

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 **12**

Vol.72 No.12 December 2020 (通巻850号)

特集 先端土木・建設技術の開発と 実用化



建設用3Dプリンタを用いたPC構造体



巻頭言 最先端の土木技術・建設技術への期待

技術報文

- 転圧プロセスの自動化により一貫した締固め作業を実現する半自動振動ローラ締固めシステムの開発
- 5G高速通信システムによる建設機械遠隔操作技術
- コンクリート構造物を「現場で直接プリント造形」
- 建設用3Dプリンタを用いたPC構造体の設計施工デモ実証と今後の展望
- 生産性向上、ワークライフバランスに寄与する建設ロボット開発の最新状況と今後の課題 他

行政情報

国土交通省におけるICT施工の導入状況

交流の広場

スパコン世界ランキング四冠「富岳」への期待

CMI報告

建設機械の騒音低減に資する新技術の評価

統計

令和2年度(2020年度)建設投資見通し

一般社団法人 日本建設機械施工協会

KOBELCO

90th
anniversary

創りつづけてきたのは、
未来でした。

国産建機誕生、90周年。

私たちが国産初のパワーショベルを完成させたのは、1930年のこと。

それはコベルコの挑戦の歴史のはじまりでした。

それ以来、時代ごとにお客様の声に耳を傾け、新たな課題を追求し、
多くの新しい技術を生み出してきました。

コベルコは、これからもユーザー現場主義に基づき、未来へ向けて次の挑戦を続けていきます。



コベルコ建機株式会社

東京本社 / 〒141-8626 東京都品川区北品川 5-5-15 ☎03-5789-2111

www.kobelco-kenki.co.jp

令和3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3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10回通常総会（令和3年6月17日（木）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3年2月26日（金）（必着）**です。（申し込みアドレス：nomura@jcmnet.or.jp）

6. 選考

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

7. その他

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

以上

令和3年度 日本建設機械施工大賞 応募要領

『令和3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://jcmant.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3年2月26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：nomura@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

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2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、令和2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2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2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2年度版の構成項目は以下のとおりです。

- (本編) 第1章 積算の体系
- 第2章 鋼橋編
- 第3章 PC橋編
- 第4章 橋梁補修
- 第5章 橋梁架設用仮設備機械等損料算定表

- (別冊) 橋梁補修補強工事 積算の手引き
(補修・補強工事積算の適用範囲・手順の解説)

◆改訂内容

国交省基準の改定に伴う歩掛等の改訂のほか、令和元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

- ・架設用仮設備機械複合損料の改定
- ・現場溶接用ストロングバック切断歩掛の策定
- ・トラバラクレーン、ケーブルクレーンによる合成床版架設工歩掛の策定

2. PC橋編

- ・架設機械複合損料、支保工賃料の改訂
- ・PC橋片持架設工、架設支保工工法、外ケーブルPCケーブル工の供用日数改訂
- ・架設支保工工法の支保工数量適用範囲の改訂

3. 橋梁補修編

- ・二段足場（橋脚回り足場用）歩掛の策定
- ・チェーン盛り替え工（裏面吸音板用）歩掛の改定
- ・鉛、PCB別に必要な環境対策資機材と衛生保護具を確認できる表に変更および単価の改定（湿式剥離剤工法）
- ・排水管撤去工、仮排水設備工歩掛の策定

別冊「橋梁補修補強工事 積算の手引き」

- ・本編改定内容を反映



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

●定価

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

- ※ 別冊のみの販売はいたしません。
- ※ 送料は別途。
- ※ また、複数または他の発刊本と同時に申込みの場合についても送料は別途とさせていただきます。

- 発刊 令和2年5月20日

関係部署にも御回覧をお願いします。

大口径・大深度の削孔工法の設計積算に欠かせない必携書

大口径岩盤削孔工法の積算

令和2年度版

∞∞∞ 改訂・発刊のご案内 ∞∞∞

令和2年5月 一般社団法人 日本建設機械施工協会

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

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

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

◆ 内容

令和2年度版の構成項目は以下のとおりです。

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

◆ 改訂内容

令和元年度版からの主な改訂事項は以下のとおりです。

国土交通省土木工事標準積算の改正に伴う改訂

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

● A4判／約230頁（カラー写真入り）

● 価格

一般価格：本体6,000円＋消費税

会員価格：本体5,100円＋消費税

※ 送料は一般・会員とも

沖縄県以外 700円

沖縄県 450円（但し県内に限る）

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

● 発刊 令和2年5月15日



<図書紹介>

令和2年度版 建設機械等損料表

■発売日：令和2年5月15日

■体裁：A4判 モノクロ 約480ページ

■本体価格(税別・送料別)

一般価格 8,000円 会員価格 6,800円

■内容

- ・国土交通省制定「建設機械等損料算定表」に準拠
- ・機械経費・損料等に関する通達・告示類を掲載
- ・損料算定表の構成・用語を解説
- ・機械別燃料・電力消費率表を掲載
- ・損料の算出例を掲載



■参考

近日発売予定の「よくわかる建設機械と損料2020」も併せてご活用ください。

(特長)

- ・損料用語・損料補正方法を平易な表現で解説
- ・関連通達・告示の位置付けと要旨を解説
- ・建設機械の概要・特徴を写真・図入りで紹介
- ・主要建設機械のメーカー・型式名を表にして紹介
- ・機械の俗称・旧称から掲載ページ検索が可能

一般社団法人 日本建設機械施工協会

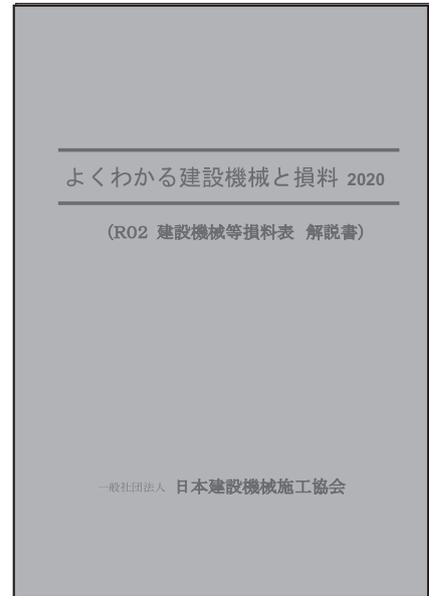
「令和2年度版 建設機械等損料表」の解説書 「よくわかる建設機械と損料 2020」の発売について

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

本書は先に発刊した書籍「令和2年度版 建設機械等損料表」の記載・掲載内容をわかりやすく解説したもので、多くの特長を持っています。

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

なお今回、解説文の文字を大きくしています。



書籍の表紙イメージ

***** 記 *****

■発売日：令和2年5月

■体裁：A4判、一部カラー、約330ページ

■本体価格(税別・送料別)

一般：6,000円 会員：5,100円

■内容・特長

- (1) 損料用語を平易な表現でわかりやすく解説
- (2) 換算値損料や損料補正值の計算例を紹介
- (3) R02損料算定表の主な改正点を表にして紹介
- (4) 19件の関連通達・告示類の位置付けと要旨を解説
- (5) 建設機械器具のコード体系を大分類別に図示
- (6) 損料算定表に掲載の大半の機械器具について、その概要・特徴を写真・図を添えて紹介
- (7) 主要な建設機械については、メーカー・型式名を表にして紹介
- (8) 索引でヒットしない機械について、その要因と対処方法を表にして紹介

***** 以上 *****

■お問い合わせ先

東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館内)

一般社団法人 日本建設機械施工協会 (TEL:03-3433-1501)

2019年版 日本建設機械要覧 電子書籍(PDF)版 発売通知

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

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

是非とも活用いただきたく、お願い申し上げます。

1	商品名	日本建設機械要覧2019 電子書籍（PDF）版	建設機械スプッカー一覧表、 電子書籍（PDF）版	
2	形態	電子書籍（PDF）	電子書籍（PDF）	
3	閲覧	Web上で閲覧 パソコン、タブレット、 スマートフォンからアクセス	Web上で閲覧 パソコン、タブレット、 スマートフォンからアクセス	
4	内容	要覧全頁	spec一覧表	
5	改訂	3年毎	3年毎	
6	新機種情報	要覧クラブで対応	要覧クラブで対応	
7	検索機能	1.単語検索	1.単語検索	
8	附属機能 注) タブレット・スマートフォンは、 一部機能が使えません。	・しおり ・拡大・縮小 ・付箋機能 ・ペン機能 ・目次からのリンク ・各 章ごと目次からのリンク ・索引からの リンク ・メーカーHPへのリンク	・しおり ・拡大・縮小 ・付箋機能 ・ペン機能 ・メーカーHPへのリンク	
9	予定販売 価格 (円・税込)	会員	55,000（3年間）	49,500（3年間）
		非会員	66,000（3年間）	60,500（3年間）
10	利用期間	3年間	3年間	
11	同時ログイン	3台	3台	
12	認証方法	ID+パスワード	ID+パスワード	
13	購入方法	WEB上にて申込み（HP参照下さい）	WEB上にて申込み（HP参照下さい）	

発売時期

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

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

Webサイト 要覧クラブ

2019年版日本建設機械要覧およびスプッカー一覧表電子書籍（PDF）版購入の方への特典として、当協会が運営するWebサイト（要覧クラブ）上において2001年版から、2016年版日本建設機械要覧のPDF版が閲覧及びダウンロードできます。これによって2019年版を含めると1998年から2018年までの建設機械データが活用いただけます。

また、同じ要覧クラブ上で新機種情報も閲覧およびダウンロードできます。



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

2019年版 日本建設機械要覧

発売のご案内

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

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



発刊日

平成31年3月

体裁

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

価格（消費税10%含む）

一般価格 53,900円（本体49,000円）

会員価格 45,100円（本体41,000円）

（注）送料は1冊900円（複数冊の場合別途）

特典

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

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

2019年版 内容

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

論文投稿のご案内

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

当協会ホームページ <http://www.jcmanet.or.jp>

★投稿対象

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

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

★部門

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

★投稿資格

原稿の投稿者は個人とし、会員資格の有無は問いません。

★原稿の受付

随時受け付けます。

★公表の方法

当協会機関誌へ掲載します。

★機関誌への掲載は有料です。

★その他：優秀な論文の表彰を予定しています。

★連絡先

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 (機械振興会館)

日本建設機械施工協会 研究調査部 論文担当

E-mail : ronbun@jcmanet.or.jp

TEL : 03 - 3433 - 1501

FAX : 03 - 3432 - 0289

◆ 日本建設機械施工協会『個人会員』のご案内

会費：年間 9,000円(不課税)

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

★個人会員の特典

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

この機会に是非ご入会下さい!!

◆一般社団法人 日本建設機械施工協会について

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

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

一般社団法人 日本建設機械施工協会とは…

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

■会員構成

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

■主な事業活動

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

■主な出版図書

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

その他、日本建設機械施工協会の活動内容はホームページでもご覧いただけます！

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

※お申し込みには次頁の申込用紙をお使いください。

【お問い合わせ・申込書の送付先】

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

一般社団法人 日本建設機械施工協会 会長 殿

下記のとおり、日本建設機械施工協会 個人会員に入会します。

令和 年 月 日

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

【会費について】年間 9,000円(不課税)

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

【その他ご入会に際しての留意事項】

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

【個人情報の取扱について】

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

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12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	R2年5月	よくわかる建設機械と損料 2020	6,600	5,610	700
2	R2年5月	橋梁架設工事の積算 令和2年度版	11,000	9,350	900
3	R2年5月	大口径岩盤削孔工法の積算 令和2年度版	6,600	5,610	700
4	R2年5月	令和2年度版 建設機械等損料表	8,800	7,480	700
5	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
6	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	-
7	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	-
8	R元年5月	橋梁架設工事の積算 令和元年度版*	11,000	9,350	250
9	R元年5月	令和元年度版 建設機械等損料表	8,800	7,480	700
10	H31年3月	日本建設機械要覧 2019年版	53,900	45,100	900
11	H30年8月	消融雪設備点検・整備ハンドブック	13,200	11,000	700
12	H30年5月	よくわかる建設機械と損料 2018	6,600	5,610	700
13	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
14	H30年5月	橋梁架設工事の積算 平成30年度版	11,000	9,350	900
15	H30年5月	平成30年度版 建設機械等損料表	8,800	7,480	700
16	H29年4月	ICTを活用した建設技術 (情報化施工)	1,320	1,100	700
17	H28年9月	道路除雪オペレータの手引	3,850	3,080	700
18	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
19	H25年6月	機械除草安全作業の手引き	990	880	250
20	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
21	H22年9月	アスファルトフィニッシャの変遷	3,300		700
22	H22年9月	アスファルトフィニッシャの変遷【CD】	3,300		250
23	H22年7月	情報化施工の実務	2,200	1,885	700
24	H21年11月	情報化施工ガイドブック 2009	2,420	2,200	700
25	H20年6月	写真でたどる建設機械 200年	3,080	2,608	700
26	H19年12月	除雪機械技術ハンドブック	3,143		700
27	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
28	H17年9月	建設機械ポケットブック (除雪機械編)	1,048		250
29	H16年12月	2005「除雪・防雪ハンドブック」(除雪編)*	5,238		250
30	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
31	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
32	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
33	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
34	H15年6月	地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル	550		250
35	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
36	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
37	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
38	H11年5月	建設機械化の50年	4,400		700
39	H11年4月	建設機械図鑑	2,750		700
40	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
41	H9年5月	建設機械用語集	2,200	1,980	700
42	H6年8月	ジオスペースの開発と建設機械	8,382	7,857	700
43	H6年4月	建設作業振動対策マニュアル	6,286	5,657	700
44	H3年4月	最近の軟弱地盤工法と施工例	10,266	9,742	700
45	S63年3月	新編 防雪工学ハンドブック【POD版】	11,000	9,900	700
46	S60年1月	建設工事に伴う濁水対策ハンドブック*	6,600		250
47		建設機械履歴簿	419		250
48	毎月25日	建設機械施工	880	792	700
			定期購読料 年12冊 9,408円(税・送料込)		

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

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

特 集

先端土木・建設技術の開発と 実用化

巻頭言

4 最先端の土木技術・建設技術への期待

永谷 圭司 東京大学大学院 工学系研究科 i-Construction システム学寄付講座 特任教授

行政情報

5 国土交通省における ICT 施工の導入状況

宮本 雄一 国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課

特集・
技術報文

12 深層学習およびアンサンブル学習を用いた切羽評価システム

長谷川裕員 清水建設(株) 関西支店 土木生産計画部 グループ長
谷村 浩輔 清水建設(株) 関西支店 土木第1部 近畿地方整備局 すさみ串本道路二色トンネル工事 現場代理人

18 建設機械の EMC 試験に対応可能な大型電波暗室建設：新欧州 EMC 試験要求 (EN ISO 13766) が開始

下地 浩信 (株)UL Japan コンシューマーテクノロジー事業部 コマーシャルグループ EMC/無線セールス

24 転圧プロセスの自動化により一貫した締固め作業を実現する 半自動振動ローラ締固めシステムの開発

田中 誠 キャタピラー・ジャパン合同会社 舗装機械担当

28 5G 高速通信システムによる建設機械遠隔操作技術

建設機械遠隔操作技術の一般工事利用に向けた取り組み

堀尾 訓之 (株)大林組 西日本ロボティクスセンター 担当課長
蔵多 正人 (株)大林組 西日本ロボティクスセンター 担当課長
岡本 邦宏 (株)大林組 西日本ロボティクスセンター
古屋 弘 (株)大林組 本社技術本部技術研究所 上級首席技師

34 吹付枠工省力化技術の開発 ラクデショット

川本 卓人 (株)大林組 土木本部 生産技術本部 技術第二部 技術第四課 副課長
森田 晃司 (株)大林組 土木本部 生産技術本部 技術第二部 担当部長
窪塚 大輔 日特建設(株) 技術開発本部 ICT 開発部 次長

40 長時間飛行可能な有線給電ドローンを開発

無人化施工現場で建設機械との連携を実証

千葉 拓史 (株)フジタ 技術センター 生産改革研究部 先端システムグループ 主任研究員

45 コンクリート構造物を「現場で直接プリント造形」

On-Site Shot Printer の開発

羽生 賢一 (一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第二部 主任研究員
八木橋宏和 (一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第三部 主任研究員
永沢 薫 (一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第三部 研究員

52 建設用 3D プリンタを用いた PC 構造体の設計施工デモ実証

と今後の展望 生産性向上と新たな構造の実現を目指して

木ノ村幸士 大成建設(株) 技術センター 社会基盤技術研究部 主任研究員、博士(工学)、技術士(建設部門)

57 自律走行式床面ひび割れ検査ロボットの開発

一ロボットによる自動検査の導入効果—

羽根田 健 (株)安藤・間 建設本部 先端技術開発部 建築技術開発グループ 担当課長

61 人と重機の接触災害リスク低減システムの開発

ICT で人と重機の協調安全を実現

奥田 悠太 清水建設(株) 土木技術本部 イノベーション推進部

	66	生産性向上, ワークライフバランスに寄与する建設ロボット 開発の最新状況と今後の課題 中川啓太郎 (株)竹中工務店 大阪本店 西日本機材センター 開発グループ 主任
	71	山岳トンネルのロックボルト打設自動化を実現 山口 洋平 戸田建設(株) 大阪支店 土木工部部 工事2室 松本 啓志 サンドビック(株) SMRT カンパニー 取締役執行役員社長 三上 英明 戸田建設(株) 大阪支店 土木工部部 工事2室 作業所長
交流のひろば	74	スパコン世界ランキング四冠「富岳」への期待 辛木 哲夫 理化学研究所 計算科学研究センター
ずいそう	80	難し, コロナ 永井 修 マリン産業(株)
	82	コンクリートカッター業の誕生 仲山 寛治 仲山鉄工(株) 代表取締役
CMI 報告	84	建設機械の騒音低減に資する新技術の評価 テーマ設定型 NETIS 技術の現場実証 齋藤 聡輔 (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第三部 主任研究員 齋藤 渉 (一社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第三部 研究員
	88	新工法紹介 機関誌編集委員会
	91	新機種紹介 機関誌編集委員会
統計	94	令和2年度(2020年度)建設投資見通し 機関誌編集委員会
	99	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
	100	行事一覧(2020年10月)
	104	編集後記(山本・飯田)
その他	105	“建設機械施工”既刊目次一覧 2020年1月号(第839号)～2020年12月号(第850号)

◇表紙写真説明◇

建設用3Dプリンタを用いたPC構造体

写真提供：大成建設

本件は、3Dプリンティングの特長を最大限に生かしたトポロジー最適化設計により3次元的に断面が変化するデモ歩道橋を設計し、多種多様な構成断面部材を3Dプリンティングで製作・接合した後、プレストレスを導入してPC構造体として成立させるデモ実証プロジェクトとして実施したものである。2020年2月に完成後、現在も長期暴露試験を兼ねて当社技術センター敷地内(神奈川県横浜市)に展示している。

2020年(令和2年)12月号PR目次
【ア】
ヴィルトゲン・ジャパン(株) 表紙4
朝日音響(株) 後付1

【カ】
コベルコ建機(株) 表紙2
【ク】
デンヨー(株) 後付6

大和機工(株) 後付5
【マ】
マシンケアテック(株) 後付2・3
マルマテクニカ(株) 後付7

三笠産業(株) 後付8
(株)三井三池製作所 表紙3
【ヤ】
吉永機械(株) 後付5

巻頭言

最先端の土木技術・建設技術への期待

永谷 圭司



ここ数年、建設現場において、少子化に起因する若年就業者数の減少や、高齢化に起因する熟練技術者・技能者不足の問題がより顕在化しつつある。特に、地方の土木建設の工事においては、その状況が深刻化しており、生産性向上が喫緊の課題となっている。これらの問題解決に向けた技術開発の推進のためには、土木建設技術の革新が不可欠であり、このためには、ICT (Information and Communication Technology) や RT (Robotics Technology) を活用した新しい技術開発と共に、実現場で得られた経験ならびに教訓のフィードバックが大変重要である。

さて、本特集は、「最先端の高度な土木技術・建設技術の開発と実用化」という内容であり、技術の紹介のみならず、各社が実施した実証実験や現場適用の際の経験や教訓を、データと共にご紹介頂けるものと伺っている。大変有益かつ楽しみな特集であり、私自身も本誌を手にとることが待ち遠しい。現場における土木建設技術の最先端の技術の紹介は、本編に譲るとして、私からは、学側の動向を少しご紹介したい。

近年、ロボット工学の学側の分野でも、建設機械の高度化に関する研究開発が活発になってきた。例えば、2020年の日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会における「建設&インフラ用ロボット・メカトロニクス」というセッションでは、37件の研究成果発表が行われた。ここでは、企業と共同研究を行う大学や研究機関から、土木建設技術に関する最新技術や新規提案が数多く紹介されている。

興味深いものとしては、土木研究所による「建設機械施工における標準プラットフォームの提案」が挙げられる。従来、マシンコントロールなどの建設機械の制御に関わるシステムは、各々の建設機械メーカーや測量機器メーカーによりそれぞれ独自に最適化されてきた。そのため、異なるメーカー間でのセンサの相互利用は基本的に不可能であり、システムの再利用性も乏しい。この問題点を踏まえ、ハードウェアを抽象化し、基礎的なルールならびに、データの定義や構造を共通化した「建設機械向け標準プラットフォーム」が提案された。このプラットフォームは、土木研究所の油圧

シヨベルに実装され、基本的な動作が実現されている。

また、深層学習を活用した研究開発も数多く発表された。例えば、弘前大学のグループからは、「深層強化学習を用いたホイールローダの土砂掘り取りのための経路計画に関する研究」が挙げられる。一般に、この種の問題では、一回の掘り取り作業ごとに土砂形状が変化するため、土砂量が大きくなるにつれて計算量が増大し、動作計画に膨大な時間がかかる可能性がある。そこで、現場のオペレータが目視と経験によって経路を計画する方法と同様に、無人のホイールローダがカメラから入力された画像情報を基に、深層強化学習を用いて準最適経路計画を行う手法が提案された。現状では、シミュレーション上でこの手法の有用性が評価されている。これらの他にも、産学連携の学側ならではの提案が数多く発表され、土木建設技術を学の立場から支える提案について、活発に議論が行われた。

また、土木建設技術の高度化に関しても、学が深く関わる国の研究開発プロジェクトは、増加傾向にある。2014年から2019年に実施された内閣府の革新的研究開発推進プログラム ImPACT では、タフロボティクスチャレンジというカテゴリの中で、二重旋回・複腕機構を搭載した建設ロボットの高度化に関する研究開発が行われた。また、同時期に実施された戦略的イノベーション創造プログラム SIP でも、主にインフラ維持管理に関する研究開発が、産学連携により数多く進められた。さらに、2020年に開始されたムーンショット型研究開発制度では、ムーンショット目標3において、土木建設技術の分野のテーマとして「多様な環境に適応する協調型 AI と群ロボットによるインフラ建設の革新(仮題)」が採択された。

このように、学側の研究開発の活性化が少しずつ進む中、産学連携が更に強化され、この分野を大きく革新させていくと信じている。その結果、自動化技術が大きく発展し、少子化に起因する熟練技術者や技能者の不足問題の解決に繋がることを心から願っている。

行政情報

国土交通省における ICT 施工の導入状況

宮本 雄一

国土交通省では、2016年度から建設現場の生産性向上を図る i-Construction に取り組んでおり、2025年度までに生産性を2割向上させることを目標としている。

本稿では、国土交通省における i-Construction の取り組み状況及び基準類の整備状況について紹介する。
 キーワード：i-Construction, ICT 施工, 構造物工, 路盤工

1. はじめに

我が国の総人口は、戦後から増加が続いていたが、2008年（平成20年）の1億2,808万人をピークに減少に転じ、2019年（令和元年）10月現在では1億2,617万人となっている。

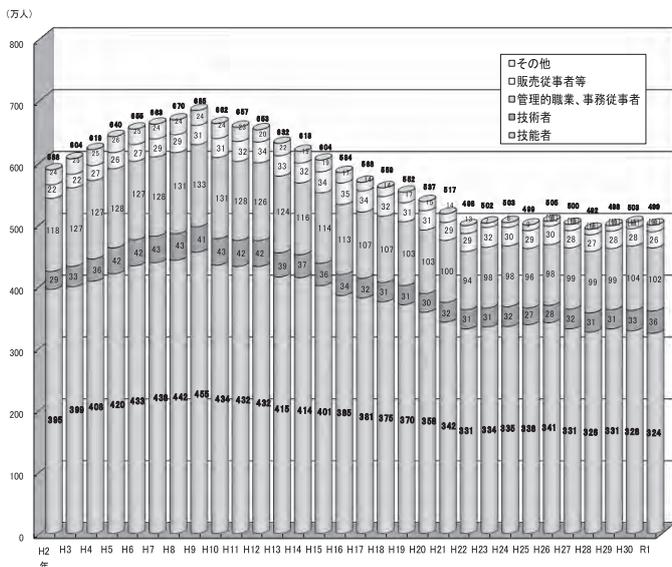
就業者数は、2001年（平成13年）の6,412万人から2012年（平成24年）には6,280万人まで減少したものの、近年は増加傾向にあり、2019年（令和元年）

には6,724万人となっている。一方建設業では1997年（平成9年）の685万人から2010年（平成22年）に498万人まで減少し、近年は横ばいで推移しているものの、全産業平均に比べて高齢化が進んでおり、55歳以上の就業者の割合が35%と高齢化が進行し、次世代への技術承継が大きな課題となっている（図—1）。

こうした、働き手の減少を迎えるなか、潜在的な成長力を高めるとともに、新たな需要を掘り起こしていくため、働き手の減少を上回る生産性向上を図る

技能者等の推移

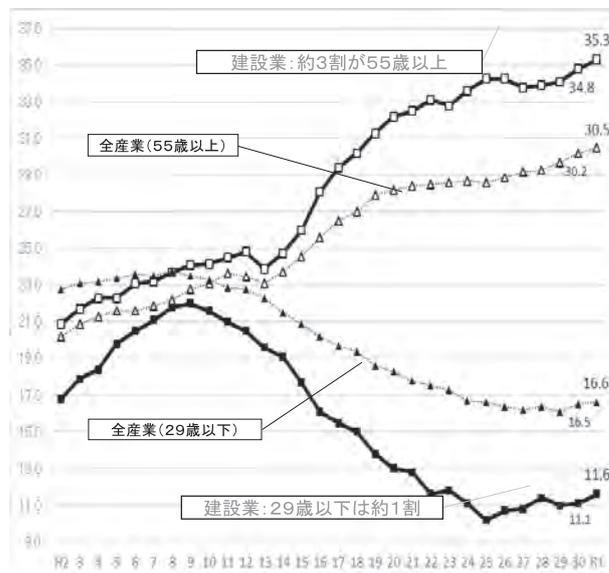
- 建設業就業者：685万人(H9) → 498万人(H22) → 499万人(R1)
- 技術者：41万人(H9) → 31万人(H22) → 36万人(R1)
- 技能者：455万人(H9) → 331万人(H22) → 324万人(R1)



出典：総務省「労働力調査」(暦年平均)を基に国土交通省で算出
 (※平成23年データは、東日本大震災の影響により推計値)

建設業就業者の高齢化の進行

- 建設業就業者は、55歳以上が約35%、29歳以下が約11%と高齢化が進行し、次世代への技術承継が大きな課題。
 ※実数ベースでは、建設業就業者数のうち平成30年と比較して55歳以上が約1万人増加、29歳以下は約2万人増加。



出典：総務省「労働力調査」を基に国土交通省で算出

図—1 建設業就業者の現状

i-Construction の取り組みを推進している（図—2）。

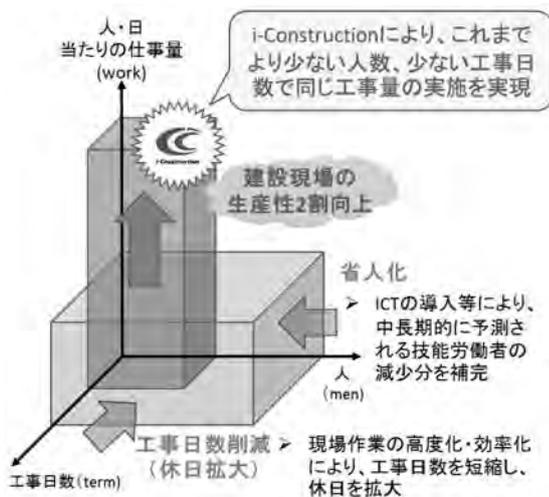
こうした取り組みにより、建設業の3K（キツイ、キタナイ、キケン）のイメージを払拭し、多様な人材を呼び込むことで担い手を確保し、建設業を新3K（給与が良い、休暇がとれる、希望が持てる）の魅力ある職場に改善することを目指している。

本稿では、国土交通省における生産性向上に向けた i-Construction の取り組みのほか、現在までに国土交通省で整備した i-Construction 関係の基準類の整備状況について紹介する。

2. これまでの取り組み状況

国土交通省では、調査・測量から設計、施工、検査等のあらゆる建設生産プロセスにおいて ICT 等を活用する i-Construction を推進し 2025 年度までに建設現場の生産性を 2 割向上させることを目指している。

i-Construction の取り組みは「ICT の全面的な活用」



図—2 生産性向上のイメージ

「全体最適の導入」「施工時期の標準化」の3つのトップランナー施策から構成されている。ここでは ICT 施工の取り組みを中心に説明する。

(1) ICT 施工の取り組み

直轄工事における ICT 施工は、2016 年度の土工から始まり、対象工種を年々拡大している。

2019 年度においては ICT 活用工事の公告件数（土工、舗装工、浚渫工（港湾）、浚渫工（河川）、地盤改良工の 5 工種）2,397 件のうち 1,890 件で ICT 施工を実施（実施率 79%）している（表—1）。

直轄工事において ICT 施工を経験した企業数は 1,450 社であり、ICT 施工が始まった 2016 年度と比べると、約 3.6 倍に増加している。また ICT 施工を複数回経験した企業数は 873 社であり、2016 年度と比べると約 8 倍に増加するとともに全体の約 6 割を占めている（図—3）。

また、直轄工事における一般土木工事の等級別 ICT 施工経験割合を分析すると、A ランク、B ランク企業では ICT 施工の取り組みが着実に進展し、全体の 9 割以上の企業で ICT 施工を実施しているのに対し、地域を地盤とする企業（例えば C 等級企業）においては、ICT 施工を経験した企業は受注企業全体の約半分にとどまっており、今後は中小企業への普及拡大が課題となっている（図—4）。

(2) 全体最適の導入（コンクリート工の規格の標準化等）

設計、発注、調達、加工、組み立て等の一連の生産工程や維持管理を含めたプロセス全体の最適化が図られるよう、流動性を高めたコンクリートやプレキャスト製品の活用、プレハブ鉄筋などの工場製作化を進めるため、必要なガイドライン等の策定に取り組んでい

表—1 直轄工事における ICT 施工の実施状況

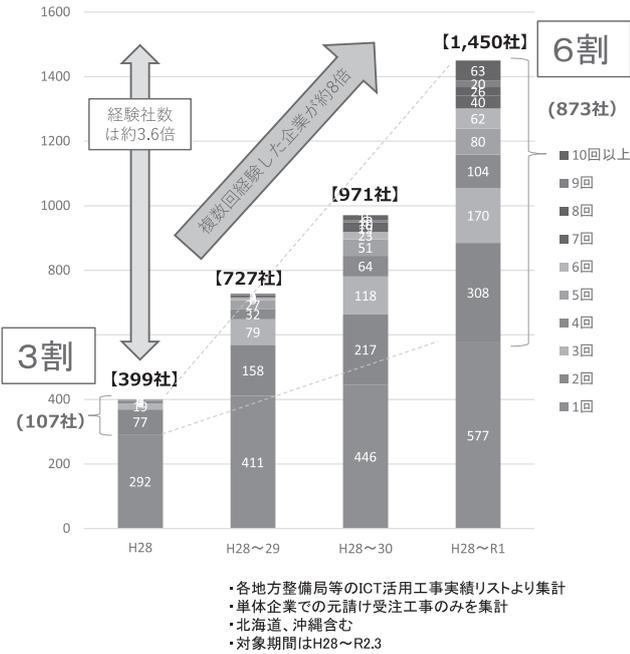
単位：件

工種	2016 年度		2017 年度		2018 年度		2019 年度	
	公告件数	うち ICT 実施						
土工	1,625	584	1,952	815	1,675	960	2,246	1,799
舗装工	—	—	201	79	203	80	340	233
浚渫工	—	—	28	24	62	57	63	57
浚渫工（河川）	—	—	—	—	8	8	39	34
地盤改良工	—	—	—	—	—	—	22	9
合計	1,625	584	2,175	912	1,947	1,104	2,397	1,890
実施率	36%		42%		57%		79%	

「実施件数」は、契約済工事における ICT の取組予定（協議中）を含む件数を集計。

複数工種を含む工事が存在するため、合計欄には重複を除いた工事件数を記載。

る。これまでの取り組みの結果、プレキャスト製品は現場打ちに比べ2倍～5倍の効率性があることが判明している。しかし大型プレキャスト製品は現場打ちと比べコストが高く、導入が進まないことが課題となっており、価格以外の要素を踏まえて最大価値となる工法を選定する方策など、モジュール化に向けた検討を開始している（図－5）。

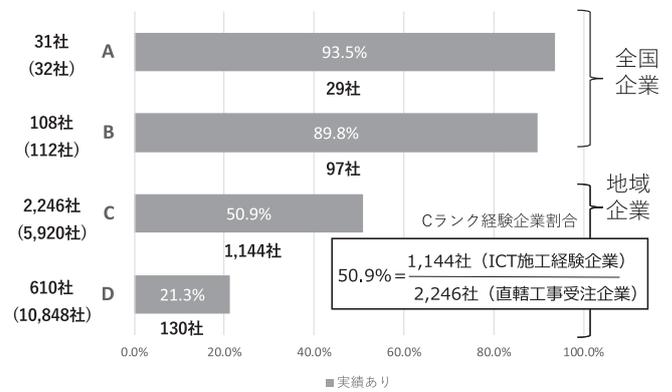


図－3 1企業あたりのICT受注回数と企業数の推移

(3) 施工時期の平準化

公共工事においては、第1四半期（4月～6月）にかけて工事量が少なく、工事稼働時期の偏りが激しかったため、人材・資機材の効率的な配置や、休暇の確保、収入の安定などが図られていなかった。この点を踏まえ、国庫債務負担行為の積極的な活用や、地域単位での発注見通しの結合・公表の拡大、地方公共団体への取組要請を行ってきた結果、施工時期の標準化の取り組みは浸透しつつある（図－6）。

一方、令和元年度の平準化率は、国が0.83であることに對し、市町村は伸びているものの0.63にとどまっている（図－7）。



図－4 一般土木工事の等級別ICT施工経験割合
(平成28年度以降の直轄工事受注実績に対する割合)

プレキャスト工法の規格毎の方針

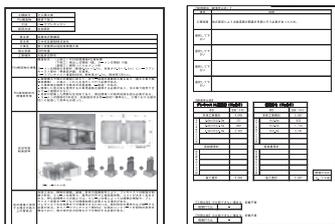
- 小型 (内空断面 ≤ 4.0m²) : 規格の統一化 (JIS規格の活用)
- 中型 (4.0m² < 内空断面 ≤ 12.25m²) : 特殊車両に積載できる規格については、原則プレキャスト化
- 大型 (12.25m² ≤ 内空断面) : プレキャスト活用事例集の作成

○ 中型プレキャスト

最大輸送可能寸法の目安:
ボックスカルバート 3000(幅) × 3000(高さ) × 2000(長さ)
L型擁壁 5000(高さ) × 3000(底版長) × 2000(幅)

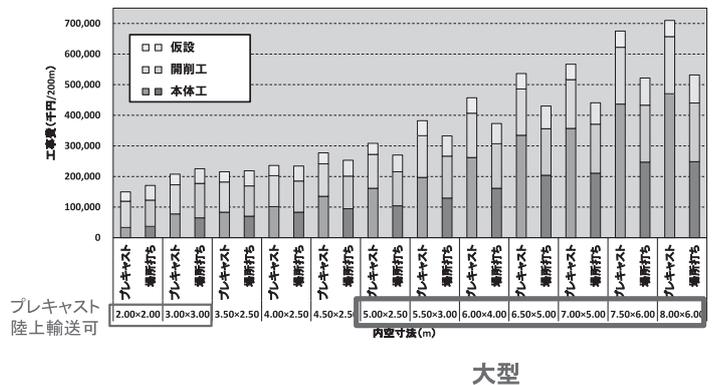


○ 大型プレキャスト



プレキャスト活用事例集

○ ボックスカルバートのプレキャストと現場打ちのコスト比較



図－5 プレキャスト製品の活用拡大に向けた取り組み

こうした状況を踏まえ、今後は地域発注者協会を通じて平準化率の目標を設定し、地方公共団体にフォローアップを行うなど、すべての発注者に取り組みを

促して全体の底上げを図ることとしている。

(4) 3次元データ等の利活用

国土交通省では、2012年度（平成24年度）から橋梁やダム等を対象にBIM/CIMを導入し、2019年度（令和元年度）には大規模構造物の詳細設計において原則適用する等、適用拡大に取り組み361件でBIM/CIMを活用している（図一8）。

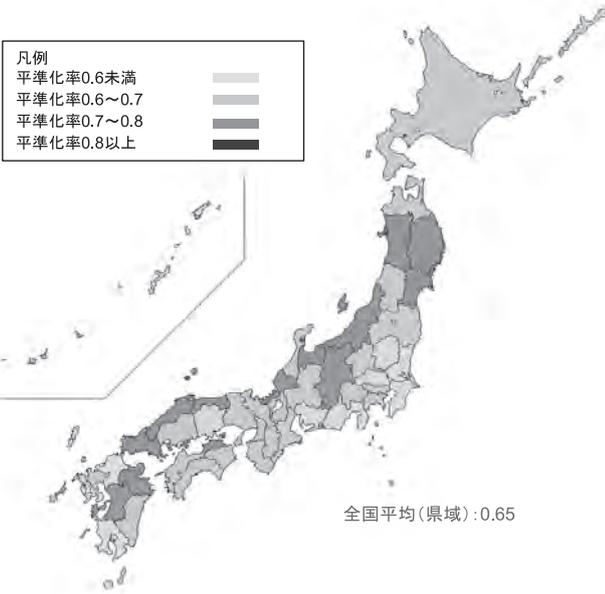
こうしたなか、新型コロナウイルス感染症の感染拡大を契機として公共工事の現場のデジタル化を進める必要があり、2023年度までに小規模なものを除くすべての直轄工事においてBIM/CIM活用に転換する等、3次元データの利活用に取り組んでいる（表一2）。

3. ICT 施工に関する基準類の整備状況

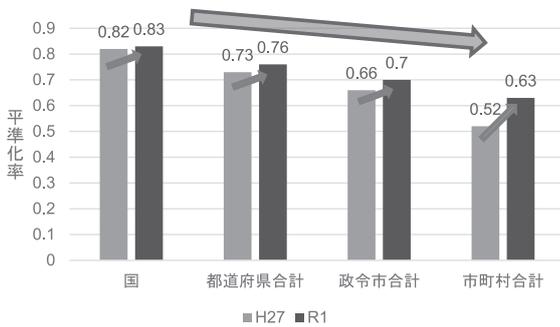
国土交通省ではICT施工の普及拡大に向けて、2016年度（平成28年度）のICT土工から始まり順次ICT活用のための基準類を拡充している（図一9）。

2020年度（令和2年度）は、新たにICT構造物工及びICT路盤工の2工種について基準類を策定する予定である。

ICT構造物工では、出来形管理を3次元データによる管理手法への転換を検討するほか、工事完成後の



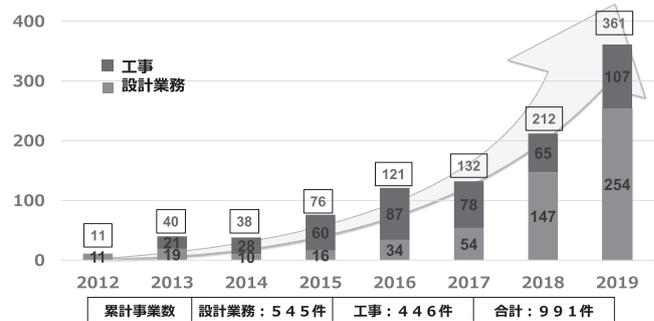
図一6 地域平準化率（工事）平成30年度実績



$$\text{地域平準化率(件数)} = \frac{\text{(4~6月期の工事平均稼働件数)}}{\text{(年度の工事平均稼働件数)}}$$

※県域単位:各都道府県管内の 都道府県、市区町村発注の全ての工事を足し合わせて算出

図一7 平準化率の経年推移



図一8 BIM / CIM 活用状況

表一2 原則適用拡大の進め方(案)(一般土木、鋼橋上部)

	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
大規模構造物	(全ての詳細設計・工事で活用)	全ての詳細設計で原則適用 ^(※) (R2「全ての詳細設計」に係る工事で活用)	全ての詳細設計・工事で原則適用	全ての詳細設計・工事で原則適用
上記以外(小規模を除く)	-	一部の詳細設計で適用 ^(※)	全ての詳細設計で原則適用 ^(※) R3「一部の詳細設計」に係る工事で適用	全ての詳細設計・工事で原則適用

(※) 令和2年度に3次元モデルの納品要領を制定予定。本要領に基づく詳細設計を「適用」としている。

維持管理の基礎資料とするために構造物のみならず周辺状況を含めた3次元データの活用を検討していく。

ICT路盤工では加速度計を取り付けた振動ローラで締固めを行い、ローラ振動輪部の加速度を測定することで路盤の締固め密度を把握することを検討していく。これを行うことにより面管理による品質向上及び施工時間の短縮(砂置換で行っていた計測時間の短縮)が見込まれる。

(1) ICT 施工に関する基準類改定の取り組み

基準類については、基準を策定したらそのままということではなく随時見直しを行っている。例えばICT土工の積算基準については当初の積算条件区分を50,000 m³以上と50,000 m³未満としていたものを、平成30年4月には10,000 m³未満の区分を平成31年4月にはさらに細分化して5,000 m³未満の区分を設けている。令和2年度からは現場条件により標準のICT機械(クローラ型山積0.8 m³)が現場に搬入できない場合などは、標準積算によらず見積りを活用するなど適正な予

平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度(予定)
ICT土工					
	ICT舗装工(平成29年度:アスファルト舗装、平成30年度コンクリート舗装)				
	ICT浚渫工(港湾)				
		ICT浚渫工(河川)			
			ICT地盤改良工(浅層・中層混合処理)		
			ICT法面工(吹付工)		
			ICT付帯構造物設置工		
				ICT地盤改良工(深層)	
				ICT法面工(吹付法砕工)	
				ICT舗装工(修繕工)	
				ICT基礎工・ブロック据付工(港湾)	
					ICT構造物工
					ICT路盤工
					ICT海上地盤改良工(床掘工・置換工)
				民間等の要望も踏まえ更なる工種拡大	

図-9 ICT 施工に関する基準類の整備状況

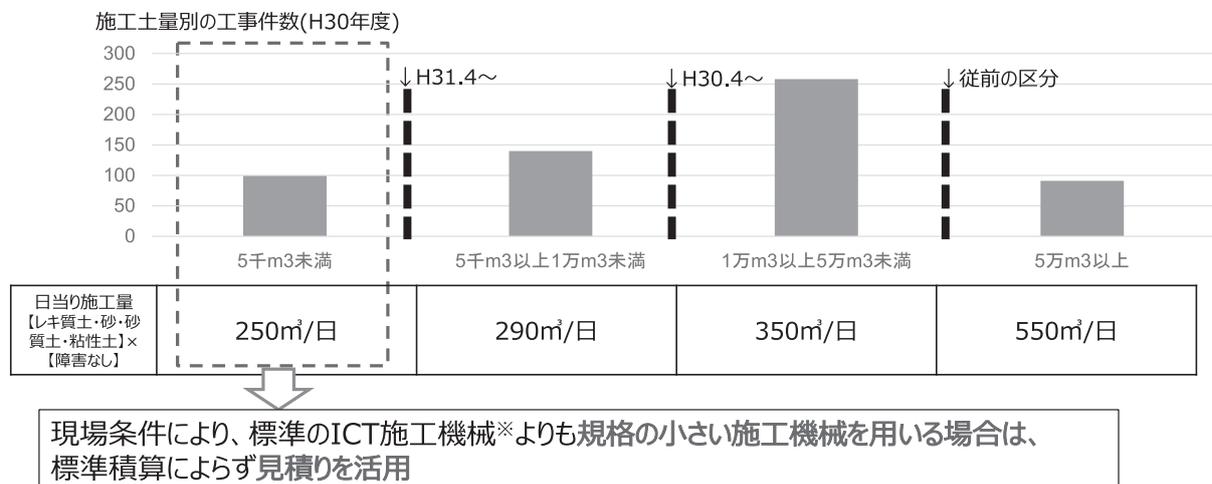


図-10 ICT 活用工事における小規模施工の積算対応

【簡易型ICT活用工事(土工)の概要】(土工量10,000m³未満の工事が対象)



【ICT活用工事】

○起工測量から電子納品までの全ての段階で3次元データ活用を必須
 ○工事成績で加点(2点)・経費を変更計上

【簡易型ICT活用工事】

○起工測量から電子納品の一部の段階で3次元データ活用を選択することが可能
 ※ただし、3次元設計データ作成、3次元出来形管理等の施工管理及び3次元データの納品での活用は必須
 ○工事成績で加点(1点)・各段階で経費を変更計上

図一 11 簡易型 ICT 活用工事の概要

定価格を設定できるように見直しを行っている (図一 10)。

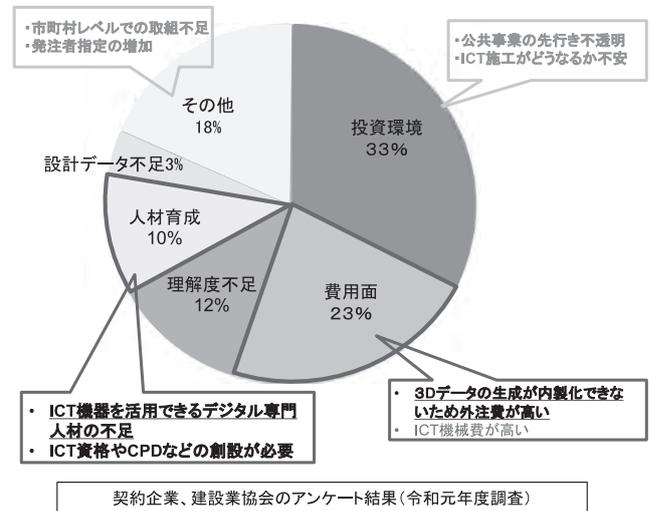
また ICT 施工の普及拡大には、中小企業が取り組みやすい環境を整えると同時に、その効果を体験することが重要と考え、土工数量 10,000 m³ 未満の工事を対象に ICT の部分活用であっても経費の計上や、工事成績の加点を行う「簡易型 ICT 活用工事」を令和 2 年度より全国で実施することとした (図一 11)。

これは、従来の ICT 活用工事では、「3次元起工測量」「3次元設計データ作成」「ICT 建設機械による施工」「3次元出来形管理等の施工管理」「3次元データの納品」のすべての段階で3次元データの活用を必須としたものを、「3次元起工測量」と「ICT 建設機械による施工」については任意としたものである。

(2) ICT 施工普及拡大への取り組み

前述したように、地域を地盤とする中小企業においては、ICT 施工を経験した企業は全体の約半分にとどまっており、今後は中小企業への普及拡大が課題となっている。実際に中小企業に ICT 施工を行うための課題は何かと聞き取り調査を行ったところ、「3Dデータの生成が内製化できないため外注費が高い」「ICT 機器を活用できるデジタル専門人材の不足」など費用面や人材育成に対する課題が聞こえてきた。また「経営者や発注者の理解不足により ICT 施工が進まない」といった意見もよせられている (図一 12)。

こういった声を受け国土交通省では、ICT 施工に関する講習会・研修等を平成 28 年の ICT 施工導入時から毎年実施しており、令和元年度では 946 回に及ぶ講習会・研修等を実施している。今年度もコロナ禍の中ではあるが、各地方整備局等で講習会・研修等を実



図一 12 ICT 施工が進まない理由

施しており、ICT 施工の普及拡大に取り組んでいるところである。

(3) 民間等の要望を踏まえた基準類の見直し

ICT に関する技術は日進月歩しており、いち早く建設現場に新技術を取り入れることが生産性の向上につながってくる。こうした観点から令和元年度からは、民間等から ICT に関する技術提案をいただき、提案に基づき ICT 施工に関する基準類の整備を行っている。

令和元年度は、24 件の提案をいただき、そのうち 13 件の提案について基準類 (実施要領含む) の改定を行った。令和 2 年度も 5 月～6 月にかけて民間等から提案を募集し、21 件の提案があった。このうち 8 件について基準等の改定を予定している。

4. おわりに

新型コロナウイルス感染症や激甚化する自然災害など、かつてない難題が山積している。i-Constructionは建設現場の生産性向上を目指して取り組んでいるが、災害時にはドローンを活用して被災状況を効率的に把握する取組みや、被災地で無人化施工を行い作業員の安全を確保するなど、防災・減災面でも効果があることが確認されている。またコロナ禍における新しい働き方の一つとして、ICT 施工に必要なデータ作成技術を習得していただき、在宅であっても、クラウドサーバを利用してデータ共有を行い、働く場を確保している企業もある。

現在、建設業が直面している課題は容易に解決できるものばかりではないが、引き続き課題解決に向けた取組みを進め、建設現場の生産性向上に努めてまいりたい。

J|C|M|A



【筆者紹介】
宮本 雄一（みやもと ゆういち）
国土交通省
総合政策局
公共事業企画調整課



深層学習およびアンサンブル学習を用いた 切羽評価システム

長谷川 裕 員・谷 村 浩 輔

近年の建設業界では生産性向上が推進されており土木工事においても ICT を用いた新しい技術が次々と開発されている。その中でも AI (人工知能) を用いた自動化や効率化に関する技術が注目され今後期待される技術である。人工知能においては深層学習 (ディープラーニング) がコンピュータビジョンの分野を飛躍的に向上させ多くの分野において応用が行われている。今回、山岳トンネルの支保パターン選定のためにトンネル習熟技術者が行っていた目視観察による切羽評価 (切羽評価点算出) を深層学習と機械学習を用いて行うシステム (以下「本システム」という) の開発を行った。本稿では本システムの詳細およびすさみ串本道路 (仮称) 二色トンネルに適用した実証実験について紹介する。

