事から利用調整の申し込みがあった場合は、表一2の例のような評価基準により民間工事を評価した上で、得点順に3工事程度を選定し、得点

上位から具体的な利用調整を進める。

(b) マッチング相手を確定するための手続き

工事間利用候補工事との利用調整事項は次を基本とし、合意事項を協定書にとりまとめる。

①搬出工事現場確認

搬出工事現場にて土質性状を確認するとともに、土質試験結果、土壌分析試験結果等を用いて詳細な土質性状を確認する。また、柱状図等で土量の見込みを確認する。

搬出工事周辺状況および運搬経路を確認する。

②搬入工事現場確認

搬入工事現場にて、地盤状況を確認するとともに、周辺状況及び運搬経路を確認する。

③仮置場の確認

仮置場を利用する場合は、(2)(a)②の建設発生土を適正に管理できる体制が整備されているかを確認する。

④工事間利用の具体的スケジュール調整・確認

搬出工期、搬入工期及び運搬経路・距離・時間・回転数(日運搬量)を詳細に検討し、工事間利用期間、土量、日最大土量を確認する。

⑤作業・費用・責任分担確認

官民マッチング実施に必要な作業をリストアップ

し、搬出工事、搬入工事それぞれの作業分担を確認する。費用及び責任分担については、作業分担に対応するのが通常であるが双方協議により分担を確認する。

特に、土質性状が事前確認時と異なった場合の対応、施工後に搬入土質に問題が生じた場合の対応についても双方協議により確認しておくことが望ましい。

(5) 官民マッチング調整結果の登録

(a) 情報登録の内容

公共工事発注者、民間工事受発注者は、官民マッチングの実現の有無にかかわらず、調整結果として、次事項を登録することとなっている。

①工事間利用の有無（工事間利用実現、工事間利用実現できず）

なお、工事間利用が実現しなかった場合は、その理由を記載。

②最終的な搬出先・搬入元を記載。

【搬出工事からの搬出先】

- ・他の工事現場 ・現場内利用
- ・土質改良プラント
- ・建設発生土ストックヤード
- ・海面処分場 ・民間内陸受入地
- ・公共内陸受入地

【利用工事における搬入元】

- ・他の工事現場 ・現場内利用
- ・土質改良プラント
- ・建設発生土ストックヤード
- ・建設汚泥中間処理施設（建設汚泥処理土利用）
- ・新材利用

(b) 情報登録の方法

官民マッチング調整結果情報については、マッチング調査結果情報提出表を用いて情報を入力し、事務局（recycle@jacic.or.jp）に提出する。

(6) その他

(1)～(5) 以外に官民マッチングの利用に当たって

は、以下のような取り決めがある。

- ・すべての関係者は、官民マッチングにおいて得られた情報を目的外に使用してはならない。
- ・官民マッチングにおいて著しい虚偽の記載や他の参加者に混乱をもたらす行為等を行った不適切な参加者に対し、事務局がその参加承認を取り消すことができる。
- ・一部の地方自治体においては、当該自治体が発注する建設工事の建設発生土の搬出先について、各種法令の開発許可等が得られているかを確認するなど、搬出先としての事前登録を求めている機関があることに留意することが必要である。
- ・官民マッチングは、公共工事発注者、民間工事受発注者双方の責任において実施するものであり、官民マッチング事務局は一切の責任を負わない。

5. おわりに

本稿では、官民間で建設発生土を工事間利用することを目指した官民マッチングについて紹介させていた

だいた。これまでの試行において、民間建築工事担当者より利用調整業務の煩雑さや土量調整の経験、ノウハウが乏しいことから、参画に躊躇する声を聞いている。

今後、工事間で土量や時期等を調整するコーディネーターの運用も含めて検討することで、更なる官民マッチングの実現、建設発生土の有効利用に貢献してまいりたい。

J C M A

《参 考》

国土交通省 HP 建設発生土の官民有効利用マッチングシステムホームページ
<http://matching.recycle.jacic.or.jp/>

【筆者紹介】

古堅 宏和（ふるかた ひろかず）
国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課
インフラ情報・環境企画室
課長補佐

行政情報

官庁営繕における木材の利用の促進

平 野 裕 丈

「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」（平成 22 年法律第 36 号）（以下、「木材利用促進法」という）は、住宅分野に比べて木造率が低く、潜在的な需要が期待できる公共建築物において、国や地方公共団体が率先して木材利用に取り組むことが重要との考えから制定された。

木材利用促進法の制定を受け、国土交通省官庁営繕部では、公共建築物において木材の利用を促進するため、木造の官庁施設整備に用いる技術基準類の整備、直轄の官庁営繕事業における木材を利用した官庁施設の整備等を進めてきた。本稿ではその取組を報告する。

キーワード：官庁営繕、木材利用、木造化、技術基準類、CLT

1. はじめに

森林は、木材の生産機能に加え、地球温暖化の防止、国土の保全、水資源の貯留・浄化など、公益的機能をもつ。これらの機能が発揮されるためには、健全な森林を維持させることが必要である。図—1 のとおり森林における「植える→育てる→使う→植える」のサイクル（木材資源の循環利用）を推進することで、適切な森林整備が確保されるとともに、将来にわたる木材の利用が可能となる。特に、高齢の人工林は、適時適切に伐採して跡地に再び植栽を行うことで、森林の「若返り」と年齢構成の平準化を図る必要がある¹⁾。

2. 木材利用促進法の制定

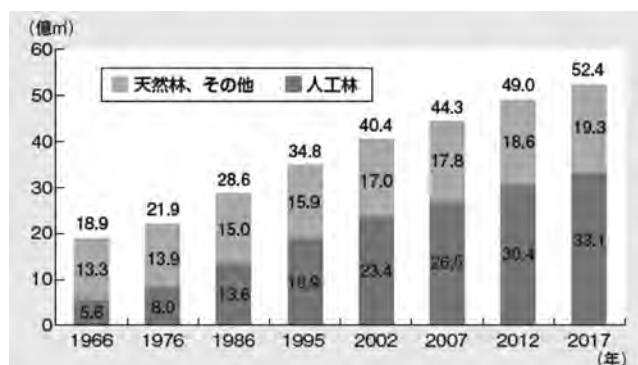
(1) 法制定の背景

日本の森林資源は、森林蓄積量がこの半世紀で約 2.7 倍になり、特に人工林では約 5.9 倍にも達している。森林蓄積量は図—2 のとおり、平成 29（2017）年 3 月末現在で約 52 億 m^3 となっており、このうち人工林が約 33 億 m^3 と約 6 割を占め、平成 22 年（2010 年）の木材利用促進法制定の時期には年平均で約 1 億 m^3 増加している²⁾。一方、木材需要量は図—3 のとおり、近年は減少傾向にあった。森林資源の年間蓄積量が約 1 億 m^3 であるのに対し、平成 22 年時点の年間木材総



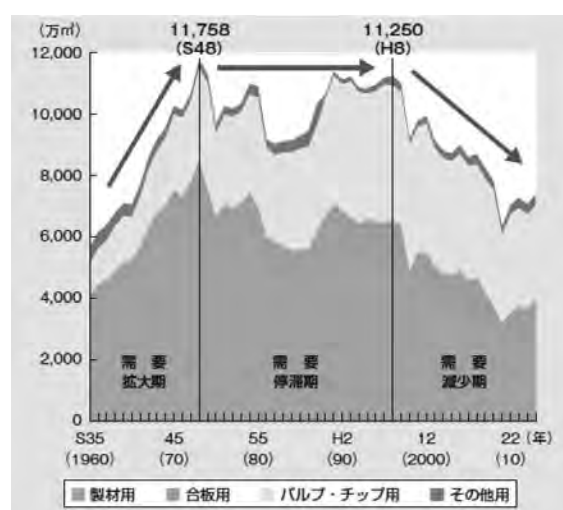
出典：平成 26 年度 森林・林業白書

図—1 木材資源の循環利用



注：1966 年は 1966 年度，1976～2017 年は各年 3 月 31 日現在の数値。
出典：平成 30 年度 森林・林業白書

図一 2 日本の森林蓄積の推移



出典：平成 26 年度 森林・林業白書

図一 3 木材需要量（用途別）の推移

需要量は 7,025 万 m^3 であり，年間蓄積量が年間木材総需要量を上回っている状況にあった。

戦後に造成された人工林が資源として利用可能な時期を迎え，森林年間蓄積量と木材総需要量をみる限りでは木材は自給できる状況にあった。しかし，林業生産活動の低迷に伴い，森林の中には手入れが十分に行われず，国土保全など森林の多面的機能の低下が大いに懸念される事態となっていた。また，多くの人工林資源が成熟して収穫期を迎えているにもかかわらず十分に利用されていない状況にあった。このような状況を克服し，木材資源の循環利用を推進するため，木材の需要を喚起し，林業の持続的かつ継続的な発展を促し，森林の適正な整備及び木材の自給率を向上させる必要があった。

(2) 木材利用促進法の制定

木材は，軽い割に強度が高いなど，建築材料として優れた特長があることから，住宅分野を中心に利用されてきたが，公共建築物における木造建築物の割合

(7.5%) は，建築物全体 (36.1%) と比べて低い状態にあった³⁾。

森林資源の現状をふまえ，木材の需要を喚起するためには，住宅分野に比べて木造率が低く，潜在的な需要が期待できる公共建築物において，国や地方公共団体が率先して木材利用に取り組むことが重要との考えから，木材利用促進法は制定された⁴⁾。木材利用促進法は，国が率先して公共建築物における木材利用の促進に取り組むとともに，地方公共団体や民間企業等に対しても，国の方針に即した取組を促すことにより，住宅など一般建築物への波及効果を含め，幅広い分野での木材需要を拡大することをねらいとしている³⁾。

なお，木材利用促進法の施行以降，木材総需要量は回復し，平成 29 年時点の年間木材総需要量は 8,185 万 m^3 となっている²⁾。また，木材自給率は平成 23 年より 7 年連続で上昇し，平成 29 年の木材自給率は 36.1% となっている⁵⁾。

3. 技術基準類の整備

(1) 公共建築物における木造化

戦後復興において，戦中・戦後の伐採に伴う森林の荒廃により大規模な山地災害や水害が発生したため，国内の森林を保全するために森林の造成や伐採の規制が行われた。また，以下のとおり建築物と都市の不燃化が推進されたために，公共建築物における木材利用が抑制されてきた。

「都市建築物不燃化の促進に関する決議」（昭和 25 年 4 月 30 日衆議院決議）

- ・新たに建設する官公衙等は原則として不燃構造とする。

「木材需給対策」（昭和 26 年閣議決定）

- ・都市建築物等の耐火構造化，木材消費の抑制，未開発森林の開発。

「官公庁施設の建設等に関する法律」（昭和 26 年法律第 181 号）

- ・庁舎の構造（防耐火）を規定。

「木材資源利用合理化方策」（昭和 30 年 1 月 21 日閣議決定）

- ・耐火建築の普及奨励を推進し，国及び地方公共団体は率先垂範する。

「建築防災に関する決議」（昭和 34 年日本建築学会）

- ・防火，耐風水害のために木造を禁止する決議。

木材利用促進法が制定されたことにより，これらの非木造を指向してきた考え方を抜本的に転換し，可能な限り木造化又は内装の木質化を図ることとなった。

このため、国土交通省官庁営繕部では、木造に関する技術基準類の整備を進めてきた。

(2) 木造に関する技術基準類の整備状況

国土交通省官庁営繕部では、「木造計画・設計基準及び同資料」を制定、公表している。これは、住宅用途の建築物と比較して、一般的に柱のスパンが大きく、重量のある什器・設備機器の積載荷重等を考慮しなければならない事務用途の官庁施設について、木造建築物としての技術的な課題を検討し、標準的な手法を定めることにより設計の効率化を図ることを目的としており、木造の官庁施設の計画及び設計に関する標準的な手法、及び耐久性や構造計算等の技術的事項を定めたものである。平成29年3月の最終改定では、CLTパネル工法を新たな構造方法として規定するなど、新たな木質部材・新技術・新工法を追加するとともに、関係法令・関係基準等の改定内容にあわせて改定した。

また、「公共建築木造工事標準仕様書（平成31年度版）」を制定、公表している。これは、木造の官庁施設の品質確保、施工の効率化に資すること等を目的としており、木造工事以外の工事に用いる公共建築工事標準仕様書（建築工事編）等と同じく、各省庁が官庁営繕事業を実施するための国の「統一基準」として位置づけており、3年ごとに改定している。平成31年4月の最終改定では、CLTパネル工法の規定を新たな構・工法として追加し、具体的な材料や施工方法を規定するとともに、木材を用いた耐火構造（木質耐火部材）の規定を追加した。

なお、公共建築木造工事標準仕様書は、低層で小規模な木造事務庁舎の新築及び増築に係る工事への適用

を想定するとともに、全国で実施される公共建築工事で活用されることを前提として、標準化された規格があること、全国的な市場性があること、適切な実績があること等の各種条件を考慮して、個々の材料、工法等が取り入れられるルールとなっている。

その他、「官庁施設における木造耐火建築物の整備指針」、「木造事務庁舎の合理的な設計における留意事項」、「木材を利用した官庁施設の適正な保全に資する整備のための留意事項」等の技術資料を公表している。

4. 官庁営繕事業における木造化の取組

(1) 木造化の範囲

「公共建築物等における木材の利用の促進に関する基本方針」（以下、「基本方針」という。）において、国は、耐火建築物とすること又は主要構造部を耐火構造とすることが求められていない低層の公共建築物について、原則として全て木造化を図る（ただし、表1の木造化になじまない施設を除く）。また、直接又は間接的に国民の目に触れる機会が多い部分においては原則、内装等の木質化を図るとしている。

表1 基本方針に示された木造化になじまない施設

- | |
|-------------------------------|
| ①災害時の活動拠点室等を有する災害応急対策活動に必要な施設 |
| ②刑務所等の収容施設 |
| ③治安上又は防衛上の目的等から木造以外の構造とすべき施設 |
| ④危険物を貯蔵又は使用する施設 |
| ⑤伝統的建築物その他の文化的価値の高い建築物 |
| ⑥博物館内の文化財を収蔵し、又は展示する施設 |

表2 国土交通省官庁営繕部における木造化・内装等木質化の実績

項 目	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度
官庁施設の整備棟数 ^{※注1}	48	58	78
〃 延面積 (m ²)	234,378	79,611	287,630
うち新営棟数	43	48	66
延面積 (m ²)	160,729	68,181	187,022
うち低層棟数 ^{※注2}	11	13	25
延面積 (m ²)	1,533	896	2,456
うち木造化棟数	1	5	16
(木造化率)	(9.0%)	(38.5%)	(64.0%)
木造化延面積 (m ²)	72	305	2,114
(木造化率)	(4.7%)	(34.0%)	(86.1%)
うち内装等木質化棟数 ^{※注3}	22	30	33
木材使用量 (m ³)	202	221	647
うち国産材 (m ³)	97	152	512
(国産材率)	(48.0%)	(68.8%)	(79.1%)

注1：新営（新築，増築，改築），模様替（玄関ホール，情報公開窓口，広報・消費者対応窓口，記者会見場など，直接又は報道機関等を通じて間接的に国民の目に触れる機会が多い部分を含む模様替）及び木材が利用された改修工事を行った建築物。支出委任工事及び受託工事を含む。

注2：新営（新築，増築，改築）のうち，公共建築物における木材の利用の促進に関する基本方針において積極的に木造化を促進するとされている低層の公共建築物。

注3：木造化したものを除く。

(2) 木材利用の取組実績

官庁営繕事業では、基本方針に基づき、木造化及び内装等の木質化を進めてきた。平成 29 年度において表—2 のとおり、積極的に木造化を促進するとされている低層の公共建築物の木造化率は棟数で 64%、延べ面積において 86% となっており、前年に引き続き増加している⁵⁾。

(3) 木材利用の取組事例

(2) のとおり木造化及び内装等の木質化を進めてきたところであるが、基本方針では木造化や内装等の木質化にあたって、CLT（直交集成板）や木質耐火部材等の新たな木質部材の活用に取り組むとされている。これを受け、官庁営繕事業では、林野庁所管予算の委任を受けた森林管理署の新築を中心として、CLT パネルを活用した施設整備の検討を行い、平成 30 年度末までに初めて 2 件の物件が完成したので報告する。

① 嶺北森林管理署（写真—1, 2）

嶺北森林管理署庁舎は、国の庁舎整備で初めて本格的な CLT パネル工法を採用した事例である。主要構

造部の壁、2 階床、屋根は全て地場産ラミナを使用した CLT パネルで構成し、軒・外壁・内壁では使用した構造用 CLT パネルの見える化を実施した。また、CLT パネルの断熱性能を活かし、外壁断熱材を省略している。

② 西都児湯森林管理署（会議室棟、写真—3, 4）

西都児湯森林管理署では会議室棟をコンパクトにまとめ、CLT パネル工法で構成した事例である。CLT パネルをはじめとして、事務室吹き抜け部の梁をあらわす等、木材活用を表現したデザインとしている。



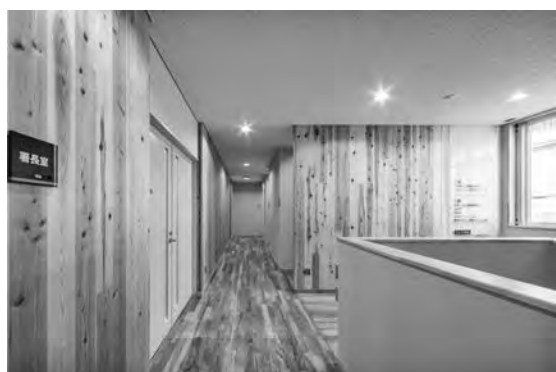
写真—3 西都児湯森林管理署 外観（右手が会議室棟）



写真—1 嶺北森林管理署 外観



写真—4 西都児湯森林管理署 会議室



写真—2 嶺北森林管理署 2 階廊下

施設概要

施設名称：四国森林管理局 嶺北森林管理署
住 所：高知県長岡郡本山町本山 850
構 造：木造 2 階建（CLT パネル工法）
延べ面積：524.6 m²

施設概要

施設名称：九州森林管理局 西都児湯森林管理署
住 所：宮崎県西都市大字妻 909 番 5
構 造：木造平屋建て（一部 CLT パネル工法）
延べ面積：425.9 m²

5. 今後の取組

(1) 技術基準類の整備

国土交通省官庁営繕部では、木造に関する建築基準法の改正、新たな木質部材の活用、新技術・新工法の開発等の木造建築物の環境の変化に対応することで、公共建築物における木材利用の一層の促進を図ることを目標とし、木材活用事例の情報収集、技術基準類の改正、その他整備手法に関する技術資料の取り纏めを行う。

(2) 官庁施設整備における木材利用

今後も木材利用促進法に基づき、耐火建築物とすること又は主要構造部を耐火構造とすることが求められない低層の公共建築物等は原則、木造化を図るとともに、直接又は間接的に国民の目に触れる機会が多い部分においては原則、内装等の木質化を図る。また、木造化や内装等の木質化に当たっては、技術開発の推進や木造化に係るコスト面の課題の解決状況等を踏まえ、CLT（直交集成板）、木質耐火部材等の新たな木質部材の活用に取り組む。

んでいる。今後も、技術基準類の整備や官庁施設整備により、木材利用促進のための環境整備、普及促進に取り組んでいく。

J C M A

《参考文献》

- 1) 林野庁 平成 26 年度 森林・林業白書
- 2) 林野庁 平成 30 年度 森林・林業白書
- 3) 林野庁 平成 22 年度 森林・林業白書
- 4) 林野庁 公共建築物等木材利用促進法のあらまし
- 5) 林野庁 平成 29 年木材需給表
- 6) 国土交通省 国土交通省における木材利用推進状況について（平成 29 年度）

6. おわりに

公共建築物における木材利用促進は、木材利用促進法の施行後 9 年目に入り、技術基準類の整備が進み、官庁営繕における木造の実施事例も増えてきた。また、地方自治体では中大規模の木造施設や小屋組等の一部に木材を使用した大空間を有する施設等の事例も増えており、木造に関する新技術・新工法の開発が進

【筆者紹介】



平野 裕丈（ひらの やすたけ）
国土交通省 大臣官房 官庁営繕部
整備課 木材利用推進室
木造企画係長



CFRP を用いた鋼構造物の補修・補強技術

大 垣 賀津雄

近年、橋梁やプラントなどの既設鋼構造物において、腐食劣化が多く見受けられる。このような鋼構造物を補修する際に、溶接やボルトで部材を取付ける工法が一般的であるが、種々の設計・施工上の配慮が必要である。一方、炭素繊維強化プラスチック（以下、CFRP と呼ぶ）は、軽量、腐食しない、および施工が容易等の長所があり、鋼構造物腐食部の補修工法として適用されるようになってきている。さらに、近年、耐震や活荷重等の基準改定に伴い、鋼構造物の耐荷力不足に対する CFRP 補強にも適用できるように、実験的な検討を実施してきており、研究成果がまとめられてきている。本稿はこれらの研究内容を紹介するものである。

キーワード：鋼構造，CFRP，座屈，補修，補強

1. はじめに

現在、我が国の鋼構造部材は経年劣化に伴う鋼板の減肉、地震時荷重や設計活荷重の増加に伴う耐荷力不足が見受けられる。これらの補強工法には、当て板をボルトや溶接によって接合する工法などがあるが、施工時に重機などの機材が必要となり、作業法や作業手順も複雑で施工性に優れない。このため、軽量で施工が容易な CFRP シートを鋼部材に貼付して、補修・補強を行う工法が適用されてきている^{1), 2)}。

しかし、この工法の主な課題としてはく離がある³⁾。従来の CFRP シート接着工法では、はく離対策に 1 層ごとに端部をずらして貼付した場合（以下、ずらし貼りと呼ぶ）は、はく離抑制はできるが十分とはいえない^{4), 5)}。そのため、高伸度弾性パテ材（以下、パテ材と呼ぶ）を鋼部材と CFRP シートの間に施工し、水平せん断による剥がれ対策を採用した研究を行っている^{6), 7)}。現行の工法では、パテ材とずらし貼りの両方の対策をとっている²⁾。

しかし、パテ材単独で適用した状態における確認実験を十分に行わないまま、ずらし貼りを前提として検討を行っており、大きさが制限される箇所では、施工性に欠けている状況にある。そこで、CFRP シートと鋼材の間にパテ材を挿入し、CFRP シートのずらし量をとらずに積層した鋼製梁の載荷実験を行い、ずらし貼りを行わなくてもはく離しないことを確認した⁸⁾。

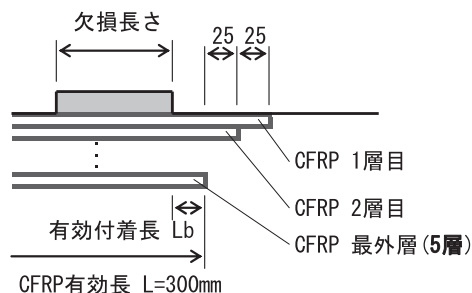
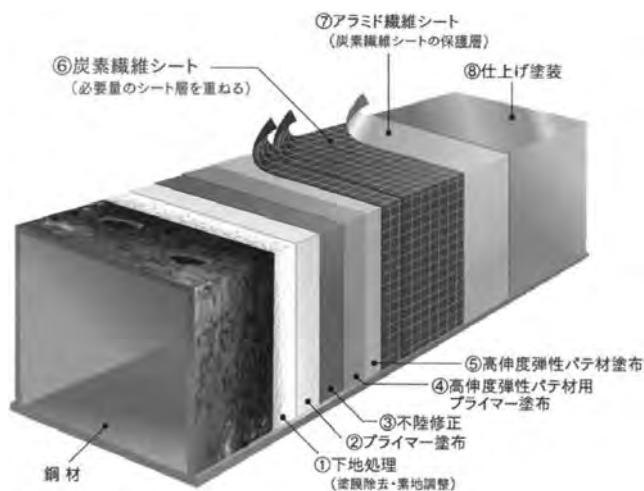
一方、CFRP シート接着による鋼部材の腐食に対す

る補修検討は数多くあるが、座屈に対する補強検討は十分には行われていない。そこで本研究では、3 種の幅厚比パラメータを有する鋼短柱を用い、CFRP シートの種類、貼付け方向、パテ材の有無をパラメータとした一軸中心圧縮実験を行い、各パラメータが局部座屈強度に与える影響の検討を行った⁹⁾。これらの結果を踏まえ、CFRP シートによるプレートガーダー腹板の曲げやせん断に対する補強効果確認実験を実施している^{10)~13)}。今後、これらの研究成果に基づき、CFRP による薄肉鋼部材の座屈耐荷力補強工法の適用事例が増加するものと考えている。

2. CFRP シートによる補修

CFRP シートをエポキシ樹脂で接着すると、その接着端部で降伏点に至る前にはく離が生じることがわかった³⁾。そこで施工に際して、CFRP シートの各層を階段状にずらして貼付けることを考え、FEA 解析や載荷実験による確認を行った⁴⁾。図—1 に示すように、25 mm ずらして階段状に貼付けることで、接着端部界面の応力集中を緩和できることがわかった。

しかしながら、上述のずらし貼り対策を行っても、樹脂による FRP 接着には限界があることが明らかにされており、降伏点前後ではく離が生じている⁵⁾。鋼橋は薄肉構造であり、局部的な座屈変形を生じた後も十分な補強効果を発揮させるために、鋼板と FRP の間に表—1 に示すような物性のパテ材を挿入し、FRP

図-1 CFRP シート接着端部のずらし貼り工法⁴⁾図-2 軸力部材のCFRPシート接着工法²⁾

接着が大変形に追従できるようにすることを考え、実験的な確認を行っている^{6), 7)}。これらの成果は図-2に示す通り、マニュアルにまとめられている²⁾。

3. CFRP シートによる座屈耐荷力補強

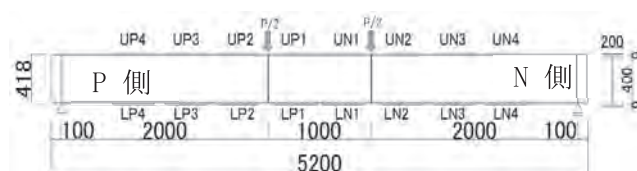
(1) 研究の目的

現行の工法では、パテ材とずらし貼りの両方の対策をとっているが、薄肉鋼部材の耐荷力補強においては、腹板、フランジおよび補剛板など大きさが制限される箇所において、ずらし貼りできないケースがある。

そこで、CFRPシートと鋼材の間にパテ材を挿入した場合と、鋼材表面に直接エポキシ樹脂により含浸接着した場合のはく離限界および応力低減効率を確認することとした。

(2) 実験内容

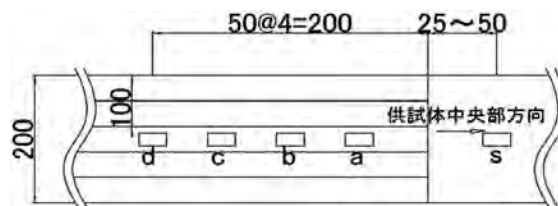
本実験供試体は、長さ5,200 mm、桁高さ418 mmのH形断面であり、その鋼製梁の上下フランジに対してCFRP補強を施したものである。繊維方向は鋼製梁の部材軸方向とした。供試体および载荷要領を図-3に示す。鋼製梁の断面寸法および材料諸元については表-1に示す。この鋼製梁に表-2に示す

図-3 梁供試体および载荷要領⁸⁾表-1 梁供試体の諸元⁸⁾

鋼種	断面寸法 (mm)		弾性係数 (GPa)	降伏応力 (MPa)
	フランジ	腹板		
SS400	200 × 9	400 × 6	205	359

表-2 梁供試体のCFRPシートおよび樹脂の諸元⁸⁾

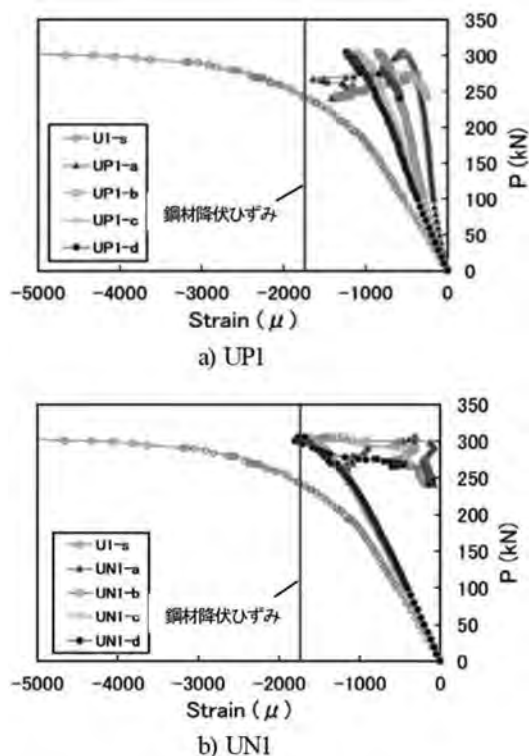
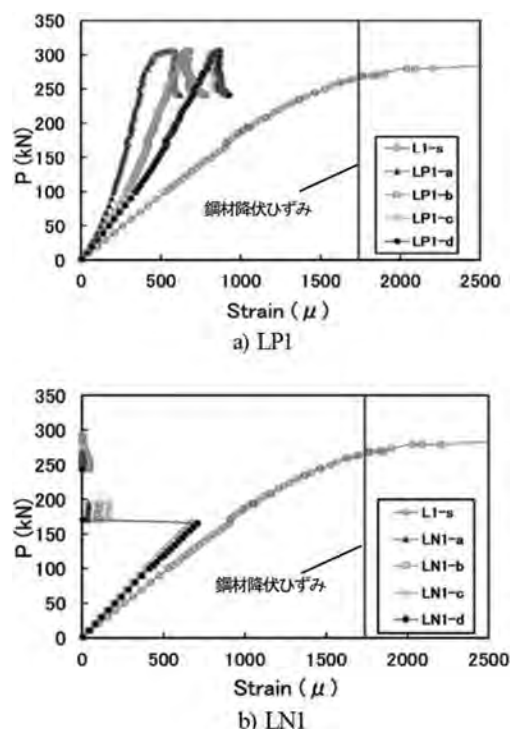
項目	設計厚・塗布厚 (mm)	目付量 (g/mm ²)	弾性係数 (GPa)	引張強度 (MPa)
CFRPシート	0.143	305	644	2,660
パテ材	0.82	—	0.073	9
エポキシ樹脂	0.51	—	2.6	64

図-4 梁供試体のCFRP接着部計測位置⁸⁾

CFRPシートをエポキシ樹脂により含浸積層接着した。供試体長さ方向の中央より左側(P側)では、CFRPを貼付する際に鋼部材とCFRPの間にパテ材を挿入しており、上(U)下(L)フランジパネル1~4にCFRPシートを貼付した。一方、右側(N側)ではパテ材を挿入せずに、直接エポキシ樹脂でCFRPシートを含浸積層貼付した。また、本供試体では層ごとにずらし貼りはせず、同じ大きさのCFRPシートを5層積層している。本実験供試体の計測位置を図-4に示す。CFRP設置位置近傍の鋼部材測点Sに、またCFRP上面に端部から50 mm間隔で測点a~dに1軸ひずみゲージを設置した。

(3) 実験結果

供試体の上下フランジパネル鋼材部とCFRPの荷重-ひずみ線図を図-5, 6に示す。表-3にはく離荷重、はく離ひずみを示す。同図よりUP1, UN1, LN1でCFRP上のひずみが急減しており、はく離が生じていることがわかる。UN1, UN2のはく離はピーク荷重に達する前に発生している。一方、UP1のはく離

図—5 上フランジのひずみ分布⁸⁾図—6 下フランジのひずみ分布⁸⁾表—3 梁供試体の CFRP シートはく離荷重とはく離ひずみ⁸⁾

パネル	はく離荷重 kN	はく離ひずみ (鋼材) μ
UN1	260	-2,062
UN2	254	-1,940
LN1	165	905
LN2	194	963
LN3	274	1,024

離はピーク荷重を過ぎた後に発生しており、UN1 よりも鋼材部のひずみが大きい段階ではく離している。P 側では、鋼材と CFRP の間に挿入したパテ材が有効に働き、端部に生じるせん断応力を緩和し、はく離荷重が上昇したものと考えられる。

パテ材なしの UN1, LN1 では a 点～d 点のひずみ値がほとんど変わらず、鋼材からすぐに伝達していることがわかる。一方、パテ材ありの UPI, LP1 では、端部に近い a 点から内側の d 点になるに従い CFRP 上のひずみが増加しており、c 点と d 点の値はほとんど同程度に収れんしていることがわかる。

表—3 から、下フランジにおいては LN1 ～ 3 ではく離が生じた。これらは鋼材が弾性範囲内ではく離しており、補強という観点で機能不十分であるといえる。同表から、引張側パテ材なしの場合では、鋼材ひずみが $900 \sim 1,100 \mu$ (降伏点の $50 \sim 65\%$) ではく離が生じ、圧縮側では約 $-2,000 \mu$ (降伏直後) ではく離が生じることがわかる。一方、パテ材ありでは、ピーク荷重を過ぎた後もはく離は生じ難いことがわかる。

4. CFRP シートによる座屈耐荷力補強

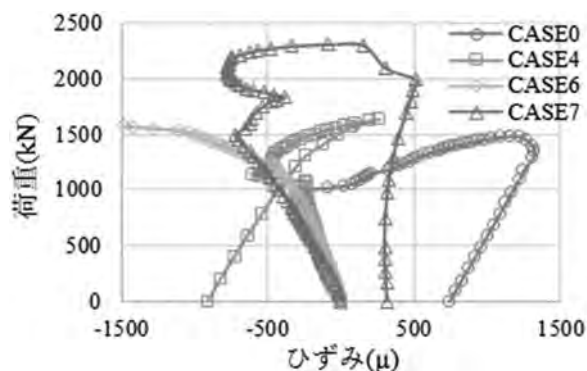
(1) 研究の目的

鈑桁端部の腹板腐食に対する合理的な補修・補強工法を確立することを目的とし、その基礎研究として、せん断を受ける桁端部の CFRP シートによる耐荷力補強実験を実施して、その性能を確認している⁷⁾。しかしながら、これらの内容は、桁端部の下フランジ溶接部近傍の腹板腐食による鋼桁耐荷力低下時において、その耐荷性能回復を目的とした補修の検討である。そのため、鋼桁の座屈耐荷力の向上を目的とした補強を行うためには、実験や解析などのデータ不足であるといえる。

周知の通り、鋼橋の大部分は、鈑桁や箱桁構造であり、軸力、曲げモーメントおよびせん断力に対して、フランジ、腹板および補剛板などの局部座屈に対する補強を行えば、全体の耐荷性能が向上すると考えられる。そこで、補剛板の幅厚比、CFRP シートの種類、貼付け方向、パテ材の有無などをパラメータとした H 形短柱の一軸中心圧縮実験を行い、各パラメータが局部座屈強度に与える影響を検討した⁸⁾。

(2) 実験内容

本圧縮実験供試体は図—7 に示すような H 形断面の短柱とした。腹板の寸法は、高さ 720 mm、幅 360 mm で、板厚は 6 mm を基本とし、比較のため、8



図—8 H形短柱腹板の軸ひずみ (CASE0, 4, 6, 7)⁹⁾

比較すると、腹板座屈荷重の全塑性に対する比率が5～11%、終局荷重は14～24%中弾性の方が高いことがわかる。腹板座屈荷重の違いは、中弾性の方が積層数は多く、同じ引張剛性でも曲げ剛性が高くなるためであり、腹板座屈荷重よりも終局荷重の方がより高くなるのは、シートの強度の違いによるものであると考えられる。高弾性では、早期にシートの座屈破壊が観察された。

また、CASE6とCASE8を比較すると、ストランドシートは中弾性シートと同等の引張剛性・引張強度にあるにも関わらず、腹板座屈荷重、終局荷重ともにストランドシートの方が大きい結果となった。これは、ストランドシートの方が、施工厚が大きく板曲げ剛性が高くなったためと考えられる。座屈強度の評価には、CFRPシートを引張剛性ではなく、曲げ剛性換算にて評価する必要があることがわかった。

②貼付け方向の影響

CASE1とCASE4を比較すると、鉛直方向のみを補強するよりも、水平方向も併せて補強することで、腹板座屈荷重は変わらないが、終局荷重が大きくなることがわかった。軸方向の剛性は変わらないため腹板座屈荷重は向上しないが、腹板座屈の面外変形に対しては水平方向のシートも抵抗するため、終局荷重が向上したと考えられる。

③パテ材の影響

同条件の供試体において、パテ材なしの方が、ありと比較して腹板座屈荷重、終局荷重ともに高い結果となった。これはパテ材の弾性係数が低く、補強効果のロスが発生したためと考えられる。

本実験では、端部の局率が大きくなりパテ材なしでもシート端部においては離れは発生しなかった。しかしながら、3章で述べた通り、実構造物においては、座屈が生じて剥がれないように、パテ材による施工を行い、じん性向上を図る必要がある。

5. おわりに

以上、本稿ではCFRPのはく離限界ひずみについて言及し、パテ材の有用性を実験により明らかにした。以下にその知見を示す。

- ・パテ材なしの場合、引張側は降伏点の50～65%ではく離する。
- ・パテ材がある場合では、引張側も圧縮側も最大荷重まではく離は生じない。

また、鋼短柱を用いて、CFRPシートの種類、貼付け方向、パテ材の有無をパラメータとした一軸中心圧縮実験を行い、各パラメータが局部座屈強度に与える影響を検討した結果、中弾性CFRPシートを用いて、鉛直方向および水平方向それぞれを補強することが望ましいことがわかった。

以上の結果を踏まえ、中弾性CFRPシートによるプレートガーダー腹板曲げ座屈補強を行い、鋼桁の曲げ耐荷力向上が十分期待できることを明らかにした^{10), 11)}。

また、せん断補強に対しては高弾性CFRPシートが有効であるが¹²⁾、曲げせん断を受ける場合については中弾性CFRPシートで補強効果を確認している¹³⁾。

今後、CFRPシートによる鋼構造物の補修・補強工法に関する設計・施工マニュアル²⁾に、これらのプレートガーダーの耐荷力補強に関する知見を追加して、大規模更新工事に対応できるようにすることが喫緊の課題である。

JICMA

《参考文献》

- 1) 土木学会複合構造委員会：FRP接着による構造物の補修・補強指針(案)、2018.7
- 2) 株式会社道路総合技術研究所：炭素繊維シートによる鋼構造物の補修・補強工法 設計・施工マニュアル、2013.10
- 3) 杉浦江、大垣賀津雄、長井正嗣、小林朗：炭素繊維シート(CFRP)を用いた鋼部材部分補修に関する実験研究、土木学会、第6回複合構造の活用に関するシンポジウム、2005.11
- 4) 杉浦江、小林朗、大垣賀津雄、稲葉尚文、富田芳男、長井正嗣：鋼部材腐食損傷部の補修における炭素繊維シート接着方法に関する解析的研究、土木学会論文集A、Vol.64、No.4、pp.806-813、2008.11
- 5) 杉浦江、大垣賀津雄、稲葉尚文、富田芳男、長井正嗣、小林朗：炭素繊維シートを用いた鋼部材断面欠損部の補修効果に関する実験的研究、土木学会、構造工学論文集、Vol.54A、pp.548-554、2008.3
- 6) 奥山雄介、宮下剛、緒方辰男、藤野和雄、大垣賀津雄、秀熊佑哉、堀本歴、長井正嗣：鋼桁腹板の合理的な補修・補強方法の確立に向けたFRP接着鋼板の一軸圧縮試験、土木学会、構造工学論文集、Vol.57A、pp.735-746、2011.3
- 7) 若林大、宮下剛、奥山雄介、秀熊佑哉、小林朗、小出宜央、堀本歴、長井正嗣：高伸度弾性パテ材を用いた炭素繊維シート接着による鋼桁補修設計法の提案、土木学会論文集F4、Vol.71、No.1、pp.44-63、2015.3
- 8) 菊池新平、大垣賀津雄、飯塚正貴、小林朗、秀熊佑哉、宮下剛、奥山雄介：鋼製梁を補強したCFRPシートの接着限界に関する実験研究、土木学会、第12回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム、(28)、2017.11
- 9) 秀熊佑哉、小林朗、大垣賀津雄、菊池新平、宮下剛、奥山雄介：炭素繊維シート接着により補強された鋼短柱の局部座屈強度に関する実験

- 研究, 土木学会, 第72回年次学術講演会, 第1部門I-044, 2017.9
- 10) 服部雅史, 広瀬剛, 大垣賀津雄, 宮下剛, 奥山雄介, 小林朗, 秀熊祐哉:2軸対称鉄桁のCFRPによる曲げ耐力補強に関する実験的研究, 日本鋼構造協会, 鋼構造論文集, 第25巻, 第99号, 2018.9
- 11) 原田拓也, 広瀬剛, 大垣賀津雄, 宮下剛, 奥山雄介, 小林朗, 秀熊祐哉:1軸対称鉄桁のCFRPによる曲げ耐力補強に関する実験的研究, 土木学会, 第7回FRP複合構造・橋梁に関するシンポジウム, pp.155-162, 2018.11
- 12) 菊地新平, 鈴木優人, 大垣賀津雄, 奥山雄介, 宮下剛, 秀熊祐哉, 小林朗, 原田拓也:CFRPシートによる腹板の補強方法をパラメータとしたせん断耐力に関する実験的研究, 土木学会, 第73回年次学術講演会, 第I部門I-173, 2019.9
- 13) 下前照, 菊地新平, 大垣賀津雄, 原田拓也, 長谷俊彦, 宮下剛, 奥山雄介, 秀熊祐哉, 西野晶弘:曲げとせん断を受けるプレートガーダーのCFRPシートによる補強効果に関する実験研究, 土木学会, 第73回年次講演会, 第I部門I-172, 2019.9



[筆者紹介]

大垣 賀津雄 (おおがき かずお)
ものづくり大学 技能工芸学部 建設学科
教授



CFRP 接着された鋼構造物の応力伝達メカニズム

石川 敏之

土木分野では、鋼部材への CFRP 接着補修が実施され始めており、土木学会において「FRP 接着による構造物の補修・補強指針（案）」が発刊されている。CFRP 接着接合では、接着剤を介して鋼部材から CFRP へ応力が伝達されるため、応力伝達メカニズムを把握することが重要である。また、CFRP が炭素繊維とマトリックス樹脂からなる複合材料であることも考慮する必要がある。さらに、接着接合のはく離を防止する方法として、土木学会の補修・補強指針（案）ではエネルギー解放率が採用されている。本稿では、CFRP のマトリックス樹脂が、鋼部材から CFRP への応力伝達やエネルギー解放率へ与える影響についても解説する。

キーワード：CFRP 接着鋼板、せん断応力、エネルギー解放率、せん断遅れ

1. はじめに

現在、腐食損傷した鋼構造物に対して、炭素繊維接着（CFRP 接着）補修が行われ始めている。炭素繊維は、軽量で強度や弾性率が高い材料であること、また、接着による補修は比較的容易で施工期間の短縮になることなどから、鋼構造物の腐食損傷に対して期待されている補修法である¹⁾。

CFRP 接着では、接着剤が塗布されている範囲全てにおいて、鋼部材から CFRP に応力を伝達できる。図-1 に示す様な引張を受ける鋼板に CFRP を接着した場合、鋼板と CFRP の相対変位が大きくなる CFRP 端部で特に応力が伝達されやすいため、接着剤に高いせん断応力が生じることになる。

接着接合の応力伝達メカニズムは、古くは、1944 年に Golang-Reissner の研究²⁾（シングルラップ接着接合）や、1973 年の Hart-Smith の研究³⁾（ダブルラップ接着接合）がある。2000 年以降は、曲げを受ける部材への CFRP 接着の応力伝達メカニズムが、Smith ら⁴⁾、Deng ら⁵⁾ の研究で明らかにされている。これらは、接着剤のせん断応力によって部材間の応力の伝達が行われる理論（せん断遅れ理論）であり、微小区間の力のつり合いから求められる微分方程式の解として与えられている。

鋼部材への CFRP 接着は、このせん断遅れ理論による、応力の伝達メカニズムが適用できるが、CFRP は炭素繊維とマトリックス樹脂によって構成される複

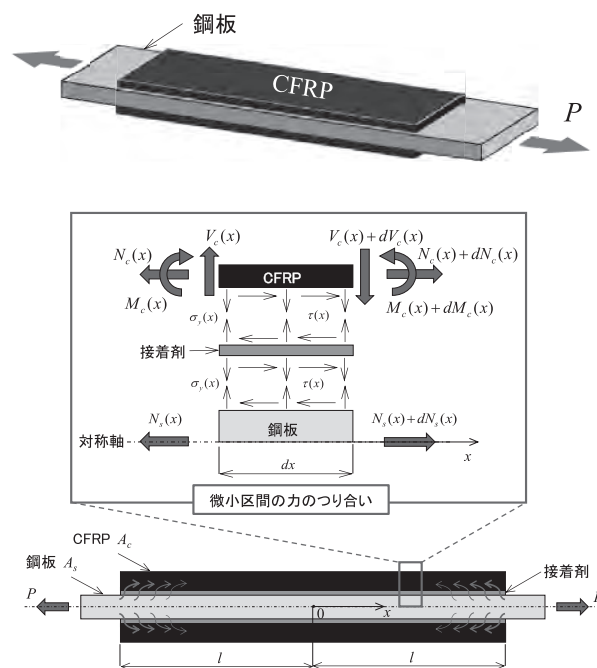


図-1 引張を受ける CFRP 接着鋼板と微小区間の力のつり合い

合材料であり、また、複数積層する場合が多いことなど、これまでのせん断遅れ理論が適用できない場合がある。しかし、近年、CFRP のマトリックス樹脂の影響を考慮する方法や、複数層の接着に対するせん断遅れ理論が提案されているため、本稿ではそれらの技術を紹介する。また、FRP 接着による構造物の補修・補強指針（案）¹⁾では、接着部からのはく離の指標としてエネルギー解放率が採用されている。エネルギー解放率は、はく離が微小面積だけ増加するときの鋼部

材とCFRPのひずみエネルギーの変化量として比較的簡易な式で与えられている。CFRPのはく離は、接着剤の破壊によって生じるため、接着剤のエネルギー解放率は接着剤に生じる応力と関係がある。本稿では、せん断遅れ理論から与えられる接着剤に生じるせん断応力とエネルギー解放率の関係についても紹介する。

2. 引張を受けるCFRP板接着鋼板の力学

図—1に示す、引張を受ける鋼板の上下にCFRPが接着された場合の力学挙動について説明する。鋼板とCFRPが軸力を受け持ち、接着剤がせん断力を受け持つと仮定して、微小区間の軸方向の力のつり合いから、次式の鋼板応力に対する2階の微分方程式が与えられる^{3), 6)}。

$$\frac{d^2\sigma_s(x)}{dx^2} - c^2\sigma_s(x) = -c^2\xi_0\sigma_{sn} \quad (1)$$

$$\text{ここに, } c = \sqrt{\frac{2b_c G_e}{h} \cdot \frac{1}{1-\xi_0} \cdot \frac{1}{E_s A_s}}, \quad \xi_0 = \frac{E_s A_s}{E_s A_s + 2E_c A_c}, \quad E_s,$$

E_c および G_e は、それぞれ鋼板とCFRPのヤング係数および接着剤のせん断弾性係数、 A_s と A_c は、それぞれ鋼板とCFRPの断面積、 h は接着剤の厚さ、 b_c はCFRPの幅、 σ_{sn} は作用応力 (P/A_s) である。 ξ_0 は、鋼板とCFRPの合成断面に対する鋼板のみの断面の比であるため、CFRP接着によって鋼板応力が低下する度合いを示すパラメータである。

微分方程式を用いた方法では、接着剤が非常に薄いことと、接着剤のヤング係数が鋼やCFRPと比べて非常に小さいことから、接着剤の軸方向の軸力の分担が無視できると考えられている。

図—1の微小区間の力のつり合いの図に示す様に、CFRPにはせん断力 V_c と曲げモーメント M_c も生じ、接着剤の端部付近にはCFRPを引きはがす方向に作用する垂直応力(ピール応力) σ_y が生じる。そのため、それらを考慮した6階の微分方程式や、近似式として接着剤の垂直応力を求めるための4階の微分方程式が与えられている⁷⁾が、ここでは、軸方向の力の伝達についてのみ説明するため、基本的な式(1)のみを用いる。また、式(1)では、CFRPは等方性と仮定して導出されているため、その解においても、CFRPの異方性は考慮されていない。CFRPの材料異方性を考慮した近似解については後の4章で説明する。

図—1に示すような、鋼板の上下面にCFRPが接着された鋼板に対して、CFRPの接着の中央において軸方向に対象となる条件とCFRPの端で鋼板応力が

作用応力になる条件から、式(1)の解は次式で与えられる。

$$\sigma_s(x) = \left\{ \xi_0 + (1-\xi_0) \frac{\cosh(cx)}{\cosh(cl)} \right\} \sigma_{sn} \quad (2)$$

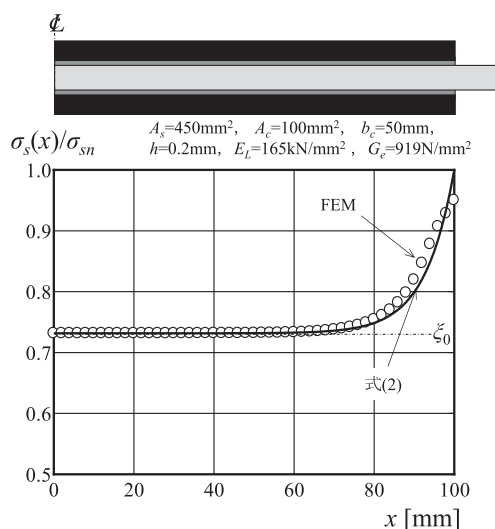
ここに、 l はCFRPの接着半長さ。

接着剤に生じるせん断応力は次式で与えられる。

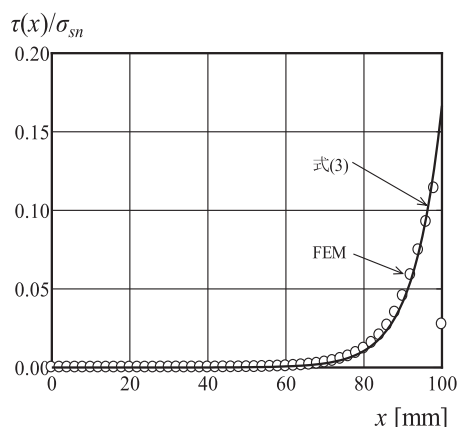
$$\tau(x) = \frac{ct_s}{2} (1-\xi_0) \frac{\sinh(cx)}{\cosh(cl)} \sigma_{sn} \quad (3)$$

ここに、 t_s は鋼板の厚さである。

式(2)、(3)から算出される鋼板応力 $\sigma(x)$ と接着剤に生じるせん断応力 $\tau(x)$ は図—2の実線で示されるような分布になる。この図では、鋼板応力とせん断応力が作用応力 σ_{sn} で除して与えられている。この図には、平面応力要素を用いた有限要素解析(FEM解析)の結果も○印で示しているが、式(2)、(3)の解はFEM解析結果と同様な分布になっていることがわか



(a) 鋼板に生じる応力分布



(b) 接着剤に生じるせん断応力

図—2 CFRP 接着鋼板に生じる応力

る。ただし、接着端部には、部材軸と垂直な方向にも応力 $\sigma_y(x)$ が生じるが、2 階の微分方程式の導出ではその影響を無視しているため、式 (3) の接着剤に生じるせん断応力は、FEM 解析結果よりも若干高くなること⁷⁾、FEM 解析では接着端部が自由境界面となり、せん断応力が急激に 0 に近づくことなど若干の違いがあること⁸⁾ が知られている。また、接着端部では鋼板の断面で応力分布が一定となっていないため、式 (2) の鋼板応力と FEM 解析結果も若干ずれる。

接着剤のせん断応力によって鋼板から CFRP へ応力が伝達されるため、接着剤のせん断応力がほぼ 0 となっている範囲では、鋼板と CFRP とで応力の伝達がなく、両者は完全合成断面となる。また、CFRP の接着長さが長くなっても、CFRP 端部の接着剤に生じるせん断応力が高くなるわけではなく、次式の値に収束する。

$$\tau_e = \frac{ct_s}{2}(1 - \xi_0)\sigma_{sn} \quad (4)$$

図—2 に示すように、CFRP の端部では、鋼板応力が鋼板と CFRP の合成断面となる値まで低下していない。この範囲では、CFRP の補強が設計値 ξ_0 に達していないので、CFRP の補強範囲としては考えられていない。この範囲は式 (2) の鋼板応力の分布から計算でき、FRP 接着による構造物の補修・補強指針 (案) では、式 (2) の鋼板応力が、鋼板と CFRP の合成断面の場合の応力にほぼ収束 (差が 1% と定義) する CFRP の長さとして設計されている。

3. エネルギー解放率

図—1 に示す、引張を受ける鋼板の上下に CFRP が接着された場合、荷重を増加させると CFRP の端部からはく離が生じる。また、接着剤の種類によっては、鋼板が弾性範囲内でも CFRP がはく離する場合がある。FRP 接着による構造物の補修・補強指針 (案)¹⁾ では、接着剤のエネルギー解放率を用いた CFRP のはく離評価が示されている。この指針では、構造系全体のひずみエネルギーの変化量から導出されたエネルギー解放率 G が、次式で与えられている。

$$G = \frac{P^2}{4b_c E_s} \left(\frac{1}{A_s} - \frac{1}{A_v} \right) \quad (5)$$

ここに、 P は CFRP がはく離した時の引張荷重、 A_v は鋼換算した鋼板と CFRP の合成断面 ($= A_s + E_c/E_s$) である。

この式は、CFRP の接着長さが十分長い場合、つま

り鋼板応力が、鋼板と CFRP の合成断面の応力にほぼ収束する CFRP の長さ以上の場合に適用可能である。

他方、接着剤のせん断ひずみ (γ) エネルギーをもとに、エネルギー解放率 G を算出すると次式が得られる。

$$\begin{aligned} G &= \lim_{\delta l_{cr} \rightarrow 0} \frac{\delta U}{b_c \delta l_{cr}} = \lim_{\delta l_{cr} \rightarrow 0} \frac{1}{b_c \delta l_{cr}} \int_V^{\tau_{cr}(x)} \gamma(x) d\tau_{cr} dV \\ &= \frac{h}{2G_e} \lim_{\delta l_{cr} \rightarrow 0} \frac{1}{\delta l_{cr}} \int_0^{\delta l_{cr}} \tau_{cr}(x)^2 dx \\ &= \frac{h}{2G_e} \tau_e^2 \end{aligned} \quad (6)$$

ここに、 l_{cr} は CFRP のはく離長さ。

この式に、式 (4) の CFRP 端部の接着剤に生じるせん断応力の収束式を代入すると、式 (5) のエネルギー解放率と完全に一致する⁹⁾。ただし、 $A_s = t_s \times b_s$ とし、鋼板の幅 b_s は CFRP の幅 b_c と同じとする。

$$\begin{aligned} G &= \frac{h}{2G_e} \tau_e^2 = \frac{hc^2 t_s^2}{8G_e} (1 - \xi_0)^2 \sigma_{sn}^2 \\ &= \frac{P^2}{4b_c E_s} \left(\frac{1}{A_s} - \frac{1}{A_v} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

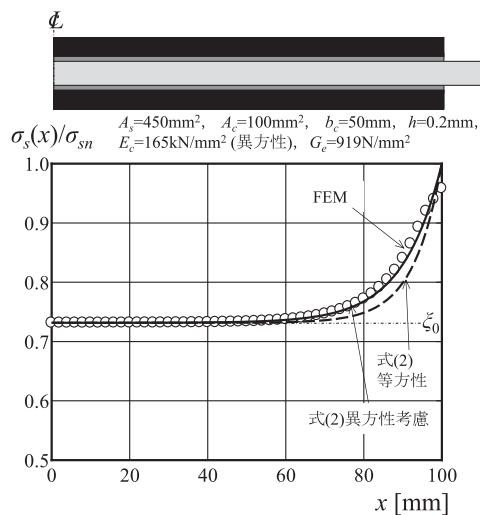
4. CFRP のマトリックス樹脂の影響

CFRP は、引抜成形されたプレートに対して繊維含有率は 60 ~ 70% 程度になるが、炭素繊維に樹脂を含有して成型するハンドレイアップでは、繊維含有率が 40% に満たない。したがって、ハンドレイアップされた CFRP ではマトリックス樹脂が 60% 以上になる。CFRP 内のマトリックス樹脂も、鋼板から CFRP へ応力を伝達する際のせん断遅れ現象を引き起こす。この CFRP 内のマトリックス樹脂の影響は、式 (2)、(3) では考慮されていない。文献 10)、11) において、CFRP 内のせん断応力が 1 次線形性を示す性質から、CFRP 内のマトリックス樹脂の影響を、次式に示すように接着剤の厚さに付加する方法が提案されている。