キーワード：山岳トンネル, 切羽評価, AI (人工知能), 深層学習, 機械学習

1. はじめに

山岳トンネル工事では掘削面 (トンネル切羽) の状態を把握することにより地山の状態を判断し、トンネル支保パターンの選定や補助工法の要否などを判定し安全かつ経済的な施工を行うことが求められる。切羽評価に用いる基準は「トンネル地山等級判定マニュアル (試行案)」¹⁾ にまとめられているが、切羽観察はトンネル習熟技術者による目視観察で行われるため主観的な評価となりがちで観察者の経験差によって評価結果にバラつきが出るという問題がある。

土を扱う土木工事では事前調査で得られた地盤情報の不確実性などが多いため、理論だけでは予測が難しく経験した事象から得られた知見や知識を用いての対応が求められる。切羽評価においてもトンネル習熟技術者が過去に行った切羽観察経験から身に付けた判断基準や閾値を用いて評価していると考えられる。このような専門家の暗黙的な知識やノウハウを抽出して知識データベース化する研究は様々に挑戦されているが²⁾、知識を定式化やルール化することは非常に困難であり知識獲得のボトルネックと呼ばれている。そこで筆者らは、技術者からの知識獲得ではなく切羽から取得した情報をパターン化し、技術者評価と関連させて作成した教師データでの AI 学習 (機械学習) を用いることで、切羽状態パターンから技術者と同じような評価を予測するモデル構築を目指してきた。このような AI による切羽評価システムを用いて客観的な評価が

可能になれば、トンネル支保パターンを決定する切羽判定の作業においても客観的な参考値として活用でき効率化が期待できる。

今回開発した山岳トンネル切羽評価システムはディープラーニングを用いた画像分類と機械学習 (勾配プースティング決定木) を組み合わせており山岳トンネルでの実証実験をしてきた^{3)~5)}。

本稿では、切羽判定システムの開発および実証実験の詳細について紹介する。

2. データの取得

本システム (切羽評価システム) は、和歌山県串本町に位置する「すさみ串本道路 (仮称) 二色トンネル」 (トンネル延長 365 m, 最大掘削断面積 108.5 m² の大断面トンネル) において実証実験を行った。当トンネルの地質は泥岩主体の堆積岩であり設計時の支保パターンは低土被り部を除き DI と CII が混在していたが、切羽観察による評価結果ではほとんどが DI と判定された。土被りが浅いこともあり風化で割れ目沿いに茶褐色に変色した部分が多く見られた。地質縦断面を図-1 に示す。実証実験はトンネル全長に対して行った。

本システムでは、切羽状態をパターン化 (数値化) するために「切羽写真」, 「切羽 3 次元形状データ (DEM モデル画像: 数値標高モデル)」, 「岩盤の穿孔エネルギー値」のデータ取得を行った。この 3 種類の情報を

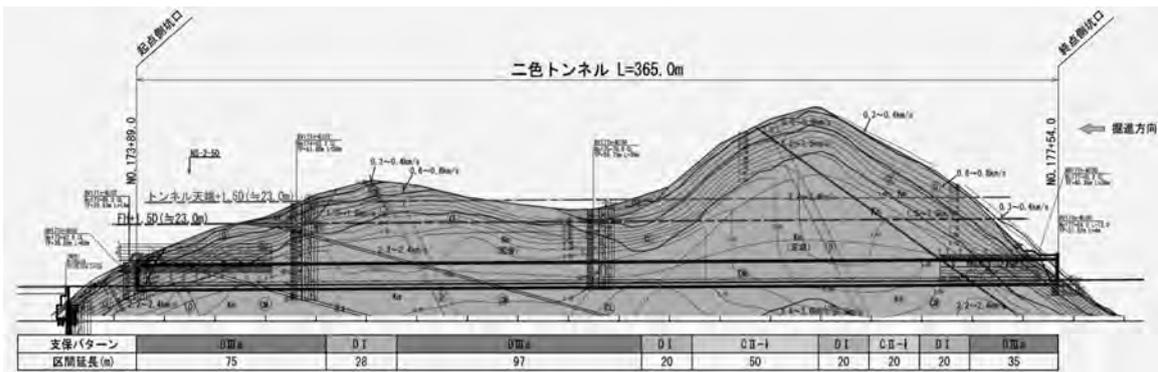


図-1 地質縦断面

特徴量パラメータとした AI モデルを構築し切羽評価の予測を行った。以下、切羽からの取得データについて述べる。

(1) 切羽写真の取得

従来、切羽観察時の記録として切羽の写真撮影を行っているが、撮影する切羽からの距離や写真の解像度（大きさ・画素数）、切羽の明るさ（照度）が統一されていないのが現状である。また、切羽照明はトンネル天井部に設置されるために切羽前の支保工が影になり切羽の外周に黒い影が生じ切羽全体の状態を写真画像から確認することが難しかった。

本システムでの AI モデル構築で使用する切羽画像としては、各切羽が比較的均一な条件で全面が写っているものが望ましく、特に色要素による画像分類を行うためには画像の鮮明度や色合いなどバラつきの少ない品質が求められる。このため、切羽写真撮影時に補助照明の活用と切羽写真の撮影用にシャッター速度と ISO 感度が固定設定できる専用アプリを開発し撮影を行った。切羽写真撮影の様子を写真-1、切羽写真の例を写真-2 に示す。

切羽照明設備は表-1 に示す LED 照明を採用した。切羽照明として 400 W タイプ 1 台を用いてトンネル天井からの照射角度を調節することにより切羽撮影



写真-1 切羽写真撮影の様子



写真-2 切羽写真の例

表-1 切羽照明設備と補助照明設備

項目	使用機器の仕様・台数
①切羽照明	軽量型高輝度 LED ランプ JCT-400A-L/P × 1 台 仕様：400 W，64,000 lm
②補助照明	軽量型高輝度 LED ランプ JCT-200A-L/P × 2 台 仕様：200 W，32,000 lm

に十分な切羽照度を確保した。さらに、三脚に取り付けた 200 W タイプを補助照明として切羽の左右両脇から切羽余掘り部を照らすことにより切羽外周に生じる影を抑えた。

切羽撮影のカメラは、防水・防塵型のスマートフォン (iPhone11) 内蔵のカメラを用いて ISO 感度とシャッター速度を固定設定できる専用アプリを使用して一定条件での撮影を行った。撮影時スマートフォンの液晶画面に切羽形状が表示され、その枠に切羽外周が合うように撮影することで切羽から一定の撮影位置を確保する工夫をした (写真-3)。

(2) 切羽 3 次元形状データの取得

切羽表面の 3 次元状態を特徴量として用いるため DEM モデル画像 (数値標高モデル) を作成して数値化を行った。DEM モデル画像は切羽を複数アングル



写真-3 切羽カメラの画面例

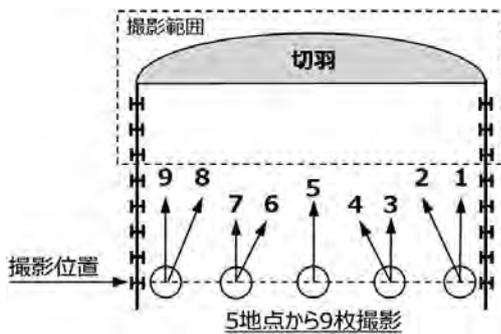


図-2 切羽の複数アングル撮影方法の概要

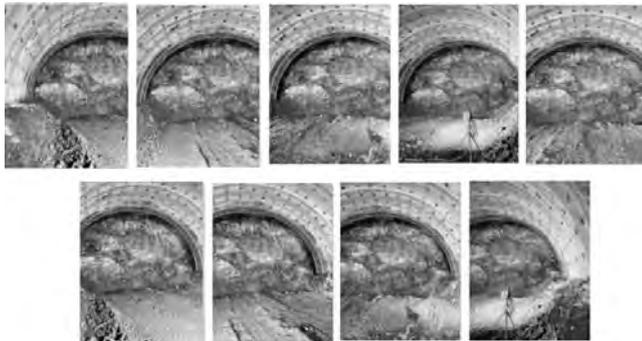


写真-4 複数アングル写真例

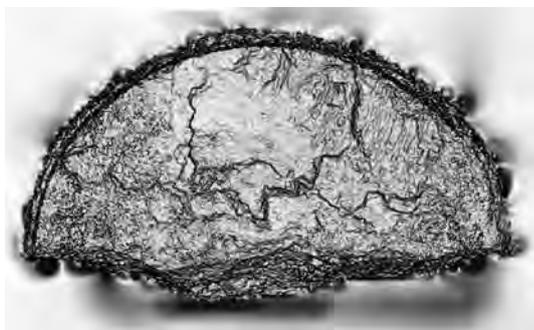


写真-5 DEMモデル画像例（2値化処理前）

(9アングル)より撮影した写真を用いる(図-2,写真-4)。複数アングル写真を写真測量ソフトでSfM変換して作成した3次元点群(切羽表面の形状座標値)から得られる凹凸の境界部に現れる面の傾きを色の濃淡で表現したものである。このDEMモデル画像は「割

れ目状態」を識別するための特徴量として用いた。また、DEMモデル画像のグラデーションによる濃淡を強調するため閾値を調節した2値化処理を行った。DEMモデル画像を写真-5に示す。

(3) 穿孔エネルギー値の取得

切羽評価において岩盤の硬さは重要な要素の1つであり、本システムでも切羽の硬軟に関連した特徴量として用いた。トンネル掘削前にトンネル削孔機(ドリルジャンボ)にて切羽の10箇所から1箇所当たり4mの穿孔削孔を行い穿孔エネルギー値の取得を行った(写真-6,図-3)。穿孔エネルギー値はトンネル削孔機に取り付けた計測器から得られる削孔時の油圧値(打撃圧,回転圧,フィード圧)などを所定のエネルギー変換式にて計算したエネルギー値である。穿孔時に切羽表面の鏡吹付(吹付コンクリート)が残っている場合があるため、切羽表面から25cm分のデータを除去して統計処理(2σ以上を異常値とする)して1m毎の平均化の処理を行った。



写真-6 ドリルジャンボの穿孔作業状況

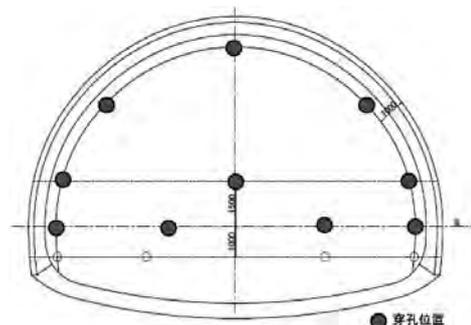
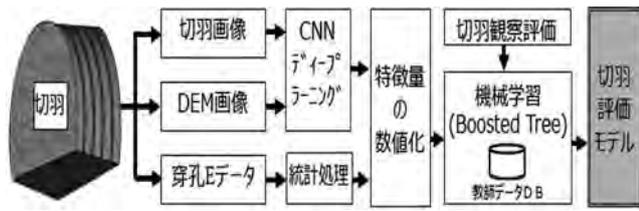


図-3 穿孔エネルギー取得位置図(10箇所)

3. 切羽評価システムの概要

本システムでは、図-4に示すように切羽から取得した「切羽写真画像」および「DEMモデル画像」を深層学習(CNN:畳み込みニューラルネットワーク



図一四 切羽評価モデルの学習フロー

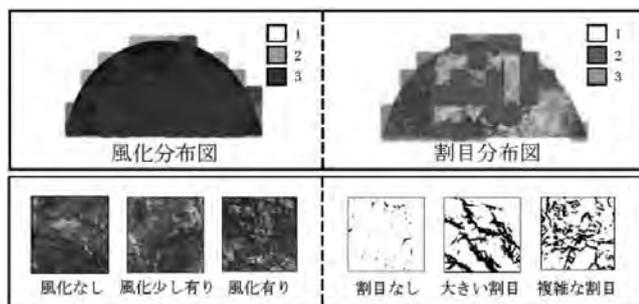
ク)によりクラス分けすることで数値化を行った。また、これら画像データから抽出した数値化特徴量と「穿孔エネルギー値」特徴量とを合わせて「説明変数」とし、トンネル習熟技術者の目視観察による切羽の評価結果を「目的変数」とした教師あり学習を用いた切羽判定モデル構築をした。

(1) 画像データの数値化

トンネル坑口から50切羽(50m)までの範囲で得られる切羽画像を用いて風化および割れ目状態を分類する画像分類モデルを構築した。切羽写真は風化状態を表す特徴量とし、DEMモデル画像は割れ目状態を表す特徴量として用いている。

風化状態は、岩石が風化すると茶褐色に変色することを利用して「風化している状態」と「風化していない新鮮な状態」、「中間的な状態」の3段階の分類(ラベル付け)を行った。この風化状態を分類するため切羽写真画像の不要部分をトリミングした画像を横12×縦6の72分割したサイズの画像1,180枚(一辺が約1mで解像度300×300ピクセルのRGBデータ)をデータ拡張してディープラーニングによる転移学習させた風化画像分類モデルを構築した。

割れ目状態は、DEMモデル画像を2値化した画像で表現される白黒模様大きさや形状により「大きな割れ目」、「複雑な割れ目」、「割れ目なし」の3段階に分類を行った。DEMモデル画像も風化画像と同様に横12×縦6の72分割したサイズの画像364枚(一辺が約1mで解像度300×300ピクセルのRGBデータ)をデータ拡張してディープラーニングによる転移学習



図一五 画像分類モデルによる評価例

表一 二 画像分類モデルの学習精度

A: 風化の学習結果

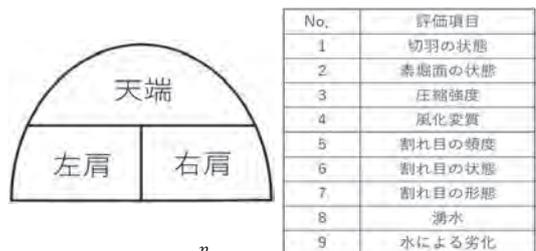
B: 割目の学習結果

ラベル	Precision	Recall	ラベル	Precision	Recall
1	95%	90%	1	100%	89%
2	76%	77%	2	85%	88%
3	79%	82%	3	81%	88%

を用いて割れ目画像分類モデルを構築した。風化および割れ目分類モデルの学習に用いた画像例を図一五に示す。また、学習結果の精度を表一に示す。

(2) 切羽評価モデルの構築

トンネル切羽評価は図一六に示すように、切羽を天端・右肩・左肩に分割し、各部についてトンネル技術者が目視観察を行って「風化変質」「割れ目状態」などの評価9項目に対して1~4の区分点数を付ける。区分点数と岩質に応じた重み係数を用いて図一六に示す式にて切羽評価点を算出する。本システムの切羽評価モデルは、切羽特徴量である風化・割れ目の数値化データと穿孔エネルギー値の3要素をトンネル習熟技術者による切羽評価結果と組合せた教師データを用いて機械学習を行った。また、使用する特徴量は表一三に示すように評価項目毎に組合せを変えている。この切羽評価モデルの学習に用いた教師データは、切羽の天端、右肩、左肩における評価9項目それぞれに対



$$切羽評価点 = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n k_i (2 \times 天端_i + 左肩_i + 右肩_i)$$

(k_i: 重み係数)

図一六 切羽の分割と評価9項目

表一三 特徴量の組合せ

No.	評価項目	風化数値化	割れ目数値化	穿孔E値
1	切羽の状態	○	○	○
2	素掘面の状態	○	○	○
3	圧縮強度			○
4	風化変質	○		
5	割れ目の頻度		○	
6	割れ目の状態		○	
7	割れ目の形態		○	
8	湧水	○	○	○
9	水による劣化	○	○	○



図-7 教師データ DB 画面例



図-8 27 個の評価モデルと予測値の例

表-4 データセット書式

		説明変数				目的変数
エリア	切羽番号	風化変数	割れ目変数	穿孔E変数	トンネル技術者評価	
天端	#	n1,...,n36	m1,...,m36	k1,...,k4	Y: (1-4)	
左肩・右肩	#	n1,...,n18	m1,...,m18	k1,...,k4	Y: (1-4)	

応した 27 タイプが必要なため、図-7 に示す教師データ DB (データベース) を構築して特徴量データと教師データの管理・生成を行った。機械学習した切羽評価モデルに未知の切羽特徴量を入力することで評価結果を項目別に 27 個の予測値として出力する(図-8)。モデル学習に用いた教師データのデータセット書式を表-4 に示す。

(3) システムの実装

本システムは AI エンジンとして Apple CoreML フレームワークを採用し、Swift5 言語で記述を行い PC (MacOS10.15) 上に実装している。風化および割目の画像分類モデルのトレーニングには CreateML の CNN (畳み込みニューラルネットワーク) 画像分類器を用いた転移学習を行った。また、切羽特徴量のパターンと技術者評価点との関係性(相関)をアンサンブル学習させた。アンサンブル学習では天端、左肩、右肩の評価(9項目)に対して27タイプの教師デー

タを作成して、27 個の学習モデルを構築し、各エリアの項目毎での予測をした。アンサンブル学習としては、勾配ブースティング決定木アルゴリズムを用いた。

4. 実証実験の結果と考察

実証実験ではシステムの AI 評価モデル(切羽評価モデル)を学習する区間(学習区間)と学習させたモデルを用いて未知の切羽に対して評価を行う区間(予測区間)に分けて実施し、システムの評価予測とトンネル習熟技術者の評価結果との比較を行った。

当初、掘削開始の位置から 50 m までの区間における切羽特徴量と習熟技術者の切羽観察結果を教師データとして学習させたモデルを用いて残りの切羽を評価した結果を図-9 に示す。50 m までの学習データ(22 データ)では切羽評価モデルの評価予測は全体的に大きくバラつく結果となった。50 m までの区間では学習データ数が少ないこと、掘削当初の低土被り区間の悪い地山データの割合が多くなり、特徴量から切羽評価点が比較的高い値を出力するモデルとなったのが原因と考えられる。

次に、学習データ数を増やすために学習区間を 200 m までにした場合の結果を図-10 に示す。学習

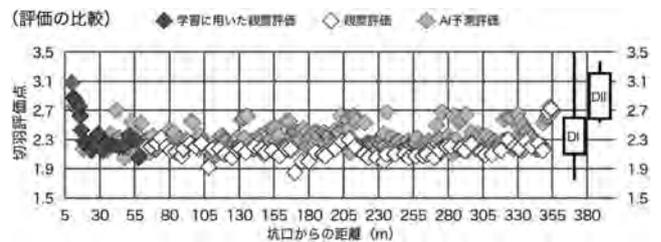


図-9 学習区間 50 m までの結果

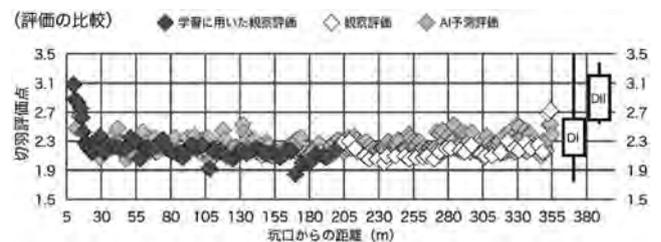


図-10 学習区間 200 m までの結果

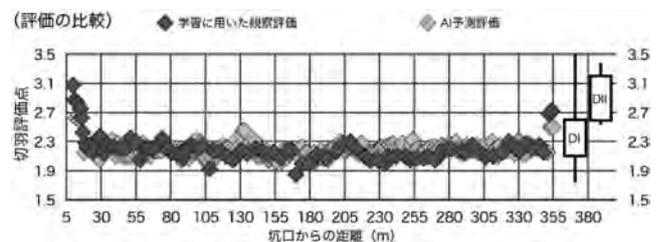


図-11 全切羽観察結果で学習した結果

区間を 200 m まで広げることにより切羽評価モデルの学習データ数が 50 m に比べ 2.6 倍 (57 データ) となり特徴量に対する切羽観察評価とのパターン数が増える。観察評価と AI 評価の差を RMSE (二乗平均平方根誤差) で比較すると、50 m 区間では RMSE=0.198 に対して 200 m 区間では RMSE=0.155 と全体的に誤差が小さく精度が向上し、AI 出力のバラつきが少なくなったと考えられる。また、習熟技術者の全評価結果を学習データとして用いた場合は、図-11 に示すように全体的に切羽観察結果により近づく結果となった。特に起点側、終点側の両坑口部付近では切羽評価点が高くなっており、習熟技術者による評価結果を反映した結果が再現されていると考えることができる。

切羽観察の評価項目別で AI が付けた評価区分の点数と習熟技術者による評価区分の各点数における一致率を集計した結果を表-5 に示す。

表-5 評価項目別の AI と観察評価との一致率

No.	評価項目	50mまでの区間			200mまでの区間			重み係数
		左肩	天端	右肩	左肩	天端	右肩	
1	切羽の状態	52.2%	72.5%	63.8%	70.6%	94.1%	70.6%	16
2	素掘面の状態	91.3%	95.7%	94.2%	88.2%	91.2%	94.1%	8
3	圧縮強度	92.8%	72.5%	95.7%	91.2%	73.5%	91.2%	26
4	風化変質	84.1%	46.4%	89.9%	61.8%	55.9%	79.4%	13
5	割れ目の頻度	87.0%	82.6%	85.5%	85.3%	82.4%	91.2%	6
6	割れ目の状態	55.1%	18.8%	69.6%	82.4%	52.9%	85.3%	3
7	割れ目の形態	50.7%	55.1%	49.3%	26.5%	38.2%	41.2%	6
8	湧水	94.2%	87.0%	95.7%	88.2%	97.1%	94.1%	9
9	水による劣化	97.1%	55.5%	100.0%	100.0%	94.1%	100.0%	13

200 m までの区間による学習モデルを用いた方が切羽評価点における重み係数が大きい (重み 10 以上の着色部) 項目で天端の一致率が向上している。切羽評価点の計算式において天端の点数は 2 倍されるため切羽評価点の算出では大きく影響する要素である。この一致率が向上していることから習熟技術者の評価結果に近づいたと考えられる。評価項目 No.6, No.7 の割れ目に関する評価項目では一致率が低く特徴量として用いた DEM モデル画像では割れ目状態を十分に捉えきれないと考えられる。評価項目 No.8, No.9 の湧水および水による劣化では、トンネル全線で湧水が無かったため学習データのほとんどが同じ点数となり、AI 予測も同じ点数に限られ一致率が高くなったと考えられる。

5. おわりに

今回実証実験を行った二色トンネルでは出現する地山が泥岩主体の一般的な堆積岩であり、トンネル習熟技術者による切羽評価点はほとんどが 2.1 ~ 2.6 (DI パターンの範囲) に収まる結果となった。このような比較的变化に乏しい切羽に対して本システム切羽評価システムの実証実験を行った結果、200 m 程度の切羽から得られた教師データ数を用いて学習させることで DI パターンの範囲により近づくことが確認できた。

今後は、AI 学習に用いるトンネル特徴量の種類を増やすとともに、データサイエンスを用いたモデルの最適化を行うことにより特徴量からの正解率向上を図りたいと考えている。また、さまざまな岩種や風化変質の地質に対して本システムの適用と検証を積み重ねて有効な特徴量を検出することで切羽評価システムの改善を行っていききたい。

JICMA

《参考文献》

- 1) 近畿地方整備局道路部道路工事課：トンネル地山等級判定マニュアル (試行案), 2016 年。
- 2) 長谷川裕員, 野村康雄, ティヘリノ・ジュリ・A, 北橋忠宏, 溝口理一郎：問題解決モデルに基づくインタビューシステム：MULTIS, 人工知能学会全国大会 (第 4 回), p669-672, 1990 年。
- 3) 長谷川裕員, 邊見涼, 鳥居敏, 谷村浩輔, 淡路動太：山岳トンネルの地山評価における深層学習とアンサンブル学習の適用, 人工知能学会全国大会 (第 34 回), 205-GS-13-02, 2020 年。
- 4) 長谷川裕員, 邊見涼, 鳥居敏, 辻正邦, 淡路動太：山岳トンネルの切羽評価における AI 適用手法の開発, 土木学会第 75 回年次学術講演会, 2020 年。
- 5) 笹島和彦, 邊見涼, 長谷川裕員, 鳥居敏, 淡路動太, 中田圭祐：山岳トンネルの切羽評価における AI 適用手法の開発, 土木学会第 75 回年次学術講演会, 2020 年。

【筆者紹介】

長谷川 裕員 (はせがわ ひろかず)
清水建設㈱
関西支店 土木生産計画部
グループ長



谷村 浩輔 (たにむら こうすけ)
清水建設㈱
関西支店 土木第 1 部
近畿地方整備局 すさみ申本道路二色トンネル工事
現場代理人



建設機械の EMC 試験に対応可能な大型電波暗室建設： 新欧州 EMC 試験要求（EN ISO 13766）が開始

下地 浩信

欧州における建設機械への EMC 要求が 2021 年 7 月 1 日から改訂される。電波を放射して試験することになる放射イミュニティ試験において、電子サブアセンブリ（ESA）に対しての要求から建設機械本体への試験が要求される。試験実施のためには、電波の放射が可能で大型の建設機械本体を設置可能な電波暗室が必要となる。本稿では欧州における試験要求の変遷および試験要求の概要を紹介する。

キーワード：EU 指令、EMC 試験、EN 13766-1、EN 13766-2、電波暗室

1. はじめに

機械の起源は人類の狩猟生活、農耕生活に利用した道具まで含めると古代まで遡る。建設機械としては、動力源として蒸気機関を利用することになった動力革命に登場する。この発明により建設機械は大きな発展をとげた。1980 年代に入ると、エレクトロニクスの発展により電気制御をとまなうメカトロニクス技術と融合され、近年はインターネットの普及にとまなう、自動化、情報化の流れの中で、単独で動く建設機械から、遠隔コントロールを通しての無人化の利用が始まっている。このように、建設機械への電子、電気製品の搭載は拡大している。

1980 年以降の電気製品の普及にとまなう、モーター等利用した大型機器から送出される不要電磁ノイズが無線通信や、TV、ラジオ受信機器に障害を与えることが問題になってきた。制御回路の発展により高速なスイッチングをとまなう半導体利用が進み、電気製品に多くの障害を与えることになった。この問題に対処するため、1930 年代になると、IEC（国際電気標準会議）など、国際機関が審議を開始、CISPR が担当部署になり、EMC 規制について議論が開始され規制が形作られた。

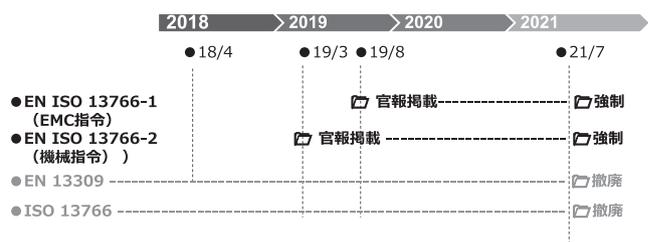
2. EMC 規制への流れと対象範囲

欧州においては、1993 年に EU（ヨーロッパ連合）が誕生し EC 指令から EU 指令に拡大している。その中で、機械指令、低電圧指令とともに、電磁適合性に関する EMC 指令が制定され、EC 加盟国に輸出（流通）

するには EU（EC）指令に適合していることが必要となった。

建設機械に対しての規制は、1999 年に機械の安全面からの要求になる ISO 13766 が策定され、次に 2000 年に、欧州 EN 規格の要求である EN 13309 が発行された。欧州連合（EU）では、機械指令、および EMC 指令において、これら両規格の適合性が必要となった。

2021 年 6 月 30 日に、EN 13309 および ISO 13766 が撤廃となる。2019 年 8 月発行の EMC 指令の官報により、新たな規格 EN ISO 13766-1:2018 が発行された。2019 年 3 月発行の機械指令の官報により EN ISO 13766-2:2018 が、2021 年 7 月 1 日から強制化となった。（図—1）。これにより、放射イミュニティの上限周波数の拡大と建設機械本体への電波照射が求められるようになった。この変更は、電子サブアセンブリ（以後 ESA）単位で対応していた EMC 試験要求に関して、建設機械本体での試験が必要となったことを示唆する。同時に、1 GHz 以上の電磁放射イミュニティ試験に関しては、代替え法の設定がされていないため、建設機械本体への試験が可能な試験設備が求められることになった。

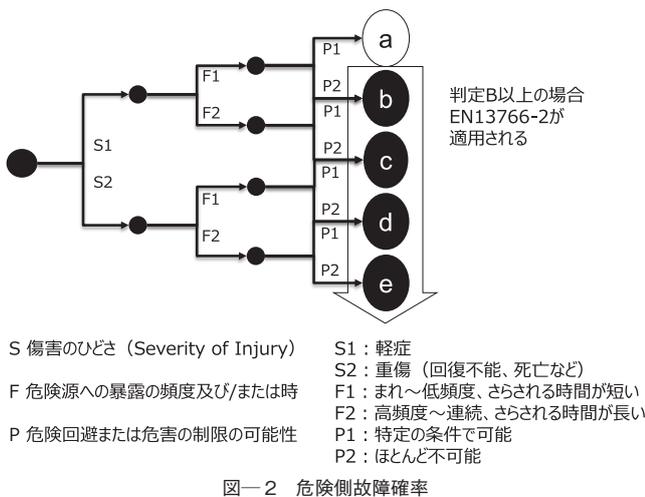


図—1 EMC 規格の変遷

3. 規格の要求

規格の要求する対象範囲は、ISO 6165：2012 に土木機械が、ISO / TR 12603：2010 に建物（たてもの）建設機械として記載されている。土木機械は、採掘、積載、運搬、作業中の道路、ダム、採石場、鉱山、建築現場などでの土、岩、その他の材料の掘削、拡散、圧縮、溝掘りなどの機械設備である。建物建設機械は、掘削（くっさく）および基礎設備コンクリート、モルタル、および処理補強材の準備、運搬、圧縮に使用される機器、道路建設およびメンテナンス作業に当たる機械設備である。ただし、外部電源から供給をうける機械設備には適用されない。

規格の構成としては、EMC 指令で要求される規格が EN 13766-1、機械指令で要求される規格が EN13766-2 の構成となっている。EN13766-1 では、一般的な電磁環境条件化での EMC 評価のためのテスト方法と許容基準が示され、対象とされている機械全てが対象となる。EN13766-2 では、機能安全に関する追加の要求が記載されている（図—2）。



試験サンプル数により限度値、印加レベルが設定されている。EN 13766-1 では、単一の試験片を使用して同様の機械の母集団のパフォーマンスを判断する場合、エミッション試験は、規格に記載されている限度値よりも 20% 厳しい限度値での評価が必要になる。イミュニティ試験は、規格書に記載されている印可レベルから 25% 厳しい条件にて試験が必要になる。ただし、静電気放電試験、伝導過渡現象の試験はこれに該当しない。EN 13766-2 では、単一サンプルでの印加レベルを規定しており、複数サンプルで試験を実施した場合は、20% 減での試験が可能となる。

規格の試験要求（図—3）は、EN 13766-1 では、

広帯域および狭帯域の電磁放射エミッション、電磁放射イミュニティ、静電気、伝導過渡現象、EN 13766-2 では、電磁放射イミュニティ、静電気、伝導過渡現象となる。

● EN13766-1 試験項目

試験項目	参照規格	対象
電磁放射エミッション	Annex B, C	機械 / 電子部品
電磁放射イミュニティ	ISO 11451-2	機械 / 電子部品
静電気	ISO 10605	機械 / 電子部品
伝導過渡現象	ISO 7637-1,-2 ISO16750-2	----- / 電子部品

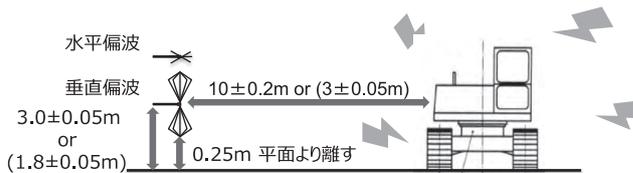
● EN13766-2 試験項目

試験項目	参照規格	対象
電磁放射イミュニティ	ISO 11451-2	機械 / 電子部品
静電気	ISO 10605	機械 / 電子部品
伝導過渡現象	ISO 7637-1,-2 ISO16750-2	----- / 電子部品

図—3 規格の試験要求

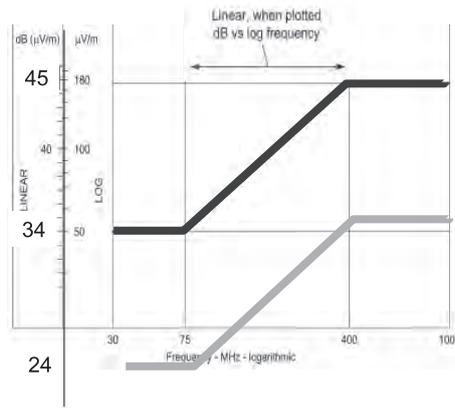
(1) 電磁放射エミッション

電磁放射エミッションは電気機器から放出される不要な電磁波ノイズと規定されている。この電磁波ノイズは、空間や電線路を伝搬して他の電気機器に影響を与える可能性があり、この障害を未然に防ぐため、電磁波ノイズには定められた限度値が制定されている。電磁放射エミッション試験は、建設機械から 3m もしくは 10m の距離に受信用アンテナを設置して、受信周波数、30 MHz ~ 1,000 MHz の範囲での試験対象機器から放射される電界強度の測定を行う（図—4）。アンテナ偏波は水平、垂直の各々で測定される。



測定は、広帯域ノイズ（特定の測定装置または受信機よりも広い帯域幅を持つ放射ノイズ この規格では 120 kHz）と、狭帯域ノイズ（特定の測定装置または受信機よりも狭い帯域幅を持つ放射ノイズ）で定義され、限度値は、図—5 に示すように、10m の距離では、30 MHz ~ 75 MHz の周波数帯域で 34 dB (μV/m)、75 MHz ~ 400 MHz の周波数帯域で 34 ~ 45 dB (μV/m) に対数的（直線的）に増加、400 MHz ~ 1,000 MHz の周波数帯域では、45 dB (μV/m) 以下と定義される（図—5）。

- [広帯域] *10m 限度値
 ✓ 3mで実施時は10dB(μV/m)加算
- [狭帯域] *10m 限度値
 ✓ 3mで実施時は10dB(μV/m)加算

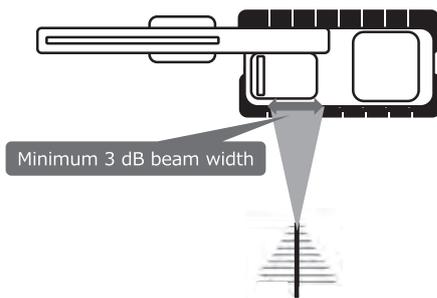


図一5 限度値

動作環境は、広帯域測定時と狭帯域測定時で異なる。広帯域測定時には、継続的に使用されていると考えられる広帯域エミッションの全ての発信源(ソース)は、試験中動作させる必要がある。それは、操作時15秒以上動作状態になっているすべてのデバイスが対象になる。機械がエンジン駆動の場合、エンジンは通常の動作温度で動作させ、ニュートラル状態にする。この場合、速度設定メカニズムが電磁エミッションに影響を与えないように注意が必要となる。各測定中、Spark ignition (火花点火) については、単発シリンダの場合、2,500回転、複数シリンダの場合、1,500回転での試験が必要になる。ディーゼルエンジンについては公称速度の±10%と規定される。

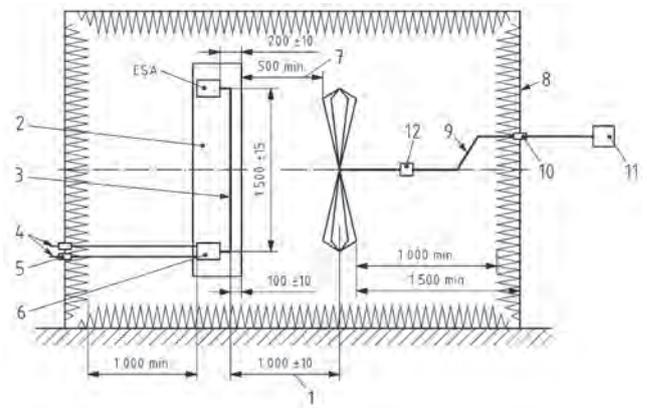
狭帯域測定においては、建設機械のすべての電子システムは、建設機械を固定した状態で通常の動作モードとなる。このときの条件としては、機械のすべての電子システムは、機械を固定した状態で通常の動作モードにし、イグニッションまたはエンジン運転制御をオンにしエンジンは作動させない。

受信アンテナの受信エリアが機械上の既知の広帯域・狭帯域ソースをカバーすることや、建設機械が大型の場合、アンテナのビーム幅を超えることが予想されるのでそれらを考慮する必要がある(図一6)。



図一6 有効ビーム幅

ESA への測定は、建設機械本体と試験時の構成自体が異なる(図一7, 8)。電子部品の配置は、非導電性の低比誘電率材の金属接地面から、50mm離さなければならず、グランドプレーンに平行なテストハーネスの長さは、 $1,500 \pm 75$ mm でなければならない。などの規定に従う必要がある。上記は、試験規格ISO11452-2に定義されている。



- 1 アンテナの軸またはログの最も近い素子に対して 周期配列 : $1\,000 \pm 50$
- 2 大地面が壁に接着されたテストベンチ
- 3 テストハーネス 1500 ± 75 長、大地面上 $50 \cdot 10$
- 4 試験対象への電源供給
- 5 フィードスルー
- 6 ANを含む接続ボックス
- 7 最も近い放射素子500分。エッジグランドプレーンから
- 8 シールドエンクロージャ
- 9 二重シールド同軸ケーブル
- 10 フィードスルー
- 11 測定受信機
- 12 アンテナに近接したアンテナマッチングユニット (必要な場合)

図一7 ESA 試験構成図

(2) 電磁放射イミュニティ

電磁放射イミュニティとは、外部からの電磁波に対する耐性のことと定義され、建設機械が性能劣化(もしくは許される範囲の性能劣化)で動作できるかの確認要求である。

EN 13766-1 では、24 V/m の電界レベルが要求され、単一サンプルでの試験では、30 V/m での電界レベルが必要となる。印加波形には、20 MHz ~ 800 MHz は 80% AM 変調、800 MHz ~ 2,000 MHz は、 $t_{on} 577 \mu s$, period 4,600 μs の PM 変調が印加される。動作の判定基準は、すべての機能は、曝露中および曝露後に設計どおりに機能することが要求される。EN 13766-2 では、より強い印加レベル条件となる (図-8)。この図に示すテストレベルの値は、単一サンプルのテストに適用となるため、複数のサンプルで実施の場合は、20% 減での試験が可能である。

● EN13766-1 電磁放射イミュニティ 試験レベル				
判定基準	参照規格	周波数	変調	試験規格
A	30 V/m	20-800 MHz	AM	ISO 11451-1:2015
		800~2000 MHz	PM	
● EN13766-2 電磁放射イミュニティ 試験レベル				
判定基準	参照規格	周波数	変調	試験規格
A or FS	60 V/m	20-80 MHz	AM	ISO 11451-2:2015
	100 V/m	80-800 MHz		
	10 V/m	2.0-2.4 GHz	PM	
	5 V/m	2.4-2.7 GHz		

図-8 電磁放射イミュニティ試験レベル

判定基準は、EN 13766-1 での判定基準に加え、建設機械の安全関連機能が意図したとおりに動作する場合、つまり、ISO 13849-1:2015 で定義されている安全状態に移行する場合は、性能要件は満たされると判断される。

建設機械本体への試験の事前準備としては、電界基準点と動作モードの確定が必要となる。これらは、マシン固有であるため事前に確認が必要となる (図-9)。

試験時の動作状態についてはスタンバイモードを含め、全ての機能が動作されているモードで試験を実施する必要がある。オンボードソースへの確認試験も必

要となる。試験時のセットアップは、次の規定に従う必要がある。

- ・電磁波発生装置の放射要素は吸収材の 0.5 m 以内及びシールドルームの壁 1.5 m 以内に近づけてはならない。
- ・基準点からアンテナの位相中心へ水平方向に 2 m 以上は離す必要がある。
- ・床から 0.25 m 以上、アンテナのいかなる部分も確保する必要がある。
- ・送信アンテナと試験サンプルを結ぶ直線経路上に、吸収材を配置してはならない。

ESA への放射イミュニティ (図-10) の試験要求は機械への要求とは異なる。印加レベルは機械と同様の 24 V が要求される。

(3) 静電気試験

静電気放電試験は人体に帯電した静電気が放電時に引き起こす妨害を模擬したもので、模擬する帯電量と放電状態によって試験機の静電容量と放電抵抗は組み

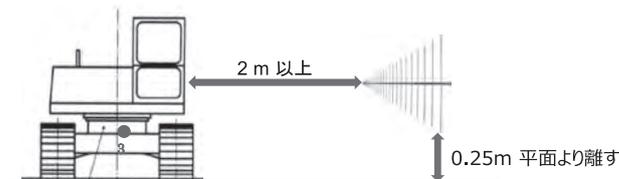
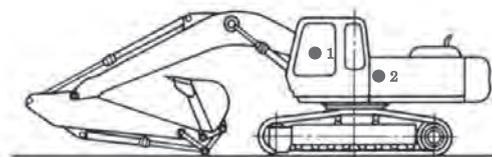
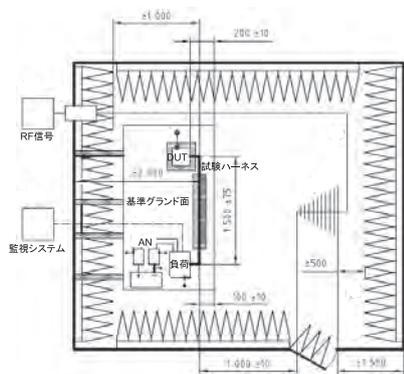
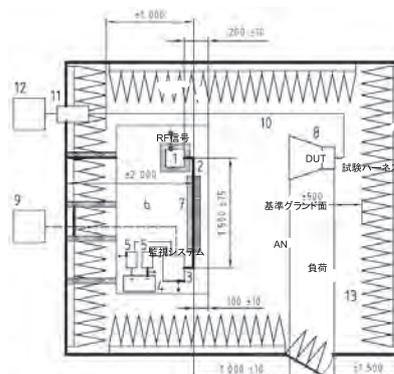


図-9 電界基準点 (1, 2) とアンテナ位置の例



ログペリオディックアンテナ



ホーンアンテナ (1 GHz 以上)

図-10 放射イミュニティセット試験構成図

合わせされる。これは、標準使用時での静電気印加(例えば、オペレーターが接触することによる静電気)の発生为建设機械またはESAへの影響の確認試験になる。(図-11, 12)参照規格はISO 10605。試験環境は、 $25 \pm 10^{\circ}\text{C}$ 相対湿度は20%~60%の環境が要求される。

動作モードは、建設機械を通常モードや客先指定の動作モードにて実施し、車両のエンジンはドライブ又はアイドルモードで動作しなければならない。ESD印加ポイントは、建設機械毎に確認し設定する。主な印加ポイントは、乗りこむ際に人が触れるところ、または、操縦席周りになる。

印加レベルとしては、EN 13766-1は $\pm 4\text{ kV}$ の接触および気中放電、 $\pm 6\text{ kV}$ の接触放電、 $\pm 8\text{ kV}$ の気中放電、EN13766-2は、 $\pm 8\text{ kV}$ の接触放電、 $\pm 15\text{ kV}$

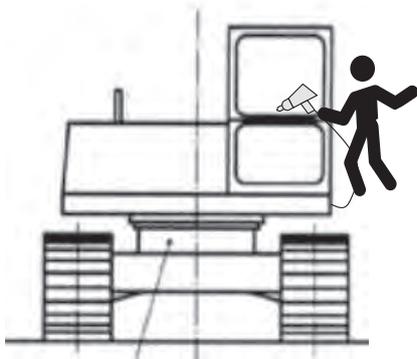


図-11 機器本体へのESD試験例

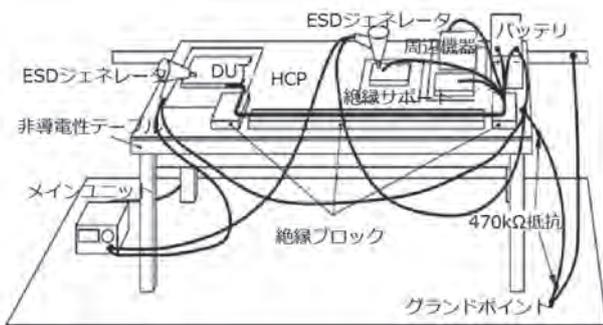


図-12 ESAへのESD試験構成図

の気中放電となる。

静電気印加をシミュレートするために設定された、印加電流のカーブを示す。(図-13)である。左の波形は金属のカギなどを持った人から金属を伝い放電されることを意図した電流波形で、放電抵抗は $330\ \Omega$ である。右の波形は人の指などからの直接の放電を意図した放電抵抗 $2\text{ k}\Omega$ 設定のカーブである。

EN 13766-1の判定基準は、 $\pm 4\text{ kV}$ 印加時は判定基準Aを、それ以上は判定基準C、EN 13766-2は、判定基準Aまたは判定基準FSが要求される。判定基準Aは、デバイス/システムのすべての機能は、曝露中および曝露後に設計どおりに機能する、判定基準Cは、デバイス/システムの1つ以上の機能が曝露中に設計どおりに動作しないが、曝露終了後、自動的に通常の動作に戻る、判定基準FSは、電気/電子コンポーネントを使用して安全状態に入るための安全関連の機械/制御システムの動作と定義される。なお、判定基準FSについて、各々の機材の安全状態がどのような状態となるものかは、それぞれに定義するものとする。

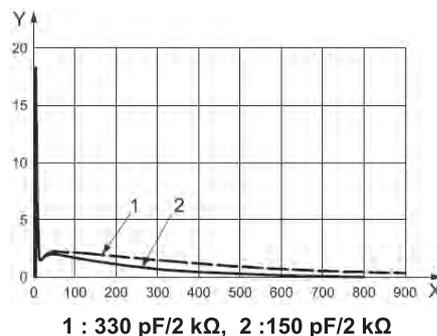
(4) 伝導過渡現象試験

伝導過渡現象試験は、ある定常状態から別の定常状態に移るまでに起こる電圧や電流などの時間的な変化と定義される過渡現象源とドレイン間の導体を介して、機械またはコンポーネントまたは個別のESAの電源配線に分布する過渡電圧または電流を評価する試験である。伝導過渡現象の試験は、伝導性エミッションと伝導性イミュニティに定義される。

伝導性エミッションは、ソレノイドなどのより高いパルスを生成する可能性のあるデバイスについて、他の高誘導性デバイス(ハーネスを含む)および高速スイッチング負荷が、ESA試験の基準制限値未満のパルスのみを生成するようにするものとする。これは、誘導性負荷からの電源の遮断時に発生する過渡現象を



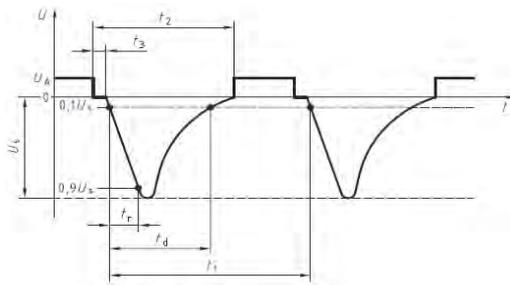
1 : 330 pF/330 Ω , 2 : 150 pF/330 Ω



1 : 330 pF/2 k Ω , 2 : 150 pF/2 k Ω

図-13 ESD印加電流カーブ

● Pulse 1



Parameter	12 V system	24 V system
U_s	-75 V to -100 V	-450 V to -600 V
R_i	10 Ω	50 Ω
t_d	2 ms	1 ms
t_r	1-0 μ s	3-1.5 μ s
t_1^a	0.5 s to 5 s	
t_2	200 ms	
t_3^b	< 100 μ s	

^a t_1 shall be chosen such that the DUT is correctly initialized before the application of the next pulse
^b t_3 is the smallest possible time necessary between the disconnection of the supply source and the application of the pulse.

図—14 伝導過渡現象印加パルス例

模擬したものである。エミッションは、対象製品の電源のスイッチやリレーなどを、開閉した際に電源線上に発生する過渡エミッションを測定する。発生した過渡エミッションは電圧プローブとオシロスコープを用いて測定を行う。

伝導性イミュニティは、機能ステータスクラスの試験レベルが適用される。機能の実行ステータスは、すべての異なるチェックパルスの試験前に指定する必要がある。

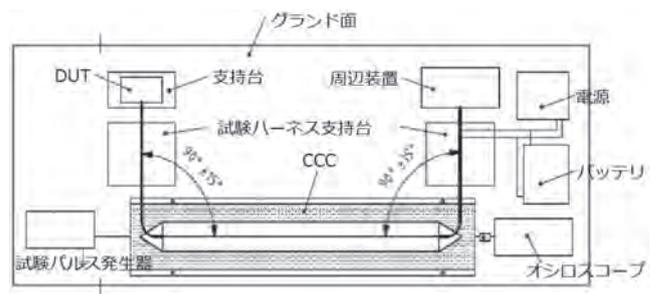
ESA の放出のためのパルスは、1 から 5b までのパルスが定義されており、各々印加する。

例として Pulse 1 の波形を示す。誘導性負荷からの電源の遮断時に発生する過渡現象を模擬と定義され、この信号を印加することになる (図—14)。

試験セットアップとしては、Capacitive coupling clamp 法, Direct coupling capacitor 法, Inductive coupling clamp 法がある。例として, Capacitive coupling clamp 法における試験構成例を示す (図—15)。

4. おわりに

情報通信技術 (ICT), 人工知能 (AI) の進化とともない, 自動運転, 動力の電動化, 情報のクラウド管理など, 多方面にわたり, 建設機器の電子化は進んでいくと思われる。EMC の要求も, 電気ノイズ, ノイズ耐性を主とした耐環境の試験から, 通信環境, 通信品質への規格適合の要求, 通信プロトコルの適正化, セキュリティの対応など, 建設機械の進化とともに,



図—15 伝導過渡現象試験構成図

要求内容が拡大化されている。今後も、最新の世界の規格の情報提供、試験環境の提案などを通じて、次世代建設機械業界の発展に貢献できると考えている。

JCMA

《参考文献》

- 1) ISO 13766-1 First edition 2018-04 Earth-moving and building construction machinery — Electromagnetic compatibility (EMC) of machines with internal electrical power supply — Part 1: General EMC requirements under typical electromagnetic environmental conditions
- 2) ISO 13766-2:2018 First edition 2018-04 Earth-moving and building construction machinery — Electromagnetic compatibility (EMC) of machines with internal electrical power supply — Part 2: Additional EMC requirements for functional safety
- 3) B 9705-1 : 2019 (ISO 13849-1 : 2015)

【筆者紹介】

下地 浩信 (しもじ ひろのぶ)
 (株)UL Japan
 コンシューマーテクノロジー事業部
 コマーシャルグループ
 EMC/無線セールス



転圧プロセスの自動化により一貫した締固め作業を実現する半自動振動ローラ締固めシステムの開発

田 中 誠

建設機械を使用した施工現場における熟練オペレータ不足の課題を解決し、生産性、安全性を向上させる施工技術として ICT を利用した情報化施工が広く普及してきた。そして建設機械のコントロールについては更なる自動化や自律運転といった技術へのニーズが高まり、既にそれらは一部実現され建設施工現場で運用され始めている。

そこで、高い締固め品質を確保し、生産性、安全性を向上する半自動振動ローラ締固めシステム（以下「本システム」という）を開発した。本稿では、その概要について紹介する。

キーワード：Cat[®] Command for Compaction, 半自動振動ローラ締固めシステム

1. はじめに

国土交通省は測量から検査まで ICT を活用する i-Construction を推進しており、建設機械を使用した施工では、マシンガイダンスやマシンコントロールを利用した情報化施工が広く実施されている。経験の浅いオペレータによる作業においても熟練オペレータによる精度の高い作業を期待することが出来るこれらの技術は急速に普及し、精度の高い施工の実現に加えて、高効率な作業により生産性を高め、かつ、現場内への人の出入りを削減できることによる事故発生リスクの低減など安全性も高めている。更に建設機械のコントロールは自律運転への関心が高まっており、既にそれらの技術は実現され活用され始めている。

本システムは自律運転を実現したものではないが、自律運転の実現を見据えた第一段階の技術として開発し国内導入したので本稿ではその概要について紹介する（写真-1）。



写真-1 本システムを装備した振動ローラ

2. システム概要

(1) 転圧プロセスの自動化

本システムは振動ローラの転圧作業の操作をアシストするシステムで、オペレータが入力する転圧パラメータに基づいて転圧作業のプロセスを自動化する。オペレータはキャブ内に着座している必要があり、無人化、自律運転を実現する技術ではない。また、本システムは RTK-GNSS 測位方式を利用している、正確な車両の位置情報を基に車両のコントロールを行っているほか、転圧作業エリアの設定にも利用している。

本システムは転圧回数、速度、方向、ステアリングを自動化する。オペレータは事前にいくつかの転圧パラメータを設定する必要があるが、それらは転圧回数、速度、転圧レーンのオーバーラップ幅でオペレータは本システムのディスプレイから容易に入力し設定することが出来る。また、振幅、振動数は振動ローラ本体に設定されている条件で制御される。本システムはこれらあらかじめ設定された転圧条件に基づき転圧プロセスを自動化し一貫した転圧作業を実現するシステムである（図-1）。



図-1 転圧プロセスを自動化した一貫した転圧作業

(2) 転圧作業エリアの設定

国内で広く普及している GNSS を利用した締固め回数管理システムでは転圧作業現場の 3 次元設計データを必要とするが、本システムは設計データを必要としない。

転圧作業エリアの設定は振動ローラと GNSS の位置情報を利用して行われる。オペレータは振動ローラを移動させて転圧作業エリアのポイントとなる位置を本システムに記憶させることにより転圧作業エリアを設定するが、オペレータが行うのは振動ローラの移動と、ディスプレイ上に表示されている Record-Pause-Stop ボタンを押してポイントとなる位置を記憶させるだけであり、容易な操作で転圧作業エリアの設定を行うことができる。

(3) 搭載機種

本システムは土工用振動ローラ用のシステムである。現在、CS56B（運転質量 11.5 t）と CS78B（運転質量 18.7 t）の 2 機種に搭載し使用することができる。

3. 本システム構成 (図—2)

(1) GNSS 固定局

本システムは RTK-GNSS 測位方式を利用している。作業現場では GNSS 固定局を設置するか、または既に設置されている GNSS 固定局を利用する。

(2) ポジショニング関連装備

GNSS アンテナを 2 個装備している。リアルタイムに車体の方向を把握し、正確な車両位置の検出を可能としており、転圧作業エリアの設定と作業エリア内での一貫した正確な締固め作業を実現させている。そのほか、GNSS 固定局から補正情報を受け取るための無

線機を装備している。

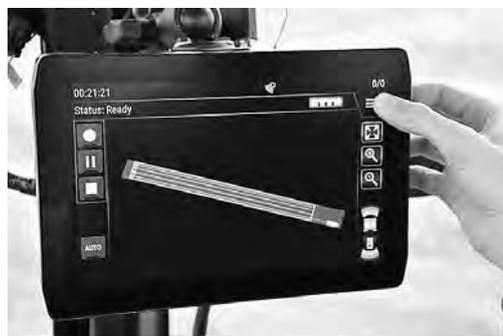
(3) ポジショニング以外の装備

Command for Compaction ディスプレイ (写真—2)、オペレータ着座感知システム、電気制御油圧ステアリングシステム、IMU センサを装備している。ディスプレイは 10 インチのタッチスクリーンカラーディスプレイで視認性に優れ、直観的な操作が可能である。転圧パラメータの入力や転圧作業エリアを設定する操作は容易にディスプレイから行うことができる。

オペレータ着座感知システムによりオペレータの着座を確認できない場合、本システムによる転圧作業は開始出来ない。また、自動転圧作業中に未着座を検出した場合も本システムの自動は解除され車両は停止する。

ステアリングシステムはエレクトリックコントロールユニット、ステアリングホイールセンサ、ステアリングシリンダ、電気制御油圧ステアリングバルブで構成されており、ステアリングを自動制御する。

IMU センサは車両の勾配を検出している。本システムは縦断・横断勾配が規定値に達するとオペレータに注意喚起し、更に範囲を超えた場合には本システムによる自動は解除され車両は停止する。



写真—2 Command for Compaction ディスプレイ



図—2 システム構成

- 転圧作業現場
- GNSS固定局
- 車両装備
- ポジショニング
 - 2x GNSS アンテナ/レシーバ
 - 2x RTK ソフトウェアキ
 - 無線機
- ポジショニング以外
 - コマンドコンパクションディスプレイ
 - オペレータ感知スイッチ
 - 電気制御油圧ステアリングシステム
 - IMUセンサ
- 障害物検出レーダ
 - 障害物検出レーダ

(4) 障害物検出装置

車両の前後にレーダによる障害物検出装置を装備している。障害物を検出し車両の速度と距離に応じてディスプレイ上の障害物検知アイコンの点灯と音により段階的にオペレータに注意、警告を促す装置である。

当装置はあくまでも警告を促すのみで障害物検出時に車両を停車させるといった制御機能はない。

4. システムの操作

(1) システム操作手順

システム操作手順は転圧作業エリアの設定、転圧パラメータの入力、自動スイッチオンの三つの流れとなる。容易な設定とシンプルな操作で転圧プロセスを自動化し一貫した高い品質を実現する締固め作業を行うことができる。

(a) 転圧作業エリアの設定

転圧作業エリアは車両を移動させながらディスプレイ上の Record ボタン、Pause ボタン、STOP ボタンを押しポイントを本システムに記憶させるポイント方式の他、転圧エリアの両サイドを記憶させる方法、車両を移動させながら連続的に転圧エリア全体を記録させる方法がある。

ポイント方式では転圧エリアの四つ角それぞれのポイントを本システムに記憶させる。設定の手順は、スタート位置で Record ボタンを押し、続いて Pause ボタンを押した後に車両を移動させる。同様の操作を最初の転圧レーンの先端位置と最終レーンの開始位置にて行い、最後に最終レーンの先端で STOP ボタンを押す流れとなる。このシンプルな操作により転圧作業エリアが設定され、ディスプレイ上に転圧作業エリアが生成される (図-3)。

(b) 転圧パラメータの入力

三つのパラメータの入力を行い事前の設定は完了する。パラメータは転圧回数、速度、転圧レーンのオーバーラップ幅で、オペレータは本システムのタッチス

クリーンディスプレイから容易にこれらのパラメータを入力することが出来る (図-4)。

(c) 自動スイッチオンで作業開始

転圧作業エリアが設定され、転圧パラメータの入力が完了した後、本システムが作動するにあたり支障がない状態になるとディスプレイ上に AUTO ボタンが出現する。AUTO ボタンを押すことにより設定された転圧条件に基づいて本システムによる自動転圧作業が開始される (図-5)。

(2) システム作動と停止

(a) インターロック機構

本システムはインターロック機構を備えており、一貫した転圧作業と安全性を確保している。

インターロック機構の項目は走行レバーニュートラル位置、GNSS 精度、オペレータ着座、障害物検知装



図-4 転圧パラメータ入力画面



図-5 生成された転圧作業エリアとディスプレイ上の AUTO ボタン



図-3 Record-Pause-STOP ボタンとポイント方式での設定：ディスプレイ (左)、転圧作業現場 (右)

置の稼働、転圧エリア領域、車両自体の障害、縦断・横断勾配、駐車ブレーキ、エンジン作動があり、それらすべてが規定の条件を満たすことにより本システムによる自動転圧作業は可能となる。

尚、自動転圧作業中に条件を満たさないイベントが検出された時点で自動転圧作業は解除される。

(b) 稼働中の自動転圧作業停止

オペレータはいつでも本システムによる自動転圧作業を停止させ手動で車両をコントロールすることが出来る。本システムによる自動転圧作業が解除される項目は、自動ボタン、緊急停止スイッチ、駐車ブレーキ、前後進レバー操作、ステアリング操作、GNSS精度、縦断・横断勾配、車両自体の障害、過度なスリップ検出、速度変更、ギア変更、スロットルコントロールである。

また、本システムは自動転圧作業を停止した場所を記憶しており、停止場所から自動転圧作業を再開することが出来る。

5. システム使用の効果

(1) スキルギャップの解消

オペレータの技量に関係なく、設定された転圧回数、速度、オーバーラップ幅、振幅、振動数で転圧作業は実行される。複数のオペレータが1台の機械を操作する必要のある作業現場であっても均一な転圧プロセスが維持される。

(2) 締固め精度の向上

一定の速度と正しい転圧回数、そして一貫した正確なオーバーラップは締固めの精度を向上させることが出来る。



写真-3 初心者による転圧 (左) とシステムを利用した転圧 (右)

本システムの使用により重複した転圧や転圧不足の箇所は大幅に削減されるが、初心者オペレータによる転圧作業と比較した場合、転圧エリアのカバレッジは最大60%向上することが期待できる (写真-3)。

6. おわりに

本システムの導入によって、複数のオペレータによる転圧作業や、経験の浅いオペレータによる作業において一貫した転圧プロセスを実現することが出来る。転圧作業のサポートシステムとして活用いただき、締固めの品質確保に役立てていただければと考えている。国内では他にも自律運転、無人化技術への取り組みが盛んに行われているので、本システムの導入を足掛かりに更なる研究開発により国内ニーズに対応する新技術の開発と導入につなげていきたい。

JCMA

[筆者紹介]

田中 誠 (たなか まこと)
キャタピラー・ジャパン合同会社
舗装機械担当



5G 高速通信システムによる建設機械遠隔操作技術

建設機械遠隔操作技術の一般工事利用に向けた取り組み

堀 尾 訓 之・蔵 多 正 人・岡 本 邦 宏・古 屋 弘

これまで建設機械の遠隔操作は、様々なシチュエーションで技術開発や一部実用が行われてきたが、従来の実用レベル通信手段では、建設機械を搭乗操作と比べた時に、違和感なく操作できる通信速度で、映像等を送受信することができなかった。故に通信を専用回線で確保するなどの制約に縛られるため、災害復旧などの限られた条件の下でしか行われることがなかった。しかし、「超高速」「超低遅延」「多数同時接続」を特徴とする5G通信を用いることで、建設機械の遠隔操作が、より一般的なものとして現場投入される可能性が広がっている。建設機械の完全自動・自律化運転を実現するために欠かせないものとして、遠隔操作技術は一層進化、確立することが求められている。本稿ではこのたび実装した実証実験の概要と成果について報告する。

キーワード：最先端通信技術 5G、建設機械自動・自律化、遠隔操作技術

1. はじめに

2020年3月より国内で5Gのサービスが開始されたが、これに先立って行われた総務省の「5G総合実証試験」において、KDDIを実施主体として、大林組、日本電気（NEC）は、建設分野で5Gを用いた効果の検証を2017年度から実施してきた。2018年度までは主に災害復旧を想定したシステムを構築し、5Gの高速、大容量を活かした建設機械の遠隔操作において、施工効率向上などの成果を得ることができた。最終年度となる2019年度は、道路工事への適用を想定し、遠隔操作による統合施工管理システムを開発、実証試

験を行った。新たに開発した統合施工管理システムでは、遠隔操作による丁張レス施工とレーザーキャナを用いた高精度施工管理を組み合わせた。本稿では、この実証試験における建設機械遠隔操作にクローズアップし、実施概要と成果について述べる。

2. 実証試験概要

道路の路体・路床の造成をイメージし、材料土の掘削積み込み（油圧ショベル）、運搬（クローラーキャリア）、敷き均し（ブルドーザ）、転圧（振動ローラ）の4台の建設機械のうち、前3者を5Gによる遠隔操



図-1 5G実証試験シナリオ



図-2 試験エリア配置

作, 振動ローラを自動運転とした。また2台のレーザー
 スキャナによるリアルタイム出来形管理も合わせ、工
 事箇所を無人とし、遠隔施工管理室より建設機械運
 転操作と施工管理を行う実験とした。5G 実証試験シ
 ナリオとして図-1にイメージを示す。試験は大林組
 JVが三重県伊賀市で施工中の川上ダムにて実施し
 た。試験エリア配置を図-2に示す。建機フィールド
 から約500m離れた遠隔施工管理室を無線エント

ランス回線で結び、遠隔操作と管理を行った。

建設機械遠隔操作における安全・品質・仕上がりに
 影響を与える問題点の抽出。および有人による搭乗操
 作と比較した施工効率の低下を少なくできる機器構成
 と手法について確認した。

(1) 映像伝送システム

安全で効率の高い遠隔操作を行うため、重要な映像
 伝送システムは以下の構成とした。各建機の前面に
 2Kカメラを3台、建機の周囲を監視する映像取得の
 ため、建機の上部に1.2K全方位カメラを1台設置。
 取得した映像はエンコーダにて映像圧縮を行い、基地
 局に5G通信にて伝送、デコーダにて復号し、振動セ
 ンサ等を付けた体感型操作席の前面にあるディスプレ
 イに表示した。違和感のない遠隔操作を行うためには
 映像遅延が短いことが必須である。カメラ映像取得
 からモニタ出力までの遅延は、これまで他で行って
 きた遠隔操作実証試験で、オペレーターが運転操作で
 気にならない映像遅延時間として、得ている経験値
 の200ms以下を目標とした。また安全確保を目的と
 して、動作確認のために建機1台あたり2台の俯瞰用
 2Kカメラ、施工エリア全体に対し1台の俯瞰用4K3D

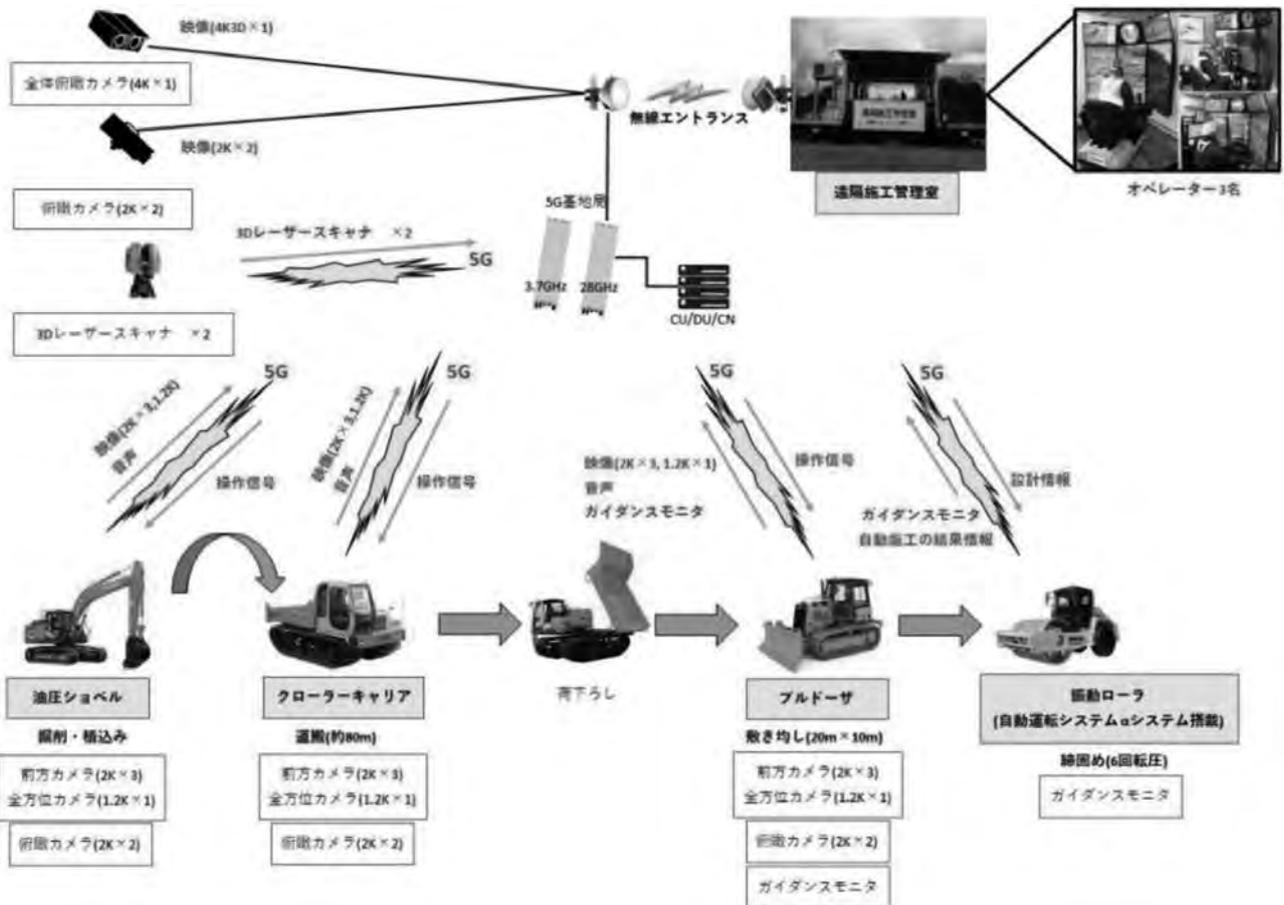


図-3 映像機器配置

カメラを設置した。この映像は5Gを経由せず遠隔施工管理室に伝送した。映像機器配置を図一3に示す。

(2) 汎用遠隔操縦装置 (サロゲート)

遠隔操作システムにはサロゲートを用いた。建設機械へ搭載するにあたり改造が不要で、遠隔操作と搭乗操作の切り替えを容易に行うことができるため、柔軟に使い分けが行えるサロゲートが最適である。本試験では油圧ショベル、クローラーキャリア、ブルドーザにサロゲートを搭載して、遠隔操作による試験を実施した。ブルドーザは他の建設機械と異なり、操作レバー先端部に速度調節やブレード操作入力部などがあったため、アクチュエータで操作レバーをコントロールしていた従来のサロゲートと異なり、電気的介入による操作信号でコントロールするサロゲートを新たに製作した。

(3) 遠隔施工管理室および体感型操作席

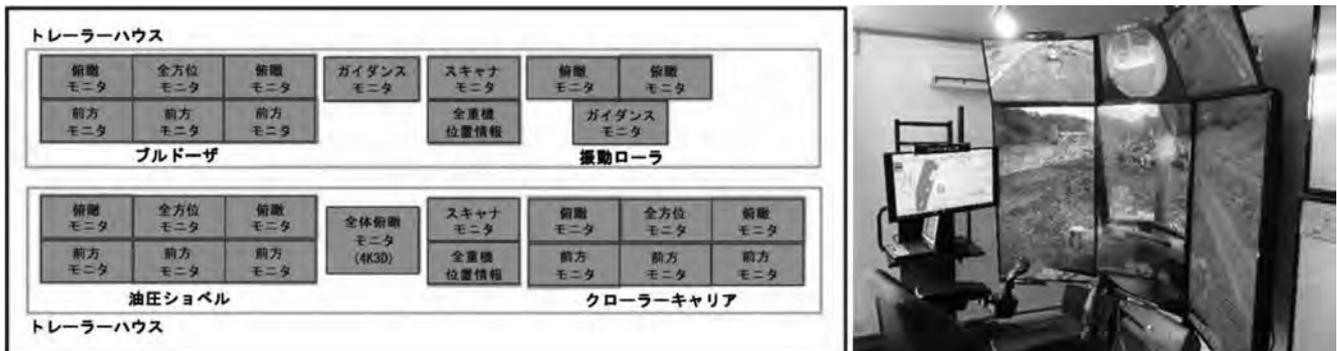
本試験では4台の重機を遠隔操作または自動運転制

御するために、トレーラーハウスを2台使用し遠隔施工管理室を構成した。モニタの配置と設置例を図一4に示す。オペレーターに臨場感を与えるため、各建機に外部ステレオ集音マイクと振動センサを取り付け、映像とあわせて音声・振動データを5G通信に乗せて遠隔施工管理室に送り、ステレオスピーカーおよび操作席に取り付けた重低音スピーカー（振動を操作席に伝達）で再生する「体感型操作席」を採用した。

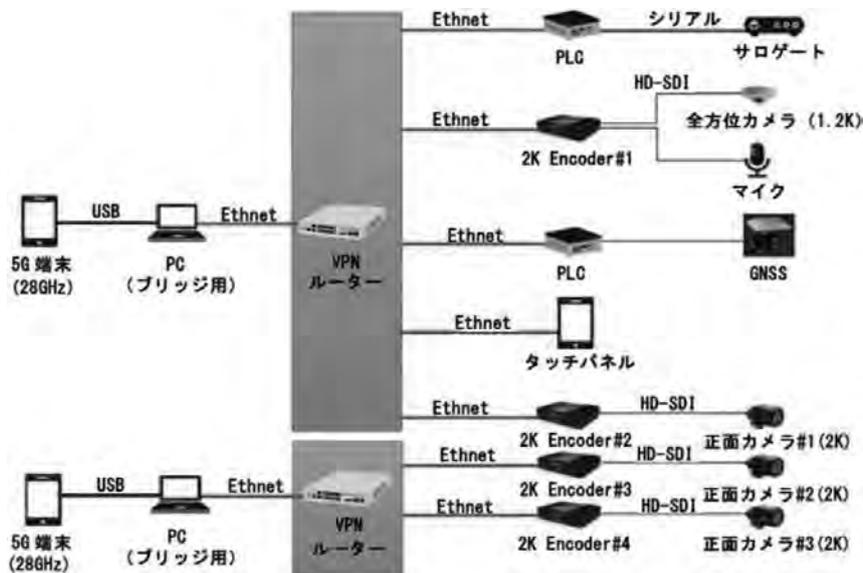
(4) 通信機器構成およびコーデック

通信機器構成は各建機及びセンサに5G端末を接続し、5G通信経由で各機器のデータを集約した。代表例として油圧ショベルに搭載した各機器と5G端末の接続構成を図一5に示す。なお5G基地局のある建機フィールドと遠隔施工管理室のある遠隔操作エリア間の約500mは、光ファイバーケーブル敷設が困難な場所において利用されることが多い、無線伝送路装置 (iPasolink) にて通信した。

今回の試験で用いたコーデックの仕様を表一1に



図一4 遠隔施工管理室モニタ配置と設置例



図一5 油圧ショベル搭載の各機器と5G端末接続構成

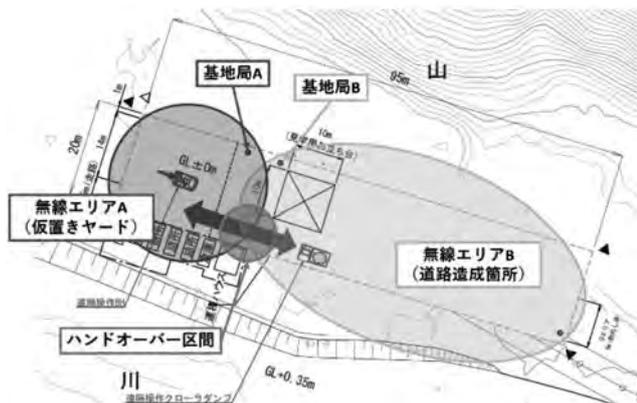
表一 1 コーデック仕様

項目	仕様	
映像	符号化方式	MPEG-4 AVC/H.264 (ISO/IEC 14496-10)
	映像フォーマット	1080i:1920×1080@59.94Hz
	プロファイル	H.264
	符号化モード	CBR/VBR
音声	入出力	SDIエンベッドオーディオ
遅延		10ms
多重化	ストリーム形式	MPEG-2 TS(188/204byte)
制御	外部制御	HTTP Web制御
	入力信号	GenLock
その他		半二重コーデック 消費電力35W、動作環境0~50℃

示す。エンコード、デコードとも同一仕様のものを用い、今回の試験に用いる全映像を支障無く伝送できるフレームレート及びビットレートを60 fps, 10 Mbpsもしくは15 Mbpsと定め、事前試験を行うことで問題がないことを確認し、現場実証試験に臨んだ。

(5) ハンドオーバー対応

今回の実験では図一6のとおり2か所の基地局から、28 GHz2局, 3.7 GHz2局の計4局の電波エリアが構築されており、クローラーキャリアは2局の3.7 GHz帯エリアを跨いで移動するため、ハンドオーバーが発生する。今回のシステムでは、複数基地局でハンドオーバーが発生する状況で、IP通信において100~400 ms程度の応答遅延が発生するため、安全を確保しつつ遠隔操作に耐えられる範囲内の最適な機器の選定や閾値の設定が必要となる。



図一6 ハンドオーバー

映像伝送に関しては、応答遅延が発生しても映像がブラックアウトせず直前の映像を保持し、映像を再生し続けることができるエンコーダ、デコーダを使用することで、遠隔操作するにあたり違和感のない操作感覚となった。

3. 遠隔操作による道路造成試験

全ての建設機械を連携させる動作確認は、遠隔操作調整を含めて5日間で行った。そのうち試験は30 cm盛土2層の道路造成(20 m×10 m)を2日間に分けて実施した。道路造成試験の施工手順、および建設機械の動作を以下に示す。

- ①油圧ショベルで土砂を3回掘削し、クローラーキャリアに積込を実施。
- ②クローラーキャリアは土砂を約80 m先(片道)の道路造成箇所に運搬し、荷下ろしを実施。
- ③ブルドーザは運搬された土砂を2回から3回敷き均しを実施。
- ④振動ローラは道路造成エリア20 m×10 m内で6回の締固め作業を実施。

建機フィールドを3Dレーザースキャナでリアルタイム測量を行い、ガイダンスモニタと共に遠隔操作室に映し出し、カメラ映像から読み取る不陸の情報を補う、ヒートマップを運転操作の補助情報として使用した。

(1) 建設機械の作業効率

2日間の試験で、遠隔操作による各建機の稼働時間を算出した。各運搬及び造成に関わる作業時間を、国土交通省標準歩掛と比較すると、表一2に示すように、施工効率の平均値は1.4となった。

遠隔操作による施工では一般的に1.5~2.0倍の時間がかかる(作業効率は50~75%)とされていることから比較すると、作業シナリオの関係で施工効率にバラつきがあるものの、効率平均としては良好な結果となった。これは高精細な映像伝送をはじめとするシステム構成が良好であったこと、3Dレーザースキャナなどの補助情報が総合的に機能したこと、また搭乗操作では無線機を使ってまで、会話によるコミュニケーションを行うことが少ないが、複数のオペレーターが同室で操作することによる、各建機の相互コミュニケーションが活発に行われた結果と考えられる。

表一2 日作業量(土木工事標準歩掛:国土交通省2019.1)に基づく作業効率比較

建機	作業	日あたり標準作業量(m ³)	A:時間当たり作業量(m ³)	今回試験日あたりの土工量(m ³)	B:試験時の時間当たり作業量(m ³)	施工効率 B/A
油圧ショベル	掘削積込み	44	5.5	60	10.9	2.0
クローラーダンプ	運搬	50	6.3	72	13.1	2.1
ブルドーザ	敷き均し	320	40	72	13.0	0.33
						効率平均 1.4

(2) 道路造成結果

今回の試験では、20 m×10 m の造成エリア内に仕上がり厚 30 cm×2 層の造成を 2 日間で行った。一般的に土工事の場合の鉛直（高さ方向の）誤差は±5 cm 程度である。1 日目の施工においては、一部 20 cm を超える目標値との差を示す箇所があった。2 日目は、8 cm と前日に比べ目標値に近い結果となったが、スキヤナのコンター図からは一部に凸凹形状が認められた。これは仕上がり結果を左右するブルドーザの敷き均し作業で、マシンガイダンス情報や 3D レーザースキヤナの情報を加えても高さを均一に保つ操作は、やや困難であることが解る。ただし 2 日目は 1 日目と比較して誤差が小さくなっており、オペレーターの熟練度が上がれば施工精度が上がる可能性が認められた。さらに施工精度を向上させるためには、ブレード高さを自動制御できるマシンコントロールシステムを採用する必要があると考えられる。

(3) 映像通信遅延計測結果

建設機械の遠隔操作を行ううえで、重要なカメラ映像の通信遅延計測結果を図一七に示す。クローラーキャリアは目標である 200 ms 以下とはならなかったが、オペレーターの感想から十分に施工可能な遅延範囲に収まっていると判断した。クローラーキャリアの遅延時間が長くなった要因の一つに、ハンドオーバー対応として、エンコーダの圧縮率を高くし処理時間が高くなったことがあげられる。そのため通信遅延の閾値の設定が重要であり、今後も現場実証による実績の積み重ねが必要である。

4. おわりに

遠隔操作による一般施工では、以下のような観点から充分に実用性のある方法であることが確認できた。

- ①清潔で環境の良い遠隔施工管理室で作業ができる

ため作業環境が改善され、さらに安全に作業ができる

- ②統合施工管理システムにて遠隔操作をおこなうことにより、現場に作業員を配置する必要がなくなり、作業場所での安全性が向上する
 - ③出来形、品質がリアルタイムに確認できる
 - ④遠隔施工管理室で出来形や品質がリアルタイムに把握できるので、施工管理担当者はそれらの状況を容易に把握でき、不具合が発生した場合、迅速な対応が可能となる
 - ⑤遠隔や在宅就労による新たな雇用の創出や新たな労働力の掘り起こしにも寄与できる可能性がある
- 建設分野では、5G の多接続や高速・大容量の特性を活かすことで、飛躍的な生産性向上が期待される。また建設機械の遠隔操作のみならず、インフラの遠隔からの点検調査・リアルタイム診断なども活用できる可能性がある。

5G 通信はこれから成熟し、さらなる大容量化が実現するものと考えているが、今後、建設分野で上記のような活用を考えた場合、以下のような課題もある。

- ①山間部や過疎地域での作業が多いダム建設現場などでは、必ずしも商用の 5G ネットワークを利用できるとは限らない。このような場合、ローカル 5G の利用も視野に入るが、基地局や 5G 端末、およびローカル 5G 用のハードウェアなどのシステムの迅速な環境整備が重要である。
- ②ローカル 5G を利用した場合、そのバックボーンとなる回線等も重要であり、大容量データを既存のインフラでは送受信できない可能性がある。

今回の試験では、建設機械の遠隔操作に関する機器類の比較等は行っておらず、定量的評価を行うことはできないが、上記のような課題に対して、今後は様々な機器選定と手法を確立していく必要がある。建設機械の自動・自律化と共に進める遠隔操作技術は、建設業界での働き方を変えられる可能性がある。現地生産

建機	計測値			平均値 (ms)	ビットレート (Mbps)
	基準時差 (A)	計測値 (B)	B-A (ms)		
油圧ショベル	6"65	06"78	00"13	140	15
		06"79	00"14		
		06"79	00"14		
クローラーキャリア		06"86	00"21	220	
		06"87	00"22		
		06"88	00"23		
ブルドーザ	06"80	00"15	150		
	06"79	00"14			
	06"80	00"15			



図一七 映像通信遅延計測

を特徴とした建設分野が、拠点からの遠隔操作による施工を実現することで、製造業の工場に近い環境で作業できる可能性がある。これにより、多様な人材が建設工事に参加可能となり、建設分野でのダイバーシティの実現も期待できる。

J|C|M|A

《参考文献》

- 1) 古屋 弘, 森 直樹, 永嶋 充: 次世代高速通信 5G を用いた重機の遠隔操縦試験, 大林組技術研究所報, No.82, 2018
- 2) 建設無人化施工協会 技術委員会: 無人化施工の推移と展望, 建設の施工企画, No.681, pp.6-12, 2006.11
- 3) 猪原幸司他: 災害復旧における遠隔操作式建設機械の現状と最新の工事事例, 建設機械, Vol.41, No.5, pp.7-13, 2005.5
- 4) <https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/statistics/index.html>, 2020.6 閲覧
- 5) H. Furuya, Y. Tsukimoto, H. Koseki, T. Mansell, V. "Lee" Gallivan, K. Uchiyama: Innovative QC/QA Compaction Method for HMA Pavement using Intelligent Compaction (IC) Technology, The 11th International Conference on Asphalt Pavements, 2010.8
- 6) 根本 司, 高倉 拡, 古屋 弘: 舗装工事の品質管理の合理化= GPS と振動ローラの加速度応答を利用した検討=, 建設機械, 7月号, 2009.7
- 7) 古屋 弘, 小関裕二: 道路工事におけるインテリジェントコンパクションシステムの開発, 大林組技術研究所報, No.75, 2011
- 8) 森 直樹, 古屋 弘, 宮内賢治: 建設機械の改造が不要で着脱可能な装置による無人化施工技術の開発, 熊本城崩落石撤去へ汎用遠隔操縦装置「サロゲート」の適用事例, 建設機械施工 Vol.69, No.12, pp.58-63, 2017.12
- 9) 古屋 弘: (総説) 建設事業における情報化施工 (ICT) の活用, 基礎工 Vol.40, No.5, pp.2-7, 2012.5
- 10) 古屋 弘, 岩下正剛, 陣内英二, 蔵多正人, 岡本邦宏, 小林只和: 次世代高速通信 5G を用いた重機の遠隔操縦の高度化, 大林組技術研究所報, No.83, 2019
- 11) https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban14_02000390.html

[筆者紹介]

堀尾 訓之 (ほりお としゆき)
 (株)大林組
 西日本ロボティクスセンター
 担当課長



蔵多 正人 (くらた まさと)
 (株)大林組
 西日本ロボティクスセンター
 担当課長



岡本 邦宏 (おかもと くにひろ)
 (株)大林組
 西日本ロボティクスセンター



古屋 弘 (ふるや ひろし)
 (株)大林組
 本社技術本部技術研究所
 上級主席技師



吹付枠工省力化技術の開発

ラクデショット

川本卓人・森田晃司・窪塚大輔

のり面保護工で特に実績が多い吹付枠工の省力化を目的として新工法を開発した。高粘性、高流動のモルタルを吹付けできるシステムを開発したことで、これまでののり面上で実施してきた鉄筋・型枠組立作業を省略できる。また、汎用バックホウに所定の枠断面を構築できる自動吹付装置をアタッチメントとして取付けることで、吹付枠工の機械施工を可能とした。これらによって、のり面上における人力作業を大幅に削減できるため、安全性も向上する。本稿では今回開発した新工法について報告する。

キーワード：のり面、吹付枠工、省力化、機械化、自動化

1. はじめに

道路工事等に伴って人工斜面（のり面）が数多く造成されてきた。防災などの観点から、のり面の安定化やのり面保護が行われてきた。数あるのり面保護工のうち、吹付枠工は、特に実績が多い。この工法は、のり面上で鉄筋・型枠を組立てた後、型枠内にモルタルを吹付けて格子状の枠を構築する。すべての作業を人力で実施しており、現在に至るまで飛躍的な技術の発展には至っていない。のり面上で作業する熟練労働者の不足、のり面上での非効率な作業およびのり面からの転落・墜落災害の発生等課題が多い。また、国土交通省は、令和元年度以降、更なるICT活用による生産性向上を図るための要領、基準類を改定・発表している。その中で、ICT施工の工種が拡大され、令和元年度にはICTのり面工（吹付工）、令和2年度にはICTのり面工（吹付法枠工）が加えられた。吹付枠工が抱える課題の解決、技術の発展、ICT化を達成するべく、吹付材料や吹付技術を探索し、検討を重ねた。その結果、高強度鋼繊維補強モルタル、汎用バックホウおよび自動吹付装置を使用することで、断面200mm×200mmの吹付枠工を鉄筋不要、型枠不要で安全かつ誰でも簡単に構築できる新工法「ラクデショット」（以下「本工法」という）を開発した（写真—1）。

2. 吹付機の選定

吹付枠工の施工の中で最も人員を要するのは型枠・鉄筋の組立作業である（写真—2）。工法全体に占め



写真—1 本工法



写真—2 鉄筋・型枠組立作業

る割合は、積算上約50%である。鉄筋・型枠の組立て作業を省略できれば大幅な省力化に繋がる。しかし、鉄筋は枠の曲げ耐力を確保する上で重要な役割を担っている。そこで、モルタルを高強度化し、鉄筋の代替として鋼繊維により補強すれば、断面200mm×200mm程度の吹付枠工と同等の曲げ耐力が得られる

と考え、吹付材料に高強度鋼繊維補強モルタルを用いることとした。

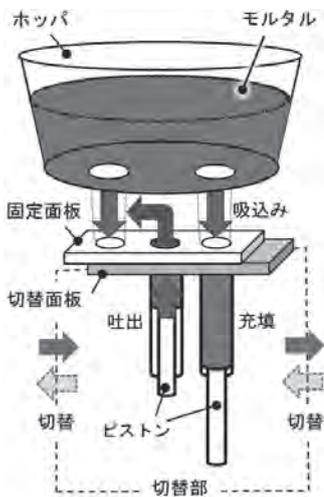
モルタルを高強度化するために多量の粉体と化学混和剤を使用することから流動性が高くなり、粘性も増大する傾向にあるため、吹付けが難しくなることが予想された。そこで、最初に一般的に使用される湿式吹付機（写真—3）による吹付実験を実施した。吹付機の吐出口とホースの直径は3inとし、ホースの延長は20mにとどめて実験した。



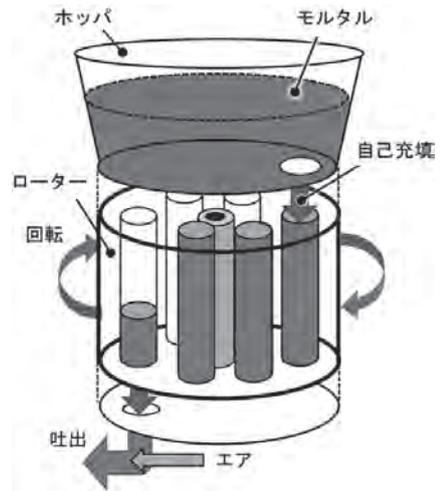
写真—3 湿式吹付機

実験の結果、断続的な吐出の後、ただちに吐出不能となった。モルタルの粘性が高く、吹付機内部およびホース内部へのモルタルの付着による閉塞が原因であった。エア量やホースの直径を変えて実験を行ったが、吹付性能を改善することはできなかった。

次に、コンクリートピストンポンプ（以下、ピストン式と略す）およびローター式吹付機（以下、ローター式と略す）の2種類による吹付実験を実施した。ピストン式はピストンの切替え時にスライドする切替え面板と固定面板との間に鋼繊維が挟まり安定的に吐出でき



図—1 ピストン式



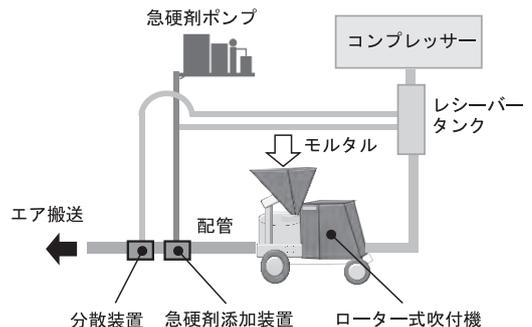
図—2 ローター式

なかった（図—1）。一方、ローター式は、ローター内へ重力により自己充填されたモルタルが順次エアで押し出されるシンプルな構造であるため、断続的ではあるが安定的に吐出させることが可能であった（図—2）。

3. 吹付システムの開発

ローター式によって安定した吐出ができたとしても、モルタルの流動性が高いため、のり面へ吹付けた際にダレが生じる。また、粘性の高い材料を連続して圧送するとホース内にモルタルが付着し、早期にホースの閉塞へ繋がる。そこで、吹付けた際に杵形状を保持するための自立性の付与と圧送に適した品質の確保を目的として急硬剤を適用することとした。施工実験により、モルタルの圧送性、吹付け後の自立性および急硬剤の添加方法について検討を行った。

ローター式で吹付けする際、吐出口の近傍で急硬剤を添加する装置（急硬剤添加装置）を考案した。急硬剤の使用によって、のり面にモルタルを吹付けた際のダレがなくなり、自立性が向上した。こうして、ローター式、急硬剤添加装置を組み合わせた吹付システムを構築した（図—3）。



図—3 吹付システムの概要

4. 自動吹付装置の開発

(1) 装置の機能

自動吹付装置の概要を図-4に示す。所定の幅と厚さを有する平滑な枠を自動で構築するために①ノズルの往復スライド、②ノズルの揺動回転、③吹付厚の計測管理の3つの機能を備えた装置を考案した。

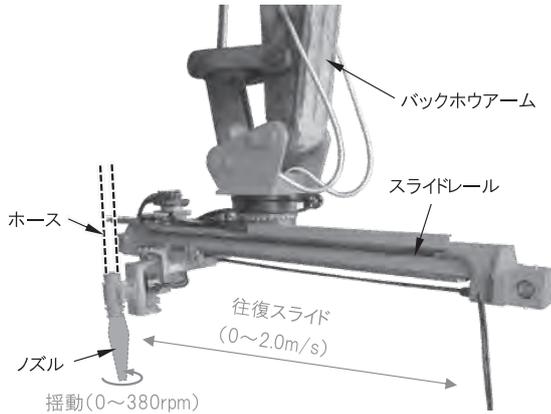


図-4 自動吹付装置の概要

(2) スライド速度と平滑度の関係

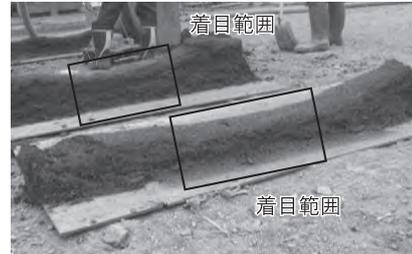
土木学会の吹付けコンクリート指針 (案)¹⁾ (以下、指針と略す) では、吹付面の凹凸を平滑度と呼んでいる。本工法では、吹付材料の改良および吹付システムの開発によってモルタルの吐出の安定性は改善されたが、断続的な吹付けとなっている。断続的にモルタルが吐出される状況下でノズルのスライド速度が遅い場合、一様な厚さで吹き重ねることが難しい。そのため、吹付面に凹凸が生じやすく平滑度が低下する。そこで、平滑度が低下しないスライド速度の下限値を実験により求めた。モルタルの吐出量を 3.5 m³/hr で一定とし、スライド速度を 0.1 m/s, 0.5 m/s, 1.0 m/s の3段階に変化させて、水平地盤上に枠を構築した。図-5に吹付けた枠とその平滑度を示す。スライド速度を 0.5 m/s 以上とすることで凹凸を小さくできた。平滑度が低下しないスライド速度の下限値を 0.5 m/s と設定した。

(3) 揺動回転数と平滑度の関係

本工法では、曲げ耐力確保の観点から従来工法と同様に 200 mm 以上の吹付幅を確保する。吹付幅は、自動吹付装置の揺動回転機能によって調整する。揺動回転によってノズルのスライド方向と逆向きの慣性力が断続的に作用するため、平滑度に影響を及ぼすことが懸念された。そこで、吹付幅 200 mm 以上の平滑な枠の構築が可能であるか前述の実験に揺動回転を加えて



<スライド速度: 0.1m/s>



<0.5m/s(左上), 1.0m/s(右下)>

図-5 平滑度の比較

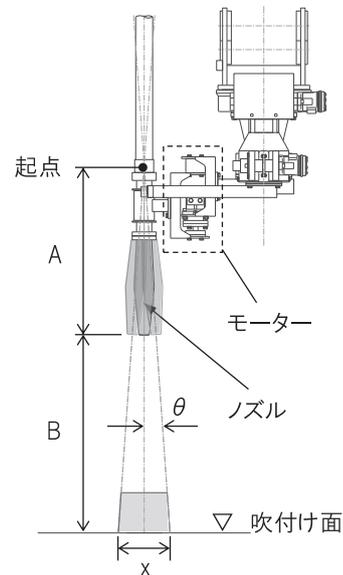
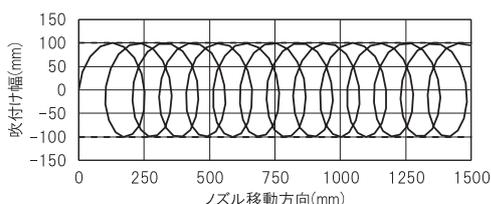
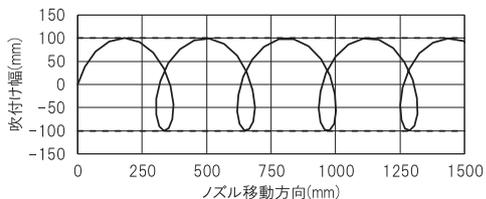


図-6 装置の断面図

実験した。図-6に装置の断面図を示す。ノズルに所定の角度を与え、モーターで回転させることで揺動動作を付加した。回転の起点からノズル先端までの距離を A (850 mm)、ノズル先端から吹付面までの距離を B (指針で、1000 mm 程度がよいとされている)、吹付面でのノズル軌跡 x (吹付幅 200 mm) とし、揺動回転角を $\theta = \tan^{-1} \{x/2(A+B)\}$ と定義し、 $\theta = 3.0^\circ$ に設定した。スライド速度 (0.5 m/s 以上) をパラメータとし、ノズルの揺動回転数は使用したモーター最大能力の 380 rpm に設定した。実験結果一覧を表-1に示す。また、吹付ノズル中心の軌跡と枠の形状を図-7に示す。スライド速度 0.7 m/s のとき、吹付幅 200 mm 以上で平滑度が最良であった。スライド速度が遅く、ノズル中心が描く軌跡 (円) が重複するほど

表一 実験結果一覧

スライド速度 (m/s)	吹付幅 (mm)	平滑度
2.0	150	×
1.5	190	×
1.0	220	△
0.7	225	○

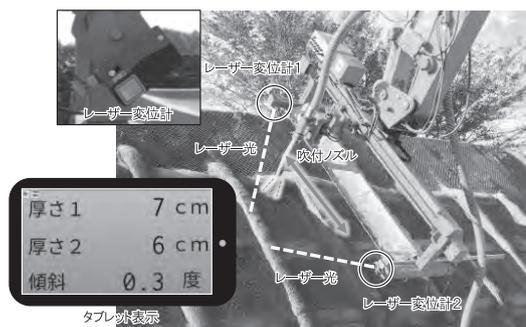


図一七 ノズル中心の軌跡と枠の形状

平滑度が高まることを確認した。

(4) 吹付厚管理

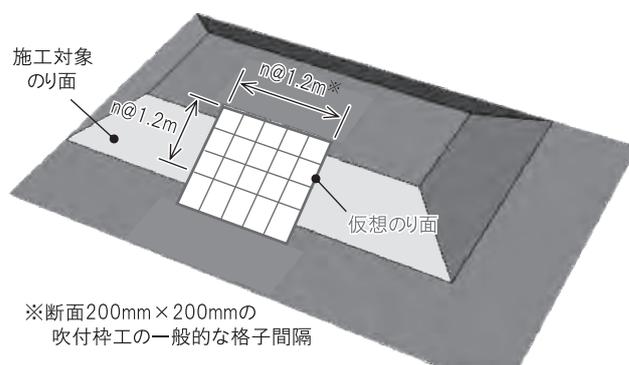
図一八に吹付厚の管理の概要を示す。自動吹付装置に傾斜計とレーザー変位計を設置した。計測値をバックホウキャビン内に設置したタブレット端末に表示し、運転手にリアルタイムで伝える。傾斜計の計測値からのり面と自動吹付装置が平行（ノズルと吹付面が直交）した理想的な状態であることを確認できる。また、レーザー変位計の計測値から吹付面との離隔と吹付厚が確認できる。この管理手法を用いて4.(3)節までの吹付けに最適な条件で、実際にのり面上へ枠を構築した。その出来形を図一九に示す。国土交通省の出来形管理基準の規格値を満たした。