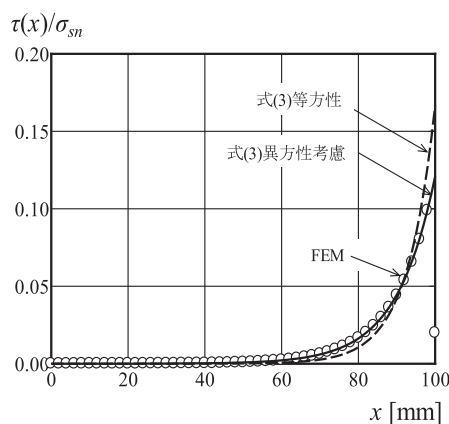
$$h' = h + \frac{t_c}{3} \frac{G_e}{G_{ZL}} \quad (8)$$

ここに、 t_c は CFRP の厚さ、 G_{ZL} は CFRP の ZL 平面 (Z: 板厚方向、L: CFRP の繊維方向) のせん断弾性係数である。

式 (8) から明らかなように、CFRP 内のマトリックス樹脂によるせん断遅れを、接着層厚 h に付加しただけであるため、非常に簡易な式となっている。図—3 に、CFRP を異方性としてマトリックス樹脂のせ



(a) 鋼板に生じる応力分布



(b) 接着剤に生じるせん断応力

図—3 CFRP の異方性を考慮した応力分布

ん断遅れを考慮した解析結果と、式 (2), (3) の h の代わりに h' を代入して計算した結果との比較を示す。この図から明らかなように、 h の代わりに h' を用いることで、式 (2), (3) の鋼板応力と接着剤に生じるせん断応力の応力分布が、解析値と同様になっている。

他方、マトリックス樹脂の影響を考慮したエネルギー解放率は、式 (4) の接着剤のせん断応力の収束値の係数 c の中の h を h' とし、式 (6) の h を h' として計算できるが、その値は式 (5) と同じになる。したがって、エネルギー解放率には、CFRP のマトリックス樹脂が影響しないことがわかる。

5. 複数の CFRP が接着された鋼板の応力分布

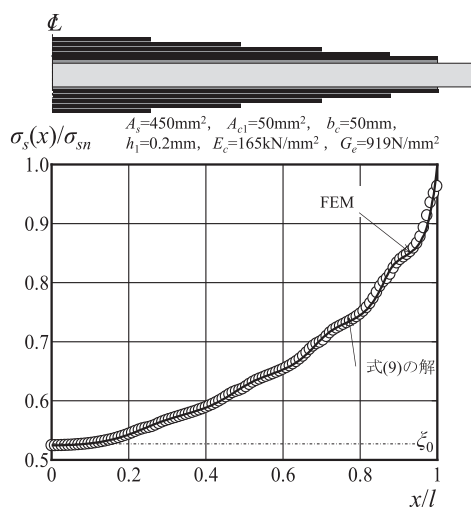
一般に、CFRP 接着補修では、炭素繊維シート、炭素繊維ストランドシートあるいは炭素繊維樹脂成形板をそれぞれ重ねて接着される。これは、CFRP の設計厚さが薄いためである。また、CFRP を重ねて接着し

た場合には、CFRP のはく離を防止するために、CFRP の端部をずらして接着する場合がある。このような複数の段差を有する CFRP 接着鋼板に対しては、式 (2), (3) が利用できない。複数の CFRP が接着された鋼板の応力分布の算出方法として、鋼板のひずみ、CFRP のひずみおよび接着剤のせん断ひずみに対する 1 階の連立微分方程式を固有値解析によって求める方法が提案されている¹²⁾。

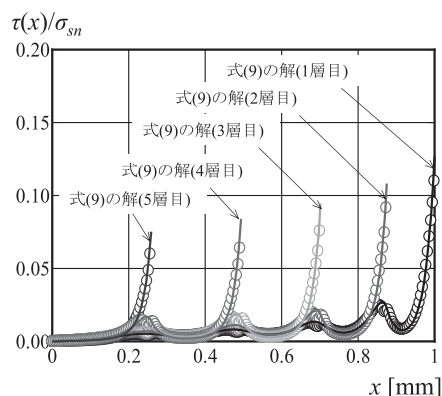
$$\frac{d\varepsilon(x)}{dx} = A_d \varepsilon(x) \quad (9)$$

ここに、 A_d は $(2i+1) \times (2i+1)$ の係数マトリックス、 ε_s 、 ε_{ci} および γ_{ei} は、それぞれ鋼板のひずみ、 i 番目の CFRP のひずみおよび i 番目の接着剤のせん断ひずみである。

図—4, 5 に、CFRP の端部に段差を設けた場合と端部を揃えて重ねた場合の応力分布を示す。これらの図からわかるように、CFRP の端部に段差を設けた場合と端部を揃えて重ねた場合の両方に対して、固有値解析を用いて算出した鋼板応力と接着剤のせん断応力の分布は、FEM 解析の結果と同様な結果になる。し

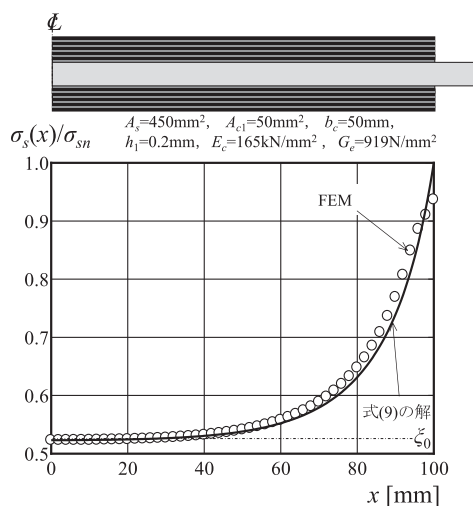


(a) 鋼板に生じる応力分布

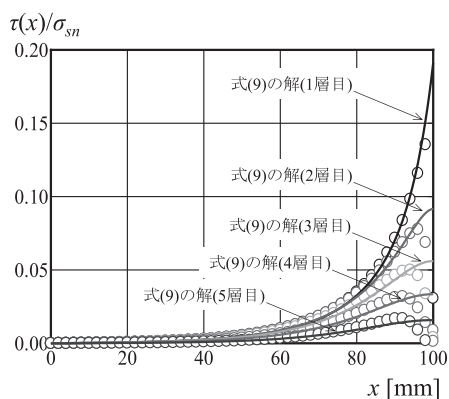


(b) 接着剤に生じるせん断応力

図—4 CFRP を積層した場合の応力分布 (端部段差)



(a) 鋼板に生じる応力分布



(b) 接着剤に生じるせん断応力

図一五 CFRP を積層した場合の応力分布 (端部揃え)

たがって、複数のCFRPが接着された場合であっても式(9)を固有値解析によって解くことで、鋼板応力と接着剤のせん断応力が算出できる。CFRPの端に段差を設けた場合、その段差長が長ければ、1段目のCFRPの端の接着剤に生じるせん断応力は、1段目のCFRPと鋼板の材料定数を式(3)へ代入することで与えられる。他方、複数のCFRPの端を揃えて接着する場合、4章で示した方法と同様に、CFRPと各層の接着剤の材料定数から繊維含有率を計算し、 h' を用いて鋼板応力と接着剤のせん断応力が計算できる。

6. おわりに

本稿では、CFRP接着された鋼構造物の応力伝達メカニズムとして、せん断遅れ理論による応力分布、CFRP内のマトリックス樹脂の影響を考慮した応力分

布および固有値解析を用いたCFRPが複数接着された場合の応力分布について、最新の知見による結果を示した。また、FRP接着による構造物の補修・補強指針(案)¹⁾において、接着部からのはく離の指標として採用されているエネルギー解放率の計算方法についても紹介した。これまでに報告されている鋼部材へのCFRP接着補修の研究の一部の紹介ではあるが、今後、CFRP接着のはく離評価の検討や応力伝達の理解の一助になれば幸いである。

謝 辞

本稿をまとめるにあたり、関西大学大学院の水谷壮志氏にご協力頂いた。ここに記して謝意を示す。

J C M A

【参考文献】

- 1) 土木学会複合構造委員会：FRP接着による構造物の補修・補強指針(案)、複合構造シリーズ09、2018。
- 2) Golang, M., Reissner, E.: The stress in cemented joints, *Journal of Applied Mechanics*, No.66, pp.17-27, 1944.
- 3) Hart-Smith, L.J.: Adhesive-Bonded Double-Lap Joints, Douglas Aircraft Co., NASA Langley Report CR-112235, 1973.
- 4) S.T. Smith, J.G. Teng: Interfacial stresses in plated beams, *Engineering Structures*, 23, pp.857-871, 2001.
- 5) Deng, J., Lee, M.M.K., Moy, S.S.J.: Stress analysis of steel beams reinforced with a bonded CFRP plate, *Composite Structures*, 65, pp.205-215, 2004.
- 6) 大倉一郎、福井唯夫、中村圭吾、松上泰三：炭素繊維シートによる鋼板応力の低下とはく離せん断応力、土木学会論文集 No.689/I-57, pp.239-249, 2001.
- 7) 石川敏之、宮下剛、László Gergely VIGH：一軸引張を受けるCFRP板接着鋼板に生じる応力の高精度解法、土木学会論文集 A1, Vol.69, No.1, pp.89-100, 2013.
- 8) 宮入裕夫：機械技術者のための接着設計入門、日刊工業新聞社、2000。
- 9) 清水優、石川敏之、服部篤史、河野広隆：軸力を受ける当て板接着鋼板のはく離によるエネルギー解放率、土木学会論文集 A2, Vol.70, No.2, pp.I.899-I.908, 2014.
- 10) 白井瑛人、北根安雄、石川敏之、伊藤義人：軸力が作用するCFRP接着補修鋼板に対するCFRP板のせん断変形を考慮した理論解析、構造工学論文集, Vol.61A, pp.798-807, 2015.
- 11) 水谷壮志、石川敏之、北根安雄：マトリックス樹脂の影響を考慮したCFRP接着鋼板のエネルギー解放率と定着長、構造工学論文集, Vol.65A, pp.745-754, 2019.
- 12) 宮下剛、長井正嗣：一軸引張りを受ける多層のCFRPが積層された鋼板の応力解析、土木学会論文集 A, Vol.66, No.2, pp.378-392, 2010.

【筆者紹介】

石川 敏之 (いしかわ としゆき)
 関西大学
 環境都市工学部 都市システム工学科
 准教授



高性能床版の研究開発

鋳鉄を用いた道路橋床版

山口 栄輝・飛 永 浩 伸・村 山 稔

鋳鉄製品は、複雑な形状でも溶接を必要とせず、一体として製作される。この点に着目し、疲労耐久性に優れた鋳鉄製の床版の開発を行った。通常の鋳鉄製品よりも幅厚比が大きいことから、均質な材料特性を有した床版パネルを鋳造できるかが、最初の大きな課題であった。鋳造過程の数値シミュレーションおよび実験を繰り返すことにより、引張強さ、硬さのばらつきが小さい床版パネルを製作できた。この床版パネルをもとに、鋳鉄の疲労試験、鋳鉄床版パネルの静的載荷試験と定点載荷疲労試験、鋳鉄床版の輪荷重走行試験を行った。一連の試験により、鋳鉄床版が十分な変形性能を有し、疲労耐久性にも優れていることを実証した。

キーワード：道路橋、床版、鋳鉄、変形特性、疲労特性

1. はじめに

インフラの老朽化が急速に進んでおり、日本社会の大きな課題のひとつになっている。道路橋では、高速道路会社3社が大規模更新計画・大規模修繕計画を策定している。事業費は3兆円もの巨額になると見積もられている。中でも床版取替費用が大きく、総事業費の55%を占める¹⁾。

床版取替にあたっては、安全性はもとより、耐久性、工期も重要である。また、大地震に対する備えとして、できるだけ軽量な床版が望ましい。工期や重量の観点からは、鋼床版が有利である。しかしながら、既設の鋼床版には溶接部から疲労亀裂が多く発生しており、疲労耐久性が課題として挙げられている。

鋳造は熔融金属を用いた製造法であり、複雑な形状の部品を一体として、低コストで大量に生産できる特長を有する。この利点を活かし、自動車の足回り部品をはじめ、船舶、鉄道、産業機械などの様々な部品に鋳鉄が使われている。建設分野で鋳鉄はそれほどなじみのある材料ではないが、道路関係ではマンホールの蓋、橋梁では伸縮装置に鋳鉄が使用されている。通過車両の雨天時走行安定性確保のため、いずれも上面に突起物があり、複雑な形状となっている。当然のことながら、交通荷重に抵抗すべく、十分な強度、疲労耐久性を有してもいる。

以上の状況を踏まえ、国土交通省の助成を受けて鋳鉄床版の開発に取り組んだ。複雑な形状でも一体成型

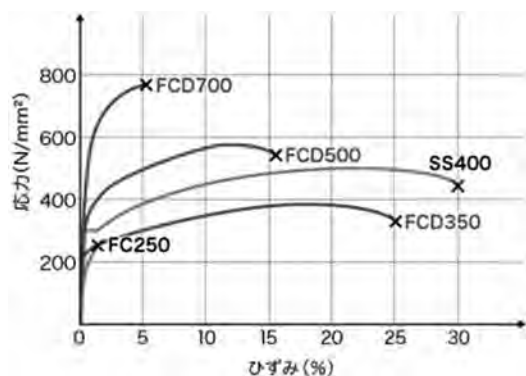
可能という鋳物の特長を活かして溶接接合がなく、応力集中も緩和できる床版パネルを製作し、性能を検証してきた。重量に関しても、RC床版に比してかなり軽い。本稿では、鋳鉄床版開発状況を報告する。

2. 鋳鉄床版パネル

鋳鉄床版はいくつかのパネル（床版パネル）に分けて工場で製作し、主桁上フランジや隣接パネルとボルトで連結する。床版をパネル化することにより、供用開始後に損傷が生じた場合、パネル単位での取り替えが可能になり、維持管理は容易である。パネルの大きさは概ね橋軸直角方向2,500 mm、橋軸方向1,250 mm、リブ高さは200 mm程度とした。床版パネルの裏面にはリブを格子状に配置する。

(1) 材料

これまで鋳鉄が橋梁の主部材に適用されてこなかった遠因のひとつに、「鋳物は脆くて割れやすい」というイメージがあると推察している。実際、鋳物でできた家庭用品や器具類は昔から身近にあり、多くは脆くて壊れやすい。そうした鋳物は、ねずみ鋳鉄（普通鋳鉄）の製品である。ねずみ鋳鉄は炭素が結晶化して片状の黒鉛になり、応力集中を引き起こすため、脆くて割れやすい。この短所を克服すべく、1940年代に、黒鉛を球状化する技術が開発された。これが球状黒鉛鋳鉄（ダクタイル鋳鉄）である。図1に鋳鉄の応

図一 1 鋳鉄の応力-ひずみ関係²⁾

力-ひずみ関係²⁾を示している。図中、FCやFCD等は、JISにおける種類の記号（FCがねずみ鋳鉄、FCDが球状黒鉛鋳鉄）、数字は引張強さ（N/mm²）の下限値を表している。球状黒鉛鋳鉄は、鋼とほぼ同程度の変形性能を有している。

本研究開発で用いるのは、この球状黒鉛鋳鉄である。鋼床版でよく使用されるSM490に見合った強度を有する、FCD500とFCD600の中間的な球状黒鉛鋳鉄で床版パネルを作成する。

(2) 設計

設計は道路橋示方書鋼橋編³⁾に従い、許容値を次のように設定した。

- ・引張応力度：205 N/mm²
- ・たわみ：5 mm
- ・たわみの曲率半径：20 m

引張応力度の許容値は0.2%耐力の1/1.7、たわみの許容値は床版支間の1/500である。

T荷重に衝撃係数0.4を考慮し⁴⁾、設計荷重を140 kNとした。これを200 mm × 500 mmの領域に等分布荷重として作用させる。橋軸方向にパネルが3枚連結されているとし、PTC Creo Simulate⁵⁾を用いた3次元有限要素解析で設計計算を行った。通常の設計には公称応力を用いるが、ここでは、応力集中部も含め、作用応力が許容値内に収まるようにした。検討の結果、デッキプレート厚さ13 mm、リブ下端厚さ15 mm、リブ高さ172 mm、リブ交差部のR（曲率半径）20 mm、デッキプレートとリブの交差部R10 mm、リブ下端部R2 mmとなった。橋軸直角方向に配した主リブが2本、橋軸方向の副リブが7本であり、デッキプレートと合わせて一体成型する。鋳鉄製品として際立って大きくはないが、既存品に比べると幅厚比が大きな薄肉構造である。なお、最大応力が発生するリブ交差部に丸みを付けることで、応力集中は緩和されている。

この床版パネルの重量は230 kgf/m² 足らずで、RC床版の1/2程度となっている。既設橋梁の耐震性向上にも貢献できる床版である。

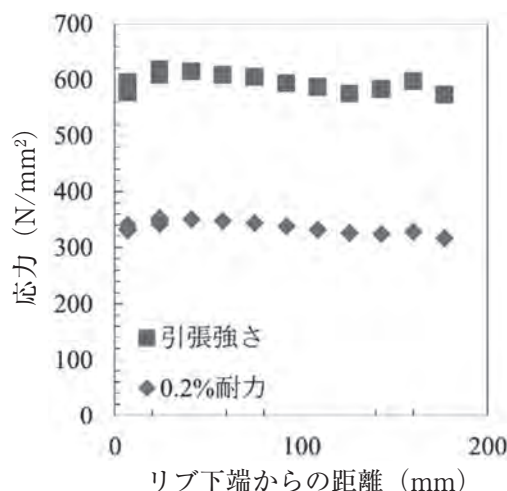
(3) 鋳造

鋳鉄製品は、鋳型に流し込んだ溶湯が冷却してできる。その際の冷却速度が、材料特性に大きな影響を及ぼす。鋳型内で冷却速度がばらつくと、鋳鉄床版の材料特性が均質でなくなる。通常の鋳鉄製品より幅厚比が大きいので、冷却速度の制御、ひいては床版の材料特性の均質性が鋳鉄床版パネル製作上の大きな課題であった。そのため、鋳型内の溶湯の流れと温度変化をシミュレーションする鋳造解析と実験を繰り返し、溶湯の注入法などを決定した。

(4) 品質（均質性）

床版パネルから試験片を作成し、引張試験と硬さ試験を行った。そのために、鋳鉄床版パネルの4箇所から切り出しを行い、合計17本の試験片を作成した。引張試験の試験片はJIS 14A号とした。

引張試験結果を図一2に示している。0.2%耐力、引張強さともばらつきは小さい。薄肉で大型の鋳鉄製品ではあるが、十分な均質性を確保できていることが確認できた。ブリネル硬さについても、同様に均質性が保たれ、その値にも全く問題ない結果が得られた。

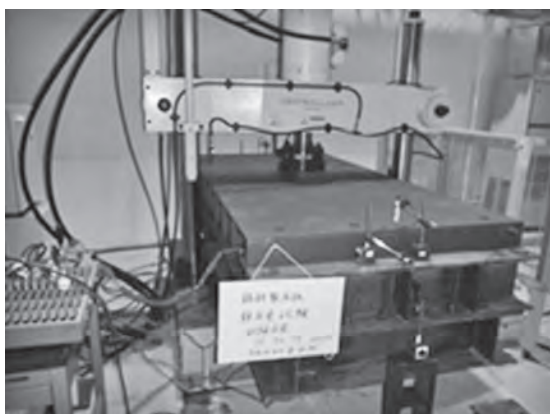


図一2 引張試験結果

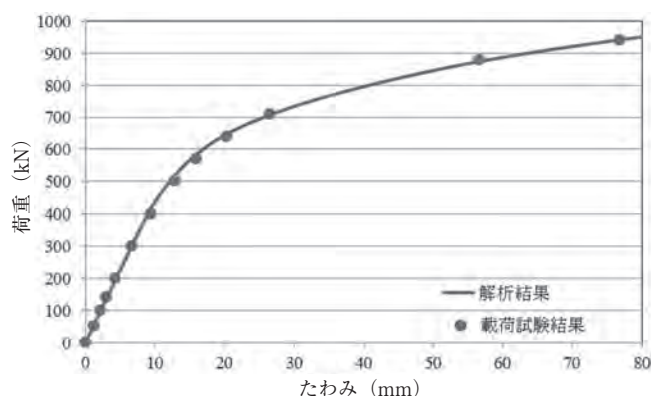
3. 静的荷重下での変形特性

(1) 荷重試験

橋軸方向の2辺を架台（H形鋼）に載せ、荷重試験を行った。荷重は、鉄床版パネル中央に補強繊維入りゴム板（200 mm × 500 mm × 10 mm）、その上に鋼



写真一 静的載荷試験



図一 静的載荷試験における荷重-たわみ関係

製載荷板、載荷架台を置いて行った。写真一に静的載荷試験の様子を示す。

試験結果として、載荷点での荷重-たわみ関係を図一3に示している。290 kN 付近から、非線形性が現れている。載荷途中で適宜、除荷した。300 kN に達する少し前から残留たわみが認められ、弾性変形から弾塑性変形へのなめらかな移行が見られた。941 kN まで載荷して、試験を終えた。載荷試験後の残留たわみは 49.3 mm であった。磁粉探傷試験による亀裂調査を行ったが、亀裂は発生していなかった。

静的載荷試験により、床版パネルが十分な変形性能を有すること、T 荷重を大きく超える荷重が作用しても、脆性的な破壊をしないことが実証された。

(2) 有限要素解析

ADINA⁶⁾を用いた3次元弾塑性有限要素解析で、載荷試験のシミュレーションを試みた。サイズが 20 mm の4面体2次要素を用い、対称性を考慮し、1/4モデルで解析した、材料特性は材料試験結果に基づいて定め、載荷面積、載荷位置は静的載荷試験に合わせた。

解析結果を、図一3に示している。解析結果は、

実験結果とよく一致している。床版パネルの変形挙動が、解析で再現できることが確認された。

4. 疲労特性

床版は、車両荷重を直接かつ繰り返し受ける。床版の損傷は、疲労が主要因と考えられており、床版開発では、疲労耐久性の検討が重要項目のひとつとなっている。

そこで本研究では、鋳鉄床版パネルから試験片を作成し、床版パネルの鋳鉄の疲労強度を検討した。次いで、床版パネルの定点載荷疲労試験、さらに床版パネルを連結して実物大の床版を作成し、輪荷重走行試験を実施した。

(1) 鋳鉄の疲労強度

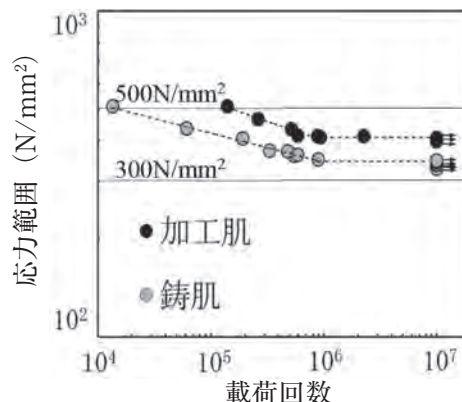
製造された鋳鉄の表面はなめらかでなく、鋳肌と呼ばれる。表面を加工することもあるが、経費がかさむ。経済性も重要であるため、鋳鉄床版では加工せず、鋳肌のまま用いることも視野に入れている。

そこで、本研究では鋳肌のままの試験片と加工肌（加工面）の試験片を準備した。鋳鉄床版パネルの14箇所（図1）のリップ下端部から、鋳肌と加工肌の試験片を1個ずつ作成した。試験片の寸法は、長さ 100 mm × 高さ 22 mm × 厚さ 10 mm である。疲労試験は片振りの3点曲げで行い、応力比 0.1、最大繰り返し回数 1,000 万回とした。

疲労試験結果を S-N 線にまとめたのが、図一4である。鋳肌の有無で、疲労強度に 2～3 割ほどの差が出ている。これは、既存の研究⁷⁾と同程度の結果である。この S-N 線は、鋳鉄床版の疲労設計の基礎資料となる。

(2) 鋳鉄床版パネルの定点載荷疲労試験

静的載荷試験と同様の設定で、床版パネルの定点載

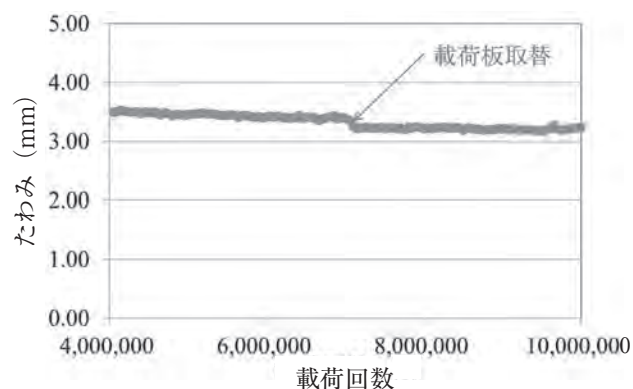


図一 鋳鉄の疲労強度

荷疲労試験を行った。鋳鉄床版パネルは、設計荷重下の最大作用応力が許容値以下になるよう設計している。このことを踏まえ、ここでは、最大作用応力が許容値になるよう荷重の大きさを定めた。

疲労試験に先立って静的載荷試験を行い、ひずみを計測した。最大応力は主リブと副リブの交差部で発生し、ひずみゲージを貼り付けての直接計測ができない。そのため、3次元有限要素解析を併用して、疲労試験の荷重を決めた。ひずみ、たわみの計測は、初期状態、1万回載荷後、それ以降は5万回載荷ごとに実施した。

疲労試験中の計測結果から、200万回載荷後と400万回載荷後に載荷条件を調整し、最終的には1,000万回まで繰り返し載荷した。図—5にたわみの測定結果を示しているが、最終段階でも、ひずみ、たわみの測定値が大きく変動することなく、1,000万回まで安定した力学的挙動を示した。なお、試験中に載荷板が変形したため、7,000,000回で載荷板を取り替えた。図—5に、変位が急に変動した箇所があるが、これは載荷板取り替え時に生じたもので、その前後では安定した変形挙動となっている。また、400万回載荷後と1,000万回載荷後に磁粉探傷試験を実施した。大きな応力が作用するリブ交差部を中心に念入りに調査したが、疲労亀裂は発生していなかった。



図—5 定点載荷疲労試験におけるたわみの変化

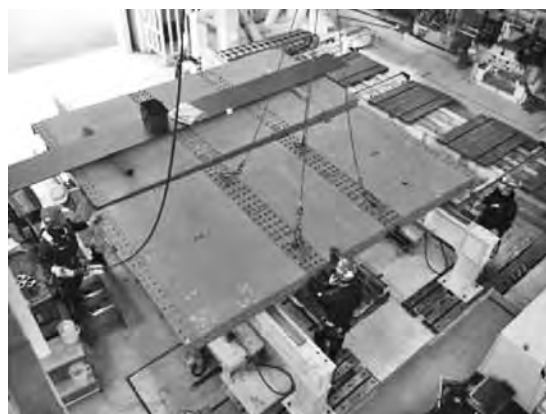
(3) 鋳鉄床版の輪荷重走行試験

橋軸方向 1,145 mm、橋軸直角方向 1,290 mm の床版パネルと橋軸方向 1,145 mm、橋軸直角方向 1,690 mm の床版パネルの 2 種類、計 12 枚のパネルを高力ボルトで連結し、橋軸方向 4,590 mm、橋軸直角方向 4,690 mm の鋳鉄床版供試体を製作した。その際の様子を写真—2に示す。主桁間隔は実橋相当の 3,000 mm とし、157 kN (鉄輪) の一定載荷で、輪荷重走行試験を行った。応力集中を避けるため、載荷領域にはゴム板、載

荷板、載荷板カバー、ベニア板、鋼板を順々に積み重ね、その上に鉄輪を走行させた (写真—3)。

載荷回数は 200 万回 (100 万往復) とした。20 万回ごとに鉄輪を中央部で停止させ、床版デッキ下面とリブのひずみ、床版のたわみ、連結部の離間を測定した。また、試験終了後、大きな応力が発生するリブ交差部下端を中心に、磁粉探傷検査を行った。

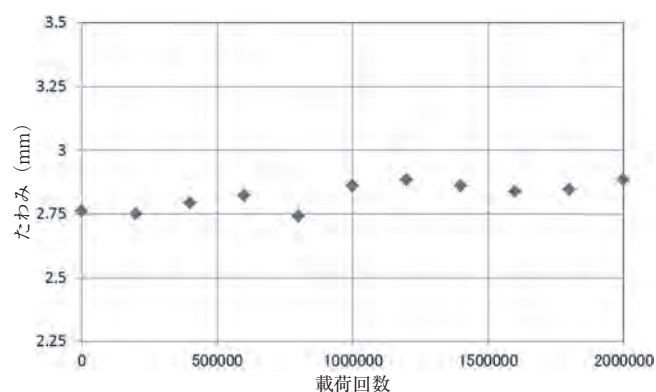
ひずみ、たわみ、離間ともに、試験終了 (載荷 200 万回) まで大きな変動は見られなかった。図—6に、たわみの測定結果を示している。また、疲労亀裂の発生も認められず、輪荷重走行下での十分な疲労耐久性が実証された。



写真—2 鋳鉄床版の製作



写真—3 輪荷重走行試験



図—6 輪荷重走行試験におけるたわみの変化

5. おわりに

本稿では、鋳鉄床版の開発状況について記した。ここでは力学的な側面のみを記したが、施工性の確認試験も済ませている。実用化の目処は、ほぼ立ったと考えている。鋳鉄床版により、日本社会の安心安全に多少なりとも貢献できれば幸いである。

謝 辞

本研究は、国土交通省道路局新道路技術会議の助成(研究課題「高性能鋳鉄床版の開発」, 代表: 山口栄輝)を受けて行った。研究遂行にあたっては、国土交通省国土技術政策総合研究所の担当者をはじめ、多くの方々から協力をいただいた。ここに記して、関係各位に深謝致します。

J C M A

《参考文献》

- 1) NEXCO 東日本, NEXCO 中日本, NEXCO 西日本: 東・中・西日本高速道路㈱が管理する高速道路における大規模更新・大規模修繕について, 2014 年 3 月.
- 2) 日之出水道機器: 球状黒鉛鋳鉄の特性, <http://www.hinodesuido.co.jp/Technology/fcd.html> 2019 年 12 月.
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II 鋼橋編, 2012 年 3 月.

- 4) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, I 共通編, 2012 年 3 月.
- 5) PTC: PTC Creo オンラインヘルプへようこそ, http://support.ptc.com/help/creo/creo_schem/japanese/index.html#page/schematics/Creo_Schematics_4.0/about_PTC_creo_help.html 2019 年 12 月.
- 6) 株電通国際情報サービス: ADINA-AUI 入門 Rev.10, 2014.
- 7) 小林俊郎, 原田昭治: 球状黒鉛鋳鉄の強度評価, (株)アグネ技術センター発行, 1999 年 12 月.

【筆者紹介】



山口 栄輝 (やまぐち えいき)
九州工業大学 大学院 工学研究院
教授



飛永 浩伸 (とびなが ひろのぶ)
日之出水道機器㈱ R&D 総合センター
マネージャー



村山 稔 (むらやま みのる)
日之出水道機器㈱ R&D 総合センター
マネージャー

高剛性アスファルト舗装による 鋼床版疲労対策の概要

稲 荷 優太郎・高 橋 茂 樹・佐々木 亮 太

鋼床版の閉断面縦リブ（以下、Uリブ）とデッキプレート溶接部においてデッキプレート上面方向に進展する疲労損傷の原因は、デッキプレートの局所的な面外曲げであると考えられている。そこで、剛性の小さいアスファルト舗装に替えて鋼床版上面に鋼繊維補強コンクリート（以下、SFRC）を施工することで、面外曲げに対する剛性増加を図ることが有効と知られており、各機関における施工実績も多い。しかし、SFRCの施工はコンクリートの打設及び養生のため、昼夜連続規制等の長時間に及ぶ交通規制が必要となり、疲労損傷が課題となる重交通区間での施工が困難となる場合がある。本稿では、短い交通規制時間における鋼床版疲労対策を目標として、一般的なアスファルト舗装より高い剛性を有する舗装（以下、高剛性アスファルト舗装）を開発し、高剛性アスファルト舗装の鋼床版疲労対策としての有効性について、輪荷重走行試験、疲労照査及び実橋による試験施工を行ったので、その結果について述べる。

キーワード：高剛性アスファルト舗装、鋼床版、疲労、規制時間

1. はじめに

鋼床版の主な疲労損傷は、デッキプレートとUリブの溶接ルート部を起点として、き裂の進展方向によってデッキプレート貫通タイプと溶接ビード貫通タイプの2種類に分けられる。交通荷重による鋼床版の応力挙動は複雑に変化するが、局所的な板曲げ挙動が繰返し発生することで疲労損傷を受けると考えられる。

鋼床版上では、一般的に基層にグースアスファルト混合物、表層に密粒度アスファルト混合物を用いて舗装される。特に夏期の気温が高い時期では、アスファルト混合物は荷重支持力を有していないため、鋼床版に直接交通荷重が作用し、溶接部への負荷が増大することが、鋼床版の疲労損傷を進行させる一つの要因になると考えられている。

この対策として、交通荷重により生じるひずみの軽減を目的として、鋼床版舗装の基層部にSFRCが構築されるケースがある¹⁾。しかし、SFRCの施工はコンクリートの打設及び養生が必要となるため、昼夜連続規制等の長時間に及ぶ交通規制が必要となり、疲労損傷が課題となる重交通路線での施工が困難となる場合がある²⁾。

そこで、筆者らは、交通規制時間が短くかつ気温の高い夏期においても剛性の低下が従来のアスファルト混合物よりも少ない高剛性アスファルト混合物（以

下、高剛性混合物）を構築することで、交通荷重により鋼床版に生じるひずみを低減する鋼床版補強工法の開発に着手した³⁾。

本稿では開発した鋼床版補強工法の室内試験結果、実物大供試体を用いた補強効果の検証結果および実橋での検討結果について述べる。

2. 高剛性アスファルト舗装の舗装構成

鋼床版に生じるひずみを低減するためには、舗装と鋼床版を一体化させる必要がある。このため、剛性を高めたアスファルト混合物をデッキプレートと強固に接着することが重要となる。鋼床版とグースアスファルト混合物の接着には一般的にアスファルトプライマーが使用されるが、アスファルトが主材料であるため、高温になると車両走行時の荷重に伴いすべりが生じる可能性がある。混合物と鋼床版の界面ですべりが生じると、アスファルト混合物は支持基盤がなくなり局部変形に対し追従できずひび割れてしまうため、補強効果が得られない。

そこで、高剛性アスファルト舗装の舗装構成では、基層部となるプライマー、接着防水材、高剛性混合物の全てに剛性の高い材料を選定し、表層用混合物は要求される走行性能に応じて選定することとした。高剛性混合物を表層用混合物として選定することもでき



図一 高剛性アスファルト舗装の舗装構成

表一 高剛性アスファルト舗装の使用材料

項目	内容
プライマー	エポキシ系プライマー：0.25 kg/m ² + 珪砂：0.75 kg/m ²
接着防水材	特殊樹脂 A（融点：80℃）：2.0 kg/m ²
基層用混合物	高剛性アスファルト混合物
タックコート	PKM-T：0.4 l/m ²
表層用混合物	一般的なアスファルト混合物

る。表一 1 に高剛性アスファルト舗装の使用材料、図一 1 に舗装構成を示す。

3. 高剛性アスファルト舗装の材料

(1) 高剛性混合物の概要

(a) 高剛性混合物の使用材料および配合について
一般的なアスファルト混合物は、供用温度により強度が大きく変化する。ポリマー改質アスファルトを用いた改質アスファルト混合物でも高温時の変形抵抗性を高めることができるが、剛性を上げるためにはポリマーの添加量を著しく多くする必要があるため施工性の確保が難しい。そこで、施工性を確保しつつ供用温度域の剛性を著しく高めることができる特殊樹脂 B を選定した。ここで用いた特殊樹脂 B は、既往の研究で用いた高安定性アスファルト混合物に配合していた樹脂と同系であり、これを 20% 配合したものは土工部を中心として 10 年間の施工実績がある⁴⁾。

特殊樹脂 B は植物由来の原料を用いており、添加量を増やすほど剛性は高くなるが、樹脂としての性質が高くなり、温度収縮膨張が顕著となる。そこで、試験施工により最大限樹脂の量を配合できる量を検討した結果、バインダ量に対し特殊樹脂 B の添加量を 45% とした。

アスファルト混合物の種類は、バインダ量が多く水密性の高い SMA 混合物を選定した。繊維補強材として化学繊維であるビニロン繊維を用いた。高剛性混合物の配合設計は、通常のマーシャル設計法である。表一 2 に高剛性混合物の使用材料、表一 3 にマーシャル特性値を示す。ここでは、混合物の粒度を SMA (5) としている。

高剛性混合物に使用するバインダの粘度は一般的なポリマー改質アスファルトⅢ型と同程度であり、混合・

表一 2 高剛性混合物の使用材料

項目	内容
混合物	SMA 混合物 (5)
バインダ	主材：ポリマー改質アスファルト：55% 添加材：特殊樹脂 B（融点 100℃）：45%
繊維補強材	ビニロン繊維 (0.3%)

表一 3 高剛性混合物のマーシャル特性

項目	バインダ量 %	密度 g/cm ³	理論 密度 g/cm ³	空隙率 %	飽和度 %	安定度 kN	フロー値 1/100 cm
試験値	7.3	2.351	2.398	2.2	89.4	40	34
基準値				2.0~4.0	75~90	4.9 以上	80 以下

締固め温度はポリマー改質アスファルトⅢ型と同程度の温度で施工可能である。

(b) 高剛性混合物の剛性について

決定した混合物の複素弾性率を繰返し曲げ試験により評価した。アスファルト混合物の弾性率を評価する方法はいくつかあるが、鋼床版に生じる板曲げに対する弾性率を評価することが適切と考えて本試験方法を採用した。複素弾性率は応力が安定した区間から算出した。比較としてポリマー改質アスファルトⅡ型を用いた SMA (5) (図中、改質混合物と表記) と SFRC を評価に加えた。表一 4 に評価した SFRC の示方配合、表一 5 に試験条件、図一 2 に測定結果を示す。

試験の結果、高剛性混合物の複素弾性率は、SFRC には及ばないものの温度による低下が改質混合物と比較すると著しく小さいことが分かる。60℃の時の高剛性混合物の複素弾性率は、改質アスファルト混合物が 20℃の時の値とほぼ同程度となることから、アスファルト混合物の剛性を夏期においても期待することができる。

(c) 高剛性混合物の耐水性能について

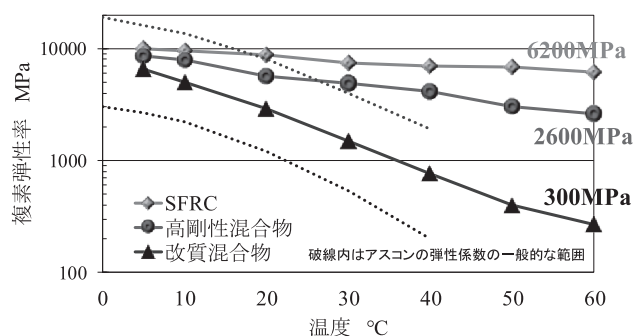
アスファルトは疎水性を示すが、骨材が親水性であるため、長時間、高温の水に暴露されるとアスファル

表一 4 試験に使用した SFRC の示方配合

スランブ cm	W/C %	s/a %	単位量 kg/m ³ () 内は l/m ³						
			C	W	細骨材	粗骨材	減水剤	遅延材	鋼繊維
10 ± 2.5	40.0	55.0	(146) 438	(175) 175	(350) 921	(286) 755	4.4	3.1	(13) 100

表一 5 複素弾性率の評価方法

項目	内容
試験方法	繰返し曲げ試験
載荷方法	サイン波, 5 Hz
供試体寸法	400 mm × 400 mm × 40 mm
ひずみ	400 μ



図—2 複素弾性率の測定結果

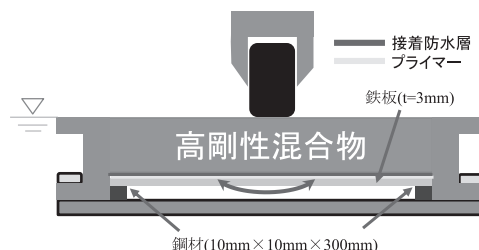
トが軟化し、骨材表面から剥がされる現象が生じやすい。特に橋梁部では排水箇所が限られていることから、アスファルト混合物の内部に雨水が滞在している時間が長いと考えられる。このため道路橋床版に使用されるアスファルト混合物には高い耐水性能が要求される。ここでは、高剛性混合物の耐水性能について評価した結果について述べる。

耐水性能の評価には水浸ホイールトラッキング試験による剥離率や水浸マーシャル安定度試験による残留安定度率などがある。近年ではより試験条件を厳しくした全水没させたアスファルト混合物により評価する方法も提案されている⁵⁾。

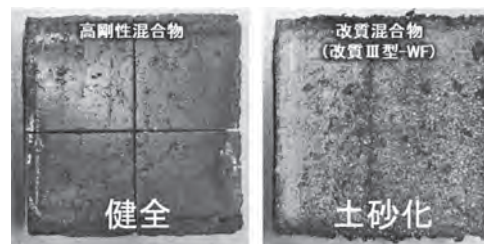
筆者らは、交通荷重により大きく変形する鋼床版の供用条件に着目し、表—6に示す耐水性評価方法により評価した。ここで用いた供試体は300 mm × 300 mm × 3 mmの鋼板を研磨し、後述するプライマーと接着防水材を塗布した上に、300 mm × 300 mm × 40 mmの高剛性混合物をホイールトラッキング供試体の要領にて作製した。作製した供試体に、トラッキング方向とトラバース方向にそれぞれ供試体の中心部に変形を誘発するための目地を設置した。さらに、供試体の曲げ変形を与えるため、10 mm角の鋼材をトラッキング方向に平行となるように両端部に設置し、水浸ホイールトラッキング試験を実施した。図—3に試験の概略図を示す。比較として、耐水性の高いポリマー改質アスファルトⅢ型-WF（表中、改質Ⅲ型-WF）を加えた。写真—1に試験後の供試体を示す。

表—6 水浸ホイールトラッキング試験の試験条件

項目	高剛性混合物	改質混合物（改質Ⅲ型-WF）
プライマー	エポキシ系プライマー	アスファルト系プライマー
接着防水材	特殊樹脂 A	アスファルト系塗膜防水材
混合物の種類	SMA (5) バインダ量：7.5%	
床版の種類	鋼版（厚さ 3 mm）	
試験温度	60 °C	
試験時間	15 時間	
試験水位	全水没	



図—3 水浸ホイールトラッキング試験の概略



写真—1 水浸ホイールトラッキング試験後の供試体

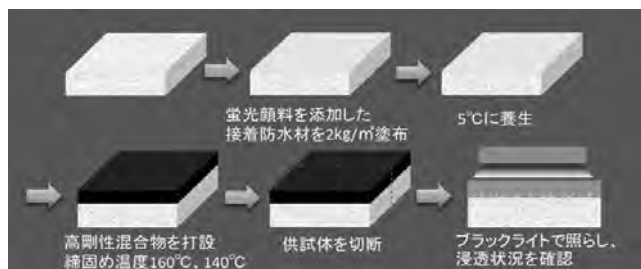
試験後の供試体を観察すると、高剛性混合物は、誘発目地部でも損傷がなく試験前からほとんど変化が見られないが、改質混合物は、試験開始から2時間で目地部がつぶれてしまい、骨材が露出しているところから土砂化が進行したため試験を終了した。このことから、局部変形が生じる鋼床版上の高温滞水状態においても、高剛性混合物は、改質混合物と比較して、非常に高い耐水性能を有していることが分かる。

(2) プライマーおよび接着防水層の概要

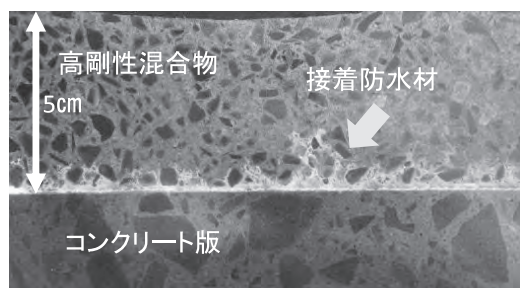
(a) プライマーおよび接着防水材の施工方法

鋼床版と高剛性混合物の接着を確実にするため、温度により強度が低下せず、かつ湿潤状態でも塗布可能なエポキシ系プライマーを選定した。エポキシ系プライマーを所定量（0.25 kg/m²）塗布後すぐに珪砂を散布することでせん断抵抗性を付与する。さらにこの上に高剛性混合物に使用する樹脂と同系の特殊樹脂 A（2.0 kg/m²）を接着防水材として塗布する。この接着防水材の融点は80 °C程度であり、高剛性混合物を舗設すると瞬時に接着防水材が溶融し、高剛性混合物と床版を一体化させることができる。

高剛性混合物への充填効果を確認するため、図—4に示す方法により評価した。供試体の作製方法は、研磨したコンクリート版に蛍光顔料を加えた接着防水材を塗布し、その上に160 °Cあるいは140 °Cに調整した高剛性混合物を舗設した。その後、角状に切り出してその断面をブラックライトで照らし充填状況を観察した。図—5に140 °Cで舗設した時の結果を示す。色の薄い部分が蛍光顔料を含んだ接着防水材である。このように接着防水材は混合物底部の空隙（キャビ



図一 4 接着防水材の充填効果の評価方法



図一 5 接着防水材の充填状況（140℃数ならし条件）

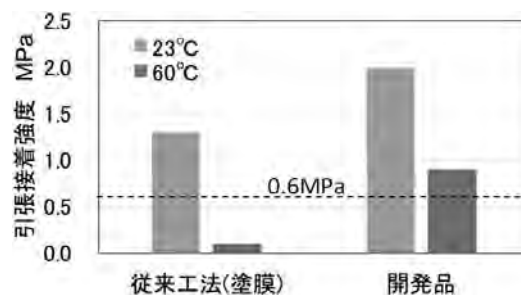
ティ)を確実に埋めるとともに混合物に浸透し、楔(くさび)となる。

一般的なアスファルト系塗膜防水材では、塗布量が多くなると基層混合物の流動変形性が大きくなってしまいうことおよび塗膜防水材上に施工機械が走行すると施工機械に付着してしまい、防水層が損傷を受ける可能性があるため、塗膜防水材を多量に塗布することができない。しかし特殊樹脂 A は、常温では粘着性は示さず、施工機械が走行しても防水層が損傷を受けることがない。さらに、高剛性混合物に含まれる樹脂と同系であるため高剛性混合物に浸透しても剛性は低下しない。

(b) 接着防水層の性能

鋼床版上に使用する基層用混合物はグースアスファルト混合物が一般的であるため、鋼床版用の防水材に対する明確な基準はないが、開発した接着防水層は、床版防水の基本照査試験⁶⁾に要求される性能を満足するものである。さらに、本工法では高温時の舗装剛性を高めることを目的としているため、高温時においても高い引張接着強度を有している必要がある。そこで、一般的なアスファルト塗膜系防水材と引張接着強度を比較とした。なお、改質Ⅱ型アスファルト混合物を用いた場合、60℃における引張接着試験は混合物の凝集破壊となってしまうため、混合物は両方ともに高剛性混合物を使用した。図一 6 に試験結果を示す。

試験温度 60℃においても、開発した接着防水層は、一般的な塗膜系防水層の試験温度 23℃の規格である 0.6 MPa 以上の引張強度を有している。



図一 6 引張接着試験の結果

4. 鋼床版補強効果の検証

(1) 実物大供試体を用いた輪荷重走行試験

本工法の鋼床版補強効果を検証するため、実物大の供試体を用いた輪荷重走行試験を行った。

(a) 供試体

供試体は、デッキプレート (5900 mm × 2940 mm) の板厚を 12 mm とし、試験体橋軸方向の両端部と中央部には横リブを設けた。U リブの板厚は 6 mm であり、U リブと横リブ交差点については、デッキプレート下側にはスカラップ、U リブの下側にはスリットを設けている。また、デッキプレートと U リブ溶接部の溶け込み量は、道路橋示方書に示されている 75% を目標としている。このデッキプレート上にエポキシ系プライマーと接着防水材を所定量塗布したのち、基層として高剛性混合物 40 mm、表層として高機能舗装Ⅱ型用混合物 40 mm を構築した。写真一 2 に作製した供試体の全景を示す。

(b) 試験条件

実物大供試体による評価では、高剛性舗装のひずみ低減効果と舗装体の耐久性とした。さらに、走行試験後には、鋼床版と舗装の接着強度を建研式引張試験により計測し、輪荷重負荷を与えた後の接着力の変化を測定した。

ひずみ低減効果は静荷重試験により計測した。試験温度は、高温条件 (50 ~ 60℃) と常温条件 (23℃) とした。載荷荷重は、ダブルタイヤ 1 組で 69 kN とし、タンデム軸の間隔は 1.4 m とした。橋軸直角方向の載荷位置は、デッキプレート貫通き裂に着目していることから U リブのウェブをダブルタイヤが跨ぐ位置とし、ひずみの計測位置は、横リブ支間中央 (一般部)、横リブの交差部 (横リブ交差部) にて、溶接止端部から 5 mm 離れた位置で計測した。写真一 3 に輪荷重走行試験の外観、図一 7 にひずみの測定位置を示す。

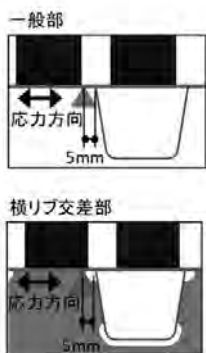
輪荷重走行試験の試験温度は、舗装体の剛性が低下しやすい夏期を想定した高温 50 ~ 60℃とし、繰返し回数は 400 万輪とした。



写真一 2 作製した試験体の全貌



写真一 3 輪荷重走行試験の外観

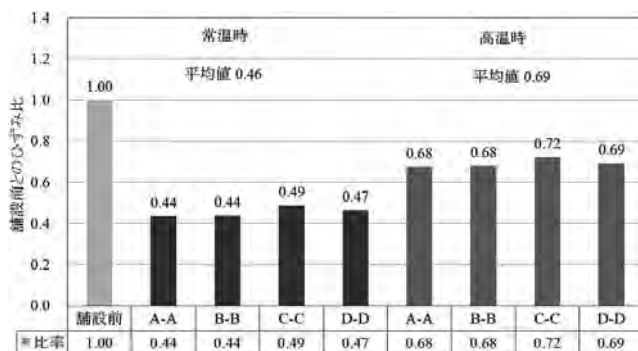


図一 7 ひずみ計測位置

(c) 試験結果

図一 8 に各地点におけるひずみ低減効果を示す。舗設前に対する舗設後のひずみの比率は、常温時では 0.46、高温時では 0.69 となった。温度依存性はあるものの高温時においても 3 割程度のひずみ低減効果を有していた。

輪荷重試験走行後の走行レーンにおける路面性状を評価したところ、舗装表面では、ひび割れやわだち掘れなどは発生していなかった。



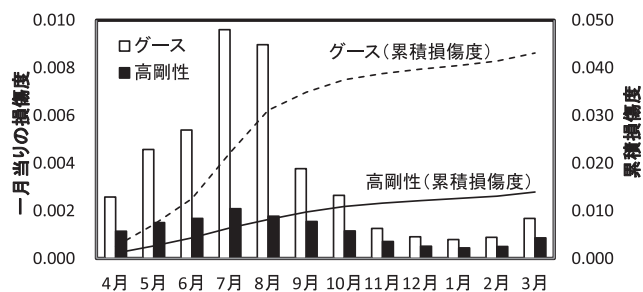
図一 8 着目点のひずみ低減効果

さらに、輪荷重走行試験後にデッキプレートと高剛性混合物の接着強度を建研式引張試験により測定したところ、輪荷重載荷部では平均で 1.63 MPa、非載荷部では破断はすべて混合物の凝集破壊であり、平均で 1.99 MPa であった。このことから輪荷重走行後においても十分な接着強度を確認した。

(d) 疲労寿命の推定結果

大型車交通量、実橋の路面温度データとそれに伴う混合物の弾性係数および輪荷重走行試験機の通過輪数を用いて累積損傷度を算出した⁷⁾。疲労寿命の定義は、疲労き裂が部材を貫通するまでの寿命とした。舗装構成は、表層に高性能舗装Ⅱ型用混合物、基層に高剛性混合物としたケースと、表層に高性能舗装Ⅱ型用混合物、基層をグースアスファルト混合物としたケースについて比較した。

図一 9 に計算結果を示す。荷重モデルの設定により疲労寿命は大きく異なるが、デッキプレート貫通き裂の評価位置に着目すると、高剛性混合物を基層に用いることで、一般的なグースアスファルト混合物と比較して 3.1 倍の寿命比となった。



図一 9 各月の累積損傷度の計算結果

(2) 実橋による試験施工

(a) 施工概要

高剛性混合物の実橋における適用性を検証するため、新名神高速道路新四日市 JCT～菰野 IC に建設中の朝明川橋の鋼床版部にて表一 7 に示す内容により

表一 7 施工概要

項目	内容
施工日	平成 28 年 12 月
施工場所	新名神高速道路 朝明川橋（上り）
舗装構成	基層（75 mm）：高剛性混合物 SMA（13） 表層（40 mm）：再生密粒度混合物（13）
施工規模	総延長 36.5 m，施工面積 336 m ²

試験施工を行った。本区間において，土工事建設の土運搬車を利用し，高剛性アスファルト舗装のひずみ低減効果と耐久性について評価した。さらに土工事終了後に構築した舗装を撤去する際に，土運搬後における鋼床版との接着状態および高剛性混合物の取り壊しやすさについて確認した。

本施工箇所は，各種コンクリート舗装による鋼床版の補強効果や舗装の耐久性評価のための試験施工を実施しており，他の工区と舗装構成を合わせるため，基層混合物 75 mm，表層 40 mm として施工した。一部に厚さ 50 mm 程度の添接版が設置されており，これらについては樹脂モルタルでなだらかに覆ってから接着防水材を塗布し，高剛性混合物を舗設した。図一 10 に施工手順を示す。



図一 10 高剛性アスファルト舗装の施工手順

(b) 試験結果

高剛性アスファルト舗装のひずみ低減効果については，室内試験とは舗装構成や鋼床版の厚さが異なるため単純に比較とはならないものの，概ね室内試験で得られた結果と同程度の補強効果を確認することができた⁷⁾。

試験施工区間では，土運搬車がおおよそ 6 万台走行した。表層に再生密粒度混合物を設置しており，わだち掘れが若干見られたが，コンクリート舗装を設置した隣接箇所と大きな違いはなく，高剛性混合物に由来する収縮膨張のひび割れなどは見られなかった。また，鋼床版との界面の接着状態も問題は発生していなかった。

さらに，舗装撤去時の際は，通常の切削機で撤去可

能であり，接着防水層はウォータージェットにて容易に撤去することが可能であることも確認した。

5. おわりに

開発した鋼床版補強工法のとめを以下に示す。

- ・特殊な施工機械を必要とせず，かつ施工が簡易な高剛性混合物を用いた鋼床版補強工法を開発した。
- ・実橋の路面温度や交通量データに基づき，累積損傷度を用いて鋼床版の補強効果を検討した結果，デッキプレート貫通き裂の評価位置に着目すると，高剛性アスファルト舗装は，SFRC に比べるとその補強効果は小さいが，グースアスファルト混合物を用いた従来工法と比較すると 3.1 倍の寿命比となった。
- ・輪荷重走行試験の結果，高剛性アスファルト舗装の耐久性は高く，試験温度 50 ～ 60 ℃ で 400 万輪走行させてもひび割れやわだち掘れがほとんど生じないことが確認できた。
- ・実橋にて土運搬車を走行させることで耐久性を確認したところ，大きな損傷は見られず，鋼床版とのズレもなく，また，補修時の撤去性も良好であることを確認した。

本開発技術が，交通規制条件の厳しい鋼床版橋の疲労亀裂対策に貢献できることを期待するものである。

J C M A

《参考文献》

- 1) 三木他：鋼床版の疲労への SFRC 舗装による予防補強とその健全性モニタリング，土木学会論文集 A，Vol.62，No.4，pp.95，2006.12.
- 2) 東日本高速道路(株) 関東支社：プレスリリース，https://www.e-nexco.co.jp/pressroom/press_release/kanto/h30/0418/
- 3) 和田他：新材料による鋼床版補強に関する研究，第 9 回道路橋床版シンポジウム論文報告集，pp.177 - 180，2016.11.
- 4) 平戸利明，幸坂優一，村山雅人：ハイブリットバインダによる耐油性と耐流動性に優れた高安定性アスファルト混合物の開発，第 17 回舗装技術に関する懸賞論文，pp.76 - 82，2011.12.
- 5) 首都高速道路株式会社：舗装設計施工要領，pp.18，2015.4.
- 6) 社団法人日本道路協会：道路橋床版防水便覧，pp.35，2007.3.
- 7) 野島他：鋼床版のコンクリート舗装による疲労対策の効果確認，土木学会第 72 回年次学術講演会，I - 161，2017.9.

【筆者紹介】

稲荷 優太郎（いなり ゆうたろう）
 (株)高速道路総合技術研究所 橋梁研究室
 研究員

高橋 茂樹（たかはし しげき）
 (株)高速道路総合技術研究所
 道路研究部 舗装研究室

佐々木 亮太（ささき りょうた）
 東亜道路工業(株)
 技術研究所 第二研究室

橋梁用高降伏点鋼板（SBHS）の利用による 鋼橋の施工省力化

高 木 優 任

橋梁用高降伏点鋼板（SBHS）は、橋梁構造の高性能化のために必要となる鋼材の諸性能を高めた高性能鋼材である。SBHS は、強度・じん性ならびに溶接性などにおいて従来鋼に比べてより優れた性能を有しており、有効に活用することで橋梁建設の合理化を図ることができる。SBHS の活用により、設計と施工の両面で合理化を図ることが可能になるが、本稿では、施工（製作）の合理化に着目し、SBHS を用いた鋼橋の製作性向上の効果を確認するために実施した各種の試験結果を紹介する。

キーワード：橋梁、SBHS、高性能鋼、溶接性、施工試験

1. はじめに

橋梁用高降伏点鋼板 SBHS（JIS G 3140：Steels for Bridge High Performance Structure）は、米国の高性能鋼開発プロジェクトに刺激を受け、1990 年代の半ばからわが国の大学と鉄鋼メーカー、橋梁メーカーの連携により開発、提案された鋼材（BHS）¹⁾ が基になって JIS 規格化された鋼材であり、現時点での汎用的な橋梁用鋼材の中で最も高性能なものである²⁾。

SBHS には、強度レベルに応じて SBHS400（降伏強度 400 N/mm²）、SBHS500（同 500 N/mm²）、SBHS700（同 700 N/mm²）の 3 鋼種がある。SBHS は、わが国における鋼材製造技術の進展を反映して、熱加工制御（TMCP）技術により結晶粒の微細化による高強度化を実現し、橋梁用の鋼材に要求される強度、破壊じん性、溶接性、曲げ加工性、耐候性等の諸性能を従来鋼に比して最適なレベルに高めている（図—1）。

従来の鋼材では、高強度化するほど溶接性などの加

工性が低下し、ぜい性破壊のリスクが高まるなど、その利用には多くの制約があり、製作の難易度が増すこともあって、高強度鋼の利用が進まない原因となっていた。SBHS は、従来の鋼材に比べて高強度でありながら、溶接性などの加工性や破壊じん性に優れるという大きな特長がある。諸性能の向上により、高い降伏強度を活用した鋼重の低減や高じん性による構造物の信頼性向上などを、良好な施工性を活用して製作の効率を低下させることなく実現することが可能になる。

本稿では、SBHS の適用による橋梁建設の合理化の鍵となる製作性に着目して、その特性を確認するために実施した各種試験の結果を紹介する。

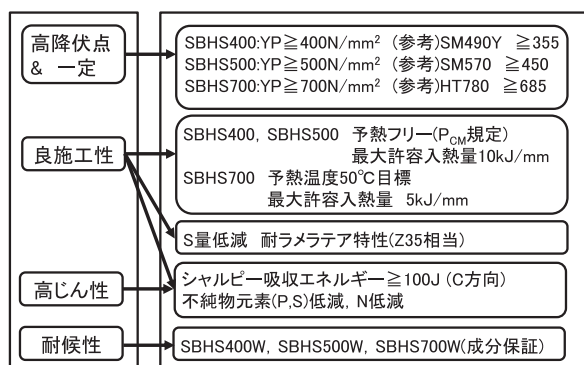
2. SBHS の利用による製作性の向上

(1) SBHS における溶接性の向上

鋼橋では部材の組み立てに溶接が不可欠であり、構造物の性能に与える影響が大きいため、高強度鋼を活用する上で溶接性の向上は非常に重要な課題である。

鋼材の溶接性とは、一般には割れやその他の欠陥を発生せず、施工後の溶接部が所定の性能を確保するために必要な性能であるといえる。溶接部は溶接による熱サイクルを受け、硬度、延性、じん性などが母材のそれから変化するため、溶接施工には様々な制約が伴う。とくに、SM570 以上の高強度鋼を溶接する際には、割れを防止するために予熱が必要になるなど、製作の効率が低下するのが一般的である。

SBHS と従来鋼の、鋼橋の製作における溶接関連の規定の比較を表—1 に示す。SBHS では、鋼材性能の



図—1 SBHS の特長

表一 1 溶接関連の主な規定の比較

鋼種	入熱量の制限	最低予熱温度の標準*
SM490Y	≤ 10 kJ/mm	予熱なし (t ≤ 25 mm) 50 ℃ (25 < t ≤ 40 mm) 80 ℃ (t > 40 mm)
SM520 SM570	≤ 7 kJ/mm	予熱なし (t ≤ 25 mm) 80 ℃ (25 < t ≤ 50 mm) 100 ℃ (t > 50 mm)
SMA490W SMA570W	≤ 7 kJ/mm	予熱なし (t ≤ 25 mm) 80 ℃ (25 < t ≤ 50 mm) 100 ℃ (t > 50 mm)
HT780	≤ 5 kJ/mm	100 ℃ (t ≤ 50 mm) 120 ℃ (t > 50 mm) 50 ℃ (予熱低減型)
SBHS400 SBHS400W	≤ 10kJ/mm	予熱なし
SBHS500 SBHS500W	≤ 10kJ/mm	予熱なし
SBHS700 SBHS700W	≤ 5kJ/mm	50 ℃ (t ≤ 75mm)

*被覆アーク溶接の場合

(道路橋示方書(H29), 本州四国連絡橋公団・鋼橋等製作基準より)

向上により、従来鋼に比べて入熱量の制限や予熱温度の要求が大幅に緩和されている。これらの良好な溶接性を利用することで、信頼性の高い鋼部材を効率よく製作することが可能になる。

(2) SBHS の溶接部関連の規定

(a) 鋼板に関する規定の概要

溶接部の割れで最も注意すべきなのは低温割れである。低温割れは、施工後に溶接部が室温に冷却された後に生ずるものであり、鋼の硬化組織、水素、拘束応力の3つの要因が同時に存在した場合に生じるとされている。橋梁の代表的な設計基準である道路橋示方書(以下、道示)では、1996年から化学成分のパラメータである溶接割れ感受性組成(P_{CM})と拡散性水素、拘束度の影響を考慮した予熱温度の算定基準が採用されている。

SBHSでは、低温割れに対する母材側の対策として、表一2のように、化学成分から以下の式で計算される P_{CM} を低く抑えることにより、予熱の省略または軽減を図っている。

$$P_{CM} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Si}{30} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + \frac{Cu}{20} + 5B \quad (\%)$$

また、SBHSではラメラテアの発生しやすさに影響するS量をJIS G 3199のZ35S(耐ラメラテア鋼)に整合(0.006%以下)させている。この仕様により、ラメラテアが非常に起こりにくくなっており、板厚方向に引張を受ける溶接継手の性能向上が可能になる。

表一 2 溶接割れ感受性組成 P_{CM}

鋼種	P_{CM} (%)
SM490Y	≤0.26 (t≤50 mm), ≤0.27 (t>50 mm)
SM520 SM570	≤0.26 (t≤25mm), ≤0.27 (25<t≤50mm), ≤0.29 (t>50 mm)
SMA490W SMA570W	≤0.26 (t≤25 mm), ≤0.27 (25<t≤50 mm), ≤0.29 (t>50 mm)
HT780	規定なし
SBHS400 SBHS400W	≤0.22 (t≤100 mm)
SBHS500 SBHS500W	≤0.20 (t≤100 mm)
SBHS700 SBHS700W	≤0.30 (t≤50 mm), ≤0.32 (t>50 mm)

(b) 溶接材料

所定の性能を有する溶接継手を製作するためには、溶接方法に合わせた適切な溶接材料の使用が必要不可欠であり、SBHSの母材特性に合わせた専用の溶接材料も同時に開発されている。溶接材料においては、鋼板とは異なり、基本的に合金添加により高強度化と能率の向上を図ることになるため、強度増加に伴い溶接金属自身での低温割れが発生する傾向が強くなる。そのため、溶接金属の化学組成と拡散性水素量に注意を払い、健全な溶接施工が可能となるような溶接材料の開発が行われ、SBHSの鋼種ならびに溶接方法に応じた溶接材料がJIS改正に合わせてJIS化されている。それらのうち、SBHS500の代表的な溶接材料の例を表一3に示す。

(c) 溶接継手の所要性能

SBHSの溶接継手に関する機械的性質の要求値を表一4に示す。SBHSの溶接継手のじん性の要求値は母材の規格値とは異なることに注意が必要である。

表一 3 代表的な溶接材料の例 (SBHS500)

仕様	JIS 番号	溶接姿勢	種類および区分
SMAW	JIS Z 3211	全姿勢	E57J16-XX
GMAW	CO ₂ ガス Ar + 20%CO ₂	JIS Z 3312	下向, 横向 G57JA1UCXX
			全姿勢 G57JA1UMXX
FCAW	CO ₂ ガス	JIS Z 3313	全姿勢
			下向, 横向 T57J1T1x-yCA-XX-U
SAW	溶着金属	JIS Z 3183	S58J2-XX
	ワイヤ	JIS Z 3351	YS-XX
	フラックス	JIS Z 3352	SZXX1

注)「XX」は化学成分の記号を表す

フラックス入りワイヤの品質区分について「Tx」は使用材料の記号を示す(例:「T1」シールドガスあり, DC (+), ルチル系)

「y」は適用溶接姿勢の記号を示す(例:「0」下向及び水平すみ肉, 「1」全姿勢)

溶接用フラックスの品質区分について「Z」は製造方法の記号を示す

表—4 SBHS 溶接継手の機械的性質の要求値

鋼種	継手引張強さ* (N/mm ²)	溶接金属のシャルピー吸収エネルギー	
		試験温度 (°C)	vE (J) **
SBHS400 (W)	490 以上	0	47 以上
SBHS500 (W)	570 以上	-5	47 以上
SBHS700 (W)	780 以上	-15	47 以上

*破断位置を規定しない **3 個の試験片の平均値

SBHS では、母材のシャルピー吸収エネルギーは 100J 以上と規定されているが、これは冷間曲げ加工の信頼性に配慮して設けられた規定であることが JIS で解説されており、橋梁における溶接継手へのじん性の要求値は従来鋼と同等で問題がないため、47J 以上とされている。

3. 鋼橋の製作に関する性能の確認試験

SBHS の開発過程では、溶接施工試験による溶接継手の機械的性質に対する性能確認はもちろんのこと、桁の製作試験も実施し、製作性の評価を行っている³⁾。

SBHS には強度レベルに応じて 3 鋼種があるが、施工の省力化という観点では、SBHS500 が従来鋼 (SM570) に比べて製作性向上の効果が大きいため、主として SBHS500 を対象とした製作性に関する試験を行っている。以下では、SBHS500 の製作性に関する試験結果の概要を示す。

なお、ここで紹介する各種の試験を行ったのは JIS 制定前であったため、使用した鋼材は BHS500 [日本鉄鋼連盟製品規定 (MDCR0014-2004)] に基づくものであり、本来はそのように表記すべきであるが、試験に適用した鋼材の機械的性質や化学成分などは SBHS500 の規定を満足するものであるため、以下では SBHS500 と表記する。また、溶接材料についても、SBHS 用の溶接材料が開発される前であったため、通常の SM570 に用いられる JIS の一般的な低水素系の溶接材料を使用した。結果的に、これらの溶接材料は降伏強度も含め、SBHS500 用の溶接材料の規定を満足するものであった。

(1) 溶接継手の性能評価試験

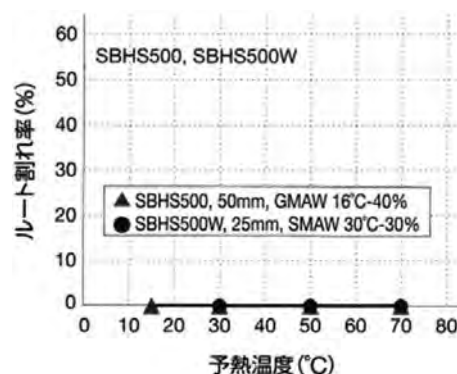
SBHS500 の溶接継手性能の確認や耐冷間割れ性の評価を行うために種々の試験を行い、溶接仕様を確認した。ここでは、代表例として、大入熱溶接への対応例と予熱温度の確認試験の結果について述べる。

(a) 大入熱溶接への対応

表—1 に示したように、SBHS500 では予熱が不要であるほか、10 kJ/mm の入熱が可能であることから、SM570 の溶接条件に比較して溶接パス数を減ら

表—5 大入熱溶接試験の結果

板厚 (mm)	溶接 方法	溶接 入熱 (kJ/mm)	継手引 張強さ (N/mm ²)	シャルピー吸収エネルギー (J)			
				試験 温度	WM	Bond	HAZ 1 mm
22	SAW	19.5	582	-5 °C	131	82	74
40		9.3-10	609		151	213	276
50		9.1	614		86	140	214



図—2 y 割れ試験結果

して効率化を図ることが可能になる。

この効果を確認するために行った、板厚 22 mm, 40 mm, 50 mm の SBHS500 を対象にした大入熱溶接試験の結果を表—5 に示す。従来の SM570 に許容される入熱量 (7 kJ/mm) を超える 9.1 ~ 19.5 kJ/mm の溶接入熱に対しても、溶接継手の機械的性質は要求性能を満足しており、SBHS500 に対し道示で許容されている 10 kJ/mm 程度の大入熱溶接においても、良好な継手性能が得られることを確認した。

(b) 予熱温度の低減

溶接施工時の予熱温度の検討のため、耐低温割れ性の評価試験として、拘束条件が厳しいとされる y 割れ試験 (JIS Z 3158) を行った。

図—2 に試験結果を示す。SBHS500 は予熱なしでも室温まで割れは発生しておらず、予熱なしで溶接施工が可能であることを確認している。

(2) 桁モデルでの製作性確認試験

鋼少数鈑桁橋を想定した SBHS500 を用いたモデル桁の製作試験を実施し、従来鋼 (SM570, SM490Y) との比較によって橋梁部材における製作性の評価を行った。

(a) 試験方法

製作試験に供された桁モデルは、図—3 に示す桁高 3000 mm, 長さ 6000 mm の水平補剛材を上下に有する I 形の鈑桁である。製作における部材切断や各種溶接条件は橋梁メーカー数社の標準的条件をヒアリングの上決定した。なお、工場溶接に加え現場溶接の適

行った。その結果、いずれの条件でも割れは発生しなかった。

④本溶接（突合せ溶接、すみ肉溶接）

フランジの突合せ溶接では、溶接効率向上のため極力、入熱量を大きくしてパス数削減を図った。なお、パス間温度管理は鋼橋等製作基準（本州四国連絡橋公団）の SM570 の規定に従い、230℃以下とした。溶接部の非破壊検査の結果、いずれの継手においても溶接欠陥は発生せず、良好な溶接継手が得られ、大入熱溶接施工とすることにより、SM570 に比べて溶接パス数を削減できた。しかし、パス間温度を 230℃以下としたため、一部の溶接において温度降下の待ち時間が発生し、そのメリットを完全に活かすことはできなかった。

すみ肉溶接は、SAW（入熱量 3～4.2 kJ/mm）にて行ったが、溶接ビードの形状に異常は見られず、溶接脚長（8 mm, 10 mm）も十分満足できるものであった。

⑤ひずみ矯正

フランジの突き合わせ溶接部、主桁の首溶接部のひずみ矯正をプレス、ローラー矯正機でそれぞれ実施したが、通常のひずみ矯正作業との違いはなかった。

⑥現場溶接

鋼桁の上下フランジ現場溶接は溶接線長さが比較的小短く、ウェブにより溶接線が分断されている等の理由により従来の施工法を適用した。一方、ウェブの立ち向き溶接部では板厚が 25 mm 程度までエレクトロガスアーク溶接が適用できるため、ウェブはエレクトロガスアーク溶接による 1 パス施工を行った。

現場溶接部について、いずれの継手においても溶接欠陥は発生しておらず、溶接部の外観についても良好な結果であった。フランジの溶接についてはパス間温度の低下待ちが生じたが、ウェブは大入熱溶接の適用により 1 パスで施工でき、待ち時間も発生せず、施工性が向上した。

(3) パス間温度の検討

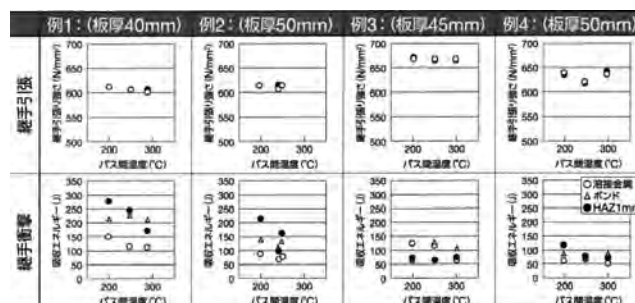
前節の製作性評価試験では、SBHS500 は従来の SM570 以上の強度を持ちながら SM490Y と同等な製作性能を有することを確認したが、パス間温度の低下待ちが生じ、鋼材性能を活かしきれなかった。道示等ではパス間温度は規定されておらず、パス間温度の管理の可否を検討する必要があるため、パス間温度を意図的に変化させた溶接施工試験を行い、パス間温度が高くなった場合でも、SBHS500 の溶接継手特性が確保できることを確認した。あわせて実施におけるパ

ス間温度の上昇の程度も把握することにした。

試験は、SBHS500 の規格を満足する板厚 40～50 mm の 4 種類の鋼板を用い、溶接方法は、X 開先の突合せ SAW（入熱量 10 kJ/mm 以下、溶接長 800 mm）と、K 開先の十字継手 GMAW（入熱量 5 kJ/mm、溶接長 600 mm）の 2 種類とした。パス間温度は、実際の溶接作業での上限と考えられる 300℃までの 3 水準を狙い値として施工を行った。

表一 7 に代表例として SAW（入熱量 10 kJ/mm 以下）の試験結果を示す。SAW, GMAW とともに、パス間温度の上昇にともない、継手の引張強さやじん性は低下する傾向はあるものの、いずれの場合にも目標とする母材要求値を十分に満足することを確認した。

表一 7 パス間温度の試験結果（SAW）



本試験では、溶接長 800 mm 以下というパス間温度が上昇しやすい条件で施工を行ったが、パス間温度は 300℃まで上昇することは少なく、特に板厚の厚いものや、パス数が多くなる GMAW でその傾向が顕著であった。

以上の結果より、SBHS500 はパス間温度についても、特に意識することなく SM490Y と同等の管理で施工が可能と考えられる。

4. SBHS を活用した製作の省力化の事例

SBHS（BHS500）が初めて本格的に適用された東京ゲートブリッジ（トラス・ボックス複合構造）では、部材の接合に現場溶接が全面的に採用された（写真一 2）。使用された最大板厚 50 mm の SBHS500 を従来の SM570（強度比換算で板厚 58 mm）と比較すると、SM570 では 100℃の予熱が必要となるが、SBHS500 では予熱省略が可能となった。現場での溶接においては、防風室の狭隘な空間での溶接作業となったが、SBHS500 の適用による予熱省略が、製作性改善と溶接作業への負荷軽減につながった。

また最近では、板厚 50 mm を超える厚肉の鋼部材の現場接合に溶接が適用される機会が増えている。



写真一 2 大型トラスの現場溶接による組立の様子

SBHS の適用により、接合する板厚が低減され、溶接パス数が低減される。なお、道示では、表一 1 に示したように、厚肉の SM520, SM570, 耐候性鋼 (SMA) に対し、溶接入熱量が 7 kJ/mm に制限されているため、同じ板厚でも鋼種により開先形状が異なる等の課題があったが、SBHS400 (W), SBHS500 (W) では SM490Y と同等の入熱量 10 kJ/mm に対応できることから、予熱なしで溶接パス数を減らした効率的な大入熱溶接の適用が可能になるとともに、開先形状の統一が可能な仕様となっており、設計・施工の省力化が期待される。

5. おわりに

橋梁用の高性能鋼として適用の拡大が期待される SBHS について、製作上の適用効果が大きい SBHS500 の施工試験結果を中心に、その利用による鋼橋施工の

合理化に関する各種の試験結果を紹介した。本稿に示した以外にも、SBHS400 (W) や SBHS700 (W) について各種の溶接施工試験が行われており、良好な施工性を有していることが確認されている⁴⁾。なお、SBHS の溶接継手性能に関しては、実橋への適用に向けた溶接施工試験や、各橋梁メーカーによる試験が行われており、多くのデータが蓄積されてきている。

今後、SBHS が広く活用できるよう、関係機関と連携して SBHS の設計・製作に関する技術基盤の整備を図り、橋梁製作技術の向上による効率的なインフラ整備と国土強靱化の推進、及び日本の橋梁設計・製作技術の国際競争力強化に貢献していきたいと考えている。

J C M A

《参考文献》

- 1) 三木千壽, 市川篤司, 楠隆, 川端文丸: 橋梁用高性能鋼材 (BHS500, BHS700) の提案, 土木学会論文集 No.738/I-64, pp.1-10, 2003.7
- 2) 高木優任, 沓岐浩: 橋梁用高降伏点鋼板 (SBHS) の材料特性と実構造物への適用, ふえらむ, pp.6-14, 2019.9
- 3) 安藤隆一, 田中睦人, 松田稔, 岡野重雄: BHS500 鋼の製作性評価試験と溶接継手特性 (第 1 報~第 3 報), 土木学会第 61 回年次学術講演会, I-143 ~ 145, 2006.9
- 4) 例えば, 上野康雄, 藤平正一郎: 橋梁用高降伏点鋼板 (SBHS700 相当鋼) の溶接性評価試験, 片山技報, No.29, pp.48-51, 2010.

【筆者紹介】

高木 優任 (たかぎ まさひで)
(一社) 日本鉄鋼連盟
橋梁用鋼材研究会
幹事長



セメントを使わないコンクリートを用いた 天然石材調建材

T-eConcrete を用いて CO₂ 排出量とコストを抑えた、意匠性に優れる T-razzo の開発

大 脇 英 司・岡 本 礼 子・渡 邊 悟 士

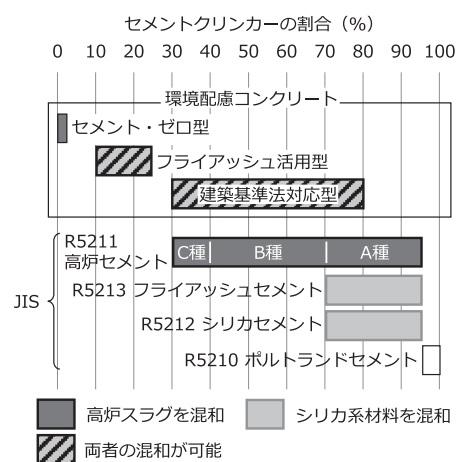
コンクリート分野でも地球温暖化への対応が求められる。著者らはコンクリートの材料製造に係る CO₂ 排出量を最大で 80%削減できる環境配慮コンクリートを開発してきた。このコンクリートは高炉スラグを用いるため白色に近く、着色性に優れることを明らかにして天然石材調建材を開発した。舗装ブロックとして十分な性能を有することを確認して建築物に適用し、従来と同様の手順、効率で製造、施工できることを実証した。産業副産物である高炉スラグの多用により、低炭素社会とともに循環型社会の構築への貢献が期待される。また、従来の白色セメントより安価であり、コスト面での貢献も期待できる。

キーワード：コンクリート、温室効果ガス、低炭素、高炉スラグ微粉末、擬石、テラゾー

1. はじめに

地球温暖化の問題は国際社会における喫緊の課題であり、COP25¹⁾などでも検討が続いている。コンクリート分野も例外ではなく、例えばポルトランドセメント（いわゆるセメント）を産業副産物で置換して温室効果ガスの排出を抑制する試みが行われている²⁾。主な温室効果ガスである CO₂ の排出原単位は、産業副産物の方がポルトランドセメントより小さいため、CO₂ 排出量を削減できる。このようにコンクリートに用いる産業副産物は混和材と呼ばれ、鉄鋼の精製過程で排出される高炉スラグ微粉末や火力発電所等から排出される石炭灰であるフライアッシュなどが用いられる。

混和材を予めポルトランドセメントに混合したものを混合セメントと呼び、JIS（日本産業規格）に規定がある。著者らは JIS に示される範囲を超えて積極的に混和材を用いる環境配慮コンクリート T-eConcrete を開発してきた²⁾。図—1のように“セメント・ゼロ型”，“フライアッシュ活用型”，“建築基準法対応型”を用意している。“セメント・ゼロ型”はポルトランドセメントを使わず高炉スラグ微粉末を刺激材（カルシウム系化合物の混合物）で硬化させるコンクリートであり、材料製造に起因する CO₂ 排出量を最大で 80%削減する^{3), 4)}。“フライアッシュ活用型”は高炉スラグ微粉末に加え、フライアッシュも同時に利用する。この2つは土木学会「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）」⁵⁾を満たすコンクリートである。“建築基準法対応型”は高炉セメン



図—1 環境配慮コンクリートの配合の特徴

トを用いたコンクリートに相当し、建築基準法の指定建築材料として使用できる。

用途や目的に応じてより多くの混和材を使用することで、CO₂ 削減による低炭素社会の構築だけでなく、副産物の活用による循環型社会の構築にも貢献できる。

最も混和材の利用率が高い“セメント・ゼロ型”は青灰色であるポルトランドセメントを使用せず、高炉スラグ微粉末を使用する。硬化後に白色を呈することから着色に好適である。これを活かして意匠性に優れた天然石材調建材 T-razzo を開発した⁶⁾。本報では“セメント・ゼロ型”の環境配慮コンクリート（以後、分類を併記しないときは“セメント・ゼロ型”を指す）の着色性と、開発した天然石材調建材の性能および建築物への適用について報告する。

2. 環境配慮コンクリートの着色性

(1) 評価方法

環境配慮コンクリートから砂や砂利などの骨材を除いたペースト（以下“ゼロ”）に顔料を添加して着色性を評価した。評価には“ゼロ”と顔料粉末との色差（顔料との相違）と、顔料の添加前後の“ゼロ”の色差（“ゼロ”の変化）を用いた。

色はCIE1976 $L^*a^*b^*$ 色空間（JIS Z 8781-4）で測定した。 L^* （明度指数）、 a^* と b^* （色座標）による3次元座標で表現する。 L^* は明（値が大きい）⇔暗（値が小さい）を表し、 a^* は赤（大）⇔緑（小）、 b^* は黄（大）⇔青（小）を表す。色差は2色の座標間の距離で示す。 $L^*a^*b^*$ 座標系では色差が等しい2色の組合せは、知覚差異（心理上の色の相違）も等しい。

(2) 材料および配合

ペーストに使用した材料と配合を表一に示す。カラーコンクリートの製造に一般的に用いられる白色セメントのペースト（以下“白色”）と比較した。顔料は赤、青、水、橙、緑、褐、黒の7色のコンクリート用顔料を用いた。一般的な添加効果を参考に、添加の上限を5.0%とした。ペーストを練り混ぜて、内寸が75 mm × 50 mm × 10 mmの角型容器に打ち込んだ。材齢28日まで室温で封かん（密封）養生を行い、型枠に接していた底面（75 mm × 50 mm）を測定面として測色した。

顔料を加えない“ゼロ”と“白色”の（ L^* , a^* , b^* ）は、それぞれ（81.6, -2.2, 2.0）と（92.0, -2.1, 5.2）であり、ポルトランドセメントのペーストの（60.5, -1.76, 4.0）と比較して、十分に“白い”と判定した。

(3) 着色性について

“ゼロ”と“白色”に顔料を添加し、顔料との相違を色差（ ΔE^*_{ab} , 式（1））で示した。分光色差計（NF333: 日本電色工業製）を用いて試験体あたり15か所の L^* , a^* , b^* を測定し、平均値を求めて ΔE^*_{ab} を算出した。

$$\Delta E^*_{ab} = [(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

ただし、 L^* , a^* , b^* は試験体の測定値、

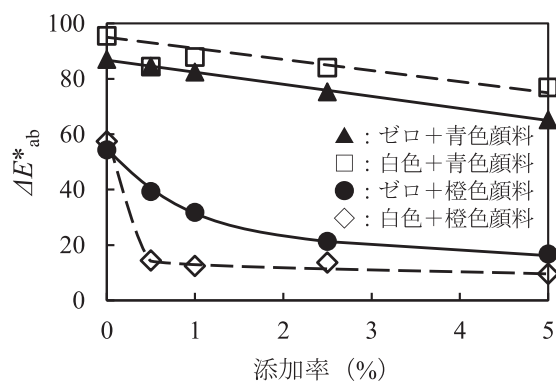
L_0^* , a_0^* , b_0^* は添加した顔料の測定値

着色効果は顔料により異なった（図一2）。橙色の場合、“白色”では0.5%添加すると顔料との色差が15程度に小さくなるが、それ以上に添加量を増やし

表一 着色性を検討したペースト材料と配合

(質量比)	水	粉体 (P)			顔料の添加率 (Pの外割)
		WPC	BFS	St	
ゼロ	35.9	100	77	33	0.5 ~ 5.0%
白色					

WPC: 白色ポルトランドセメント, BFS: 高炉スラグ微粉末, St: 刺激材



図一2 顔料添加率と色の变化（顔料の色を基準）

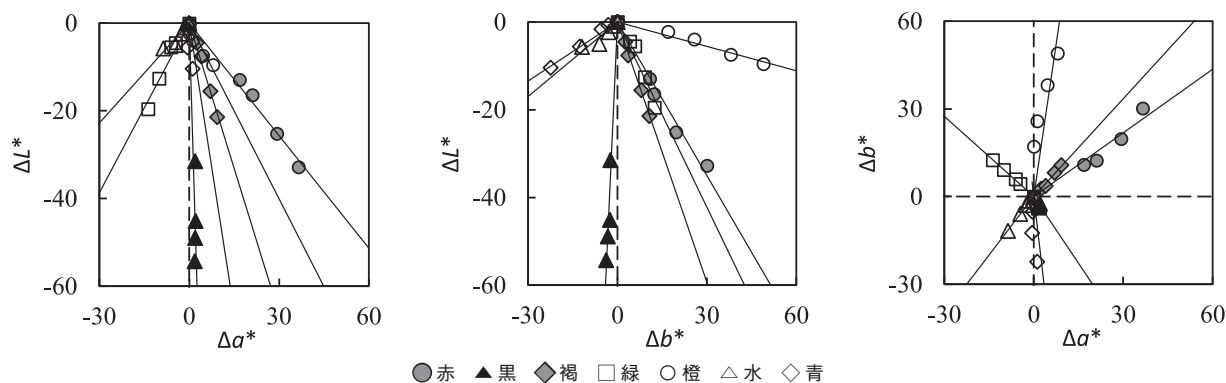
ても色差は小さくならない。一方、“ゼロ”では添加量を0~5%に増やしていくと次第に色差が小さくなり、添加量5%で“白色”とほぼ同程度の色差となった。“ゼロ”では添加量の加減により色調を変化させることができる。同様の傾向は、赤、緑、褐、黒の顔料でもみられた。他方、青色の顔料を添加した場合は、“ゼロ”、“白色”ともに着色（顔料との色差を小さくすることが）できたが、色差は橙色の場合より大きい（図一2）。水色の顔料でも同様の傾向であった。“青色系”の顔料粉末と同じ色にすることは困難であるが、実用的には着色できることが分かった。“ゼロ”に7色の顔料をそれぞれ添加したときの色の变化は、従来のセメントの場合⁷⁾と同様に、顔料の添加量にほぼ比例した（図一3）。

このように“ゼロ”は従来のコンクリート用の顔料を用いて着色が可能であり、添加量によって着色の程度を自在に制御でき、また、変化を予測できることから、色彩設計も合理的にできることが明らかになった。

3. 天然石材調建材の開発

(1) 意匠性の付与について

コンクリートの意匠性の向上には着色するほか、表面に骨材を露出させる、陰影や光沢を与えるなどの方法がある。これらは洗い出し、ショット仕上げ、研磨仕上げなどと呼ばれる。また、コンクリートの型枠に凹凸や文様を付け、製品の表面に石材や木材の肌合いや、レンガやタイルの幾何学模様を施すこともできる。



図一 3 各種の顔料を添加した時の“ゼロ”の色の変化（顔料添加前の“ゼロ”の色を基準）

環境配慮コンクリートが優れた着色性を持つことを活かし、顔料や骨材の吟味や研磨仕上げにより天然石材調の建材（擬石）を製造することを検討した。

(2) 材料および配合

環境配慮コンクリートは工事現場で型枠に打込む“現場打ちコンクリート”として開発したが、天然石材調建材はコンクリート製品（二次製品）として工場で製造する。既存の設備を活用するため、製造方法は従来と同様とした。すなわち、①所定の材料、配合でコンクリートを練り混ぜた後、型枠に打ち込んで振動機で締め固める。②室温で十数時間の養生と 60℃で 2 時間程度の蒸気養生を行い、翌日まで室温で養生して脱型する。③研磨面（平板の場合は型枠に接していた底面）に粗削り、気泡の穴埋め（必要に応じ）、仕上げ研磨を施す、との手順とした。脱型や研磨作業が工程に沿って進められるよう、化学混和剤の種類や量を調整して凝結時間や強度発現性を最適化した。また、意匠性を高めるため骨材の岩種や粒度、配合量、細骨材と粗骨材の割合（細骨材率）を調整した。顔料を使用せずに白御影石調とした配合例を表一 2 に示す。これを基本に、顔料の添加や骨材種類の変更により多様な表情を演出できる（例えば、写真一 1）⁸⁾。

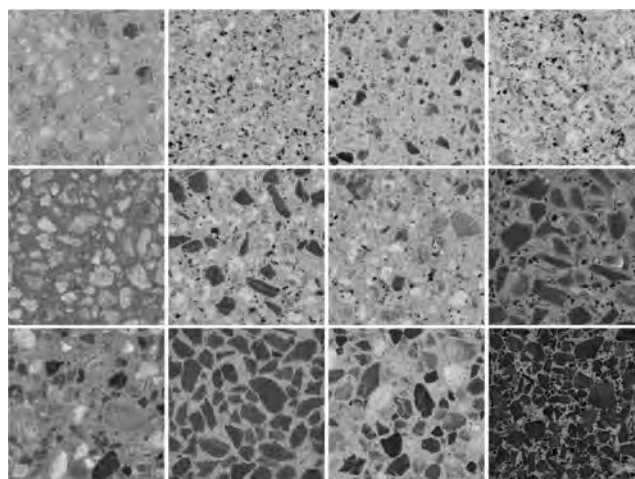
(3) 性能確認試験

天然石材調建材を舗装ブロックとして適用するため、白御影石調の試験体（表一 2）により性能を確認した。まず、JIS A 5371:2016「プレキャスト無筋コンクリート製品」の附属書 B（規定）「舗装・境界ブロック類」に基づき圧縮強度と曲げ耐力を評価した。圧縮強度試験には 20℃で 28 日間封かん養生した $\phi 100 \times 200$ mm の円柱供試体を用い、曲げ耐力試験には研磨仕上げを施した $300 \times 300 \times 60$ mm の平板を用いた。次に、耐摩耗性とすべり抵抗性について性能を確認した。耐摩耗性はコンクリート床の耐摩耗性評価の例⁹⁾

表一 2 白御影石調の天然石材調建材の配合例

W/P	細骨材率	空気量	単位量 (kg/m ³)					
			水	粉体 P		骨材		化学混和剤
			W	BFS	St	S	G	
32.5%	50%	6.0%	165	392	116	781	781	3.64

BFS：高炉スラグ微粉末、St：刺激材、S：花崗岩砕砂、G：花崗岩碎石。



写真一 1 顔料や骨材の調整によるバリエーションの例

を参考に、JIS K 7204:1999「プラスチック—摩耗輪による摩耗試験方法」に準じて $100 \times 100 \times 10$ mm の平板の研磨仕上げ面を評価した。試験条件は摩耗輪：H22、荷重：9.8 N とし、500 回転後の質量と厚さの減少量を測定した。すべり抵抗性は、インターロッキングブロック舗装技術協会 JIPEA-A-TM6「インターロッキングブロックのすべり抵抗試験方法—ポータブルスキレドレジスタンステスターによる—」¹⁰⁾ により確認した。 $150 \times 150 \times 25$ mm の平板を用い、散水により湿潤状態とした研磨仕上げ面を試験した。

試験の結果を表一 3 に示す。圧縮強度は、材齢 28 日において 43.6 N/mm^2 であった。JIS A 5371 附属書 B では平板製品の圧縮強度の規定がないため、同書にある境界ブロックとインターロッキングブロックの値 (17

表—3 天然石材調建材の性能確認試験の結果

評価項目		試験結果	評価基準	判定
圧縮強度		43.6 N/mm ²	(参考) 17 ~ 32 N/mm ² 以上	適
曲げ耐力	ひび割れ荷重	13.9 kN	12.0 kN 以上	適
	ひび割れ耐力	0.83 kN・m	0.72 kN・m 以上	
耐摩耗性	質量減少量	1.29 g	(参考) 一般的なコンクリートの 質量減少量 : 2.2 g	適
	厚さ減少量	0.23 mm		
すべり抵抗性	BPN 値	70	歩行者系道路 40 以上, その他 60 以上	適

～ 32 N/mm² 以上) を参照した。天然石材調建材はこれに対して十分な圧縮強度を有していた。曲げ耐力は、出荷時期を勘案して材齢 14 日にて評価した。曲げひび割れ荷重は 13.9 kN、曲げひび割れ耐力は 0.83 kN・m であった。これらは JIS A 5371 附属書 B「推奨仕様 B-1 平板」における普通平板に対する規定値 12.0 kN および 0.72 kN・m を上回った。耐摩耗性は材齢 28 日にて評価した。質量減少量は 1.29 g であり、水セメント比が 50% の一般的なコンクリートの質量減少量が 2.2 g⁹⁾ であったことに比べて小さく、耐摩耗性に優れることが考察された。すべり抵抗性 (BPN 値) は供用時の材齢を考慮し、材齢 91 日にて評価した。天然石材調建材の BPN 値は 70 であり、舗装用のインターロッキングブロックに求められる性能 (歩行者系道路に使用する場合 40 以上、その他の場合 60 以上¹⁰⁾) を満足した。このように、天然石材調建材は舗装ブロックとして適切な性能を持つことが確認できた。

また、天然石材調建材には意匠材としての耐久性も要求される。重要な色調の変化 (変色) に着目して検討した。白御影石調 (表—2) と、これに赤色顔料を添加したサクラ御影石調の天然石材調建材を座面にしてベンチを試作した (写真—2)。これらを神奈川県横浜市と東京都世田谷区の屋外で試用し、設置直後の色を基準とした色差 (ΔE^*_{ab}) の経時変化を測定した。設置後 450 日における色差は白御影石調、サクラ御影石調とも 4 程度であり、十分な耐色性を有していた。

(4) 天然石材調建材の適用

白御影石調の研磨仕上げとした天然石材調建材の平板 (表—2) を、大成建設(株)技術センターの研究開発棟のエントランスピロティと屋外階段の約 70 m² に敷設した¹¹⁾。従来の擬石製品や天然石材と同様の設計、施工手順で良好に施工することができた (写真—3)。製造手順は 3. (2) 項と同様であり、平板の寸法はピロティでは 147 ~ 297 × 1495 × 60 mm、階段の踏面では 297 × 1397 × 75 mm とした。ピロティでは、打込みによる成形が可能であることを活かし、種々の幅



写真—2 天然石材調建材を用いたベンチの試作例

写真—3 開発した天然石材調建材の建築物への適用
(上: エントランスピロティ, 下: 屋外階段)

の平板を作製してデザイン性のある床面とした。天然石材調建材は十分な寸法精度と寸法安定性を有し、また、“石飛び” (骨材の剥離) や角欠けなどの欠陥もなく、設計に従って施工することができた。前述のように天然石材調建材は舗装ブロックとして十分な性能を有するが、階段の踏面ではさらに歩行時の安全性を高

めるため、すべり止めの溝と端部の面取りを追加した。型枠を所定の形状にすることで、天然石材のような複雑な切削加工を必要とせず、設計に応じて成形できることを確認した。また、型枠は転用できるため全製作数に対して加工する必要がなく、生産性の向上も期待できる。

4. おわりに

環境配慮コンクリートの着色性を確認し、その特徴を活かした天然石材調建材を開発した。また、舗装ブロックとして十分な性能を有することを確認して建築物に適用した。得られた知見を以下にまとめる。

- ・環境配慮コンクリートは顔料の添加量に応じた着色が可能であり、色彩設計も効率的にできる。
- ・天然石材調建材は、舗装ブロックとして十分な性能を有する。
- ・天然石材調建材は所要の寸法精度を有し、製造や運搬、施工時の欠陥もなく、従来と同様の手順、効率で建築物に適用できる。また、複雑な形状を合理的に実現できる。

これまでカラーコンクリートや擬石製品に使用された白色セメントは、現在では全てが輸入され、コストも高い傾向にある。一方、環境配慮コンクリートは産業副産物である高炉スラグ微粉末を主成分とするため材料コストの低減が期待でき、着色性や成形性に加えてコストの面からも幅広い活用が期待できる。

天然石材調建材という環境配慮コンクリートの新たな活用法の開発により、低炭素社会、循環型社会の構築への貢献が一層進むことを期待している。

J C M A

《参考文献》

- 1) 気候変動に関する国際連合枠組条約、第25回締約国会議、<https://www.cop25.cl/#/> (2020.1.10 確認)。
- 2) 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.
- 3) 萩野正貴、大脇英司、白根雄二、中村英佑：複数の環境に約2年間暴露した低炭素型のコンクリートの強度と耐久性、コンクリート工学年次論文集、Vol.36, No.1, pp.220-225, 2014.
- 4) 宮原茂禎、萩野正貴、大脇英司、堀口賢一、坂本淳、丸屋剛、中村英佑：環境配慮コンクリートによる二次製品工場のスラブ施工、土木学会第71回年次学術講演会講演概要集、V-121, pp.241-242, 2016.
- 5) 土木学会コンクリート委員会：混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針（案）、コンクリートライブラリー152、土木学会、2018.9.
- 6) 岡本礼子、大脇英司、渡邊悟士、伊中成篤、長嶋貴男、田中裕美、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、土木学会第74回年次学術講演会講演概要集、V-15, 2019.
- 7) 山口信、平井孝之、近藤正一：顔料混入セメント系材料の色彩、力学的特性および遮熱・断熱特性に関する基礎的検討、セメント・コンクリート論文集、pp.618-625, Vol.67, No.1, 2013.
- 8) 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、pp.553-554, 2019.
- 9) 日本建設業連合会材料施工専門部：機能性建築材料の性能調査結果15.コンクリート表面強化剤、<http://www.nikkenren.com/kenchiku/kinou.html> (2020.1.10 確認)。
- 10) インターロッキングブロック舗装技術協会：インターロッキングブロック舗装設計施工要領4版、インターロッキングブロック舗装技術協会、2013.8.
- 11) 阪井由尚、太田貴士、杉山智昭、成田仁：地球環境に配慮した既存ストック活用型の研究開発棟増改築工事、コンクリート工学、Vol.57, No.10, pp.785-790, 2019.

〔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



岡本 礼子（おかもと れいこ）
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



渡邊 悟士（わたなべ さとし）
大成建設㈱ 技術センター
都市基盤技術研究部 構造研究室
主任研究員



大規模都市木造の実現に向けた取り組み

大規模木造をローコストで実現する技術オメガウッドの開発

榎 本 浩 之

都市の大規模木造普及においては、構造材の製造・加工および施工コスト縮減が必須の課題となる。耐火木造も含めた高層または大スパン木造の実現に向けては高強度大断面材のコスト縮減を図ることが有効であり、本稿では純木造 11 階建にも適用している技術「オメガウッド」（以下「本技術」という）を紹介しつつ、都市の木造への取り組みについて報告する。

キーワード：大規模木造，高層，ローコスト

1. はじめに

森林資源は循環利用（植える→育てる→使う→植える）が可能な材料であり、森林づくりにより CO₂ を吸収し、木材として利用した後は再利用や燃料としてのエネルギー活用もでき、持続可能な社会の実現に大きく貢献する低炭素型の材料である。

環境配慮の観点と合せて、国内でも国産材の蓄積量が徐々に増えていることから、構造材としての積極的な活用に向けて 2010 年には公共建築物木材利用促進法が施行され、公共建築物を主体に中低層建物の木造化が進められている。また、構造材料の選択拡大に向けても 2016 年に CLT に関する告示が施行される等、木造化推進に向けた施策が進んでいる。

このような背景のもと、生産・物流施設を主体に大規模純木造への取り組みを以前より行っており、その実績も踏まえて 11 階建て純木造の研修所を今年度着工予定として計画している。

本稿では、木造技術の概要と適用実績、および計画中の 11 階建耐火木造の計画概要について紹介する。

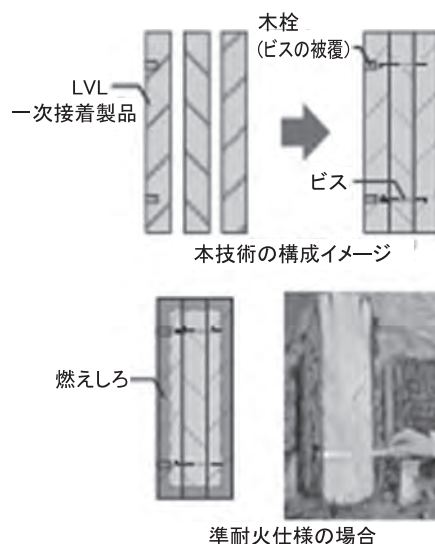
2. ローコスト大断面化技術「本技術」

大規模木造架構を建設するためには、断面幅（厚さ）および断面せい（高さ）の大きな木材が必要となる。大断面材を製作するためには、単板を接着した単板積層材（LVL）などを、更に複数接着した「2 次接着による木材の一体化」が必要であり、専用の機械と技術を持つ限られた工場で作製されるため割高であった。

本技術は準耐火構造への適用に向け、LVL・集成材

をボルトやビスで綴って一体化し、大断面を合理的なコストで実現する技術であり、概念図を図一 1 に示す。LVL を一次接着製品のまま用いることにより、従来の二次接着材に比べて材料コストを安く、材料納期を短縮することができる。複雑な仕口も一次接着製品の表面のみでの加工とすることで、効率良く高い精度での製作が可能となり、接合鋼板も合せ面に挟み込むことで室内側に見せずに、木架構の美しさを表現できる。

また、本技術を耐火構造にも適用できる技術とした本技術（耐火）を木質耐火部材の開発会社からの技術供与により開発している。荷重を支持する構造材には前述の本技術を採用し、写真一 1 に示すように構造材の外側には燃え止まり層（耐火層：石膏ボード）と燃えしろ層（木材）を設けた 3 層で構成しており、3



図一 1 本技術概念図

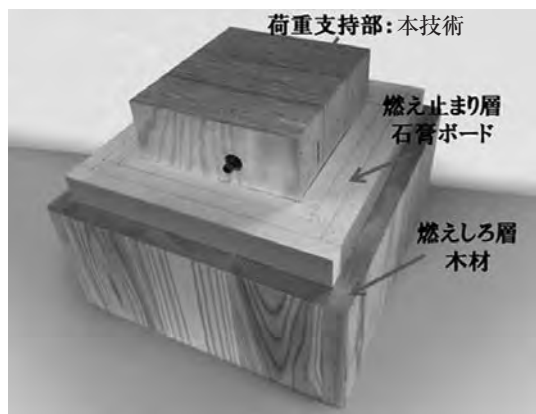


写真-1 本技術（耐火）

時間耐火の認定を取得している。階数の制限なく耐火構造が実現できるため、事務所や商業施設をはじめ、医療福祉施設、教育施設など耐火構造が必要となる幅広い用途で、「木に見える耐火木造」をリーズナブルに実現することができる。

3. 大スパン架構への適用

準耐火構造の事例として、鳥取県境港市での本技術適用例を紹介する。倉庫としての用途であり 31 m ×

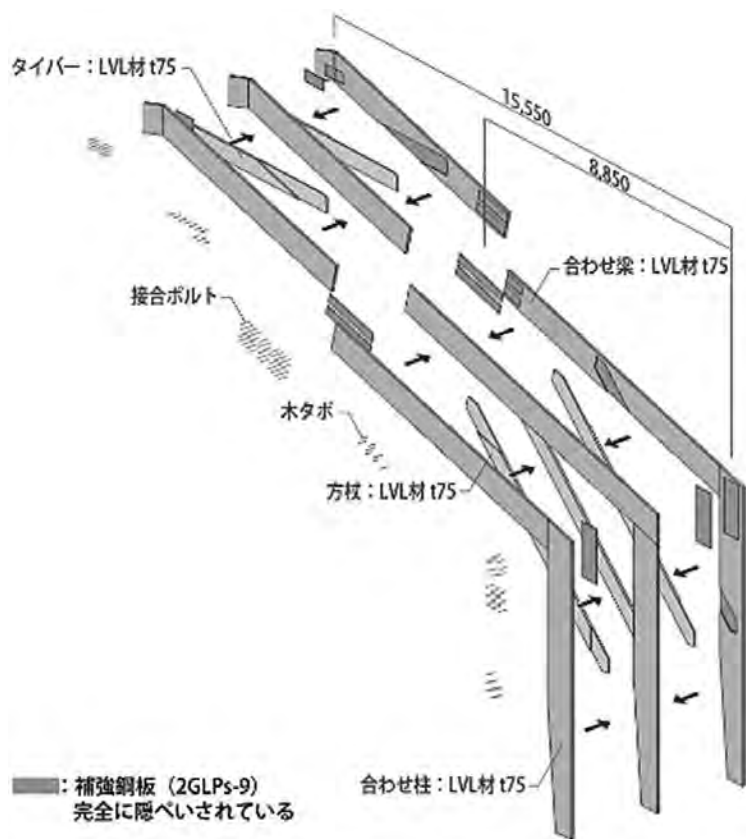
48 m の無柱空間を実現するためロングスパン化が必須条件であった。合せて鉄骨造に近い施工コストが求められたため、ローコスト化が第一の命題となるロングスパン架構の実現に向けて、対策を講じた。

構造計画については、31 m スパンの実現に向けて高剛性・高耐力の LVL 材を構造材に採用すると共に、架構形式としては図-2 に示すように方杖・タイバーを配置して大梁たわみの抑制を図っている。耐震要素としては外周壁面に厚物構造用合板による高耐力壁を配置し、窓開口を確保しつつ耐震性を担保している。

組立ては工場・現場のいずれでも対応が可能なため、工場で綴り材による大断面の形成を行い、ロングスパン方向に3分割した各ブロックの地組を現場にて行った。ブロック化の構成を図-3 に示す。また、地組状況を写真-2 に示す。

ジョイント部以外は足場を無くして省力化を図り、かつ地組により精度よく組立てを行うことで空中作業による安全・品質面の問題点を極力排除できたことで、施工期間6ヶ月という短工期を実現している。

本案件の他、複数の生産施設に本工法を適用し、ローコストでロングスパンを実現することで事業主の要望に応えている。



架構イメージ図

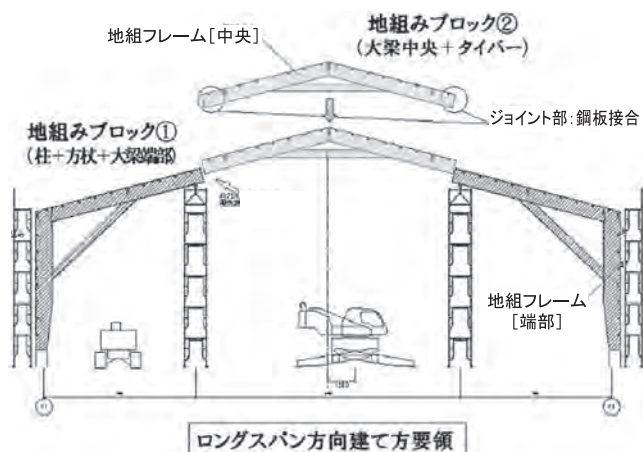


平面図 縮尺1/400



断面図 縮尺1/400

図-2 構造材の構成



図一3 ブロックの構成



写真一2 地組状況 (地組みブロック①)

4. 高層純木造への挑戦

(1) 建築計画

現在は本技術（耐火）を適用した、高層純木造実現に向けての計画を進めており、その概要を報告する。

横浜市に計画する11階建の当社研修施設で、3階～8階には宿泊室を併設する建物である。自由闊達なコミュニケーションの誘発により、新たなイノベーションや企業文化を生み出すことを目指した次世代型研修施設であり、木質化された空間デザイン、自然を取り込む技術の採用による、利用者の健康と快適性の向上を図ることを計画しており、構成を図一4に示す。

防火地域の指定を受けているため、11階建は下層階に2時間耐火が要求されるが、繁華街の立地という特性を考慮し、1階柱には日本初となる3時間耐火仕様を採用する。

(2) 構造計画

構造計画の特徴としては、研修スペースは柱を設けずに一体的に活用したいとの意匠計画を踏まえて、図一5の通り外周部に柱を2.8m間隔で配置するチュー

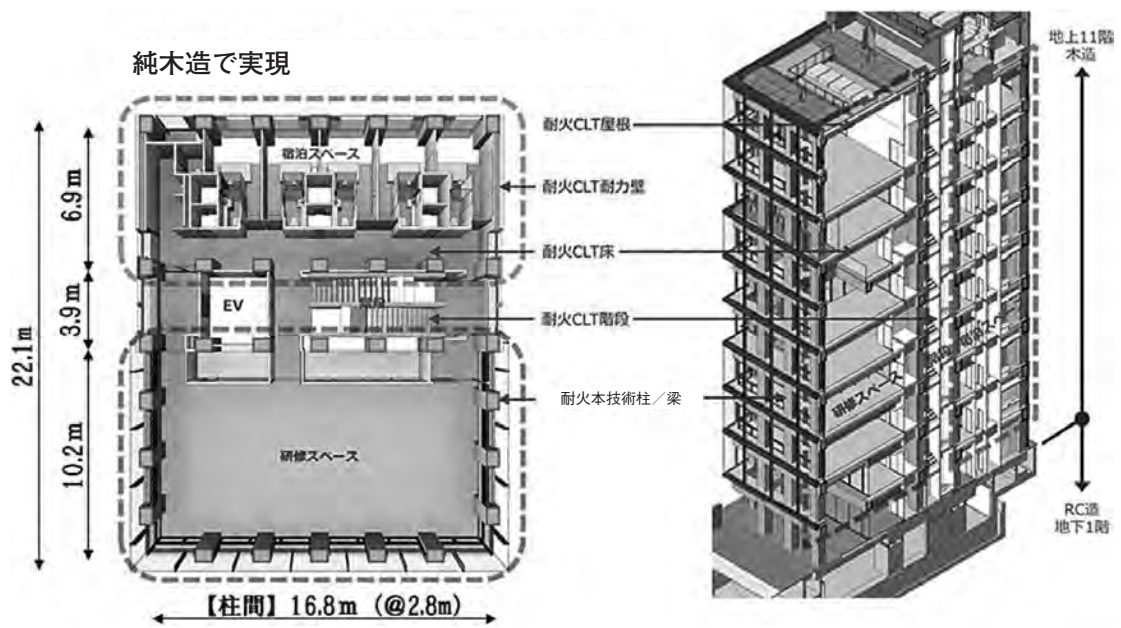


図一4 研修所の構成

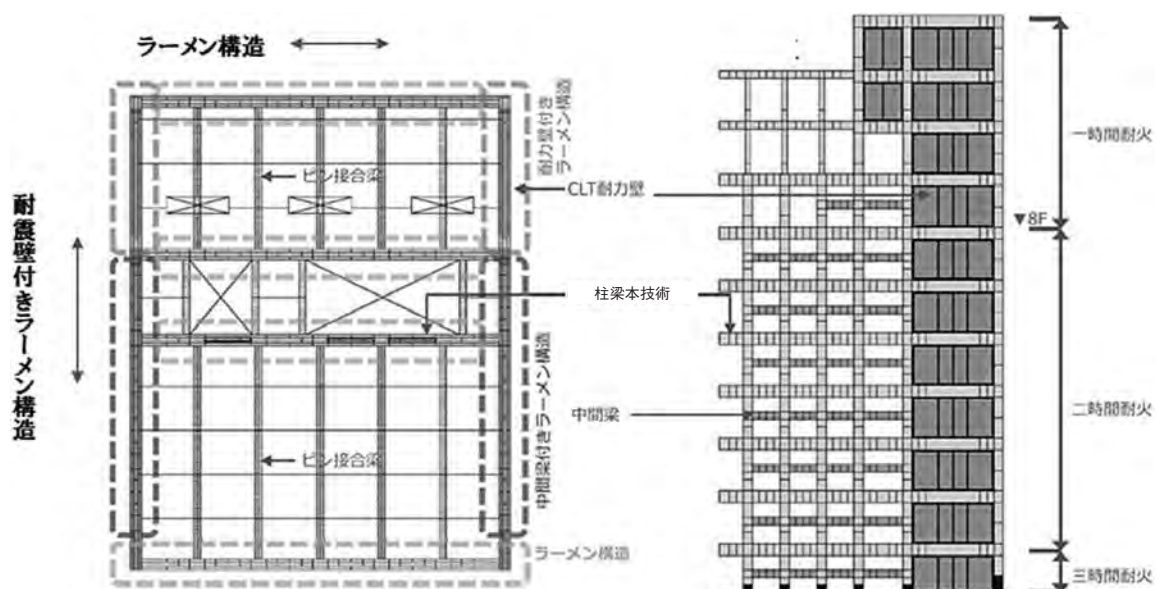
ブ構造を採用して研修ゾーンの無柱化を図っている。

また、図一6に示すように、建物内部に柱列を配置して4構面が確保できる方向は純ラーメン構造として内部動線を確保し、その直交方向は耐震要素が外周2構面のみとなるため、直交集成板（CLT）を耐力壁として配置し、耐震性を確保している。