図一八 吹付厚管理の概要



図一九 枠の出来形



図一十 MCBH入力用3Dデータ

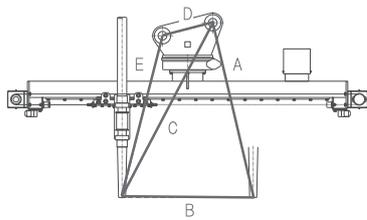
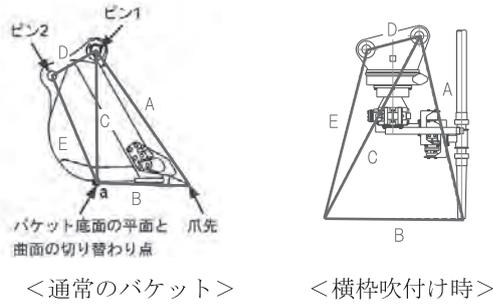
5. 施工方法の考案

(1) 起工測量および3Dデータ作成

本工法では、ベースマシンとして汎用の3Dマシンコントロールバックホウ（以下、MCBH）を用いる。まず、ドローン空撮により施工対象のり面の点群データを取得し、点群データからMCBH入力用3Dデータを作成する。3Dデータは、のり面から1.0mオフセットした位置に吹付枠工の格子中心線（グリッド）を記した面データ（図一十）を作成し、MCBHにインプットする。

(2) MCBHの設定と活用方法

MCBHでは、使用するバケットによって個別に寸法を設定できる。本工法では、自動吹付装置をバケッ



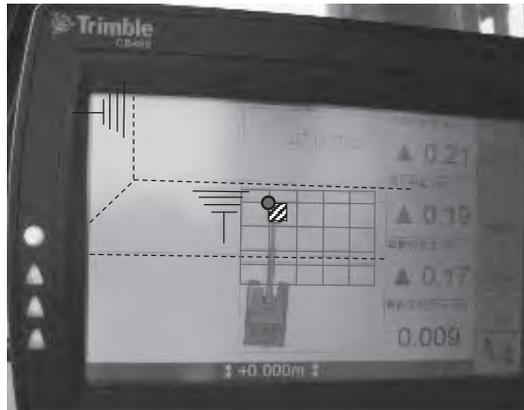
図一 11 バケット寸法の設定

表一 2 自動吹付装置の設定

項目	設定値	備考
スライド速度	0.65 m/s	
スライド幅	0.8 m	横枠吹付け時
	1.0 m	縦枠吹付け時
揺動幅	60 mm	
揺動速度	380 rpm	

(4) 横枠の吹付手順

横枠の吹付手順は、同じ段に位置する横枠を吹付け、その後、段を変えて吹付けを行う。吹付方法は、自動吹付装置を水平にセットし、表一 2 の仕様で吹付けを行う。1 枠分の横枠の吹付けを終えたら、吹付けを中断することなくバックホウを隣の枠へ走行移動させ連続して吹付けを行う (写真一 4)。



図一 12 ノズル先端のセット



写真一 4 横枠吹付け状況

ト形状に見立て、MCBH に寸法を設定する。設定する寸法を図一 11 に示す。通常のバケットと同様に A ~ E の寸法を設定するだけでよい。横枠吹付け時と縦枠吹付け時は、自動吹付装置を 90° 回転させるが、簡単のためにバケット形状は、同一としている。

MCBH 運転席のモニターには、枠の中心線であるグリッドとバケット形状に変換された自動吹付装置が表示される (図一 12)。これを利用し、モニター上に表示されるバケットの隅角をグリッドの交点に合わせることで、自動吹付装置の吹付ノズル先端を所定の位置にセットすることができる。

(3) 自動吹付装置の設定

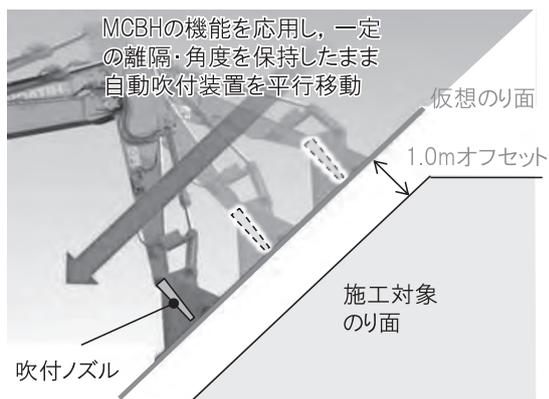
吹付枠工における所定の出来形、出来栄を確保するには、自動吹付装置の設定が重要である。4 章の結果を踏まえて施工時における吹付ノズル自動吹付装置の標準選定を表一 2 に示す。

(5) 縦枠の吹付手順

縦枠の吹付けは、のり肩からのり尻に向かって行う (写真一 5)。吹付方法は、自動吹付装置が縦枠と平行となるようにセットし、吹付けを開始する。厚さが概ね 10 cm 程度になれば、装置をのり尻方向へ平行移



写真一 5 縦枠吹付け状況



図一13 バケット角度保持機能



写真一6 格子柵吹付け完了

動かせる。MCBHのバケット角度保持機能により、ノズルがのり面と直交した状態かつ一定の離隔(1.0m)を保持された状態で吹付ける(図一13)。のり長が長い場合は、バックホウを一旦後退させ、同様の手順でのり尻まで吹付ける。厚さ10cm程度の縦柵をのり尻まで構築した後、のり尻からのり肩に向かって10cm程度の仕上げ吹きを行い、厚さ20cmの縦柵を構築する。こうして格子状の柵を構築する(写真一6)。

6. おわりに

高強度鋼繊維補強モルタルを採用し、その圧送と急結を可能とする吹付システムを開発した。また、自動吹付装置を取り付けた汎用バックホウを使用することで、吹付作業を機械化した。これらによって従来の断面200mm×200mm程度の吹付柵工を鉄筋・型柵不要で誰でも簡単に構築できる本工法ラクデショットを開発することができた。のり面上での人力作業が大幅に削減されることで安全性も高まる。今後は、試験施工を通じて品質管理手法を確立し、現場への展開を図っていく予定である。

JICMA

《参考文献》

- 1) 土木学会, 吹付けコンクリート指針(案)[のり面編], pp.27, 2005

【筆者紹介】



川本 卓人(かわもと たくと)
 ㈱大林組
 土木本部 生産技術本部
 技術第二部 技術第四課
 副課長



森田 晃司(もりた こうじ)
 ㈱大林組
 土木本部 生産技術本部
 技術第二部
 担当部長



窪塚 大輔(くぼづか だいすけ)
 日特建設㈱
 技術開発本部 ICT開発部
 次長

長時間飛行可能な有線給電ドローンを開発

無人化施工現場で建設機械との連携を実証

千葉拓史

近年、全国各地で異常災害による大型災害が多発している。災害復旧工事では、遠隔操縦方式の建設機械や遠隔操縦ロボットを搭載した建設機械で施工を行っており、通常はカメラ台車からの映像や、建設機械コックピットに搭載した搭載カメラの映像を元に建設機械の遠隔操縦を行っている。本研究では有線給電によって長時間飛行可能、かつ、建設機械と連携して自動で追従飛行可能で、建設機械上に設置したヘリパッドに自動離着陸する機能を有するドローンを開発した。本稿ではフィールド試験においてドローンからの提示映像を遠隔操縦の建設機械オペレータへ提示することで建設機械の遠隔操縦に対し有用なことを確認したので報告する。

キーワード：災害復旧，無人化施工，遠隔操作，無人航空機，UAV

1. はじめに

近年、異常気象による豪雨が日常的に発生し、土砂崩落等の大型災害が全国に多発している。土砂崩落等の災害復旧は、遠隔操縦方式の建設機械や遠隔操縦ロボットを搭載した建設機械で行っている¹⁾。遠隔操作の建設機械を用いて災害復旧工事を行う場合、あらかじめ現場周囲を撮影可能なカメラ台車を現場に配置し、配置したカメラ台車からの映像や建設機械のコックピットへ搭載したカメラ(以降、搭載カメラ)からの映像をもとに建設機械オペレータが作業を行っている。

しかし、カメラ台車の映像は建設機械の移動や作業に伴いカメラ台車の移動やカメラ視点の調整を行うカメラオペレータが必要になり、カメラ台車のカメラ操作には習熟や、建設機械オペレータとの意思疎通が必要になる。また、災害現場にカメラ台車を配置するにあたり、土砂や地形条件等による場所的な制限が発生する為、効率良く災害復旧工事を行うにはカメラ台車の配置は大きな制約となる。

一方、搭載カメラからの映像は単一視点からの映像で上下左右の角度操作やズーム等は可能であるが、提示視野は限定的で建設機械周囲の状況を俯瞰的に見ることができないなどの課題も挙げられる。そのため先行研究として俯瞰映像の提示等による遠隔操作の研究開発が行われている²⁾。

本研究では、上記の問題を解決する為に近年急速に普及している無人航空機(ドローン)を活用し、ドロー

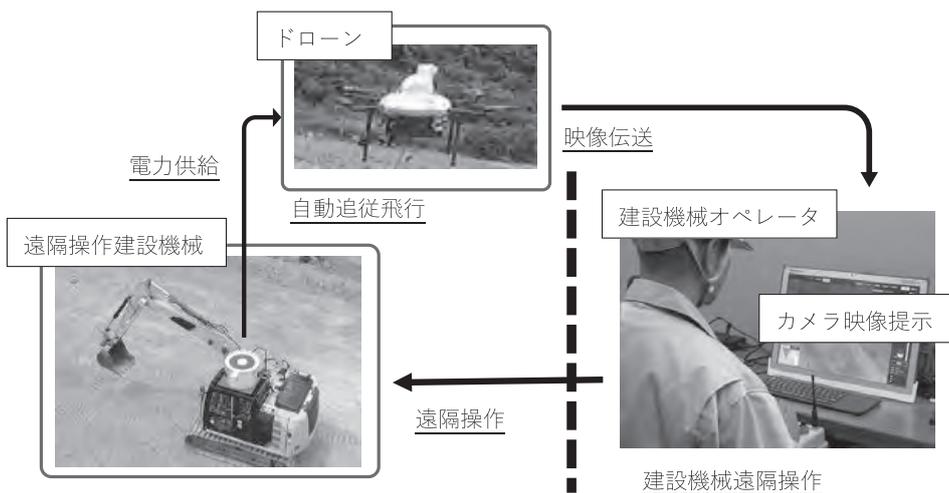
ンに搭載したカメラからの映像を遠隔操作の建設機械オペレータへ提示するとともに、ドローンの操作を不要とする為に建設機械と連携して自動追従飛行する機能を具備したドローンを開発した。フィールド試験において遠隔操作の建設機械オペレータがドローンから提示される映像を用い操縦を行い、操作性とシステムの有用性を確認した。また、従来のカメラ台車のカメラオペレータが不要となり省人化も実現化したので本稿ではその概要を報告する。

2. 開発仕様

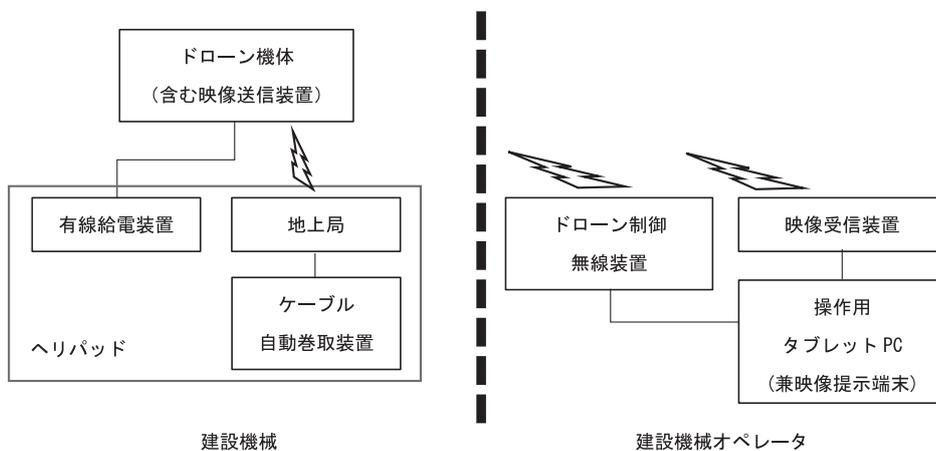
図-1に本システムのコンセプトを示す。ドローンは遠隔操作の建設機械と連携し自動追従飛行する。ドローンに搭載したカメラの映像は離れた場所にいる建設機械オペレータへ提示される。建設機械オペレータはドローンの映像を用い建設機械の操縦を行う。ドローン機体の飛行制御は自動で行われ、建設機械オペレータは建設機械の操縦に注力することをコンセプトにした。

(1) システム構成

本システム構成を図-2、諸元を表-1に示す。システムはドローン機体、建設機械に設置したヘリパッド内には有線給電装置、ケーブル自動巻き取り装置、地上局が内蔵されている。建設機械オペレータサイドにはシステムの操作に用いるタブレットPC端末を用



図一1 コンセプト図



図一2 システム構成図

表一1 諸元表

項目	説明
機体モーター軸間距離	1145 mm
プロペラ	17 inches × 4 枚
機体重量	6.8 kg
有線給電ケーブル長	20 m
機体予備バッテリー	有 (バッテリー管理機能有)
搭載カメラ	光学防振機構搭載, 光学 10 倍ズーム 1920 × 1080 Full HD
映像伝送装置	周波数 5.7 GHz 帯, 伝送距離 1 km, 遅延 1 msec 未満
制御無線	LoRa 方式
ヘリパッドサイズ	1 m × 1 m (離着陸部 直径 1 m 円形)



写真一1 システム外観

意した。写真一1にシステム外観を示す。

(a) ヘリパッド

開発当初ヘリパッドの離着陸部の面積をドローンの着陸時の安全性と着陸位置精度を考慮し、2 m × 2 m で設計開発した。2 m × 2 m のヘリパッドを建設機械

に設置し飛行試験を行った結果、ドローンに搭載したカメラ映像内でヘリパッドにより履帯が隠蔽され、道路上の障害物との離隔が認識されないという課題がでた。方策として、ヘリパッドの小型化の為、ドローン自動着陸制御にGPSによる位置推定と画像処理によ

るヘリパッド位置認識を併用する事で着陸位置精度を向上させ、1m×1mのヘリパッドへの着陸を実現した。ヘリパッドを小型化することでカメラ映像中の死角をなくし、走行時の安全性を確保した。

(b) 有線給電

一般的なドローンは機体にバッテリーを搭載し、そのバッテリーの電力を動力源にする方式が一般的である。機体に搭載するバッテリーを動力源にした方式の場合、飛行可能時間が数十分程度である。長時間作業を行うには一度ドローンを着陸させバッテリー交換を行う必要がある。そこで本システムではヘリパッド内に有線給電装置を備え、有線給電装置から給電ケーブルを通してドローン機体へ電力を給電する有線給電方式を採用する。有線給電により長時間の飛行が可能となり、バッテリー交換も不要となる。有線給電の給電ケーブル断線や、給電装置の故障等の不具合に対しては、ドローン機体に予備バッテリーを搭載し、不具合発生時は自動で予備バッテリーに切り替わり、自動で着陸する。予備バッテリーは飛行中も充電管理され、システム運用時における予備バッテリーの管理も簡便に行うことが可能である。連続飛行時間については長時間飛行試験において連続4時間の飛行が可能なる事を確認した。

(c) ケーブル自動巻き取り装置

給電ケーブルはヘリパッド内のケーブル自動巻き取り装置により巻き取りを行う。ドローン飛行中はドローン機体に巻き取りテンションの負荷をかけることなくヘリパッドとドローン機体間のケーブル長を自動で調整を行うことが可能である。ドローンがヘリパッドより離れる際は自動でケーブルが繰り出され、ヘリパッドへ近づく際も自動でケーブルを巻き取る制御を行う。ケーブル巻き取りドラム部にブレーキを搭載しており、非常時のドローン本体の逸走防止機能も備えてある。ケーブル巻き取り装置は外部通信により、装置状態のモニタリングや動作モードの変更も可能で地上局からの通信で制御される。

(d) 地上局

地上局はヘリパッド内に内蔵されており、コンピュータ、GPS、高度計、通信機で構成されている。GPSと高度計の情報はドローン機体の追従飛行制御と、操作用タブレットPC端末上に表示される建設機械の位置情報表示に使用される。

(e) 操作用タブレットPC端末

建設機械オペレータの操作するタブレットPC端末とドローン機体、地上局との各種の制御信号の送受信を行う通信装置、ドローンからの映像を受信する映像

受信装置から構成される。

(2) 自動離着陸・自動追従飛行

ドローンの制御技術は近年急速に発達しているが、特に離着陸時に風等の影響で機体制御が不安定になり、一般的なプロポ等の操縦装置による手動操縦では墜落等の事故が起こるといった事例も多い。そこで本システムでは手動操作不要の自動離着陸の機能を具備した。

ヘリパッドから離陸したドローンは建設機械のオペレータが指示した飛行高度と建設機械との相対位置を保ちホバリング飛行を行う。建設機械が走行する際は、ドローンはヘリパッド内の地上局のGPS・高度計による位置高度情報を用い、建設機械との距離を保ち自動で追従飛行を行う。自動追従飛行はバックホウ等の旋回動作でも追従可能で、建設機械のオペレータは建設機械の操作に注力することができる。自動離発着・自動追従飛行により、ドローン操縦者が不要となる。また、システムの利用者はドローンの手動操縦に習熟せずとも本システムを運用することが可能である。

(3) 操作インターフェース

本システムの操作はタブレットPC端末上のユーザーインターフェース(以降UI)で行う。UIはドローンの操作部とシステムの状態表示部、提示映像視点位置指定・提示映像示部で構成されており。提示映像視点位置指定・映像提示部は切り替え式となっている。建設機械オペレータはUI上の離陸・着陸ボタンを操作することでドローンを自動で離着陸することが可能である。また、本システムの稼働情報はUI上に表示され、また、システムはエラー発生時にはオペレータの操作なく自動で着陸する事故回避動作を行う。建設機械オペレータは作業に応じて、オペレータの望む視点の映像を直感的に指示することが可能である。視点指示は作業箇所をビジュアル的に指定可能である。航空写真・グラフィカル地図上のGIS地図上での指示を図-3に示す。ドローンからの提示映像に対する直感的な操作を提供する(図-4)。また、ドローンと連携する建設機械がバックホウ等の旋回機構を有する建設機械に対応する為、飛行禁止エリアとして旋回動作やブームアーム等作業機部の可動範囲を事前に教示することによる追突防止機能も具備してある。

(4) カメラ、映像伝送

ドローンに搭載しているカメラは光学防振機構と光学ズームを搭載したものを採用した。カメラの映像は5.7GHz帯の無線伝送で映像受信装置へ伝送され、UI



図一三 GIS 地図表示



図一四 映像提示

上もしくは映像用モニタに表示される。映像伝送装置は伝送距離 1 km、伝送遅延 1 msec の伝送装置を採用した。遠隔操作の建設機械で行う作業において、遠隔操作映像の通信遅延が作業効率に影響し、心理的負担が上昇するという報告もある³⁾、伝送遅延を少なくすることで作業性への影響を考慮した。

3. フィールド試験

本システムの飛行性能とシステムの有効性を確認する為長崎県島原市でフィールド試験を行った。フィールド試験において、建設機械上空をドローンが自動追従飛行している様子を写真一2に示す。ドローンから伝送された提示映像の画像を図一5に示す。フィールド試験によって、タブレット PC 端末上の



写真一2 飛行風景

UI 操作による自動離着陸が可能である事、建設機械とドローンの相対位置を維持した状態での追従飛行が可能であることを確認した。また、事前に設定したカラーコーンで作成した走路コースをドローンから提示され



図一5 ドローンからの提示映像

る映像をもとに走行操作を行い、カラーコーンを障害物と認識し走行が可能である事を確認した。遠隔操作の建設機械が走行する場合、ドローンは建設機械の後方上空より建設機械の進行方向前方を見下ろす鳥瞰視点の提示映像が有効であるとの建設機械オペレータからの意見を得た。一方、操作機による操作については操作機部側面からの提示映像が作業対象個所と作業機との距離を認識しやすさの面で有効との意見も出た。操作機部側面からの提示映像は搭載カメラの映像と比較して鉛直方向（高さ方向）の距離認識について有効であるとの知見も得た。

4. おわりに

本研究では、遠隔操作の建設機械に装着したヘリパッド内の給電装置からの有線給電による長時間飛行と建設機械と連携する自動追従飛行、建設機械に設置した小型のヘリパッドへの自動離着陸が可能なドローンのシステムを開発した。フィールド試験において建設機械オペレータへのヒアリング等を通じて建設機械の操作については提示映像の情報について有効である

ことを確認した。建設機械に自動で追従飛行し、映像提示する本システムにより、従来必要としたカメラ台車のカメラを操作するオペレータも不要とし、省力化を実現した。今後、多くのフィールド試験を重ね、バックホウ以外の建設機械での実証試験の実施、実用化に向けた信頼性検証を行う。

JCMA

《参考文献》

- 1) 藤本昭, 松岡雅博, 茶山和博, 藤岡晃: 遠隔操縦ロボット (ロボQ) の開発, 土木学会第58回年次学術講演会, 2003
- 2) 佐藤貴亮, 藤井浩光, Alessandro Moro, 杉本和也, 野末晃, 三村洋一, 小幡克実, 山下淳, 浅間一: 無人化施工用俯瞰映像提示システムの開発, 日本機械学会論文集, Vol. 81, No. 823, 2015
- 3) 伊藤慎宜, 藤野健一, 安藤広志: 映像通信遅延が建機の遠隔操作性に与える影響のモデルタスクによる評価, 第16回建設ロボットシンポジウム論文集, 2016

【筆者紹介】

千葉 拓史 (ちば たくみ)

(株)フジタ

技術センター

生産改革研究部 先端システムグループ

主任研究員



コンクリート構造物を「現場で直接プリント造形」 On-Site Shot Printer の開発

羽 生 賢 一・八木橋 宏 和・永 沢 薫

近年、推進されている建設分野の生産性向上に加え、全く新しい発想によるコンクリート構造物の製造技術の開発を目的とし、建設分野で既に技術として構築されている「乾式吹付け」と「湿式吹付け」両方のメリットを兼ね備えた「ハイブリッド吹付けシステム」と、降水や粉塵に強く実績豊富な建設機械の中で近年活躍している「ICT 建機」を組み合わせることで、現場で構造物を直接プリント造形する 3D プリンティングシステム「On-Site Shot Printer」を開発した。本稿ではその概要を報告する。

キーワード：i-Construction, 省力化, 3D プリンター, 吹付け技術, ハイブリッド

1. はじめに

人口減少に伴う労働力不足時代への突入を背景に、国土交通省は、平成 28 年度から、建設現場における生産性を向上させ、魅力ある建設現場を目指すことを目的とした取り組み「i-Construction」を開始している。コンクリート分野においては、構造物の設計、発注、材料の調達、加工、組立等の一連の生産工程、維持管理を含めたプロセスの最適化や、部材の規格（サイズ等）の標準化を行い、プレキャスト製品やユニット鉄筋などの工場製作化を推進することによる生産性向上を目指している。その一方で、プレキャスト製品等を活用するにあたっては、足場の組立てや高所での作業が必要となることは従来と変わらず安全性の面で課題は残る。

建設業界における 3D プリンティング造形技術の世界での開発状況としては、欧州が先行しており、例えばオランダでは 3D プリンティングシステムで造形された、自転車専用道の橋梁が既に架設されている。我が国においては、地震大国であることから構造物として求められる要求性能が他国に比べ厳しいこともあり、開発に遅れをとっている状況であると言われている。

建設業界で開発が先行している一般的な 3D プリンティングの造形技術方式としては、あらかじめ練り混ぜられたセメント系材料をノズルから絞り出して、多軸ロボットにより下から上へ層状に積み上げて構造物を造形する「材料押出方式」が一般的である。この方式は、その造形方法から層間の一体性が課題と言われ、曲げやせん断力が作用した際の層間剥離に対する

脆弱性が指摘されている。さらに、セメント系材料の特性上、練り混ぜ後から硬化が始まるため材料の長距離搬送が難しいことや、多軸ロボットの機動性の制約から大型の構造物を現場で造形するには課題がある。

以上のことから、当研究開発グループ（岐阜大学の國枝教授を研究代表者とした OS₂P コンソーシアム：施工技術総合研究所、住友大阪セメント、清水建設、NIPPO、丸栄コンクリート工業、エフティーエス、関電工をメンバーとする研究開発グループ）は、生産性向上に加え、安全性向上や現場における大規模な構造物の造形を視野に入れた「全く新しい発想によるコンクリート構造物の造形技術」の開発を視野に、乾・湿吹付け技術を融合させたハイブリッド型材料吹付けシステムを開発した。さらに現場環境に適応できる建設機械のうち、3 次元設計データを搭載し、リアルタイムに自己位置を測定しながら設計面と現況面の差分に応じた操作制御を行うことが可能な ICT 建機を造形機械として取り入れることにより、「現場で直接プリント造形可能なシステム」所謂新しいセメント系 3D プリンティングシステムを構築した。

本稿は、新たに開発したハイブリッド型吹付けシステムと 3DMC を搭載した建設機械を組み合わせた 3D プリンティングシステムの概要を紹介するものである。

2. ハイブリッド式吹付け技術の開発

(1) 材料製造・造形システムの概要

当研究開発グループが着目した方法は、既存のコンクリート吹付け技術である。コンクリートの吹付け技

術は、圧縮空気で吐出するため、「材料押出方式」のように下向きの吐出だけに限らず、全周方向への吐出が可能となる。また、コンクリートの材料を搬送し、練り混ぜるまでの一連のコンクリートの製造作業が既に自動で、かつ実用化された技術であることや、材料の吐出圧力を調整することにより吹付けたコンクリート材料を確実に積層し一体化することができる工法である。

従来から吹付け工法は、トンネルの覆工や道路などの法面の剥落防止、また補修分野では既設構造物の断面修復等に幅広く用いられている。吹付け工法には、その使用環境や条件に応じて乾式と湿式の2種類の方式がある。これらを比較したものを表-1に示す。表より吹付け方式によりその特徴は大きく異なり、乾式は長距離搬送が可能なもの、吹付け圧力の調整が難しく、圧力が高いと積層時に前層を壊してしまう可能性がある一方、湿式は吹付け圧力の調整が可能で構造物を造形し易いが、材料搬送の面では不利となる。また、材料の練混ぜとしては、乾式吹付けは、ノズル先端で練り混ぜられるが、湿式吹付けは、生コンクリートを購入する、もしくは、モルタルミキサーなどを用いて事前に練混ぜが必要である。

これらの特徴から、吹付け材料の長距離搬送および練混ぜの自動化に対しては乾式吹付け工法を、構造物の均質性や積層間の一体性に対しては吹付け圧力を可変できる湿式吹付け工法を活用し、それぞれのメリットを兼ね備えたハイブリッド吹付けシステムの検討を行った。

(2) 吹付け材料の選定と配合検討

吹付け材料はポリマーセメントモルタル (PCM) を主として検討を行った。乾式吹付けでも一般的に用いられている材料であり、長距離圧送や練混ぜには基本的に問題がないことが実績としてある。また、ポリマー添加を標準とした材料は、吹付けモルタルの層間における付着強度が向上することも考えられることから、ポリマーセメントモルタルを吹付け材料として検討を行った。

ポリマーセメントモルタルの配合は、吹付けモルタルの圧送性や造形性に対して最適なコンシステンシーを確保することを目的に、吹付け実験により材料の液体/粉体比を検討した。検討結果は表-2に示すとおりで、施工性と造形性を両立できる液体/粉体比(=15%)と管理基準となるフロー値(=170 mm程度)を事前に示すことができた。

図-1には、吹付け実験時に造形した試験体(幅200 mm×長さ1500 mm×高さ500 mm)を各方向・

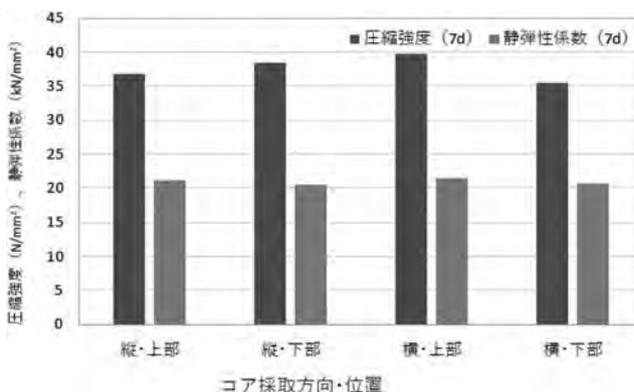


図-1 各方向・位置でコア抜きした試験体の力学的性能

表-1 吹付け工法の特徴(乾式・湿式の比較)

項目	乾式	湿式
コンクリートの品質	変動し易い(ノズルマンの技量に依存)	安定(製造したコンクリートの品質に依存)
圧送距離	最大 300 m 程度	100 m 以下
粉塵・リバウンド	多い	少ない
施工性	長時間に及ぶ施工も対応可能	距離が長いほど管理が困難になる
吹付け圧の調整	難しい	調整可能
その他		生コン購入以外は製造手間がかかる

表-2 最適配合に関する検討結果

	材料の液体/粉体比 (%)	モルタルフロー (mm)	備考
1	14.3	156 × 153	フローが小さく、材料をポンプに吸い込めず
2	15.0	169 × 167	積層状況は良好
3	16.0	175 × 176	
4	17.0	205 × 202	ややダレ気味

※設定圧送空気圧: 0.2 MPa

位置でコア抜きし、圧縮強度および静弾性係数を測定した結果を示す。図より、吹付けモルタルは一般的なPCMと同等の性能で、かつ、垂直・水平方向および上層部・下層部の差異は小さく異方性がないことも明らかとなった。したがって、セメント系3Dプリンティングシステムの課題であった構造物の均質性や一体性を十分に確保できることが確認された。

(3) ハイブリッド吹付けシステムの仕組み

ハイブリッド吹付けシステムの概要を図-2に示す。同システムはプレミックス材料の使用を前提に乾式方式で長距離圧送した後、乾式吹付けノズルで所定の水/粉体比で混合し、減圧機からホッパーを経ることでモルタルの均質化を図っている。その後、湿式方式により極力短い距離の圧送から吹付けノズルで構造物を造形するものである。本システムにより、乾式方式の課題であった品質安定性、湿式方式の課題であった圧送距離の確保や使用するポリマーセメントモルタルの品質管理工程を大幅に改善できたと考えている。

(4) 急結剤添加方法の選定とハイブリッド吹付けシステムの検証

急結剤は吹付けモルタルを急速に硬化させるために使用するものであり、形成した層間モルタルの形状を維持するために使用した。一般的にも急結剤は使用されており、例えば、法面吹付け工事等に用いられている。一方、モルタルを急速に硬化させるものことから、ノズル詰まりに影響を及ぼすことが考えられ

る。事前検討で、従来の方式である、圧送空気を利用してノズル先端部で吹付けモルタルと混合する方法で製造したところ、比較的短時間でノズルの先端部が詰まってしまった(写真-1)。

急結剤の本添加方法についての検討を行った結果を表-3に示す。構造物の造形性向上、および副次的効果としての急結剤によるノズル内部の詰り防止を目的に、吹付けモルタル用ノズルの外周部に急結剤用ノズルを別途設置し(※圧送空気も別系統)、ノズルから吐出したモルタルに急結剤を噴霧するシステムを採



写真-1 配管の詰り状況

表-3 急結剤の添加方法に関する検討結果

検討項目	検討結果
1 添加方式	専用ノズルによりモルタル配管と完全分離
2 添加量	1.0% (材料重量比) ※メーカー推奨=2%
3 ノズルの仕様	高粘性対応型、ノズル角度も最適化

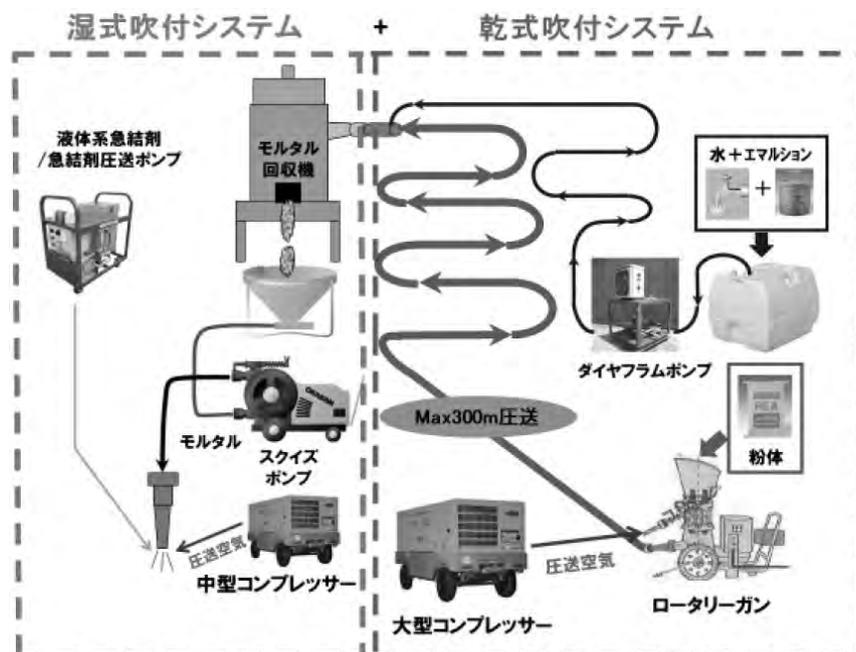
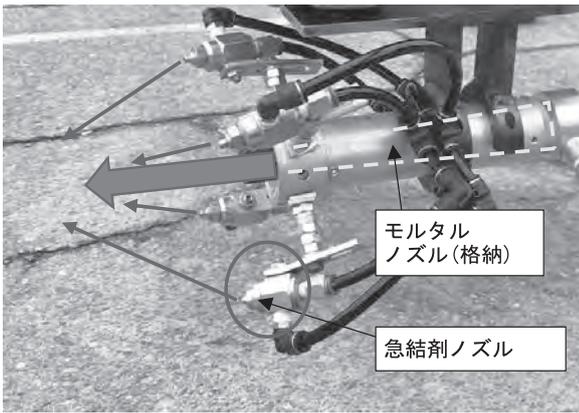


図-2 ハイブリッド吹付けシステムの概要



写真一2 吹付けノズルシステム

用した。噴霧システムとして、高粘性である液体急結剤を安定的に噴霧できるノズルを選定し、吹付けモルタルと適切に混合できるように、ノズル本数と角度を最適化した(計4本を角度15°に設定、写真一2)。また急結剤の添加量は、色むら防止と形状保持性能の両立を勘案して設定した。

本吹付けシステムの動作や吹付け後の材料性状の確認として、上記設定による急結剤ノズルを用いて、乾式システムによる材料搬送と練混ぜを組合せた、構造物の造形に至るまでの吹付けシステム全体としての把握を目的に、搬送距離160mで(※最大300mまで可能)、吐出量18kg/min、フロー管理値170mmを目標に吹付け実験を行った(写真一3)。乾式システムで製造した吹付けモルタルは、練混ぜシステムの違

いにより液体/粉体比が若干ずれたもののミキサ練り時と同様に吹付けモルタル性状も安定的で積層状況も良好であった。また、システム全体としての長時間稼働(120分程度)にも概ね問題はなかった。

以上のことから、乾・湿吹付け技術の長所を融合させたハイブリッド吹付けシステムは十分に実用可能であることが実証できたと考えられる。

3. 施工システムの開発と構造物の造形

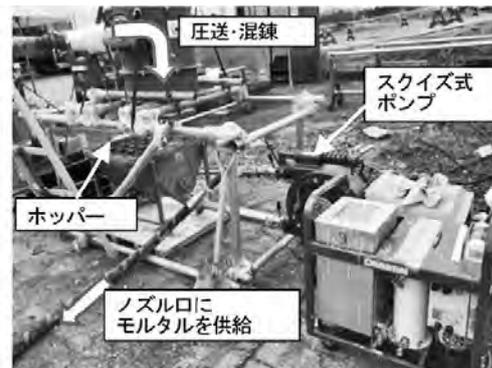
(1) 施工機械の選定と制御方法

当研究開発においては、実現場での施工条件を想定し、既に膨大な施工実績を有する建設機械を造形機械として選定した。さらに、3次元マシンコントロール(以下、3DMC)の機能を有したICT建機を用いることで、造形時の制御を行うこととした。

3DMCとは、建設機械に測位技術や制御技術などを搭載することで、作業装置の位置・標高をリアルタイムに取得し、コントロールボックスに取り込んだ3次元設計データとの差分に基づき作業装置を自動制御する技術である(図一3、4)。また、ICT建設機械に搭載されているコントロールボックスにおいて、平面や一定勾配を持った面を作成し、それらのデータに応じた操作制御が可能である。さらに、それらの設計面の高さをオフセットできる機能があり、任意のオフセット高さを設定して制御することができる。



(材料の長距離圧送160m)

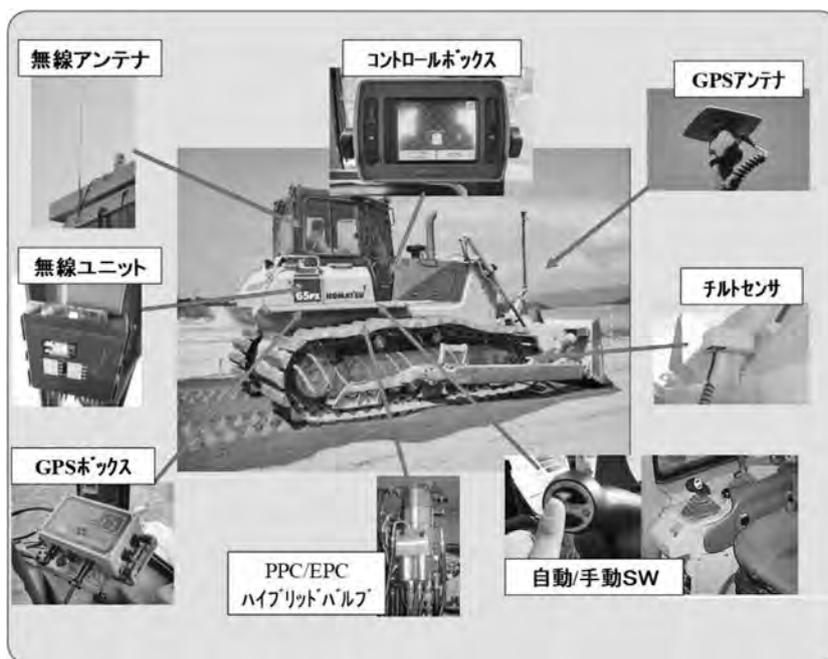


(圧送・混練後のモルタルをポンプで供給)

写真一3 ハイブリッドシステムの実験検証



図一3 3DMCによるシステム制御の流れ



図一4 マシンコントロール技術の機器構成例



写真一4 水平吹き状況とICT建機コントロールボックスの画面

以上のような機能の活用と、前章のハイブリッド吹付けシステムのノズルを建設機械のバケットに水平方向と鉛直方向に装着することにより、「水平吹き」と「鉛直吹き」の造形方向を可能とした（写真一4）。

(2) コンクリート構造物の造形試作

「鉛直吹き」により壁部材を、また、「水平吹き」により埋設型枠と想定して造形試作を行った。壁部材（無筋）は、鉛直吹きで製作し、下から上への積層を繰り返した。その結果、高さ約1m、長さ約1.8mの壁を造形することができた（写真一5）。施工時間は概ね60分であった。次に、水平吹きを利用して、橋脚を模擬した埋設型枠の製作を行った。埋設型枠ではプレハブ鉄筋を配置させている。使用したプレハブ鉄筋を1m×1m、高さ2mに配筋した（主筋にD19、配筋筋にD13）。また、吹付けたモルタルが鉄筋と付着するように、5mm×5mmメッシュの金網を鉄筋背面

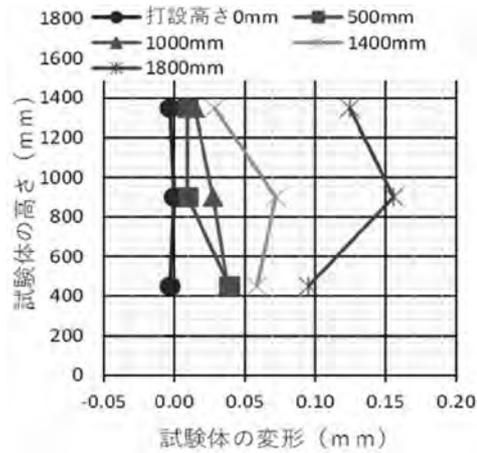


写真一5 壁状部材（鉛直吹き）の造形状況

に設置している。配筋準備完了後、計4施工面に対して水平吹きによる積層を繰り返す、鉄筋周りにも確実に充填しながら、高さ約1.5mの埋設型枠を造形できることを確認した（写真一6）。1面の施工時間は



写真—6 埋設型枠（水平吹き）の造形状況



図—5 コンクリート打設高さと各面の平均変形量の関係

概ね 25 分で、吹付け材料の圧壊や剥落等も確認されなかった。

(3) 造形物（埋設型枠）の性能評価

(a) 中詰めコンクリート打設時の変形

埋設型枠は、中空部へのコンクリート打設に耐えるものではなくてはならない。そこで、製作した橋脚内部に 24-8-25N のコンクリートを打設して、コンクリートの漏れや埋設型枠の変形を確認した。測定位置は、各 4 面に、高さ 450 mm、900 mm および 1350 mm の位置に変位計を設置した。図—5 は、コンクリート打設高さ（0mm, 500mm, 1000mm, 1800mm）と各面の平均変形量（-0.05mm to 0.20mm）の関係を示している。この結果、最大 0.42 mm の膨らみが確認されたが、4 面の高さ 900 mm の平均では 0.16 mm 程度であった。コンクリート打設によるひび割れ等は確認されなかったが、若干の水染みが確認された。

(b) 埋設型枠との一体性

埋設型枠としての利用する上で問題となるのは、埋設型枠と中詰めコンクリートとの一体性である。そこで、中詰めコンクリートを打設した後の一体性を、コ

ア試験体を採取して直接引張試験により付着強度の確認を行った。なお、測定場所は、試験体の上部、中部、下部の 3ヶ所として、各高さで 2箇所としている。また、吹付けた状態の面とコテ仕上げを行った面の 2条件で測定を行った。付着試験に用いたコア削孔径は $\phi 100$ mm としている。付着強度の結果と破壊位置を示した結果を表—4 に示す。その結果、一体性の基準値である 1.5 N/mm^2 以上を有していることが確認された。また、コテ仕上げを行った面は仕上げていない面に対して若干付着強度が低下する結果となった。この理由としては、吹き付けたモルタルが硬化する前にコテ仕上げを行ったことに起因して、モルタルに緩みが生じた可能性が考えられる。破断位置は界面から中詰めコンクリート内となり、良好な一体性が確認された。

4. おわりに

当研究開発では、コンクリート分野における既存技術である乾式吹付け工法及び湿式吹付け工法のそれぞ

表—4 付着強度試験結果

試験体	採取部	質量 (g)	直径 (mm)		高さ (mm)		断面積 mm^2	荷重 (kN)	付着強度 (N/mm^2)	強度平均 (N/mm^2)	強度平均 (N/mm^2)	破断面の割合		
			平均	平均	平均	平均						コンクリート	界面	ドライショット
A 面	上	中央	1708.6	99.6	99.9	7791	15.38	1.97	2.00	2.28	100			
		端	1707.6	99.5	99.9	7776	15.73	2.02			60	40		
	中	中央	1733.5	99.7	100.1	7814	17.67	2.26	2.28		65	35		
		端	1740.6	99.6	100.0	7794	17.93	2.30					100	
	下	中央	1731.9	99.7	99.3	7805	19.56	2.51	2.56		20	80		
		端	1781.8	99.7	100.5	7806	20.39	2.61			15	85		
B 面 (上、中部コテ仕上げ)	上	中央	1706.2	99.6	99.6	7788	7.38	0.95	0.94	1.53		100		
		端	1691.8	99.8	99.7	7819	7.22	0.92					100	
	中	中央	1711.6	99.5	100.3	7780	15.10	1.94	2.20		30	70		
		端	1711.2	99.6	99.8	7785	19.12	2.46			20	80		
	下	中央	1706.6	99.6	99.5	7787	13.76	1.77	1.45		30	70		
		端	1722.5	99.5	99.6	7783	8.76	1.13					100	

れが持つメリットを兼ね備えたハイブリッド吹付けシステムの構築と、ICT 建機の 3DMC 機能による水平吹きと鉛直吹き制御により、「現場で直接」コンクリート構造物を造形できることを確認した。

乾式吹付け工法の長距離・高所への圧送という特徴を利用することで、これまでプレキャスト部材を現場で組み立てる際の足場が不要となり、安全性向上や省力化が期待できる。また、湿式吹付け工法の圧力可変により、既に造形した層の破壊の抑制や、将来的には造形物の出来高をリアルタイムに取得しながら、それに適した圧力調整を行うことにより、出来形（形状）管理が可能になることに加え、より意匠性の高い複雑な形状を有する構造部材への造形へと発展させていけるのではないかと期待している。

今後は、施工機械と制御方法について、吹付け角度の自由度を広げるため、3DMC 機能に加え、その他の制御技術との組み合わせも検討していきたいと考えている。

JCM A

《参考文献》

- 1) 萩原恒夫:3D プリンターとは, ナノファイバー学会誌, 5 (1), p2-15, 2014.12.
- 2) 渡邊晋也, 永沢 薫, 国枝 稔, 小倉大季, 小堺 規行:吹付けコンクリートと ICT 建設機械を組み合わせた 3D プリンティングシステムに関する検討, 令和 2 年度全国大会 第 75 回年次学術講演会, 講演概要集, VI-611

【筆者紹介】

羽生 賢一 (はにゅう けんいち)
 (一社) 日本建設機械施工協会
 施工技術総合研究所 研究第二部
 主任研究員



八木橋 宏和 (やぎはし ひろかず)
 (一社) 日本建設機械施工協会
 施工技術総合研究所 研究第三部
 主任研究員



永沢 薫 (ながさわ かおる)
 (一社) 日本建設機械施工協会
 施工技術総合研究所 研究第三部
 研究員



建設用 3D プリンタを用いた PC 構造体の 設計施工デモ実証と今後の展望

生産性向上と新たな構造の実現を目指して

木ノ村 幸 士

筆者らは、生産性や安全性の向上、新たな構造の実現を目指して建設用 3D プリンティング技術の開発を進めてきた。一方で、本技術による部材製作では、積層中の鉄筋補強が困難であるため、引張力が作用する構造部材に適用できないことが最大の課題であった。この課題を克服すべく、3D プリンティングで製作した部材を接合しプレストレスを導入して PC 構造体として成立させるデモ実証プロジェクトを実施した。本プロジェクトは、積層構造に起因する硬化体物性の把握や、積層構造体の設計・施工ノウハウの蓄積、構造性能評価の基礎検討を目的としている。本稿ではこれらの概要を紹介するとともに、実用化に向けた課題や今後の展望について考察する。

キーワード：3D プリンタ、生産性向上、積層、トポロジー最適化、PC 構造体、プレストレス、構造性能

1. はじめに

技能労働者の高齢化や離職に伴い、建設業の労働力不足は深刻化している。また、長時間労働の削減や事業継続性の観点からも、生産性の向上は喫緊の課題となっている。

筆者らは、これまで省人化による生産性や安全性の向上、また従来型のコンクリート施工技術では困難であった新たな構造の実現を目指し、材料押出方式の 3D プリンティング技術の開発を進めてきた¹⁾。この技術は、柔らかい状態の材料を押出しながらノズル位置や移動速度をデジタル制御し、一層ずつ積層を繰り返しながら任意の 3 次元形状を造形、製作するデジタルファブリケーション技術である。

このような 3D プリンティングでは、型枠が不要となることから、製作可能な部材形状の自由度が高く、後述するトポロジー最適化手法による最適化設計と融合することで、軽量化や剛性の付加、また材料の削減等を期待できる利点がある²⁾。一方で、積層しながら鉄筋補強できないため、引張力が作用する構造部材に適用することができず、用途が意匠性を重視したオブジェ等の製作に限定されてしまうことが、これまで最大の課題であった。現状、3D プリンティングへの適用が考えられる補強方法としては、事前に鉄筋等の補強材を配置する方法、短繊維を混合してプリンティングする方法やケーブル補強材を製作中に埋め込む方法、製作後に補強材を挿入しプレストレスを導入する

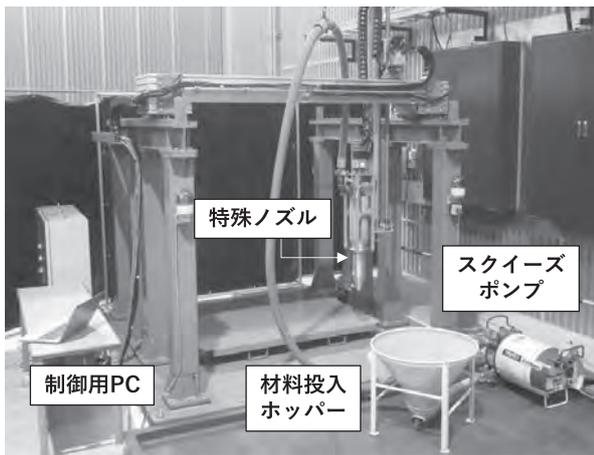
方法が挙げられているが³⁾、実規模スケールで構造設計・製作・性能評価を行った事例は、世界的に見ても数例しかない^{4), 5)}。

そこで、合理的な構造を形として再現できる 3D プリンティングの特長を最大限に生かしつつ、構造部材への適用可能性を探るため、最適化設計により 3 次元的に断面が変化するデモ歩道橋を設計し、構成する多種多様な断面部材を 3D プリンティングで製作・接合した後、プレストレスを導入して PC 構造体として成立させる実証プロジェクトを実施した^{6), 7)}。本プロジェクトは、層を積み重ねて作る積層構造に起因する硬化体物性の把握や、積層構造体の設計・施工ノウハウの蓄積、構造性能評価の基礎検討を目的としている。本稿ではこれらの概要を紹介するとともに、実用化に向けた課題や今後の展望について考察する。

2. 実証プロジェクトの概要

(1) プリンティング装置 (建設用 3D プリンタ)