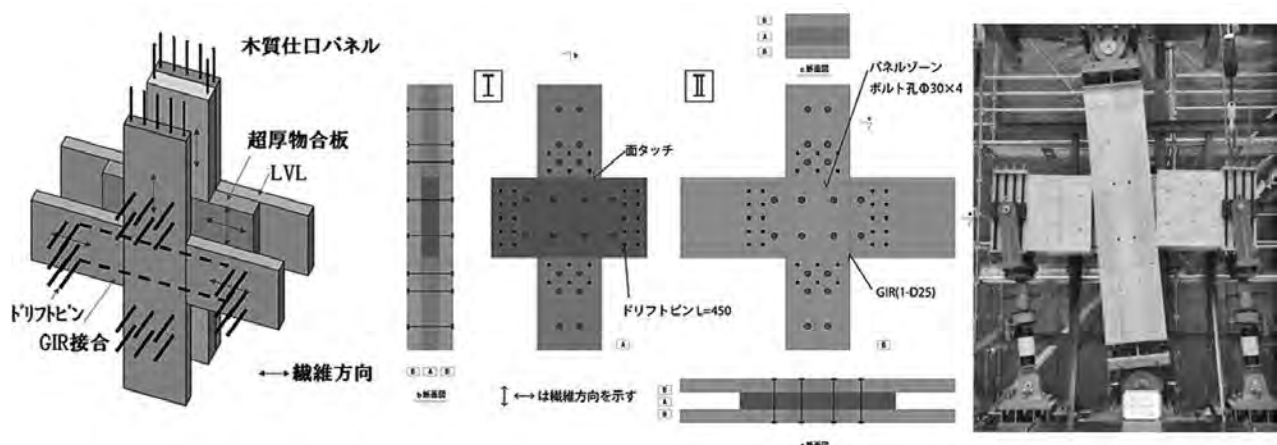
純ラーメン構造を実現するには、梁柱接合部を地震力に対して高剛性化、高耐力化する必要がある。新たに柱と梁を一体化する「金物を使わない剛接合仕口ユニット」を開発しており、その概要を図一7に示す。従来の鋼板挿入型接合の場合、ドリフトピンと鋼板の初期すべりによる影響で初期剛性が低く、部材変形能力に関しても大変形時まで追従するのが難しいことから、接合部に鉄筋挿入工法や高強度超厚物合板を貫材として活用する等の技術を組み合わせることで高剛性、高耐力かつ変形角1/10まで耐力を保持する高い靱性能を有することを実大実験で確認している。



図—5 構造材の設定



図—6 構造計画



図—7 十字型仕口ユニットの概要、実大試験状況（右）

純木造で計画を実現するためには床振動や遮音性への配慮が必要となる。宿泊室のCLT床においては、自社開発の遮音床を採用予定である。

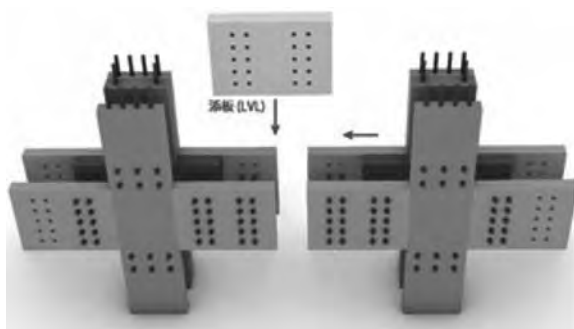
また、本研修施設では木造の軽量建物であることを考慮して球面すべり支承を用いた変形制御型の免震構造を組み合わせることで、非常に高い耐震性を実現する計画としている。

(3) 施工計画

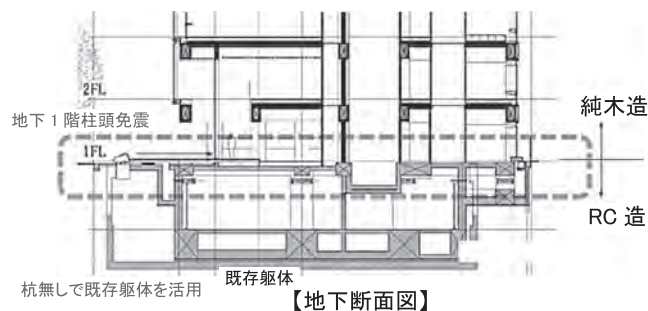
本施設の建設地は繁華街の狭小地であり、現場施工を省力化することが工期短縮および工事費削減に向けて有効な対策となる。

主架構の構築に当り、構造計画で示した柱梁接合部を工場で精度良くユニット化し、ユニット間の接合のみを現場施工とすることにより、高い施工性の実現に向けた工法を検討しているところである。ユニット化のイメージを図一8に示す。

また、当敷地には既存地下躯体が残置されているが、上部構造が軽量である特性を活かして図一9に示すように杭を新設せずに既存躯体の内側で新築部分を構築するため、地下工事を大幅に縮減でき、工期・コスト・CO₂削減に寄与していることを合せて報告する。



図一8 十字型仕口ユニット間の接合イメージ



【地下断面図】
図一9 地下の構造計画

5. おわりに

持続可能な社会の実現に向けて、都市の木造・木質化は今後も重要なテーマになると思われる。本稿で紹介したローコスト大架構技術を活かし、今後需要が見込まれる適材適所に木造を採用したハイブリッド木造や超高層木造・大規模木造に積極的に取り組んでいく所存である。

2022年3月竣工予定である日本初の11階建研修所が、これからの都市の木造化推進に向けた一助となれば幸いである。

謝 辞

最後になりますが本技術(耐火)「オメガウッド(耐火)」開発にあたり多大な協力をいただいた(株)シェルター殿には心より感謝申しあげる。

J C M A

【筆者紹介】

榎本 浩之(えのもと ひろゆき)
(株)大林組
設計本部 構造設計部



人と環境に優しい仮設資材を土木現場に適用

KAMIWAZA

宮 瀬 文 裕・宇 野 昌 利

現在、建設業のみならず多くの産業でSDGs（SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS）への取り組みがなされている。近年、紙素材は技術開発により強度、耐候性等に優れた製品が実用化されている。紙素材の持つリサイクルの容易さは、17のゴールの中で「12 つくる責任 つかう責任」等に資すると考えられる。これらのことから、紙素材を仮設資材へ適用することを考えた。本稿では紙素材の特徴、仮設資材に適用した場合のSDGsとの関係、現場での試用結果について概要を説明する。

キーワード：紙素材、リサイクル、仮設資材、SDGs

1. はじめに

近年、紙素材は技術改良が進み、強度、耐火性能、耐水性能に優れた高機能なものが製品化されている。そこで、筆者らは高機能な紙素材を仮設資材へ適用することを考え、基礎的な性能確認と現場適用性を検証してきた。その結果、仮設資材への適用可能性が高いことを確認した^{1), 2)}。その成果の概要について、本誌建設機械施工 2019年9月号に紹介している。その際は、紙素材の軽量性、加工性の高さに着目し、現場での取り扱いが容易な点が生産性の向上とコスト削減に有効である点について報告した³⁾。

紙素材の大きな特徴は、リサイクルが可能であり、さらに全国的にリサイクルする体制が整っていることである。家庭ごみをごみ収集日に出す場合に、紙は新聞紙、段ボールなどに区分し、資源ごみとして扱われることが多いことが、リサイクル体制が整っていることの一例といえる。リサイクルが容易な紙素材を仮設資材に適用することで、建設現場における廃棄物の削減とリサイクルの一層の推進を図ることが可能と考えられる。さらに、リサイクル可能な紙素材の利用は、新規生産するための森林伐採を減少させ、山地の保存、ひいては山地生態系の保全に有効と考えられる。これらは、社会的に取り組がなされているSDGs（SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS）に資するものと考えられる。このように、紙素材は現場での取り扱いが容易（＝人に優しい）、SDGsに資する（＝環境に優しい）を両立できる素材と考えられる。本稿では、紙素材の特徴、SDGsの概要と紙素材との関係、

現場での試用結果について述べる。

2. 紙素材の特徴

（1）紙素材の基本性状

本稿で述べる紙素材は、特殊強化段ボールである。この素材は、3層構造で強度と耐久性に優れ、機械等の重量物の梱包資材として、木材の代替品に活用されている（写真—1）。また、耐水加工を実施し、魚運



写真—1 3層構造の紙素材（厚さ 15 mm）



写真—2 耐水加工の例：魚（マグロ）梱包箱

搬用の生け簀や箱としても活用されている（写真—2）。箱として利用された後は、これまでの木材、発泡スチロールと異なり、廃棄されずにほぼリサイクルされており、環境に優しい材料といえる。

仮設資材として利用する場合は、面密度 2.2 kg/m^2 と軽量なため、型枠の合板サイズ（ $1.8 \text{ m} \times 0.9 \text{ m}$ ）で 4 kg 未満と人力運搬が容易である。現在、建設現場では高齢な作業員と女性作業員の割合が高まっている。壮年の男性作業員よりも体力的に劣る高齢、女性作業員にとっては優しい材料といえる。

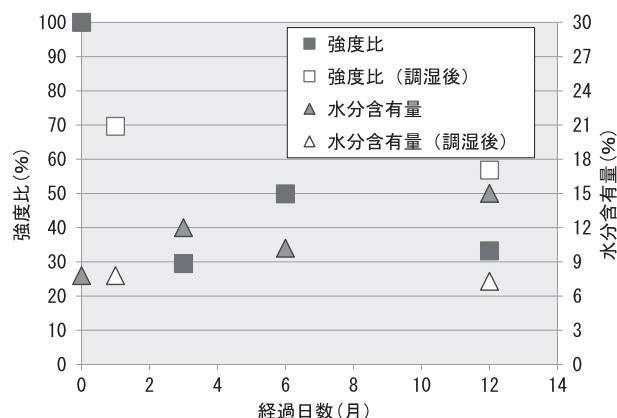
紙素材は、折り曲げることで様々な形状を実現できる。例えば、デジカメ、スマホ等が収納されている箱には、寸法と形状が商品にぴったりの紙製の保護材が使用されていることが多い。この保護材は、1枚の紙素材をプレスするように所定の形状に打ち抜き、折り曲げることで実現している。

(2) 仮設資材への適用性に関する基礎試験結果

紙素材を現場での仮設資材に適用するため、耐候性と遮音性能について基礎的な試験を実施した。試験結果の概要を以下に述べる。

(a) 耐候性の確認^{2), 3)}

紙素材の耐候性は、湧水量が多く、1年を通じて湿潤環境にあるトンネル現場内で1年間の耐候性試験により検証した。耐候性は、箱状試験体（幅 0.5 m 、高さ 0.5 m 、長さ 2.0 m ）の強度試験と目視による劣化状況観察により確認した（写真—3）。箱状試験体の圧縮強度試験結果を図—1に示す。この図の横軸は経過時間（月）、縦軸は強度比（%）（=各時期の試験体の強度試験結果／試験前の標準状態（水分含有7%状態）の試験体の圧縮強度）、および試験体の水分含有量（%）の実測値である。12ヶ月経過後の試験では、回収したままの水分含有15%の状態と、水分含有7%



図—1 強度比と水分含有量の経時変化

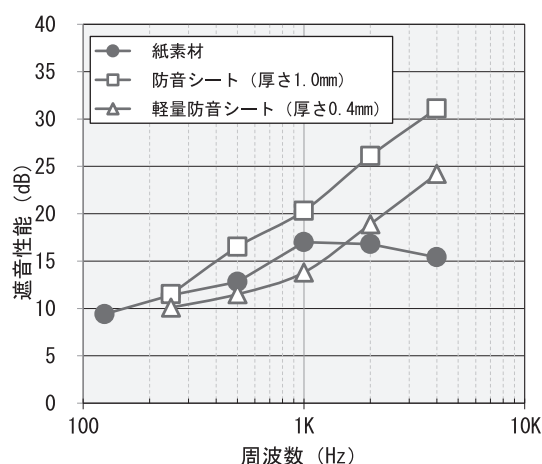
の標準状態まで調湿した状態で強度比を確認した。回収したままの状態では、強度比は33%であったが、調湿した状態では強度比が57%まで回復していた。紙素材は、素材が劣化していなければ、水分含有量が低下すると強度比が回復する。12ヶ月後の試験結果は、水分含有量の低下（15%→7%）により、強度比が回復（33%→57%）している。この結果から、この紙素材は湿潤状態下で吸湿・乾燥を繰り返した場合も、劣化が進みにくいと考えられた。さらに、箱状試験体の表面の損傷、カビの発生などの状況を観察した結果、12ヶ月後においても顕著な劣化は確認されなかった。これらのことから、この紙素材は短期の耐候性を期待できると判断した。

(b) 遮音性能の確認¹⁾

紙素材の遮音性能は、JIS A1416-2000「実験室における建築部材の空気音遮断性能の測定方法」に準じ、独立行政法人 東京都立産業技術研究センターにて音響透過損失（遮音性能に相当）を測定した。音響透過損失は、1/1 オクターブ（中心周波数 $125 \text{ Hz} \sim 4 \text{ kHz}$ の6帯域）で測定した。試験結果を図—2に示す。図—2には、多用されている2種類の防音シートの



写真—3 箱状試験体と耐候性試験の状況



図—2 紙素材および防音シートの遮音性能

音響透過損失の数値を、メーカーのカatalogデータ (<http://www.kyowa-inc.co.jp/index.html>) をもとに、1/1 オクターブに変換して示した。厚さ 1.0 mm の防音シートは現場で多用されており、軽量性が求められる場合には厚さ 0.4 mm の軽量防音シートが使用されている。紙素材を図—2 に掲載した防音シートと比較すると、紙素材は周波数が 2 kHz までは軽量防音シート程度の音響透過損失が期待できると判断された。

3. SDGs の概要と紙素材との関係

(1) SDGs の概要

SDGs で掲げられた 17 の目標は、2015 年 9 月開催の国連サミットにおいて、全会一致で採択された「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」の文書中に記載されている⁴⁾。ここでいうアジェンダは行動計画といった意味であり、「誰一人取り残さない」持続可能で多様性と包摂性のある社会の実現のため、2030 年を年限とする 17 の国際目標である。そして、この目標の特徴は、表—1 に示す普遍性、包摂性、参画型、統合性、透明性の 5 つとなっている⁵⁾。そして、17 の目標には、短縮された目標

が書かれたロゴと全文が定められている (図—3)。この全文は、基本的に「〇〇のように行動し、□□を実現する」といった構成となっている。さらに、17 の目標の下には「具体的にどうすればよいか」を示す細目に当たる 169 のターゲットが示されている。短縮された目標と全文を表—2 に示す⁶⁾。

(2) SDGs と紙素材の関係

より具体的な内容が示された SDGs の 169 のターゲットを検討した結果、紙素材のリサイクルという特徴は、表—3 にしめす 2 つのターゲットに資すると考えられる⁶⁾。

(a) 廃棄物の発生を減らす (ターゲット 12.5)

このターゲットの文中には再生利用 (リサイクル) の文言が明示され、紙素材のリサイクル可能な特性が、合致すると考えられる。さらに、紙素材を仮設資材に適用する場合、廃棄物の発生防止、削減にも資することが可能と考えている。

「2. 紙素材の特徴」に示したように、紙素材の身近な活用方法である保護材は、板状の紙素材をプレスのように打ち抜いて製造されている。打ち抜き用の型枠は、CAD で作製したデータをもとに正確な寸法、形状で製作されている。また、少量生産品では、CAD で作製したデータをもとに板状の紙素材をカットする専用機があり、やはり正確な加工が可能である。現場に搬入する前に、板状の紙素材を工場ですべてにプレカット加工することで、廃棄物の発生防止、削減に 2 つのメリットがある。1 つ目は、工場ですべてにプレカット加工する際に発生した端材は、工場内で確実に回収しリサイクルが実施しやすい。2 つ目は、現場での加工が

表—1 SDGs の特徴⁵⁾

普遍性	先進国を含め、全ての国が行動
包摂性	人間の安全保障の理念を反映し「誰一人取り残さない」
参画型	全てのステークホルダーが役割を
統合型	社会・経済・環境に統合的に取り組む
透明性	定期的にフォローアップ



図—3 SDGs の 17 のゴール

表一 2 SDGs の短縮された目標と全文⁶⁾

短縮された目標	全文
1 貧困をなくそう	あらゆる場所のあらゆる形態の貧困を終わらせる
2 飢餓をゼロに	飢餓を終わらせ、食料安全保障及び栄養改善を実現し、持続可能な農業を促進する
3 すべての人に 健康と福祉を	あらゆる年齢のすべての人々の健康的な生活を確保し、福祉を促進する
4 質の高い教育をみんなに	すべての人に包摂的かつ公正な質の高い教育を確保し、生涯学習の機会を促進する
5 ジェンダー平等を実現しよう	ジェンダー平等を達成し、すべての女性及び女児の能力強化を行う
6 安全な水とトイレを世界中に	すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する
7 エネルギーをみんなに そしてクリーンに	すべての人々の、安価かつ信頼できる持続可能な近代的エネルギーへのアクセスを確保する
8 働きがいも 経済成長も	包摂的かつ持続可能な経済成長及びすべての人々の完全かつ生産的な雇用と働きがいのある人間らしい雇用（ディーセント・ワーク）を促進する
9 産業と技術革新の基礎をつくろう	強靱（レジリエント）なインフラ構築、包摂的かつ持続可能な産業化の促進及びイノベーションの推進を図る
10 人や国の不平等をなくそう	各国内及び各国間の不平等を是正する
11 住み続けられるまちづくりを	包摂的で安全かつ強靱（レジリエント）で持続可能な都市及び人間居住を実現する
12 つくる責任 つかう責任	持続可能な生産消費形態を確保する
13 気候変動に具体的な対策を	気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる
14 海の豊かさを守ろう	持続可能な開発のために海洋・海洋資源を保全し、持続可能な形で利用する
15 陸の豊かさを守ろう	陸域生態系の保護、回復、持続可能な利用の推進、持続可能な森林の経営、砂漠化への対処、ならびに土地の劣化の阻止・回復及び生物多様性の損失を阻止する
16 平和と公正をすべての人に	持続可能な開発のための平和で包摂的な社会を促進し、すべての人々に司法へのアクセスを提供し、あらゆるレベルにおいて効果的で説明責任のある包摂的な制度を構築する
17 パートナリシップで目標を達成しよう	持続可能な開発のための実施手段を強化し、グローバル・パートナーシップを活性化

表一 3 紙素材が SDGs に資するターゲット⁶⁾

短縮された目標	ターゲット		
12 つくる責任 つかう責任	12.5	廃棄物の発生を減らす	2030 年までに、廃棄物の発生防止、削減、再生利用（リサイクル）及び再利用により、 廃棄物の発生を大幅に削減 する。
15 陸の豊かさを守ろう	15.4	生物多様性を含む山地生態系を保全する	2030 年までに持続可能な開発に不可欠な便益をもたらす山地生態系の能力を強化するため、 生物多様性を含む山地生態系の保全を確実に 行う。

最小限、もしくは不要となるため、現場での加工による端材が発生せず、廃棄物の発生防止、削減に有効である。

(b) 生物多様性を含む山地生態系を保全する（ターゲット 15.4）

紙素材の原料となるパルプは、森林を伐採して得られる。そのため、紙素材のリサイクルを促進することで、森林の伐採量の削減に有効と考えられる。森林の伐採量を削減することで、その場所の環境の改変を防止でき、結果として山地生態系の保全に資すると考えられる。紙素材を現場の仮設資材に適用した場合、リサイクルしやすいことから、上述したように山地生態系の保全につながると考えられる。

4. 紙素材の現場への試用例

筆者らは、これまでに紙素材を仮設資材として様々な場面で試用した^{1)～3)}。今回、廃棄物の発生を減らす（ターゲット 12.5）に合致する試用例として、大断面トンネルの風門へ試用した例について概要を述べる³⁾。

(1) トンネルの風門の概要

トンネルの風門は、トンネルの貫通後にその出入口の全面に設置する壁状のものである。トンネル貫通後は、外気が流入してトンネル内部の温度と湿度に急激な変化が生じる。これにより、トンネルの覆工コンクリートの表面にひび割れを発生させる懸念がある。そ

ここで、外気の流入を防止する手段として、風門を設置することが多い。従来の大断面のトンネルでは、骨組となる鋼材、壁となる合成樹脂製の膜等から構成される風門を使用していた。トンネルの形状と寸法は、全て異なるため、風門もトンネル毎に設計し製作する必要があった。そのため、使用後は他現場への転用（再利用）はほぼ不可能である。使用後は、鋼材、合成樹脂等に分別を徹底して処分していた。また、リサイクルを図る場合も廃棄せざるを得ない部材も生じていた。風門の設置は、トンネル1本あたりで入口と出口に1箇所の計2箇所、時には2重に設置して計4箇所のため、廃棄材の量も増加する傾向であった。

(2) 紙素材を活用したトンネル風門の特徴

今回紙素材の風門を試用したトンネルは、トンネル断面が100 m²程度の大断面の道路トンネルである。大断面であるため、トンネル貫通後に流入する外気の風圧により、紙素材の風門が損傷する懸念があった。そこで、風圧に耐えられるように、リース品による支保工を事前に構築して、紙素材による壁部分と一体化する構造とした。写真—4に、支保工の設置状況を示す。紙素材の部材寸法についても、面積が大きくなると風圧により損傷の懸念があるため、幅1 m、高さ1 mの正方形のパーツを基本とした。なお、曲線となるトンネルの縁部分については、3. (2)(a) で述べたように、CAD図をもとに設定し、図面に沿って正確にプレカット加工できる紙素材用の加工機で作製した。図—4に、今回のトンネルの形状、寸法を考慮して作製した紙素材の割付図を示す。図—5には、図—4に示した記号A～Zの各部材の加工図を示す。図—4、5の部材Xが正方形の基本部材、A～Oが曲線部分を含む異形部材である。

加工図の中の点線は、折れ線加工の位置である。現



写真—4 紙素材の風門用の支保工設置状況

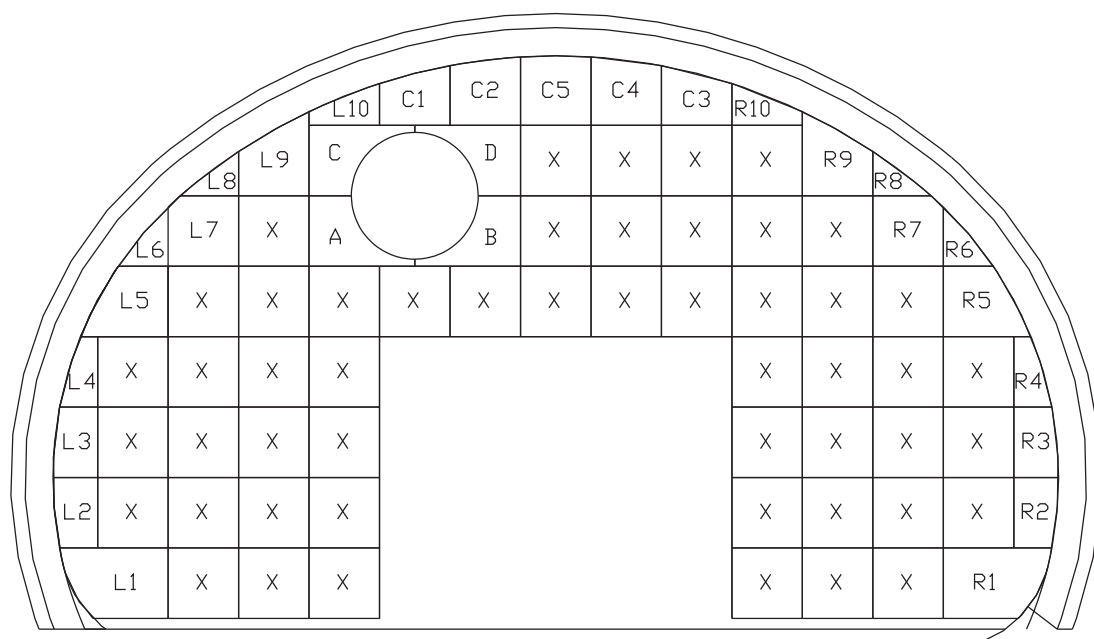
場では、この折れ線加工部を折り曲げて箱状にして使用する。折れ線加工のメリットとして、現地での折り曲げ、組立が容易であること、寸法・形状が正確に作れることが挙げられる。寸法・形状が正確に作れることにより、現場調整による端材が発生せず、廃棄物の削減が可能となる。また、全ての部材の端部には、L字型の切込みを設けた。各部材の支保工への固定は、支保工の単管へとL字型の切込みに沿って紙素材を単管に押し込み、落とし込むことで容易に実施できる。この方法により、組立の容易さ（＝人に優しい）とリサイクル可能な紙素材以外の素材の使用の減少（＝環境に優しい）を実現した。

(3) 現場での試用結果

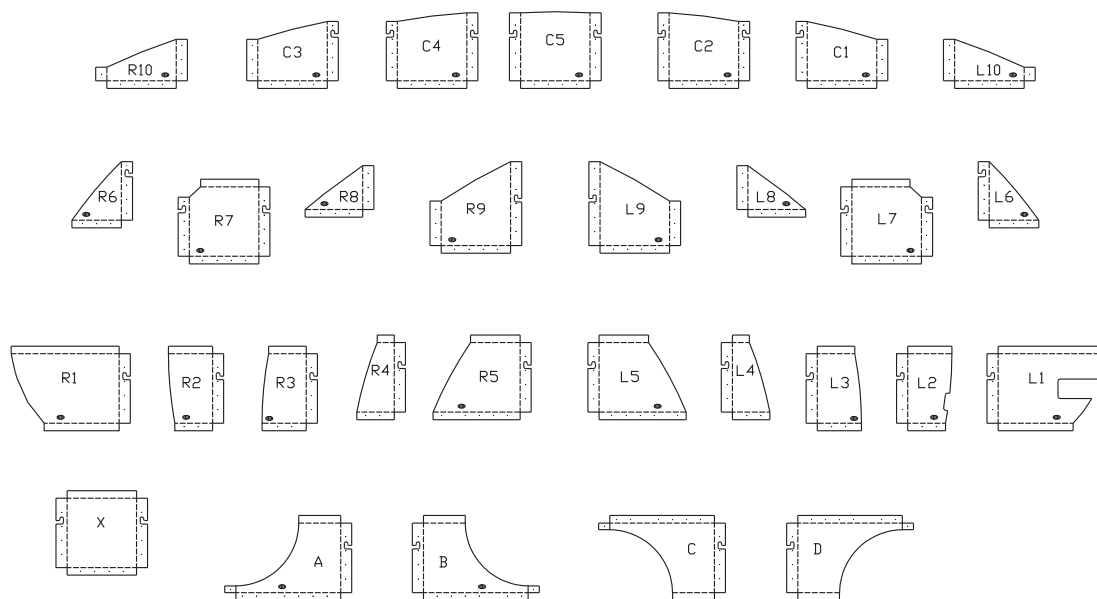
写真—5に、紙素材の風門の組立状況を示す。組立は、基本部材X、縁部の異形部材A～Oを地上で箱状に組立てたのち、高所作業車を使用して順次支保工に人力で設置した。写真—6に、紙素材の支保工への固定状況を示す。支保工の単管寸法に正確に加工したL字型の切込みにより、容易、確実に固定できることを確認した。このように、固定用の別途部材を必要としないため、使用材料そのものの削減に有効である。また、隣接するパーツ同士の接続には、折り曲げた部分を紙素材用の特殊ネジ（合成樹脂製）を使用して接合した。この特殊ネジは、紙素材の固定用として多数使用されており、充電ドライバーを使用することで簡単に脱着可能である（写真—7）。紙素材の風門を撤去する際は、特殊ネジを緩めることで容易に解体が可能であり、紙と特殊ネジの分別もしやすい。このため、紙素材の部材は全量をリサイクル、少量の特殊ネジは（合成樹脂製）は産業廃棄物とし、廃棄物の大幅削減の実用化に近づける。

写真—8に、紙素材の風門の設置完了状況を示す。この写真に示すように、曲線がある縁部および円形の風管（トンネル内の換気設備）に使用した異形部材は、トンネルと風管の形状に沿って隙間なく設置されている。設置時には、縁部および風管の周囲については、多少の形状と寸法の調整が必要であった。今回は、通常のカッターにより、現場で容易に加工でき、発生した端材はごく少量であった。これらは、紙素材であるため、現場で紙資源として業者に回収された。写真—9に、紙素材の風門の試用状況を示す。紙素材の風門は、2基を設置したが、約6ヶ月間の試用中に支障なく機能を発揮した。

今回の試用では、現場での折り曲げ作業のみで作製する部材で、実用的な風門を設置できることを確認し



図ー4 紙素材のトンネル風門の割付図



図ー5 紙素材のトンネル風門の部材加工図



写真ー5 紙素材の風門の組立状況

た。この部材は、工場でプレカットされており、現場での加工は不要なため、寸法調整程度の端材しか発生しない。工場での加工時は、端材はすべて回収、リサイクルされている。これらから、紙素材を現場での仮設資材へ適用する場合、製造段階と現場での使用段階の両方で、リサイクルが容易になされ、廃棄物の発生を減らす（ターゲット 12.5）に対して、きわめて有効と考えられる。



写真一六 L字型の切込みによる支保工への固定状況



写真一七 紙素材用ネジによる部材同士の接合



写真一八 紙素材の風門の設置完了状況



写真一九 紙素材の風門の試用状況

5. おわりに

今回、紙素材のリサイクルが容易な特性を利用して仮設資材へ適用した際に、どのようにSDGsへ寄与するかについて、紙素材の特徴、SDGsとの関係を整理した。さらに、現場で試用した結果から、軽量で取り扱いが容易という人に優しい特性と合わせ、廃棄物の発生が極めて抑制され、環境に優しい特徴についても確認できた。特に、紙素材は工場でプレカットし、現場で組立てるだけといった工夫を突き詰めることで、工場での製造段階と現場での使用段階の両方で、リサイクルによる廃棄物の抑制が図れることが確認できたことは、今後の現場適用へ大きな可能性を感じられる。なお、リサイクル可能でSDGsに資する紙素材を仮設資材に活用する技術を「KAMIWAZA」と名付け、技術開発と現場への活用を進める予定である。

謝 辞

最後になるが、本稿試験で試用した風門を製作頂いた王子インターパック(株)の関係者、トンネル現場の関係者には、多大の協力をいただいた。ここに感謝の意を表する。

JICMA

《参考文献》

- 1) 宮瀬文裕, 谷川将規, 岡崎正人, 古木弘, 藤本邦夫, 坂水順一, 清水淳路, 仮設防音設備への紙素材の適用性に関する基礎的検討, 第45回環境システム研究論文発表会講演集, pp81-86, 2017.10
- 2) 宮瀬文裕, 古木弘, 谷川将規, 宇野昌利, 藤本邦夫, 岩井一将, 仮設防音設備用紙素材の耐候性試験, 土木学会第73回年次学術講演会, VI-362, pp723-724, 2018.8
- 3) 宮瀬文裕, 仮紙素材を活用した生産性向上とコスト削減, 建設機械施工, Vol.71 No.9, pp44-48, 2019.9
- 4) 村上芽, 渡辺珠湖, SDGs入門, 日本経済新聞出版社, pp16-27, 2019.6.14
- 5) 外務省, 「持続可能な開発目標」(SDGs)について, 2019.1

- 6) 環境省, すべての企業が持続的に発展するために —持続可能な開発目標 (SDGs) 活用ガイド— 資料編, 2018.6



[筆者紹介]

宮瀬 文裕 (みやせ ふみひろ)
清水建設㈱
土木技術本部 設計部
主査



宇野 昌利 (うの まさとし)
清水建設㈱
土木技術本部 開発機械部
主査



本・仮設兼用鋼－コンクリート合成地下壁の開発 仮設土留め用鋼矢板の本体利用技術 J-WALL[®] II 工法

後 藤 宏 輔・古 莊 伸一郎・西 口 正 仁

仮設土留め壁として利用した鋼矢板を、地盤掘削後に鉄筋コンクリートと一体化させて本体利用する技術 J-WALL II 工法（以下「本工法」という）を開発した。

開発に際し、本工法に用いる専用の鋼矢板と、後打ちの鉄筋コンクリートとの一体性を評価するために押抜き試験を実施し、シアコネクタ部のせん断耐力の評価方法を構築した。また、合成壁の構造性能を評価するために梁曲げ試験を実施し、終局限界状態まで一体壁構造（完全合成壁）として設計できることを確認した。

本工法を実現場に適用し、本工法に用いる専用の鋼矢板は、所要の打設精度でかつ、従来の鋼矢板と同等の施工歩掛で打設でき、地盤掘削後の鉄筋コンクリート部の施工も問題なく行えることを確認した。

キーワード：地下壁，土留め，合成構造，本体利用，鋼矢板，免震レトロフィット

1. はじめに

立体交差などのアプローチ部の U 型擁壁部やレトロフィット工事におけるピット階の地下外壁などの工事では、一般的に、鋼矢板などで仮設土留めを構築した後、鉄筋コンクリートなどで別構造の本設の地下壁を構築する方法が採られている。近年、都市部におけるこうした地下壁構築工事では、既設構造物との間の狭隘地や、隣地境界近傍といった厳しい条件下で施工が行われることが多く、全体工期や工費を圧迫していた。

そこで、このような課題に対応すべく、仮設土留めとして用いられる鋼矢板を、本設の躯体の構造部材の一部として考慮し、鋼－コンクリート一体壁構造として本体利用することにより、本設地下壁の施工数量を削減し、工期短縮や工事費削減が可能となる本工法を開発した^{1), 2)}。

本稿では、本工法の鋼矢板と鉄筋コンクリートとの一体性および壁体としての構造性能の評価のために行った実大実験と、実現場での適用事例について述べる。

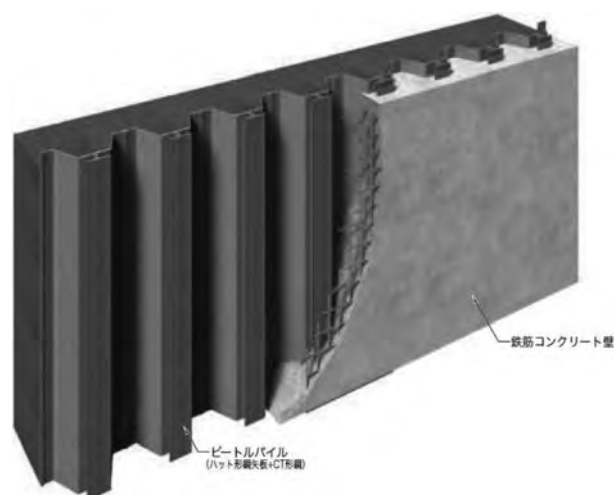
2. 本工法の概要

本工法は、合成構造用鋼矢板「ビートルパイル[®]」(以下「合成構造用鋼矢板」という)を仮設土留めとして

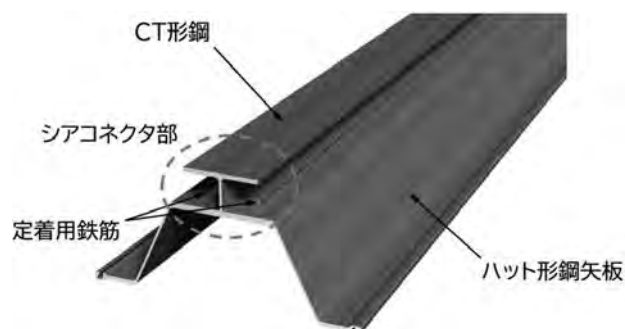
利用し、地盤掘削後に後打ちの鉄筋コンクリートと一体化させ合成地下壁を構築する工法である(図－1)。

合成構造用鋼矢板は、ハット形鋼矢板に CT 形鋼および定着用鉄筋を溶接取付けしたものである(図－2)。仮設時には CT 形鋼によって曲げ剛性が 90 ～ 145% 向上する。一方、本設時には、鋼矢板が鉄筋と同様の引張鋼材として機能するため、従来工法と比較して鉄筋コンクリート部の鉄筋量が削減でき、躯体厚さを薄くできる。表－1 に合成構造用鋼矢板の断面諸元を示す。合成構造用鋼矢板は、構成するハット形鋼矢板の種類により B-10H と B-25H の 2 種類がある。

合成構造用鋼矢板と鉄筋コンクリートを一体化した



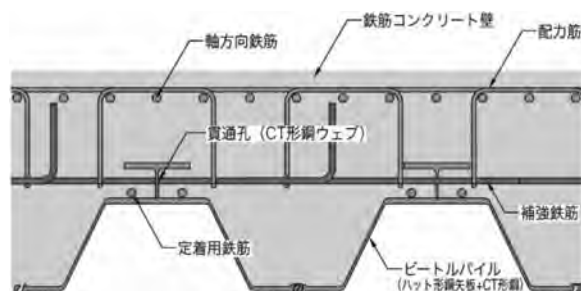
図－1 本工法のイメージ図



図一 合成構造用鋼矢板

表一 合成構造用鋼矢板の断面諸元

種類	断面積	単位重量	断面二次モーメント	断面係数
	cm ² /枚	kg/m/枚	cm ⁴ /枚	cm ³ /枚
ビートルパイル B-10H	158.3	124	23,158	1,252
ビートルパイル B-25H	192.3	151	41,836	1,910
ハット形鋼矢板 SP-10H	110.0	86.4	9,430	812
ハット形鋼矢板 SP-25H	144.0	113	22,000	1,450



図三 合成壁の断面

合成壁の断面を図一三に示す。CT形鋼のウェブ部を貫通する形で補強鉄筋を配した構造としており、CT形鋼・定着用鉄筋および補強鉄筋がシアコネクタの機能を果たす。

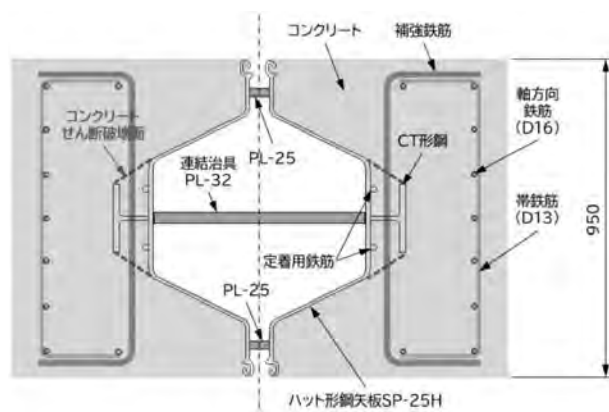
3. 合成構造用鋼矢板と後打ち鉄筋コンクリートとの一体性の評価

(1) 押抜き試験の概要

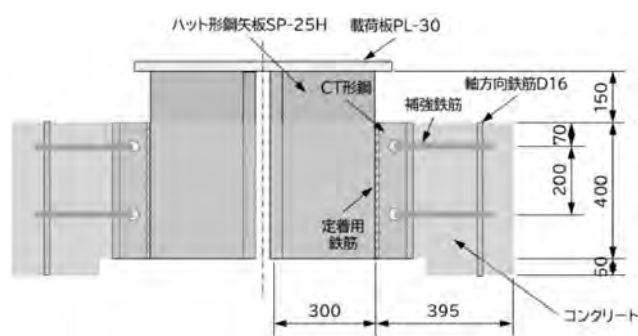
合成構造用鋼矢板と後打ち鉄筋コンクリートとの一体性を評価するため、押抜き試験を実施した（写真一1）。図一四、五に試験体の概要図を示す。試験体は、均等に載荷できるように2枚の鋼矢板を向い合わせた対象形状とした。鋼矢板およびCT形鋼の下端は予め50 mm 箱抜きにし、コンクリートのみ接地させると



写真一 押抜き試験状況



図四 押抜き試験用試験体の概要図 (a) 断面図



図五 押抜き試験用試験体の概要図 (b) 側面図

表二 押抜き試験の試験ケース

試験ケース No.	補強鉄筋 サイズ	コンクリート 圧縮強度※	鉄筋 (SD345) 降伏強度
		N/mm ²	N/mm ²
1	D13	29.3	400
2	D16	29.3	385
3	D19	29.3	381
4	D25	29.3	388
5	D16	38.2	385
6	D16	47.8	385
7	なし	29.0	—

※試験時材齢 28 ～ 35 日

ともに、上端は鋼矢板のみ 150 mm を突出させ、この部分に載荷することとした。

本試験では、①補強鉄筋の有無およびそのサイズ、②コンクリートの圧縮強度の 2 つをパラメータとし、それらの組合せにより表 2 に示す計 7 ケース実施した。

(2) 押抜き試験の結果

本試験の結果、試験体のせん断耐力は、補強鉄筋のないケース 7 が最も小さく、補強鉄筋の径が大きいほど、また、コンクリートの圧縮強度が大きいほど、せん断耐力が向上することが分かった。ケース 1～4 のせん断耐力から補強鉄筋のないケース 7 のせん断耐力を差し引いたものと補強鉄筋の引張降伏強度の関係を図 6 に示す。補強鉄筋サイズが D25 のケースを除くと、補強鉄筋の引張降伏荷重と本試験でのせん断耐力増分が 1:1 で対応していることが分かる。

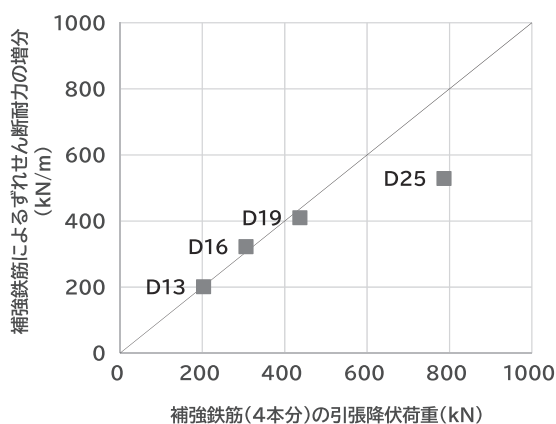


図 6 補強鉄筋によるせん断耐力の増分

破壊モードは、いずれのケースにおいても、CT 形鋼フランジ部先端から、鋼矢板ウェブ端部にかけて、コンクリートの一面せん断破壊が生じた後、耐力が低下した。一方、定着用鉄筋まわりの付着性能は維持されており、鉄筋の抜け出しは観察されなかった(写真 1-2)。一方、D25 のケースでは、最終的に配筋位置に沿ってコンクリートの一面せん断破壊が生じていた(写真 1-3)。これは D25 鉄筋とコンクリートとの付着が劣化し拘束力が低下したためであり、耐力増分が小さくなった要因と考えられる。

補強鉄筋サイズを変えた場合とコンクリート圧縮強度を変えた場合とに分け、後述するせん断耐力の評価式と実験値との比較を図 7, 8 に示す。

岡田の研究³⁾で提案されているコンクリート接合面強度式をもとに、本構造のシアコネクタ部のせん断耐力評価式として、以下に示す式(1)を導出した。



写真 2 押抜き試験の破壊モード



写真 3 ケース 4 の破壊モード

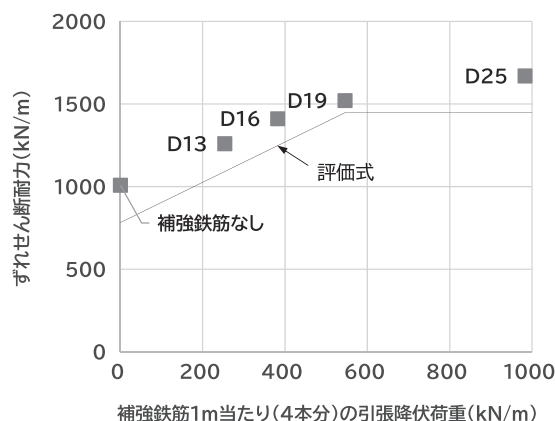


図 7 せん断耐力評価式と試験結果の関係 (a) 補強鉄筋の径による違い

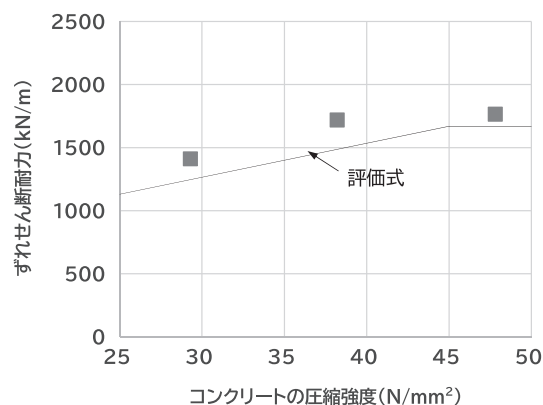


図 8 せん断耐力評価式と試験結果の関係 (b) コンクリートの圧縮強度による違い

なお、本実験結果に基づき、補強鉄筋サイズについてはD19以上、コンクリート強度については圧縮強度が45 N/mm²以上の場合を適用上限とし、せん断耐力の上昇を頭打ちとするバイリニア型とした。

$$Q_S = 0.18 \times L_T \times L_H \times f_{ck} + 1.33 \times n_{sc} \times A_{sc} \times f_{sbyk} \quad \cdots (1)$$

ここに、

Q_S ：シアコネクタ部のずれせん断耐力

L_T ：コンクリートのせん断破壊面長さ (mm) で、

CT形鋼のウェブ高さ $\times\sqrt{2}$ とする。

L_H ：ずれせん断区間長さ (付着長) (mm)

f_{ck} ：コンクリートの設計基準強度 (N/mm²) ただし、

$$f_{ck} \leq 45 \text{ N/mm}^2$$

n_{sc} ：ずれせん断区間内の補強鉄筋本数 (本)

A_{sc} ：補強鉄筋1本あたりの断面積 (mm²) ただし、

$$A_{sc} \leq 286.5 \text{ cm}^2$$

f_{sbyk} ：補強鉄筋の引張降伏強度の特性値 (N/mm²)

4. 壁体としての構造性能の評価

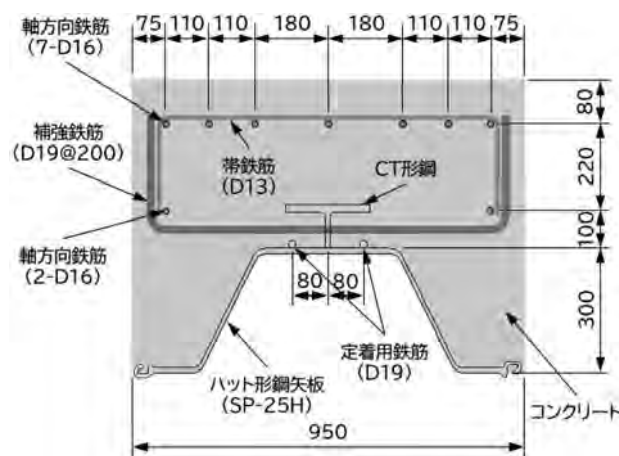
(1) 実大曲げ試験の概要

合成構造用鋼矢板と後打ち鉄筋コンクリート部で形成される壁体が、合成構造として挙動することを確認するため、実大サイズの梁曲げ試験を実施した (写真—4)。

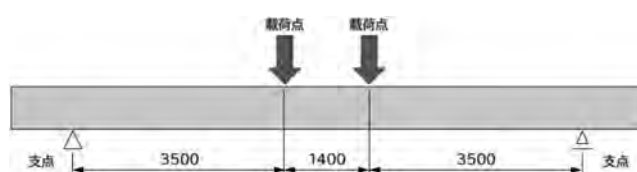
本試験は、鋼矢板が引張縁側 (コンクリートが圧縮縁側) に位置する “正曲げ試験” および鋼矢板が圧縮縁側 (コンクリートが引張縁側) に位置する “負曲げ試験” の2ケースを実施した。試験体の断面および側面の概要図を図—9, 10に示す。後打ち鉄筋コンクリート部の断面高さ (鋼矢板ウェブ部からの高さ) は、実構造物を想定して400 mmに設定した。载荷方法は4点曲げとし、支点から载荷点までの距離 (せん断スパン) は3.5 mとした。



写真—4 梁曲げ試験状況



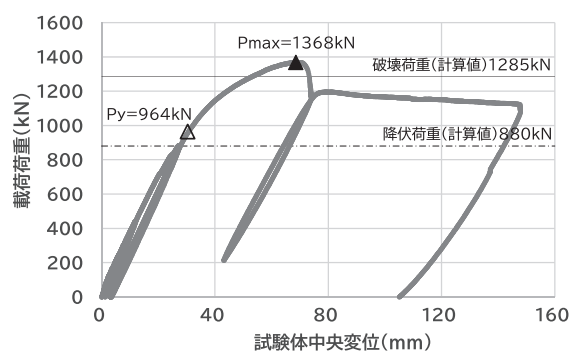
図—9 梁曲げ試験用試験体の概要図 (a) 断面図



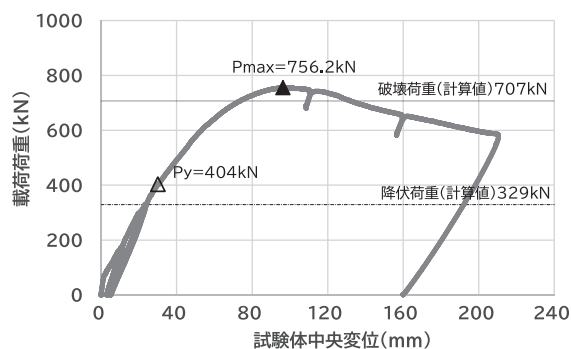
図—10 梁曲げ試験用試験体の概要図 (b) 側面図

(2) 実大曲げ試験の結果

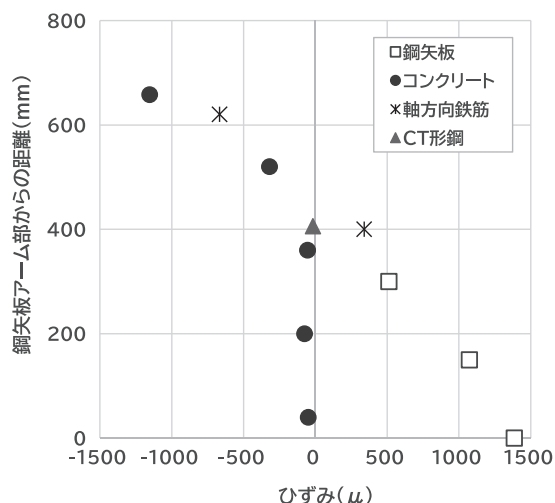
図—11, 12に荷重と試験体中央部の変位との関係を示す。同図中には、完全合成構造の想定 (平面保持) のもとで算定した降伏耐力および終局耐力を示す。鋼矢板、コンクリート、軸方向鉄筋は、「トンネル標準示方書開削工法・同解説」^[4]に準拠し、材料非線形性を考慮してモデル化した。いずれのケースも試験値は



図—11 荷重—変位関係 (a) 正曲げ



図—12 荷重—変位関係 (b) 負曲げ



図—13 正曲げ試験降伏荷重時における載荷点位置の材軸方向のひずみ分布

計算値を上回っており、十分な構造性能を保有することが確認できた。なお、試験値が計算値を上回った要因としては、合成壁の計算ではCT形鋼はシアコネクタ部材としてのみ考慮しているが、実際は多少ではあるが構造部材としての寄与もあったためと考えられる。図—13に正曲げ試験の降伏荷重時における載荷点位置の材軸方向のひずみ分布を示す。ひずみ分布は平面保持条件の成立を示していることから、完全な合成構造として挙動していることが確認できた。

5. 実現場での適用

(1) 工事概要と施工条件

免震レトロフィット工法による建物の耐震改修工事において、建物外周に築造する地下壁に本工法を適用した事例について述べる。

本工事の受注段階では、本設の地下壁から必要な分離をとってその外側に仮設土留めを設ける計画となっていた。しかし、一部の区間で、隣接地との境界際や、既設の地下構造物との間でわずか60 cm程度しかスペースのない部分があり、従来工法での地下壁構築は極めて困難と判断され、その解決策として躯体厚を低減できる本工法が採用された。

本工事では、全長11 mの合成構造用鋼矢板(B-25H)が用いられ、合成壁の躯体厚は550 mmに設定された。

(2) 合成構造用鋼矢板の圧入

本工事は、供用中の建物の周囲での施工となるため、低騒音・低振動型の油圧圧入機により施工された(写真—5)。当該現場はN値20を超える砂礫地盤で、圧入のみでは打設が困難になることも予想されたため、補助工法として小型掘削機による先行削孔を併用

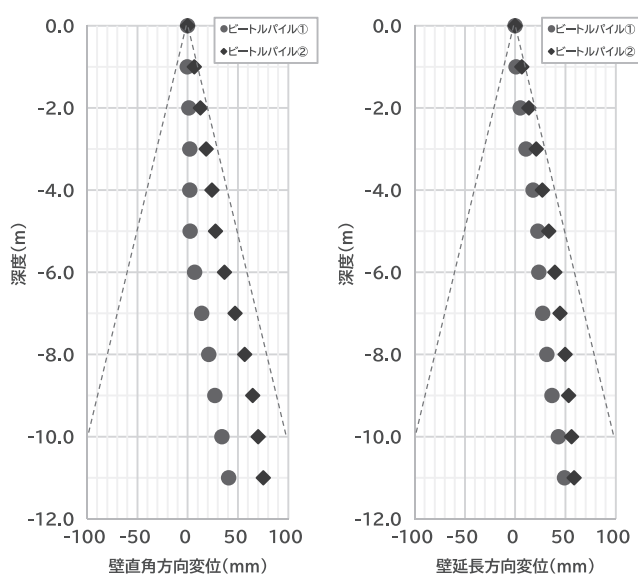


写真—5 合成構造用鋼矢板の打設状況

した。

当該現場では、合成構造用鋼矢板と同じ長さのハット形鋼矢板SP-25Hの打設も行われたため、両者の圧入力、施工サイクルタイムを計測し、CT形鋼と定着用鉄筋が取り付けられていることによる施工性への影響を確認した。合成構造用鋼矢板の平均打設時間は15.5分(n=22枚)、ハット形鋼矢板の平均打設時間は16.0分(n=6枚)でほぼ同等であった。圧入力に関しては、油圧圧入機の最大圧入力1000 kNに対して、合成構造用鋼矢板とハット形鋼矢板ともに、圧入力は100～300 kN程度の範囲に収まっていた。

合成構造用鋼矢板圧入後には、本工法採用区間の中央付近の合成構造用鋼矢板に対して、傾斜計を用いて鉛直精度を計測した。その結果を図—14に示す。本工法は、地盤掘削後の後打ちコンクリートとの一体化を考慮して、鉛直精度を1/100以内に定めているが⁵⁾、傾斜計測の結果は、定められている管理値内に十分に収まっていた。



図—14 合成構造用鋼矢板鉛直精度の測定結果

(3) 鉄筋コンクリート部の施工

壁の配筋状況を写真一六に示す。本工法は使用する鉄筋量が少ないため、当該現場では、従来工法と比較して使用する鉄筋量は約50%まで低減でき、配筋作業に要する時間についても約50%短縮できた。その後も特に問題なく施工が行われ、本稿執筆時点で、本工法による地下壁は概ね完成している(写真一七)。



写真一六 本工法による本体壁の配筋状況



写真一七 本体壁完成後の状況

6. おわりに

仮設土留めとして用いられる鋼矢板を、後打ちの鉄筋コンクリートと一体化して本体利用する技術を開発し、実現場に適用した。

今後、更にニーズが増加すると思われる都市部での難しい条件下での開削工事、例えば、狹隘地での立体交差アプローチ部や、ビルや地下鉄の改良工事におけるエレベーターシャフト、地下通路などにも本工法を適用し、合理的な地下壁の構築に貢献していく所存である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 岡田剛ほか、仮設一本設兼用合成地下壁の開発その1(押し抜き試験による一体性評価)、第69回土木学会年次学術講演会、Ⅲ-336, pp.671-672, 2014.
- 2) 岩崎伸一ほか、仮設一本設兼用合成地下壁の開発その2(合成壁の梁曲げ試験)、第69回土木学会年次学術講演会、Ⅲ-337, pp.673-674, 2014.
- 3) 岡田武二、コンクリート接合面のせん断伝達に関する研究、土木学会論文集, no.502/V-25, pp.75-82, 1994.
- 4) (公社)土木学会、トンネル標準示方書開削工法・同解説、2006.
- 5) (一財)国土技術研究センター、設計施工マニュアル、J-WALL II工法(合成構造用鋼矢板の本体利用技術)建設技術審査証明事業(一般土木工法)報告書、2015.