本プロジェクトでは、筆者らが開発したガントリー式の 3D プリンタを使用した (図 1)。製作可能な最大寸法は、幅 1.7 m × 長さ 2.0 m × 高さ 1.5 m である。独自に開発した特殊ノズルを装備し、建設工事で一般的な脈動を伴うポンプと組み合わせても、ノズル部で脈動影響を解消し定常量の材料を押出すことができる。また、材料を垂らすことなく不連続区間を自由に移動することも可能である。ノズル口径は 25 mm



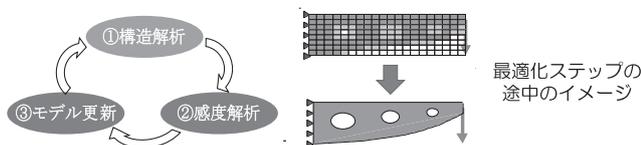
図一 開発・使用した建設用3Dプリンタ（ガントリー方式）

で、1層当たり1cmの厚さで積層を繰り返すことにより、ひと筆書きに限らず様々な形状部材を迅速かつ高精度に自動製作することができる¹⁾。

(2) トポロジー最適化手法

設計者の経験や固定観念に囚われない自由度の高い合理的な構造を数値解析的に求める手法としてトポロジー最適化が注目されている。本手法は、形状に加えて空洞の数の増減などの形態の変更を可能とする最も自由度の高い構造最適化の手法で、寸法最適化や形状最適化と比較して構造の性能をより改善できる可能性を有している⁸⁾。

トポロジー最適化とは、質量、変位などの制約条件の下、有限要素法による構造解析、その結果を受けての感度解析、モデルの変更を繰り返しながら、不要な材料（要素）を削り最適な形状を見出していく手法である（図一2）。本プロジェクトでは以下の形状設計において本手法を活用した。



図一2 トポロジー最適化の手順

(3) 使用材料および硬化体物性

使用材料は、筆者らが3Dプリンティング用に開発してきた高チキソトロピー性を有するセメント系材料である^{6), 7)}。これまでの試験によって得られた代表的な硬化体物性を表一1に示す。引張強度は荷重方向と積層方向が一致する向きを縦目、直交する方向を横目と定義している。積層構造に起因し、引張強度に明確な異方性があることが確認される。

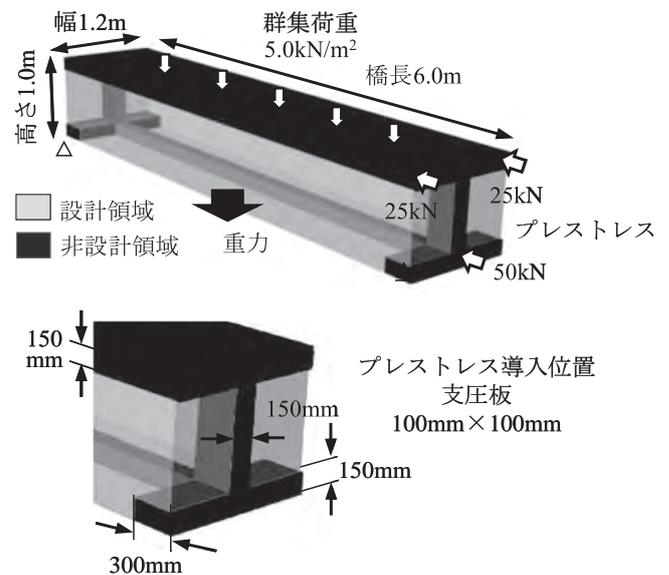
表一1 代表的な硬化体物性

ヤング率	ポアソン比	単位重量
20 kN/mm ²	0.21	22 kN/m ³
圧縮強度	引張強度（左：縦目，右：横目）	
30 N/mm ²	2.2 N/mm ²	3.0 N/mm ²

(4) 最適化設計（形状設計）

最適化設計の対象とするPC構造体（橋桁）は、橋長6.0m×幅1.2m×高さ1.0m、上フランジ端部に2本と下フランジ中央に1本のPC鋼棒を配置する形状である。想定荷重として上面に5.0kN/m²の群集荷重、桁自重およびプレストレスを考慮し、想定荷重に対し最大の曲げ剛性となるように、設計領域を対象に構造最適化を図った（図一3）。なお、荷重面および支持面は非設計領域として最適化の対象外としており、形状は初期形状のまま変化させない。

最適化により決定した設計領域（図一4（a）の薄灰色部分）の質量は、最適化前の設計領域の質量（図一3の薄灰色部分）に対し1/4の質量となっている。最終的に製作した形状は、施工性や意匠性を考慮して



図一3 最適化の対象形状



(a) トポロジー最適化手法により決定した形状

(b) 3Dプリンティングで製作したPC構造体

図一4 決定した形状と製作した実物の比較

多少の変更を加えているが、3Dプリンティング技術を用いることにより解析から決定した合理的な形状をほぼ忠実に再現できることが確認できる(図-4(b))。

(5) 製作方法

PC構造体は計44部材で構成されている。各部材をプリント制作する際にPC鋼棒挿入用の孔を3箇所あらかじめ設け、各部材を接合後にPC鋼棒を挿入し緊張することで一体化している。なお、各部材の接合面は、プレキャストセグメント用エポキシ樹脂系接着剤で接着している。プレストレスとして、上フランジ端部の2箇所それぞれ25kN、下フランジ中央に50kNを導入することで、T型の梁として群集荷重により発生する曲げに耐えられる構造としている(図-5)。

緊張時の導入プレストレスは、別途実施した積層硬化体のクリープおよび収縮試験結果ならびにPC鋼棒のリラクセーションによるプレストレスの減少を考慮して、設計断面における必要プレストレス(合計100kN)に対し、1割増の110kNを導入した。PC鋼棒にはΦ17mm(C種1号)を用い、固定側の定着部は端部にアンカープレートを設置してナットで固定した。プレストレスの導入は上下3本同時に片引きで行った。

以後、PC鋼棒のひずみ計測を行い、導入プレストレスの経時変化を確認した。プレストレス導入後44日経過時点では105kNとなっており、想定100kNに漸近している(図-6)。なお、図中に細かな振動が見られるが、これは外気温の変化に伴う影響である。

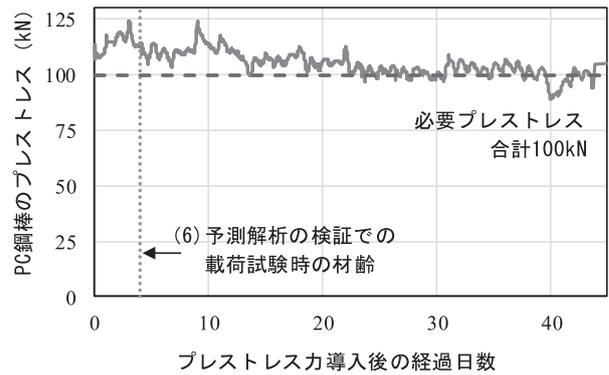


図-6 導入プレストレスの経時変化

(6) 予測解析の検証

製作したPC構造体に対して載荷試験を実施することで、実物の挙動評価と有限要素法(FEM)による予測解析の検証を行った。なお、予測解析の構造モデルは、部材間の接合面を考慮しない線形弾性連続体モデルとした。材料物性には、表-1に示すヤング率、ポアソン比、単位重量を用いた。また、PC鋼棒はモデル化せず、端部にプレート形状をモデル化し、プレストレスに相当する大きさの圧力をプレートに導入することでプレストレスを考慮した。

予測解析では、橋長の中央付近に12人程度集まる状態を短期供用時の最大の状態と仮定し、1枚約1.9kNの鋼板を1枚ずつ橋長中央部に載荷することで、最大5枚(9.45kN)まで集中荷重として段階的に加力した。このとき、上下フランジの中央部および中央から900mm、2000mm離れた下フランジの直下で鉛直変位を計測した(図-7)。

測定の結果、鋼板載荷毎の上フランジ直下の鉛直変位(図-8)および最大加力時の各計測点での鉛直変位

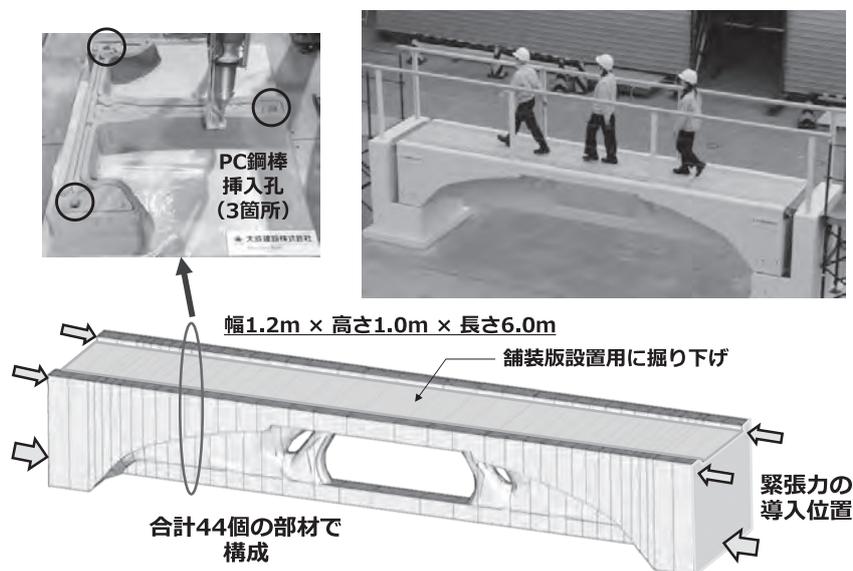
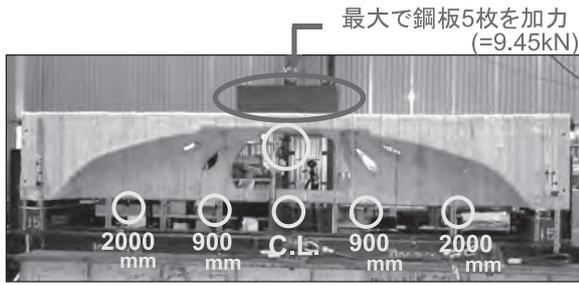
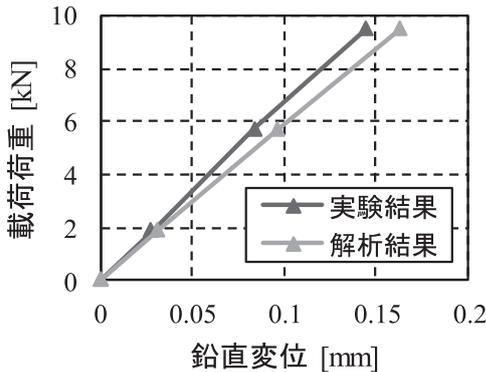


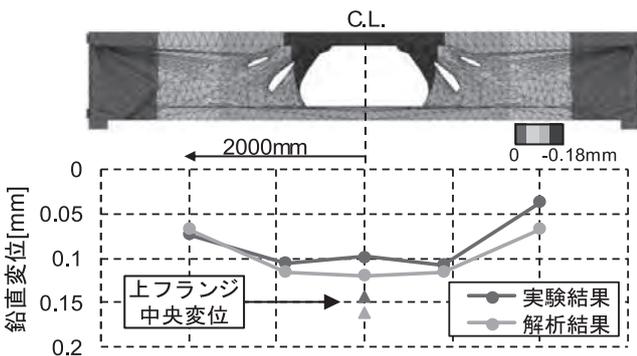
図-5 PC構造体の全体構成と製作方法



図一七 加力方法と鉛直変位の計測点



図一八 上フランジ直下の鉛直変位の比較 (鋼板載荷毎)



図一九 上下フランジ直下の鉛直変位の比較 (最大加力時)

位 (図一九) は、予測解析とほぼ同様の値を示すことが確認できた。実験値は荷重値に対してほぼ線形であり、上記加力範囲内では弾性体としての挙動を示した。また、最大加力時においても、ひび割れの発生や部材間接着部の目開き等の変状はなく、除荷後の残留変位も見られなかった。

3. 実用化に向けた課題

このように3Dプリンティングの特長を最大限に生かしつつ、プレストレスを導入することで、構造部材や構造体の製作に適用できる可能性が示された。しかしながら、実用化に向けては、これから検討・検証すべき課題も多い。

材料面では、3Dプリンティングを現場での製作や

施工に適用するためには、過酷な現場環境下においても材料性状のコントロールや耐久性の確保が求められる。型枠がなく乾燥を受けやすいため、強度発現やひび割れ発生への影響が懸念されること、また、層と層の境界面が物質移行経路となり中性化や塩化物の侵入が進みやすいことが指摘されている。

構造面では、3Dプリンティングに適した引張補強方法の開発や構造体としての挙動評価、強度異方性や接合部による影響を考慮した設計法の構築が今後の重要な課題である。本プロジェクトは、作用荷重レベルが小さな領域での挙動を確認した段階であり、終局に近い状態で積層構造体がどのような挙動を示すのか、また、どのような破壊形態を示すのか、今後実験により検討・検証を重ねていく必要がある。

施工面では、本プロジェクトでは固定型ガントリー方式の3Dプリンタを用いたが、最近ではタイヤ式やレール式、また昇降機能を備えた移動型の3Dプリンタも登場しており (写真一⁹⁾、¹⁰⁾、コンクリート施工技術のDX (Digital Transformation) 化は今後急速に発展する可能性がある。そのためには、正確な空間位置情報の把握や誤差の補正、形状モニタリング解析に基づく設計データの逐次更新や制御へのフィードバックなど、デジタル計測、即時解析、通信制御技術を駆使した高度な施工管理システムの構築が望まれる。さらには、連続的な材料供給手段の確保や、急な環境変化・装置故障を想定した多重防護策、緊急時対応など、様々な潜在リスクに対応できる冗長的な建設生産システムへと進化させていく必要があるだろう。



写真一 移動型3Dプリンタの事例 (左: BAM Infra & Weber Beamix⁹⁾, 右: CyBe Construction¹⁰⁾)

また、これらの技術的な課題に加え、3Dプリンティングに適した材料の品質確認試験方法や強度試験方法などの各種規準類の整備、積層構造体の設計評価手法の体系化、建築基準法等の関連法規制に関する見直しなどが、社会実装へ向けての課題や障壁になると考えられる。

4. 未来への期待と展望

本技術がもたらす未来の可能性は、生産性向上への寄与だけに留まらない。上述したトポロジー最適化形状の実現や、異なる材料 (Multi-material) を複数同時に使い分けながら、多様な機能を兼ね備えた複合機能構造を実現するなど、3Dプリンティングのポテンシャルを生かすことで新たな価値が創出され、社会や生活を変える可能性も想像される。

海外では RILEM¹¹⁾ や ACI¹²⁾ などで、本技術に特化した研究委員会が活発に活動している。国内でもこの技術を発展させるため、2018年度に産官学共同でコンクリート工学会 (JCI) に FS (Feasibility Study) 委員会が発足し、その成果を受け19年度から研究委員会が活動を開始している¹³⁾。同研究委員会では、海外の最新動向の調査・情報収集を進めるとともに、各機関での共通試験の実施、3Dプリンティング技術の適用対象の明確化や技術開発ロードマップの策定、課題解決に必要な研究テーマの絞り込みなどの検討を進めている。

近年、海外では本技術を実際の大型構造物の建設に適用した事例も登場している。耐震基準が厳しい我が国では一筋縄にいかないかもしれないが、海外では確実に大きなムーブメントが起こりつつある。アラブ首長国連邦 (UAE) のドバイでは、2030年までに建築物の25%を3Dプリンティング技術で建設することを政策として掲げている¹⁴⁾。また、オランダでは、プリント製作した自転車橋の供用開始¹⁵⁾に続き、公共事業で橋を架けるプロジェクトがスタートしている (図-10)¹⁶⁾。このように、3Dプリンティング技術は、従来の建設生産システムにおける既成概念に革新をもたらし、建設産業の構造、あり方、ビジネスモデルを大きく揺るがすゲームチェンジャーとなるかもしれない。

未知なる可能性を秘め、新たな価値の提供や直面する社会的な課題を解決に導く壮大な建設技術として、実用化に向けた研究開発を進めていきたいと考えている。



図-10 オランダ・ブリッジプロジェクト¹⁶⁾

5. おわりに・謝辞

最後になりますが本プロジェクトに使用した建設用3Dプリンタ「T-3DP[®]」は、(株)アクティオ、(独)国立高等専門学校機構有明工業高等専門学校、太平洋セメント(株)と共同開発したものです。また、太平洋セメント(株)には、本プロジェクト用に共同開発したセメント系材料をご提供いただきました。ここに誌面を借りて深謝いたします。

JCMA

【参考文献】

- 1) 木ノ村幸士, 村田哲, 小尾博俊, 山本悠人, 畑明仁: 建設用3Dプリンティング技術の開発と今後の展望, 土木学会建設技術研究委員会, 土木建設技術発表会2019 概要集, pp.69-75.
- 2) 日経BP: 特集“設計・施工を刷新する建設3Dプリンター”, 日経コンストラクション2019年7月8日号, pp.28-47.
- 3) D.Asprone, C.Menna, F.P.Boss et al. Rethinking reinforcement for digital fabrication with concrete, Cement and Concrete Research, (2018) 112, 111-121.
- 4) M.Alawneh et al.: The world's first 3D-printed office building in Dubai, Proc. of 2018 PCI convention and National Bridge Conference, Denver, USA, 20-24 February, 2018.
- 5) B.Freek et al.: Large scale testing of digitally fabricated concrete (DFC) elements, Proc. of 1st Int. Conference on Concrete and Digital Fabrication -Digital Concrete 2018-, RILEM book series vol.19, pp.129-147, 2018.
- 6) 国内初 建設用3Dプリンタで製作した部材でPC構造物を構築, https://www.taisei.co.jp/about_us/wa/2020/200217_4882.html, 大成建設ニュースリリース, 2020.2.17.
- 7) K.Kinomura et al.: Application of 3D printed segments designed by topology optimization analysis to a practical scale prestressed pedestrian bridge, Proc. of 2nd Int. Conference on Concrete and Digital Fabrication -Digital Concrete 2020-, RILEM book series vol.28, pp.658-668, 2020.
- 8) 山崎慎太郎: トポロジー最適化の概要と新展開, システム/制御/計測, Vol.61, No.1, pp.29-34, 2017.
- 9) BAM opens Europe's first concrete printing centre in the Netherlands, <https://www.bimplus.co.uk/news/bam-opens-europes-first-concrete-printing-centre-n/>
- 10) CyBe Construction Unveils New Mobile 3D Concrete Printer, the CyBe RC 3Dp, <https://3dprint.com/158972/cybe-mobile-3d-concrete-printer/>
- 11) RILEM, Technical Committee 276-DFC, Digital fabrication with cement-based materials, <https://www.rilem.net/groupe/276-dfc-digital-fabrication-with-cement-based-materials-351>
- 12) American Concrete Institute, ACI Committee 564, 3-D Printing with Cementitious Materials, https://www.concrete.org/committees/directoryofcommittees/acommitteehome.aspx?committee_code=C0056400
- 13) 丸屋剛: 産官学によるオールジャパン体制を, セメント新聞社, 月刊コンクリートテクノ, 2019年8月号, Vol.38, No.8, pp.8-10.
- 14) Dubai 3D printing Strategy, <https://www.dubaifuture.gov.ae/our-initiatives/dubai-3d-printing-strategy/>
- 15) 世界初3Dプリント自転車橋が開通, <https://idarts.co.jp/3dp/3d-printed-bicycle-bridge-open-netherlands/>
- 16) <http://www.bridgeproject.nl/>

【筆者紹介】

木ノ村 幸士 (きのむら こうじ)

大成建設(株)

技術センター 社会基盤技術研究部

主任研究員, 博士 (工学), 技術士 (建設部門)



自律走行式床面ひび割れ検査ロボットの開発

—ロボットによる自動検査の導入効果—

羽根田 健

建設業界においても、技能労働者の減少による労務不足を補うためロボットやAI（人工知能）の開発が積極的に進められ、建設現場で使われる機会も増えている。今回開発した「自律走行式床面ひび割れ検査ロボット」（以下「本ロボット」という）は、大空間構造物のコンクリート床面におけるひび割れ検査において、走行台車型の検査ロボットが自律走行、自動撮影を行い、同時にAIにより撮影画像からひび割れを検出し、その結果を自動で図面に表示することができる。本稿では、本ロボットの概要や実証実験による導入効果について紹介する。

キーワード：ロボット、コンクリート、床面、ひび割れ、検査、自動化

1. はじめに

近年、建設業において作業員の高齢化と新規就業者の減少による労務不足が課題になっている。建設業に従事する労働者は、2017年時点で約498万人であるが、そのうち55歳以上が約169万人と34%を占めており、一方で、29歳以下の労働者は約55万人で11%である。また、働き方改革による労働時間の削減にも務めていかなければならない中で、生産性の向上と、工事の省力化は喫緊の課題になっている。これらの課題に対する方策のひとつとして、検査業務の自動化が求められる。そこで、コンクリート床面のひび割れ検査に着目し、自律走行式床面ひび割れ検査ロボットを開発した。

コンクリート床面のひび割れ検査は、竣工時や引き渡し後一定期間が経過したのちに実施している。従来の検査方法では、専門の知識を有する検査員が、スケールやクラックスケールを用いて、近接目視で実測を行い、その結果を写真やスケッチで記録する。そのため、人による精度のバラツキが発生するとともに、一連の検査業務に多くの時間と労力が必要になる。近年では様々なひび割れ検出技術が開発されているが、その多くは人手を伴う画像取得作業が必要であり、撮影から図面化までに相当の時間を要している。

本ロボットでは、走行台車型の検査ロボットが、自律走行しながら床面を漏れなく自動撮影し、撮影画像からAIによるひび割れ検出を直ちに行い、その結果を自動で図面に表示する。そのため、短時間で、人の手間がかからず、高品質な検査を行うことが可能になる。

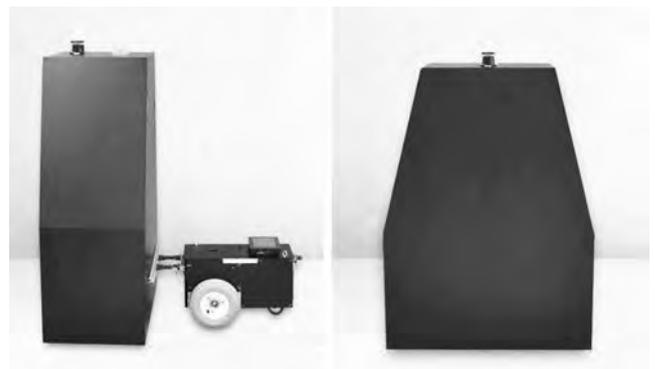
2. 本ロボットの概要

(1) 本ロボットの特徴

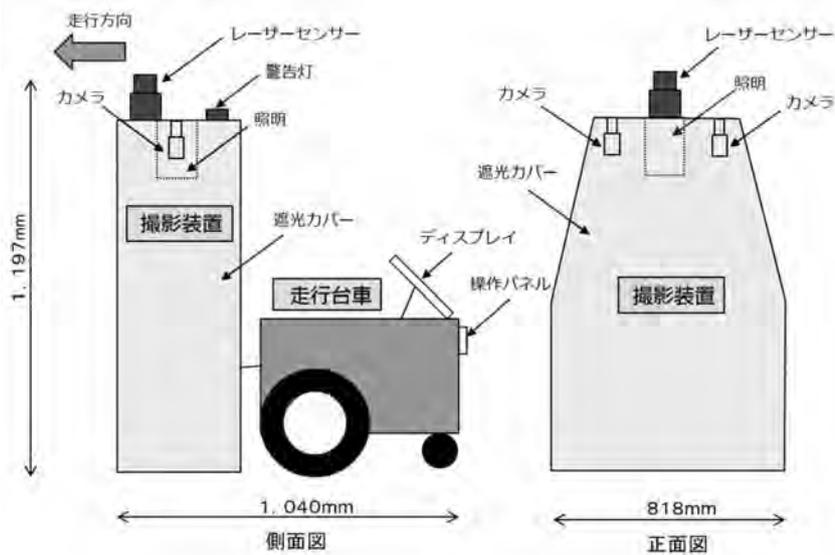
本ロボットは、走行台車と撮影装置から構成され、ひび割れ検出用のPCを付属する（写真—1、図—1、表—1）。

走行台車と撮影装置は分離して運ぶことができ、軽量（走行台車19kg、撮影装置16kg、計35kg）である。また、組立は連結部分にピンを差し込むだけで、特殊な工具は必要ない。広い現場でも容易に移動でき、短時間で検査を開始することができる。

走行台車は、3輪タイプの移動台車で左右独立駆動が2輪とキャスター1輪の方式である。内部にPCを搭載し、自律走行と、自動撮影および撮影時のフラッシュライトの照射を制御する。自律走行は、自己位置をSLAM（Simultaneous Localization and Mapping）で推定しながら、柱やその他の障害物を自動で回避す



写真—1 本ロボットの外観



図一 本ロボットの構成

表一 本ロボットの主な仕様

項目	仕様
外形寸法	W818 × D1040 × H1197 mm
重量	35 kg
カメラ	Baumer 4096 × 3000 ピクセル
レンズ	MORITEX 35 mm レンズ
光源	ガイドナンバー 38 (ISO100) 相当
理論分解能	0.1 mm/px (10 pixel/nm)
距離計測	床面距離：固定 走行距離：オドメトリ + SLAM
バッテリー	LiFePO4 (リン酸鉄リチウム)
動力	30 W DC ブラシレスモータ × 2
駆動制御	速度制御
自動走行速度	0.15 m/s
移動 コントロール	PC：Intel NUC OS：Ubuntu 14.04 LTS MW：ROS Indigo
撮影 コントロール	PC：Intel NUC OS：Windows 10
自己位置推定	ハード：2D LiDAR HOKUYO UTM-30LX

る。走行速度は、0.15 m/s で、1,500 m² を約 6 時間で一度に走行できる。自動撮影は、約 2 秒に 1 回のペースで連続して行い、フラッシュライトはその都度照射される。また、背面にある操作パネルでは、ロボットの運転開始、停止の操作を行い、ディスプレイでは、検査範囲の指定や走行状況などを確認することができる。その他に、リン酸鉄リチウムバッテリーと、動力として 30 W DC ブラシレスモーターを 2 基搭載している。

撮影装置には、カメラと照明を搭載し、遮光カバーで覆われている。カメラは産業用カメラを 2 基搭載し、並列に 2 枚を同時に撮影する。撮影した画像は、

SLAM により位置情報を 1 枚ごと取得し、この情報を基に画像が合成される仕組みになっている。照明には、ストロボを 1 基使用している。連続撮影時の発熱でストロボの照度低下が発生しないよう温度上昇を防ぐ措置を講じ、耐久テストも実施済みである。遮光カバーはプラスチック製の簡易で軽量なものであり、内側には反射素材を用いて照度が均一になる工夫をしている。この専用の撮影装置により、カメラと床面の距離やフラッシュライトによる照明の光量・角度が一定に保たれるため、外的要因に左右されず常に同条件での画像取得が可能となり、画像認識によるひび割れ検出が高精度で行える。また、撮影装置の上部に、レーザーセンサーと警告灯を装備する。レーザーセンサーでは、位置情報の取得と、走行中は障害物検知を行い、警告灯は、走行検査中に何らかのエラーが生じた場合、点滅と警告音を発生する。

付属の PC には、ひび割れ検出 AI と検出したひび割れを自動で図面化するソフトウェアを搭載した。ロボットで撮影した画像データは、無線 LAN により PC に随時転送され、AI にてひび割れを検出する。理論分解能は、0.1 mm/px で、幅 0.1 mm のひび割れまで検出できる。検出速度は、PC に画像受信後、画像 1 枚につき約 1 秒である。検出したひび割れは、CAD データの平面図上に幅 0.1 mm ごと色分けして表示する。また、画面上で必要な個所の詳細画像を確認することや、紙媒体で出力することもできる。

(2) 本ロボットの操作手順

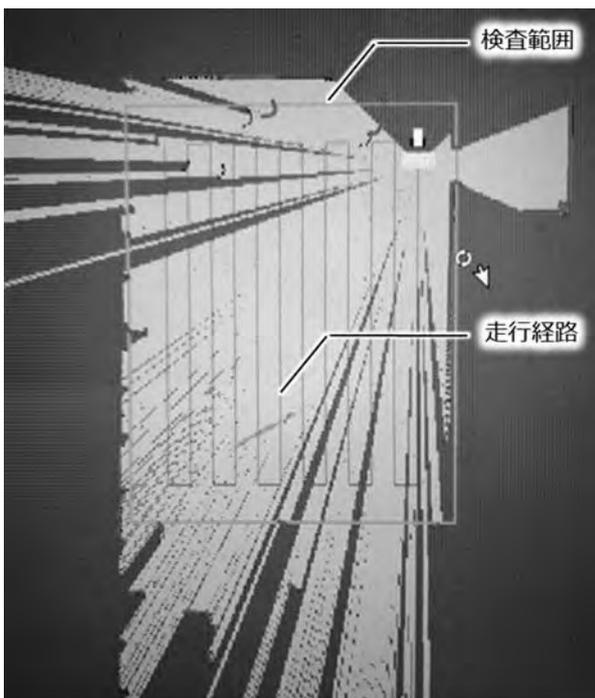
本ロボットは、検査範囲を指定するだけで自律走行、自動撮影、AI による床のひび割れ検出、検査結

果の図面へのプロットを自動で行うことができる。ロボットの操作手順を以下に示す。

- ①ロボットをコントローラー（写真—2）で操作しながら、必要な範囲の周辺環境をレーザーセンサーで読み取り、環境地図を作成する。作成した環境地図は、走行台車のディスプレイに表示される。
- ②ロボットを検査開始位置にセットし、作成した環境地図上に検査範囲を指定する。検査範囲の指定はコントローラーの十字スティックで行う。
- ③検査範囲を確定すると、ロボットが自動で走行経路を作成し、環境地図内に表示する（図—2）。
- ④検査開始ボタンを実行し、自律走行を開始する。ロボットは走行経路に従い自律走行を始め、検査範囲の床面を自動撮影する。走行途中にある柱などの障害物は、レーザーセンサーで検出し自動で迂回を行う。
- ⑤自動撮影した床面の画像は、撮影毎に随時、無線LANで付属のPCに転送される。



写真—2 操作用コントローラー



図—2 環境地図および走行経路の作成

- ⑥PCで受信した画像は、AIにより自動でひび割れを検出する（図—3）。
- ⑦ひび割れ検出後、画像にある位置情報をもとに環境地図上にひび割れが合成され、1枚のひび割れ検出マップが完成する。
- ⑧このマップとCAD図面を貼り合わせ、平面図上にひび割れを表示させ、最終図面が完成する。

3. 実証実験

本ロボットの有意性を確認するため、実証実験を行った。

実証実験は、竣工後数十年が経ち解体が決まっている複合施設で行い、ひび割れが比較的多く発生している平坦なコンクリート床（約200m²）で実施した。同一の場所で従来の目視による検査（以下、目視検査）とロボットによる自動検査（以下、自動検査）を行い、ひび割れの検査速度と検出精度を比較した。

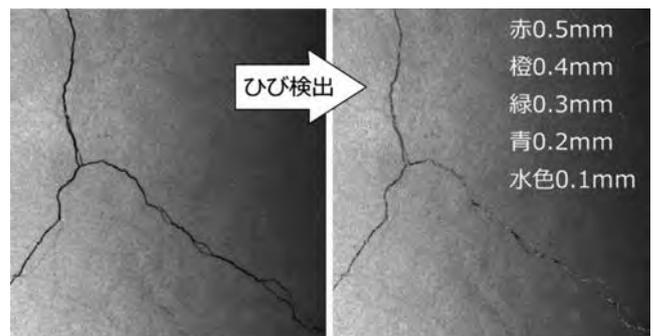
目視検査では、専門の知識のある検査員が、平面図にひび割れをスケッチし、クラックスケールを用いてひび割れ幅を実測して記録した。自動検査では、建築の知識のない操作者が、ロボットを所定の位置にセットし、検査、図面化を行った。

(1) 検査速度

目視検査ではスケッチから実測による記録までに約65分を要した。自動検査では、ロボットのセットから図面化までを約40分で完了した。また、目視検査は記録と実測を2人1組で行ったが、自動検査ではロボットの操作者1名ですべてを実施することができた。自動検査により、検査時間の短縮だけでなく、検査員の削減ができることを確認した。

(2) 検出精度

目視検査では、注意深く床面を調査しているにもかかわらず、ひび割れを見落とす部分があった。また、ひ



図—3 AIによるひび割れ検出

び割れ位置は目測であるため、おおよその位置での記録となり、ひび割れ幅は、ひび割れの始点と終点、その中間や分岐点を実測した(図-4)。一方、自動検査では、目視検査で見落とししたひび割れも確実に検出し、検出漏れは皆無であった。ひび割れ位置も、SLAMによる位置情報を取得しているため正確である。ひび割れ幅もピクセル単位で検出しているため、全長にわたり幅がわかり、画像によりひび割れの詳細を把握することができた(図-5)。しかしながら、床の傷や汚れをノイズとして検出してしまう箇所が散見された。このように自動検査では、改善の余地はあるものの、ひび割れの位置、幅を正確に検出し、高精度かつ詳細に記録ができることを確認した。

4. ロボットによる自動検査の導入効果

今回の実証実験で得られた結果を踏まえ、導入効果を以下にまとめる。

- ①自動検査は目視検査に比べ、検査時間を約40%短縮し、検査に必要な人員も半減することができた。そのため、大幅な業務効率化と、労務不足の改善が図れる。また、複数台のロボットを同時使用することにより、更なる検査の効率化が見込める。
- ②ロボットではひび割れ検査の専門の知識がない者でも常に安定した精度で検査することができ、信頼性の高い記録を得ることができる。また、点検漏れや見落としも防止できる。
- ③ひび割れ検査の記録を、紙媒体ではなく電子データとして管理することで、より多くの情報を手軽に確認できる。そのため、設計・施工との因果関係や発生原因を的確に評価することも可能になる。
- ④自動検査では、操作者がロボットの管理のみを行っていれば良く、目視検査での長時間にわたる作業や、その検査姿勢から成る苦渋作業を削減できる。

5. おわりに

本ロボットにより、多くの労力を必要とすることなく現場の詳細なデータを自動で取得できるようになり、検査業務の大幅な効率化が図れる。また、AIによるひび割れ検出で、精度の高い検査結果を安定して得ることも可能になった。一方で、検出時のノイズの除去など解決しなければならない課題もある。今後は、本格的な実用化に向け、様々な実現場での試行を繰り返し行い、本ロボットの改良改善を行っていく。

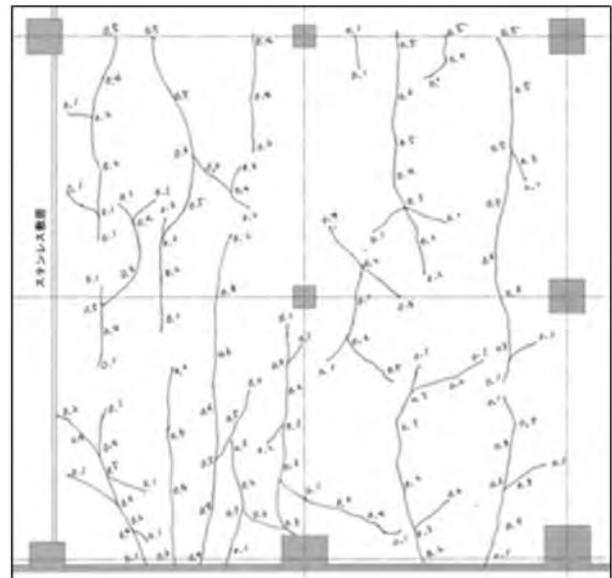


図-4 目視検査での記録

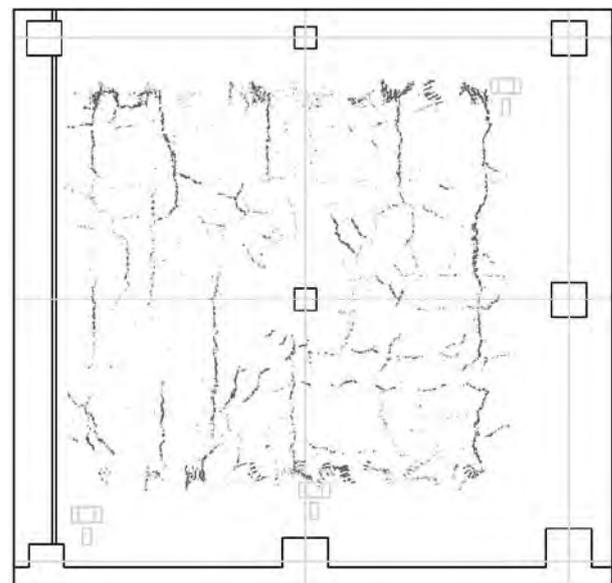


図-5 ロボットによる自動検査での記録

謝辞

最後になりますが本ロボットの開発にあたり、共同開発先である株式会社イクシス様には絶大な協力を頂いている。ここに誌面を借りて心より感謝の意を表する。

JCMMA

【筆者紹介】

羽根田 健 (はねだ けん)

(株)安藤・間

建設本部 先端技術開発部 建築技術開発グループ
担当課長



人と重機の接触災害リスク低減システムの開発

ICT で人と重機の協調安全を実現

奥田 悠太

建設現場では人と重機が同じエリア内で作業することが多く、製造業では一般的な「隔離の原則」や「停止の原則」の実現が難しいため、安全の確保は人の注意力に頼る部分が多い。そこで、山岳トンネル掘削工事に ICT 技術を導入し、人・モノ・環境が情報を共有することで安全を確保する協調安全 (safety2.0) という概念に基づいた安全管理システムの開発を目指すこととなった。

本稿では、トンネル掘削作業の「ずり出し作業」に着目し、ビーコンを利用した位置情報システムと、高照度赤色 LED ライトを利用した警告照明システム、AI を搭載した人検知カメラシステムを組み合わせ、人と重機の接触災害リスク低減システムの現場導入について報告する。

キーワード：山岳トンネル、協調安全 (safety2.0)、安全性・生産性の向上、ICT、ビーコン、AI

1. はじめに

建設現場において遠隔操作による無人化や、完全なる自動化施工の実現は依然として課題が多く、人と重機が同じ領域で協働して作業を行う必要がある。例えば山岳トンネル掘削工事におけるずり出し作業では、関係者以外の切羽近傍エリアへの立ち入りは禁止されているが、重機オペレーターやクラッシャーの監視員は切羽エリア内に立ち入って作業を行う必要があるため、単純に「人の作業エリア」と「重機の作業エリア」を設定してお互いの進入を禁止することができない。そこで、ICT・IoT・AI 技術により、人・重機・環境がお互いに情報を共有することで、人の状態、環境の状態に合わせて作業エリアへの入退場を管理する安全支援システムの開発を目指した。

本稿では、2019 年に熊本 57 号滝室坂トンネル西新設 (一期) 工事 (工事延長=2,679 m, 掘削断面積=107 m²) に導入したトンネル掘削工事のずり出し作業における、人と重機の接触災害リスク低減システムの構成と、導入にあたっての課題、導入効果について報告する。

2. システムの概要

本システムの開発にあたり、山岳トンネル掘削工事のずり出し作業での人と重機の接触災害リスクについて洗い出しを行った。

- ①人が切羽エリアに侵入し、重機と接触
 - ②重機オペレーターが切羽エリアで重機から降車し、他の重機と接触
 - ③重機が人の存在に気付かず接触
 - ④人が重機の接近に気付かず接触
- これらのリスク低減を実現するために以下のシステムを開発、現場導入した。

- ①ビーコンを用いた位置情報管理システム (図—1)
- ②警告照明システム (図—2)
- ③ホイールローダー制御システム (図—3)
- ④バックホウ制御システム
- ⑤ AI 搭載人検知カメラシステム (図—4)



図—1 位置情報管理システム



図—2 警告照明システム

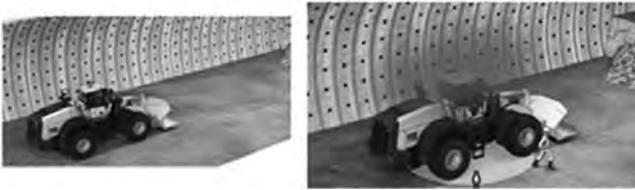


図-3 重機制御システム



図-4 AI搭載カメラシステム

(1) ビーコンを用いた位置情報管理システム

本システムは、BLE (Bluetooth Low Energy) 信号を発する EXTx (以下 発信機) (写真-1) と、受信する EXBeacon (以下 受信機) (写真-2) により位置情報を測位するシステムである。受信機は坑内に10m 間隔で設置し、EXGateway (以下 中継機) と現場無線 LAN ネットワークを経由して EXCloud (以下 サーバー) へ情報が送信される。サーバー上で人や重機の位置がマッピングされ (図-5)、ずり出し作業中に切羽エリアに関係者以外の立ち入りがなく監視する。ビーコンによる位置測位の課題として、測位精度に10m 程度の誤差が生じることがあげられる。そこで切羽エリアと駐機エリアの境界には指向性



写真-1 発信機



写真-2 受信機



写真-3 照明架台と白色 LED 照明



白色 LED が消灯し、
赤色 LED (警告灯) が点灯する

写真-4 赤色 LED 照明点灯モード



図-5 マッピング状況

アンテナを設置し、立入禁止ラインを切羽エリアから10m 程度後方に設定することで、確実に捕捉できるようにした。

(2) 警告照明システム

本システムは照明架台に白色と赤色の高照度 LED 照明を設置し、点灯方法を一括で制御するシステムである。通常時は白色 LED 照明のみが点灯し、切羽近傍で200lx の照度を確保することで、作業の安全性向上を図った (写真-3)。位置情報管理システムで侵入者を検知すると、アラート信号を受信して赤色 LED 照明と白色 LED 照明が交互に点灯し (写真-4)、大音量スピーカーが発報する。これにより、騒音が大きな作業中のトンネル坑内においても確実に危険を知らせることが可能となった。

(3) ホイールローダー制御システム

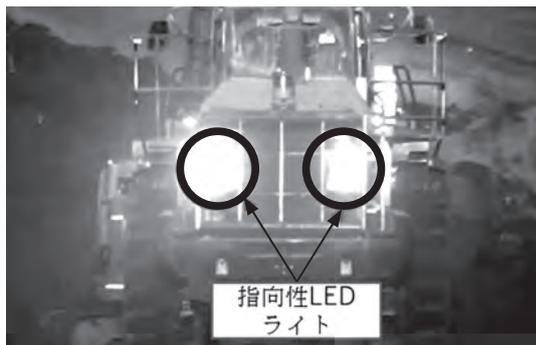
本システムは重機オペレーターの降車監視と、重機移動時の視認性を高めるためのシステムである。まず、重機の運転席内に設置したビーコン受信機でオペレーターの降車を監視し、ずり出し中に降車を検知した場合には、重機に設置した警告灯が発報し、周りの重機にオペレーターの降車を知らせる。これにより重機オペレーターがずり出し作業中に重機から降車して



写真一五 警告灯点灯状況



写真一八 シーケンシャルライト点灯



写真一六 指向性赤色LEDライト

接触するリスクを低減している（写真一五）。また、ホイールローダーの前後に指向性赤色LEDライトを設置し、前後進に合わせてライトが点灯（写真一六）し、周囲からの視認性を高めた。これにより、人が重機の接近に気付かずに接触するリスクを低減している。

(4) バックハウ制御システム

ホイールローダー制御システム同様、重機オペレーターの降車を監視し、降車を検知した場合は警告灯に加えて車体後部のシーケンシャルライトが赤色に発光する（写真一七）。前後進時にはシーケンシャルライトが外側から内側にむけて青色に発光し、周囲からの視認性を高めた（写真一八）。



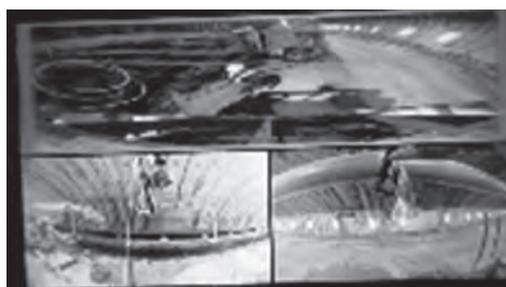
写真一七 警告灯点灯状況

(5) AI搭載人検知カメラシステム

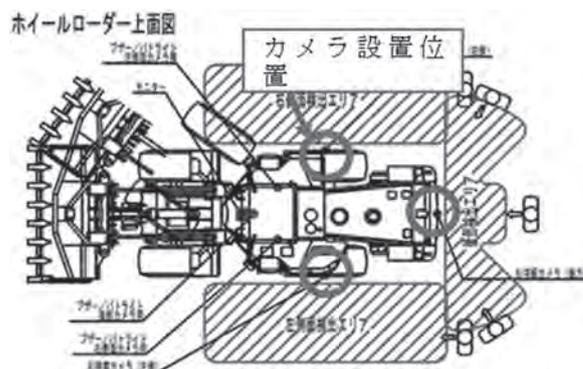
重機オペレーターの死角となる左右後方の三方向に人を検知するAIを搭載したカメラ（写真一九、一〇）を設置し、（図一六）に示す検知エリアに人または車両が侵入した場合には、運転席に設置したモニターとLEDライトが発報することで、重機オペレーターが周囲にいる作業員の存在に気付かずに接触するリスクを低減している。



写真一九 人検知カメラ



写真一〇 カメラモニター



図一六 AIカメラ検知範囲図

3. 現場導入結果

(1) 導入時の課題と解決策

(a) 現場のシステム運用体制の確立

本システムの導入にあたり、現場職員、協力業者、作業員から理解を得て、継続的にシステムを運用できる体制の構築が重要であった。そこで、アニメーション動画（図—7）を積極的に活用した勉強会を複数回実施し、システムの構成や運用イメージ、協調安全について説明を行った（写真—11）。システム導入後は、運用ルールや機器の使用感、要望について1か月間ヒアリングを実施し、ソフト・ハード両面で様々な意見を得ることができた。それらを考慮した運用ルールへの変更や、機器の調整を行うことで継続運用に対する理解が得られた。

(b) ビーコンの位置測位精度の確保

運用開始直後、切羽エリアへの侵入者がいないにも関わらず、警告照明システムが発報する誤作動が多発した。トンネル坑内、特に切羽エリア近傍にはクラッシャーや、テールピース台車、電源台車など鋼材が存在するため、ビーコンのBLE信号が乱反射しやすい上、ホイールローダーがクラッシャーにずりを投入する際に、（写真—12）に示すように照明架台とホイールローダーの車体により、BLE信号の反射断面が大



写真—12 誤作動多発時の状況

きくなったことが原因であった。そこで、BLE信号の受信回数と電波強度の関係性を見直すとともに、越境を検知するための指向性受信機の設置位置を50cm単位で検証を繰り返した結果、誤検知が発生しなくなった。

(2) システム導入による効果

(a) 接触災害リスクの見える化

位置情報管理システムと警告照明システムの導入により関係者以外の立入りを常に監視し、異常発生時には迅速かつ正確にリスク伝達が可能となった。従来は、レーザーポインターやジェスチャーなどで作業停止指示を伝達しており、全重機を停止させるまで時間を要していた。警告照明システムの導入により、重機オペレーターからも「重機を停止させるか迷うことがなくなった」との評価を得た。

(b) 作業員の安全意識の改善

本システムの導入後、切羽エリア近傍で安全通路に関する注意回数について調査したところ、導入当初は3回／一方であったが、システムの定着とともに減少する傾向が見られた（図—8）。位置情報管理システムにより、切羽エリアへの侵入を監視されているため、後向きの作業員はずり出し作業中に切羽エリアに近づくなくなった。また、切羽監視員や重機オペレーターが後向きの作業員や見学者に対して、ずり出し作業中には切羽エリアに近づかないように指導する行動も見られた。

(c) 作業効率化に向けた作業員の自主的な取り組み
補助工法で施工した鏡ボルトの回収作業に伴う降車回数（図—9）、こそく作業時のあたり確認に伴う降車回数（図—10）についても調査を実施した。その結果、降車回数や作業停止時間に関する指導を行っていないにも関わらず、いずれの回数も減少する傾向にあった。

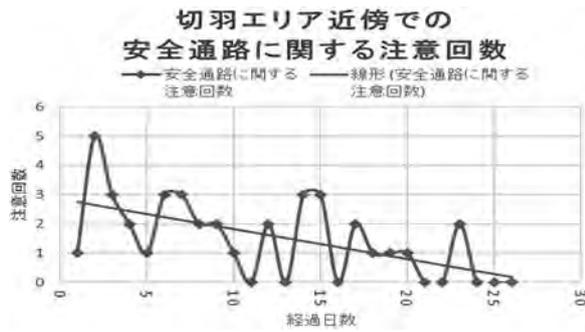
これらの結果から、ずり出し作業時の人と重機の接



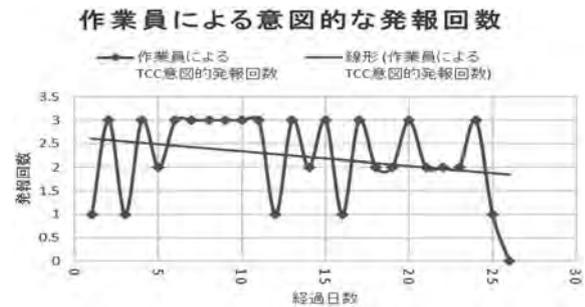
図—7 教育用アニメーション



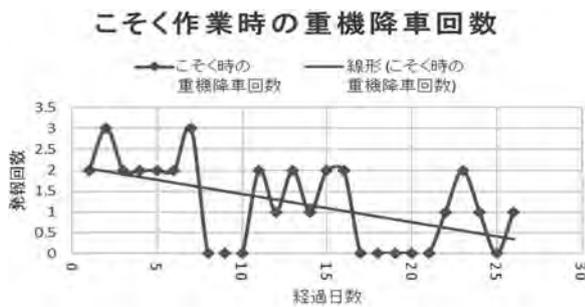
写真—11 現場勉強会



図一八 安全通路に関する注意回数



図一九 作業員による意図的な発報回数



図一〇 こそく作業時の重機降車回数

触災害リスクの低減という本来の目的に加え、安全支援システムの導入により一時的に生産性が低下するが、システムの運用が浸透するにつれて作業員の自主的な行動変化によって生産性が回復することが確認できた。

4. おわりに

本システムは、ビーコンシステムによる位置測位や、AIによる人検知、無線通信技術によるネットワーク構築など要素技術を組み合わせたシステムだが、運用上のルールは「ルール違反をすると警告照明システムが発報する」、「発報したときは作業を止める」という非常にシンプルなルールである。そのため、経験年数が浅く現場に潜むリスクに気付かない人でも、リスクから身を守ることができる点で非常に有用性が高い。

本システムの導入にあたり、ハードの導入だけでなくソフト面の整備に取り組んだ結果、Safety2.0に適合する技術²⁾としてセーフティグローバル推進機構³⁾が認定する「Safety2.0」の適合認証を取得した。

今後は、本システムの改良に加えて、トンネル以外の工種への協調安全の普及に向けて取り組んでいく。

JCMA

《参考文献》

- 1) 向殿政男：安全学からみた建設業に関する安全について、No.777, pp9-14, 2019.11.
- 2) 有山正彦：Safety2.0（協調安全）の社会実装化に向けて、安全と健康, 2019.8.
- 3) セーフティグローバル推進機構：労働災害防止の観点から協調安全「Safety2.0」を推奨社会への普及を目的に「Safety2.0 適合審査登録制度」を運用している。

【筆者紹介】

奥田 悠太（おくだ ゆうた）
清水建設㈱
土木技術本部 イノベーション推進部



生産性向上，ワークライフバランスに寄与する 建設ロボット開発の最新状況と今後の課題

中 川 啓太郎

清掃ロボット，搬送支援ロボット，設備部材取付アシスト機械，クレーン・エレベータ等遠隔監視システム，次世代高所作業車，BIM データと建設ロボットの連携・管理システムなど生産性向上，ワークライフバランスに大きく寄与する開発の最新状況に加え，コンクリート打設作業の機械化を目指した「コンクリート省人化パッケージ」の最新状況の報告とともに，本稿では今後解決すべき課題と未来への提案を行う。

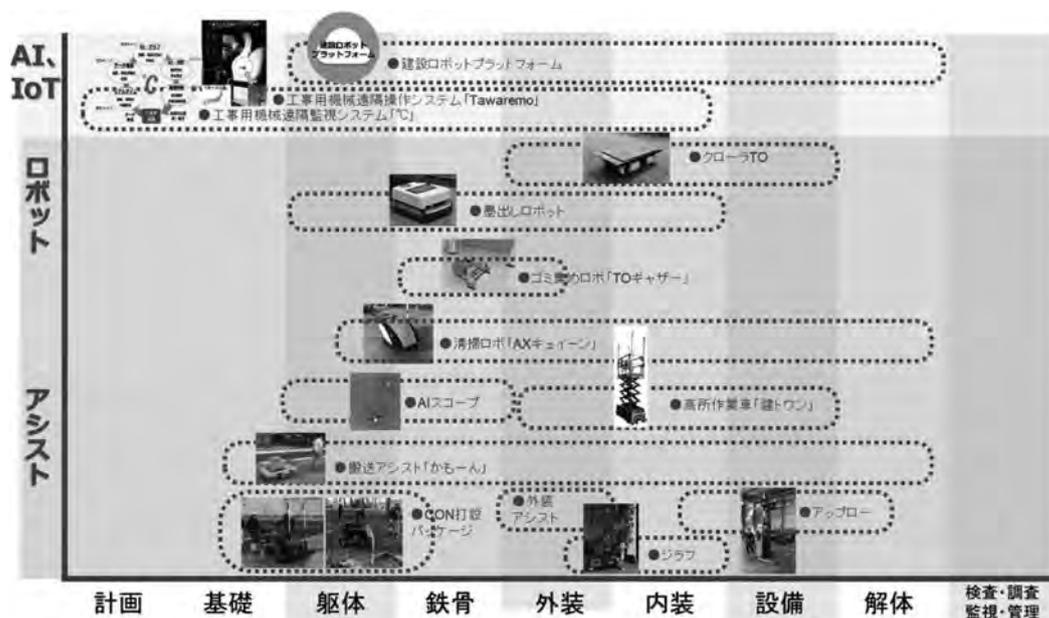
キーワード：ロボット，生産性向上，搬送，高所作業車，BIM

1. はじめに

建設業は国内総生産の約6%を占め，就業者数は約500万人である。その建設業における技能労働者の高齢化と新規入職者の減少という問題は数年来の課題であり，未だ歯止めがかかっていない。また，新型コロナウイルスの影響で，民間設備投資が不透明な状況になっており，今後の事業環境が厳しくなっていくことが予想される。

これらの状況を打開するためには，生産力の確保と同時に生産性の向上が必要である。これらの課題解決を図る上で，ベテラン建設技能労働者の高い技能を發

揮する就業時間を如何に伸ばし，新規入職者の技能習得を如何に早急に行うかが喫緊の課題である。またベテラン建設技能労働者離職の歯止め，新規入職者の獲得のためにも，週休2日制の定着促進などによる働き方改革の推進も必要となっている。それらの対策として，清掃ロボット，搬送ロボット，設備工事アシストマシン，クレーン・エレベータ・電力機器の遠隔監視システム，上昇させたまま移動できる高所作業車，BIM データと建設ロボットの連携・管理システムの開発，コンクリート床打設用ロボットの導入・展開を図ってきた（図—1）。本稿では，アシスト分野のうちコンクリート省人化パッケージ，天井内設備材料の



図—1 各開発技術の適用工事

取付アシスト機械「アップロー」、次世代高所作業車「建トウン」、ロボット分野のうち清掃ロボット「AX キューイン」、搬送支援ロボット「クローラ TO」、AI、IoT 分野のクレーン・エレベータ・電力機器の遠隔監視システム、BIM データと建設ロボットの連携・管理システムの開発「建設ロボットプラットフォーム」について最新状況と今後解決すべき課題を述べる。

2. 各技術の最新状況

(1) コンクリート省人化パッケージ

床コンクリート打設において、背負い式バイブレータ・床均しアシスト機械ミニスクリード・小型騎乗式トロウエルを一連のパッケージとして用いることにより、品質向上・省力化・省人化を図っていくことを目指して取り組んでいる（図—2）。工場・倉庫のようなコンクリート面が仕上げになるような床では、床面精度が求められる。それらの要求に対して、約40件以上の建設現場に前述した機械を導入することにより、品質を確保できるということが分かっている。一方で、品質を確保するという至上命題の中で、人員を減らして省人化していくことは作業員の想いと反する部分があり、難しい状況でもある。現在は、商業施設や事務所ビルなどコンクリートの上にOAフロアのように仕上げ材が載る床を構築する際は高いレベルの床精度は必要とならないため、機械化を行うことにより、省人化を図ることを目指している。

(2) 天井内設備材料の取付アシスト機械「アップロー」・「アップロー+」

主に天井内設備材料の取付作業において、施工性、および安全性の向上を目的としたアシスト機械「アップロー」を開発している（写真—1）。従来、重量のある配管やダクトなどの天井内設備材料は、揚重のための専用設備を天井に設置する必要があり、取付のための準備・揚重作業に時間がかかっていた。「アップロー」では、天井内設備材料を床面にて安全に機械（フォーク）上に配置し、そのまま最大4.2mまで揚重可能である（写真—2）。そのため、作業時間の大幅な短縮を実現すると共に、高所での準備作業が不要となることで安全性の向上も実現することができる。

作業所にてアップローを試行・運用し、稼働台数を増やしていく中で、より高揚程のニーズに合わせたアップロー+（6mまで揚重可能）も新規開発してい



写真—1 アップロー全景

	打設	均し	押え	合計
現状	 <p>ポンプ工3人、パイプ2人 パイプ配線調整2人 計7名</p>	 <p>レベル出し1人 粗掻き5人 均し4人 計10名</p>	 <p>トロウエル操作4人 端部仕上げ6人 計10名</p>	17人 最終目標7割省人化
機械化	  <p>リモコン型コンクリート分配器 分配機操作2人 相番者1名 パイプ2人 目標計5名</p>	 <p>ミニスクリードオペ2人 粗掻き相判2人 均し相判2人 均し(仕上げ)3人 目標計9名</p>	 <p>騎乗式トロウエル1名 トロウエル操作2人 端部仕上げ6人 目標計9名</p>	14人

図—2 コンクリート省人化パッケージの商業・事務所ビル等での省人化目標

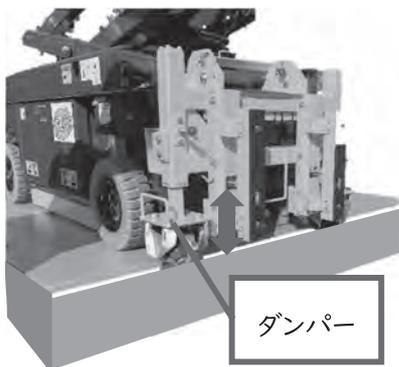


写真一2 可動天板

る。現在は、レンタル会社と協業し、アップロー、アップロー+の保有台数を増やし、全国へ展開している状態である。また、最も改良のニーズが高かった資材を上あげた状態で資材位置の微調整（±50 mm）機能の追加を行えるような可動天板も開発し、資材を上に掲げた状態で位置の微調整を行えるようになっていく。

(3) 段差・障害物検知機能を備えた次世代高所作業車「建トウン」

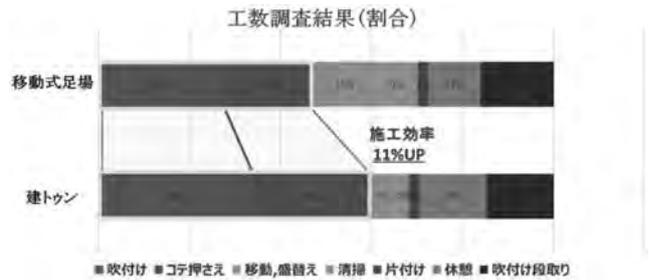
高所作業車を移動させる際、段差や障害物の状況が日々変わる作業所内では、安全のために必ず作業床を最下部まで下げる必要があるため、上げ下げする時間や手間が掛かっている。開発した次世代高所作業車「建トウン」は、±25 mmの段差を検知できる前後段差検知機能、衝突ダンパーにより15 mmの変異を検知する前後障害物検知機能を新たに設け、異常を検知すると動作停止や警報鳴動などの機能が働くため、作業床を上げたままでも安全な走行が可能である（写真一3、4）。作業所に適用し、適した工種の模索を行い、資材を取り付けるような作業は資材を取るために高所



写真一3 安全装置段差検知センサー



写真一4 安全装置ホットポールプロテクター展開状況



図一3 商業施設における耐火被覆工事ででの工数調査結果

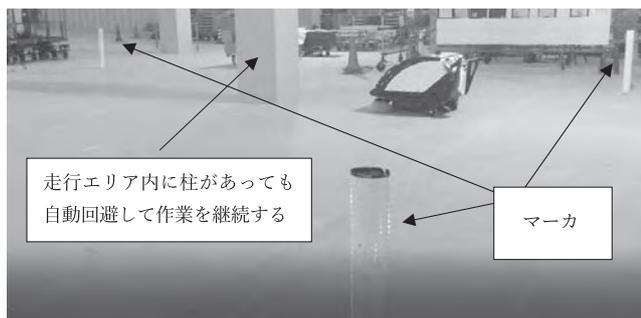
作業車の作業床を都度下に下げなくては行けないため、本開発機の作業床を上げたままでも安全に走行ができることのメリットを享受しづらい。そこで、耐火被覆吹付作業や電気配線などの作業であれば、生産性をあげることができると考え試行を実施し、生産性向上を定量的に調査している。耐火被覆工事においては、建トウンを用いることで生産性が約10%上がることが確認できている（図一3）。

(4) 清掃ロボット「AX キューイン」

一日の作業のうち約10%～20%の割合を占めている清掃作業において、機械化を図ることで主作業の生産性を向上させるという取り組みである。既存メーカー品で使い勝手の良い手押式の電動ホッパー（豊和工業社製）に走行用電動モーターとレーザーセンサーを取付けたことに加え、自動走行用のアプリケーショ



写真一5 AX キューイン

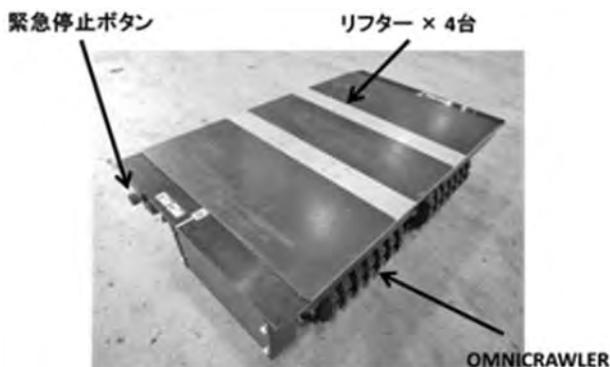


写真一六 清掃指定エリア内での障害物回避機能

ン機能を搭載することで、ロボット化する「AXキューイン」を開発した(写真一五)。開発当初は、4隅に設置されたカラーコーンを認識し、カラーコーン内部を一筆描きで自律走行する機能のみであったが、清掃指定エリア内に障害物があっても回避して清掃走行を継続することや清掃終了後スタート位置近辺に戻るようし、充電エリアまですぐに行けるよう仕様を変更するなど改良を行い、増産及び展開を図っている(写真一六)。

(5) 搬送支援ロボット「クローラ TO」

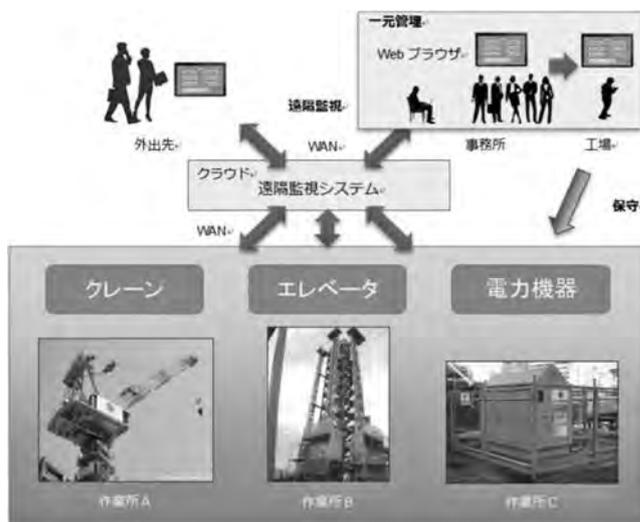
建設技能労働者の負担軽減策として、リモコン(無線通信)にて資材を搬送する全方向クローラ型搬送支援ロボット「クローラ TO」を開発した(写真一七)。このロボットを用いることで、高齢作業員、女性作業員でも重量物の運搬が可能となり、作業所における搬送作業の省力化と効率化を目指している。作業所に導入することにより、省力化を図ることができるが、従来の運搬作業に比べ作業スピードが下がってしまうため、搬送効率が低下してしまう。そこで、夜間作業がある場合に、当該搬送支援ロボットクローラ TOを用いることにより、少ない作業員での資材の揚重作業を実現することで、工事用エレベータへの資材の積み込み・積み下ろしを自動で行う試行を現在行っている。



写真一七 クローラ TO

(6) クレーン・エレベータ・電力機器の遠隔監視システム

タワークレーン、工事用エレベータ、電力機器の遠隔監視及びデータ収集用クラウドシステムを開発した(図一四)。

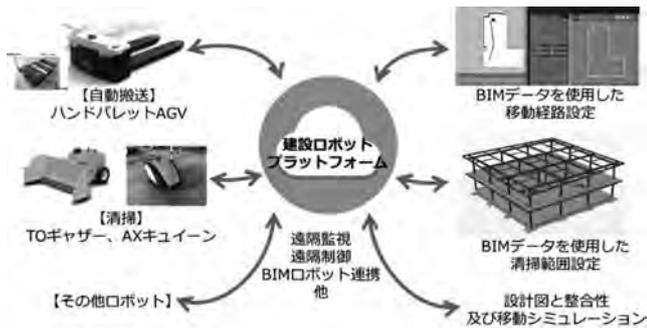


図一四 システムイメージ

工事用機械の稼働台数は増えており、機械を保守・運用する管理者の業務が増加している。また、近年のIoT技術の伸展により、従来は監視・観測をしていなかったものまでを可視化・データ化することが期待されている。今回開発したシステムを使用した工事用機械の遠隔監視により、故障の予兆や発生をリアルタイムに把握することができ、迅速な検査、修理対応が可能となるとともに、異常や故障によるリスクを低減することができる。現在、当社の保有のタワークレーン、工事用エレベータ、電気設備機器に対して40台以上の機械に搭載し、運用を行っている。レンタル会社も当該システムの導入を進めており、業界標準となるべく活動中である。

(7) BIMデータと建設ロボットの連携・管理システム「建設ロボットプラットフォーム」

台数が増える建設ロボットに対して、1ロボットごとに個別の管理システムを構築した場合、複数のシステムを使用することになり、運用面での効率が悪い。そこで統一されたプラットフォーム上で登録された建設ロボットを一元運用管理する建設ロボットプラットフォームというシステムを開発した(図一五)。このシステムでは、トラブル発生時、運用担当者の状況把握に費やす時間を低減させ、さらに遠隔でのロボット動作が可能であり、さらには、クラウド上でのCAD



図一5 建設ロボットプラットフォーム

データ、BIM データを使用した導入事前の経路、範囲の移動シミュレーションが可能である。そうすることで、施工対象のBIMを基にロボットが自己位置を推定し、BIM情報を基にした指示ができ、リモートからロボットの状態を把握機能など施工時に必要な機能をプラットフォームサービスとして展開できる。また、各ロボットに対するソフトウェアの更新も、すべて遠隔で対応可能となる。本システムとロボットの接続に関しては、2019年から、既に開発済みであった清掃ロボット、搬送ロボットをターゲットとしてシステムの構築を行っている。

3. おわりに

はじめに記載したように建設業は技能労働者の高齢化と新規入職者の減少という課題に直面している。この課題を解決すべく新たな技術の開発・展開・改良をスピーディーに進めるべく取り組んでいる。その中

で、建設技能労働者は新たな技術を導入する際には、何十年も取り組んできたやり方を変えなくてはならないような局面が出てくることがある。何十年も続けてきたことを変更することには非常に大きなパワーがかかるので、抵抗を示されることもあるが、効果をあげるためには少し無理をしてでも導入し、課題の解決に向けて取り組んでいく。

大きな変革を必要とする今、自前主義を脱却し、各会社が意見や資金を持ち合い共同で開発等に取り組むと言ったような連携活動も重要になっていると感じている。最先端の技術をスピーディーに導入して、その裾野を広げることで、技術開発の効率を大幅に向上させ、業界の大きな課題である生産性向上に加え、業界全体の魅力向上を実現していく。

謝 辞

最後になりますがこれまで各開発に協力いただいた各社、普及展開に協力いただいた建設技能労働者の皆様に誌面を借りて心より感謝申し上げます。

JICMA

【筆者紹介】

中川 啓太郎 (なかがわ けいたろう)
 ㈱竹中工務店
 大阪本店 西日本機材センター 開発グループ
 主任



山岳トンネルのロックボルト打設自動化を実現

山口洋平・松本啓志・三上英明

戸田建設とサンドビック SMRT カンパニーは、高速道路をはじめとする日本の山岳トンネルでの仕様・規格・施工管理基準を満たしたロックボルト自動打設機を開発し、新名神高速道路、宇治田原トンネル東工事に2台導入した。通常のロックボルト作業は、モルタル充填、ロックボルト挿入などはすべて人手に依存しており、切羽付近に立ち入っての作業や重量物を扱う作業が一般的であったが、同システムを使用することで、切羽付近での作業をすべて機械で行えるため、マシン1台当たり1人のオペレーターで施工ができる。本稿では、本システムの特長と実施工で得られた効果について紹介する。

キーワード：ロックボルト、自動打設、モルタル充填設備、安全性向上、品質管理、省力化

1. はじめに

近年、作業員の高齢化や熟練作業員の退職が進み、山岳トンネル施工においても、山の地質状況を予測しながら施工ができる技術者が不足してきている。今後は、マシンガイダンスやマシンコントロールのような自動施工による人力での作業を低減する技術の開発で補っていく必要がある。中でも、通常のロックボルト作業は、モルタル充填、ロックボルト挿入など、すべて人手に依存しており、切羽付近での作業や重量物を扱う作業から解放させるため、自動化を図ることが以前から期待されていた。そこで、高速道路をはじめとする日本の山岳トンネルでの仕様・規格、施工管理基準を満たしたロックボルト自動打設機を開発した。同システムを使用することで、一連のロックボルト作業を機械化し、マシン1台当たり1人のオペレーターで施工ができる。さらに、建設生産システム全体の生産性向上を図り、更に魅力ある現場を目指す取り組みである i-Construction 推進の一助となると考える。

2. システムの特長

(1) モルタル充填設備

練り混ぜ用ミキサーと流量計を装備した圧送ポンプを一体化させ、モルタル充填設備を本体に搭載した。また、キャビン内でモルタルの練り水調整や吐出の管理が可能になる。さらに、材料の供給部は可動式にすることで材料の投入供給を容易に実現した(写真一)。



写真一 モルタル充填設備（材料投入時）



写真二 モルタル充填設備（施工時）

移動時やモルタル充填時は車体の上部に格納し、材料投入時は下部に移動することができる(写真二)。

(2) ドリフタ

本システムは地質が悪い環境下において孔荒れを防

止するという観点から、通常のドリルジャンボ（打撃出力：20 kW、打撃回数：4020分/回）に対して一発あたりの打撃エネルギーを14 kWに抑え、打撃回数を6600分/回に増やすことでドリルジャンボの削孔能力と同等の仕事量を確保した。

(3) 穿孔ガイダンス

穿孔ガイダンスに必要な手順を以下に示す。

- i) 本体をロックボルト打設位置まで移動させる。
- ii) 本体を坑内測量システムとネットワーク通信させる。
- iii) 本体の前部と後部に取り付けられているプリズムを測量する（図—1）。
- iv) 取得した絶対座標はネットワークを介して本体に記憶される。
- v) 予め本体 PC に保存しているトンネル線形と取得した絶対座標を照合させる。
- vi) セット完了（図—2）。

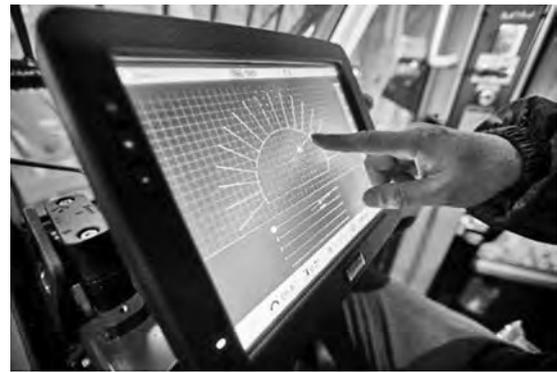
本体を設置後から穿孔ガイダンス開始までに要する時間は概ね1分30秒程度である。オペレーターは、精度の高いロックボルトを打設するために本体 PC に表示されるガイダンスプランに基づいてロックボルト



図—1 設定画面（機械の座標取得）



図—2 設定画面（ガイダンス設定完了）



写真—3 打設位置ガイダンス表示

穿孔位置、角度を調整し穿孔する（写真—3）（本システムおよび操作上の誤差を考慮しても穿孔位置は2 cm、角度は1°以下の精度）。これにより、従来の穿孔位置をマーキングする作業は不要となり、穿孔位置と角度データを本体 PC に実績として記録・保存することができるため、品質管理を図る上で有効なトレーサビリティの確保が可能となる。

(4) 安全性

フルキャビン方式を採用し、空調設備を搭載していることから、快適な作業環境を実現している。さらに、フルキャビンは落下物保護構造（FOPS/ROPS）対応であり、過去の実績として、スペインの鉱山における80tの落石災害時においてもオペレーターは無事であった実績があり、FOPS規格をはるかに上回ることから、安全性は非常に高い。また、天端付近等、ブームを最大リーチで穿孔する際は、キャビンを後方に10°傾けることで首、腰に負担をかけず、良好な視界を確保しながらの施工が可能となった。

3. 施工手順

本システムは、専用ブームにドリフタ、モルタル充填ホース、ロックボルトの施工本数を把持するシリンダー式ロックボルトマガジン（1台あたり1回の補給で最大8本搭載可能）および挿入用ロッドをボルティングユニットに集約させている（図—3）。一度機械をロックボルト打設位置にセットすればブームを動かすことなく、ボルティングユニットがアンカーを中心に同心円上で回転し入れ替わることで、以下の順番に施工工程を進める（図—4）。

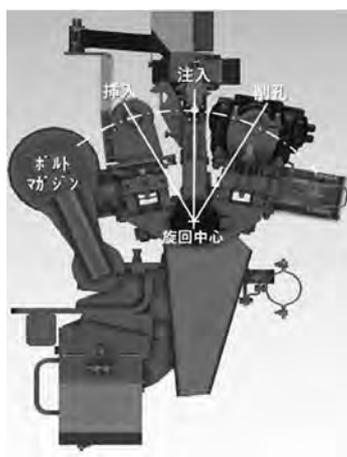
- i) ガイダンスプラン通りにブームを穿孔位置へ移動。
- ii) 回転軸となるアンカーを打設面に接地させる。
- iii) ドリフタで穿孔。



写真一 4 ロックボルト施工状況



図一 3 ボルティングユニット詳細



図一 4 ボルティングユニット回転機構

- iv) モルタル充填ホースを孔に挿入し、モルタルを充填させる。
- v) ロックボルトキャッチャーでボルトマガジンからロックボルトを掴む。
- vi) 挿入用ロッドでロックボルトを押し込む。

4. システム導入効果

(1) 施工性

本システムを導入した新名神高速道路，宇治田原ト

ンネル東工事において，1回の掘削（支保パターン：DI）あたり，19本のロックボルト（L=6.0m）を安全で正確に打設できることを確認できた。

(2) 省人化

通常のトンネル現場は5人編成の班で施工を行っているが，本システムを導入することで，一連のロックボルト作業をマシン1台当たり1人のオペレーターで施工することができた。これにより一般的な山岳トンネルにおいて，マシン1台で施工する場合80%の省人化が可能であることが確認できた。

(3) 生産性向上

1サイクルあたりのロックボルト作業時間が95分から57分と40%短縮することに成功した（ロックボルト1本あたりの所要時間は約6分程度）。

5. おわりに

昨今，建設業においてICT技術導入の気運が高まっている。トンネル現場においてもそれは同様であり，各社が自動化技術を推進している状況である。

弊社は本施工装置をより効率化させるとともに，ロックボルトの施工以外でもトンネル自動化技術の開発を進めていく。また，AI等を利用することで施工時のデータを有効利用し，高品質かつより合理的な施工方法の開発に努めていく。

JCMA

【筆者紹介】



山口 洋平（やまぐち ようへい）
戸田建設㈱
大阪支店 土木工事部 工事2室



松本 啓志（まつもと けいし）
サンドビック㈱ SMRTカンパニー
取締役執行役員社長



三上 英明（みかみ ひであき）
戸田建設㈱
大阪支店 土木工事部 工事2室
作業所長



スパコン世界ランキング四冠 「富岳」への期待

辛木 哲夫

スーパーコンピュータ「富岳」は、2020年6月に世界四冠を獲得した。スパコンは、コンピュータ・シミュレーションを通じて、科学的に未来を予測するために利用される。より複雑な課題を解明するためには、より高速なスパコンが有用であり、「富岳」はその頂点に立つ。

2021年度に共用開始を迎える「富岳」は、社会が抱える複雑な課題の解決と、サイエンスの探究に挑む。またシミュレーションに加え、人工知能（AI）の基盤にもなる。世界トップレベルの性能で、世界トップレベルの成果を期待したい。

キーワード：スーパーコンピュータ、コンピュータ・シミュレーション、AI、Society5.0

1. はじめに

スーパーコンピュータ「富岳」は、2020年6月に発表されたスーパーコンピュータの性能ランキングTOP500において世界一を獲得。さらに他の3つのランキングにおいても世界一を獲得し、史上初の四冠となった。コロナ禍の中、お陰さまで明るい話題としてお届けすることができた（表-1）。

4つのランキングの中で、もっとも古くから用いられているものはTOP500で、これはハードウェアの性能を測る指標である。クルマに例えると、測定器の上にクルマを乗せて最高速度を測るようなもの。HPCGは産業利用など実際のアプリケーションで利用される際の性能を評価するもので、クルマに例えると、レーシング場で性能を測るようなもの。コーナリングやブレーキングを含めたクルマの総合性能を評価するようなイメージである。HPL-AIは新しい指標で、AI（Artificial Intelligence, 人工知能）処理の性能を評価するもの。またGraph500はソーシャルネットワークなど、実社会における複雑な現象に対する性能を評価する。これら観点の異なるランキングのすべてにおいて1位を獲

得できたのは、「富岳」の性能が総合的に高いことを表している。

2. スーパーコンピュータ「富岳」とは

「富岳」は、神戸市中央区の理化学研究所 計算科学研究機構の計算機棟3階、もともとスーパーコンピュータ「京」が設置されていたフロアにある。ラック総数で432筐体、CPU（Central Processing Unit）総数にすると158,976個がひとつのコンピュータのように動く巨大なシステムである（写真-1）。

その特徴は、まずなんといっても、ランキングが示すとおり世界トップレベルの高い性能を誇ることである。また同時に低消費電力でもある。「富岳」の性能は、我々が日頃使うスマートフォンの国内年間出荷台数である2,000万台とほぼ同等である。スマホ2,000万台の消費電力は200MW程度となるが、「富岳」はその6分の1の30MW程度に留まる。さらに「富岳」はその使いやすさも特徴としてあげられる。スーパーコンピュータにおける使いやすさとは、色々な分野のアプリケーションで実力を発揮しやすいことを意味す

表-1

ベンチマークテスト	1位	スコア	単位	2位	スコア	単位	富岳の優位性
TOP500 (LINPACK)	富岳	415.5	PFLOPS	Summit (米国)	148.6	PFLOPS	2.80倍
HPCG	富岳	13.4	PFLOPS	Summit (米国)	2.93	PFLOPS	4.57倍
HPL-AI	富岳	1.42	EFLOPS	Summit (米国)	0.55	EFLOPS	2.58倍
Graph500	富岳	70,980	GTEPS	Sunway TaihuLight (中国)	23,756	GTEPS	2.99倍



写真—1



写真—2

る。もう1点、高い信頼性を持っていることも挙げられる。スーパーコンピュータにおける信頼性とは、故障しにくいことは当然として、万一どこか一部分が故障してもシステム全体が止まらず、故障した部分だけ修理できることである。

「富岳」は、これらの4つの要素を高いレベルで兼ね備えているのも大きな特徴である。例えば、性能を下げ消費電力を低く抑えること、あるいは信頼性を犠牲にして性能を上げることなど、何かを犠牲にすることで他の要素を高めることは比較的容易である。しかし「富岳」の場合は、どの要素も犠牲にすることなく、高いレベルで維持することに注力した。

3. 「富岳」開発のこだわり

「富岳」の開発プロジェクトは2014年の基本設計から開始された。その目的は、世界トップレベルのコンピュータ・シミュレーションの実現を通じて、社会が抱える複雑な課題の解決と、サイエンスの探究に挑むことであった。そのような目的を達成するために求められたことは、性能の高さと、使い勝手の良さを通じたユーザの広がりである2点であった。これは「富岳」という名称に込めた思い、つまり富士山の高さと、富士山の裾野の広がりによって表れている。

1点目の「性能の高さ」を追求するため、技術的には「7nm FinFET (Fin Field-Effect Transistor)」と言われる半導体プロセステクノロジーや、「HBM (High Bandwidth Memory) 2規格」積層メモリを世界で初めて採用するなど、最先端技術を積極的に活用した。この結果、同じ条件のインテルCPUに比べて3倍の性能を誇るCPU (ArmA64FX プロセッサ) を開発することができた。このCPUは、米HPE/Cray社のスーパーコンピュータに採用されることになったが、同社が米国製ではないCPUを採用したのはこれが初めて

である。実はこの「7nm FinFET」を採用したのは、当初予定されていたテクノロジーが利用できず、想定した性能を達成できない状況にあったが、この最新テクノロジーに変更することで克服できたという幸いもあった。さらに「富岳」の製造開始後に世界中でCOVID-19の感染が広がり、さまざまな箇所でロックダウンが始まった影響で、製造・出荷の継続が危ぶまれる事態が生じたが、サプライチェーンの見直しにより影響を最小限にとどめ、予定通りに出荷を継続することができた。

もう一つの重要な要素である「使い勝手の良さを通じたユーザの広がり」に向け、技術的に外部との連携を積極的に図り、CPU命令セットにスマートフォンなどに広く採用されているArmの命令セットを採用。OS (Operating System, 基本ソフト) についても、サーバで広く利用されているRed Hat Enterprise Linuxを採用することで、使い勝手の良ささとプログラムのバイナリ互換性を実現した。さらに利用者のコミュニティからの意見を取り入れ、サイエンスドリブンな開発となるよう、開発当初より計算機システムとアプリケーションの協調的な設計 (コデザイン) にこだわった。具体的には、色々な利用分野から9つの代表的なアプリケーションを選定し、それぞれで高い性能を発揮できるようにハードウェアの開発側にフィードバックを繰り返した。

このように、「富岳」の開発において、性能の高さとユーザの拡がりにこだわった結果、もともとランキング1位の取得が目的ではなかったが、副産物としてランキング4冠を獲得することにつながった。

4. コンピュータ・シミュレーションで何が できる？

さてこのように高い性能や色々な特徴を持つ「富岳」

は、どのように役立つのだろうか。まずは、スーパーコンピュータを使ったシミュレーションによって何ができるのかを説明したい。

コンピュータを使ったシミュレーションは、自然現象や社会現象を、数学的モデル（方程式）を使って擬似的に表現し、色々なケースにおける振る舞いを計算結果によって実験することである。そのための前提条件として、数学的モデル（方程式）があることと、計算をするための初期値（データ）が得られる、あるいは推定できることが必要となる。例えば天気予報においては、大気の運動（風）やその状態（気温、気圧、水蒸気量など）をもとにした物理的な方程式があり、またある時点での風や気温・気圧等のデータも観測することが可能である。そのため天気予報には、約60年前からコンピュータを使ったシミュレーションが用いられているが、スーパーコンピュータの性能向上などにより、以前に比べると予報の精度が上がってきていると感じる。

このようなスーパーコンピュータによるシミュレーションが利用される分野は、大きく分けると3つある。まずは科学技術分野である。上述のとおり、コンピュータを使ったシミュレーションは、擬似的な実験である。もしも実際に実験することの方が容易ならば、それに越したことはない。例えば水と油を混ぜて分離する様子を見せるなら、コンピュータのシミュレーションよりも教室で実験の方が容易だし、よほど勉強になるだろう。しかし科学技術のさまざまな場面においては、実際に実験することが容易でないケースが多々ある。例えば、実験を行う際に「大きさ」が障害になるケースがある。ナノレベルの研究のように、実験をするには小さすぎるケース。あるいは地震のメカニズムを解析するために地球を使った実験を行うことは、巨大すぎて実際には不可能である。あるいは実験をする際にその「時間」が課題となる場合もある。実際の実験が、1秒以内のあつという間に起きてしまうために目に見えない現象である場合、スーパーコンピュータを用いると、それを超スロー再生することが可能となる。逆に気候変動のように、100年間という長期の現象である場合、スーパーコンピュータを用いると早送り再生することも可能となる。また、あまりにも莫大な「費用」がかかる実験も最小限にとどめたい。例えばロケットの形状を少しずつ変えて何通りも発射させ、どれがベストであるかを試すことは物理的には可能であるが、莫大な費用がかかってしまう。また医学分野などのように、実際に実験するには「危険」すぎて実施できないケースでも、



写真一3 提供：日本自動車研究所

スーパーコンピュータを利用すれば人体を危険にさらすことなく実験することが可能となる。

次に、スーパーコンピュータの利用分野としてあげられるのは産業分野である。メーカーはグローバル競争を勝ち抜くために、新製品や新材料の開発を少しでも早く、そしてコストを下げるために日々努力している。例えば、自動車開発における衝突実験は、安全性を高めるために欠かせない要素である（写真一3）。自動車の形状を少しずつ変えて何通りも試す必要があるが、ケースを増やすごとに費用と時間が積み重なるため、できれば最小限にとどめたい。またエコの面からも資源の無駄は防ぎたい。実車での実験の代わりに、スーパーコンピュータを使えば、コンピュータの中で何通りもの実験を行い、もっとも安全な形状を作ることができる。そして最後に計算結果に基づき実車を使って確認することにとどめることができれば、費用や時間を最小限にしつつ、より安全でかつグローバル競争力のある開発が可能となり得る。このような衝突実験は、スマートフォンの開発等でも使われている。スーパーコンピュータの中でスマートフォンやパソコンを落下させて、そのダメージを最小化するデザイン開発が可能である。そのほか産業分野では、空気や水の流れに関する実験をスーパーコンピュータで行い、飛行機のデザインや燃焼効率の良いエンジン開発にも利用されている。また新しい材料やエネルギー開発においても、スーパーコンピュータが欠かせなくなっている。

三つ目の利用分野は、市民生活である。スーパーコンピュータは一見、市民生活と無縁の存在のように思われるが、実はすでに、我々の生活を陰で支えている。上述のように毎日テレビやラジオで目にする天気予報はもちろんのこと、我々が病気の時にお世話になる薬やワクチンの開発を加速するためにもスーパーコンピュータが用いられている。また、地震に強い免震構

造の建物設計、あるいは災害が起きてしまった際の避難など被害を最小化するためにも、スーパーコンピュータが利用されている。

5. シミュレーションとAIの融合

またランキング結果が示すとおり、「富岳」はコンピュータ・シミュレーションに加えて、AI分野でも高い性能を発揮する。機械学習はAIの一つで、人間の知能のうち「学習」をコンピュータで再現する試みで、とくに最近流行しているのが「ディープラーニング」である。機械学習は、目的に沿った学習を自ら行うことが特徴で、人間では対応できない膨大なデータを学習することで、人間が気づかないような特徴を把握する。例えば囲碁においては、過去の膨大な対局を学習し、その結果に基づいて最適な次の一手を推薦する。あるいは膨大な数の写真を学習し、写真に写るおなじ人を特定できるようになる。このように機械学習は、特定分野において人間を上回る学習能力を示すことがある。ただしその推論の理由を示すことができない。一方、コンピュータ・シミュレーションは、現象の本質を解明し、そこから科学的に未来を予測することが特徴である。両者は、帰納法と演繹法の関係にあるとも言える。これまでは、それぞれが独立して発達してきたが、両者は今後、相互に補完しあうと言われている。例えば、AIの学習に必要な情報をコンピュータ・シミュレーションで生成する。あるいはコンピュータ・シミュレーションの結果をAIが推論するなど、相互に補完しあいながら発展していくことが期待される。そしてコンピュータ・シミュレーションとAIの両方において高性能を発揮する「富岳」は、それに最適なスーパーコンピュータなのである。

6. スーパーコンピュータ「富岳」の価値は？

このように、スーパーコンピュータはすでに色々な分野で活躍しており、研究機関や企業でも導入が進んでいる。では、「富岳」のような世界トップレベルの速度を持つことには、どのような意味があるのだろうか。

まずは、やはり計算速度が速いことに価値がある。例えば、比較的小規模なスーパーコンピュータでは1週間必要だった計算が「富岳」では1分で計算可能となる。ものづくりの現場において1回の実験に1週間で要すると、実際にはそれほど多くのケースを実験するのは困難である。しかし同じ実験が1分でできるの

ならば、条件を変えて色々なケースを試すことでベストな結果を得ることが容易になるだろう。あるいは、もっと複雑な計算で1回の実験に1年を要する場合、その実験を行うことは実質的には不可能に近い。しかし同じ計算を「富岳」で行うと、わずか1時間で可能となる。つまり、「富岳」はあらかじめいた計算を可能にしてくれるのである。

もう一つの側面は、計算量が非常に多いことによる価値である。「富岳」を利用すれば一度にたくさんの計算を行うことが可能になるため、より実物に近い実験が可能となる。例えば飛行機の開発においては、揚力を高める翼や空気抵抗を減らす機体の形状、エンジンの効率化のための燃焼解析など、色々な要素においてスーパーコンピュータが活躍する。しかしこの場合も、比較的小規模なスーパーコンピュータの場合は計算量に限界があることから、これらの要素を別々に計算せざるを得なかった。しかし、これらの要素は実際には関連しあっている。羽根の形状を変化させることにより機体にかかる空気抵抗も変わり、その結果エンジンの燃焼状況も変化する。「富岳」であれば、羽根と機体の形状やエンジンの燃焼効率など、複数の要素をまとめて計算することが可能となり、より本物に近い実験が可能となる。また、たくさんの計算ができることによって、より細かいことを処理することが可能となる。例えば従来大きな区画で計算していた天気予報を、より細かい区画と短い間隔、つまりより精緻に計算することにより、従来の予報では見過ごされてきたゲリラ豪雨が見えてくるかもしれない。

7. 「超スマート社会」(Society5.0)の実現に向けて

上述のとおり、「富岳」の目的は、世界トップレベルのコンピュータ・シミュレーションの実現を通じて、社会が抱える複雑な課題の解決と、サイエンスの探究に挑むことであった。個々に必要な場面で有益であることに加え、今後「超スマート社会」(Society 5.0)において実現される「サイバー空間でモデリングした仮想社会で、実社会が抱える課題の解決策(仮説)のシミュレーションを繰り返し、実社会に実装させることにより新たな価値を創造する社会」の構築に向け、予めそれを検証する役割を担うことも期待されている。

例えば、ヘルスケア分野においては、リアルタイムで収集される生理計測データや医療情報等のビッグデータ解析による、自動健康診断や予防情報の提供、

さらには個別の医療・介護メニュー作成や遠隔医療等のシミュレーションを実行し、あらゆる地域での健康寿命の延伸に貢献する。交通分野においては、サイバー空間のさまざまな条件下での走行シミュレーションを繰り返し、そこから得られたビッグデータをAIにパターン情報として学習させることにより、自動走行システムの精度向上の可能性を検証し、身体能力や地域を問わない安全な移動の実現に貢献する。ものづくり分野においては、サイバー空間におけるシミュレーションで得られる、在庫、需要、天候等に関する情報と過去の履歴情報等のビッグデータ解析により、顧客や消費者のニーズに合った安価な品物を納期の遅れなく納品できるサプライチェーン構築の実現に貢献する。防災・減災においては、人工衛星、気象レーダー、ドローン、各地のセンサー等から送られてくる被災情報、災害シミュレーションで得たデータや過去の履歴情報を含むビッグデータ解析により、一人ひとりに最適な避難指示策定や救助ロボによる迅速な救助の実現に貢献する。

やや難解であるが、コンピュータを使ったシミュレーションとは、さまざまな現象を数学的モデルにより擬似的に実験することである。その結果を活用すれば、従来我々が過去の知識や経験をもとに推測していたことを、科学的に予測することが可能となる。これを特別な人が特定の目的のために利用するのではなく、すべての人があらゆる場面で利用できるようにしていくことにより、科学技術のみならず、日常生活や仕事に関するさまざまな側面を、スーパーコンピュー

タが科学的に予測して、より安全で、よりエコに暮らせる日が到来する。また、例えば津波被害の予測を地震発生時に即座に行うといったリアルタイムの処理や、個々人が自分の端末からスーパーコンピュータを利用して、それぞれのニーズに沿ったパーソナルな予測ができるようになる時代も来るのだろう。このような「超スマート社会」(Society 5.0)の実現に向け、「富岳」の貢献が期待されている。

8. コロナ対策利用

このように「富岳」は将来に向けた貢献が期待されているが、先のことばかりではなく、現実社会でいま起きている重要な課題である、新型コロナウイルスに対しても、2021年度の共用開始に先立って活用されている。室内環境におけるウイルス飛沫感染のシミュレーションの実施では、通勤列車内、オフィス、教室、病院といった室内環境において、新型コロナウイルスの特性を考慮した飛沫の飛散シミュレーションを行い、感染リスク評価を行ったうえで、感染リスク低減対策の提案、具体的には、マスクの着用で飛沫による感染リスクを抑える効果があることを可視化して示した(写真-4)。また既存医薬品を用いた治療薬候補の探索も実施し、2,000種類超の既存医薬品を評価した結果、新型コロナウイルスの標的タンパク質に対して高い親和性を示す、いくつかの有望な候補薬が発見された。この研究では既存医薬品を評価する点がポイントで、新しい薬の開発過程において必要となる、副



写真-4 提供: 理研・豊橋技科大・神戸大, 協力: 京工織大・阪大・大王製紙

作用の確認を含む臨床試験や承認プロセスはすでに終了しており、いち早く実用化されることが期待される。

9. 2021 年度， 共用開始へ

「富岳」は 2021 年度に，本格的な利用が開始される予定。2020 年 5 月にハードウェアはすべて設置され，その後は本格運用に向けて，アプリケーションの実行環境の性能向上に向けた整備・チューニングを行なっている。

「京」の後継機として最大で 100 倍超えのアプリケーション実効性能を持つ「富岳」の高い計算性能と，誰もが使いやすいスーパーコンピュータという相乗効果により，世界からトップレベルの研究者が集まり，切磋琢磨しながら利用されることになる。これも「富岳」の持つ新たな価値と言える。そしてそのような環境により「世界一の性能を世界一の成果」に結びつけていくものと期待している。そして我々はいま，世界トップレベルの「富岳」を出発点に，新しい時代を迎えるチャンスを有している。未来をひらくスーパーコンピュータに，ぜひ期待いただきたい。



写真—5

JCMA



【筆者紹介】
 辛木 哲夫 (からき てつお)
 理化学研究所 計算科学研究センター



ずいそう

難し，コロナ

永井 修



42年前の7月29日16時40分、私は機上の人となりアフリカ ケニア共和国のナイロビに向かっていった。

パキスタン航空南周りで、成田・マニラ・バンコク・カラチ・ジェダ経由でケニヤッタ空港に向かう便である。

初めての海外、旅行期間30日間、一人旅、英語力ほぼ0、野宿、所持金32万円、世間知らずの学生であった私にとっては大冒険であった。

旅行中には衝撃的な体験が沢山あり、負の意味でカルチャーショックを受けた。

最初のショックは、カラチでトランジットした時である。街に出てみるとカースト制度なのか貧富の差が激しく街角には手足の無い小さな子供がいて、いや、置いてあると言った方が正解かもしれないが子供の前に空き缶が置いてある状態だったり、肩を叩かれるので振り向くと、中年の女性が物乞いをしてくるその顔は、何かの怪我だろうか唇が無く八重歯が突き出ている、到底日本では見かけない人達が多かった。

その近くの金細工店では、真っ白い服を着た人が金製品を買っている、これがパキスタンの現状かと思うと自分が育った日本という国の有難さを感じながらも日本の街には無いエネルギーや厳しさを感じた。

生きる為のエネルギーというものがあることを初めて知ると共にこれから先の旅に大きな不安を抱いた瞬間であった。

ナイロビに到着したのは夜になりホテルに着いたのは夜中だったので街の様子は分からないまま朝を迎えた。

朝、そこには穏やかでゆっくりとした時間が流れていた。小鳥が囀り人々はこのんびりと歩いている、東京の朝では観られない光景である。

安心した私は、マーケットに行ってみた。魚・野菜・肉類・服飾・生活用品などを売っている市場である。人々は買った物を包装することもなく受取り、そのまま買い物籠に入れて持ち帰っていた。

日本では有名ブランドの袋を自慢げに持ち歩いていた時代である。もちろんナイロビでも高級デパートでは包装されたていたようだが、中産階級の人々は紙

に包む程度で昼食は弁当箱ではなくビニール袋に入れて持ち歩いていた。今思えば、レジ袋が海洋汚染問題になる事から法制化している42年経った現在の日本は42年前のナイロビに見習うべきことがあるようにも思われる。

マーケットを歩いていると一際、背の高いケニア人に遭遇した。彼は、手に槍と盾を持ち背筋を伸ばしゆっくりと歩いて来る。その姿は威厳と誇りに満ちていて堂々とし神々しくもある。

知見の無い私にも、はっきりとマサイ族であることが解る。槍は模造品では無く本物を持ち民族衣装を着込み首都ナイロビのマーケット内を歩いているのに誰も驚きや恐怖を感じている様子はない。

新宿の歌舞伎町を、この様な姿で歩いている男がいたなら、真っ先に警察官が駆け寄ってくるのではないだろうか、にも拘わらず誰もが平然としている。これも驚いた。

調べてみるとマサイ族はケニアとタンザニアの国境付近に住む先住民であり遊牧民である。ケニア独立から15年も経ち資本主義体制が敷かれている社会で武器を持ち歩くマサイの男が咎められない社会とは、どういう社会なのか、ケニアの国旗のど真ん中には、マサイの民族旗と同じデザインである盾と槍が描かれていることから、先住民であるマサイの人達に対する敬意が有るのかも知れない。

私は、ナイロビに到着してから2日間滞在しセイシェル諸島に向かい1週間ほどダイビングをしていた。その後、ナイロビに戻り今度はモンバサ・マリディに向かい又もやダイビング三昧の生活をした。この間は、ほとんど野宿生活をしていたが、夜中に現地の若者に奇声を上げられたり、テントの外に置いていた古タイヤを加工したスリッパが盗まれたり、写真を撮った人に写真を送るので住所を聞くと住所とは何だと聞かれたり、ある意味新鮮で平穏な旅を過ごしていたが、印象的だったのが途中立ち寄ったナイロビ国立公園の入口にある動物の保護施設である。ここは日本の動物園と似ているが傷付いた動物や群れから逸れた動物たちを一時的に保護している場所で、居たのはシマウマ・インパラ・キリン・ライオンだったと思う。