【筆者紹介】

後藤 宏輔 (ごとう こうすけ)
JFE スチール(株)
建材センター建材技術部 土木技術室



古荘 伸一郎 (ふるしょう しんいちろう)
(株)大林組
生産技術本部 設計第一部 設計第一課
課長



西口 正仁 (にしぐち まさひと)
ジェコス(株)
技術総括部
技術主監



鋼繊維補強 PFC（無孔性コンクリート）の開発と適用

河野 克哉

型枠への流し込み成型で最高水準の圧縮強度を得ることを目的として、最密粒度となる混合粉体のセメント混練物に対して脱型直後の強制吸水処理および2段階の熱養生を行うことで、圧縮強度 400 N/mm² 以上を発現する無孔性の硬化セメントマトリクスが得られることを明らかにした。このマトリクスを鋼繊維で補強することで超高強度化にともなう脆性破壊を抑制して、曲げ特性、耐摩耗性、耐衝撃性および遮塩性を向上させるとともに、外ケーブル方式プレストレスト梁部材に適用することや、浸食を受けた海岸擁壁の補修パネル部材に適用することを検討した。

キーワード：最密粒度、無孔性、超高強度、鋼繊維補強、プレストレストコンクリート部材、補修パネル部材

1. はじめに

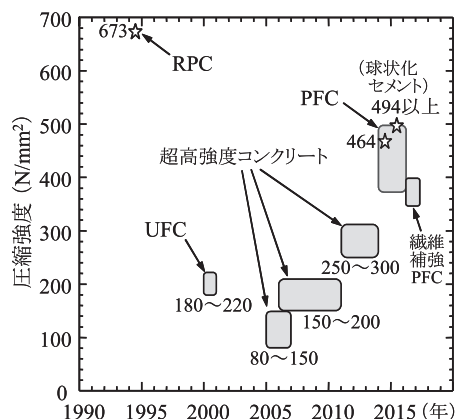
(1) 超高強度コンクリート開発の現状

超高強度コンクリートは、構造物の超長大化、超高層化および超高寿命化に寄与でき、その開発で到達した圧縮強度は年々向上している（図—1）。国内では、2000年頃に圧縮強度 200 N/mm² の超高強度繊維補強コンクリート（Ultra high strength fiber reinforced concrete, UFC）が開発され、橋梁の桁や滑走路の床版などのプレキャスト PC 部材に適用された¹⁾。2013年には圧縮強度 300 N/mm² の超高強度コンクリートが開発され、建築物のプレキャスト柱部材に用いられた²⁾。海外では、圧縮強度 673 N/mm² を発現する反応性粉体コンクリート（Reactive Powder Concrete, RPC）が開発され³⁾、1994年には日本国内に出願された。

ただし、RPC は、ファインセラミックスの製法であるホットプレス成型によるもので、型枠に打ち込むことで任意の形状が得られるコンクリートの大きな長所を犠牲にしている。このため、筆者らは実用化が可能なように通常の型枠に流し込んで成型することで、最高水準の圧縮強度を得るための開発を行った⁴⁾。

(2) 最高水準の圧縮強度を発現するコンクリート開発

空隙率 p の均質な固体の強度は、 $S = S_0 \cdot e^{-kp}$ 、(S_0 : 空隙率が0のときの固有の強度、 k : 定数)と表され、空隙率に反比例し、多くの固体材料で S/S_0 と空隙率との関係が同一曲線となる⁵⁾。また、Griffithの理論では、ヤング係数 E の薄い弾性体の板が内部に長さ $2c$ の扁平な楕円形の空隙を含むとき、この薄板の破壊強度は $\sigma_u = [(2E\gamma) / \{\pi c(1-\nu^2)\}]^{1/2}$ 、(γ : 単位面積当りの表面エネルギー、 ν : ポアソン比)で示される⁶⁾。すなわち、多孔体では、空隙が減少するほど指数的に強度が増加し、さらに空隙は微細であるほど強度が低下しにくいことを表している。実際に、Powers がモルタル中のゲル空隙量の減少とともに圧縮強度が指数的に向上すること⁷⁾を、田澤がモルタル中の空隙径の減少とともに高い圧縮強度が得られること⁸⁾を検証した。このように圧縮強度の向上には、硬化組織中の空隙を微細化して無くすこと、すなわち無孔性コンクリート（Porosity Free Concrete, PFC）を開発することが必要となる。



図—1 超高強度コンクリート開発で到達した圧縮強度の推移

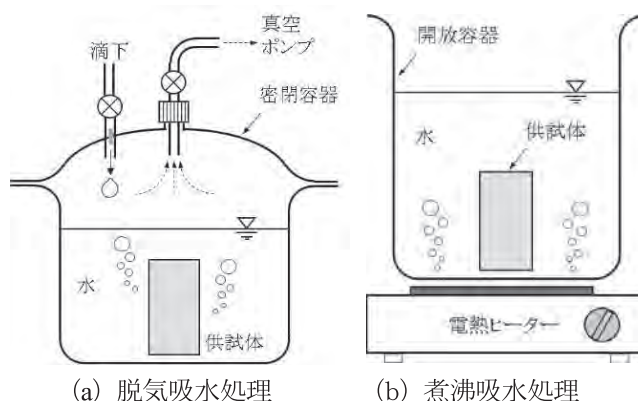
2. PFC の開発

(1) 構成材料

PFC は、ビーライト系ポルトランドセメント (C) にシリカフューム (SF) を加えてポリカルボン酸系の高性能減水剤にて低水結合材比にすることを基本とする。そして、これら大小2つの粉体粒子の空隙を第3の中間粒子 (M) を加えて空隙を埋めることで、少ない水量で流動できる濃密な粉体混合物として、硬化後の強度を高める。粉体の粒度分布を考慮でき、混合する粉体の成分数に制約が無い鈴木らの多成分粒子ランダム充填シミュレーション (鈴木モデル式)⁹⁾ を参考にして、C (比表面積 $3330 \text{ cm}^2/\text{g}$) と SF (比表面積 $20 \text{ m}^2/\text{g}$) を混合したときの空隙率を最小にできる M の粒度分布を見出した。鈴木モデル式から導いた最適な粒度分布をもつ M は建設分野以外の他産業で用いられている超微粉末を複数組み合わせで試作し、C, SF および MS の各粉体の構成比率は、それらを混合したときの空隙量が鈴木モデル式で最小になるように決定した。なお、PFC は、UFC の材料設計コンセプトと同様に強度低下を抑制する観点から砂利 (粗骨材, 粒径 5 mm 以上) は用いず、強度増進に有効な超高強度砂 (最大粒径 0.3 mm) のみとし、さらに最密粒度の混合粉体を分散できる新しい高性能減水剤を採用することで、フロー 300 mm 程度 (無振動) の高流動性とした。

(2) 製造方法

最密粒度の混合粉体は、水結合材比 15% にてミキサで練り混ぜて型枠に流し込んだ後、蒸気養生 (最高温度 40°C , 12 時間, 1 気圧) を行って材齢 1 日で脱型し、その直後に吸水処理を実施する。これは、少ない水で練り混ぜられた場合、セメントとの反応で必要となる水の不足分を外部から内部に補給する目的がある。i) 脱型直後の供試体を予め設置した密閉容器内を真空ポンプで減圧した後、完全に浸漬するまで水を滴下することで内部に吸水する方法 (脱気吸水処理, 図一2 (a)) と, ii) 開放容器内で脱型直後の供試体を完全に水中に浸漬した状態で電熱源にて 100°C に達するまで加熱して煮沸させた後、水温が 20°C になるまで水中にて自然冷却することで内部へ吸水する方法 (煮沸吸水処理, 図一2 (b)) がある。これらの吸水処理のいずれか一方を行ってから、蒸気養生 (最高温度 90°C , 48 時間, 1 気圧) を行った後、さらに加熱養生 (最高温度 180°C , 48 時間, 1 気圧) を行う2段階の熱養生に供することで硬化反応を促進させる。こ



図一2 脱型直後の強制吸水処理の方法

のようにして製造した PFC は、 $450 \sim 464 \text{ N/mm}^2$ の圧縮強度 (f'_c) を発現し、この硬化組織の反射電子像から算出したマイクロ空隙は体積率で 1% 未満となり (UFC の場合で 7% 程度)、きわめて空隙が少ないことがわかった⁴⁾。

3. PFC の適用

(1) 特性

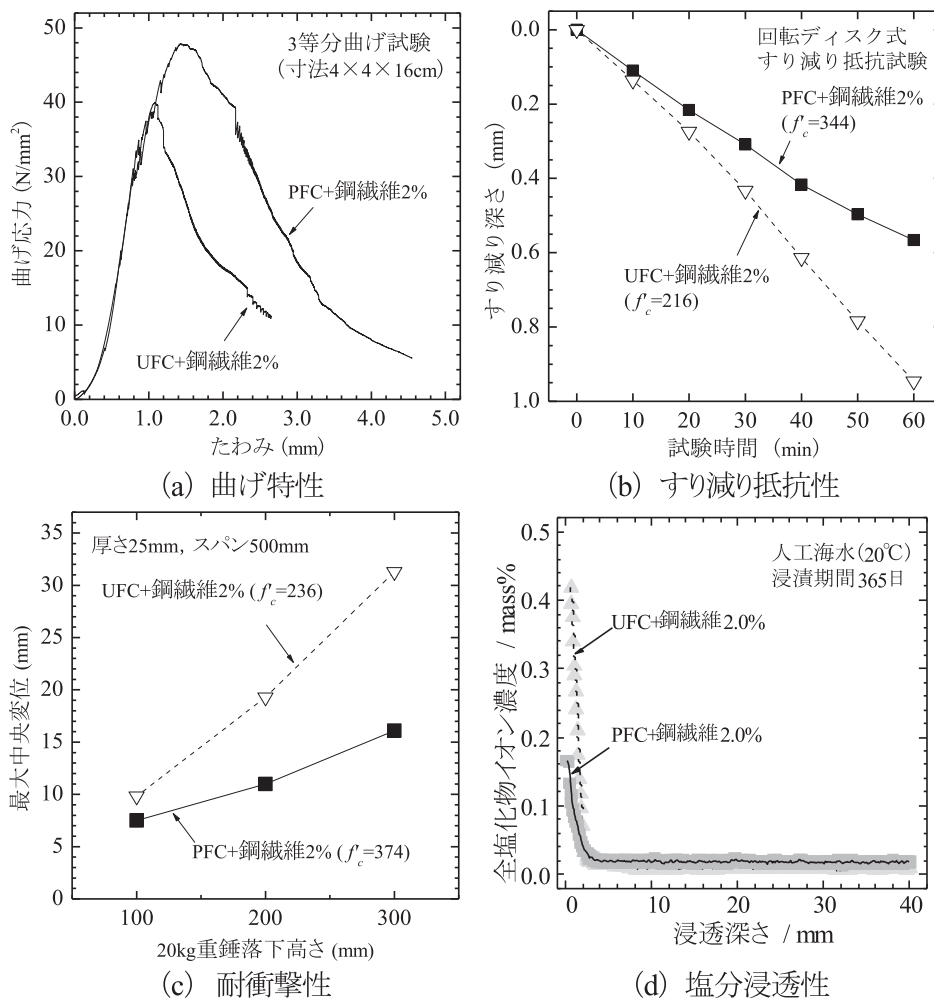
圧縮強度が 400 N/mm^2 を超えるような PFC のマトリクスは破壊時に著しく脆性化するため、その実用化に当たってはマトリクスを繊維で補強することが必須となる。PFC のマトリクスを $2 \text{ vol.}\%$ の鋼繊維 (直径 $0.2 \text{ mm} \times$ 長さ 15 mm , 引張強度 2.8 GPa , 引張弾性率 210 GPa) で補強したときの圧縮強度は、 $340 \sim 380 \text{ N/mm}^2$ 程度となる。これは、フローを 270 mm 程度に抑制してマトリクスとの密度差による鋼繊維の沈降を防止し、通常のみキサによる練混ぜでエントラップトエアの混入が避けられないことによるものである。鋼繊維補強 PFC は、曲げ試験結果、すり減り抵抗性試験結果、重錘落下衝撃試験結果および人工海水浸漬試験結果 (図一3 (a)~(d)) から、UFC よりも曲げ特性、耐摩耗性、耐衝撃性および遮塩性が向上できることがわかった。

(2) 実用化

PFC は、その高い圧縮強度によって大きなプレストレスを蓄積できることからコンクリート部材の軽量化に寄与できるとともに、無孔性に近い硬化組織によってコンクリート部材の高耐久化を可能にする。このような PFC の特性を活用した適用例を以下に述べる。

(a) プレストレストコンクリート部材への適用

鋼繊維補強 PFC の T 断面セグメント 4 個を外ケーブルで連結した PC 梁 (長さ 1860 mm , ウェブ厚さ

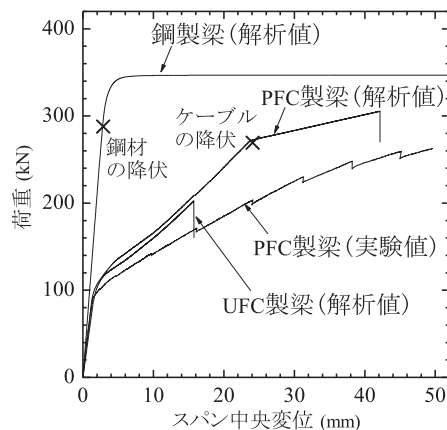


図—3 鋼繊維補強 PFC の各種特性



写真—1 鋼繊維補強 PFC を用いた外ケーブル方式 PC 梁の荷重試験

40 mm, せん断スパン有効高さ比 3.43) を製作し (写真—1), 梁下縁に 40 N/mm^2 のプレストレスを導入して荷重試験に供することで, 構造部材に対する適用性を検討した。鋼繊維補強 PFC 製 PC 梁の荷重—たわみ関係の荷重実験結果と FEM 解析結果を, 同じ T 断面で同じ重量となる UFC 製梁の場合ならびに I 型断面で同じ重量となる鋼製梁の場合の解析結果と比較すると, PFC 製梁の場合では, 最大荷重が UFC 製梁の場合よりも倍増し, 鋼製梁の場合とおおよそ同程度



図—4 鋼繊維補強 PFC 製梁の耐荷性能 (同一重量の鋼製梁や UFC 製梁との比較)

まで向上できることがわかった (図—4)。

(b) 浸食を受けた海岸擁壁の補修パネル部材への適用

国道 336 号 (北海道) の黄金道路と呼ばれる太平洋側の海岸擁壁コンクリートは, 激しい波が運ぶ砂や礫で磨耗や衝撃を受けるとともに, 海水や凍結融解の作用などの複合的な要因で著しい浸食を受けている (写



写真—2 海岸擁壁の浸食（黄金道路）



写真—3 鋼繊維補強 PFC 製パネルを用いた補修

真—2)。そのため、鋼繊維 PFC 製パネル（高さ 2124 mm × 幅 1000 mm × 厚さ 100 mm, 圧縮強度 350 N/mm^2 ）を、浸食された海岸擁壁の前方に設置してから裏込めのレディーミクストコンクリートにて固定させる補修工事に適用し、2018 年 10 月に施工した（写真—3）。

4. おわりに

圧縮強度 400 N/mm^2 を発現する PFC マトリクスを開発し、そのマトリクスを鋼繊維で補強することで脆性破壊を抑制し、UFC の場合にくらべて、曲げ特性、

耐摩耗性、耐衝撃性および遮塩性が向上した。鋼繊維補強 PFC を外ケーブル方式プレストレスト梁部材に適用し、耐食性を有する鋼部材の代替となる可能性を見出した。また、超過酷環境下で激しい浸食を受けた海岸擁壁の補修工事に鋼繊維補強 PFC 製パネルを適用し、PFC の耐久性を長期に渡って実地検証する予定である。

謝 辞

PFC の適用に向けた研究では、東京工業大学二羽研究室、国土交通省北海道開発局帯広開発建設部広尾工事事務所、(株)構研エンジニアリングおよび室蘭工業大学小室・栗橋研究室の関係者の皆様に多大なるご協力を頂きました。ここに記して深謝致します。

J C M A

《参考文献》

- 1) Hiroyuki Musha, Hikari Ohkuma, Takeshi Kitamura : Innovative UFC structures in Japan, Proceedings of RILEM-fib-AFGC International Symposium on Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete, pp.17-26, (2013)
- 2) 今井和正, 山本佳城, 加藤雅樹, 村松晃次: 設計基準強度 300 N/mm^2 のコンクリートを用いた RC 細柱の開発と適用, コンクリート工学, Vol.51, No.12, pp.959-966, (2013)
- 3) 鶴澤正美, 山田一夫: PRC を用いた超高強度・高じん性のコンクリートの開発動向, コンクリート工学, Vol.39, No.2, pp.53 ~ 56, (2001)
- 4) 河野克哉, 中山莉沙, 多田克彦, 田中敏嗣: 450 N/mm^2 以上の圧縮強度を発現するセメント系材料の製造方法と硬化組織の変化, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.1443-1448, (2016)
- 5) P. Kumar Mehta, Paulo J. M. Monteiro: 2nd Edition Concrete-Microstructure Properties, and Materials-, Prentice-Hall, pp.44-46, (1993)
- 6) 岩崎訓明: コンクリート・セミナー 1 コンクリートの特性, 共立出版, pp.73-75, (1975)
- 7) T. C. Powers : Journal of American Ceramics Society, Vol.41, No.1, pp.1-6, (1958)
- 8) 田澤榮一: 樹脂含浸コンクリートに関する基礎研究, 東京大学博士論文, (1978)
- 9) 鈴木道隆, 市場久貴, 長谷川勇, 大島敏男: 粒度分布のある多成分系ランダム充填層の空間率, 化学工学論文集, 第 11 巻, 第 4 号, pp.438-443, (1985)

【筆者紹介】

河野 克哉 (こうの かつや)

太平洋セメント(株)

中央研究所 第2研究部 高機能コンクリートチーム
リーダー



塩分吸着型エポキシ樹脂の塩分吸着及び鉄筋腐食抑制効果

塩分吸着型エポキシ樹脂コンクリート補修材「ハイブリッドエポキシ樹脂」の適用事例

千賀年浩・山内 匡・古田雅和

塩害環境下にある鉄筋コンクリート構造物は塩分の影響により塩害劣化が生じている。その補修対策としては、無機系材料に塩分吸着性能や鉄筋防錆性能が付与された補修材が用いられているが、補修材として多様な用途で用いられる有機系材料にこれらが付与された製品の活用例は少なく、この活用が可能となれば、多様な用途において塩害対策が講じられることが期待される。

そこで、有機系材料であるエポキシ樹脂に塩分吸着剤を添加した「塩分吸着型エポキシ樹脂補修材」を開発した。本稿では、その塩分吸着効果、並びに補修用途別に適用した鉄筋腐食抑制効果について報告する。
キーワード：補修、塩害対策、塩分吸着、エポキシ樹脂、ひび割れ、断面修復

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物は、海洋からの飛来塩分や冬季に散布される凍結防止剤などによる外来塩分、また洗浄不十分な海砂の使用による内在塩分の影響によりコンクリート中の鉄筋は腐食し、ひび割れや剥落などの塩害劣化が生じる。このような塩害に対する補修としては、無機系材料に塩分吸着剤や亜硝酸リチウムが添加された補修材^{1), 2)}が断面修復工法などに用いられている。一方、補修材として多様な用途で用いられる有機系材料は、塩害対策として上記の材料などが添加された製品は性能や品質が懸念され活用事例が少ない。しかし、活用が可能となれば、有機系材料が用いられるひび割れ注入工法や断面修復工法のプライマー及び鉄筋防錆材、また床板複合防水工法における浸透系防水材など、塩害劣化箇所または塩害が懸念される箇所において補修と同時に塩害対策が講じられることが期待される。

このような背景の下、有機系材料としてエポキシ樹脂に着目し、これに塩分吸着剤を添加した「塩分吸着型エポキシ樹脂補修材」（以降、「本補修材」と記す）を開発した。既往の研究^{3), 4)}において、本補修材のエポキシ樹脂従来の品質や本補修材を塩分が付着した鉄筋に塗布した防錆効果、また通常のエポキシ樹脂のひび割れ注入では塩害劣化の進行が観られるケースにおいて、本補修材を適用することによる塩害劣化抑制効果を室内試験によって確認している。

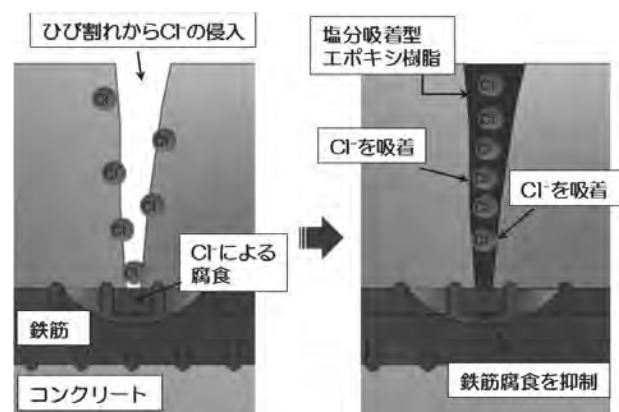
本稿では、本補修材の塩分吸着効果を確認すると共

に、塩害劣化した鉄筋コンクリートへ補修用途別に適用した、本補修材の鉄筋腐食抑制効果を供試体暴露試験及び試験施工によって検証した結果を報告する。コンクリートの初期欠陥のひとつである温度ひび割れなどのひび割れ先行型の補修には「ひび割れ注入材」として適用し、塩害等により鉄筋の腐食が原因で生じたひび割れなどの鋼材腐食先行型の補修には、断面修復工法における「プライマー及び鉄筋防錆材」として適用した。それぞれの適用イメージを図—1及び図—2に示す。

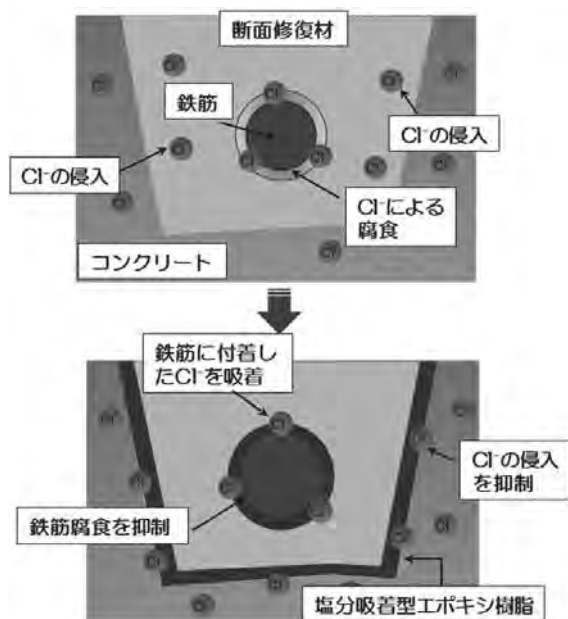
2. 本補修材の構成材料

(1) 塩分吸着剤

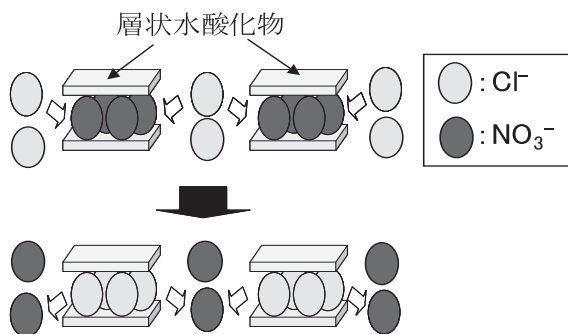
塩分吸着剤は、層状複水酸化物の一種であり、層間に陰イオンを取り込み、保持している陰イオンとイオ



図—1 ひび割れ注入材への適用イメージ



図ー2 プライマー及び鉄筋防錆材への適用イメージ



図ー3 層状複水酸化物のイオン交換イメージ

ン交換する性能を有する。

本稿では、層間に塩化物イオンとイオン交換がされる、硝酸イオン (NO_3^-) を担持させたものを塩分吸着剤として用いた。

層状複水酸化物の塩化物イオン (Cl^-) の吸着及び硝酸イオン (NO_3^-) の放出イメージを図ー3に示す。

(2) エポキシ樹脂及び本補修材

エポキシ樹脂は、2液混合型熱硬化性の硬質形低粘度形エポキシ樹脂を用いた。また、本補修材は上述のエポキシ樹脂の質量に対し、塩分吸着剤を20%及び30%置換した（以降、“HEP20及びHEP30”と記す）。なお、HEP20は、ひび割れ注入材としてはJIS A 6024「建築補修用注入エポキシ樹脂」の硬質形低粘度形冬用の規格を満たし、鉄筋防錆材としては、NEXCO 構造物施工管理要領の「鉄筋防錆材の性能照査」の規格を満足している。

3. 本補修材の塩分吸着効果の検証

(1) 試験概要

本補修材の塩分吸着効果を確認するため、本補修材をNaCl水溶液に浸漬し、所定の浸漬時間における、本補修材により吸着される塩化物イオン (Cl^-) と放出される硝酸イオン (NO_3^-) の定量分析を行った。

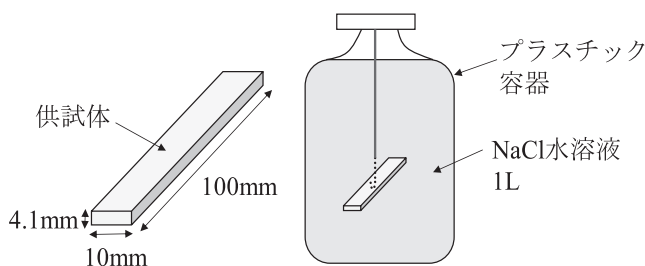
(a) 供試体

供試体はHEP20及びHEP30を用い、その形状は4.1 mm × 10 mm × 100 mmとした。

(b) 塩水浸漬試験

浸漬に用いたNaCl水溶液は容量1 Lとした。濃度は、本補修材中の硝酸イオンとNaCl水溶液中の塩化物イオンとの吸着交換量が理論上等量となるように調整し、HEP20は3.95 mmol/L、HEP30は5.93 mmol/Lとした。

試験方法は、NaCl水溶液1 Lをプラスチック容器に入れ、供試体をナイロン製の糸で吊るして浸漬した。浸漬後、設定日数毎にNaCl水溶液を採取し、陰イオンクロマトグラフィーによって塩化物イオンと硝酸イオンの定量を分析した。なお、イオン交換の促進を目的として、60℃の恒温槽にて養生を行った。塩水浸漬試験の概要を図ー4に示す。

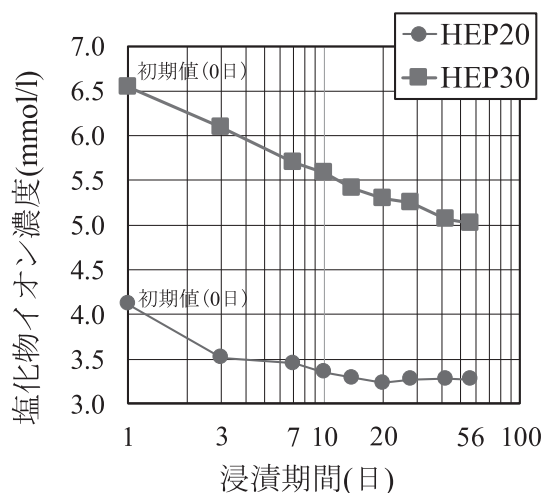


図ー4 塩水浸漬試験概要

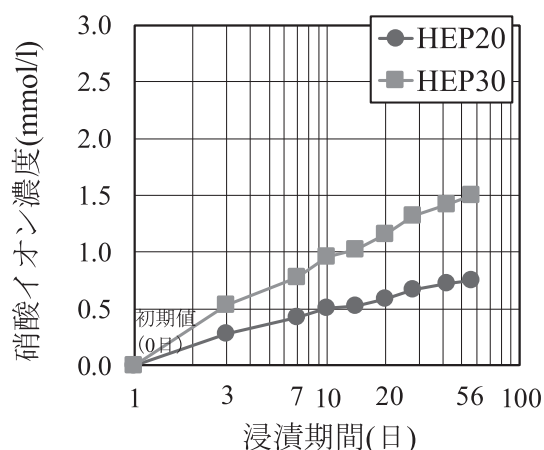
(2) 結果及び考察

図ー5に塩水浸漬試験の塩化物イオン濃度、図ー6に硝酸イオン濃度を示す。図ー5よりHEP20とHEP30は時間が経過すると共に塩化物イオン濃度の減少が観られた。また、HEP20と比較して、HEP30は塩化物イオン濃度の減少量が多いことが確認された。

図ー6よりHEP20とHEP30は共に、時間が経過するにつれて硝酸イオン濃度の増加が観られ、HEP30はより硝酸イオン濃度の増加量が多いことが確認された。また、図ー5の塩化物イオン濃度の減少量と図ー6の硝酸イオン濃度の増加量は、ほぼ同等の値を示していることから、本補修材による塩化物イオンと硝酸イオンの交換がされていることがわかる。



図—5 塩水浸漬試験結果（塩化物イオン）



図—6 塩水浸漬試験結果（硝酸イオン）

表—1 粘度

樹脂	性状	粘度 (mPa・s; 23℃)
HEP20		330
HEP30		632

HEP30のイオン交換量が大きくなった要因としては、塩分吸着剤の絶対量が多いことに加えて、エポキシ樹脂の質量に置換したことから、本補修材中のエポキシ樹脂量が減少し、イオンがより透過しやすい状態になったためと考えられる。

これらの結果から、塩水浸漬試験により本補修材の塩分吸着効果が確認された。

なお、後述する試験の本補修材については、HEP30は塩分吸着効果が高いものの、表—1に示すように、塩分吸着剤の置換量が多く粘度が増加するため、補修時のひび割れ浸透性を懸念し、HEP20のみを採用した。

4. ひび割れ注入材として適用した場合の鉄筋腐食抑制効果の検証

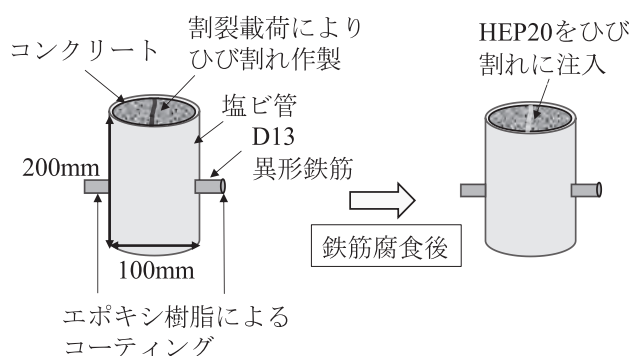
(1) 試験概要

試験は、ひび割れ先行型ひび割れを有する鉄筋コンクリートを模擬した供試体を一定期間暴露し、内部の鉄筋に腐食が発生し始めた後本補修材を注入し、その鉄筋腐食抑制効果を鉄筋の腐食速度と腐食状況が推定可能な分極抵抗と自然電位の測定によって確認した。

(a) 供試体

供試体は、内径100mm、高さ200mmの硬質ポリ塩化ビニル管（VP）を型枠として、長さ150mmの異形鉄筋D13を塩ビ管の側面中央に水平に設置して作製した。コンクリートはW/C=50%、Gmax=20mm、スランプ 8 ± 2.5 cm及び空気量 $4.5 \pm 1.5\%$ とし、コンクリート打ち込み後、脱型を行わずに気中にて28日間封緘養生し、割裂载荷により鉄筋の直角方向に0.2～0.6mmのひび割れを発生させた。

供試体は後述する暴露試験場にて暴露させ、鉄筋の腐食状況を確認するため、分極抵抗及び自然電位を測定し、自然電位がASTM C 876の飽和硫酸銅基準で示される、「90%以上の確率で腐食あり」と判定される -350 mVより卑の値を示したことによって鉄筋腐食の可能性がみられた後、HEP20をひび割れに注入した。その後再度暴露を継続した。供試体の作製概要を図—7に示す。



(b) 供試体暴露試験

供試体暴露試験は、北海道増毛町にある暴露試験場にて実施した。暴露試験場は日本海に面し、常時塩分が飛来する環境にある。暴露状況を写真—1に示す。

暴露試験場の飛来塩分量は、土研法により2015年10月から1年間調査した結果、 $12.0 \text{ mg/dm}^2/\text{day}$ であった。また、コンクリート標準示方書に示される式⁵⁾を用いたコンクリート表面塩化物イオン濃度は11.4



写真-1 暴露状況

kg/m³であった。示方書に示される汀線付近 9.0 kg/m³の値よりも高く、暴露試験場は厳しい塩害環境下にあることがわかる。

(c) 測定方法

自然電位は照合電極として飽和銀塩化銀電極を用い、分極抵抗は 10 kHz ~ 1 mHz の範囲で設定した交流インピーダンス法によって測定した。

(2) 試験結果

図-8 に供試体 3 検体を平均した飽和硫酸銅換算による自然電位の測定結果を示す。暴露前は -100 mV 程度の値を示していたが、暴露試験開始後は、自然電位は徐々に卑の傾向となり、暴露 1 年において -350 mV より卑の値を示した。この時点でひび割れに HEP20 を注入した。ひび割れ注入後 0.5 年となる暴露 1.5 年は、自然電位が増加し、鉄筋腐食の可能性がある -350 mV よりも貴の値を示した。その後も自然電位は貴の傾向となり、暴露 4 年までその状態を維持する結果を示した。

図-9 に供試体 3 検体を平均した分極抵抗の測定結果を示す。暴露前は 10000 kΩ・cm² 程度の値を示

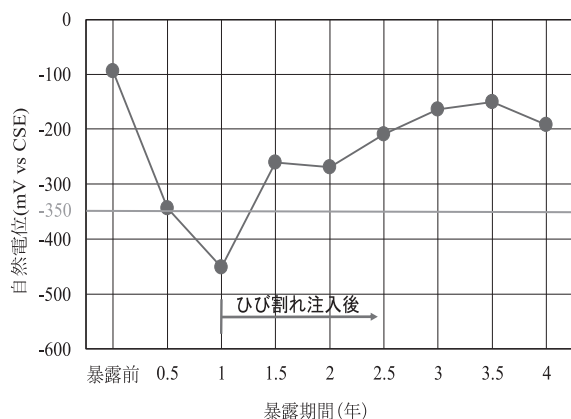


図-8 自然電位測定結果

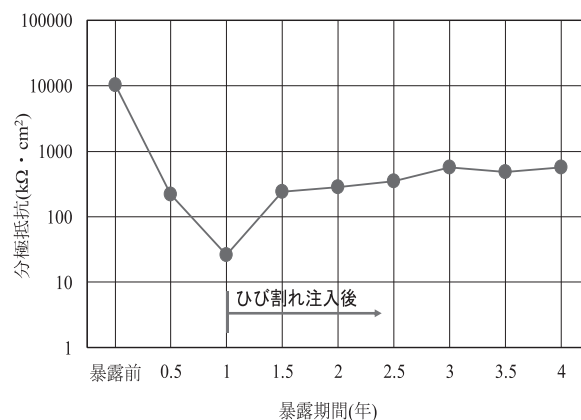


図-9 分極抵抗測定結果

したが、暴露試験開始後は分極抵抗値が低下し、暴露 1 年では 20 kΩ・cm² 程度の値となった。

ひび割れ注入後 0.5 年の暴露 1.5 年では、分極抵抗値は増加し、200 kΩ・cm² 程度の値を示した。また、その後も分極抵抗値は暴露 4 年までその状態を維持する結果を示した。これは前述した自然電位とほぼ同様の傾向であり、本補修材の塩分吸着効果によって鉄筋の腐食進行が抑制されたといえる。このことから、一般に塩害劣化の補修工法としてひび割れ注入工法は採用されないが、本補修材をひび割れ注入材として適用することで、塩害対策の一つとして活用が期待できる結果となった。

5. プライマー及び鉄筋防錆材として適用した場合の鉄筋腐食抑制効果の検証

(1) 試験概要

(a) 鉄筋コンクリート構造物

試験施工対象の鉄筋コンクリート構造物は、昭和 37 年に供用された側道橋である。海岸からの距離が 30 m 程度と近く、常時飛来塩分の影響を受ける環境にある。側道橋の地覆部全体に主筋に沿ったひび割れが発生し、錆汁も確認された。また、はつり出したかぶり部のコンクリート片の塩化物イオン量は 6.35 kg/m³であった。施工前の状況を写真-2 に示す。

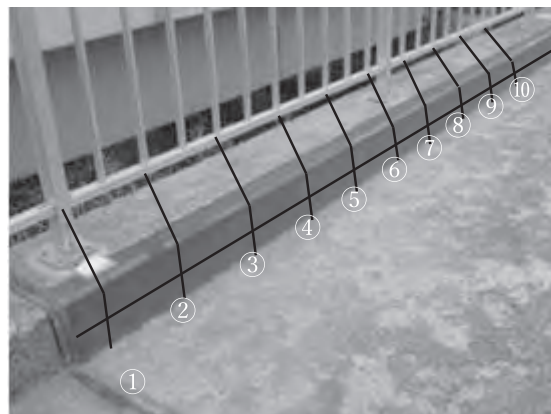
(b) 試験箇所及び施工概要

試験施工箇所は地覆部全体とし、表層から鉄筋裏までの深さ 35 mm 程度のコンクリートをはつり取った。鉄筋はディスクサンダーとワイヤーブラシを併用したケレンを施した後、自然電位の測定に使用するリード線を鉄筋に設置した。その後、はつり取ったコンクリート面及び鉄筋に、HEP20 を 0.25 kg/m² 塗布した。また、塗布後はポリマーセメントモルタルにて埋戻した。

はつり取り後の鉄筋及び HEP 塗布後の状況を写真



写真一2 施工前状況



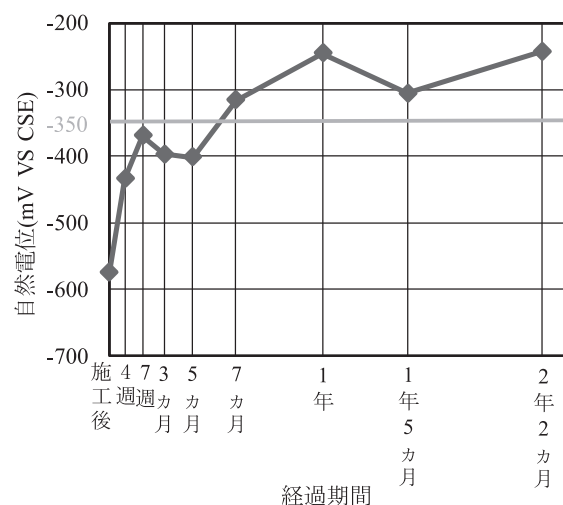
写真一5 測定位置



写真一3 はつり取り後の鉄筋状況



写真一4 HEP20 塗布後の状況



図一10 自然電位測定結果

工7週では -350 mV 程度の値を示した。その後、施工5ヵ月までは -400 mV 程度を示したものの、施工7ヵ月では -350 mV を超える結果となった。また、施工2年2ヵ月までその状態を維持する結果を示した。

これらから、塩害劣化した箇所の断面修復工法において、本補修材をプライマー及び鉄筋防錆材として適用することにより、補修後の鉄筋腐食が抑制されることを確認した。

6. おわりに

本稿では、「塩分吸着型エポキシ樹脂補修材」の塩分吸着効果、また「ひび割れ注入材」及び断面修復工法における「プライマー及び鉄筋防錆材」として適用した鉄筋腐食抑制効果について報告した。

鉄筋腐食抑制効果については、室内による促進試験で長期的な効果についてのデータを取得済であるが、実際の暴露環境における効果検証データの蓄積を目的に、追跡調査を引き続き実施していく予定である。

また、「塩分吸着型エポキシ樹脂補修材」は凍結防

— 3 及び写真— 4 に示す。

(c) 測定方法

測定は鉄筋の自然電位とし、照合電極としては飽和硫酸銅電極を用い、写真— 5 に示す位置にて 200 mm 間隔の 10 点を測定点とした。

(2) 試験結果

図— 10 に 10 点平均による自然電位の測定結果を示す。施工直後は -600 mV 程度と低い値を示した。しかし、期間が経過するにつれて貴の傾向となり、施

止剤の影響により塩害が懸念される，橋梁の床板複合防水工法における「浸透系防水材」としての適用も実施しており，今後多様な用途で活用されることを期待する。

最後に，本補修材は【ハイブリッドエポキシ樹脂】として，NETIS 登録（HK-170005-A）されている材料である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 武内道雄，須藤裕司，渡辺二夫：飛来塩分環境下に 20 年間暴露したコンクリート供試体に対する亜硝酸系防錆剤の効果，コンクリート工学年次論文集，vol.32，No.1，2010
- 2) 山田あずさ，西信衛，村上祐貴：厳しい塩害環境下における塩分吸着剤を添加した補修材の鉄筋腐食抑制効果，コンクリート工学年次論文集，vol.38，No.1，2016
- 3) 千賀年浩，山内匡，横山大輝，伊達重之：塩分吸着剤を混入したエポキシ樹脂の基本的性質，コンクリート工学年次論文集，vol.37，No.1，2015
- 4) 千賀年浩，山内匡，横山大輝，伊達重之：ひびわれ注入材として用いた塩分吸着剤混入エポキシ樹脂の鉄筋腐食抑制効果の検証，コンクリート工学年次論文集，vol.39，No.1，2017
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕，pp.157，2012

〔筆者紹介〕

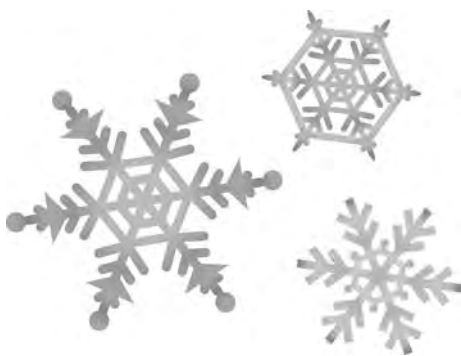
千賀 年浩（せんが としひろ）
日本国土開発㈱
土木事業本部 土木リニューアルグループ



山内 匡（やまうち ただし）
日本国土開発㈱
土木事業本部 土木リニューアルグループ
グループリーダー



古田 雅和（ふるた まさかず）
日本国土開発㈱
土木事業本部 土木リニューアルグループ



ワイン搾りかすを用いた VOC 汚染土壌浄化に関する検討と現場適用

大橋 貴志

本稿では、ワイン製造時に発生するブドウの搾りかすを液体状に加工した資材（以下、搾りかす資材）を揮発性有機塩素化合物（以下、VOC）の生物浄化工法（以下、バイオレメディエーション）における微生物の活性化材として活用することを検討した。室内試験では汚染土壌・地下水に搾りかす資材を添加することにより、テトラクロロエチレンがクロロエチレン等を経て逐次分解することや、ジクロロメタンの分解に対しても有効であることを確認した。実汚染現場での適用では、搾りかす資材を自然圧力注入で地盤中に注入・浸透させ、約9.5ヵ月間のモニタリングを実施した。その結果、注入後にVOC分解微生物が増加し、それに伴いVOCが低減することを確認した。

キーワード：土壌汚染、揮発性有機塩素化合物、原位置浄化、バイオレメディエーション、ワイン搾りかす、テトラクロロエチレン、クロロエチレン

1. はじめに

現在、「持続可能な開発目標（SDGs）」は重要な概念として認知されつつあり、生産と消費の過程全体を通して環境負荷を最小限に抑えることが我々の今後の重要な行動指標になるものと思われる。このような中、食品産業では、製造時に発生する食品製造副産物を肥料、飼料、化学品、建築等資材、食品素材、燃料などへ有効活用する検討が進められている。例えば、ワインの産地である山梨県では、ワイン製造時に発生するブドウの搾りかす（以下、ワイン搾りかす）が年間3,000tほど発生し¹⁾、この有効活用が求められている。ただし、ワイン搾りかすは質の不均一性、供給量の不安定性、集約の困難さからその取り組みは難しい面もあり、一部が肥飼料として利用されている他は大部分が廃棄されている状況にある。

また、建設業における環境負荷低減の取り組みの一つとして、VOC汚染土壌の浄化事業が挙げられる。VOCは発がん性などの人体有害性があり現在では使用が制限されている。ただし、過去にこれらが使用された工場等ではVOCによる土壌、地下水汚染が顕在化している。

VOC汚染土壌の浄化方法の一つにバイオレメディエーションがある。本工法は、浄化に時間がかかり、高濃度汚染には不向きであるものの、実施時のコストや環境負荷が低いという特長があり、主要な工法の一

つとして用いられている。VOCのバイオレメディエーションでは、VOC分解能をもつ嫌気性微生物を活性化する手法^{2), 3)}が知られており、微生物の活性化剤としてVOC分解に必要な種々の水素供与体が提案されている。

筆者らは、ワイン搾りかすに各種のアミノ酸、糖分、有機酸、ポリフェノールが含まれていること¹⁾に着目し、これを水素供与体として活用したVOCの微生物分解技術に関して検討を行ってきた^{4), 5)}。

本稿では、固体であるワイン搾りかすを液体状に加工した“搾りかす資材”がVOCの微生物分解の水素供与体として機能するか室内試験で検証した。さらに、VOC汚染したクリーニング工場跡地において野外試験を実施し実現場での有効性について検討を行った結果を報告する。

2. VOCのバイオレメディエーション概要

本稿で対象とするVOCは土壌汚染対策法における第一種特定有害物質（ベンゼンを除く）である。VOCは、テトラクロロエチレン（以下、PCE）に代表されるように塩素原子を含む化学構造をしている。VOCの微生物分解は、この塩素を水素と置換する脱塩素反応によるもので、嫌気性微生物により行われる^{2), 3)}。

図1にPCEの微生物分解過程の概要を示す。4つの塩素のうち1つが水素と置換されトリクロロエチレ

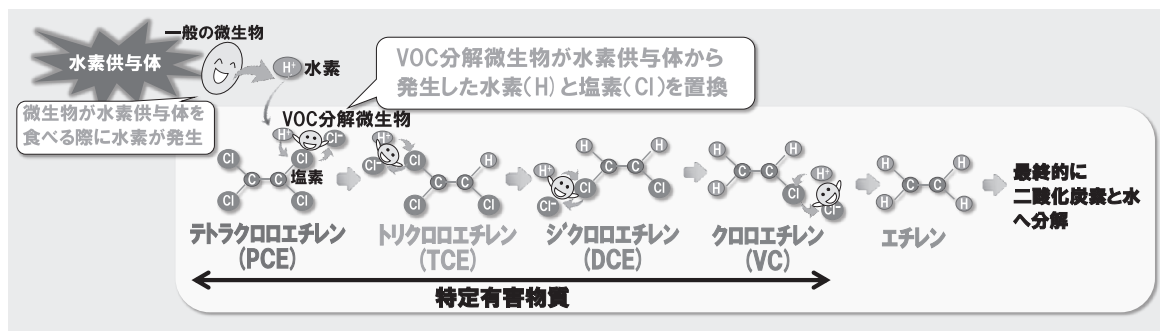


図-1 テトラクロロエチレン（PCE）の微生物分解過程の概要

ン（以下、TCE）になる。この脱塩素反応が逐次的に進行しジクロロエチレン（以下、DCE）、クロロエチレン（以下、VC）を経てさらに無害なエチレンへ、最終的には水と二酸化炭素になって無害化される。この脱塩素反応には水素の供給源が必要となる。この水素を供給する物質は水素供与体と言われ、これまで有機酸塩類、植物油脂類、食品副産物などの易分解性の有機物が報告されており、本稿ではワイン搾りかすを活用することとした。

3. ワイン搾りかすを原料にした搾りかす資材について

(1) 搾りかす資材の性状

搾りかす資材の原料は、山梨県内のワイナリーより入手したワイン搾りかすを使用した。搾りかす資材は、ワイン搾りかすをアルカリ溶液に一定期間浸漬し、溶解させた後に、塩酸を加え pH2 に調整したものである。表-1 に搾りかす資材の性状分析の結果を、写真-1 にワイン搾りかす、写真-2 に搾りかす資材の外観を示す。天然の原料を使用しているためばらつきがあると考えられるが、搾りかす資材は、有機物量の指標である BOD が 7,200 mg/L、栄養分であるアンモニア態窒素は 45 mg/L、リン酸性リンは 13 mg/L と農業用の肥料に比べると少ないものの一定量が含まれていることが明らかとなった。

表-1 液体状薬剤の性状

項目		代表値*
水素イオン濃度 (pH)	-	2
BOD (生物化学的酸素要求量)	(mg/L)	7,200
COD (化学的酸素要求量)	(mg/L)	3,900
アンモニア態窒素	(mg/L)	45
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	(mg/L)	2
リン酸性リン	(mg/L)	13
SS	(mg/L)	240

※天然のものを原料にしているためばらつきがある。



写真-1 ワイン搾りかす

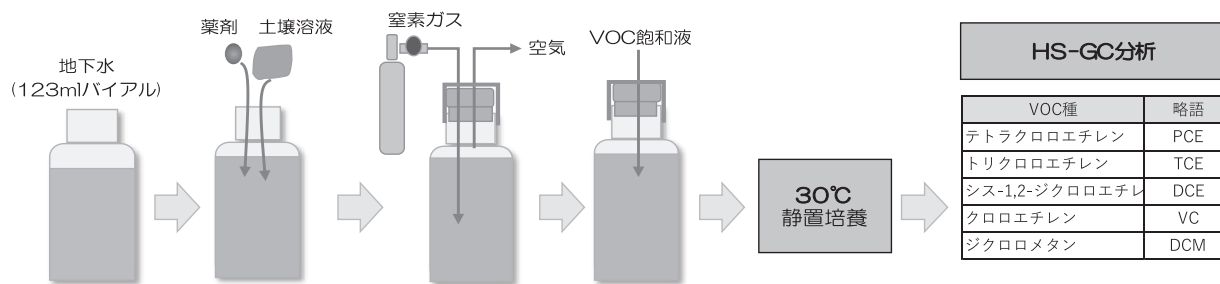


写真-2 搾りかす資材

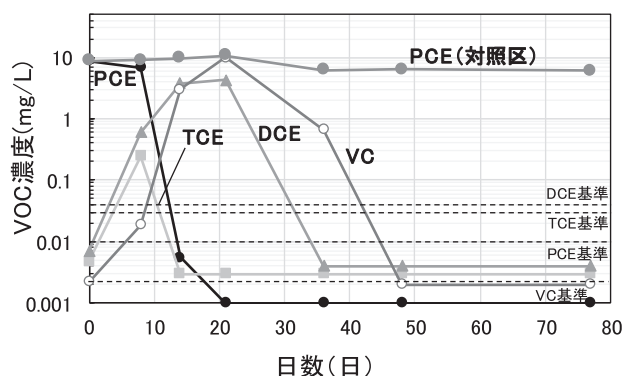
(2) 室内試験での効果確認

搾りかす資材を用いて PCE とジクロロメタン（以下、DCM）の分解性を評価した。分解試験の方法は、容量 123 ml のガラス容器に VOC 汚染現場から採取した土壌や地下水および搾りかす資材を入れ密栓した。その後、ガラス容器内に窒素ガスを通気し嫌気的環境とした。最後に PCE または DCM を注入したのち、30℃で静置した。定期的に VOC 濃度をヘッドスペース-ガスクロマトグラフ（HS-GC）法で分析した（図-2）。

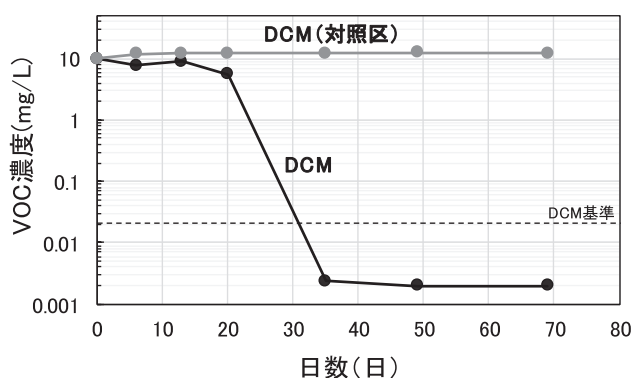
図-3 に PCE の分解試験結果を示す。PCE が分解しその分解生成物である TCE、DCE（本稿では、シス-1,2-ジクロロエチレン）、VC が逐次的に発生した。またそれぞれの濃度は一旦上昇するもののその後は



図一2 VOC 分解試験概要



図一3 PCE 分解試験結果



図一4 DCM 分解試験結果

徐々に低減した。これは、ガラス容器の中で図一1に示す微生物によるVOCの逐次分解によるものと思われる、このことから攪りかす資材が水素供与体として機能したと考えられる。

図一4にDCMの分解試験結果を示す。DCMはメタン系VOCで、エチレン系VOCのPCEとは構造が異なる。DCMはPCE単独に比べ分解に時間を要するものの、PCEがその後逐次分解して無害化するまでの時間と比較すると同程度であった。

これらの結果から、攪りかす資材が水素供与体として機能すること、構造の異なるVOCの分解にも適用が可能であることが明らかになった。

4. 実汚染現場での適用

(1) 攪りかす資材の地盤への注入・浸透施工方法

通常、攪りかす資材は水で2倍に希釈して、井戸等から地盤中に注入・浸透して用いる。また、透水性の高い砂質土壌では圧力をかけない自然流下で注入し、透水性の低いシルトや粘土混じりの土壌では若干の圧力をかけて注入する。しかしながら、粘土など透水性が極めて低い難透水性土壌には攪りかす資材が浸透困難なため適用はできない。表一2(1)、(2)に、攪りかす資材を注入・浸透するための主な施工方法の一覧を示す。

自然流下注入は、攪りかす資材の希釈液を入れたタンクから、井戸(内径50～100mm)へ人的に圧力をかけず送液し注入するものである。透水性の良好な砂質土壌の場合に適用する。