特にライオンの目は眼光が鋭く、日本の動物園で見たアクビをしているライオンとは迫力が違っていた。こちらを見ている眼には生命力があり恐怖を感じたものだ。

マリンディからナイロビに帰る為にモンバサへ到着した時、初代首相であり初代大統領でもあるジョモ・ケニヤッタ氏が老衰で在任中に亡くなったニュースが流れていた。ケニヤ共和国の創立者であるケニヤッタ氏はムジィ（スワヒリ語でおじいさんの意味）の愛称で呼ばれている人物で、国中が1週間の喪に服することである。この日から町中の食堂が全て閉鎖となり食事をする処が無くなってしまった。食堂は、キヨスクと呼ばれ、街のあちこちに在り、ウガリ（トウモロコシの粉と雑穀を湯がいたもの）とゴンベッサ（コブ牛の肉をトマトと塩で煮込んだもの）を注文して50円程で腹いっぱいになれる。私にとっては有り難い食堂だが、その日から外国人向けのホテルでしか食事が摂れなくなったし、政権を握っているキクユ族に対抗する勢力が暴動を起こすと噂が流れたりして、不安で緊張した日々が始まった。早々にナイロビに帰って来たが首都であるナイロビは兵士が町中に溢れていて小銃を持っている。小銃などは今までに見たことも無く、某マンガで見たM16という銃に酷似しているように思えた。これが機関銃なのかは知らないが、街中にいる兵士が持っていることから、私には今にも戦争が始まるように見えていた。結局、小競り合いはあったようだが暴動は起きず、私が帰国する日が来た。帰国当日、ケニヤッタ空港に到着した私は、最悪の事態を迎えることになった。

ケニヤッタ空港に着いた私の所持金は2000円程度しか無く、非常に不安な気持ちで保安検査ロビーで待っていた。

その時、背が高くがたいの良い制服を着た男が近づいて来て、「あそこの免税店でウイスキーを買って来てくれ」と頼まれた。これを聞き私は小賢しい事を思い付く。

これは彼のアルバイトだ、ならば報酬を貰って旅費の足しにしようと企み、彼に1000円を要求した。これが最悪の事態を招くことになってしまう。

彼は激怒し、大きな声で罵り立ち去って行った。解つ

たのは「悪い奴」という単語だけで、私は商談決裂ぐらいにしか思わず、保安検査の場所へ向かっていた。

検査場に彼がいた。彼は私を見付けると指を指し同僚に何か話している、「悪い奴」という単語だけ聞こえた。順番が来てX線検査を通過する前に止められ上着・ズボン・靴を脱ぐように命令され、下着姿の私はX線検査機を通過した。周りには各国の旅行者が大勢いる前で、とてつもない屈辱を感じながら手荷物検査を通過し、搭乗口の前で待っている私の前に、又、彼が兵隊を一人連れて来て「こいつは悪い奴」と兵隊に言ってみ張らせる。若い兵隊は笑みを浮かべながら私の前に立ち、M16に酷似した小銃の銃口を私の胸元に時折向ける長い時間が過ぎて行った。

まるでテロリストの様な扱いをされケニヤッタ空港を後にして成田に帰って来た時は安堵感に包まれていた。

初めての海外旅行を終えて得た事は、最果ての地に投げ出されても生き抜ける自信が付いたことだろうか。どんな地の人も優しさ、厳しさを持ち土地の風習に従う者を受入れ、従わない者を拒絶するよう感じた旅行でもあった。

この旅行でナイロビに滞在した期間は何日もなかったが、ナイロビ滞在中にお世話になった日本人コーディネーター遠藤さんの自宅に泊まらせて頂き、酒を呑みケニヤの魅力や人生観について聞かせてもらったことが現在の私のベースにあるように感じている。

遠藤さんが言った「30年後にナイロビへ来てください、アフリカの文化、経済の発展を見ることが出来ますよ。これは欧米では見ることでできない貴重な体験ですよ」。これが、彼との約束となり今年6月に会いに行く予定にしてチケットまで取っていたのだがコロナ禍の中、断念するしかない中で、この随想を書き始め苦闘しているうちに8月25日に大腸がんで人生の幕を降ろされたという訃報が知人を介して入って来た。もし、もしコロナさえなければと悔しさが募るばかりであるがコロナ禍が治まればナイロビの地に花を手向け墓前で私の人生を語り遠藤さんの感想が聞きたいと強く思う日々である。

ずいそう

コンクリートカッター業の誕生

仲山寛治



弊社は昭和43年からコンクリートカッターを製造していますが、日本のカッター業の誕生について、私が知る限り確かな記録はありません。ダイヤモンド工業の誕生については、昭和43年にダイヤモンド工業協会が発行した記念誌『日本のダイヤモンド50年の歩み』に、「わが国で初めてダイヤモンド加工を専門に行う会社ができしたのは、大正6年の日本ダイヤモンド(株)で、貴石の加工を行うとともに輸入ダイヤモンド工具の修理から作業が始められた。昭和に入るとともに陸海軍の兵器製造の技術も高水準に達し、各種のダイヤモンド工具の使用が増加し始め一般工業界においても使用が普及し始めた。次々とダイヤモンド工具を製造する会社が設立され、硬度計圧子、ドレッサ、バイト、ダイス、ダイヤモンド砥石などの国産化が行われるに至り、昭和10年前後にわが国のダイヤモンド工業の基礎が確立された」とありますが、残念ながらコンクリートカッターに関する記述は少なく、誕生の経緯は判りません。

カッター業界には、戦後米軍の滑走路の目地切りが最初という話が伝わりますが、金剛舗装工業(後述)で活躍された高橋武夫氏(コンゴウ工業取締役)に確認したところ、「金剛は大手の高野建設(現前田道路)の下で全国の米軍基地の目地切りをやり、沖縄まで行った」とのことです。故江島政司氏の回顧録『濡れ草鞋』にも誕生の様子が窺えるエピソードが数多くありますので、信憑性の吟味は一先ずおいて、抜粋して記します。なお一般的にカッター業と呼びますが、建設業法上の業種に認定されてはいません。またJIS規格の表記はコンクリートカッタですが、業界では機械も工事もコンクリートカッターと呼ぶので、本稿でもカッターとします。

『濡れ草鞋』

吉田首相が国道1号の渋滞に業を煮やし、道路公団に自動車専用道路の建設を命じて、昭和34年に有料道路「保土ヶ谷バイパス」(現横浜新道、通称ワンマン道路)が2年半の歳月を費やし完成しました。舗装は密粒アスコンではなく、コンクリートで「目地切り」が行われ、これがカッター業誕生の起因となってゆく

のです。機械は三井金属、ブレードは目黒砥石の2社共同開発で、機械は日産自動車製ダットサン500ccエンジンを搭載。所定の位置にレールを敷設し、作業員4~5人で機械をレールに乗せて手押しで作業する方法でした。ブレードは紙の芯にカーボン微粒を凝結させた代物で、コンクリート1cm切り込むのに2cm消耗する有様で、5mの目地を1本切るのに1日掛かり、全身に切り粉を浴びる大変な作業でした。

この反省から建設省は補助金を出し、ダイヤモンドブレードと機械の開発を(株)精機研究所と三笠産業(株)に依頼したのです。

道路公団の発足に伴い大手ゼネコンも競って道路建設会社を設立し、大手業者は機械を20台30台と買入れて保有していました。目地切り専用の機械とブレードは出来たが実作業の経験者は皆無で、ブレードは5万5千円という高価な代物で、当時の労務費からすると12インチのブレードが現在の200万円に相当したのです。また慣れない作業員の現場事故が懸念され、道具はあるが目地切り作業自体はゼネコンをはじめ舗装業者も敬遠していたのでした。

こんな現状に興味を持った人物が専門会社を設立しようと計画し、私も強く誘われて参加した。(執筆注:設立した会社は金剛舗装工業。現在のカッター業者のルーツを辿ると、金剛舗装の流れを汲むところが多い)

初めに三笠の機械3台を購入し、ぶっつけ本番で現場作業に入ったのです。機械はエンジンが「富士M6」というV型2気筒750ccの空冷10馬力で、最高2500回転を搭載していたが、エアークリーナー、ガソリンクリーナーもなく10時間も回せばバルブ擦りリング替えて、デスピのポイントは10時間して擦り合わせをしないとエンジンが掛からない代物であった。フレームは鋳物で歪のない直進性を考慮した精巧なものでした。発売当時は5輪車で、フレーム前部に上下を自在調整できる1輪車が付いており、目地の深さを正確に調整出来る物でした。フレームの上下は自社製の足踏み油圧ジャッキが使用されており、現在のブレードフランジも三笠の機械以外には無く、精機研究所も独自のパイプを使用した側面噴水方式で、現在の石材用切断機に使用されている方式である。



写真提供：(株)三和工業

手探りで作業開始したが仕事は日毎に多くなり、最初は輸送屋に作業現場まで機械を輸送してもらい、作業者は電車やバスで現場に通い作業を行っていた。

機械にも慣れた3カ月ぐらいたった頃、現場からクレームが付き、設計許容量を満たしておらず切り直しと役所からの指示があり、驚いてしまった。当時ブレードライフは500mとされ、作業単価もブレード消費費を110円前後で計算し、m当たり250円となっていた。ブレードの消費費だけで270円以上になり、会社の存続さえ検討された。

背に腹は代えられず理研ダイヤモンド工業の佐久間社長を訪ねました。僅かな経験の現況説明と舗装業者の反応等を話して大風呂敷を広げ、将来カッターは分業化され専門業として必ず発展するとまくし立てて改良をお願いした。「貴方が協力して現場の資料を集積出来れば改良してみましよう」と最後には約束を取り付け、その翌日から技術者2名を毎日現場に派遣してくれ、資料収集を始めたのです。周速を変えたスピードの測定、過負荷時のトルク計算や「G」の測定等難しことばかりだったが大変勉強になりました。この技術者の派遣から3カ月目にはライフは500mを超え、スピードも倍加したブレードが出来上がった時の嬉しさは今でも覚えています。この時のブレード開発がなかったら現在の千社を超えるカッター業者は誕生していないのではないか。「父親」が金剛舗装、「母親」は理研ダイヤモンド工業の佐久間氏とって過言ではない。私は「助産婦役」でしょうか。

昭和35年と記憶しているが、埼玉県の大宮バイパスに現代舗装の主役「密粒アスファルト」が初めて使用された時には、後に建設される首都高速道路に採用される「密粒アスファルト舗装の習熟工事」として施工されたものと聞いているが、この工事で初めてセンター打ち継ぎ部分に型枠を入れずにフィニッシャーで

300m近く打設したが、打ち継ぎ部分の角が丸くなり、センターを通し垂直にカットするよう指示され、タガネや斧を使って切ったが間に合わず、「目地切り用のカッターで切れないか」と言われ、目地切りブレードの「上がり刃」をもってカッター2台で初めてアスコンを切り、これが本邦初の「アスコン切り」で、単価も5cmを160円で積算し、後にこの単価を積算基準として建設省にも登録し、長く標準単価とされていた。

昭和39年に「(株)江島組」を設立した。江島組は道路切断業として出発し、目地切りには一切手を出さず、埋設業者を新しく開拓したのです。これが正解でした。目地切り作業の売り上げよりも切断作業はセット当たり3倍も高く、はるかに有利であったのです。しかしこれが現在のカッター業乱立の元凶となり、今では目地切りを知らぬ業者に、目地の設計許容量さえ知らぬ者が居る。

以上が回顧録抜粋です。『ダイヤモンド工業50年の歩み』には(株)精機研究所が昭和29年7月に建設省の研究補助金を受けてコンクリートカッター及びダイヤモンドブレードの製作開始と記されています。昭和34年に三笠産業(株)出願の実用新案では、刃先まで冷却水を効率よく供給する新型フランジの新規性が述べられ、三笠産業、理研ダイヤモンドが協力して工具、機械の両方を研究したと考えられます。

ダイヤモンドを使う工法は、時代の要請に応える施工者の熱い意思に、道具が引き寄せられて誕生しました。コンクリートの切断ではブレードが安全性、施工精度、スピードの全てに優れていることは間違いありません。場所に制約されず、リモートで働くカッターが1日も早く誕生することを夢見ています。

建設機械の騒音低減に資する新技術の評価 テーマ設定型 NETIS 技術の現場実証

齋藤 聡輔・齋藤 渉

1. はじめに

著しい騒音を発生する作業は、「騒音規制法」により特定建設作業としての届出や騒音の大きさが定められており、国土交通省の直轄工事では原則として低騒音型建設機械が用いられている。低騒音型建設機械の対象ではない建設機械も騒音を低減する新技術が開発されており、新技術情報提供システム（NETIS）に登録されている。しかし、NETISに登録された技術は、統一された試験方法による評価が行われておらず、現場状況に応じて最適な技術を選定するためには、試験方法および評価方法を設定した上で、同一条件下における特徴や性能を比較表としてまとめる必要がある。

本稿は、令和元年度の NETIS テーマ設定型（技術公募）「建設機械の騒音低減に資する技術」の第三者機関として選定された当研究所が実施した技術公募における建設機械の評価と試験方法、選定技術の結果について紹介するものである。

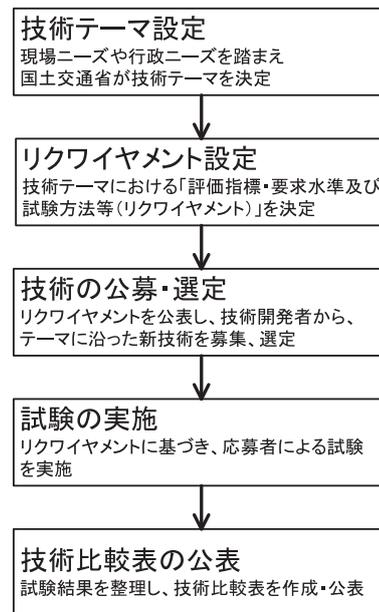
2. 技術公募の概要

(1) 技術公募の流れ

技術テーマの設定から技術比較表までの主な流れを図一に示す。国土交通省が設定した技術テーマに対して、リクワイヤメント等を設定して民間等で開発されている技術を公募し、試験などによる現場実証試験で性能確認を行い、検証結果を整理して技術比較表として公表するものである。本技術テーマは、多くの工事現場で課題とされる工事騒音の解決として、建設機械の騒音低減技術で新技術を適正に評価して活用させるものである。

(2) 評価対象の選定

評価対象とする建設機械および騒音低減技術の選定では、①苦情件数の多い作業で使用される建設機械、②低騒音型建設機械の指定がない機種、③建設機械の騒音低減技術が存在することの3点に着目して、該当する機種の中から一般に使用される機種を対象機種と



図一 技術公募の流れ

して選定した。本公募の対象は、以下の①から④の4機種種の建設機械および騒音低減技術とした。アクティブノイズコントロールは騒音低減技術であるが、バックホウや可搬式発電機など多くの建設機械に用いることができるため選定している。

【対象機種】

- ①アクティブノイズコントロール（ANC）
- ②油圧ブレーカ
- ③振動コンパクト
- ④振動ランマ

(3) 技術テーマのリクワイヤメント

リクワイヤメントとして騒音低減技術に求める性能評価項目、性能評価指標を表一に示す。主な評価項目は、基本性能（環境性）、品質、安全性、経済性の4つとし、建設機械周囲への騒音低減性の評価は、基本性能として騒音レベル、音響パワーレベル、特定の周波数帯域の騒音低減を評価値としている。品質は、建設機械を操作するオペレータが替わることによる騒音低減性能の差を評価とし、安全性は、オペレータの耳元騒音の低減を評価とする。

表一 騒音低減性能技術のリクワイヤメント (抜粋)

性能種別	性能評価項目		性能評価指標	適用する騒音低減技術		
				ANC	油圧ブレーカ 振動コンパクト 振動ランマ	
基本性能 (環境性)	発生音による周囲への影響 の低減	周囲の騒音レベルの低減	等価騒音レベル $L_{Aeq,T}$ (dB)	騒音低減技術を用いた対策型の騒 音性能を求めること	適用	適用
		音響パワーレベルの低減	音響パワーレベル L_{WA} (dB)		適用	適用
		特定の周波数帯域の低減	1/3 オクターブバンド 騒音レベルの周波数特性 (dB)		適用	-
品質	使用者の違いによる効果の 有無 (騒音低減効果の再現 性の有無)	騒音低減効果の再現性 (音響パワーレベルの低減)	音響パワーレベル L_{WA} (dB)	オペレータが替わることにより, 騒音低減性能に変わりがないこと	適用	適用
		騒音低減効果の再現性 (特定の周波数帯域の低減)	1/3 オクターブバンド 騒音レベルの周波数特性 (dB)		適用	-
安全性	オペレータの耳元の騒音レ ベルの低減	騒音レベルの低減	等価騒音レベル $L_{Aeq,T}$ (dB)	騒音低減技術を用いた対策型の騒 音性能を求めること	適用	適用
		特定の周波数帯域の低減	1/3 オクターブバンド 騒音レベルの周波数特性 (dB)		適用	-
経済性	コスト比率 (初期投資)	騒音低減技術を用いること による本体、付属品、設置 にかかる費用	基礎価格 (円)	従来と比較し騒音低減技術を用い ることによるコストが少ないこと	適用	適用
	コスト比率 (運転費用・維持管理費用)	騒音低減性能を維持するた めにかかる費用	燃料代・電気代/月 (円) 消耗品・メンテナンス費 用/年 (円)		適用	適用

経済性は、技術の導入に伴う初期費用と維持管理費用で評価する。

評価方法は、基本性能、品質、安全性は、実際に騒音測定を行う現場実証試験の結果とし、経済性は応募資料等で確認した内容とする。

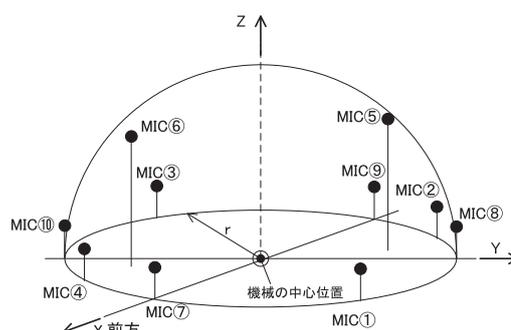
(4) 現場実証試験の試験方法

現場実証試験の試験方法や測定項目は、対象機種ごとに設定しており、主な試験方法は以下のとおりである。試験に用いる建設機械は応募者が選択した機械とした。

(a) アクティブノイズコントロール (ANC) の試験方法

JIS A 8317-1:2010 および建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法 (平成九年建設省告示第 1537 号) に準ずる試験を実施する。試験における測定点は図一 2 に示す 10 か所とし、測定面の半径 r は建設機械の大きさに基づき 4 m, 10 m, 16 m に決定する。建設機械は上記の測定方法に運転条件が記載された種類とし、運転状態は静的運転状態または走行モードを除く動的運転状態とする。

試験は、騒音低減技術が有る状態と無い状態で測定し、その差を比較して評価する。評価値は、等価騒音レベル (dB)、音響パワーレベル (dB)、1/3 オクター



図一 2 ANC の測定点の位置

ブバンド騒音レベルの周波数特性 (dB) である。

なお、音響パワーレベルの算出は、図一 2 の測定点のうち MIC ①～MIC ⑥の測定結果を用いることとし、MIC ⑦～MIC ⑩の測定結果は騒音低減の確認のみに用いることとする。

(b) 油圧ブレーカの試験方法

欧州騒音指令 2000/14/EC に準ずる試験方法とし、ブレーカのチゼルでアンビル (鉄の塊) を打撃する際の発生音を 15 秒以上測定する。試験におけるブレーカ、アンビル、測定点の位置を図一 3 に示す。評価値は、等価騒音レベル (dB)、音響パワーレベル (dB) である。

(c) 振動コンパクト、振動ランマの試験方法

EN500-4:2011 に準ずる試験方法とし、振動コンパ

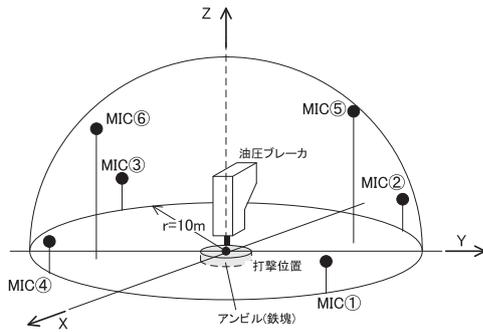


図-3 ブレイカの配置と測定点の位置

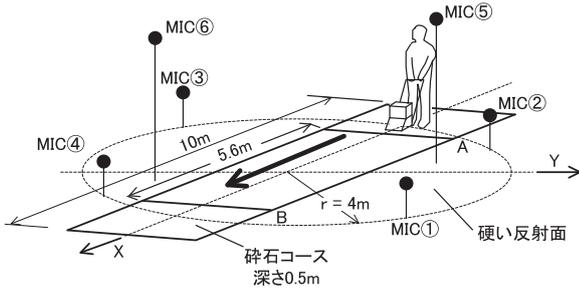


図-4 試験コースの配置と測定点

クタまたは振動ランマで砕石コースの締固め作業時の発生音を測定する。試験におけるコース，測定点の位置を図-4に示す。測定は，締固め作業をしながら砕石コースをAからBに通過する時間で行う。評価値は，等価騒音レベル (dB)，音響パワーレベル (dB) である。

(d) 耳元騒音の試験方法

測定点は図-5に示すオペレータの頭部中央面の左右 200 mm ± 20 mm で目と同じ高さに設置し，騒音測定のためのマイクロホンの向きは水平とする。建設機械の運転状態は，対象機種により上記 (a) から (c) と同様とする。

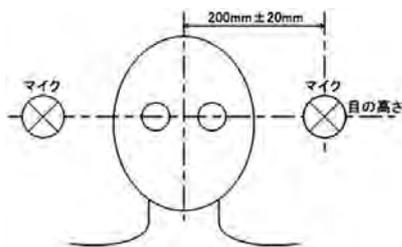


図-5 耳元の測定点

3. 技術募集の結果

(1) 技術公募の実施

「建設機械の騒音低減に資する技術」について，令和元年7月5日から令和元年10月18日まで技術公募を実施した。

応募技術は，油圧ブレイカ1件，振動コンパクト1件，振動ランマ1件，その他1件の計4技術であり，すべて現場実証試験の実施対象として選定され，その技術を表-2に示す。

選定技術の中には，複数の型式に対応しているものがあり，対応するすべての型式に対して現場実証試験を実施した。

(2) 技術比較表の公表

現場実証試験の試験結果およびヒアリング結果よりリクワイアメントに基づく技術比較表を作成した。本選定技術の技術比較表は，令和2年7月よりNETISサイトのテーマ設定型（技術公募）の頁 (<https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubtheme/themesettings>) で公表されており，その一例として油圧ブレイカの技術比較表の抜粋を表-3に示す。

表-2 選定技術一覧

対象技術	技術名	NETIS 番号	応募者名
油圧ブレイカ	超低騒音仕様油圧ブレイカを用いた解体・掘削工法	TH-090016-VR	古河ロックドリル(株)
振動コンパクト	低騒音型プレートコンパクター	TH-100006-VE	三笠産業(株)
振動ランマ	防音型ランマー	TH-100005-VE	三笠産業(株)
その他	アコーディオン防音壁	今後登録予定	清水建設(株)

※2019年12月時点

表-3 油圧ブレイカの技術比較表 (抜粋)

技術名	超低騒音仕様油圧ブレイカを用いた解体・掘削工法
応募者(開発者)	古河ロックドリル(株)
NETIS番号	TH-090016-VR
型式名	F22
概要図、写真	
諸元(クラス)	油圧ブレイカ:1700kg級 適合バックホウ:20t級
質量(kg)	1,735kg
試験方法	2000/14/EC Annex III, Part B, item28
試験の運転状態	アンビル打撃
測定半径	10m
基本性能	A特性音響パワーレベル 120 dB
品質	使用者AとBのA特性音響パワーレベルの低減量の差 1.0 dB
安全性	等価騒音レベル 79 dB ※キャビンの遮音性の影響を含む

4. おわりに

対象機種ごとの技術比較表に掲載されたモデル数はまだ少なく、技術比較表を用いて技術の選定をするためには更なる技術の追加が効果的である。

本技術テーマにより評価された新技術が施工現場等で有効活用され、現場の課題解決の一助となることを望むものである。

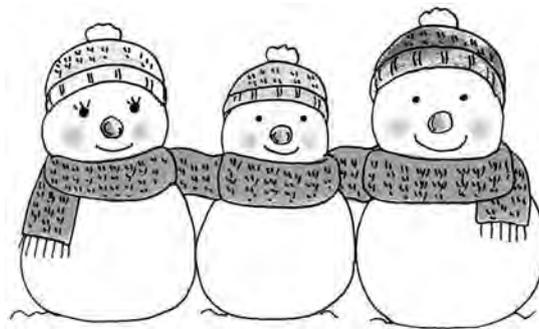


[筆者紹介]

齋藤 聡輔 (さいとう そうすけ)
(一社) 日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所
研究第三部 主任研究員



齋藤 渉 (さいとう わたる)
(一社) 日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所
研究第三部 研究員



新工法紹介 機関誌編集委員会

03-187	ハイブリッド耐火被覆工法 (耐火被覆吹付ロボット)	鹿島建設 鹿島フィット 万象 HD
--------	------------------------------	-------------------------

▶ 概要

鉄骨造建物では、火災時の崩壊を防止するために鉄骨表面に耐火被覆処理を施す必要があり、一般的な工法はロックウールをセメントスラリーと混合した被覆材を鉄骨に吹付ける。しかし、この吹付作業時には被覆材により粉じんが発生し、防じんマスクなど保護具の着用が必要となるため作業負担は大きく、建設就業者の高齢化が進む中では、今後、耐火被覆作業に従事する作業員は不足すると予想されている。

2018年11月に鹿島建設は「鹿島スマート生産ビジョン」を策定し、「作業の半分はロボットと」をコアコンセプトの一つとして、繰り返しの作業や苦渋を伴う作業、自動化により効率や品質にメリットを得られる作業などを対象に、自動化・ロボット化を推進している。そこで、耐火被覆作業は人にとって苦渋を伴う作業と位置付け、将来のロボット化に向けた取り組みを進めている。

▶ 特徴

1) ハイブリッド耐火被覆工法

本工法は、耐火被覆の吹付けにおける難度が高く、脱落の恐れがある下フランジには高耐熱ロックウールフェルトを巻き付け、ウェブと上フランジには高耐熱粒状綿という新たな被覆材を吹付けるという、2種類の被覆材を組み合わせた合成耐火工法である。

従来の被覆材では、被覆部に必要な密度を確保するため、吹付けた後に鋺（こて）を用いた押しえ作業を必要としたが、高耐熱粒状綿は一般的なロックウール粒状綿より高密度なため、鋺押しえ作業を不要とする。また被覆の厚さも薄く出来るため、作業の省力化や材料コストの低減を図れる。

下フランジをロックウールフェルト巻とすることにより、下フランジの吹付け作業によって特に多く発生する被覆材の飛散はなくなり、作業環境も改善される（図-1）。

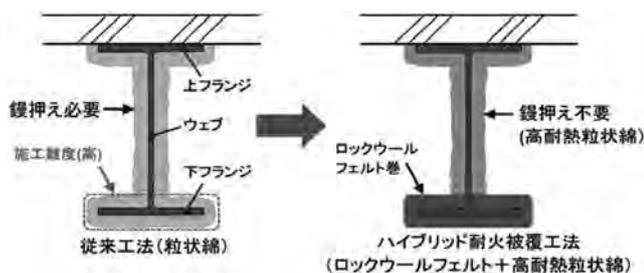


図-1 ハイブリッド耐火被覆工法イメージ図

2) 耐火被覆吹付ロボット

本ロボットは、

- ①汎用7軸マニピュレータを採用し、人と同様の動きを再現することによる高品質な吹付を実現
- ②吹付高さは5.5mまで可能
- ③BIMデータを基に鉄骨の形状に合わせて自動に梁一本の吹き付けを連続して実施可能

梁のウェブと上フランジ部についてロボットが自動吹付けを行う。既に開発済のハイブリッド耐火被覆工法へ適用することで、さらに効果的に活用することが可能となる。

これにより、作業員の高所作業車に乗降する時間及び吹付作業時間は大幅に短縮されて、さらに被覆材の飛散を約3割低減することも可能なため、大幅な作業環境改善を実現できる。

また、ロボットによる自動吹き付けを行う間には、作業員はより高い技能を必要とする箇所の被覆作業を行うなど、ロボットと人の協働によって生産性の向上と高品質な施工を可能とした（写真-1）。



写真-1 耐火被覆吹付ロボット

▶ 用途

- ・高耐熱粒状綿による耐火被覆吹付け

▶ 実績

- ・東京都内の建築工事現場

▶ 問合せ先

鹿島建設(株) 建築管理本部

〒107-8348 東京都港区赤坂6-5-11

TEL: 03-5544-0299

新工法紹介

04-422	水中ポンプ監視システム 「Newt (ニュート)※」	西松建設
--------	-------------------------------	------

概要

山岳トンネル掘削時にトンネル坑内で発生する湧水は、トンネル最先端部（以下、切羽）から水中ポンプと排水管により坑外まで排水され、濁水処理設備にて処理、放水されている。長距離トンネルにおける斜坑の交点部や下り勾配の切羽において、ひとたび水中ポンプが停止すると、トンネル坑内の重機や設備の水没、坑内路盤を傷めるなど重大な損害が発生する。そのため、トンネル現場においては現場が長期間休工する週末や、大型連休中においても水中ポンプの稼働を確認するための人員を配置している。しかし、将来的な建設労働人口の減少や働き方改革とともない、休日に人員を配置することが難しくなる中で、省人化を図るために水中ポンプの稼働を無人で監視可能なシステムの導入が望まれていた。

本システムでは、無給電・無線電力センサー「C3-less センサー」を活用している（図一参照）。電力センサーは、電線内に流れる電気の漏れ磁束により自ら発電することで、計測した電流値をゲートウェイに無線送信することができる。電流値のデータはゲートウェイから当社専用のクラウドサーバに5秒毎にアップロードされ、閾値を超えるデータを検出するか、水中ポンプがなんらかの原因により停止してデータがある指定した時間アップロードされない場合に、現場のパトライトが点灯するとともに、関係者に警報メールがプッシュ方式で送信される。そのため、水中ポンプの稼働を確認するためにトンネル坑内を巡回する人員を配置する必要がなくなり、水中ポンプの停止をいち早く知ることで、対応も迅速に行うことが可能となる。



図一 「Newt」運用イメージ

特徴

(1) 水中ポンプの稼働監視

水中ポンプの電線に流れる電流を計測することで、水中ポンプ停止時に速やかに警報メールをプッシュ方式で関係者に送ることが可能である。

(2) 設置が簡単

ゲートウェイを現場内のインターネット回線もしくはLTE回線などに接続し、C3-less センサーを分電盤内の電線を挟みこむように後から設置するだけで、すぐに監視が開始できる。

(3) 電池交換不要

電力センサーは電線に流れる電流の漏れ磁束により自己発電するため電池は内蔵されておらず、電線に電流が流れる限り継続的に監視が可能である（図一2）。



図一2 電力センサー取付け状況

(4) 電流値のクラウド監視

水中ポンプ以外にも様々な設備の電流値の計測が容易になるため、当社開発の「N-TEMS：西松トンネルエネルギーマネジメントシステム」と連携して、きめ細かな消費電力の管理を行うことで、現場の消費電力量削減に貢献できる。

本システムを活用することで、水中ポンプの稼働を無人監視し、トンネル坑内の水没を未然に防ぐことが期待される。

用途

- ・水中ポンプの無人監視
- ・消費電力量の見える化

実績

- ・大野油坂道路荒島第2トンネル下山区工事

問合せ先

西松建設(株) 技術研究所 土木技術グループ
〒105-6407 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号
虎ノ門ヒルズビジネスタワー
TEL：090-7083-3646

※ Newt (ニュート)：イモリの意。古来よりイモリは井守ともいわれ井戸の守り神とされる

新工法紹介

10-45	T-Con・PAS コンクリート最適打込み 計画支援システム	大成建設
-------	--------------------------------------	------

概要

コンクリート構造物の品質確保には、コンクリートの施工において適切な打込み計画を立案して管理することが重要である。通常、コンクリートを連続して打ち込む場合には、先に打ち込んで固まり始めたコンクリートに新しいコンクリートを打重ねるまでの「打重ね時間間隔」に留意が必要である。打重ね時間間隔が開くと境界面にコールドジョイントが発生し、構造物の品質低下につながる恐れがある。そのため、従来は、打重ね時間間隔ができるだけ短くなるように構造物の形状、コンクリートポンプ車の配置や打込み量など様々な施工条件を基に現場技術者が打込み順序を計画していた。しかしながら、検討項目が多岐に亘るため、最適な打込み計画の策定には多くの課題があった。

これに対し、大成建設はコールドジョイント発生リスクを低減し、施工品質の向上を図るため、打重ね時間間隔が短くなるよう打込み計画を自動作成する、コンクリート最適打込み計画支援システム「T-Con.PAS」を開発した。

特徴

(1) 自動計算により最適な打込み計画を提示

施工ブロックの配置、1台のコンクリートポンプ車で施工できる範囲やポンプ車の圧送能力・台数・配置などの施工条件を入力し、最適な打込み順序や各ブロックの打重ね時間間隔を瞬時に自動計算する。その結果を3次元画像化して確認すること

が可能で、ポンプ車の必要台数や最適な配置などを事前に検討できる。

(2) 急な計画変更にも柔軟に対応

施工中の急な計画変更（コンクリート供給能力や可動ポンプ車台数の変更など）が生じた場合でも、施工条件を再入力することで、最適な打込み順序を再計算し、迅速な対応をとることができる。

(3) 誰でも最適な計画が策定可能

技術者の経験に依存せず、誰でも最適な打込み計画を策定することができる。

検討例

検討結果を図-1に示す。現場で作成した当初案と比べ、T-Con.PASによる自動計算では最大打重ね時間を2割程度短縮することができ、コールドジョイント発生リスクの低減効果が確認された。また、コールドジョイント発生リスクが高い（打重ね時間間隔が長い）箇所を容易に確認することができ、施工時には該当箇所に留意して打込みを行うことができる。これにより施工時の品質向上やコストの低減、事前検討作業の短縮による生産性向上などの効果が期待できる。

用途

・コンクリート構造物のコールドジョイント発生リスク低減

実績

・天ヶ瀬ダム放流設備建設工事（京都府）

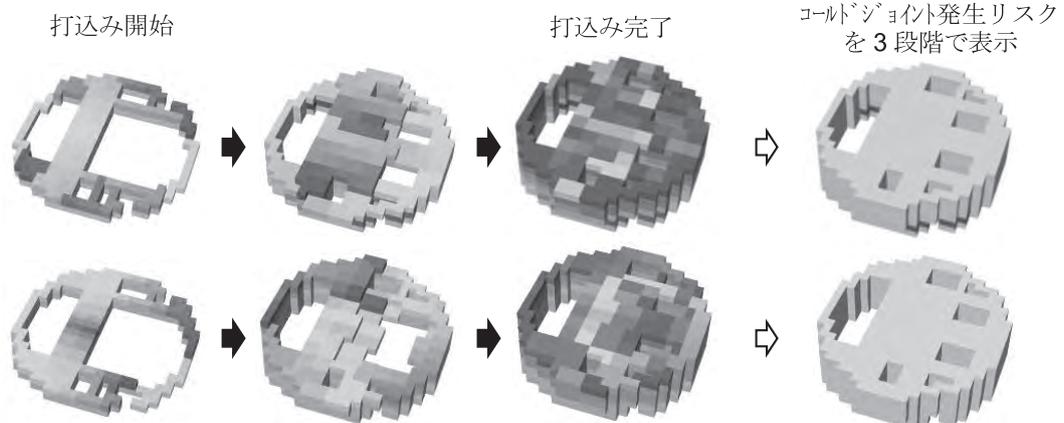
問合せ先

大成建設(株)技術センター 生産技術開発部
〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1
TEL：045-814-7219（ダイヤルイン）

打重ね時間間隔
0分 120分

当初案
(最大 120.5 分)

計算結果
(最大 100.5 分)



- ・打込み順序と打重ね時間間隔を視覚的に確認可能
- ・計算の結果、当初案よりもコールドジョイント発生リスクが低減

図-1 最適打込み順序の検討結果

新機種紹介 機関誌編集委員会

▶ 〈02〉 掘削機械

20-〈03〉-04	コマツ 〈オフロード法 2014 年基準適合〉 ホイールローダー 「WR12-8」	'20.9 発売 新機種
------------	---	-----------------

窒素酸化物 (NO_x) と粒子状物質 (PM) の排出量を大幅に低減し、オフロード法 2014 年基準に適合したホイールローダーである。

リーチ機構の採用により、3m を超えるダンピングクリアランスを実現することで、積込高さが求められる産廃用ダンプへの積み込みの容易化を図っている。

また、パラレルリンケージを採用により、生コン等液状の物も容易に運搬できる等、作業の高効率化を図っている。

前後進切り換えスイッチを備えたマルチファンクションモノレバーを標準装備し、1 本のレバーでブーム、バケット、リーチアームの操作が可能である。さらに、車両後方に視認用カメラを標準装備し、7 インチの液晶ディスプレイモニターで後方の安全確認を支援する。

標準仕様車とあわせて設定した産廃仕様車は、プリクリーナー、アンダーガード、折りたたみ式ミラーの採用により、異物の目詰まり、かみこみ、吸入などによる破損を防止し、ワイドコアラジエーターの採用により清掃メンテナンスの容易化を図っている。



写真—1 コマツ ホイールローダー WR12-8

問合せ先：コマツ コーポレートコミュニケーション部
〒107-8414 東京都港区赤坂 2-3-6

表—1 主な仕様

	WR12-8
運転質量 / 機体質量 (t)	8.955/6.420
エンジン定格出力 ネット (JIS D0006-1) ^{*1} (kW/min ⁻¹ [PS/rpm])	73.1/2,200 (99.4/2,200)
バケット容量 (m ³)	1.4
最小回転半径 (最外輪中心) (m)	5.625
全幅 (バケット幅) (m)	2.390
全高 (m)	3.035
全長 (m)	6.520
ダンピングクリアランス ^{*2} (m)	3.140
ダンピングリーチ ^{*2} (m)	1.480

※1：冷却ファン最低回転速度時の値

※2：45°前傾、ボルトオンカッティングエッジ先端まで

【公表価格】18.55 百万円 *工場裸渡し消費税抜き

新機種紹介

▶ 〈06〉 基礎工事機械

20-〈06〉-01	アイチコーポレーション ポールマスター D50B1FS	2020年5月 発売 新機種
------------	-----------------------------------	----------------------

主に建柱作業に使用される穴掘建柱車である。最大掘削深さは5.20 mに達する。

モーメントリミッター（定格荷重制限装置）を標準装備とし、クレーン作業における定格荷重超過を規制する。

定格荷重の90%以上になると警報を発し、100%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。

従来機種ではアウトリガーを前後左右ともに1/2以上張り出さないとクレーン作業が行えなかったが、モーメントリミッター装備により、最小張出でもクレーン作業が可能である。

また、アウトリガー張幅段階を2段階から4段階とすることで、車両占有幅が大きく取れない現場など、作業環境に応じたクレーン作業が可能である。

液晶モニターには、定格荷重、実荷重、作業半径、負荷率のほか、旋回・起伏角度やアウトリガー、ブームの状況等が表示され、安全作業をアシストしている。

表-2 ポールマスター D50B1FS 主な仕様

型式	D50B1FS
最大定格荷重 (t)	2.9
クレーン容量 (t × m)	2.9 × 3.6
[作業半径] クレーン (m)	0.9 ~ 11.8
[作業半径] 穴掘 (m)	4.1 ~ 11.4
最大掘削深さ (m)	5.20
オーガートルク (N・m)	6,470
消費税抜標準価格 (百万円)*	16.80

※表中の標準価格はオプション価格を含まず。

問合せ先：(株)アイチコーポレーション経営企画部広報課
埼玉県上尾市大字領家字山下 1152 番地の 10



写真-2 ポールマスター D50B1FS

新機種紹介

▶ 〈19〉 建設ロボット, 情報化機器, タイヤ, ワイヤロープ, 検査機器等

20-〈19〉-07	極東開発工業 乾燥コンテナシステム Kantainer (カンテナ) JR04-70N	'20.2 発売 新機種
------------	---	-----------------

木質チップ等の乾燥が可能な乾燥コンテナシステムである。再生可能エネルギーとして注目されている木質チップボイラーやバイオマス発電の燃料となる木質チップを簡単に乾燥させることができる。設備廃熱などの未利用熱を熱源として使用することも可能なため、脱化石燃料化の推進にも貢献する。

デッキが2重底構造になっており、コンテナ後方から投入した温風は2重底部全体に行き渡り、温風の流れに伴いコンテナ下方から順に乾燥が進行する。また、バッチ式乾燥のため乾燥中の攪拌作業等は不要である。

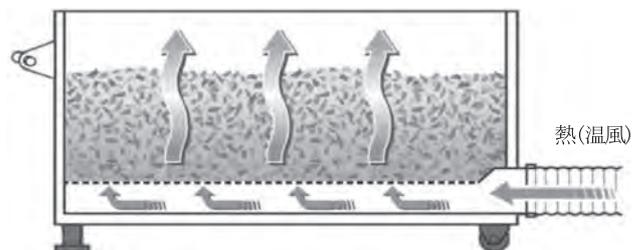
脱着コンテナ車と併用することで従来の乾燥設備使用の際に必要なであった木質チップの詰め替え作業をすることなく乾燥・運搬が可能である。さらに運搬先での排出作業は脱着コンテナ車のダンプ機能で簡単に行うことができ、コンテナのまま木質チップの貯留もできる。

また、コンテナはロードセルシステムにセットするだけで積載重量の測定ができる。乾燥過程における重量変化量から算出した木質チップの含水率をリアルタイムに確認できるため、乾燥チップの品質管理と品質向上を同時に行うことができる。

乾燥対象は木質チップのみに限らず、同じくバイオマス燃料として利用される廃菌床の乾燥や廃棄物の減容・軽量化を目的とした乾燥など様々な分野への活用が可能である。



写真—3 極東開発工業 JR04-70N Kantainer



図—1 Kantainer 乾燥模式図

問合せ先：極東開発工業㈱
技術本部 開発部
〒673-0443 兵庫県三木市別所町巴2

表—3 JR04-70N の主な仕様

内法長	(mm)	3,600
内法幅 [上側]	(mm)	1,900
内法幅 [下側]	(mm)	2,010
有効内法高	(mm)	1,500
2重底高さ	(mm)	100
容積	(m ³)	10.3
重量	(kg)	1,200
最大ブロウ風量	(m ³ /min)	120
価格	(百万円)	5.85

令和2年度（2020年度）建設投資見通し

国土交通省 総合政策局 情報政策課 建設経済統計調査室

1. はじめに

我が国の建設投資は、社会経済活動・市場動向等に与える影響が極めて大きい。

このため、国土交通省では、国内建設市場の規模とその構造を明らかにすることを目的とし、1960年度から毎年度、建設投資推計及び建設投資見通しを作成し、「建設投資見通し」として公表している。

2. 建設投資見通しの概要

2020年度の建設投資は、前年度比3.4%減の63兆1,600億円となる見通しである。

2020年度の建設投資は、前年度比3.4%減の63兆1,600億円とな

る見通しである。このうち、政府投資が25兆6,200億円（前年度比3.1%増）、民間投資が37兆5,400億円（前年度比7.3%減）となる見通しである。これを建築・土木別に見ると、建築投資が38兆1,500億円（前年度比6.5%減）、土木投資が25兆100億円（前年度比1.7%増）となる見通しである（表-1、図-1）。

2019年度の建設投資は、前年度比3.1%増の65兆3,700億円となる見込みである。このうち、政府投資が24兆8,600億円（前年度比7.8%増）、民間投資が40兆5,100億円（前年度比0.5%増）と見込まれる。これを建築・土木別に見ると、建築投資が40兆7,900億円（前年度比0.2%増）、土木投資が24兆5,800億円（前年度比8.3%増）となる見込みである。

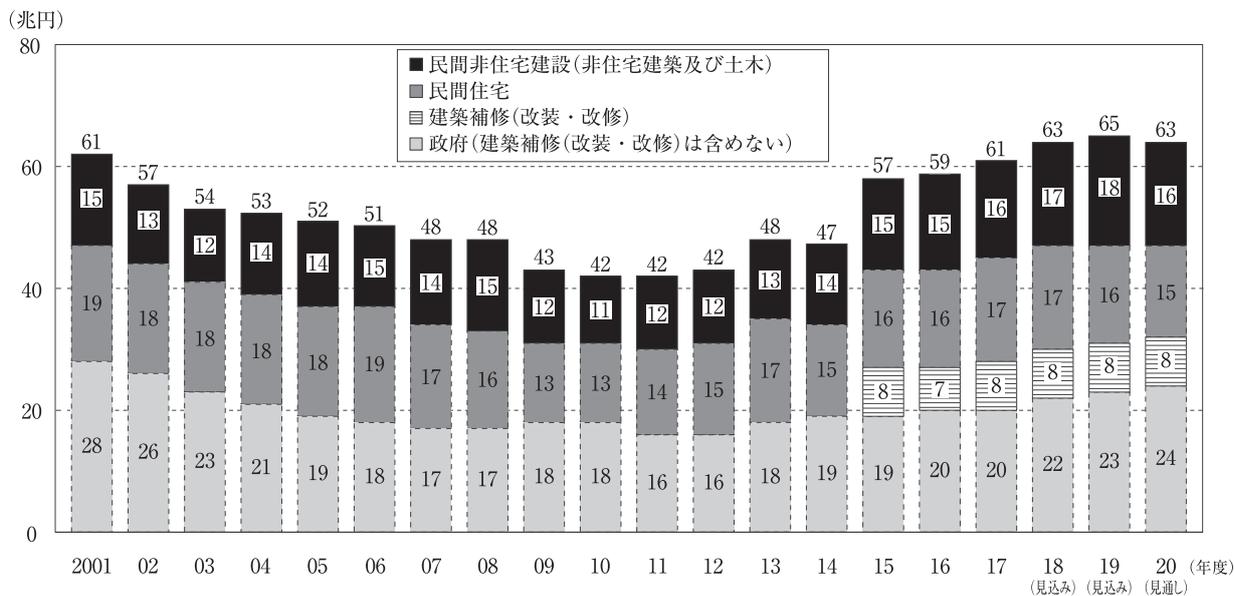
建設投資は、1992年度の84兆円をピークに減少基調となり、2010年度には1992年度の半分程度にまで減少した。その後、東日本大震災からの復興等により回復傾向となっている。2020年度の

表-1 2020年度建設投資（名目値）

（単位：億円，%）

項目	年度	投資額				対前年度伸び率			
		2017年度 (実績)	2018年度 (見込み)	2019年度 (見込み)	2020年度 (見通し)	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度
総計		613,251	633,800	653,700	631,600	4.4	3.4	3.1	▲3.4
建築		408,592	406,900	407,900	381,500	6.7	▲0.4	0.2	▲6.5
住宅		175,629	173,600	169,900	156,900	2.0	▲1.2	▲2.1	▲7.7
政府		6,207	6,400	6,500	6,700	▲18.1	3.1	1.6	3.1
民間		169,422	167,200	163,400	150,200	2.9	▲1.3	▲2.3	▲8.1
非住宅		156,860	155,100	157,500	147,600	14.3	▲1.1	1.5	▲6.3
政府		42,333	38,800	40,600	41,800	21.7	▲8.3	4.6	3.0
民間		114,527	116,300	116,900	105,800	11.8	1.5	0.5	▲9.5
建築補修 (改装・改修)		76,103	78,200	80,500	77,000	3.4	2.8	2.9	▲4.3
政府		13,196	13,000	13,900	14,300	▲1.8	▲1.5	6.9	2.9
民間		62,907	65,200	66,600	62,700	4.5	3.6	2.1	▲5.9
土木		204,659	226,900	245,800	250,100	0.2	10.9	8.3	1.7
政府		156,064	172,400	187,600	193,400	1.3	10.5	8.8	3.1
公共事業		133,094	149,000	164,200	169,300	3.2	12.0	10.2	3.1
その他		22,970	23,400	23,400	24,100	▲8.4	1.9	0.0	3.0
民間		48,595	54,500	58,200	56,700	▲3.4	12.2	6.8	▲2.6
再掲	政府	217,800	230,600	248,600	256,200	3.8	5.9	7.8	3.1
	民間	395,451	403,200	405,100	375,400	4.7	2.0	0.5	▲7.3
	民間非住宅建設 ^{注1}	163,122	170,800	175,100	162,500	6.8	4.7	2.5	▲7.2

(注) 1. 民間非住宅建設投資 = 民間非住宅建築投資 + 民間土木投資
 2. 2020年度の伸び率は、「令和2年度の経済見通しと経済財政運営の基本的態度」(令和2年1月20日閣議決定)及び「令和2(2020)年度内閣府年央試算」(令和2年7月30日)の公的固定資本形成及び民間住宅の指標から算定している。
 3. 見込み・見通しの投資額は、四捨五入により100億円単位にしているため、対前年度伸び率と合わない場合がある。
 4. ▲はマイナス。



(注) 2015年度から建築補修 (改装・改修) 投資額を計上している。

図一 建設投資額 (名目値) の推移

建設投資については、2019年度の補正予算等に係る政府建設投資が見込まれること等から、総額として63兆1,600億円となる見通しである。

3. 国内総生産と建設投資の関係

2020年度の建設投資が国内総生産に占める比率は、9.7%となる見通しである。

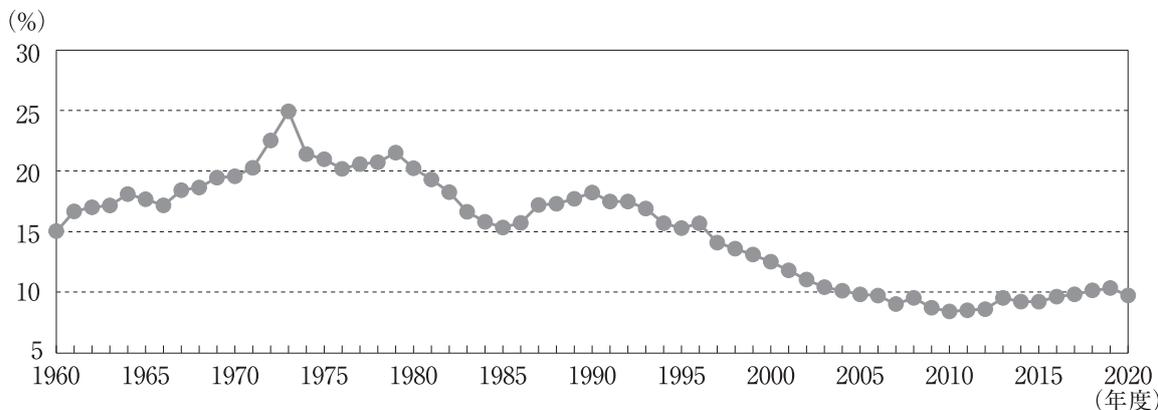
国内総生産に占める建設投資の比率は、1975年頃は20%以上あったが、その後、減少傾向となった。1986年度から1990年度にかけて一時増加したものの、その後再び減少基調となった。近年では、約10%程度で推移している (図一2)。