ポンプ圧力注入は、スクイズポンプなどで0.1MPa

表一2(1) 攪りかす資材の主な施工方法の一覧

注入方法種類	地盤の透水性	概要
1 自然流下注入	高い ↑↓ 低い	攪りかす資材の希釈液を入れたタンクから、井戸(内径50～100mm)へ圧力をかけず注入
2 ポンプ圧力注入		小型ポンプを用いて井戸(内径50～100mm)から圧力注入(送液圧0.1MPa以下)
3 小型注入機注入		土壌中に挿入した鉄製ロッドを回転・移動させながらその先端部から圧力注入(送液圧1MPa以下)
4 小型混合機混合		土壌中に挿入した回転翼を回転・移動させながらその先端部から吐出・混合する

表一 2 (2) 搾りかす資材の主な施工方法の一覧

	自然流下注入	ポンプ圧力注入	小型注入機注入	小型混合機混合
概要図				
施工例				

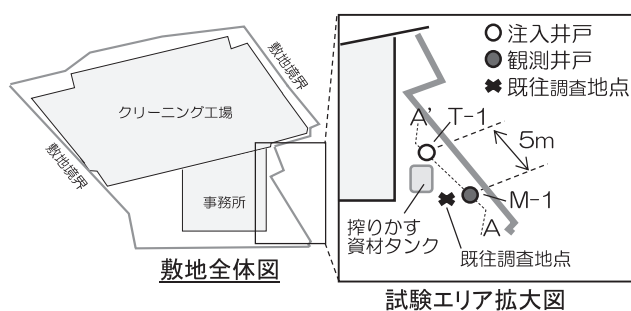
程度の送液圧をかけて送液し注入するものである。透水性のやや低い土壌の場合や、複数個所に一度に注入する場合などに適用する。

小型注入機注入は、自走式ボーリングマシンにスイベルや注入ロッドなどの治具をセットすることにより、搾りかす資材注入の機能を持たせた装置を用いる。透水性の低い土壌で井戸を設置できない現場に適用する。

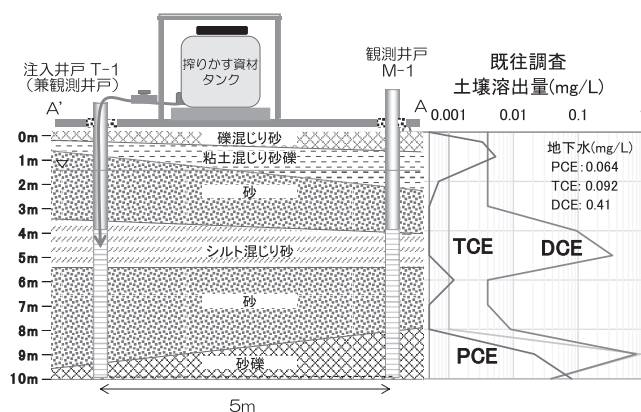
小型混合機混合は、小型混合機として一般住宅の地盤改良に使われる宅盤用柱状改良機を用いる。小型混合機は、攪拌翼を回転させながら、その先端から搾りかす資材を噴射し、土壌と搾りかす資材を混合する機械である。混合できる範囲は直径約 1.0 m の円状となり、任意の深さに搾りかす資材を混合できる。透水性が非常に低い土壌の場合に適用する。

(2) クリーニング工場跡地での適用例⁴⁾

図一 5 に適用現場の平面図を示す。本現場はクリーニング工場跡地で、過去にドライクリーニング溶剤としてテトラクロロエチレン (PCE) を使用していた。汚染源は明確でないもののドライクリーニング機が設置されていたクリーニング工場と事務所の境界付近で



図一 5 適用現場平面図



図一 6 土質断面図、既往調査結果

あろうと予想した。これを念頭に、本現場内の試験エリアとして、既往調査で VOC が検出された地点周辺を選定した。

図一 6 に土質断面図および既往調査の結果を示す。試験エリアの地表はアスファルト舗装されており、土質は一部に粘土、シルトが混じるものの全体に砂、砂礫であり、透水性は良好と判断された。このため、搾りかす資材の注入方法として自然流下注入を選定した。

試験エリアでは、搾りかす資材注入のための注入井戸 T-1 および、モニタリングのための観測井戸 M-1 を設置した。いずれの井戸も内径 50 mm、長さ 10 m、ストレーナー区間 4.0 ~ 10 m とした。

また、既往調査時点での土壌溶出量基準不適合深度は G.L.-4.0, -5.0 m で DCE, G.L.-9.0, -10 m で PCE, TCE, DCE であった。地下水は、PCE, TCE, DCE が基準不適合であった。(既往調査は VC 未測定)

搾りかす資材の注入は、搾りかす資材タンク (容量 500 L) に搾りかす資材と水道水を入れ混合し、注入

井戸から自然流下させた。注入は2回実施し、初回注入、追加注入ともに約2倍希釈液を500 L（搾りかす資材 280 L + 水道水 220 L）注入した。注入時間は、初回注入は約1晩、それに続き実施した追加注入は毎分50 ml 程度で約1週間であった。

土壌のモニタリングは、T-1, M-1 井戸設置時と9.5ヵ月後に T-1, M-1 近傍でボーリング調査を実施した。地下水の水質モニタリングは、T-1, M-1 にて任意の時期に採水し、VOC 濃度や pHなどを測定した。VOC 濃度は、PCE, TCE, DCE, VC を対象に公定法で分析を行った。VOC 分解微生物数の測定は、*Dehalococcoides* 属細菌群の 16S rRNA を指標とした定量 PCR 法で行った。

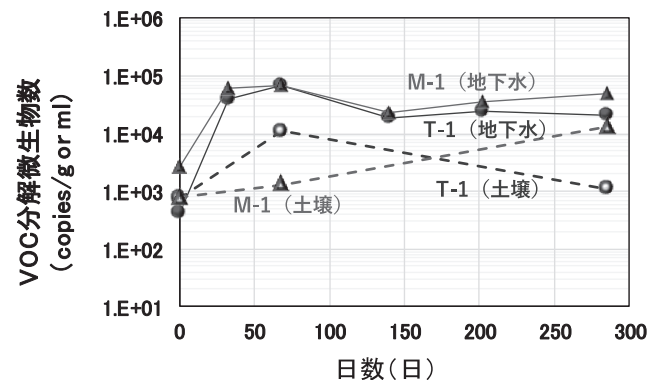
図一7に T-1, M-1 の地下水中の VOC 濃度の変化を示す。T-1 では約70日で全ての物質で基準適合し、9.5ヵ月後も適合状態を維持していた。また、M-1 では VC 以外の VOC は約140日で基準適合し、9.5ヵ月後も基準適合状態を維持していた。本試験の結果、基準値の約1,000倍のクロロエチレンが搾りかす資材の注入により基準適合まで低下すること、5m離れた井戸においても搾りかす資材注入後に VOC が低減する傾向を確認した。

表一3に土壌の VOC 濃度変化を示す。土壌の採取深度は、既往調査で基準超過であった G.L. -4.0, -5.0

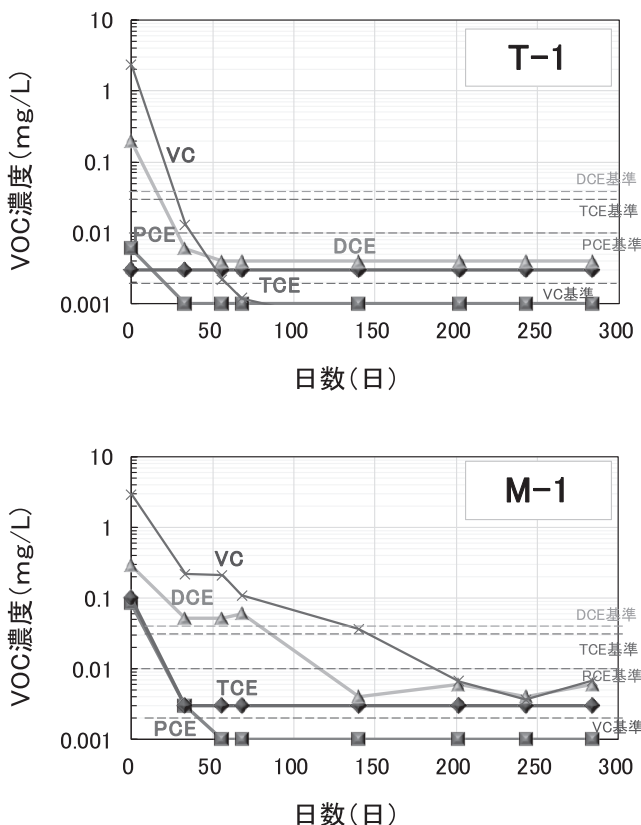
表一3 土壌の VOC 濃度変化

地点	深度 (G.L.-m)	経過 日数	PCE (テトラクロロ エチレン)	TCE (トリクロロエ チレン)	DCE (シス -1,2-ジクロロ エチレン)	VC (クロロエチレ ン)
T-1	4.0	事前	< 0.001	< 0.003	0.016	0.001
		9.5 ヶ月	< 0.001	< 0.003	0.007	0.0007
	5.0	事前	< 0.001	< 0.003	< 0.004	< 0.0005
		9.5 ヶ月	< 0.001	< 0.003	< 0.004	< 0.0005
	9.0	事前	< 0.001	< 0.003	0.005	< 0.0005
		9.5 ヶ月	< 0.001	< 0.003	< 0.004	< 0.0005
	10	事前	< 0.001	< 0.003	< 0.004	< 0.0005
		9.5 ヶ月	< 0.001	< 0.003	< 0.004	< 0.0005
M-1	4.0	事前	< 0.001	< 0.003	0.007	< 0.0005
		9.5 ヶ月	< 0.001	< 0.003	< 0.004	< 0.0005
	5.0	事前	< 0.001	< 0.003	< 0.004	0.0009
		9.5 ヶ月	< 0.001	< 0.003	< 0.004	0.0005
	9.0	事前	< 0.001	< 0.003	0.050	0.0024
		9.5 ヶ月	< 0.001	< 0.003	< 0.004	< 0.0005
	10	事前	< 0.001	< 0.003	0.011	< 0.0005
		9.5 ヶ月	0.001	< 0.003	< 0.004	0.0007
	土壌溶出基準値		0.01 以下	0.03 以下	0.04 以下	0.002 以下

単位：mg/L



図一8 VOC 分解微生物数の変化



図一7 地下水の VOC 濃度変化

m, -9.0, -10m とした。9.5ヵ月後、T-1 および M-1 の両方で全ての深度で VOC 濃度が基準適合となったことから、搾りかす資材の注入により土壌についても浄化が可能であると考えられる。

図一8に土壌、地下水中の VOC 分解微生物の1種である *Dehalococcoides* 属細菌数の変化を示す。

搾りかす資材の注入後、*Dehalococcoides* 属細菌は、T-1 では地下水で約160倍、土壌で約15倍に増加した。M-1 では地下水で約25倍、土壌で約2倍に増加した。

本現場での VOC 濃度の低減は、搾りかす資材の注入により有機物などの成分が浸透・拡散することで *Dehalococcoides* 属細菌などの VOC 分解微生物が増加し微生物分解が進行した結果と考える。

5. おわりに

本稿では、食品製造副産物であるワイン搾りかすを

有効活用した搾りかす資材の、VOC 汚染土壌・地下水のバイオレメディエーションへの適用可能性を検討した。室内試験では、搾りかす資材中の成分として有機物や窒素・リンが存在することを確認した。分解試験の結果、構造の異なるテトラクロロエチレンとジクロロメタンの両方の分解に搾りかす資材は適用可能であった。

野外試験においては、搾りかす資材を注入した井戸では、0.2 mg/L の cis-1,2-ジクロロエチレンおよび 2.3 mg/L のクロロエチレンが約 70 日で基準適合した。注入井戸から 5 m 離れた観測井戸では、140 日時点でテトラクロロエチレンなどが基準適合し、9.5 ヶ月後にはクロロエチレンも 1/100 程度まで低減した。これら VOC 濃度の低減は搾りかす資材の注入により有機物などの成分が浸透・拡散することで *Dehalococcoides* 属細菌などの VOC 分解微生物が増加し微生物分解が進行した結果と考えられる。

現場の土質など状況は様々であるため、薬剤を注入・浸透させる方法も適切なものを選定し施工する必要がある。今後は、搾りかす資材の機能向上とともに、さ

らに効果的で安価な施工法の開発に取り組む予定である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 斎藤美貴, 橋本卓也, 小嶋匡人, 長沼孝多, 木村英生, 吾郷健一, 森智和: 醗酵食品残渣の成分分析とブドウ搾り滓による酵母の培養, 山梨県総合理工学研究機構研究報告書, No.5, pp.97-102., 2010
- 2) 片山新太: 有機塩素化合物の微生物分解, 地球環境, Vol.15, No.1, pp.45-53., 2010
- 3) 永井宏征, 篠原誠, 栗栖太, 岸正博: バイオレメディエーションによる土壌・地下水浄化, 旭硝子研究報告, Vol.64, pp.27-33., 2014
- 4) 大橋貴志, 高橋季之, 井上潤一, 山口和昭, 大保義秋, 大熊盛也: ワインの搾りかすを用いた VOC 汚染浄化に関する検討 (その 3), 地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集, No. 25, pp.506-511., 2019
- 5) 三ヶ尻智晴: ワインの搾りかすで汚染土壌を浄化, 日経コンストラクション, pp.22-23., 2019.1.28

【筆者紹介】

大橋 貴志 (おおはし たかし)

(株) NIPPO

総合技術部 技術研究所 研究第一グループ
主任研究員





深海における資源開発技術の現状 ～世界初！海底熱水鉱床採鉱・揚鉱パイロット試験～

笹原 裕太郎・五十嵐 吉 昭・山路 法 宏

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）は、経済産業省からの委託を受け、研究機関、大学及び民間企業協力の下、国の海洋エネルギー・鉱物資源開発計画に基づいた海底熱水鉱床の開発に関わる取り組みを行っている。2017年度に実施した採鉱・揚鉱パイロット試験では、世界で初めて海底熱水鉱床の連続揚鉱に成功し、今後の海洋鉱物資源開発に必要な技術の確立に向けての大きな一歩となった。本稿では、採鉱・揚鉱パイロット試験の概要を中心に、採鉱・揚鉱システムにおける技術開発の取り組みを紹介する。

キーワード：金属資源開発、海底熱水鉱床、鉱山機械、水中ポンプ、スラリー移送、揚鉱試験

1. はじめに

我が国の排他的経済水域内には銅、鉛、亜鉛、金、銀等の有用金属を多く含む海底熱水鉱床の賦存が確認されており、金属鉱物資源のほぼ全量を海外からの輸入に頼っている我が国の新たな資源の安定供給源として、開発への期待が高まっている。

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（以下「JOGMEC」という。）は、経済産業省の委託を受け、研究機関、大学及び民間企業協力の下、国の海洋基本法、海洋基本計画及び海洋エネルギー・鉱物資源開発計画（以下「開発計画」という。）に基づき、海底熱水鉱床の開発に向けて、2008年度より、資源量評価、採鉱・揚鉱技術、選鉱・製錬技術及び環境影響評価の4つの分野で取り組みを進めてきた。

本稿では、採鉱・揚鉱システムの技術開発への取り組み並びに水深約1,600mの海底から海底熱水鉱床の鉱石を海水と共にスラリー状で連続的に揚鉱することに世界で初めて成功した2017年度の採鉱・揚鉱パイロット試験（以下「パイロット試験」という。）の概要及び成果を報告する。

2. 採鉱・揚鉱システムの技術開発

採鉱・揚鉱システムは、海底で鉱石を掘削・集鉱する「採鉱ユニット」、集鉱された鉱石を海水とともにスラリー状にして水中ポンプで船上まで揚げる「揚鉱ユニット」、そして、船上に揚がった鉱石と海水を分離して鉱石の貯蔵及びシャトル船への払い出しを行う



図—1 採鉱・揚鉱システムの概念図の例

「母船ユニット」の3つのユニットで構成されている（図—1）。

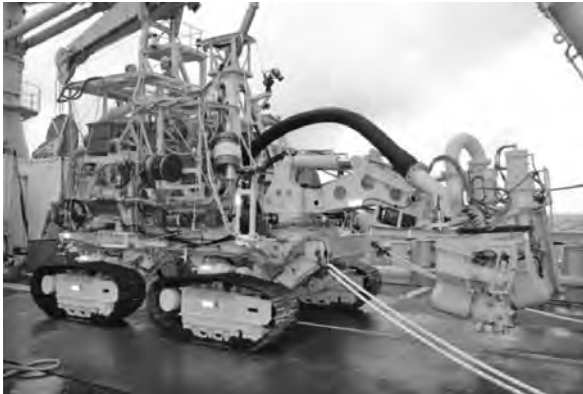
(1) 採鉱ユニット

海底熱水鉱床の小丘（以下「マウンド」という。）上での走行、掘削、集鉱等の要素技術の評価を行うために、以下の2種類の採掘要素技術試験機（以下「試験機」という。）を2010年度に開発した。いずれの試験機も、船舶からアンビリカルケーブルを通して電源供給及び遠隔操作が行われる。

(a) 試験機 A

試験機 A は、中央に浚渫ノズルを備えた多軸型又はドラム型の 2 種類のカッターヘッドを装備することで、掘削と集鉱を同時に行うことが可能である（写真—1）。走行方式は 4 クローラによる自走式で、海底面の状況に応じてそれぞれのクローラの高さ及び傾きを調整することで姿勢を制御することができる。

パイロット試験では、集鉱試験機として事前に掘削・破碎した鉱石の集鉱（浚渫）を行った。



写真—1 試験機 A（多軸カッターヘッド）

(b) 試験機 B

試験機 B は、掘削ヘッドに炭鉱等の岩盤坑道掘削で使用されているロードヘッダー型を採用した（写真—2）。ロードヘッダーを浚渫用のヘッドに換装することで集鉱も可能であり、走行方式は 2 クローラ方式とした。

パイロット試験では、掘削ヘッドを装備した掘削試験機として海底熱水鉱床の掘削を行い、その後、掘削ヘッドを破碎ヘッドに換装した上で破碎試験機（写真—3）として運用した。

各試験機は、陸上及び実海域試験により改良を重ね、2014 年度には、試験機 B は実海域の海底熱水鉱床の



写真—2 試験機 B（ロードヘッダー）



写真—3 試験機 B（破碎ヘッド）



写真—4 海底走行試験中の試験機 B

マウンド上での 24 時間連続操業を達成し、海底熱水鉱床のマウンドの中腹に平坦面（以下「ベンチ面」という。）を造成することにも成功した（写真—4）。

(2) 揚鉱ユニット

揚鉱ユニットは、水中ポンプ及びライザー管（以下「揚鉱管」という。）等で構成される。揚鉱ユニット開発のため、2013 年度より鉱石スラリー移送時の圧力損失推定及び摩耗影響等の検討が行われた。各種検討に基づき、揚鉱用水中ポンプ（立軸遠心 6 段型、写真—5）が 2016 年度に開発された。本水中ポンプは、ケーシング内に水中モータ等と共に 2 台を直列につないで平行に配置し、各水中ポンプの回転をそれぞれ正逆とすることでポンプの回転に伴う回転慣性を相殺する構造とした。

揚鉱管は各種磨耗試験等の結果を踏まえて耐腐食磨耗性の高い 2 相ステンレス鋼を選定したが、パイロット試験では経済性も勘定しつつ、石油・天然ガス開発における大深度での使用実績及びねじ継手による接続の信頼性等を考慮し、内径約 100 mm の高強度の油井管を採用した。



写真—5 水中ポンプ

(3) 母船ユニット

母船ユニットは、採鉱母船、固液分離装置及び鉱石払出し装置等で構成される。2009年度より、母船ユニットの主要寸法及び鉱石払出し装置の検討を開始し、母船の動揺特性及び母船・シャトル船間の鉱石払出し作業の限界波高等に基づく商業時の稼働率等を評価してきた。パイロット試験（揚鉱試験）では、採鉱ユニットをオペレーションする採鉱母船並びに揚鉱ユニット及び固液分離装置をオペレーションする揚鉱母船の2船に分けて運用する体制とした。

3. パイロット試験の実施

総合的な採鉱・揚鉱システムの検証を目的として、沖縄近海で2016年度から2017年度にかけて採鉱・揚鉱パイロット試験を実施した。本試験は、基礎条件を表—1のとおりに設定し、揚鉱用の鉱石を準備するために海底熱水鉱床のマウンドを掘削する事前掘削試験（2016年度）、掘削塊の破碎・貯鉱を行う事前破碎試験（2017年度）、貯鉱した破砕片を集鉱・浚渫し水中ポンプで揚鉱、さらに船上で固液分離を行う揚鉱試験（2017年度）の3段階に分けて実施した。

表—1 試験基礎条件

項目	値
試験水深	約 1,600 m
スラリー流速	3.8 m/s
スラリー濃度目標	3-5 vol.% (Max 10 vol.%)
鉱石粒子最大粒径	30 mm
実鉱石密度	平均 3.2 g/cm ³
模擬鉱石密度	2.92 g/cm ³

(1) 事前掘削試験・事前破碎試験

本試験は、揚鉱試験に供する最大粒径 30 mm 以下に掘削・破碎した実鉱石の確保が目的である。まず、2016年度に掘削試験機を用いてベンチ面から海底熱水鉱床マウンドを掘削した。その後、2017年度に破碎試験機により掘削塊をベンチ上の仮置き場まで運搬・集積した上で破碎し、長径 30 mm 以下の実鉱石を確保した（写真—6）。破碎した実鉱石をベンチ面上に設置したスクリーン付きのパレット内に貯鉱することで、大粒径の鉱石の混入を防止し、集鉱・揚鉱時の閉塞リスクを低減した。また、揚鉱試験における確実なデータの取得及び手順の確認等の観点から、模擬鉱石（パムコクラストン、陸上で長径 30 mm 以下に整粒済）を入れたパレットを事前に海底に設置した。



写真—6 事前破碎試験

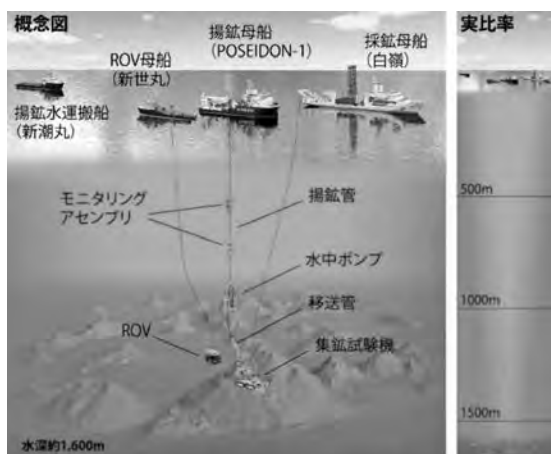
(2) 揚鉱試験

(a) 実施体制

本試験では、採鉱ユニットである集鉱試験機のオペレーションを行う採鉱母船及び揚鉱ユニット（水中ポンプや固液分離装置等）のオペレーションを行う揚鉱母船に加え、遠隔操作無人探査機（Remoted Operated Vehicle, 以下「ROV」という。）により海中での作業支援を行う ROV 母船及び揚鉱母船上で固液分離された後の海水（以下「揚鉱水」という。）を陸上まで移送する揚鉱水移送船の4船を同時に運用した（図—2）。各船は自動船位保持システム（Dynamic Positioning System, 以下「DPS」という。）により、10cm単位での定点保持が可能である。また、各船で取得する情報（ROV 映像のほか各機器の位置情報及び測定データ等）を全船に配信・共有するための情報共有システムを構築した。

(b) 試験内容

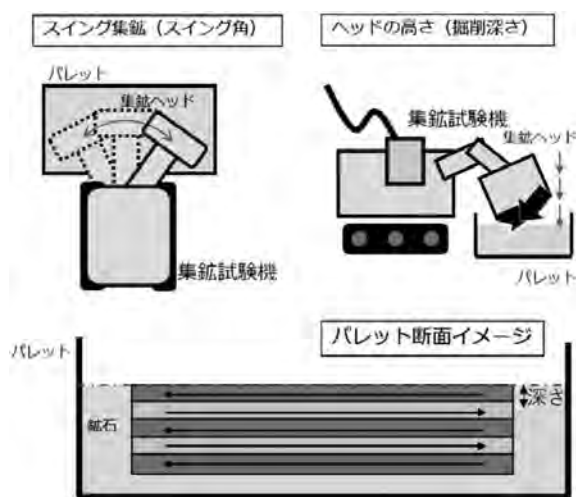
まずは模擬鉱石を対象として、採鉱・揚鉱両ユニットの連携を取り、揚鉱オペレーションの確認を行いながら揚鉱を行った。集鉱試験機の集鉱ヘッドの横スイ



図ー２ 揚鉦試験の実施体制



写真ー７ 集鉦オペレーション中の試験機 A



図ー３ 集鉦オペレーション概念図

ング数及びヘッド高さ（掘削深さ）を小さくした短時間の揚鉦から始め、徐々にそれらを大きくして試験を行った（写真ー７、図ー３）。スイング速度及び掘削深さとスラリー濃度との関係並びに水中ポンプの回転数制御状態及び揚鉦管内のスラリー移送状態等を把握し、次の試験計画に反映させることで、円滑な試験実施及び確実かつ適切なデータの取得を可能とした。

模擬鉦石による複数回の試験結果を踏まえ、実鉦石を対象とした揚鉦及び模擬鉦石を対象とした高濃度か



写真ー８ 船上に揚鉦された鉦石

つ長時間の揚鉦を試みた。揚鉦したスラリーは、揚鉦母船上の固液分離装置で鉦石と揚鉦水に分け、鉦石は船上のタンクに貯鉦した（写真ー８）。揚鉦水は一定量を船底タンクに貯めた後、揚鉦水運搬船に移送し、揚鉦試験終了後に陸上の処理施設にて全量処理を行った。

(c) 試験結果

本試験では、合計 16 回の試験で約 16.4 トン（模擬鉦石：10 回約 12.3 トン、実鉦石 6 回約 4.1 トン）の揚鉦に成功し、累計揚鉦時間は約 1 時間 37 分であった。また、各回の平均スラリー濃度は最大で 3.8%，スラリー柱濃度（揚鉦鉦石が船上に達し、揚鉦管内全体にスラリーが満たされている状態での管内平均濃度）は最大 5.6% であった。さらに、各ユニットに取り付けられたセンサー類により、実海域での運用データを数多く取得した。

4. 今後の課題

パイロット試験の結果、将来の安定的な商業生産を実現するための課題も明らかとなった。例えば、揚鉦時のスラリー濃度変動及び流路の閉塞を抑制・防止するための海底での粒度・濃度調整技術の開発並びに機器・設備等の耐久性・効率性の向上、揚鉦水対策等、システム全体の高効率化及び最適化に向けて解決すべき多くの技術的課題が残されている。

また、海底熱水鉦床のマウンドはそのサイズ及び形状、鉦石物性が様々であり、マウンドごとの最適な採鉦方法についてもまだ十分な検討が行えていない。

さらに、開発に向けては環境面での取り組みも不可欠である。現状、海洋鉦物資源の開発ルールは国際的にも議論の途上であるため、今回のパイロット試験の実施にあたっては、国際海底機構の環境ガイドラインに準拠した環境基礎調査及び影響予測等を実施し、周辺環境に深刻な影響が出ないことを事前に確認しており、試験中及び試験後にも継続的な環境モニタリング

測定による環境影響評価を実施している。

5. おわりに

海底熱水鉱床では世界初となるパイロット試験の成功は、今後の海洋鉱物資源開発に必要となる技術の確立に向け、大きな一歩となった。一方で、本試験により多くの課題も明らかとなり、商業化に向け、本試験で得られた成果を十分に分析・評価するとともに、課題解決のための長期的かつ総合的な取り組みを継続的に実施していく必要がある。

2018年度には、次期5か年の計画が示された第3期海洋基本計画が閣議決定された。また、採鉱・揚鉱分野を含む4分野の10年間にわたる取り組みに対する技術的評価からその時点での経済性検討まで実施した海底熱水鉱床開発計画総合評価報告書¹⁾を公表し、その提言も踏まえた第3期開発計画も発表された。JOGMECは引き続き、これら国の政策に基づき取り組みを続けていく所存である。

謝 辞

最後に、本試験は経済産業省の委託業務として、JOGMEC及び8企業・研究機関からなる「採鉱・揚鉱パイロット試験受託コンソーシアム」(構成員：三菱造船(株)(代表)、新日鉄住金エンジニアリング(株)(副代表、現日鉄エンジニアリング(株))、国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所、清水建設(株)、深田サ

ルページ建設(株)、(株)三井三池製作所、三菱重工業(株))が中心となり、大学等の有識者から構成される海底熱水鉱床開発委員会及び同委員会の下に設置した採鉱技術ワーキンググループでの指導・助言を踏まえつつ産学官の連携体制で実施したものであり、経済産業省及び本業務に携わった全ての関係各位に感謝の意を表します。

JCM/A

《参考文献》

- 1) 経済産業省資源エネルギー庁、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構、海底熱水鉱床開発計画総合評価報告書、2018年12月

【筆者紹介】

笹原 裕太郎(ささはら ゆうたろう)
(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構
金属資源技術部 海洋資源技術課
課員



五十嵐 吉昭(いがらし よしあき)
(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構
金属資源技術部 海洋資源技術課
課長



山路 法宏(やまじ のりひろ)
(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構
金属資源技術部 海洋資源技術課
担当調査役



ずいそう

海から陸に上がる

川北 義正



「関東一円、ただ一校」と言う造船科の応援歌にあるように、神奈川県立工業高等学校の造船科を18歳で卒業し造船会社に就職しました。

当時、日本は造船王国として世界に誇る状況で、幸いにも横浜の造船所に入社することができました。当時、世の中は景気が上向き状態で経済の基盤であるモノづくりが盛んであり、当然のことながら油槽船等建造ブームで外国船からの注文が多く活気のある会社でした。

入社して2年間は技師の卵で技手という資格で、設計部から出図された図面を製作用や取付け用の工作図にする生産技術に配属されました。

その後は艤装品を製作する内業工場や、艤装品を船体に据え付ける現場作業など各職場の実習を経験しました。

船は船殻構造をスロープのある進水船台で組立する船殻外業は造船所の花形で、ブロック構造を船殻構造や居住区構造に組立てて行き、進水式を終えると直ぐに次のブロックを船台で組立てていく状態でした。

ところが居住区などは軽量にするために薄板構造であり、溶接の熱影響で甲板や居住区の壁・天井などはひずみだらけで、このままでは居住区の艤装工事が始められない状況です。

仕方なく船台にある船殻関係の現場事務所に行き、若手の小生が老練の工師にひずみ取りをお願いに行きますが、その時に工師曰く「何で造船所に就職したんだね？ 昔は英国が造船王国であったけど、今は日本が

世界一の造船王国だ」、「そのうち、後進国が造船王国になり日本は世界一を譲ることになる時が来るんだ」、私は「……」返す言葉が見つかりませんでした。

希望を持って就職したのに、なんと言うことだ。そんなことより、「早くひずみ取りを行ってください」とお願いするありさまでした。

新造船の艤装工事は、工事範囲が広くて船首の投錨機、甲板の係留装置や荷役装置、配管工事、電装工事、居住区の内装工事、エアコンや通風ダクト（給気・排気）、食堂の各種調理機器、大型の冷蔵庫（日用品庫・野菜庫はマイナス5℃程度）と冷凍室（肉庫・魚庫はマイナス15℃程度）など様々な装置を運転調整しなければなりません。

艤装品の中の船主支給品の大型自動洗濯機、自動乾燥機、大型アイロン装置やレジャーボート等は日本では見たことのない製品であり、これらは税関品のため通関手続きをしないと取り付けることができないのです。

そして、据え付け終わって運転する場合、外国語の取説を読まないと運転できないが、英語・仏語・ギリシャ語など取説の内容が理解できず、取説の絵を見て判断する以外にありませんでした。

大型自動洗濯機の給水・排水の制御は、なんと回転ドラムに水が入るとビニール配管に水が入り空気が圧縮されると小さいバネにボールが押し上げられて、リ



写真—1 冷凍試運転



写真—2 海難船

ミットスイッチが押されて電磁弁が給水ラインを遮断する仕組みでした。誠にシンプルで理論的であり仕組みが判った時は嬉しくなりました。

そのような異なる機器の作動は電気・油圧・空圧・蒸気で動くことを知り、その速度調整は弁の開度を空圧・電気で制御し所要の速度になることを知りました。

油圧の場合は配管の中に工事用の溶接滓や小さいゴミがあると、弁の作動に不具合を及ぼすのでフラッシングを昼夜行い、フィルターにゴミの付着が無くなるまで徹夜で行った時の寒かった記憶は今でも忘れられません。

油槽船・鉾石船・バラ積み船・漁工船・LPG船・青函連絡船等を入社二年後から担当技師になり、艀装工事を四苦八苦しなからとりまとめました。

小生が担当した船体艀装は、電気艀装、内装艀装、配管艀装があり、甲板の前から後ろまでの艀装品をまとめ、そして居住区のあらゆる内装品のまとめを全て行い、船主監督に引き渡す重要な仕事でありました。

船主に居住区を引き渡す時には、エアコンの効き具合や吹き出し部の風切りノイズ、シャワールームのタイルの目地のクレーム、ドアの閉まる速度と閉まった時にバシッと音の無いこと、ギャレーの飯炊き釜、スープボイラー、ジャガイモの皮むき器、フライヤーの調整なども行うことは楽しい仕事の部類でした。

ギャレーやエアコンの調整は一大仕事です。試運転に行く時に船主監督、船級協会、船員やドックマスター、計測の設計陣が沢山乗り込み、二昼夜から一週間海上試運転をするのに、ギャレーのトラブルは食事が供給できないので、殆んど付き切りとなる相当にハードな仕事であったが、何とかこなすことができて装置の作動原理等を体得できたものも大きな収穫でした。

しかし、数年後に経験豊かなあの工師の言う通り、後進国が新造船への国際入札するので国内では後進国の入札に負けじと船価は低価格へと推移していきました。

結局、新造船の受注できる隻数が少なくなり、船台が余剰気味になってしまい横浜造船所は新造船の建造を断念せざるを得なかったのです。

そのため私は新造船部門から修繕船部へ配置換えとなり、入渠する修繕船の工事担当で外国船や機種の異なる船の修理に携わりましたが、新造船とは異なりお客様の財産を守ることが第一条件で、且つ短期間の工期と安全作業で確実に修理することが必須でありました。

修繕船と新造船との大きな違いは、なぜ修理しなけ

ればならないのかと言う基本にかえると、荒天の波浪による衝撃力で艀装品が破損することや、船殻部材の亀裂等が生じることが予想もつかないことであり、これを修理しなければ次の航海に出て荷役の保証をすること、工期を死守することが大変でした。

工事担当は修理スベック以外に、新たに発生した仕事に関連する職種に即伝達し、作業員の確保や資材の確保に一刻を争うことになりました。

新たに発見した修理項目などを把握し、刻々と変化する状況の中で新しい工事オーダーを発行しなければならず、それに見合った作業時間の伝達と共に営業に見積を出す一方、完成書の作成も並行して行うという綱渡り状態でした。

このような経験を積むと、度胸も据わりどんなことが生じてても、どうすることが全体としての最善策かを体が覚えて行くことになります。

その後の職場配属が修繕船から改造船、海洋構造物から鉄構製品へと渡り歩いたことが、様々な経験を積んで体で覚えた知識となり、問題解決は意外と同じ手法で乗り切ることができるものと思うようになりました。

そして遂に海の男が鉄構製品部に配属され陸に上がってしまい、今では高速道路の道路維持機械の開発に首を突っ込むことになり、特殊な道路維持装置等を開発することになりました。

また私が開発に関して実績がない頃、色々な失敗作もあったが、それは弁解ではないがお客様の要望事項に率直に応えたが、現場の作業者には取り扱いが難しく敬遠された事例もありました。

開発では矢張り自動化や省人化と言う言葉に妄信された結果、余り高度な自動化などは現場では受け入れられないと言うことがありました。

これは自動化や省人化することにより、現場作業が減らされてしまうと人工作業が減って売り上げが減ってしまうと言う拒絶感みたいなものが働いてしまい、毛嫌いされてしまうことも一因だったかもしれません。

現場で受け入れられるものは、作業員の3K（危険・きたない・きつい）を低減することや、安全に作業ができることが一番大切なことであり、工場での流れ作業のような完全自動化では無く、作業員と機械の調和のとれたマン・マシンが良いと思うようになりました。

しかし、時代の流れは早くて熟練作業者の減少や、若手との経験度の違いによる温度差を如何に穴埋めしていくかが、現在問われている課題であるように感じます。



写真—3 トンネル灯具清掃車



写真—4 水噴霧測定車

未だに、高速道路などの延伸に伴うメンテナンスボリュームとメンテ要員とのアンバランスを、作業員不足の現状でどのように乗り切るかが課題であり、イノベーションやソリューションという言葉が盛んに語られています。

道路延長と作業員不足との逆転現象を何とか解決するために、メンテ装置の開発は後追いだが付きまとうことになるので、現場の意向を最初から織り込むことが大切であり、発注する側の管理者からの要望に対しては、私は今まで数々の失敗してきた実績を持っていますと答えるようにしています（笑）。

それは色々な経験の中から体得した「現場第一主義」

が、真の開発に関する答えではないかと思うからです。

小生が開発した数少ない成功事例としては、キャビテーション効果を利用した高速道路トンネル照明灯具の清掃を時速 50 km/h で清掃する装置と、高速道路のトンネル火災の消火水を降水量に換算すると 360 mm/h（超々豪雨状態）を 50 m 区間に噴射する水量を計測する水噴霧測定車があります。

この両車とも高速道路を一車線規制でできる保守作業装置なので、トンネルの通行閉鎖をしなくて済むために三社の高速道路会社を導入されています。

——かわきた よしまさ ワイ・ケイ企画——

ずいそう

カメラ愛は止まらない

河本 高 広



1. 子供の頃のカメラの思い出

思い出すと私は小さい頃よりカメラ好きであった。小学生の頃は放課後、家のフィルムカメラを持ち出し、遊び仲間と集合写真を撮ったり、横浜港に寄港したクイーンエリザベスⅡをカメラ下げて見に行ったりした(帰宅後フィルムが入っていないことが発覚、あれは父の作戦だったのだろうか?)。またフィルムが入ったまま蓋を開けダメにしてしまったこともある。当時は出来上がるまで日数もかかりワクワクしながら待つことも楽しみだった。

2. フィルムカメラからデジタルカメラに

高校時代に「写ルンです」が登場。当時は自撮りなんて言葉は無かったが、スキーに行けばリフトに乗って仲間と自撮りもでき、現代の高校生のような使い方をしていた。その後デジタルカメラが普及、携帯電話にカメラがついた時に長女が誕生し、離れていても「写メール」で様子が送られてきた。今見ると画像も小さく粗いが画期的であった。

3. デジタル1眼レフと小学校入学

長女が小学校に上がる前にソニーから「α350」というデジタル1眼レフカメラが登場した。新聞広告ではカメラを高く掲げ背面液晶を見て撮るお父さんの姿が描かれ、「これしかない!」と購入し入学式よりデジタル一眼カメラとの生活が始まった。このカメラは現在のミラーレスカメラ的な使い方もでき、いいカメラであった。

4. 単焦点レンズとの出会い

週末に子供を撮りつつ雑誌等でカメラの勉強をする、F値の小さい単焦点レンズを使えば日常でもグッとくる写真を撮れるらしいとの知識を得てシグマの短焦点レンズ「30 mm f1.4」を購入。バースデーケーキの蠟燭の明かりや夕暮れの公園などもきれいに撮れ、

更にピントの合った部分以外はきれいにボケる。「これが写真だ」とこの時期はこのレンズばかりで撮っていた。当然ズームしないため自分が前後に移動して写真を撮る、これが画角の勉強にもなり、いつの間にか「これぐらいの範囲が写るだろう」と撮影範囲が体に染みついたのもこのレンズのおかげであった。今でもカメラを買ったばかりの人にはこのレンズをすすめている。

5. 体育館スポーツの撮影

転勤を機に子供がバスケットボールを始めた。今までと違って被写体がよく動くこと、そして一見明るいが体育館は写真撮影には暗くて向かないことがわかった。また連写をすると照明が周波数によってちらつき(フリッカー)、明るい写真、暗い写真が混ざってしまっていた。

そこにタイミング良くキヤノンより「フリッカー抑制機能」がついた「EOS7D Mark II」が登場。これは自分のために出てきたカメラだと勝手に解釈し、更にレンズに「70-200f2.8」という体育館撮影にはこれしかないという組み合わせを思い切って購入した。結果的に前述のばらつきが無く快適に撮れるようになり、練習試合、公式戦問わずチーム帯同カメラマン?としての生活が続いている。

6. 風景・星景写真

私は単身赴任で地方に住むことが多い。昨年まで秋田県八峰町に風力発電所を建設していた。海岸に立つ風車の向こうには白神山地が広がり(写真-1)、日本海に沈む夕焼けに感動した。ある夜、仕事を終え事務所から出ると満天の星が広がっていて「何とかしてこれを撮りたい」との衝動に駆られ、セッティングを検索しながら撮影した。結果この日は「取り敢えず写っていたレベル」。電子書籍で「星景の撮り方」を読み、シャッタースピード、ISO感度等を勉強して2日目、昨日より良くなったが「まだまだなレベル」。珍しく好天が続いた3日目、再び撮影に向かい、最後に色の



写真—1

バランスを調整したところ自分でもハッとする写真が撮れた。最終的にこの日の写真で初めてコンテストに応募し見事佳作となった。

7. カメラのある生活

嬉しいことに趣味を通り越して自分の写真の活用範囲が仕事や子供のスポーツチームと広がってきた。原点は子供の頃から変わらず、ファインダーを覗いて構図を決めてピントを合わせ、シャッター音が響く気持ち良さが忘れられないこと。加えて出来栄えが良かった時は人に喜んでもらえること。これがカメラをいつまでも好きな理由だ。スマートフォンの進化で写真が身近になった一方で「カメラ」が要らない時代にもなった。しかしファインダーを覗いて撮るカメラは他には代え難い良さがある。ぜひ年輩の方は昔を思い出し、若い人はスマートフォンで十分だと言わずカメラを手にとって欲しい。

——かわもと たかひろ

前田建設工業(株)東北支店 土木部購買グループ——



部 会 報 告

東京港臨港道路南北線 10 号地その 2 地区接続部及び
沈埋函（7 号函）製作・築造工事 見学会報告

機械部会 基礎工事用機械技術委員会

1. はじめに

JCMA 機械部会の基礎工事用機械技術委員会では、令和元年 7 月 24 日（水）に東京港臨港道路南北線事業における「10 号地その 2 地区接続部及び沈埋函（7 号函）製作・築造工事」大成・五洋・大豊特定建設工事共同体施工の現場見学会を開催した。本報はその現場見学実施の報告である。

参加者は基礎工事用機械技術委員会メンバーを中心に 20 名が参加した。

2. 工事概要

工事名：東京港臨港道路南北線 10 号地その 2 地区
接続部及び沈埋函（7 号函）製作・築造工事
発注者：国土交通省 関東地方整備局 東京港湾事務所

施工者：大成・五洋・大豊特定建設工事共同体

工 期：2016.4.15 ～ 2020.4.3

場 所：東京都江東区有明 4 丁目 10 号地地先

(1) 東京港臨港道路南北線事業

東京港は関東圏の大量な物流の基点として機能しており、新たなコンテナターミナルとしての整備が行われる中、アクセス主要道路の交通量増大に伴う交通混雑の解消が必要である。更に災害・事故等における安定的な物流の確保、加えて東京都の要望より、東京五輪に利用したいとの話もあがり、東京港臨港道路南北線は 2020 年までの供用を目指す事業として計画された。

南北道路は、沈埋トンネル工法により構築する海上部（延長 930.8 m）とニューマチックケーソン工法で構築する 2 か所の接続部（延長 35.0 m）、そして開削トンネル工法で構築するアプローチ部（延長 561.7 m と同 572.0 m）と地上部（延長 230.0 m と同 95.0 m）で構成される総延長約 2,460 m の道路である。

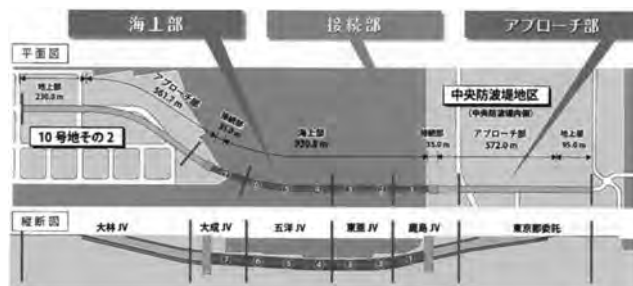


図-1 南北線の構成

(2) 10 号地その 2 地区接続部及び沈埋函（7 号函）
製作・築造工事

本事業は図-1 に示すように 6 工区に分割され、今回の現場見学は、大成・五洋・大豊 JV が施工する沈埋函（7 号函⑦）、10 号地その 2 側接続部・アプローチ部を含む工区である。

3. 現場見学

現場見学当日（2019.7.24）は、道路トンネルは全区間で貫通を完了しており、当工区では沈埋函、接続部、アプローチ部のトンネル内の構築作業が進められていた。写真-1 にアプローチ部及び接続部の地上状況を示す。

本工区は大きく 3 つの工種、①海上部で施工した沈埋函トンネルの施工、②接続部で施工したニューマチックケーソン工法による立坑の施工、③アプローチ部で施工した開削土留め壁によるトンネルの施工に区別される。以下に各々の特徴を示す。

①沈埋函トンネルの施工

沈埋函の施工においては、まず沈埋函設置の準備工

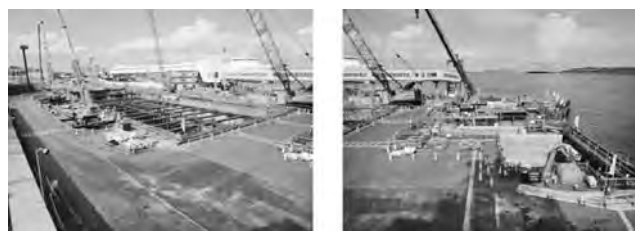


写真-1 左：アプローチ部、右：接続部 状況

として既設の護岸を撤去し、仮設護岸工事が必要とされた。厳しい工程が課せられているため、護岸の鋼管杭施工では、継手数の削減（3箇所→2箇所）と溶接継手の代わりに機械式継手等を採用し、標準工程6ヶ月を3ヶ月まで短縮することができたと話された。また、高精度な沈埋函沈設技術が要求される本事業では、沈埋函の設置方法として、タワーポンツーンによる直接操縦方式を採用した。沈埋函沈設の位置計測には立坑5mの近傍までは自動追尾システムを使用した計測方法、それ以降は単面深査装置（水中ソナー）を用いたと話された。

沈埋函の接続部は水压接合により接続される。高精度な沈埋函製作、位置管理は行われるが、最終継手の接合部にはトンネル軸方向に±10cmまで許容可能な継手が採用された。

沈埋函トンネルの現状と沈埋函と接続部の継手箇所を写真—2に、6号函側のバルクヘッドを写真—3に示す。



写真—2 左：沈埋函トンネル状況 右：継手部



写真—3 6号函側バルクヘッド中状況

②ニューマチックケーソン工法による立坑の施工

接続部はニューマチックケーソン工法による立坑構造にて施工していた。ニューマチックケーソン工法は圧縮空気を躯体下部の作業室に送り、地下水を抑制しながら躯体を沈下させる工法である。ケーソン面積約1200m²、掘削深さは約30mとなり、掘削効率が落ちる作業気圧0.18MPaからは地上で掘削作業を行う遠隔操作を採用した。約300m³/日の掘削を行い、約1.3年で立坑が完了したとの話がされた。

③開削土留め壁によるトンネルの施工

アプローチ部は連続地中壁工法による土留めを行い、開削掘削を行いながら連続地中壁補強のための切



写真—4 接続部立坑 地上から内部の状況



写真—5 見学会参加者（沈埋函トンネル内）

梁設置を行っていた。ここでも厳しい工期短縮を図るため、構築するコンクリート構造物の頂版にPCaを採用し、そのPCa床版を設置するために切梁中間柱を移設するという工夫を行い実施されていた。

謝 辞

非常に厳しい工程管理、現場運営が必要とされているお忙しい中、大成・五洋・大豊JVの現場担当者の方々、そして特に現場代理人の大田様、監理技術者の神田様には丁寧なご説明と現場案内をしていただきました。ここにお礼を申し上げます。

JCMA

【筆者紹介】

近藤 俊宏（こんどう としひろ）
オリエンタル白石㈱ 技術本部技術部機電チーム
チームリーダー
（一社）日本建設機械施工協会
機械部会 基礎工用機械技術委員会 委員



部 会 報 告

加藤製作所(株) 群馬工場見学会 報告

機械部会 基礎工事用機械技術委員会

1. はじめに

JCMA 機械部会の基礎工事用機械技術委員会では、年間行事として現場見学、工場見学を実施している。令和元年 10 月 25 日（金）に(株)加藤製作所様の群馬工場を、委員・事務局含め総勢 16 名にて訪問させて頂いたので、その内容について報告する。



写真—1 見学会参加者（工場ロビーにて）



写真—2 群馬工場全景

外部に委託しており、群馬工場の生産設備では主に各製品の組立が行われている。

生産方式や組立ラインのレイアウトは各製品に合わせて最適な方法が採用されており、組立作業の効率化が図られていた。

2. (株)加藤製作所 群馬工場について

(1) 工場概要

(株)加藤製作所 群馬工場は、1980 年に操業を開始。群馬県内でも多くの製造業が集まる太田市において、約 40 年の歴史を重ねてきた。2019 年 9 月には、それまで同社の横浜工場で生産していた製品のすべてを群馬工場に集約したことで、同社のほぼ全製品を一貫体制で生産する工場となった。

従業員数は約 400 名、工場敷地面積は 215,365 m²、横浜工場からの移転に伴い建屋の増設を行い、工場延床面積は 62,817 m² となった。

敷地内には生産設備の他に、クレーン車両用の走行テストコースや、油圧ショベルの開発テストヤードもあり、製品の開発・生産・試験を総合的に行える環境であった。

(2) 組立設備

群馬工場で生産している主な製品は、ラフテレーンクレーン、クローラクレーン、油圧ショベル、クローラキャリア、アースドリルである。

クレーンの一部部品を除き、基本的に部品の生産は

(3) 溶接構造物生産設備・機械加工設備

ラフテレーンクレーン、クローラクレーンに使用するブーム等、一部の溶接構造物については、群馬工場内で生産が行われていた。横浜工場からの移転に伴い、従来の群馬工場の設備に加えて新棟の建設を行い、生産量の増加への対応が図られていた。

なお、ここで生産された溶接構造物は、大型のクレーン生産を行う茨城工場にも供給されている。

機械加工設備では、東芝機械製の大型マシニングセンタを導入しており、200 トンまでのクレーンのフレーム加工を群馬工場内で行っている。

(4) 塗装設備

製品の塗装については、クレーンについては納入先の顧客毎に色の指定があることが多いため組立完了後に行うが、油圧ショベルについては、部品単位であらかじめ塗装を行ったうえで組立する方式(組立前塗装)が採用されていた。

組立前塗装には、カチオン電着塗装を採用。横浜工場の移転に合わせて新規設備の導入を行ったことで、従来の群馬工場から約 2 倍の規模に増強され、塗装品質と生産能力の向上が図られていた。



写真—3 群馬工場で生産している主な製品



写真—4 大型マシニングセンタ



写真—5 塗装設備

3. おわりに

当日は、当委員会に関わりの深いラフテレーンクレーン、クローラクレーン、アースドリルをはじめ、油圧ショベル、クローラキャリアなど、多種多様な製品の製造現場を見学させていただき大変有意義な会とすることが出来た。

(株)加藤製作所様におかれては、横浜工場から群馬工場への移転が終わって間もなくご多用な時期であったと察するが、当委員会の見学を快く受け入れて頂いた。

関係者みなさまのご高配に心より厚く御礼申し上げます。

J C M A

【筆者紹介】

三田 恭弘（みた やすひろ）
日立建機(株) 商品開発・建設システム事業部
開発設計センタ 主任技師
(一社)日本建設機械施工協会
機械部会 基礎工事用機械技術委員会 委員



部 会 報 告

前田建設工業(株) ICI 総合センター見学会報告

機械部会 基礎工事用機械技術委員会

1. はじめに

JCMA 機械部会基礎工事用機械技術委員会では、年間行事として現場見学、工場見学を実施している。令和2年1月15日(水)前田建設工業(株)ICI 総合センターにて見学会を実施した。参加者は事務局を含め15社23名にて訪問させていただいたので、その内容について報告する。

2. ICI 総合センター

(1) 概要

ICI 総合センターは2019年2月、茨城県取手市に新設された前田建設工業(株)の総合研究所である。関東鉄道常総線の寺原駅に直結しており、利根川、小貝川という一級河川に囲まれた自然豊かな環境に開設されている。同センターはオープンイノベーションの実践と社会実装をテーマにした研究所であり、ベンチャー企業や大学などと交流・共同研究を進めることのできる「Brain Spa」と学・職・食・住・遊をかねそなえ交流・研修をすることのできる「Brain Camp」で構成されている。今回は主に「Brain Spa」について紹介する。

(2) Brain Spa

Brain Spa は、ICI のパートナーの業務拠点となる Exchange 棟、心身をリフレッシュすることで新しい視点の創造を期待する Nest 棟、高レベルの実験を可能とする Garage1&2 の大きく3つの施設から構成されている。

【Exchange 棟】

Exchange 棟は、社内外の会議の場、ICI に参加するパートナーの業務の空間となっている。我々が初めに施設紹介を受けた会議室は1F 入口すぐの大会議室であった。会議室は大型スクリーンを有しており、状況に応じてエリアを変えることができる仕組みになっている。天井や床の模様は卵のふ化を想像させるインテリアであり、新たな創造を生み出すことを期待させるものであった。2F、3F のオフィス空間は赤を基調



写真—1 ICI 総合センター Exchange 棟



写真—2 Exchange 棟 大会議室



写真—3 Exchange 棟 業務空間

に構成されており、活発な議論を促す仕組みになっていた。また Exchange 棟は環境性能評価システム「LEED V4 BD+C New Construction」の最高評価となる“プラチナ認証”を受賞しており、環境にも配慮した施設であった。

【Nest 棟】

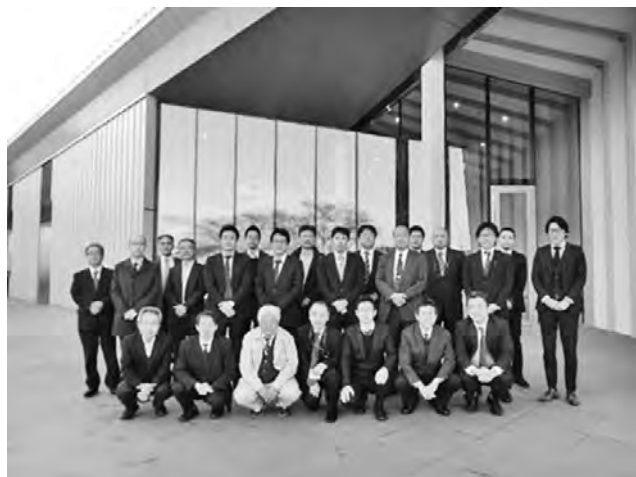
Nest 棟は木造建築を基調として温かみのある空間であった。リラックスすることで生み出されるアイデアを期待しているとのことであり、パントリーや読書スペース、ひときわ目を引く恐竜の模型などユニークなクールダウンスペースとなっていた。



写真—4 Nest 棟

【Garage1&2】

Garage1 は気象・音・風・などのさまざまな自然環境を再現できる装置や材料・化学・バイオなどを分析できる化学分析装置などを有している総合研究施設となっていた。建設業関係だけではなく消防局、自衛隊などの訓練などにも利用されているとのことである。Garage2 は構造実験を主とし、遠心載荷実験装置、大型反力壁・反力床、載荷加熱試験装置など大型の最新試験装置が稼働していた。



写真—5 集合写真

3. 所感

今日、国際競争力の向上、持続的な発展が建設業においても求められており、イノベーションの創出、それを生み出すインキュベーションが必要とされている。ICI 総合センターはその最新の施設であり、建設業にとどまらない新技術が当センターから生み出されることを期待させるものであった。

謝 辞

今回の施設説明、案内をしていただきました前田建設工業(株)ICI 総合センター各位には、当委員会見学を快くお受けいただきましたこと心より感謝し御礼申し上げます。

J C M A

【筆者紹介】

草刈 成直（くさかり まさなお）

東洋建設(株)

土木事業本部 機械部

課長

（一社）日本建設機械施工協会 機械部会

基礎工事用機械技術委員会 委員



部 会 報 告

(独) 水資源機構 浦山ダム・ 日本キャタピラー (同) D-Tech Center 見学会報告

機械部会 路盤・舗装機械技術委員会

1. はじめに

JCMA 機械部会 路盤・舗装機械技術委員会では年間行事として現場見学、工場見学を毎年実施している。今年度は11月27日に埼玉県秩父地域に近接する、(独)水資源機構様 浦山ダムと日本キャタピラー (同) 様 D-Tech Center を総勢30名で訪問させていただいた。

当日は心配された天気も好転し、浦山ダムではダム内部を含めた施設見学をすることが出来、D-Tech Center では最新の建設機械技術のデモを見学することが出来た。

2. (独)水資源機構 浦山ダム

同ダムは独立行政法人水資源機構が管理するダムの一つで、荒川上流に位置する。ダムの重量で水圧を支える重力式コンクリートダムで平成11年の管理開始から20年が経過している。

堤高(ダムの高さ)156mは日本で6番目であり、堤頂長(ダムの幅)372mから成る堤体積(ダムの体積)175万 m^3 は東京ドームの1.4倍、最大貯水容量は5,800万 m^3 もの量である。

このダムからは荒川を水源とする東京都、埼玉県、秩父市の水道用水のために水を供給するほか、ダムからの放流水を使用して最大出力5,000kWの水力発電を行っている。またダムには上流からの流量に対し、下流への放流量を減らす洪水調節機能があるが、浦山ダムはこの調節にゲートを行わず、常用洪水吐きという「穴」から放流する自然調節方式になっている。

令和元年の秋は度重なる台風、大雨に見舞われ、ダムの「緊急放流」も話題になったが、緊急放流というのは調整量を超えたため流入分が流れ出るだけで、流入量以上に水を放流するのではないという説明は目から鱗であった。

浦山ダムもダム湖の水は茶色く濁っており、浦山ダムの最高水位を更新中とのことであったが、貯水率は93.8%で、今までに緊急放流水位に達したことはないことに驚いた。



写真—1 浦山ダムを上流側から望む



写真—2 ダム設備の説明

一行は浦山ダム防災資料館「うららびあ」で職員の方からダム施設や荒川水系についての説明、ダムでの業務についての説明を受けた。

そのあとダム堤頂の中央部まで見学しながら移動し、そこに設置されている「ダムエレベータ」で下流側の堤体下端まで降り、内部構造を見学しながら堤体を下から眺め、その規模を実感した。

今回は昇降ともエレベータを利用したが、堤体の左岸側には階段が設置されており、時間が許せば498段の階段で登り降りすることも可能である。

この浦山ダムは開かれたダムとして年末年始を除き一般に開放されており、このエレベータや階段は一般



写真—3 浦山ダムカレー

の見学者も利用することができ、それらの人に向けた説明や、写真が印象的であった。

余談となるが、今回の昼食は浦山ダムのさくら湖食堂でダムカレーをいただくこととなった。

各地のダムにこのような名物カレーが用意されている。

3. 日本キャタピラー（同） D-Tech Center

D-Tech Center は1979年に「秩父デモセンター」として開設されており、建機に関係する方の中には、その名称になじみのある方も多いのではないだろうか。2017年には現在のD-Tech Centerに改称されており、主にキャタピラー社製品の顧客向けデモンストレーションや社内外の教育が行われる施設である。今回見学させていただいたデモエリア 31,000 m² を含め総面積は約 30 万 m² と広大な敷地を持っている。

一行は、まずホールで施設の概要説明を受けた後、デモエリアを望むパノラマ観覧室に移動しキャタピラー社製品によるデモンストレーションを見学した。

比較的小型のブルドーザから、大型の 50 t 積ダン



写真—4 観覧室からのデモンストレーション風景

プまで5種類10台の機械を使った最新技術のデモンストレーションを見学することができた。

衝突警報実演ではホイールローダが後進で観覧席に接近して警報を発報させていたり、ICT 油圧ショベルのデモンストレーションではオペレータの方がタブレットを使って入力操作を行っているところを、観覧室のモニタ画面に映し出すなど、見せ方にも工夫がされており、多彩な機能の理解が進んだ。また、観覧室は室内であるものの機械の音が聞こえてくる作りになっており、座席はミニショベルに実際に使われているシートで作られていて、臨場感が味わえた。

デモンストレーション終了後には屋外のデモエリアに出て、オペレータの方から機械の説明を受ける時間を設けていただいた。記念写真の背景であるダンプトラック 773G やホイールローダ 988K など普段目にするのではない機械の運転席に座って体験することでもできた。



写真—5 集合写真 D-Tech Center にて

4. 見学所感

(独)水資源機構様 浦山ダム見学は、折しも猛威を振るった台風のあと、満々と水を湛えるダム湖の前に、その重要な施設を維持、改善していくことの大変さ、また市民に開放していくための取り組みに感銘を受けた。

日本キャタピラー（同）様 D-Tech Center 見学では最新の ICT 技術、安全技術を備えた製品を紹介するデモを実施いただき、大変学ぶことが多かった。

限られた時間の中ではあるが、ある意味対象的である伝統的な構造物であるコンクリートダムと最新の建機技術を体感し、参加した委員にとって大変に有意義な一日となった。

5. おわりに

最後に(独)水資源機構様，日本キャタピラー（同）様には当委員会見学会を快く受け入れていただき，最新技術のご紹介をいただきましたことに心より感謝し，厚く御礼を申し上げます。

J C M A



[筆者紹介]

坂井 幸尚（さかい ゆきひさ）
コマツ 商品企画本部 商品企画室
プロダクトマネージャ（グレーダ担当）
（一社）日本建設機械施工協会 機械部会
路盤・舗装機械技術委員会 委員



部 会 報 告

2019 年度 ISO/TC 127 土工機械委員会 活動状況報告

2018 年 11 月下旬～2020 年 1 月までに世界各地で開催された総会・国際作業グループ（WG）会議へは、日本から延べ 91 名が参加している（下表参照：Web 参加を含めず）。2018 年 12 月号に掲載して以降、事務局の作業停滞により間隔が空いてしまったが、今月号より掲載を再開し、各会議出席者の詳細な報告を紹介する。

介する。

従来の報告記事と同様に時系列順を旨とするが、開催頻度の高い WG 会議（ISO 15143, ISO 21815, ISO 19014 など）については、複数回の議事を 1 件の報文に要約、適宜解説を加えて貰うなどして、順次掲載していく予定である。

No.	TC/SC/WG	会議名称	開催日時	開催国／都市	日本の出席者
2018 年度					
13	ISO/TC 127/ SC 3/WG 5	ISO 15143 施工現場情報交換（第 3 回）	2018 年 11 月 28 日～30 日	米国コロラド州 ウェストミンスター市	5
14	ISO/TC 127/ SC 2/ WG 24	ISO 19014 機械制御系の機能安全	2018 年 12 月 10 日～14 日	米国フロリダ州 マイアミ近郊ドル市	2
15	ISO/TC 127/ SC 3/ WG 13	ISO 6750 運転取扱説明書	2019 年 2 月 18 日～19 日	イタリア国ローマ市	2
16	ISO/TC 127/ SC 2/ WG 21	ISO 5010 かじ取り要求事項	2019 年 2 月 19 日～20 日	イタリア国ローマ市	1
17	ISO/TC 127/ SC 2/ WG 30	ISO 6683 シートベルト及び取付部	2019 年 2 月 21 日～22 日	イタリア国ローマ市	1
18	ISO/TC 127/ SC 2/ JWG 28	ISO 21815 衝突警報及び回避	2019 年 3 月 18 日～22 日	米国カリフォルニア州 サンノゼ市	1
19	ISO/TC 127/ SC 2/ WG 22	ISO 17757 自律式及び準自律式機械の安全システム	2019 年 3 月 25 日～26 日	米国カリフォルニア州 サンノゼ市	1
20	ISO/TC 82/ SC 8/WG 1	ISO PWI 23724 鉱山機械の外部からの遠隔停止	2019 年 3 月 27 日	米国カリフォルニア州 サンノゼ市	1
21	ISO/TC 82/ SC 8/WG 2	ISO PWI 23725 フリートマネジメントシステムインターフェース	2019 年 3 月 28 日～29 日	米国カリフォルニア州 サンノゼ市	2
2019 年度					
1	ISO/TC 127/ SC 3/ WG 5	ISO/TS 15143-4 施工現場情報交換—第 4 部：施工現場地形データ	2019 年 4 月 15 日～17 日	ドイツ国 ミュンヘン近郊 ハーエンキルヒェン村	4
2	ISO/TC 23/ SC 19/JWG 10	ISO 23285 農業機械・トラクタ及び土工機械—直流 32-75 V 交流 21-50 V 電機駆動の電気安全	2019 年 4 月 18 日	ドイツ国 フランクフルト アムメイン市	参加見送り
3	ISO/TC 127/ SC 2/ WG 21	ISO 5010 かじ取り要求事項 改正	2019 年 5 月 10 日	Web にて	Web 参加 3 名

4	ISO/TC 127/ SC 3/ WG 13	ISO 6750 運転取扱説明書 改正	2019 年 5 月 14 日	Web にて	Web 参加 4 名
5	ISO/TC 127/ SC 2/ WG 24	ISO/TS 19014-5 機械制御系の機能安全—第 5 部：パフォーマンスレベルの表（トレンチャーの機械制御系の安全解析）	2019 年 5 月 15 日～16 日	米国オクラホマシティ	参加見送り
6	ISO/TC 127/ SC 2/ WG 24	ISO/TS 19014-5 機械制御系の機能安全—第 5 部：パフォーマンスレベル（第 5 部全般検討）	2019 年 5 月 28 日～31 日	米国イリノイ州 ピオリア市	1
7	ISO/TC 127/ SC 3/ JWG 11	ISO 12509 灯火類 改正	2019 年 6 月 11 日～12 日	ドイツ国 フランクフルト アムメイン市	Web 参加 3 名
8	ISO/TC 127/ SC 2/ WG 23	ISO 7096 運転員の座席の振動評価試験 改正	2019 年 6 月 12 日～13 日	ドイツ国 フランクフルト アムメイン市	Web 参加 3 名
9	ISO/TC 127/ SC 2/ WG 12	ISO/TR 25398 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	2019 年 6 月 14 日	ドイツ国 フランクフルト アムメイン市	Web 参加 3 名
10	ISO/TC 127/ SC 3/ WG 15	ISO 6011 表示機器 改正	2019 年 6 月 27 日	Web にて	Web 参加 3 名
11	ISO/TC 127/ SC 3/ WG 5	ISO/TS 15143-4 施工現場情報交換—第 4 部：施工現場地形データ	2019 年 8 月 20 日～23 日	スウェーデン国 ストックホルム市	6
12	ISO/TC 127/ SC 2/ WG 24	ISO/TS 19014-5 機械制御系の機能安全—第 5 部：パフォーマンスレベル	2019 年 8 月 28 日～30 日	日本国東京都	10
13	ISO/TC 127/ SC 3/ JWG 11	ISO 12509 灯火類 改正	2019 年 9 月 12 日	Web にて	5
14	ISO/TC 82/ SC 8	先進的自動採掘システム ISO/TC 82 総会の一環として	2019 年 9 月 25 日	スウェーデン国 ストックホルム市	2
15	ISO/TC 127/ SC 2/ WG 24	ISO 19014 機械制御系の機能安全—第 1, 2, 4, 5 部	2019 年 9 月 30 日～10 月 4 日	フランス国パリ西郊 クールブヴォア市	1
16	ISO/TC 127/ SC 2/ WG 24	ISO 19014 機械制御系の機能安全	2019 年 11 月 11 日～15 日	英国ロンドン市	1
17	ISO/TC 127/ SC 3/ WG 5	ISO/TS 15143-4 施工現場情報交換—第 4 部：施工現場地形データ	2019 年 12 月 3 日～6 日	日本国東京都	20
18	ISO/TC 127/ SC 1/ WG 6	ISO/TS 11152 エネルギー消費試験方法	12 月 9 日～10 日午前	日本国東京都	13
19	ISO/TC 127/ SC 3/ JWG 11	ISO 12509 灯火類 改正	2019 年 12 月 10 日午後～11 日	日本国東京都	8
20	ISO/TC 127/ SC 3/ WG 15	ISO 6011 表示機器 改正	2019 年 12 月 12 日～13 日	日本国東京都	5

21	ISO/TC 127/ SC 2/ WG 24	ISO 19014 機械制御系の機能安全	2020 年 1 月 15 日～17 日	米国 フロリダ州マイアミ市	1
22	ISO/TC 82/ SC 8/JWG 2	ISO 23725 フリートマネージメントシ ステムインターフェース	2020 年 2 月 12 日	日本国東京都	未定
23	ISO/TC 82/ SC 8/JWG 1 及び WG 2	ISO 23724 鉱山機械の外部からの遠隔 停止 ISO/PWi 3510	2020 年 2 月 13 日～14 日	日本国東京都	未定
24	ISO/TC 127/ SC 3/ WG 16	ISO 23870 安全な高速車載データ交信	2020 年 2 月 17 日	日本国東京都	未定
25	ISO/TC 127/ SC 2/ JWG 28	ISO 21815 シリーズ 衝突警報及び回避	2 月 18 日～21 日	日本国東京都	未定
26	ISO/TC 127/ SC 2/ WG 24	ISO 19014 機械制御系の機能安全	2020 年 2 月 25 日～28 日	ドイツ国マンハイム市	未定

上記の他にも Web 上での会議が多数開催され、日本からも多くの出席者が参加した。

部 会 報 告

ISO/TC 127/SC 3/WG 13 (ISO 6750 土工機械—取扱説明書—内容及び様式) 2019 年 2 月 ローマ国際作業グループ会議報告

標準部会 ISO/TC 127/SC 3/WG 13 専門家 木谷 利夫 (コマツ)

国際標準化機構 ISO の専門委員会 TC 127 (土工機械) 傘下の国際作業グループ ISO/TC 127/SC 3/ WG 13 (ISO 6750 土工機械—取扱説明書—内容及び様式) 会議が 2019 年 2 月にイタリア国ローマ市で開催され、前回に引き続き協会標準部会 ISO/TC 127 土工機械委員会から専門家 (Expert) として出席した木谷利夫氏の報告を紹介する。

- 1 開催日：2019 年 2 月 18 日 (月) ～ 19 日 (火)
- 2 開催地：イタリア国ローマ市 INAIL (国立労働災害保険協会) 会議室

3 出席者：13 名

スウェーデン 3 名, フランス 1 名, アメリカ 3 名, チェコ 1 名, ドイツ 2 名, イタリア 1 名, 日本 2 名 (他, Web 参加 1 名)

4 会議概要：

先に実施された DIS 6750-1 の DIS 投票 (2018/11/20 締切) で各国から寄せられたコメント (N 975, N 76) 119 件について専門家が説明, 討議した。また, 関連する規制を一覧表にしたテクニカルレポート DTR 6750-2 (N 77) の進め方について説明された。

5 主な審議内容：

DIS 6750-1 で寄せられたコメント (doc N 975, N 76) 119 件について WG 13 で討議し, その結果を取り纏めた (doc N 79)。今回の主な論点は

- ・ FOPS, ROPS 等の ISO は試験方法に関する規格であり, 本ドラフトの本文中にも記載がないので, Normative references から Bibliography へ移動させる (コメント：**002)
- ・ 欧州規制 EN 474 取説関連項目を ISO 6750 に取り込んだ項目は, 本文から ANNEX A (NORMATIVE) に移動させ, 必要な箇所のみ修正することとした (コ

メント：**053, US054 ～ 056, US058 ～ 066, SE067 ～ 069, US078 ～ 080)。

- ・ ISO で規定される記号の色について, 通常, 取扱説明書は白黒印刷であることを説明し, 各国委員の理解を得て, その旨を本文中に明記させた (コメント：US084, DE089)。
- ・ 前回に引き続き, Danger zone vs Hazard zone, Spare parts vs Replacement parts が討議されたが, どちらの用語も広く使用されており, ISO でも両者共に用語として定義されている (コメント：US011, 027 ～ 029, SE030)。

- ・ maintenance, routine maintenance の用語が議論され, routine maintenance に代わって periodic maintenance が定義された (コメント：SE017, US018, 032, 033)。

- ・ その他の英文表現変更, 修正多数

関連する規制を一覧表にしたテクニカルレポート DTR 6750-2 (N 77) の修正織り込み状況についても, 各委員に説明がなされた。

6 今後のスケジュール：

DIS 6750-1 改正作業は既に期間延長されており, 今回の討議結果を織り込んだドラフトを作成して FDIS 投票に進む。

テクニカルレポート ISO/TR 6750-2 の修正織り込み作業を進め, 次回 5 月 14 日に Virtual meeting を実施する。

補足：ISO 6750-1 は, 2019 年 11 月に正式発行済み。

DTR 6750-2 は, 5 月 14 日の Virtual meeting も終了して正式発行待ち。

以上

部 会 報 告

ISO/TC 127/SC 2/WG 21 (ISO 5010 土工機械—ホイール式機械—かじ取り装置要求事項) 2019 年 2 月 ローマ国際作業グループ会議報告

標準部会 ISO/TC 127/SC 2/WG 21 専門家 工藤 法子 (コマツ)

国際標準化機構 ISO の専門委員会 TC 127 (土工機械) 傘下の国際作業グループ ISO/TC 127/SC 2/ WG 21 (ISO 5010 土工機械—ホイール式機械—かじ取り装置要求事項) 会議が 2019 年 2 月にイタリア国ローマ市で開催され、前回に引き続き協会標準部会 ISO/TC 127 土工機械委員会から専門家 (Expert) として出席した工藤法子氏の報告を紹介する。

1 開催日：2019 年 2 月 19 日 (火) ～ 20 日 (水)

2 開催地：イタリア国ローマ市 INAIL (国立労働災害保険協会) 会議室

3 出席者：17 名

米国 5 名, スウェーデン 3 名, イタリア 3 名, イギリス 1 名, ドイツ 1 名, チェコ 1 名, インド 1 名, 日本 1 名, イタリア HAS コンサルタント 1 名 (Web 参加 1 名含む)

4 会議概要：

・DIS 投票時に寄せられた 333 件の各国コメント (N 55) の審議を実施。うち日本コメントは 25 件。多数のコメントが寄せられた背景には、事務局の手違いで誤った DIS 案文が登録されたことがある。

1 日半という限られた時間であったため、技術的コメントに絞って審議を実施し完了。また、正しい案文 (N 53) と比較しながら審議が進められた。

編集上のコメントは未審議のため、事務局が精査し必要と判断した場合は、後日 Web 会議を実施することとした。

この規格は、欧州機械指令の整合規格化を意図するため、HAS (harmonized standards) コンサルタント評価を受審したが、否定的評価を受けた。今般の会議で、HAS コンサルタントがその評価内容を説明し、主に以下の点を改善するよう助言した。

－この規格がかじ取り装置の機能安全を網羅しないことを適用範囲 (scope) に織込むか、又は、附属書 (参考) に、重大な危険源のリスト (list of significant hazards) を作成すること。

－本案文では、一次かじ取り装置と二次かじ取り装置が同じ動力源で動いても良いように読み取れるため、文言を修正すること。

・誤った案文で DIS 投票が実施されたことから、作業グループは第 2 次 DIS に進めることを合意。当初の発行目標期日は 2019 年 4 月 24 日であり、キャンセル期限が 2019 年 10 月 24 日に迫っていることから、9 ヶ月の延長を依頼する委員会内投票を分科委員会に依頼することを検討する。

追補：会議後、事務局が分科委員会等と協議した結果、第 2 次 DIS ではなく、FDIS に進めることとなった。

5 主な審議内容及び決定事項：

以下の項目等について文言追加や削除、変更等を行った。

1) 4.3.1 ステアリングホイールの強度試験 (押す・引張る等の 3 方向に 900 N ～ 1000 N)

a) 調整式の場合の試験位置 (中間位置) の明確化：米国より「中間位置 (mid-point adjustment position)」を明確にするよう提案があり、「調整式の場合は、調整範囲内での中間位置 (mid-point of the adjustment range.) で試験をする」に文言を変更した。

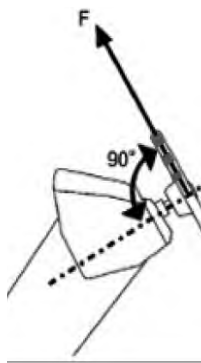
b) 調整位置のずれの許容：日本の提案が承認され、「かじ取り装置が調整式の場合は、かじ取り機能が保たれるなら、試験中に調整位置がずれても良い」との文言を追加することに決定した。

c) 運転員が出入りの際に掴む場合の引張り方向を明確化：米国より提案があり、図の通り左側ではなく、「主要な入口の方向」に引張ることを明記することに決定した。また、左右両方ではなく、どちらか一方で良いことを席上で確認した。

d) ステアリングホイールの強度試験の理由：試験条件設定等のため、何を想定した試験であるのかを明確にするよう日本から要請した。審議の結果、様々な例が想定されるため、規格内には記載しないことに決定したが、米国の専門家が例を議事録等に残すことになった。席上での確認結果は以下の通り。

・放射方向 (上) に押す：轍にはまった際の困難な発進時を想定

・軸方向に引張る：非常ブレーキ時を想定



- e) 放射方向（上）に押す試験を表した図の作用点の修正：作用点をステアリングホイール中央ではなく、上端部に修正することに決定した。（上図参照。実線の一部を破線に変更）併せて、“F”を“F（イタリック体）”に修正する。（図3、図4も同様）

2) 4.6 動力かじ取り装置

- a) 視覚的及び聴覚的警報装置の必須化：動力かじ取り装置の場合、一次動力源が故障した場合に「視覚的及び聴覚的警報装置」を必須とすることに決定した。運転員がはっきり検知できる場合でも警報装置が必要。（現行2007年版では、視覚的又は聴覚的警報装置を要求しており、さらに、運転員がステアリングホイールの重さ等で検知できる場合は不要としている。）

日本より反対意見を申し入れたが、席上で議論の結果、音が鳴ったら計器パネルを確認するため、より安全であるとの各国見解により日本意見は不採用となった。

- b) 油圧ホースへのマーキング対応：マーキング対応が困難であるため、油圧ホースのISO 18752:2014への適合は推奨とするよう日本から提案したが、不採用となった。但し、マーキングは現状の各メーカーのマーキングで良いことを席上で確認した。欧州及び米国は今後発行予定であるEN 474全面改訂版の内容に合せたい意向。なお、マーキングを推奨（should）としなかった理由は、現状各メーカーでホースに何らかのマーキングを施しており、それを維持すべきとの考えによる。

3) 4.7 Steering systems control safety（かじ取り装置の機能安全）の削除：

項目全体を削除し、HASコンサルタントの助言を反映することに決定した。（「4. 会議概要」を参照）なお、本件は前回WG会合で合意済みであったが、手違いで残っていたものである。

4) 4.8 人間工学的要求事項 直進位置付近のかじ取り角度増大を義務化する提案：

「直進位置付近では、かじ取り角度の変化に対してかじ取り操作装置の動きが大きくなることが望ましい。（should：推奨）」を義務化（shall）するようフィンランドが提案したが、日本より、特定の機種が使われ方に合わないの説明し、「推奨」を維持することに決定した。

6 懸案事項：

- ・今般の審議の結果、一次動力源が故障した場合に視覚的及び聴覚的警報装置の両方が必須化される方向となった。対応が難しい場合で、合理的な理由がある場合は、反証資料を用いて反証要。

7 その他：

- ・日本の専門家は、ステアリングホイール強度試験の図（図2、図3、図4）を修正してWG事務局に提出する。

8 今後のスケジュール：

- ・スウェーデンの専門家をリーダーとし、米国とイタリアの専門家で作業部会を編成し、HASコンサルタントの助言を案文に反映させる。
- ・WG 21事務局は、今般の審議結果を反映した改訂案文をISO事務局に提出する。
- ・次回WG：未定（必要な場合にWeb会議を実施）

《参考資料》

DIS 投票案文

N 55：DIS投票時に寄せられた各国意見

N 56：HASコンサルタントの評価文

N 59：今回のWG会議議事案

N 61：Recommendation

N 65：今回のWG会議の公式議事録

追補：この規格は、FDIS投票を経て、2019年11月にISO 5010:2019として出版された。

以上



写真1—SC 2/WG 21 会議風景

部 会 報 告

ISO/TC 127/SC 2/WG 30 (ISO 6683 土工機械—シートベルト及びその取付部—性能要求事項及び試験方法)

2019 年 2 月 ローマ国際作業グループ会議報告

標準部会 ISO/TC 127/SC 2/WG 30 専門家 工藤 法子 (コマツ)

国際標準化機構 ISO の専門委員会 TC 127 (土工機械) 傘下の国際作業グループ ISO/TC 127/SC 2/ WG 30 (ISO 6683 土工機械—シートベルト及びその取付部—性能要求事項及び試験方法) 会議が 2019 年 2 月にイタリア国ローマ市で開催され、協会標準部会 ISO/TC 127 土工機械委員会から専門家 (Expert) として出席した工藤法子氏の報告を紹介する。

- 1 開催日：2019 年 2 月 21 日 (木) ~ 22 日 (金)
- 2 開催地：イタリア国ローマ市 INAIL (国立労働災害保険協会) 会議室 Auditorium SALA B

3 出席者：9 名

イタリア (UNI) 3 名 (コンビナー含む), 米国 (ANSI) 3 名, 英国 (BSI) 1 名, チェコ (UNMZ) 1 名, 日本 (JISC) 1 名

4 会議概要：

- ・コンビナーから事前に送付された作業案文及び寄せられた 28 件のコメント (うち日本コメントは 7 件) に基づいて議論を行い、審議完了。
- ・コンビナーから事前に送付された農機のシートベルト規格 (ISO 3776) と ISO 6683 の比較も実施し、相違点を確認。また、ざくばらんに意見交換を行った。

5 主な審議内容及び決定事項：

以下の項目等について文言追加や削除、変更等を行った。

(1) 3.2 anchorage (取付部) の定義：“or the seat system” の文言を追加する米国提案を採用し、「取付部」の定義を、「シートベルトアッセンブリにかかる力を機械構造部、またはシートシステムに伝える箇所」に変更した。

また、日本より seat system の定義を追加するよう提案し、米国自動車技術者協会規格 SAE J 386 (以下、SAE J 386) に記載の定義を追加することに決定した。(参考) SAE J 386 に記載の seat system の定義は以下の通り。

3.22 Seat System

Total support mechanism providing the interface

between machine and operator intended to seat one machine operator; includes, if provided, the seat assembly, seat adjustment mechanisms, seat support and the seat suspension

(2) 3.5 applicable seat components (該当シートコンポーネント) の定義：

農機のシートベルト規格 ISO 3776-2 に表現をあわせ、“all components of the seat or components fastened to the seat (全てのシートコンポーネント、又はシートに固定されたコンポーネント)”を追加した。これにより「7. 拘束装置の性能要求事項及び試験」は、シートに固定された操縦装置等を含んで実施することとなる。

(3) 4. シートベルトアセンブリのシートベルトアセンブリの構成部品が適合すべき規格：SAE J 386 の章番号“第 5 章”を記載する日本提案は不採用となった。現行 ISO 6683:2005 (以下、現行版) の記載を維持する。なお、現行版は 2005 年 1 月に発行された後、上述の SAE J 386 の章番号“第 5 章”を削除した訂正版が 2005 年 8 月に発行されている。

(4) 5. Restraint system specifications (拘束装置の仕様)

現行版の「or an adjustable seat belt assembly with retractor (または巻取装置付きの調整できるシートベルトアッセンブリ)」の文言は復活させないことに決定した。代わりに SAE J 386 の 5.1.3 を基礎とした以下の文言に修正することに決定した。

変更後の文言：

5.1 General

The restraint system shall consist of an adjustable seat belt assembly. The seat belt assembly may be self-adjusting or readily adjustable by means within easy reach of the occupant.

5.1 一般

拘束装置は、調整できるシートベルトアッセンブリからなること。シートベルトアッセンブリは自己調整

式、または乗員の手の届く範囲内で容易に調整可能であってよい。

(5) 7. Performance requirements and tests for restraint systems (拘束装置の性能要求事項及び試験)

a) 「機械に据え付けた状態」の明確化：チェコの専門家より、拘束装置の試験条件である「機械に据え付けた状態、もしくは機械に据え付けたと同等の状態 (on-machine or in a manner equivalent to an on-machine condition)」の文言が不明確と意見があり、同専門家が適切な文言、もしくは図を提案することとなった。

b) シート調整位置に背もたれの条件を追加：試験条件の一つであるシートの調整位置に背もたれの条件を追加することとなった。背もたれが調整できる場合は、最も直立した状態とする。席上で念のため、背もたれの可動範囲内で最も直立であることを確認した。また、チェコの専門家より「最苛酷位置」を明確にするよう提案があったが、不採用となった。

c) 該当シートコンポーネントの総重量が70 kgを超えた場合の追加荷重：SAE J 386 にあわせて、超過した重量分だけ、10 倍加算して試験することに決定した。(案文では“70 kg を超えた場合、総重量に4倍を掛けて15 000Nに追加する”としており、過剰要求であった。)

(参考) SAE J 386 の文言：

4.4.6 With the test set-up free of slack, a force of 15 000 N plus 10 times 9.8 N/kg multiplied by any mass (kg) of the seat system greater than 70 kg shall be applied to the seat belt assembly in the forward and upward direction.

d) 試験時のボディブロックの使用義務：「ボディブロックを使用してもよい (may)」を「ボディブロックを使用すること (shall)」に変更することに決定した。

e) シートベルトアセンブリの長さ増加に関する文言復活：現行版に記載の以下の文言を復活させることに決定した。

復活させる文言：

b) The length of the seat belt assembly shall not increase by more than 20 % when subjected to F.

シートベルトアセンブリの長さは、力 F を負荷したとき、20%以上増加してはならない。

f) バックルの解放力：バックルの解放力に関する規定は、除荷後であることを明確にするため、以下の文言に変更した。

変更後の文言：

Once force F is removed, the belt buckle shall



写真—1 SC 2/WG 30 会議風景

meet the opening force requirements of 5.3.

バックルは力 F を除荷後、5.3 の力で解放できなければならない。

6 懸案事項：

- ・イタリアは、小型機械に対する試験荷重を減じる案を一旦取り下げたものの、再度提案する意向を示していた。今後の提案内容を要注視。
- ・米国の専門家によると、SAE J 386 は現在改正作業中であり、SAE J 386 の改正点を本規格にも積極的に織り込みたいとの意向を示していた。今後の提案内容を要注視。

7 その他：

- ・多点式シートベルトに関する議論は実施しなかった。事務局や他の専門家は、本 ISO には織り込まず、新規の ISO か本 ISO の別のパートとして作成する意向を示していた。

8 今後のスケジュール：

- ・コンビナー（及び事務局）は、今般の審議結果を反映した CD 案文を準備する。
- ・上記案文作成後、CD 投票に進める。
- ・次回会議：未定

SAE J 386 の次回会議（2019 年 4 月）の結果を本規格の案文に反映させる場合は、Web ミーティングを実施する可能性有り。

参考資料

- N 19：第 2 次事前作業原案 (Second PWD)
- N 20：ISO 6683 と ISO 3776 の比較
- N 24：各国コメント集約文書 (PL コメント付き)
- N 25：今回の WG 会議議事案
- N 26：今回の WG 会議議事録
- N 27：今回の WG 会議審議結果

以上

新工法紹介 機関誌編集委員会

04-410	自由断面掘削機の掘削支援システム	西松建設 ジオマシ エンジニア ビュープラス
--------	------------------	---------------------------------

概要

本技術は、自由断面掘削機による掘削時においてトンネル掘削形状管理と地山性状の定量評価をリアルタイムで実施可能な掘削支援システムであり、掘削位置を可視化する『掘削ガイダンスシステム』および掘削地山の性状を定量評価する『地山評価システム』で構成される。

①掘削ガイダンスシステム

自由断面掘削機を所定の位置に配置した際に測定される機体位置・姿勢情報および掘削時に計測されるブーム稼働情報をもとにカッタ先端部の絶対座標が計算され、その結果がリアルタイムでモニタ画面に表示される。オペレータがこのモニタ画面を確認しながらブーム操作することにより、設計断面に沿った掘削を確実に行うことが出来る。機体位置・姿勢情報については、機体に設置した高速 3D スキャナが切羽後方の任意の位置（座標は既知）に設置された特殊基準球を高速スキャンすることで求められる。ブーム稼働情報については、ブーム内の各可動部に設置した角度センサ等の計測値が使用されている。

②地山評価システム

本システムでは、まず掘削に要した電力量（掘削エネルギー）とカッタ軌跡より算出した掘削地山量から掘削体積比エネルギーを求め、さらに独自式を用いて掘削体積比エネルギーから地山強度が換算される。この結果はモニタにも簡易計算結果としてリアルタイム表示されるが、専用の処理ソフトを使用することでより詳細な 3 次元の地山強度評価も行うことが出来る。



図一1 システムの概要

特徴

①高速 3D スキャナによる機体位置・姿勢測定

機体に設置した高速 3D スキャナが切羽後方の任意に配置した特殊基準球を自動で探索することで機体位置・姿勢を測定するため、トータルステーションとの連動が不要となる。この測定は掘削開始前に機体を切羽近傍に据えた際に実施するが、測定に要する時間は 10 ～ 20 秒程度であるため掘削作業への影響がほとんどない。

②掘削効率・安全性の向上

モニタ画面中の設計断面線とカッタ軌跡を逐次比較することにより計画通りの断面掘削が可能となる。これにより余掘り低減を図ることでき、掘削量や余吹き量低減によるコストダウンが期待できる。また、切羽直下における掘削形状の確認作業を削減させることができるため、作業効率や安全性が向上する。

③掘削地山の 3 次元定量評価

掘削地山の強度特性を 3 次元的に把握することができるため、地山の崩落性や不安定化を迅速予測することが可能である。また、地山評価結果を実施支保の妥当性評価にも使用できる。

④遠隔地におけるリアルタイムモニタリング

本システムで得られた掘削情報は、坑内の無線・有線通信およびインターネットを介してクラウドサーバーに蓄積されるとともに、現場事務所や技術研究所等の遠隔地においてリアルタイムでモニタリングすることができる。

⑤ CIM との連携

本システムで得られた出来形計測や 3 次元地山評価結果を山岳トンネルの CIM と連携させることも可能であり、総合的な施工管理に利用することができる。

用途

・山岳トンネルの掘削工事

実績

・北海道新幹線、渡島トンネル（台場山）工事

問合せ先

西松建設(株) 技術研究所 土木技術グループ

〒105-0004 東京都港区新橋 6-17-21

TEL：03-3502-0279

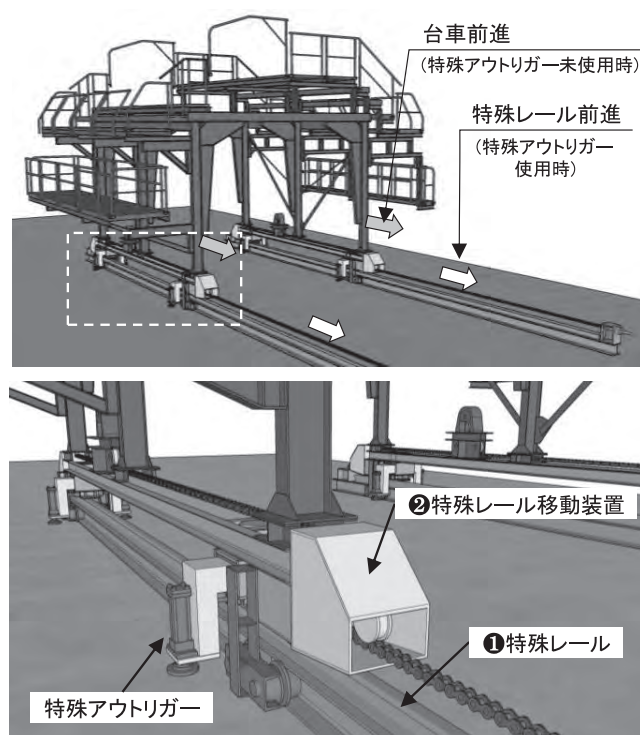
04-411	急曲線対応型自動レール 移動システム Rail Walker System	戸田建設 岐阜工業
--------	---	--------------

▶ 概 要

従来、トンネルの防水作業用の台車や覆工用セントル（型枠）において、長尺物のレールを移動・設置する作業は、バックホウ等の建設機械と作業員との複合作業となり、重機接触災害や挟まれ災害等のリスクを伴うものであった。また、レール同士を作業員が接続させる作業は、中央部を通過するずり出しダンプには死角となり、接触災害や積み荷の落下災害等のリスクもあった。また、煩雑な作業のためレールの移動・設置には多くの作業員と時間を要していた。

これらの課題を解決するために、レール移動作業を、僅か一人の作業員のボタン操作だけで自動化したシステム「急曲線対応型自動レール移動システム：Rail Walker System」（図—1 参照）を開発した。

本システムは、図—2 に示す6つの特殊装置により構成されている。これらの特殊装置を1人の作業員が順次コントローラーにより操作することで、トンネルの曲線形状に合わせながらレールを前方に進めていくことができる。台車等はこのレール上を車輪で移動させることで適切な位置に設置できる。



図—1 Rail Walker System 全体図（作業台車での使用例）

▶ 特 徴

1) 生産性の向上（効率化・省力化）

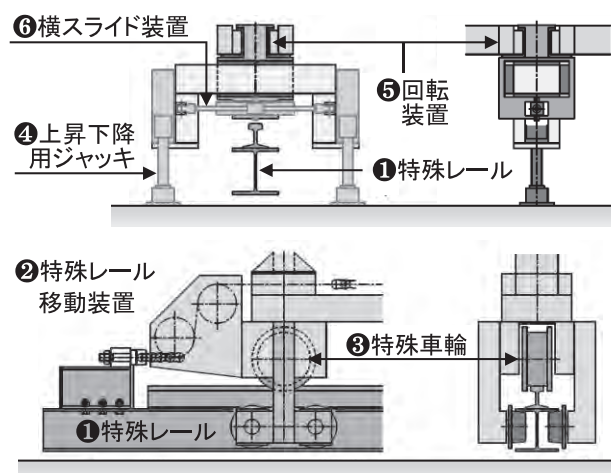
レールと台車等の前進作業をトンネル掘削やインバートコンクリート打設の通行車両により中断することなく実施できる。逆に、レール送り作業により通行車両を停車させることがないため、トンネル掘削作業やインバートコンクリート作業を円滑に進めることができる。これにより、トンネル全作業の効率化が図れる。また、従来4～5人で行っていたレール送り作業を1名のみに省力化でき、余剰人員を他作業に割り当てることができる。

2) 安全性の向上

バックホウ等と作業員との混合作業をなくせると共に、通行車両脇で屈んで行わなければならないレール接続作業をなくすることができる。これにより、重機接触災害の防止、挟まれ災害の防止、積み荷の落下等による飛来災害の防止が図れる。

3) 急曲率トンネルでの採用に最適

本システムは、ランプトンネルや水路トンネル等の曲率の小さい（急曲線）の山岳トンネルに適している。



図—2 Rail Walker System の6つの特殊装置

▶ 用 途

・山岳トンネル等の防水工・鉄筋工の台車、覆工用セントル

▶ 実 績

『福島県：博士トンネル工事（昭和村側工区）』（ $L = 2,265$ m, 最小曲率 $R = 350$ m）において、有効性を確認済み

▶ 問 合 せ 先

戸田建設(株) 本社土木技術営業部

〒104-8388 東京都中央区八丁堀2-8-5 TEL：0120-805-106

岐阜工業(株) 技術部設計グループ開発チーム

〒501-0305 岐阜県瑞穂市宮田三舞越199 TEL：058-257-1012

新機種紹介 機関誌編集委員会

▶ 〈14〉 維持修繕・災害対策用機械および除雪機械

19-〈14〉-05	日本ロード・メンテナンス ロードマルチ点検車	'19.3 製作 新機種
------------	---------------------------	-----------------

大型遮音壁の裏面点検が可能な大型点検車である。道路の老朽化が社会問題となる中、2014年度から道路のトンネルや橋梁の健全性を把握するため、5年に1回の近接目視などによる点検が義務付けられた。

遮音壁は2本の支柱の間に遮音板・外装板・笠木・水切り板から構成され、点検には近接目視および触診が必要である。従来における大型遮音壁の裏面点検については、複数台の高所作業車を使用する方法の他、遠望目視やロープワーク等で行っており、大規模な車線規制に伴い、多くの時間を要することや、点検精度の確保が懸念されていた。また、車線規制が困難なため、大型の交差点上や鉄道上部など点検自体ができない箇所が多数存在する。

このような状況を踏まえ、点検作業の効率化、高度化に向け、高さ7.5mの大型遮音壁（曲げ加工5Rタイプ）や、橋梁下部床版の点検ができる大型遮音壁裏面点検車（ロードマルチ点検車）を、イタリア・Barin（バーリン社）と共同開発している。

これは、全4段ブームにより、大型遮音壁（曲げ加工5Rタイプ）の乗越え高さ7.5mを実現している。アウトリガーではなく、スタビライザーを採用することで、車体の安定を確保し、一車線規制内における点検作業を可能としている。さらに、ブームを伸ばした状態で作業用バケット内からの操作により車両を前後進（毎分12m）させることができ、車両を完全に停止させることなく、移動しながら連続した点検作業を行える。また、移動式カウンターウエイトにより、左右同様の点検作業が可能となり、従来手法と比較し、作業性の向上および省力化を図っている。大型遮音壁のほか、橋梁下部床版やトンネル内における点検等にも使用可能である。

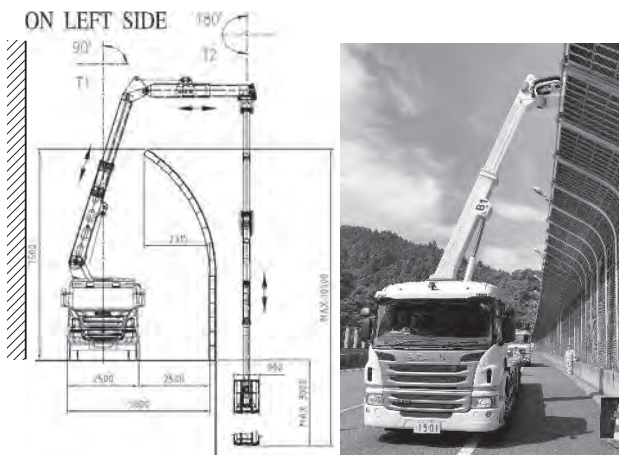
複数の高所作業車を使用することなく、ロードマルチ点検車1台のみで、大型遮音壁の外装板全体を近接目視、および触診にて点検できる。

表—1 ロードマルチ点検車の主な仕様

全 長	(mm)	11,940
全 幅	(mm)	2,500
全 高	(mm)	3,780
車両重量	(kg)	24,800
軸間距離	(mm)	5,700
乗車定員	名	2
橋梁下最大深	(mm)	8,500
歩道乗越え幅	(mm)	3,800
遮音壁乗越高	(mm)	7,500
バケット寸法	(mm)	1,700 × 900
バケット積載	(kg)	300
バケット定員	名	3
橋梁の最大傾斜	横断・縦断方向 (°(°))	各+/-4 (7)
最大風速	(km/h(m/s))	45 (12.5)



写真—1 日本ロード・メンテナンス ロードマルチ点検車



図—1 ロードマルチ点検車 作業姿勢

問合せ先：日本ロード・メンテナンス(株) 関連事業部
〒108-0023 東京都港区芝浦4丁目17番4号

新機種紹介

▶ 〈20〉 タイヤ, ワイヤロープ, 検査機器等

19-〈20〉-03	ケルヒャー ジャパン 産業用バキュームクリーナー IVS 100/55, IVR-L 120/24-2 Tc	'19.09 発売 新機種
------------	--	------------------

高い吸引力と耐久力が特長のバキュームクリーナーである。

IVS 100/55 は産廃, 生コン, 合材プラント, 鑄造・鍛造, 化学工場で発生する粉塵や食品工場で発生する粉の回収に特化した製品であり, ホースを伸ばせば本体を1階に置きながら2階・3階の清掃ができ, 本体の移動や廃棄の手間の軽減を図っている。

また, マシン本体・フィルター共に, 大量の粉を吸引しても目詰まりしにくい構造となっており, 目詰まりによる時間のロスを抑制している。

IVR-L 120/24-2 Tc は金属加工時に発生する切削屑やオイルの回収に適した製品であり, 既存モデルと比較し吸引風量と汚水回収容量を2倍以上に高めており, 清掃の効率化を図っている。

屑を天面から吸引する構造や厚みがあるボディ (1.25 mm) により耐久性の向上を図っており, 鋭利な切削屑の回収によって起こる本体やパーツの損傷とそれによる買い替え頻度の低減を図っている。

回収したゴミは, 本体をフォークリフトで持ち上げボディを傾けることで廃棄ができるなど, 廃棄作業の効率化を図っている。

表一2 IVS 100/55, IVR-L 120/24-2 Tc の主な仕様

	IVS 100/55	IVR-L 120/24-2 Tc
動力	3 相 200 V	単相 200 V
モータ出力 (W)	5,500 (50 Hz) 7,200 (60 Hz)	2,400
吸引風量 (L/s)	149 (50 Hz) 180 (60 Hz)	140
真空度 (hPa)	250 (50 Hz) 200 (60 Hz)	225
ダストコンテナ 容量/給水量 (L)	100	90/80
騒音値 (dB)	75	69
電源コード (m)	7.4	9
質量 (kg)	158	68
長さ×幅×高さ (mm)	1,202 × 686 × 1,465	740 × 720 × 1,591
価格 (税抜) (百万円)	1.4	0.72



写真一2 ケルヒャー ジャパン IVS 100/55 産業用バキュームクリーナー



写真一3 ケルヒャー ジャパン IVR-L 120/24-2 Tc 産業用バキュームクリーナー

問合せ先: ケルヒャー ジャパン(株) 業務用製品コールセンター

〒222-0032 神奈川県横浜市港北区大豆戸町639番3

新機種紹介

▶ 〈06〉 基礎工事機械

19-〈06〉-01	アイチコーポレーション 穴掘建柱車 ポールマスター D70B1RS	'19.03 発売 新機種
------------	---	------------------

主に建柱作業に使用される車両であり、最大掘削深さは5.20 mである。

モーメントリミッター（定格荷重制限装置）によりクレーン作業における定格荷重超過を規制しており、定格荷重90%以上になると警報を発し、100%以上になるとクレーン作動を自動停止させることで、車両の転倒や破損リスクの低減を図っている。また、従来、アウトリガーを1/2以上張り出さないと行えなかったクレーン作業が最小張出でも可能である。

さらに、各作業線図の作業可能最小張出幅も小さくなり、アウトリガーを広く張り出せない狭所での作業性の向上を図っている。

液晶モニターにより定格荷重、実荷重、作業半径、負荷率、旋回・起伏角度、アウトリガー張幅、作動油温度及び警告表示などの様々な車両情報が取得可能であり安全性の向上を図っている。

表ー3 D70B1RSの主な仕様

最大定格荷重	(t)	2.9
クレーン容量	(t × m)	2.9 × 4.6
〔作業半径〕クレーン	(m)	0.80 × 11.70
〔作業半径〕穴掘	(m)	4.16 × 11.40
最大掘削深さ	(m)	5.2
オーガートルク	(N・m)	7,110
標準価格（税抜き）※	(百万円)	21.8

※表中の標準価格はオプション価格を含まず。



写真ー4 アイチコーポレーション ポールマスター D70B1RS 穴掘建柱車

問合せ先：(株)アイチコーポレーション 経営企画部広報課
〒362-8550 埼玉県上尾市大字領家字山下 1152 番地の 10

建設業における労働災害の発生状況

1. はじめに

建設工事は現場毎に施工条件が異なるとともに、屋外作業、高所作業等を伴うため、建設業の労働災害は他の産業に比べ多くなっており、工事事故が発生する危険性が高いと言える。

建設業における労働災害の発生状況については、本誌においてもこれまで取り上げて来ているが、データ分析の再認識を主眼として、最近の国土交通省、中央労働災害防止協会及び建設業労働災害防止協会の公表資料により紹介する。

2. 労働災害発生状況

(1) 死傷者及び死亡者数の推移

まず、建設業労働災害防止協会の労働災害統計から、我が国の全

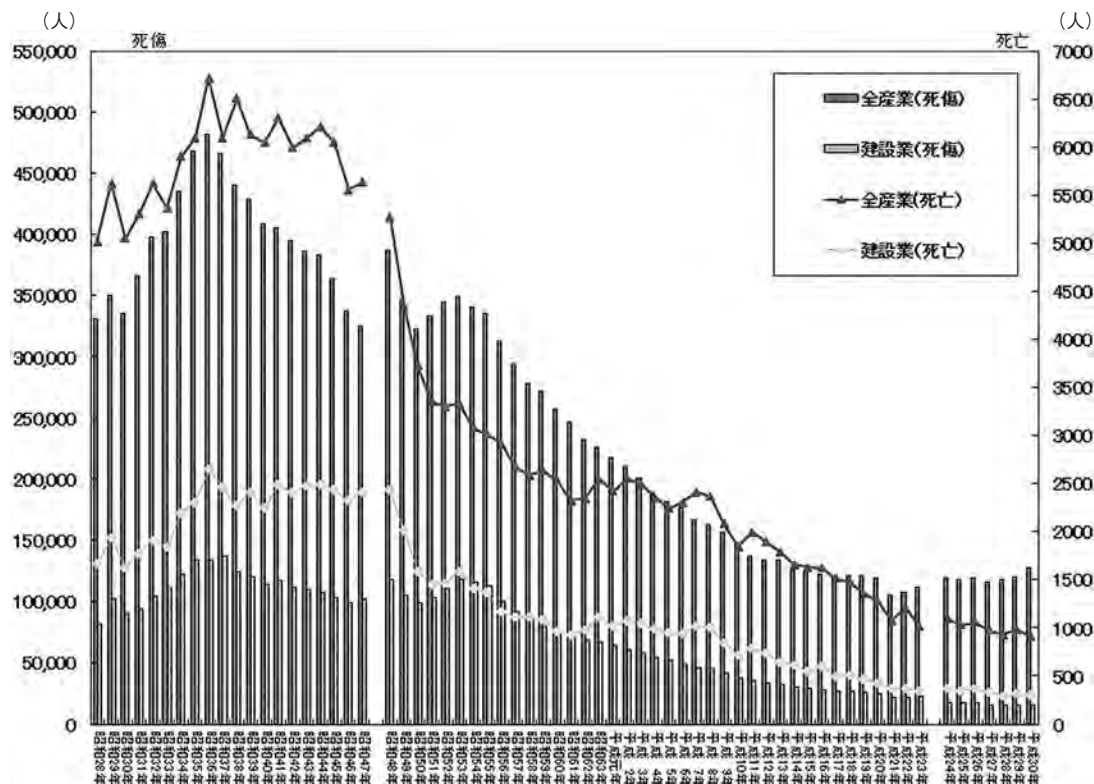
産業と建設業の労働災害の推移を図—1と表—1に示す。

図—1は昭和28年から平成30年までの労働災害の推移を示したものである。全産業と建設業の傾向は似ており、昭和53年以降平成に入っても減少が続いたが、近年は横ばい状態となっている。

そこで、平成時代の状況を確認するために、表—1に平成元年と平成26年～平成30年の死傷者数と死亡者数を示す。

死傷者数は建設業の占める割合が平成元年は全産業約218,000人に対して約63,800人の29.3%であったが、平成26年～平成30年の近年5箇年の平均値では全産業約120,000人に対して約15,600人の13.0%と、死傷者数・比率とも大きく減少している。

また、死亡者数でも建設業の占める割合が平成元年の全産業2,419人に対して1,017人の42.0%から、近年5箇年の平均値では全産業968人に対して326人の33.7%と死傷者数と同様に減少している。



1. 昭和47年までの休業8日以上死傷災害件数については、労働者死傷病報告による。
2. 昭和48年以降平成23年まで休業4日以上死傷災害件数については、労災給付データによる。
3. 平成24年以降の休業4日以上死傷災害件数については、労働者死傷病報告による。
4. 死亡災害件数については、「死亡災害報告」による。
5. 平成23年は、東日本大震災を直接の原因とする死傷者を除く。

図—1 我が国の労働災害の推移

統計

表—1 死傷者及び死亡者数の推移（平成元年、平成26年～30年）

（人）

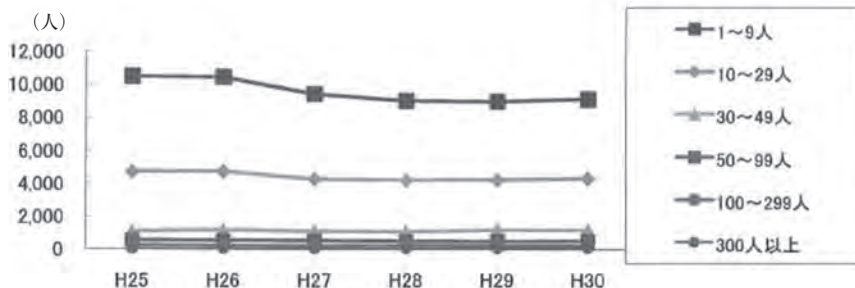
区 分		年 次	平成元年	平成26年	平成27年	平成28年	平成29年	平成30年	H26～H30の 平均値
死傷者	全産業		217,964	119,535	116,311	117,910	120,460	127,329	120,309
	建設業 (建設業／ 全産業)		63,847 (29.3%)	17,184 (13.4%)	15,584 (14.4%)	15,058 (12.8%)	15,129 (12.6%)	15,374 (12.1%)	15,665 (13.0%)
死亡者	全産業		2,419	1,057	972	928	978	909	968
	建設業 (建設業／ 全産業)		1,017 (42.0%)	377 (35.7%)	327 (33.6%)	294 (31.7%)	323 (33.0%)	309 (34.0%)	326 (33.7%)
参 考	建設投資額 (名目値) 出典：国土交通省		73	47	57	59	61 (見込み)	61 (見込み)	(兆円) 57
	建設業就業者数 出典：総務省		578	505	500	492	498	503	(万人) 500

(2) 建設業の労働災害データ分析

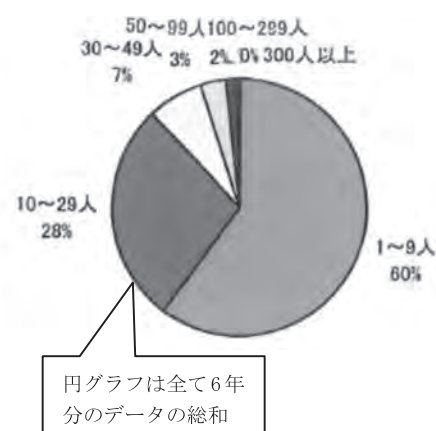
中央労働災害防止協会の労働災害データ分析から、建設業の平成25年～平成30年の6年間の発生状況を図—2～5に示す。

各分析毎の6年間の傾向はほぼ同様であるのが特徴的である。

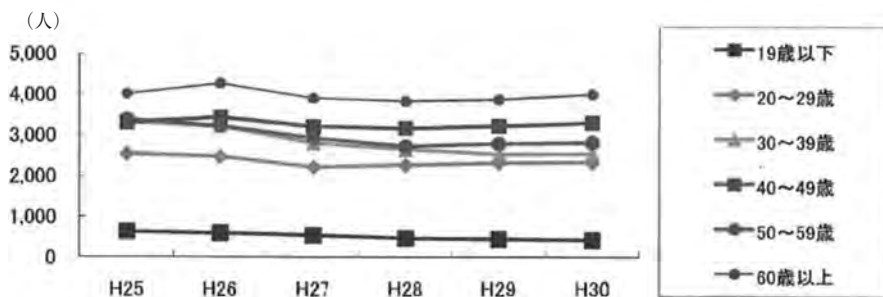
・事業場の規模別では、30人未満の事業場で88%と多くを占めている（図—2参照）。



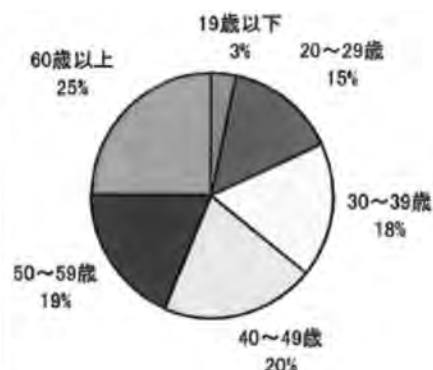
図—2 事業場規模別発生状況の推移



・年齢別では、最年少の19歳以下が従事者が少ないためであると思われるが3%と最も少なく、高齢の60歳以上が25%と最も多くなっている（図—3参照）。

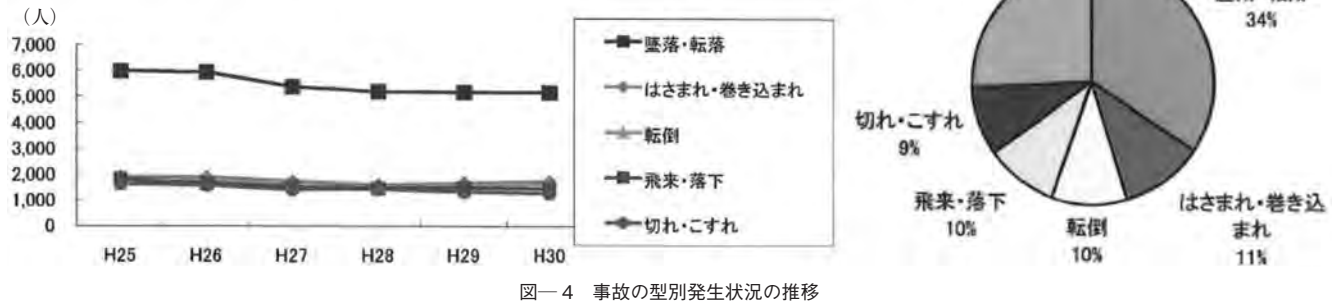


図—3 年齢別発生状況の推移

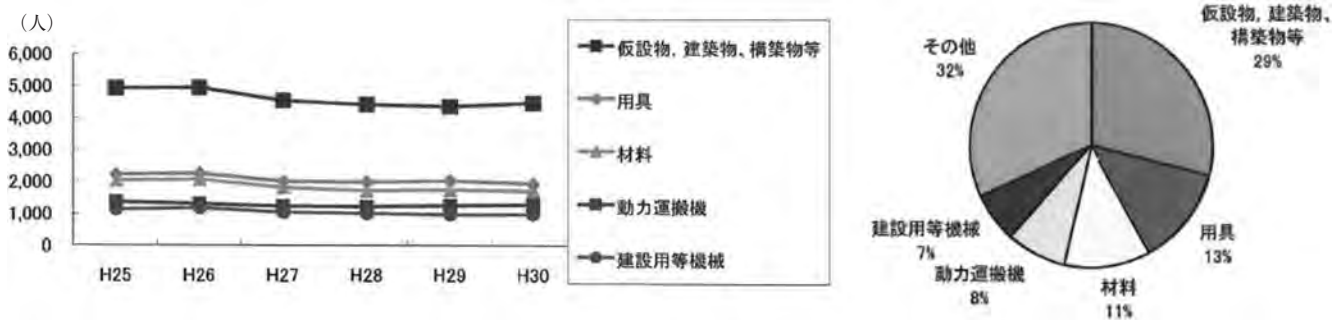


統計

・事故の型別では、墜落・転落が34%と他の型の約3倍と突出して多くなっている（図—4参照）。



・起因物別でも、仮設物、建築物、構築物等が29%と他の起因物より突出して多くなっている（図—5参照）。



次に、平成30年建設業における死亡災害を工事の種類で見ると、トータルでは建築工事139人（44.98%）、土木工事111人（35.92%）、設備工事59人（19.09%）となっている。

また、災害の種類別発生状況では、墜落136人（44.01%）、建設機械等が39人（12.62%）、自動車等が34人（11.00%）と多くなっている（表—2参照）。

表—2 平成30年建設業における死亡災害の工事の種類・災害の種類別発生状況

(人)

	土木工事													建築工事					設備工事				合計	割合 (%)
	水力ダム	トンネル	地下鉄	鉄道	橋梁	道路	河川	砂防	土地整理	上下水道	港湾	その他	小計	ビル	木造	建築設備	その他	小計	電気通信	機械	その他	小計		
墜落	1	0	0	0	3	8	1	3	3	1	0	10	30	33	20	6	26	85	8	3	10	21	136	44.01
飛来落下	0	0	0	0	3	1	3	1	0	0	0	4	12	5	1	0	6	12	1	1	1	3	27	8.74
倒壊	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	4	2	3	0	3	8	1	1	0	2	14	4.53
土砂崩壊等	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	0	2	7	0	0	0	0	0	2	0	0	2	9	2.91
クレーン等	0	0	0	0	0	1	2	0	0	1	0	0	4	1	0	0	0	1	2	0	0	2	7	2.27
自動車等	0	1	0	0	3	3	1	0	1	0	1	5	15	4	3	1	3	11	3	3	2	8	34	11.00
建設機械等	0	4	0	0	2	5	2	0	3	2	0	6	24	4	2	0	4	10	0	1	4	5	39	12.62
電気	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	2	0	1	3	5	1.62
爆発火災等	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	1	0	3	4	1.29
取扱運搬等	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	1	0	1	4	1.29
その他	1	1	0	0	2	1	1	0	0	0	3	2	11	2	6	0	2	10	0	4	5	9	30	9.71
合計	2	6	0	0	14	20	13	4	7	7	4	34	111	52	35	7	45	139	21	15	23	59	309	100.00
割合 (%)	0.65	1.94	0.00	0.00	4.53	6.47	4.21	1.29	2.27	2.27	1.29	11.00	35.92	16.83	11.33	2.27	14.56	44.98	6.80	4.85	7.44	19.09	100.00	

[出典：建設業労働災害防止協会]

統計

(3) 国土交通省の「建設工事事故データベース（SAS データ）」によるデータ分析

国土交通省の安全啓発リーフレット（令和元年度版）参考資料には平成 25～29 年度 SAS データにより分析された事故発生状況が紹介されている。その中から、大型建設機械である「重機の事故」に関して表 3 及び図 6～8 に、「事故が起きる時期」に関して図 9～12 に示す。

「重機の事故」に関しては以下のとおり。

- ・平成 29 年度重機の種類別事故発生状況では、バックホウ等の土工用重機と作業員の接触が 21 件、51.2%と半数を超えている（表 3、図 6 参照）。

表 3 重機の種類別事故発生状況（平成 29 年度）

重機名称	事故件数 (件)	割合 (%)
土工用重機	21	51.2%
揚重機	4	9.8%
杭基礎施工重機	2	4.9%
その他・未記載	14	34.1%
計	41	100.0%

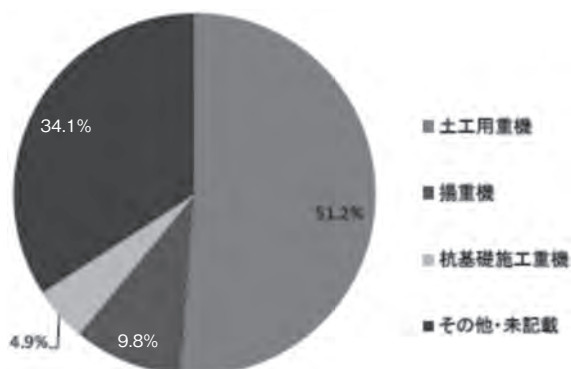


図 6 重機の種類別事故発生状況（平成 29 年度）

- ・重機による事故の発生形態は、「重機の前方で重機の方に向いて作業」が 34.0%と最も多く、「重機の後方で重機に背を向けて作業」が 26.0%で続いている（図 7 参照）。

事故の発生原因は、合図・確認の不徹底、誤操作と思われる。

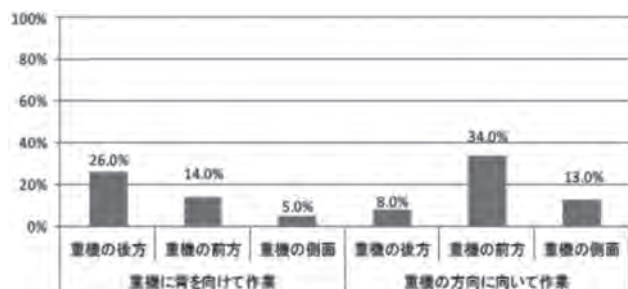


図 7 被災者と重機の位置関係（平成 25～29 年度）

- ・重機による事故発生時の重機動作状況は、「後退」、「旋回操作中」が多く（図 8 参照）、重機操作前の周囲確認及び作業半径内立入禁止措置を怠ることが原因である場合が多い。
- ・合図と誘導員が「未配置」である事故がほとんどを占める。

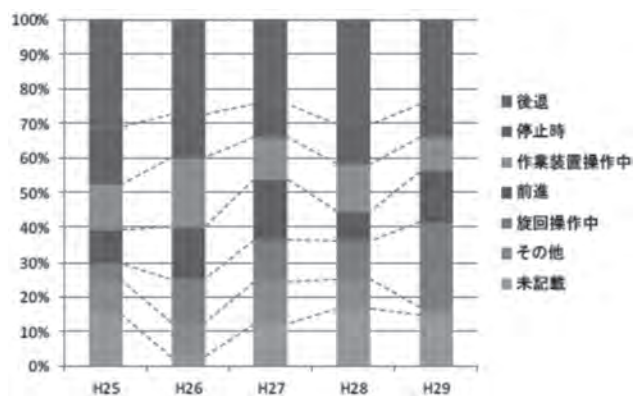


図 8 重機の動作状況別の事故発生割合（平成 25～29 年度）

「事故が起きる時期」に関しては以下のとおり。

- ・工事の進捗度別では、工期の初期（～10%）と終期（91～100%）における件数が全体の 30%を占めている（図 9 参照）。

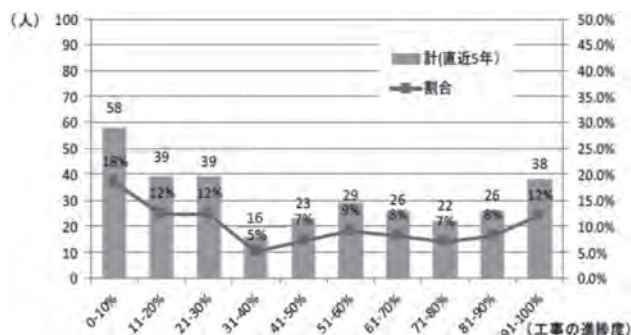


図 9 工事進捗度別の事故について（平成 25～29 年度）

- ・作業の進捗度別では、作業の初期段階（～10%）における事故件数が全体の 28%を占めており、飛びぬけて多くなっている（図 10 参照）。

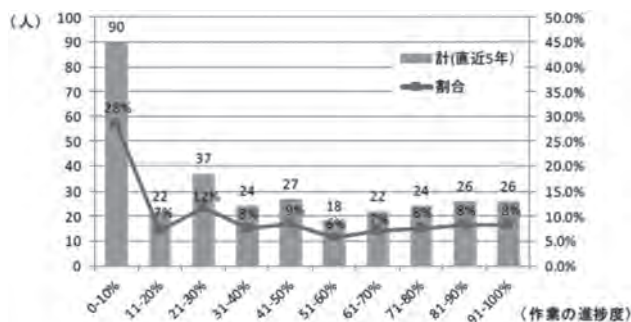
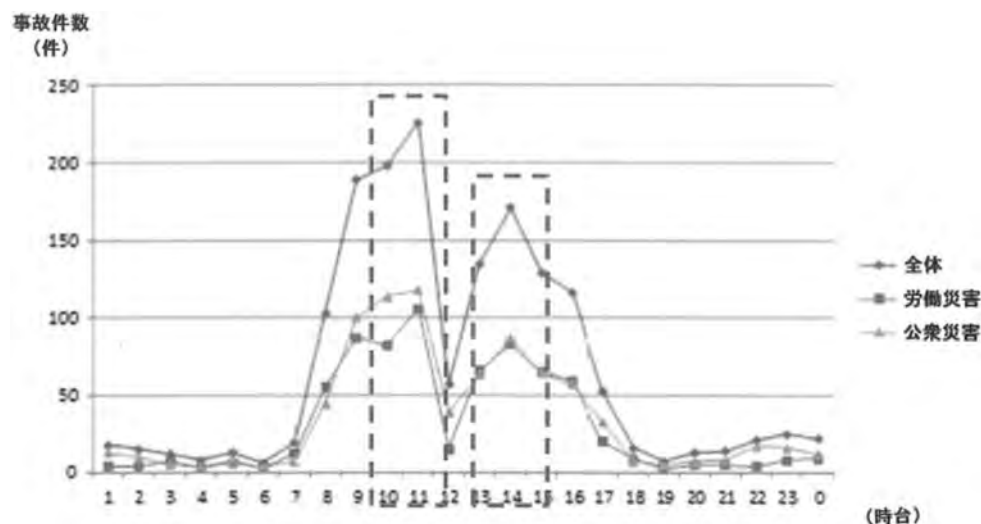


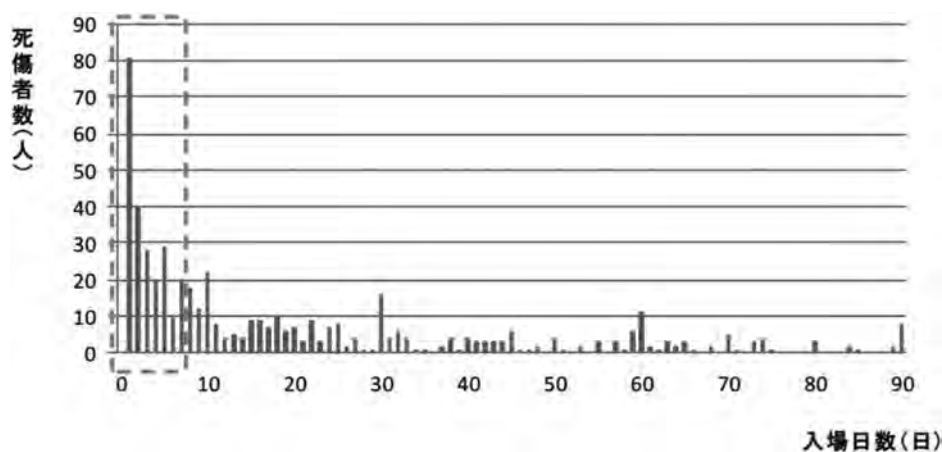
図 10 作業進捗度別の事故について（平成 25～29 年度）

- ・時間帯別の傾向では、午前11時台に事故発生数のピークが出現し、午後は14時台が多くなっている（図－11 参照）。



図－11 時間帯別事故発生件数
※件数の集計は国土交通省直轄工事のみ

- ・入場日別の傾向では、入場1週間で全体の1/3の事故が発生し、特に初日の死傷者数が突出している。また、2/3の事故は1ヶ月以内にほとんどが発生している（図－12 参照）。



図－12 入場日数別の事故について（平成25～29年度）

3. おわりに

建設業の近年の労働災害の死傷者及び死亡者数はピーク時から大きく減少しているが、各データ分析結果の傾向にはピーク時の時代と大きな変化はなく、ほとんど同じであると言える。

また、例えば図－12では入場1週間で全体の1/3の事故が発生するということであり、この図における事故発生のピーク値と言える。その他の各データ分析図にも、それぞれのピーク値が示されている。

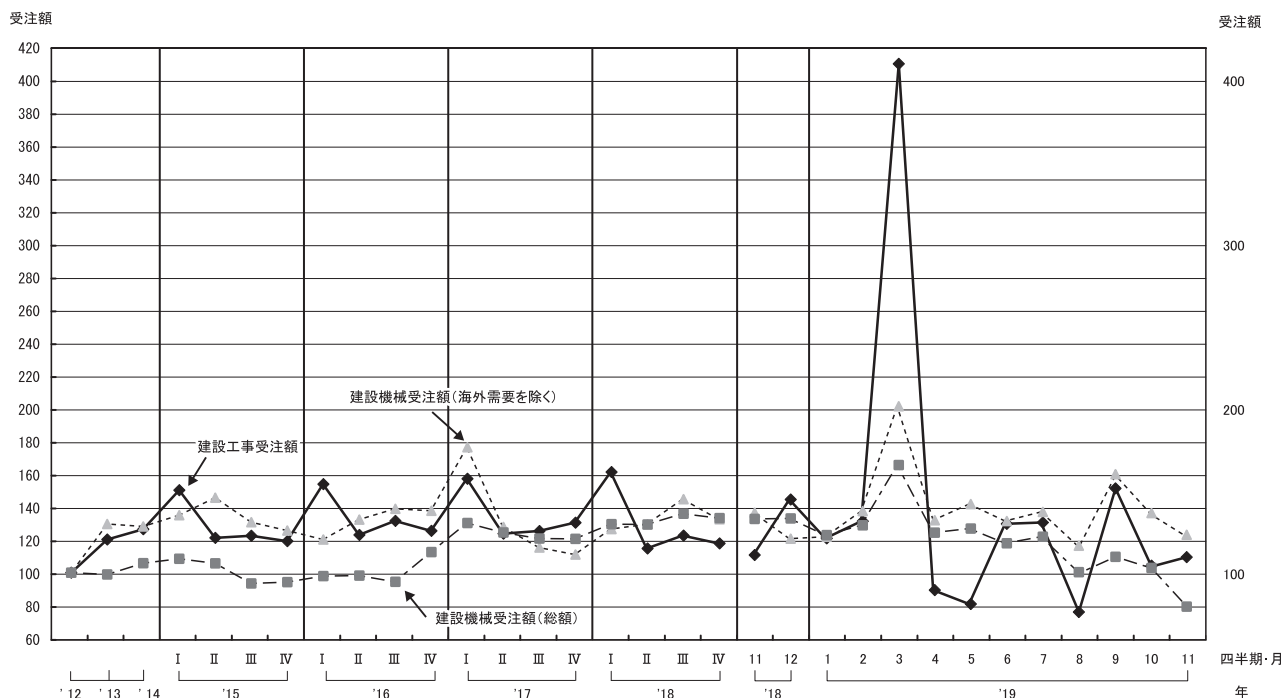
よって、今後の建設業の労働災害防止活動においては、事故発生の各データ分析図におけるピーク値の項目の削減を重点目標としていくことが効果的であると思われる。

これからの時代は、少子高齢化により社会資本整備の担い手の確保・育成が困難になると予測されており、魅力のある安全・安心な建設現場の確保が望まれる。

そのための取り組みの一つとして、官民一体となった建設労働災害発生防止活動の継続・強化が期待される。（文責：古澤）

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 2012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 2012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							
2012 年	110,000	73,979	14,845	59,133	26,192	4,896	4,933	76,625	33,374	113,146	111,076
2013 年	132,378	89,133	14,681	74,453	31,155	4,660	7,127	90,614	41,463	129,076	120,941
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
2018 年 11 月	10,161	7,584	1,656	5,929	1,869	325	383	7,261	2,900	168,450	11,647
12 月	13,271	10,259	2,337	7,922	2,295	394	323	9,283	3,988	166,043	15,551
2019 年 1 月	11,088	7,006	1,799	5,207	2,713	314	1,054	6,304	4,783	166,472	9,832
2 月	12,055	8,533	1,375	7,158	2,966	382	174	8,339	3,716	165,316	12,640
3 月	37,732	29,551	3,326	26,225	6,349	426	1,406	29,178	8,554	181,913	21,085
4 月	8,183	6,409	1,394	5,015	1,282	369	124	4,853	3,331	179,654	9,115
5 月	7,410	5,107	1,322	3,785	1,588	375	340	4,951	2,459	177,577	9,975
6 月	11,907	8,683	3,285	5,398	2,583	449	193	8,455	3,453	179,151	13,337
7 月	11,979	8,579	2,677	5,901	1,943	464	994	8,102	3,878	180,203	9,909
8 月	6,959	4,537	1,182	3,356	1,797	400	225	4,223	2,737	176,631	11,413
9 月	13,899	10,465	2,088	8,377	2,523	556	356	10,217	3,682	174,182	16,096
10 月	9,558	7,314	1,812	5,502	1,674	321	249	6,979	2,579	174,522	9,732
11 月	10,034	6,362	1,537	4,825	1,720	383	1,570	6,137	3,897	—	—

建設機械受注実績

(単位：億円)

年 月	12 年	13 年	14 年	15 年	16 年	17 年	18 年	18 年 11 月	12 月	19 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	17,343	17,152	18,346	17,416	17,478	21,535	22,923	1,921	1,925	1,777	1,864	2,397	1,799	1,835	1,705	1,763	1,449	1,586	1,487	1,145
海 外 需 要	12,357	10,682	11,949	10,712	10,875	14,912	16,267	1,353	1,423	1,270	1,292	1,558	1,250	1,245	1,158	1,193	965	920	920	633
海外需要を除く	4,986	6,470	6,397	6,704	6,603	6,623	6,656	568	502	507	572	839	549	590	547	570	484	666	567	512

(注) 2012～2014 年は年平均で、2015～2018 年は四半期ごとの平均値で図示した。

2018 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

(2019年12月1日～31日)

機 械 部 会



■トンネル機械技術委員会 見学会 日立建機(株) 常陸那珂臨港工場 見学

月 日: 12月4日(水)

参加者: 橘伸一委員長ほか19名

見学内容: ①超大型油圧ショベル, ダンプトラックの生産工場見学 ②鉱山運行政管理システム等の説明 ③質疑応答

■コンクリート機械技術委員会

月 日: 12月5日(木)

出席者: 清水弘之委員長ほか12名

議 題: ①各社技術紹介…鹿島道路㈱「コンクリート舗装機械の紹介」 ②標準部から…来年度見直しのJISの対応検討について ③来年度の活動計画について

■ショベル技術委員会

月 日: 12月6日(金)

出席者: 西田利明委員長ほか9名

議 題: 次期燃費基準の件…次期燃費基準案の説明, 基準案に対する討議

■機械整備技術委員会

月 日: 12月6日(金)

出席者: 森三朗委員長ほか11名

議 題: ①SCR取扱い資料の校正 ②ホームページの見直しについて ③各社の近況について ④その他

■基礎工事用機械技術委員会

月 日: 12月11日(水)

出席者: 遠藤智委員長ほか18名

議 題: ①コベルコ建機㈱の技術プレゼン…K-EYEPRO, ホルナビについて ②各社トピックス…日本車輛製造㈱日基協型場所打ち杭施工管理装置の紹介, 日立建機(株)油圧ショベル応用製品の紹介 ③前田建設工業㈱ICI総合センター見学会の説明

■除雪機械技術委員会

月 日: 12月12日(木)

出席者: 太田正樹委員長ほか17名

議 題: ①国交省からの状況説明: 除雪に関する状況等 ②ロータリ分科会取組状況の報告…ロータリ除雪車の安全性向上 ③3次元道路情報共通基盤構築の状況報告 ④HPの改訂状況について ⑤標準部から: ISO国際会議の報告および除雪に関する国際基準化の動きについて ⑥除雪機械の勉強会…新型モータグレーダの紹介, ロータリ

除雪車の紹介

■トンネル機械技術委員会・幹事会

月 日: 12月16日(月)

出席者: 橘伸一委員長ほか8名

議 題: ①トンネル工事全般に係わる安全技術に関するアンケート調査について(各回答企業との意見交換会の結果まとめ) ②技術講演会について(内容の最終確認) ③標準部から…トンネルボーリングマシンの国際標準化について ④来年度の活動計画について

■油脂技術委員会

月 日: 12月18日(水)

出席者: 豊岡司委員長ほか25名

議 題: ①グリース関係…JCMS P040建設機械用グリース運用マニュアル訂正の件 ②燃料エンジン油関係…パイオ燃料の最近の話題 ③高効率作動油関連…高効率作動油規格案に関する討議 ④規格普及促進関係…JAMAエンジンオイルセミナー2020の件, マイクロクラッチ標準油基準値変更の件 ⑤その他

標 準 部 会



■ISO/TC 127/SC 3/WG 5 施工現場情報交換 国際 WG 会議

月 日: 12月3日(火)～6日(金)

出席者: 山本茂コンビナー(コマツ)ほか37名

場 所: 会館内会議室

議 題: ISO/TS 15143-4 施工現場地形データに関する検討…案文作成, サーバー間交信, 現場座標系変換, 作業結果データ, 数値地形モデル, プロジェクトデータ, 土木研究所によるi-Construction推進状況プレゼン, 既発行の第2部(データ辞書)参照要求, 次回開催予定, 第3部(テレマティクスデータ)改正版の状況

■ISO/TC 127/SC 1/WG 6 エネルギー消費試験方法 国際 WG 会議

月 日: 12月9日(月)～10日(火) 午前

出席者: 正田明平プロジェクトリーダー(コマツ)ほか16名

場 所: 会館内会議室

議 題: ISO/TS 11152に関する協議

■ISO/TC 127/SC 3/JWG 11 灯火類 国際 WG 会議

月 日: 12月10日(火)午後～11日(水)

出席者: 間宮崇幸氏(コマツ)ほか10名

場 所: 会館内会議室(11日は協会会議室)

議 題: ISO 12509改正に関する検討

■ISO/TC 127/SC 3/WG 15 表示機器 国際 WG 会議

月 日: 12月12日(木)～13日(金)

出席者: 塚田祥子氏(コマツ)ほか9名

場 所: 協会会議室

議 題: ISO 6011改正に関する検討

■ISO/TC 195/SC 1 委員会

月 日: 12月5日(木)

出席者: 川上晃一委員長(日工)ほか7名

場 所: 協会会議室

議 題: TC 195 神戸国際会議(11月18～22日@神戸商工会議所)開催報告他…11月20日(水)SC 1総会での議題, 11月22日(金)TC 195総会での議題, JIS A 8603-2(対応国際規格ISO 18650-2)見直し対応, ISO 18650-2, ISO 21573-1定期見直し投票結果

■JIS 原案作成分科会

月 日: 12月19日(木)

出席者: 吉田克美氏(コマツ)ほか7名

場 所: 協会会議室

議 題: JIS改正原案の検討…JIS A 8316-1電磁両立性(第1部), JIS A 8316-2電磁両立性(第2部), JIS A 8338(対象物検知装置), JIS A 8312(機械安全ラベル)

建 設 業 部 会



■クレーン安全情報 WG

月 日: 12月10日(火)

出席者: 久松栄一主査ほか9名

議 題: ①教本に向けての検討 ②「日本クレーン協会規格」の見直し ③災害事例報告 ④その他

■三役会

月 日: 12月25日(水)

出席者: 藤内隆部会長ほか4名

議 題: ①各WG報告・機電職就活パンフ進捗状況・建設業ICT安全WG報告 ②その他…合同部会・見学会計画

レンタル業部会



■コンプライアンス分科会

月 日: 12月3日(火)

出席者: 平清二郎部会長ほか12名

議 題: ①基本契約書に関する諸問題の検討 ②各社からの報告 ③その他

■レンタル業部会

月 日: 12月5日(木)

出席者: 平清二郎部会長ほか17名

議 題：①基本契約書に関する諸問題の
検討 ②各社からの報告書 ③その他

各種委員会等

■機関誌編集委員会

月 日：12月4日（水）
出席者：見波潔委員長ほか21名
議 題：①令和2年3月号（第841号）
計画の審議・検討 ②令和2年4月号
（第842号）素案の審議・検討 ③令
和2年5月号（第843号）編集方針の
審議・検討 ④令和元年12月号～令
和2年2月号（第838～840号）の進
捗状況報告・確認

■新工法調査分科会

月 日：12月11日（水）
出席者：石坂仁委員長ほか2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

■新機種調査分科会

月 日：12月23日（月）
出席者：江本平分科会長ほか5名
議 題：①新機種情報の持ち寄り検討
②新機種紹介データまとめ ③その他

■建設経済調査分科会

月 日：12月25日（水）
出席者：山名至考分科会長ほか4名
議 題：①「建設機械の業況」原稿検討
（執筆：内田委員） ②その他

支部行事一覧

北海道支部

■建設技術担い手育成プロジェクト（函館 工高出前授業）

月 日：12月2日（月）
場 所：函館工業高校
受講者：環境土木科2年生38名
内 容：①行政の取組みとICT活用工
事、衛星測位について（座学） ②高
機能測量機器紹介（トータルステ
ーション、レーザースキャナー複合機）
（実習）
講師等：鈴木勇治プロジェクトリーダー
ほか

■北海道支部親睦会

月 日：12月6日（金）
場 所：センチュリーロイヤルホテル
出席者：熊谷勝弘支部長ほか73名

■令和元年度第2回建設技術担い手育成 プロジェクト会議

月 日：12月11日（水）
場 所：TKP 札幌ビジネスセンター（5B

会議室）

出席者：鈴木勇治プロジェクトリーダーほ
か27名

内 容：①令和元年度出前授業開催結果
②次年度計画について ③その他

■令和元年度第4回除雪機械技術講習会 の打合せ

月 日：12月20日（金）
場 所：北海道支部会議室
出席者：加藤信二施工技術検定委員長ほ
か11名
議 題：①令和元年度実施結果 ②令和
2年度実施計画 ③その他

東北支部

■企画部会

月 日：12月4日（水）
場 所：東北支部 事務局会議室
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令和元年度上半期事業報告につい
て ②令和元年度上半期事業決算状況
について ③令和2年1月合同部会に
ついて ④その他

■田瀬ダムコンジットゲート機械遺産登録 記念座談会

月 日：12月16日（月）～17日（火）
場 所：盛岡市及び田瀬ダム
出席者：高橋弘東北支部長ほか24名
議 題：①機械遺産認定に関する概要説
明 ②高圧放流設備厳津視察

■第2回 情報化施工技術委員会

月 日：12月19日（木）
場 所：仙台市 ハーネル仙台
出席者：鈴木勇治情報化施工技術委員長
ほか44名
内 容：①令和元年度 活動報告 ②令
和元年度今後の活動について ③令和
2年度の活動に向けて

北陸支部

■小型除雪機械安全操作研修会

月 日：12月4日（水）
場 所：新潟市役所本館3階 対策室3
講師派遣：穂苅正昭企画部会長
テーマ：歩行型ロータリ除雪機で安全に
操作を行うために
受講者：約50名

■「けんせつフェア北陸 in 富山2019」第 3回実行委員会・幹事会合同会議

月 日：12月18日（水）
場 所：新潟国道事務所 B 棟会議室
出席者：堤雄生幹事
議 題：①開催結果報告 ②収支決算報

告（案） ③次回（第15回）開催につ
いて

■除雪講習会の反省会

月 日：12月25日（水）
場 所：北陸支部事務局
出席者：柴澤普及部会長ほか3名
議 題：①除雪講習会アンケートとりま
とめ結果 ②過去5か年の講習会受講
企業について ③除雪講習会の位置付
けについて（要望関係）

中部支部

■学生のためのICT講座

月 日：12月10日（火）
場 所：静岡県立島田工業高等学校
参加者：都市工学科2年生39名
講 師：(株)シーティーエス 中山俊彦氏
内 容：最新の建設ICT技術等の紹介

■ICTを活用した建設技術出前講習会

月 日：12月13日（金）
場 所：名古屋港湾会館
受講者：徳倉建設(株)及び関係会社社員
30名
講 師：サイテックジャパン(株) 鈴木勇
治氏、日本キャタピラー（合）長野孝
之氏

内 容：ICTを活用した建設技術講習

■学生のためのICT講座

月 日：12月27日（金）
場 所：名城大学
参加者：理工学部社会基盤デザイン工学
科3年93名
講 師：サイテックジャパン(株) 鈴木勇
治氏
内 容：最新の建設ICT技術等の紹介

関西支部

■建設業部会、リース・レンタル業部会合 同見学会

月 日：12月4日（水）
場 所：鳥松山トンネル工事現場
参加者：瀬戸晴久建設業部会長、長井隆
彦リース・レンタル業副部会長以下
24名
内 容：鳥松山トンネル工事現場見学

■令和元年度施工技術報告会第3回幹事会

月 日：12月13日（金）
場 所：関西支部 会議室
出席者：松本克英事務局長以下6名
議 題：①発表原稿 ②査読担当 ③原
稿執筆要領 ④作成見本 ⑤「会告文」
について ⑥「まえがき」について
⑦当日役割分担 ⑧今後のスケジュール

四 国 支 部



■支部監査の実施

月 日：12月2日（月）

場 所：支部事務局

監査人：渡邊考志公認会計士ほか1名

内 容：①概況ヒアリング ②現金・預金、収益、経費、貸借対照表等について ③会員管理、支部規程等について ④その他

■協賛事業「四国建設広報協議会 WG」

月 日：12月18日（水）

場 所：高松サンポート合同庁舎南館 101大会議室（高松市）

出席者：協議会を構成する27の団体・組織のうち23団体・組織から24名が出席。JCMA 四国支部からは山下事務局長が出席

内 容：①令和元年～2年度協議会役員（案）について ②令和元年度収支報告 ③前回建設フェア（建設フェア四国2018in 高松） ④次回建設フェア

（建設フェア四国2020in 徳島）について ⑤その他

九 州 支 部



■令和元年度Ⅱ期 i-Construction（活用編）

技術講習会（佐賀会場）

月 日：12月3日（火）

場 所：佐賀県教育会館 2階大会議室

受講者：90名

内 容：①国土交通省の i-Construction への取り組み ②ICT 工事優秀施工者の実施体験講話（国土交通行政功労表彰） ③衛星測位の活用 ④ICT 活用技術（出来形管理要領の解説と運用） ⑤ソフトウェアの効果的活用

■令和元年度Ⅱ期 i-Construction（活用編）

技術講習会（宮崎会場）

月 日：12月5日（木）

場 所：JA ビル・AZM ホール別館 202 研修室

受講者：82名

内 容：①国土交通省の i-Construction

への取り組み ②ICT 工事優秀施工者の実施体験講話（国土交通行政功労表彰） ③衛星測位の活用 ④ICT 活用技術（出来形管理要領の解説と運用） ⑤ソフトウェアの効果的活用

■企画委員会

月 日：12月18日（水）

出席者：原尻克己企画委員長ほか8名

議 題：① i-Construction 施工による九州支部生産性向上推進会議開催について ②建設行政講演会の配布資料について ③JCMA 九州支部への入会チラシについて ④その他

■建設行政講演会

月 日：12月19日（木）

出席者：100名

議 題：①九州の道路行政について…九州地方整備局 前佛和秀 道路部長 ②河川行政の現状とこれからの対応…九州地方整備局 藤井政人 河川部長 ③建設業における最近の話題…九州地方整備局 堂蘭俊多 企画部長

編集後記

近年、暖冬という言葉がニュースなどで当たり前のように使われていますが、そろそろ春の訪れも期待できる気候に変わってきた時期でしょうか。

夏は例年猛暑が続く、最高気温の記録更新や真夏日、熱帯夜などの言葉が多くうんざりしがちですが、冬の暖冬は生活しやすく身体への影響や暖房費の減少など有り難い状況もあるかと思えます。

ただ、スキー場や雪まつりイベントなどは難しい問題で、冬用の商品が売れないなど、業界によっては嬉しくないニュースかもしれません。

新型コロナウイルスも大変な状況ですが早く平穏に戻り、オリンピックに影響しないことを期待します。

2月号は「新しい建設材料特集」で、最近の記事や事例などから探し、執筆依頼をさせていただきました。

従来の建設業といえば土石材料や鉄鋼、コンクリートなどが一般的でしたが、構造物や施工技術、建設機械など、多種多様な現場や開発には新しい素材や材料が利用されている

ことは説明するまでもありません。

巻頭言は、「軽さを活かす木質新素材の可能性」と題して北海道大学大学院の佐々木教授から建築材料のみならず建設業の構造部材にも適用可能な利用方法などについてご執筆いただきました。

コンクリートや鉄鋼に比べて軽さは非常に魅力的な特徴であり、木質新素材は強度や剛性、耐摩耗性などを改良しながら今後は身の回りに多く普及されるかもしれません。

行政情報は最近の材料に関連した話題として、「建設発生土の官民有効利用マッチングシステム」と「官庁営繕における木材の利用の促進」についてご執筆いただきました。

技術報文は、鋼構造物や鉄鋼材料、コンクリート、CFRP、木材や紙素材など環境に配慮した材料もあり、幅広い分野の原稿をご執筆いただくことができました。

交流のひろばとずいそうについても普段見聞き出来ない大変興味深い内容をご執筆いただきました。

執筆者の皆様には年末ご多忙の中、貴重な原稿を作成いただきましたこと、改めて御礼申し上げます。

(鈴木・太田)

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

見波 潔 村本建設(株)

編集委員

小櫃 基住	国土交通省
竹迫 勝久	農林水産省
瀧本 順治	(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)
玉記 聡	(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)
鈴木 貴博	日本国土開発(株)
斉藤 徹	(株)NIPPO
中川 明	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)
新井 雅利	(株)加藤製作所
村上 進	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「安全、労働災害対策特集」予告

・墜落制止器具に係る制度改正と外国人労働者の安全衛生対策 ・労働災害防止のための ICT 活用データベース ・レジリエンス・エンジニアリングと事故防止 ・スマートデバイスを用いたバイタル・行動情報によるヒューマンリソースマネジメント (HRM) への取り組み ・フルハーネスのかけ忘れに警告 ・作業時の危険発生をヘルメットの振動で伝える警報アイテム ・重機の緊急停止システムと新しい安全の概念「Safety2.0」 ・山岳トンネル工事における「切羽プロジェクトマッピング」 ・簡易粉じん測定器のトンネル建設現場での環境測定への適用に関する研究 ・ドラグ・ショベルの斜面降下時における進行方向の違いと機体の安定性の関係 ・安全面に配慮したトンネル切羽不連続面の走向・傾斜測定に関する取り組み ・協調型建機 ・気象情報から起こりやすい労働災害を推測 ・安全リマインドシステム「セーフティリマインダー」を用いた一歩進んだ安全管理

【年間購読ご希望の方】

①お近くの書店でのお申込み・お取り寄せ可能です。 ②協会本部へお申し込みの場合「図書購入申込書」に以下事項をもれなく記入のうえ FAX にて協会本部へお申込み下さい。

…官公庁／会社名、所属部課名、担当者氏名、住所、TEL および FAX

年間購読料 (12 冊) 9,408 円 (税・送料込)

建設機械施工

第 72 巻第 2 号 (2020 年 2 月号) (通巻 840 号)

Vol. 72 No. 2 February 2020

2020 (令和 2) 年 2 月 20 日印刷

2020 (令和 2) 年 2 月 25 日発行 (毎月 1 回 25 日発行)

編集兼発行人 田崎 忠行

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	部 〒060-0003 札幌市中央区北三条西 2-8	電話 (011) 231-4428
東北支	部 〒980-0014 仙台市青葉区本町 3-4-18	電話 (022) 222-3915
北陸支	部 〒950-0965 新潟市中央区新光町 6-1	電話 (025) 280-0128
中部支	部 〒460-0002 名古屋市中区丸の内 3-17-10	電話 (052) 962-2394
関西支	部 〒540-0012 大阪市中央区谷町 2-7-4	電話 (06) 6941-8845
中国支	部 〒730-0013 広島市中区八丁堀 12-22	電話 (082) 221-6841
四国支	部 〒760-0066 高松市福岡町 3-11-22	電話 (087) 821-8074
九州支	部 〒812-0013 福岡市博多区博多駅東 2-4-30	電話 (092) 436-3322

本誌上への
広告は



有限会社 サンタナ アートワークスまでお申し込み、お問い合わせ下さい。

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町 2-21-5 井手口ビル 4F TEL: 03-3664-0118 FAX: 03-3664-0138

E-mail: san-mich@zam.att.ne.jp 担当: 田中

FA機器の 最適無線化提案

クレーン、搬送台車、建設機械、特殊車輛他
産業機械用無線操縦装置

①微弱電波 ②429MHz帯特定小電力 ③1.2GHz帯特定小電力
④315MHz帯特定小電力 ⑤920MHz帯特定小電力

スリム ケーブルレス

N/U/Gシリーズ
微弱電波・特定小電力両モデル対応

**No.1の
オーダー対応!**

- 優れた耐塵・防雨性能
- 選べる2段階押しスイッチ!
ストロークの異なる2種類
から選択可能!



8操作
標準型
RC-5808N
15万円～



12操作
標準型
RC-5812N
17万円～



16操作
標準型
RC-5816N
19.5万円～

※ボタン配置自在

タフ 頑強ケーブルレス

N/U/Gシリーズ

微弱電波・特定小電力両モデル対応

**タフな現場に!
落下にタフ、
水にタフ!**

- 堅牢なボディ!
- 特殊スイッチ装着可能

標準型
RC-8616N
22万円～



チップ ケーブルレス

N/Mシリーズ
微弱電波・特定小電力両モデル対応

**使えば分かる、
コストパフォーマンス!**

- トコトン機能を絞って
コストダウン!
- 乾電池仕様
- 優れた耐塵・防雨性能



8操作
標準型
RC-3208N
12万円～



5操作
標準型
RC-3205M
11万円～



12操作型
標準型
RC-3212M
14万円～

マイコン ケーブルレス

N/U/Gシリーズ

微弱電波・特定小電力両モデル対応

**あらゆる環境での
無線化に対応!**

- 16操作16リレー
最大25リレーまで対応可能

標準型
RC-6016N
20万円～



ケーブルレスミニ

Nシリーズ
微弱電波モデル対応

標準型
RC-4403N
10万円～

**ポケットサイズの
本格派!**

- 最大5リレーまで対応可
- 2段階押しスイッチ追加可能
(オプション)



防爆形無線機

ボーパー (BoBa)

N/Uシリーズ

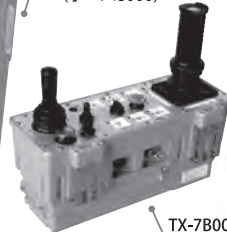
7B/8B...微弱電波のみ
6B...微弱・特定小電力両モデル対応

**爆発の雰囲気がある
危険場所での
遠隔操作に!**

TX-6B00N/U型送信機例
(ボーパー6000)



TX-8B00N型送信機例
(ボーパー8000)



危険場所設置用(オプション対応)
耐圧防爆箱入り受信機



TX-7B00N型送信機例
(ボーパー7000)

双方向データケーブルレス100S

Sシリーズ(920MHz帯)
特定小電力モデル対応

標準型
TC-1000808S
26万円～

- ・FA機器の制御に特化!
- ・双方向制御が、1セットで対応可能
- ・8点の送受信が可能!



データケーブルレス

N/U/Gシリーズ

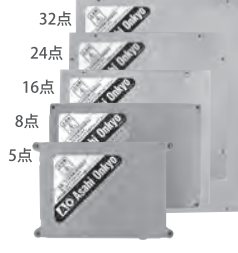
微弱電波・特定小電力両モデル対応

**工夫次第で
用途は無限!**

- 機器間の信号伝送に!
- 多芯の有線配線の代わりに!



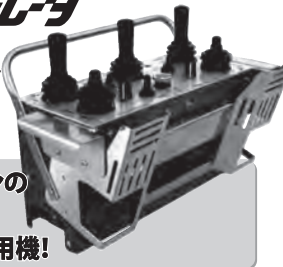
▼受信機



MAXサテラ

U/Gシリーズ
特定小電力専用モデル

**金属シャーシの
多操作・
特注仕様専用機!**

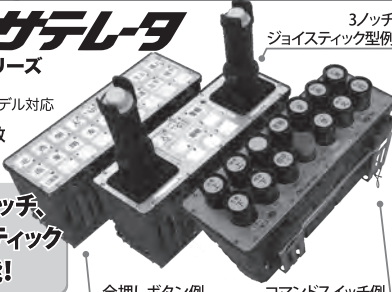


マイティサテラ

N/U/Gシリーズ
微弱電波・特定小電力両モデル対応

- 操作信号数
最大32点

**特殊スイッチ、
ジョイスティック
装着可能!**



全押しボタン例

コマンドスイッチ例

リソーサー 離操作

N/U/Gシリーズ
微弱電波・特定小電力両モデル対応

標準型
RC-2512N
22万円～

**価格もサイズも
ハンディー並み!**

- 最大32リレー
- 2段階押し・
特殊スイッチ装着可



* 価格は全て、セット価格および、税抜表示となっています。



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/>

無線化工事のこともフルライン、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



www.denyo.co.jp

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!



DCA-25MZ

A portable generator unit, likely a Honda model, featuring a control panel with a digital display and various outlets. It has a sturdy frame and four wheels for portability.

GAW-155ES

DIS-8

DIS-80LBE



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

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 事故防止 飛び石を抑制!!

スーパー **カルマー** PRO
Rotary Scissors

お手持ちの刈払機に取付け可能!

バッテリーシリーズで

騒音

石跳ね 対策!!

振動

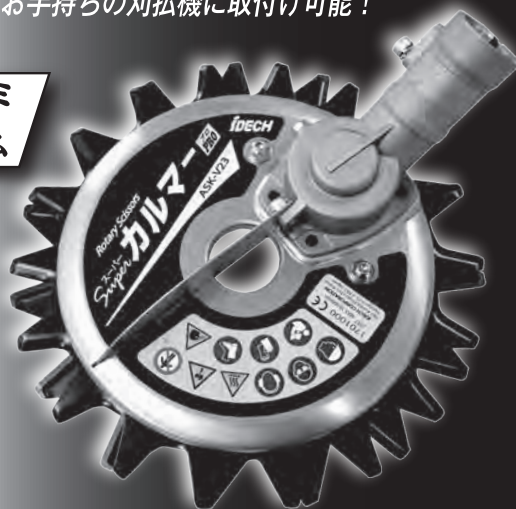
NEW 新発売



58V
Li-ion

減速回転ハサミ式
スーパー **カルマー** elex

回転ハサミ
&
減速システム



国立研究開発法人が従来刃との飛散比較試験を実施。詳しくは㈱アイデック企画部までお問い合わせください

- 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>

検索



弊社 WEB サイトにて
お客様の声 公開中!

建設機械施工

広告掲載のご案内

月刊誌 建設機械施工では、建設機械や建設施工に関する論文や最近の技術情報・資料をはじめ、道路、河川、ダム、鉄道、建築等の最新建設報告等を好評掲載しています。

■職業別 購読者

建設機械施工／建設機械メーカー／商社／官公庁・学校／サービス会社／研究機関／電力・機械 等

■掲載広告種目

穿孔機械／運搬機械／工事用機械／クレーン／締固機械／舗装機械／切削機／原動機／空気圧縮機／積込機械／骨材機械／計測機／コンクリート機械 等

広告掲載・広告原稿 デザイン — お問い合わせ・お申し込み

サンタナアートワークス

広告営業部：田中 san-mich@zam.att.ne.jp

TEL:03-3664-0118 FAX:03-3664-0138

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-21-5 井手口ビル4F

建設機械施工 カタログ資料請求票

本誌に掲載されている広告のお問い合わせ、資料の請求はこの用紙を利用し、ファクシミリなどでお送りください。

※カタログ／資料はメーカーから直送いたします。 ※カタログ送付は原則的に勤務先にお送りいたします。

お 名 前： 所 属：

会社名(校名)：

資料送付先：

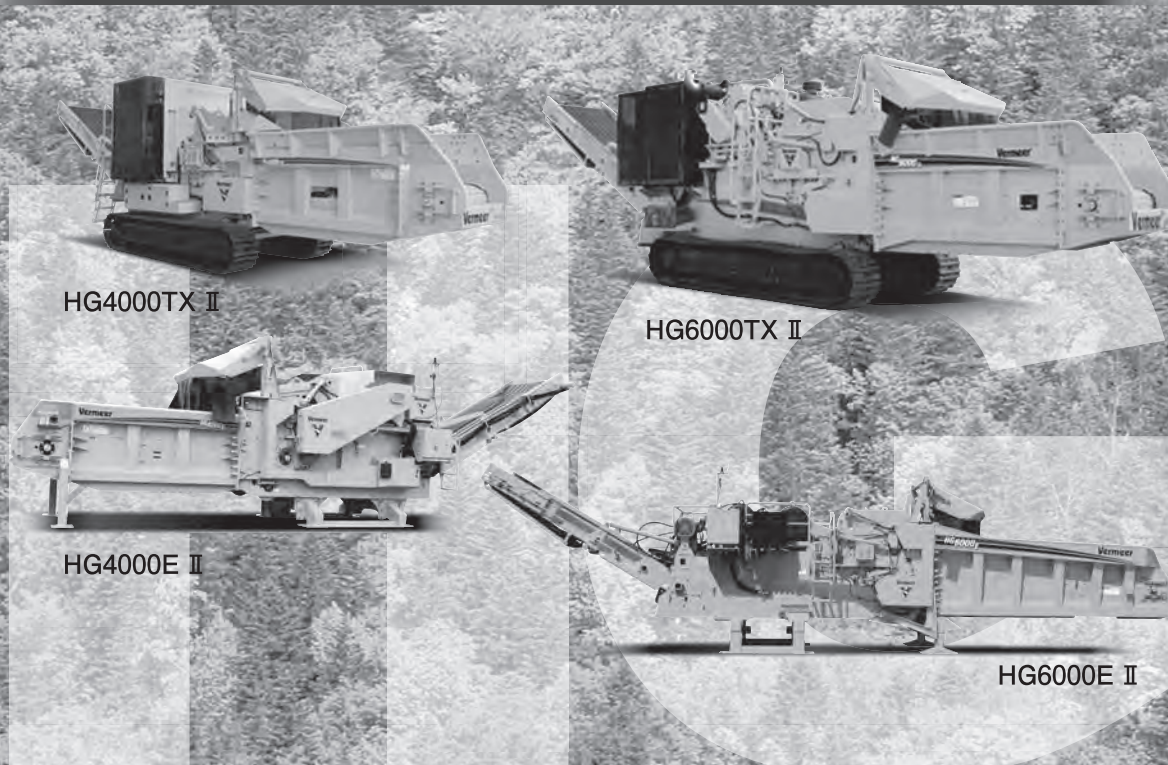
電 話： F A X：

E-mail：

	広告掲載号	メーカー名	製品名
①	月号		
②	月号		
③	月号		
④	月号		
⑤	月号		

FAX 送信先：サンタナ アートワークス 建設機械施工 係 FAX:03-3664-0138

マルマテクニカのホリゾントルグラインダー



1台の破碎機でピンチップも切削チップも生産できる!用途別に選べる2タイプ。



特長

- チップサイズは均一で、バイオマス発電向け燃料として実績が多数。
- 新車破碎機の在庫保有と新車の短納期体制で対応。
- 休車時間をなくすため、Vermeer 社破碎機部品の在庫を保有し、即納体制で対応。



マルマテクニカ株式会社

URL <http://www.maruma.co.jp/>

本社・相模原事業所	〒252-0331	神奈川県相模原市南区大野台6-2-1	TEL.042(751)3091	FAX.042(756)4389	E-mail:s-sales@maruma.co.jp
厚木工場	〒243-0125	神奈川県厚木市小野651	TEL.046(250)2211	FAX.046(250)5055	E-mail:atsugi@maruma.co.jp
東京工場	〒156-0054	東京都世田谷区桜丘1-2-22	TEL.03(3429)2141	FAX.03(3420)3336	E-mail:tokyo@maruma.co.jp
名古屋事業所	〒485-0037	愛知県小牧市小針2-18	TEL.0568(77)3313	FAX.0568(72)5209	E-mail:n-sales@maruma.co.jp

Mikasa 

<http://www.mikasangyo.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

NETIS No. TH-100005-VE



MVC-F60HS

NETIS No. TH-100006-VE



MRH-601DS

低騒音指定番号5097



MLP-1212A



FX-40G/FU-162



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: 080-1013-9558

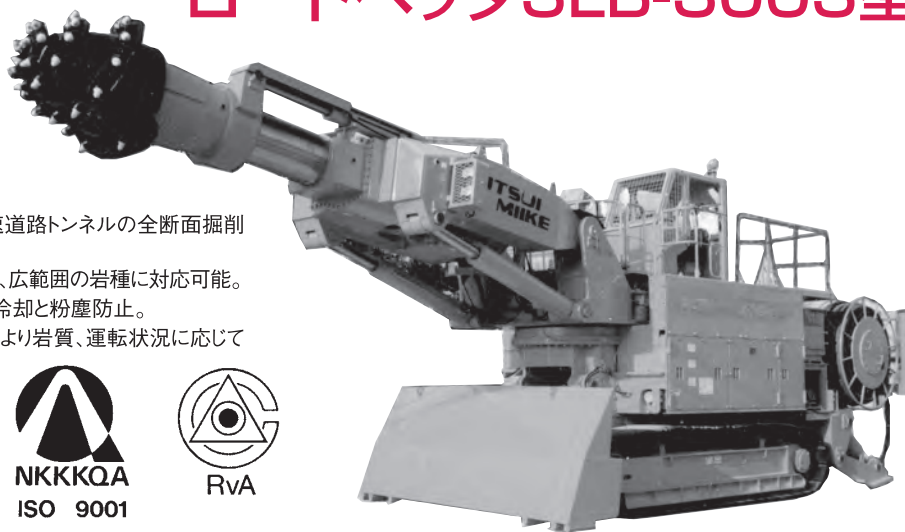
沖縄出張所 TEL: 080-1013-9328

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对掘削が可能。
2. 300kW・2速切換型電動機の採用により、広範囲の岩種に対応可能。
3. ピック先端に高圧水を散水させ、ピック冷却と粉塵防止。
4. モード切換式パワーコントロール装置により岩質、運転状況に応じて作動設定の変更が可能。
5. 運転操作が優れ、全操作がリモートコントロールで運転可能。
6. ケーブルリール装置により、電源ケーブルの取扱いが容易で移動が迅速。



製造・販売・レンタル及びメンテナンス

 株式会社 三井三池製作所

本店/〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館
TEL.03-3270-2005 FAX.03-3245-0203

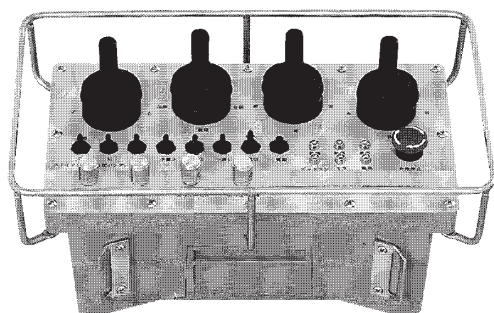
<http://www.mitsumiike.co.jp>

E-mail : sanki@mitsumiike.co.jp

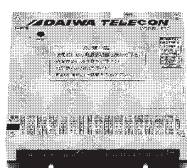
建設機械用
無線操作装置

ダイワテレコン

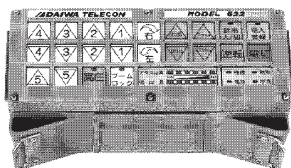
あらゆる仕様に対応
指令機操作面はレイアウトフリー



ダイワテレコン 572 ※製作例 比例制御 4本レバー仕様



受令機



ダイワテレコン 522

《新電波法技術基準適合品》

- スイッチ・ジョイスティック・その他、混在装備で最大操作数驚異の**96CH。**
- コンパクトな指令機に業界最大**36**個の押しボタンスイッチ装着可能。
- 受令機の出力はオープンコレクタ（標準）リレー・電圧（比例制御）又は**油圧バルブ**出力仕様も可能。
- 充電は急速充電方式（一△V検出+オーバータイム付き）
- その他、特注品もお受けいたします。お気軽にご相談ください。

DAIWA TELECON

大和機工株式会社

本社工場 〒474-0071 愛知県大府市梶田町 1-171
TEL 0562-47-2167 (直通) FAX 0562-45-0005
ホームページ <http://www.daiwakiko.co.jp/>
e-mail mgclub@daiwakiko.co.jp
営業所 東京、大阪、他

SITECH
YOUR CONSTRUCTION TECHNOLOGY PROVIDER



高性能 GNSS アンテナ

サンシェードで
屋外視認性アップ

GNSS ステータス (衛星数、精度)

方向方位ステータスを表示

断面を表示

レーザー距離計搭載で、バーチャル⇄リアル
バーチャル⇄バーチャル、リアル⇄リアルの距離測定

レイヤー表示
必要なレイヤのみをチョイスして表示

AR 対応 Smartphone
(推奨市販モデル)

2D / 3D ビューセクター
2D ビューと 3D ビューのワンタッチ
切替で、現在位置を即座に把握

透明度スライダー
データを透過させることで、多彩なバーチャル
とリアルの重ね合わせ表示が可能。

アプリケーション
画像とメモの送信、ポイント測定、
カット / フィル測定、グレード距離測定が可能。

軽量の携帯ユニットに、長時間使用
できる交換可能な充電バッテリー搭載

**AUGMENT
YOUR REALITY**

複合拡張現実システム
Trimble® SiteVision™

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 2-1 6-2 テクノポート大樹生命ビル
TEL: 03-5710-2594 FAX: 03-5710-2731



雑誌 03435-2



4910034350209
00800

「建設機械施工」

定価 本体 八〇〇円 (税別)