4. 建設投資の構成と推移

(1) 建設投資の構成と推移

2020年度建設投資見通しにおける建設投資の構成を見ると、政府土木投資と民間建築投資の合計が全体の80%超を占めている。

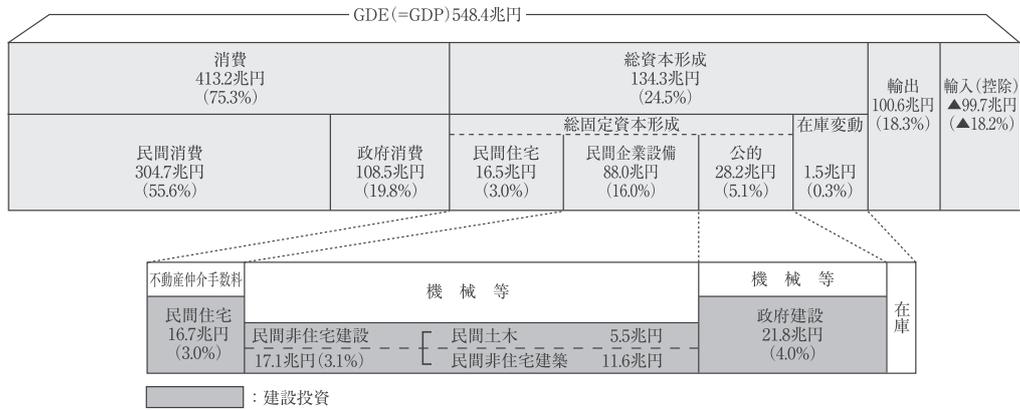
2020年度の建設投資の構成を見ると、民間投資が59%、政府投資が41%である。民間投資のうち住宅、非住宅及び建築補修 (改装・改修) 投資を合わせた建築投資が全体の51%を占めている。政府投資は土木投資が全体の31%を占めており、この両者で建設投資全体の80%超を占めている (図一4、5)。



(注) 1. 現在公表されている国内総生産には、建築補修 (改装・改修) 投資額は含まれていないため、ここでの比率は、建築補修 (改装・改修) 投資額を除いた建設投資額で算出している。
2. 図一2の2018年度及び2019年度は見込み額、2020年度は見通し額から算出している。

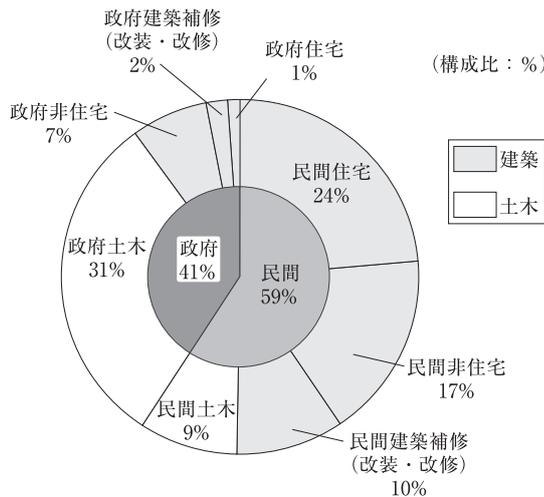
図一2 建設投資の国内総生産に占める比率

統計



- (注) 1. 国内総生産は「国民経済計算」及び「令和2年度の経済見通しと経済財政運営の基本的態度」(令和2年1月20日閣議決定)による。
 2. 建設投資(名目値)の2018年度及び2019年度は見込み額、2020年度は見通し額である。
 3. 建設投資(名目値)には、建築補修(改装・改修)投資額は含まれていない。
 4. 国内総生産の1960年度から1979年度までは「平成2年基準(1968SNA)」, 1980年度から1993年度までは「平成12年基準(1993SNA)」, 1994年度以降は「平成23年基準(2008SNA)」による。
 5. 計数はそれぞれ四捨五入しているため合計と必ずしも一致しない。
 6. ▲はマイナス。

図-3 国内総支出と建設投資の関係(2018年度)



(注) 計数はそれぞれ四捨五入しているため合計と必ずしも一致しない。

図-4 2020年度 建設投資の構成(名目値)

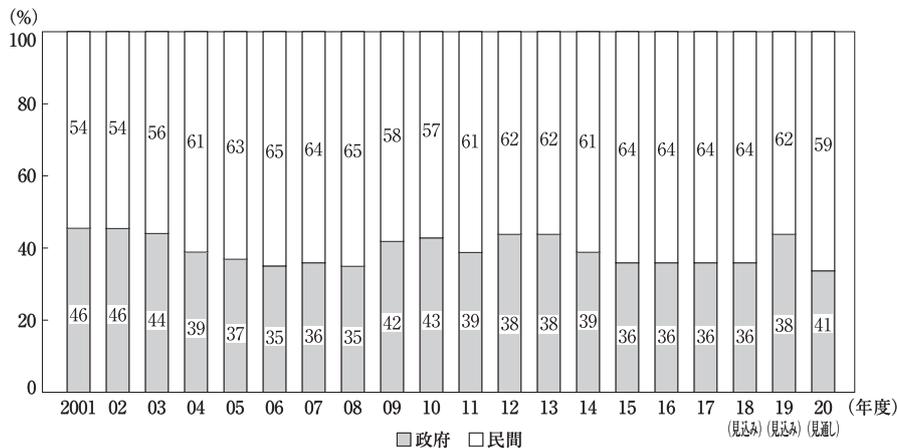


図-5 政府・民間別構成比の推移

(2) 建築・土木別構成比の推移

2020年度の建設投資は、建築投資が60%で、土木投資が40%となる見通しである。

建築と土木との構成比については、1998年度以降、建築投資が増加する一方で政府土木投資が減少し、建築投資の占める比率が2006年度には60%となった。

その後、一時的に土木投資が増加したが、近年は建築投資の占める比率が高まる傾向にあり、建築投資が60%台、土木投資が30%から40%で推移している(図一6)。

(3) 政府建設投資の動向

2020年度の政府建設投資は、前年度比3.1%増の25兆6,200億円となる見通しである。

2020年度は、前年度比3.1%増加し、25兆6,200億円となる見通しである。

2019年度は、前年度比7.8%増加し、24兆8,600億円となる見込みである。

(4) 住宅投資の動向

2020年度の住宅投資は、前年度比7.7%減の15兆6,900億円となる見通しである。

2020年度の民間住宅投資は、前年度比8.1%減の15兆200億円となる見通しである。また、政府住宅投資を合わせた2020年度の住宅投資全体では、前年度比7.7%減の15兆6,900億円となる見通しである。

(参考)

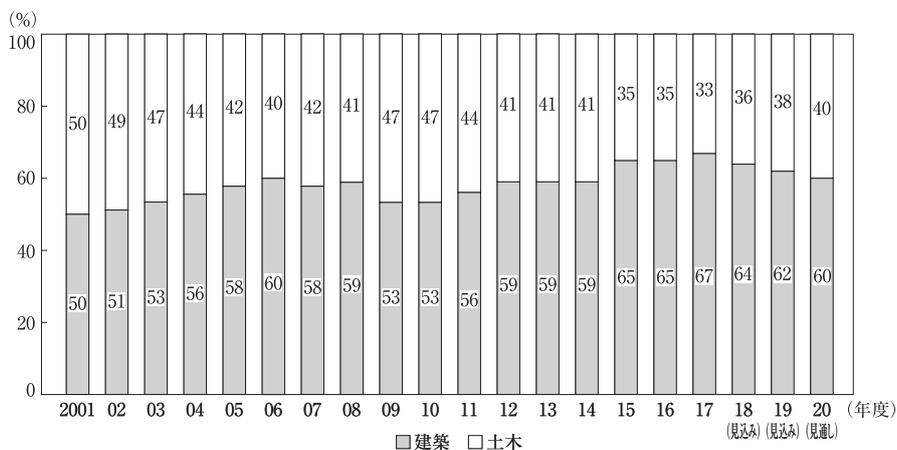
2019年度の新設住宅着工戸数は、前年度比7.3%減の88.4万戸であった。利用関係別に見ると、持家は28.3万戸(前年度比1.5%減)、貸家は33.5万戸(前年度比14.2%減)、給与住宅は0.6万戸(前年度比23.2%減)、分譲住宅は26.0万戸(前年度比2.8%減)となっている(表一2)。

※2020年度の伸び率は、「令和2年度の経済見通しと経済財政運営の基本的態度」(令和2年1月20日閣議決定)及び「令和2(2020)年度内閣府年次試算」(令和2年7月30日)の公的固定資本形成及び民間住宅の指標から算定している。

(5) 建築補修(改装・改修)投資の動向

2020年度の建築補修(改装・改修)投資は、前年度比4.3%減の7兆7,000億円となる見通しである。

2020年度の民間建築補修(改装・改修)投資は、前年度比5.9%



図一6 建築・土木別構成比の推移

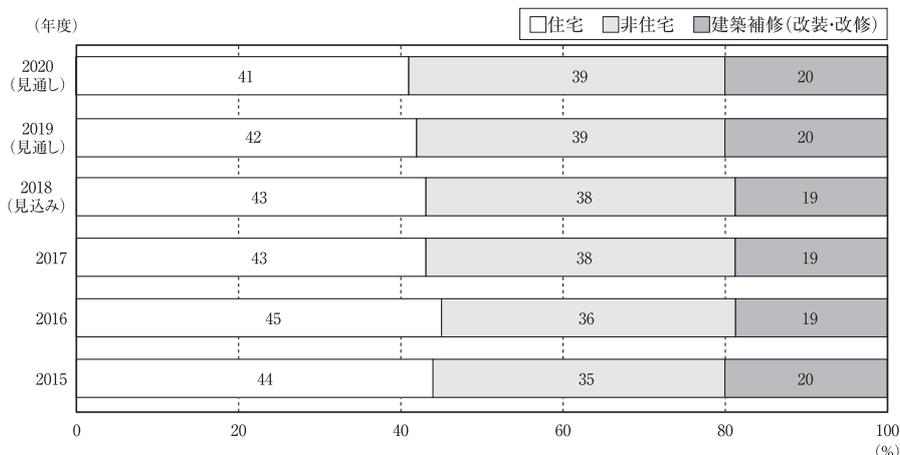
表一2 新設住宅着工戸数と伸び率(前年度比)の推移

(単位:戸・%)

年度	総計		持家		貸家		給与		分譲	
	着工戸数	伸び率	着工戸数	伸び率	着工戸数	伸び率	着工戸数	伸び率	着工戸数	伸び率
2015年度	920,537	4.6	284,441	2.2	383,678	7.1	5,832	▲25.9	246,586	4.5
2016年度	974,137	5.8	291,783	2.6	427,275	11.4	5,793	▲0.7	249,286	1.1
2017年度	946,396	▲2.8	282,111	▲3.3	410,355	▲4.0	5,435	▲6.2	248,495	▲0.3
2018年度	952,936	0.7	287,710	2.0	390,093	▲4.9	7,958	46.4	267,175	7.5
2019年度	883,687	▲7.3	283,338	▲1.5	334,509	▲14.2	6,108	▲23.2	259,732	▲2.8

(注) 1. 「住宅着工統計」(国土交通省)による。
2. ▲はマイナス。

統計



(注) 1. 2019年度より平成27年(2015年)産業連関表の考え方に準じ、建築物リフォーム・リニューアル投資額を建設投資額の内数として計上(2018年度までは建築物リフォーム・リニューアル投資額は建設投資額に含めず別途公表)。なお、2020年度より名称を「建築補修(改装・改修)」へ改める。
 2. 建築補修(改装・改修)は、建築補修工事のうち、改装・改修工事に該当するものを範囲としている。
 3. 平成27年(2015年)産業連関表の建設補修に係る産出額において、「建築物リフォーム・リニューアル調査」の結果を適用して、「維持・修理」及び「改装・改修」に該当する金額を推計し、「改装・改修」については国内総固定資本形成に計上した。

図一七 住宅・非住宅・建築補修(改装・改修)構成比の推移

表一三 民間非住宅建設投資額(名目値)と伸び率(前年度比)の推移

(単位: 億円・%)

年度	民間非住宅建築投資		民間土木投資		合計 (民間非住宅建設投資)	
	投資額	伸び率	投資額	伸び率	投資額	伸び率
2016年度	102,428	6.8	50,287	1.4	152,715	5.0
2017年度	114,527	11.8	48,595	▲ 3.4	163,122	6.8
2018年度(見込み)	116,300	1.5	54,500	12.2	170,800	4.7
2019年度(見込み)	116,900	0.5	58,200	6.8	175,100	2.5
2020年度(見通し)	105,800	▲ 9.5	56,700	▲ 2.6	162,500	▲ 7.2

(注) ▲はマイナス。

減の6兆2,700億円となる見通しである。また、政府建築補修(改装・改修)投資を合わせた2020年度の建築補修(改装・改修)投資全体では、前年度比4.3%減の7兆7,000億円となる見通しである。

建築補修(改装・改修)投資は、建築投資全体に対し約20%を占めている(図一七)。

(6) 民間非住宅建設(非住宅建築及び土木)投資の動向

2020年度の民間非住宅建設(非住宅建築及び土木)投資は、前年度比7.2%減の16兆2,500億円となる見通しである。

2020年度の民間非住宅建築投資は、前年度比9.5%減の10兆5,800億円となる見通しである。また、民間土木投資は、前年度比2.6%減の5兆6,700億円となる見通しである。

これにより、2020年度の民間非住宅建設(非住宅建築及び土木)投資は、前年度比7.2%減の16兆2,500億円となる見通しである。

2019年度の民間非住宅建設(非住宅建築及び土木)投資は、前年度比2.5%増の17兆5,100億円となる見込みである。

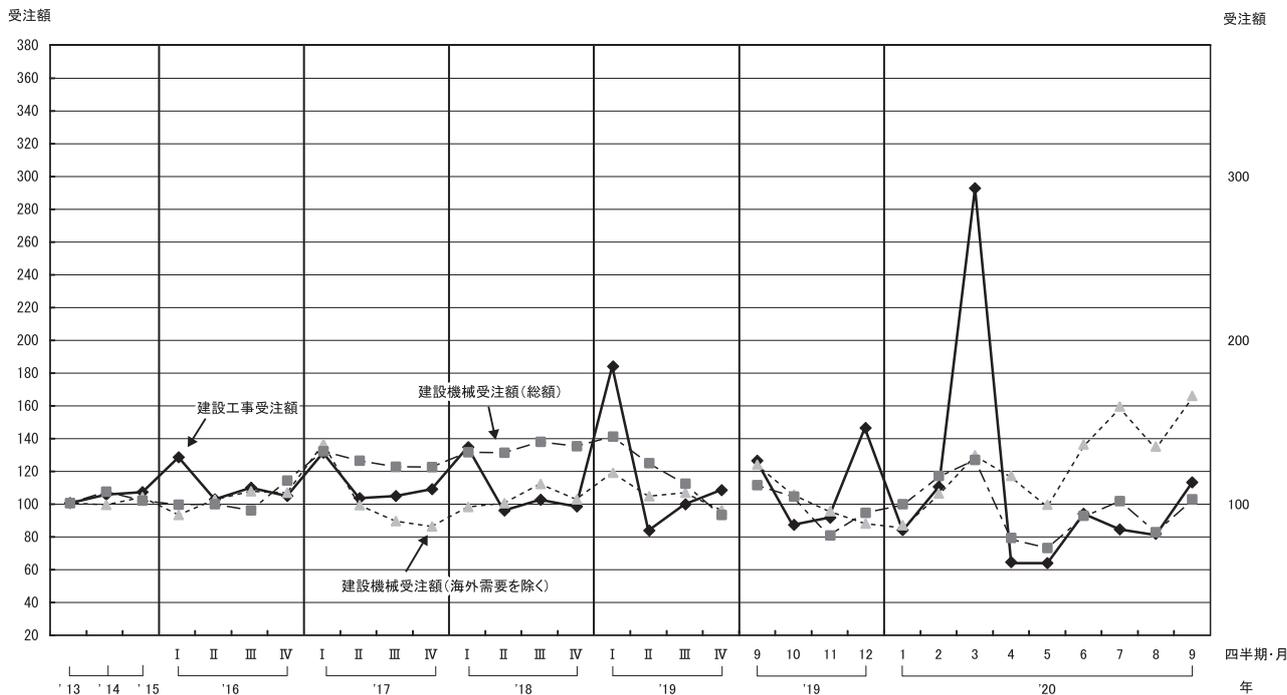
このうち、民間非住宅建築投資は11兆6,900億円(前年度比0.5%増)、民間土木投資は5兆8,200億円(前年度比6.8%増)となる見込みである(表一三)。

建設投資見通しは、国土交通省のホームページで公表しているのを参照されたい(https://www.mlit.go.jp/report/press/joho04_hh_000940.html)。

統計 機関誌編集委員会

建設工事受注額・建設機械受注額の推移

建設工事受注額：建設工事受注動態統計調査(大手50社) (指数基準 2013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 2013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							
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
2019年	156,917	114,317	24,063	90,253	29,957	5,319	7,308	109,091	47,829	171,724	150,510
2019年 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	172,241	11,100
12月	16,113	11,771	2,266	9,504	2,819	880	623	11,353	4,760	171,724	16,276
2020年 1月	9,201	5,889	859	5,030	2,331	363	617	5,443	3,758	171,126	9,299
2月	12,135	8,202	1,743	6,459	3,075	423	436	7,563	4,572	171,571	12,006
3月	32,354	22,796	3,515	19,282	6,807	506	2,244	20,538	11,816	179,841	22,488
4月	7,023	4,434	941	3,493	1,993	542	54	4,437	2,585	177,186	8,282
5月	6,956	4,877	1,404	3,473	1,641	352	85	4,675	2,281	174,405	9,289
6月	10,306	6,725	1,114	5,612	2,971	453	157	5,651	4,655	172,281	12,579
7月	9,241	5,870	1,622	4,248	2,674	449	248	5,703	3,538	172,468	9,311
8月	8,945	6,618	1,032	5,586	1,878	382	66	5,914	3,031	171,851	10,264
9月	12,429	8,684	2,148	6,536	3,235	416	95	8,327	4,102	-	-

建設機械受注実績

(単位：億円)

年 月	13年	14年	15年	16年	17年	18年	19年	19年 9月	10月	11月	12月	20年 1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
総 額	17,152	18,346	17,416	17,478	21,535	22,923	20,151	1,586	1,487	1,145	1,344	1,420	1,668	1,808	1,124	1,035	1,318	1,446	1,173	1,462
海 外 需 要	10,682	11,949	10,712	10,875	14,912	16,267	13,277	920	920	633	873	954	1,097	1,111	629	534	733	859	726	894
海外需要を除く	6,470	6,397	6,704	6,603	6,623	6,656	6,874	666	567	512	471	466	571	697	495	501	585	587	447	568

(注) 2013～2015年は年平均で、2016～2019年は四半期ごとの平均値で図示した。
 2019年9月以降は月ごとの値を図示した。

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

行事一覧

(2020年10月1日～31日)

機械部会



■油脂技術委員会

月日：10月2日(金)(会議室, web 並行開催)

出席者：豊岡司委員長ほか28名

議題：①燃料エンジン油関係：バイオ燃料に関する最近の話題 ②高粘度指数油関係：「高粘度指数作動油の規格案」についての議論 ③規格普及促進関係：マイクロクラッチ摩擦材代替材要否に関する検討, JAMA エンジンオイルセミナーの件 ④その他：出張委員会中止の連絡

■トンネル機械技術委員会・幹事会

月日：10月6日(火)(会議室, web 並行開催)

出席者：橋伸一委員長ほか9名

議題：①小断面トンネル工事における機械, 設備調査に関する討議(調査回答状況の報告, 調査結果のまとめ方について) ②技術講演会の件(講演者, 講演題目の確認について) ③小断面トンネル工事現場見学会の件 ④その他

■基礎工用機械技術委員会

月日：10月7日(水)(会議室, web 並行開催)

出席者：栲沢淳一委員長ほか14名

議題：①東洋テクノ(株)の技術プレゼン：評定取得工法の紹介(場所打ち杭工法等) ②各社トピックス：調和工業(株)ウォータージェット併用パイロハンマ工法配管部材に関する検討

■建築生産機械技術委員会(ラフテレーン作業燃費分科会)

月日：10月12日(月)(会議室, web 並行開催)

出席者：石倉武久委員長ほか4名

議題：①ラフテレーンクレーンの次期作業燃費基準の件(進め方についての討議, スケジュール等) ②その他

■ショベル技術委員会

月日：10月30日(金)(web会議で開催)

出席者：西田利明委員長ほか9名

議題：①次期燃費基準の件：基準値案に関するアンケート調査結果について, 基準値案についての討議

標準部会



■ISO/TC 195/WG 5(道路建設及び維持用機器)国際バーチャルWG会議(第2日)

月日：10月1日(木)夜

出席者：小倉公彦(JCMA標準部)ほか7名(Web参加)

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：①DIS 15878 投票結果コメント審議(続き) ②TC 127/SC 3/WG 5 事務局よりISO/TS 15143-4の説明 ③次回会合の予定

■標準化会議

月日：10月5日(月)

出席者：正田明平(コマツ)標準部会長ほか15名(Web参加)

場所：Web上(Zoom)

議題：令和2年度上期活動報告及び今後の予定…①ISO/TC 127 土工機械委員会 ②ISO/TC 195 建設用機械及び装置委員会 ③ISO/TC 214 昇降式作業台委員会 ④国内標準委員会 ⑤令和2年度標準部会上期事業報告(案) ⑥運営幹事会の対応

■ISO/TC 195/SC 1(コンクリート機械)国際バーチャル総会(第2日)

月日：10月6日(火)夜

出席者：川上晃一(日工機)SC 1国際議長ほか18名(Web参加)

場所：機械振興会館会議室/Web上(ISO Zoom)

議題：前回(9/28)の続き…①FDIS 21573-2 報告 ②DIS 18650-1 報告 ③PWI 5342「コンクリート機械—作業現場データ交換」検討 ④CEN/TC 151/WG 8との協業—安全要求プロジェクト状況 ⑤新提案「セルフローディングモバイルコンクリートミキサー—安全要求および検証」 ⑥定期見直し投票結果報告 ⑦次回会合の予定

■ISO/TC 127/SC 3/WG 13(取扱説明書)国際バーチャルWG会議

月日：10月14日(水)夜

出席者：正田明平(親ISO/TC 127/SC 3委員会国際議長)ほか日本から4名(Web参加)

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：ISO/TR 6750-2 取扱説明書—第2部：参照文書一覧について…①見直しの必要性の検討 ②次の段階に進めるための提案 ③会議の結論(宿題事項・担当・期限) ④次回会合日程：2020年12月1日, バーチャル会議

付記：海外からはスウェーデン王国

Stefan OLSSON氏(主査)ほか米国などから7名

■ISO/TC 195(建設用機械及び装置)国際バーチャル総会

月日：10月16日(金)夜

出席者：川上晃一(日工機)SC 1国際議長ほか35名(Web参加)

場所：機械振興会館会議室/Web上(ISO Zoom)

議題：①TC 195コミッティマネージャ報告 ②WG 2, WG 5, WG 6, WG 9 コンビナー報告 ③WG 7, WG 8 フォローアップ及びWG 9 コンビナー任期更新 ④SC 1, SC 2, SC 3 幹事国報告 ⑤TC 195 諮問グループの設置 ⑥次回会合の予定

■ISO/TC 127/SC 3/WG 5(施工現場情報交換)国際バーチャルWG会議

月日：10月21日(水)昼, 及び, 10月23日(金)昼

出席者：山本茂(主査)ほか日本から9名(Web参加)

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：ISO/TS 15143-4 施工現場情報交換—第4部：施工現場地形データについて…①技術内容の標準案文への盛り込み状況 ②案文編集会議の最新状況 ③関係する海事用無線技術協会 RTCM の活動状況報告 ④ISO メンテナンス機関についての特設チーム報告 ⑤昨年末東京会議での「品質の基準」についての論議フォロー ⑥ISO/TC 195/SC 1(コンクリート機械)との連携に関する論議 ⑦日程の見直し及び宿題事項の確認 ⑧次回会合日程：2020年12月16日及び18日, バーチャル会議

付記：海外からは米国 Nicholas BOLLWEG氏(共同主査)ほか各国から24名

■ISO/TC 195/WG 9(自走式道路建設機械—安全要求)国際バーチャルWG会議

月日：10月27日(火)夜

出席者：小倉公彦(JCMA標準部)ほか18名(Web参加)

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：①ISO/DIS 20500 シリーズ・prEN 20500 シリーズ 並行投票 結果まとめ・コメント評価 ②ISO/CEN の日程表・目標期日 ③今後の審議手法検討 ④合意/決定事項のまとめ及びとるべき行動 ⑤次回会合日程：3時間/日×3日間×4回(2020/11/10-12, 11/23-25, 2021/1/26-28, 2/9-11)

建設業部会



■建設業部会

月 日：10月8日（木）
出席者：福田智之部会長ほか33名（内WEB参加22名）
議 題：①部会長挨拶 ②令和2年度建設業部会上期活動報告 ③各WG報告・機電技術者交流企画WG・クレーン安全情報WG・建設業ICT安全WG ④その他・部会員の皆様からのご意見、ご提案

■クレーン安全情報 WG

月 日：10月14日（水）
出席者：久松栄一主査ほか8名（内WEB参加2名）
議 題：①10/8建設業部会報告 ②災害事例報告 ③その他

■機電交流企画 WG

月 日：10月15日（木）
出席者：松本清志主査ほか9名（内WEB参加4名）
議 題：①10/8建設業部会報告 ②機電技術者のための講演会について ③その他

レンタル業部会



■コンプライアンス分科会

月 日：10月13日（火）
出席者：中村誠一部分科会長ほか16名（内WEB参加5名）
議 題：①分科会長挨拶 ②レンタル基本約款改定（JCRA、JCMA共通） ③次期コンプライアンス分科会活動テーマについて ④9/9開催 JCMA ICT安全施工WG報告 ⑤R2年度レンタル業部会現場見学会（11/12（木）～13（金））について ⑥各社からの報告事項・情報交換 ⑦その他

各種委員会等



■機関誌編集委員会

月 日：10月7日（水）
出席者：見波潔委員長ほか24名
議 題：①令和3年1月号（第851号）計画の審議・検討 ②令和3年2月号（第852号）素案の審議・検討 ③令和3年3月号（第853号）編集方針の審議・検討 ④令和2年10月号～令和2年12月号（第848～850号）進捗状況報告・確認 ※通常委員会及びZoomにて実施

■新工法調査分科会 WEB 開催

月 日：10月16日（金）
出席者：石坂仁委員長ほか4名（内WEB参加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

支部行事一覧

北海道支部



■令和2年度除雪機械技術講習会(第4回)

月 日：10月4日（日）
場 所：稚内市（サフィールホテル稚内）
受講者：142名
内 容：①除雪計画 ②除雪の施工方法 ③冬の交通安全 ④除雪の安全施工 ⑤除雪機械の取り扱い

■第2回施工技術検定委員会

月 日：10月5日（月）
場 所：北海道建設会館 中会議室
出席者：加藤信二施工技術検定委員長ほか13名
議 題：建設機械施工技術検定学科試験の実施要領と監督要領の打合せ

■令和2年度除雪機械技術講習会(第5回)

月 日：10月9日（金）
場 所：函館市（函館総合卸センター流通ホール）
受講者：140名
内 容：上記第4回と同じ

■建設機械施工技術検定学科試験

月 日：10月11日（日）
場 所：北広島市（星槎道都大学）
受検者：1級339名

■令和2年度除雪機械技術講習会(第6回)

月 日：10月13日（火）
場 所：旭川市（アートホテル旭川）
受講者：265名
内 容：上記第4回と同じ

■第2回企画部会

月 日：10月19日（月）
場 所：札幌市（センチュリーロイヤルホテル）
出席者：川村和幸企画部会長ほか13名
内 容：①令和2年度上半期事業報告 ②令和2年度上半期経理報告 ③令和2年度下半期主要行事計画 ④第2回運営委員会次第（案） ⑤その他

■令和2年度除雪機械技術講習会(第7回)

月 日：10月21日（水）
場 所：釧路市（観光国際交流センター）
受講者：280名
内 容：上記第4回と同じ

■第2回運営委員会

月 日：10月23日（金）
場 所：札幌市（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25名
内 容：①令和2年度上半期事業報告 ②令和2年度上半期経理報告 ③令和2年度下半期主要行事計画 ④その他

■令和2年度除雪機械技術講習会(第8回)

月 日：10月27日（火）
場 所：札幌市（北海道経済センター）
受講者：97名
内 容：上記第4回と同じ

■令和2年度除雪機械技術講習会(第9回)

月 日：10月29日（木）
場 所：小樽市（小樽経済センター）
受講者：93名
内 容：上記第4回と同じ

東北支部



■除雪講習会

⑥新庄（1）会場
月 日：10月1日（木）
場 所：山形県新庄市 新庄市民プラザ
受講者：59名
⑦新庄（2）会場
月 日：10月2日（金）
場 所：山形県新庄市 新庄市民プラザ
受講者：58名
⑧横手（1）会場
月 日：10月5日（月）
場 所：秋田県横手市 秋田ふるさと村
受講者：160名
⑨横手（2）会場
月 日：10月6日（火）
場 所：秋田県横手市 秋田ふるさと村
受講者：161名
⑩秋田（1）会場
月 日：10月7日（水）
場 所：秋田県秋田市 秋田テルサ
受講者：71名
⑪秋田（2）会場
月 日：10月8日（木）
場 所：秋田県秋田市 秋田テルサ
受講者：73名
⑫岩手（1）会場
月 日：10月14日（水）
場 所：岩手県滝沢市 岩手産業文化センター
受講者：315名
⑬岩手（2）会場
月 日：10月15日（木）
場 所：岩手県滝沢市 岩手産業文化センター
受講者：272名

- ⑭会津 (1) 会場
月 日：10月19日 (月)
場 所：福島県会津若松市 会津アピオ
受講者：133名
- ⑮会津 (2) 会場
月 日：10月20日 (火)
場 所：福島県会津若松市 会津アピオ
受講者：131名
- ⑯奥州 (1) 会場
月 日：10月22日 (木)
場 所：岩手県奥州市 奥州市文化会館
受講者：72名
- ⑰奥州 (2) 会場
月 日：10月23日 (金)
場 所：岩手県奥州市 奥州市文化会館
受講者：73名
- ⑱岩手 (3) 会場
月 日：10月27日 (火)
場 所：岩手県滝沢市 岩手産業文化センター
受講者：248名
- ⑲岩手 (4) 会場
月 日：10月28日 (水)
場 所：岩手県滝沢市 岩手産業文化センター
受講者：256名
- ⑳宮古会場
月 日：10月30日 (金)
場 所：岩手県宮古市 陸中ビル
受講者：99名

■ ICT, UAV (i-Construction) 基礎技術講習会 (主催：東北土木人材育成協議会)

【座学】・東北地方整備局における i-Construction の取り組み、・各県・仙台市における取り組み、・3次元測量の概要と留意点 (3次元測量の基礎知識、安全対策、事例等)、・ICT 活用工事の監督・検査の留意事項、・点群ソフト、3D 設計データ、・ICT 建機、・TS、GNSS 3次元計測 (検査等現場計測)

【実習】・ICT 建機操作実習、・TS、GNSS ローバー計測実習

- ⑤宮城県会場
(実習)
月 日：10月1日 (木)
場 所：宮城県 コマツ IoT センタ宮城
受講者：23名 (申込み)
- ⑥青森県会場
(座学)
月 日：10月8日 (木)
場 所：青森市 文化観光交流施設ねぶたの家 ワラッセイイベントホール
受講者：39名 (申込み)
- ⑦岩手県会場
(座学)

- 月 日：10月21日 (水)
場 所：岩手県滝沢市 岩手産業文化センター
受講者：43名 (申込み)
(実習)
- 月 日：10月22日 (木)
場 所：岩手県滝沢市 岩手産業文化センター
受講者：29名 (申込み)

■ 地元工業高等学校 特別授業への講師派遣

- ①学校法人北杜学園 仙台工科専門学校
月 日：10月5日 (月)
場 所：学校法人北杜学園 仙台工科専門学校 宮床校舎
受講生：環境土木工学科 2年生 25名
講 師：情報化施工技術委員会会員 (㈱ダイワ技術サービス)
内 容：①測量実習：UAV レーザー計測見学 / UAV 操縦実習 / TLS・MMS 実習 / 自動視準 TS / 電子レベル
- ②学校法人北杜学園 仙台工科専門学校
月 日：10月12日 (月)
場 所：日本キャタピラー (同) D-Tech Center Satellite 岩沼
受講生：環境土木工学科 2年生 25名
講 師：情報化施工技術委員会会員 (日本キャタピラー (同)、㈱ダイワ技術サービス)
内 容：①建機実習ほか：MG/MC / スウェーデン式サウンディング / 簡易貫入試験 / コアからの柱状図作成

■ i-Construction 関係 自治体協力 (講師派遣)

- ① ICT 情報化施工による地元高校生の土木施工実習
主 催：宮城県「令和2年度 みやぎクラフトマン21事業」
月 日：10月6日 (火)
場 所：座学 迫桜高等学校 / 実習 ㈱佐藤工務店 三本木建機ストックヤード
受講者：迫桜高等学校エンジニア系列 1・2・3年 45名
講義内容：①座学 ICT 建機施工 / GNSS・TLS による地形測量について…講師：情報化施工技術委員会 鈴木勇治委員長 ②実習 ICT 建機・ドローン・3D 測量の実践指導…講師：㈱佐藤工務店 社員 ③実習 GNSS と自動運転施工 (講義と大型重ダンプのデモ走行)…講師：東北大学 未来科学技術共同研究センター 大野和則准教授
- ②「令和2年度 ICT 施工活用セミナー・個別相談会」における講演依頼
主 催：青森県
月 日：10月13日 (火)
場 所：青森市 ラ・プラス青い森

受講者：県内建設会社 32 社 (団体) 42 名
講演内容：県発注工事の ICT 施工提案
講 師：情報化施工技術委員会 鈴木勇治委員長、小葉賢一顧問

- ③「令和2年度 ICT 施工活用研修」における研修施設紹介
主 催：青森県
月 日：10月15日 (木)
場 所：㈱岩手測器社 ICT 研修センター (盛岡市)

受講者：県内建設会社 8 社 9 名

- ④「ICT 導入に踏み出す建設業・測量設計業のための講習会」への講師派遣依頼
主 催：宮城県

月 日：県北地区：10月27日 (火)、県南地区：10月28日 (水)

場 所：県北地区：コマツ IoT センタ 東北、県南地区：D-techCenterSatellite 岩沼

受講者：研北地区：県内建設・コンサル会社 14 名、県南地区：県内建設・コンサル会社 13 名

講義内容：① ICT 活用工事の概要と効果 ② ICT 施工の実施事例紹介

講 師：①情報化施工技術委員会 鈴木勇治委員長 ②情報化施工技術委員会 石井明浩委員

北 陸 支 部

■ 除雪機械安全施工技術講習会 (魚沼会場)

月 日：10月6日 (火)
場 所：魚沼地域振興センター
受講者：177名

■ 除雪機械安全施工技術講習会 (上越会場)

月 日：10月9日 (金)
場 所：上越商工会議所
受講者：95名

■ 建設機械施工技術検定学科試験

月 日：10月11日 (日)
場 所：朱鷺メッセ (新潟コンベンションセンター)
受検者：1級：237名 (記述式 A)、223名 (記述式 B)、223名 (択一式)

■ 除雪機械安全施工技術講習会 (富山会場)

月 日：10月12日 (月) ~ 13日 (火)
場 所：富山産業展示館
受講者：86名

■ 除雪機械安全施工技術講習会 (新発田会場)

月 日：10月15日 (木)
場 所：健康長寿アクティブ交流センター
受講者：50名

■ 除雪機械安全施工技術講習会 (長岡会場)

月 日：10月19日 (月)

場 所：ハイブ長岡

受講者：147名

■除雪機械安全施工技術講習会(金沢会場)

月 日：10月21日(水)

場 所：石川県地場産業センター

受講者：38名

■除雪機械安全施工技術講習会(能登会場)

月 日：10月22日(木)

場 所：石川県立生涯学習センター

受講者：19名

■除雪機械安全施工技術講習会(新潟会場)

月 日：10月27日(火)、30日(金)

場 所：新潟県建設会館

受講者：166名

中 部 支 部



■建設 ICT 出前授業 岐阜県立高山工業高等学校

月 日：10月6日(火)

受講者：建築インテリア科1年30名

■建設機械施工技術検定学科試験

月 日：10月11日(日)

場 所：名古屋芸術大学西キャンパス

受験者：1級237名

■第1回部会長・副部会長会議

月 日：10月28日(水)

出席者：川西光照企画部会長ほか7名

議 題：上期事業報告及び上期経理概況について

■道路除雪講習会

月 日：10月30日(金)

場 所：岐阜県高山市飛騨・生活文化センター

受講者：56名

関 西 支 部



■令和2年度1級建設機械施工技術検定試験(学科)試験監督者打合せ

月 日：10月2日(金)

場 所：関西支部 会議室

議 題：①学科試験監督要領について

②その他留意事項

■令和2年度1級建設機械施工技術検定試験(学科)

月 日：10月11日(日)

場 所：摂南大学 寝屋川キャンパス

受験者：1級456名

■建設用電気設備特別専門委員会(第461回)

月 日：10月19日(月)

場 所：中央電気倶楽部 会議室

議 題：①「JEM-TR104 建設工事用受配電設備点検補修のチェックリスト」改正の方向 ②「JEM-TR121 建設工事用電気設備機器点検保守のチェックリスト」進捗報告 ③その他

■「建設技術展 2020 近畿」出展

月 日：10月21日(水)～22日(木)

場 所：マイドームおおさか

入場者：13,614人

テーマ：情報化施工の普及促進

■近畿地方整備局との意見交換会

月 日：10月28日(水)

場 所：キャッスルホテル

参加者：松本事務局長以下26名

内 容：①情報提供 ②意見交換

中 国 支 部



■令和2年度1級建設機械施工技術検定試験(学科)

月 日：10月11日(日)

場 所：TKP ガーデンシティ 広島駅前大橋

受験者：78名

■第2回施工技術部会

月 日：10月21日(水)

場 所：広島 YMCA 会議室

出席者：新宅清人部会長ほか6名

議 題：①i-Con 関係行事の推進とその

体制について ②令和3年度道路除雪講習会の開催(企画・調整)について ③「除雪トラックの高度化」研究について ④その他懸案事項

四 国 支 部



■令和2年度1級建設機械施工技術検定【学科】試験

月 日：10月11日(日)

場 所：高松センタービル(高松市)

受験者：1級：204名

■R2 秋季合同部会幹事会

月 日：10月29日(木)

場 所：建設クリエイティブビル第1会議室(高松市)

出席者：宮本正司企画部会長ほか20名

議 題：①R2 上半期事業報告 ②R2 上半期収支状況報告 ③R2 下半期事業計画(案) ④人事異動等に伴う役員等の変更について

九 州 支 部



■令和2年度建設機械施工技術検定学科試験

月 日：10月11日(日)

場 所：豊国学園高等学校(北九州市)

受験者：1級507名

■企画委員会

月 日：10月14日(水)

場 所：九州支部 会議室

出席者：原尻克己企画委員長ほか12名

議 題：①第2回運営委員会の開催について ②建設行政講演会の開催について ③その他

編集後記

西暦2020年は東京オリンピックの年と、日本の誰もが認識していましたが、現在も世界中で猛威を振るっている新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)により、明るい話題から緊急事態宣言も発令される様な辛い日々が続く年となってしまいました。日々の生活は不要不急の外出自粛、マスク着用など、自由に活動できない事態となりました。しかし、そんな生活から脱却すべく、企業では在宅勤務の拡大やWEB会議の活用といった企業活動の見直しと同時に、効率化に向けた取り組みも進められています。

今回の先端土木・建設技術の開発と実用化というテーマは、業務の効率化に関係が深く、感染対策のソーシャルディスタンスを実現できる技術も含まれるものとなりました。ICTやAI、i-Constructionを活用した技術をはじめとする、最先端の高度な土木技術・建設技術の開発と実用化に関連した報文をご執筆いただきました。巻頭言では東京大学の永谷教授に学側の動向についてご紹介いただき、産学の連携強化により、更な

る発展が進んでいくものと確信させていただきました。行政情報では現時点でのICT施工の導入状況を紹介いただき、今後の目標も改めて確認できました。特集報文では各社の最先端の取り組みをご報告いただき、新しい技術や新たに整備された通信インフラなどを使用して実用性を確認された技術について皆様に紹介できることに喜びを覚えました。交流のひろばでは、理化学研究所の辛木様に今年のスパコン世界ランキング四冠を達成した「富岳」について、まさしくスーパーコンピュータの最先端をご紹介いただきました。民主党政権時代に「1番じゃなきゃダメですか?」という発言がニュースで度々取り上げられていたことを思い出しましたが、「富岳」により大きな成果が上がることを確信させていただきました。ずいそうでは、新しいこととは対照的に、昔の経験を基に執筆いただき、時の流れと時代が移り変わっていることを感じました。

最後になりますが、貴重なお時間を割いていただき、ご執筆いただいた方々に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

(山本・飯田)

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
安井 清貴	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)
佐藤 誠治	(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
小六 陽一	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

1月号「建設機械特集」予告

・建設施工分野における取り組み ・国総研におけるICT活用工事実現・普及に向けた取り組み
 ・製造業は、不確実性の時代をどう生きるか? ・超大型建設機械対応コントロールバルブの開発
 ・次世代型遠隔操作システムの開発 ・鉱山機械の遠隔監視システムの開発 ・油圧ショベルをベースにした林業専用機の開発 ・衝突軽減システム搭載・お知らせ機能付周囲監視装置FVM2+
 ・公道走行する大型建設機械の走行安全技術 ・大型油圧クローラドリルを開発し製品ラインナップを強化 ・緊急ブレーキ装置搭載コンパインド型振動ローラ(搭乗型2.5t/4tクラス)の開発
 ・軽量ブーム搭載の新型高所作業車 ・クローラクレーン「CC1908S-1」新発売
 ・7割軽量のショベル用部品開発、月面移送を想定 ・建設機械の自動化(自動操縦)を実現するAIの開発
 ・締固め機械の歴史

【年間定期購読ご希望の方】

- ①書店でのお申し込みが可能です。お近くの書店へお問い合わせください。
 ②協会本部へのお申し込みは「年間定期購読申込書」に必要事項をご記入のうえFAXをお送りください。

詳しくはHPをご覧ください。

年間定期購読料(12冊) 9,408円(税・送料込)

建設機械施工

第72巻第12号(2020年12月号)(通巻850号)

Vol.72 No.12 December 2020

2020(令和2)年12月20日印刷

2020(令和2)年12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	〒060-0003 札幌市中央区北三条西2-8	電話 (011) 231-4428
東北支	〒980-0014 仙台市青葉区本町 3-4-18	電話 (022) 222-3915
北陸支	〒950-0965 新潟市中央区新光町 6-1	電話 (025) 280-0128
中部支	〒460-0002 名古屋市中区丸の内 3-17-10	電話 (052) 962-2394
関西支	〒540-0012 大阪市中央区谷町 2-7-4	電話 (06) 6941-8845
中国支	〒730-0013 広島市中区八丁堀 12-22	電話 (082) 221-6841
四国支	〒760-0066 高松市福岡町 3-11-22	電話 (087) 821-8074
九州支	〒812-0013 福岡市博多区博多駅東 2-4-30	電話 (092) 436-3322

本誌上への広告は  有限会社 サンタナ アートワークス までお申し込み、お問い合わせ下さい。

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町 2-21-5 井手口ビル 4F TEL: 03-3664-0118 FAX: 03-3664-0138

E-mail: san-mich@zam.att.ne.jp 担当: 田中

“建設機械施工” 既刊目次一覧

2020年1月号(第839号) ~ 2020年12月号(第850号)

2020年1月号(第839号)

表紙写真

4ブームフルオートコンピュータジャンボ

写真提供: 鹿島建設(株)

建設機械 特集

- ◆巻頭言
新年あいさつ 働き方改革を進めるために…田崎 忠行 / 4
- ◆行政情報
建設機械の環境性能に関する一考察…北川 順 / 6
- ◆行政情報
除雪機械の高度化に関する取組…石道 国弘 / 11
- 建設現場の生産性を向上させる次世代型
ブルドーザの開発…富永安生 / 16
- 中型ブルドーザ D6/D6 XE
- モータグレーダのカッティングエッジ摩耗と…上前 健志 / 21
- 掘削抵抗に関する研究 小林 慎太郎
- ミニショベル排土板の自動制御による…中谷 賢一郎 / 26
- 整地作業の生産性向上
- 最新の都市型油圧ショベル SK75SR-7…西本 裕章 / 31
- 55tつりクローラークレーンの開発 SCX550-3…越達 夫 / 35
- ブラストホールドリルの稼働管理システム…五味 敏彦 / 39
- 新たな山岳トンネル施工方法への挑戦
4ブームフルオートコンピュータジャンボの導入…三浦 孝 / 43
- クレーン装置非分解型移動式クレーンの
新技術と安全対策 最大つり上げ荷重 110t…中嶋 光也 / 48
- オールテレーン クレーン KA-1100R
- ICT活用による除雪機械の情報化施工技術開発
除雪トラックの作業ガイダンス装置及び
マシンコントロール化の検討…山田 拓 / 56
- ICT活用による除雪機械の情報化施工技術開発
- ローダの開発史…岡本 直樹 / 61
- ハッ場ダム仮設備計画における ICT 技術の活用
骨材輸送設備計画における 3D レーザースキャナ…藤吉 卓也 / 68
- 活用事例
- 理想的なエネルギー変換機構…村上 誠 / 76
- XY 分離クラック機構 吉澤 稜
- ◆交流のひろば
建設業界への新たな取組み, フリーペーパー
「けんせつ姫」経営者歴 26 年のママ社長が,
建設業に携わる女性たちの輝く姿を取り上げた
フリーペーパー「けんせつ姫」発行へ至る経緯…柴田 久恵 / 83
- ◆ずいそう 記憶…鈴木 隆好 / 88
- ◆JCMA 報告 「令和元年度 建設施工と建設機械
シンポジウム」開催報告—優秀論文賞 2 編・論文賞
3 編・優秀ポスター賞 2 編を表彰—…企画 部 / 89
- ◆JCMA 報告
日本建設機械施工大賞 受賞業績 (その 2) … / 93
- ◆部会報告 北海道新幹線, ニッ森トンネル…機械部会トンネル
(尾根内) 工事現場見学会 報告 機械技術委員会 / 98
- ◆部会報告 機械部会基礎工事
コベルコ建機(株) 大久保事業所 見学会報告…用機械技術委員会 / 101
- ◆新工法紹介…機関誌編集委員会 / 103
- ◆新機種紹介…機関誌編集委員会 / 105
- ◆統計 建設機械産業の現状と今後の予測…機関誌編集委員会 / 108
- ◆統計 建設工事受注額・建設機械受注額の推移…機関誌編集委員会 / 113
- 行事一覧 (2019 年 11 月) … / 114
- 編集後記…(村上・新井) / 118

2020年2月号(第840号)

表紙写真

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

新しい建設材料 特集

- ◆巻頭言
軽さを活かす木質新素材の可能性…佐々木 貴信 / 4
- ◆行政情報
「建設発生土の官民有効利用マッチングシ…古堅 宏和 / 5
- ステム」を活用した建設発生土の有効利用
- ◆行政情報
官庁管轄における木材の利用の促進…平野 裕丈 / 10
- CFRP を用いた鋼構造物の補修・補強技術…大垣 賀津雄 / 15
- CFRP 接着された鋼構造物の応力伝達メカニズム…石川 敏之 / 21
- 高性能床版の研究開発…山口 栄輝 / 26
- 鋳鉄を用いた道路橋床版…飛村 永山 浩 / 26
- 稲 荷 優太郎 / 26
- 高剛性アスファルト舗装による…高橋 茂樹 / 31
- 鋼床版疲労対策の概要 佐々木 亮 太
- 橋梁用高降伏点鋼板 (SBHS) の利用による…高木 優任 / 37
- 鋼橋の施工省力化
- 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…大脇 英司 / 43
- を抑えた, 意匠性に優れた T-razzo の開発 岡本 禮悟 士
- 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 / 48
- 人と環境に優しい仮設資材を土木現場に適用…宮野 文昌 / 53
- KAMIWAZA 宇野 宏輔 / 53
- 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…古西 庄正 / 61
- 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 / 67
- 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…千賀 年浩 / 71
- 「ハイブリッドエポキシ樹脂」の適用事例 山古 田 雅和
- 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 / 77
- ◆交流のひろば
深海における資源開発技術の現状 ~世界初!…笹原 裕太郎 / 83
- 海底熱水鉱床探査・揚鉱パイロット試験~ 五十嵐 吉昭 / 83
- 山 路 法 宏
- ◆ずいそう 海から陸に上がる…川北 義正 / 88
- ◆ずいそう カメラ愛は止まらない…河本 高広 / 91
- ◆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) …機械部会基礎工事
製作・築造工事 見学会報告 用機械技術委員会 / 93
- ◆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 / 95
- ◆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 / 97
- ◆部会報告 機械部会路盤・舗
(湖水資源機構 浦山ダム・日本キャタピラー…装機械技術委員会 / 99
- (同) D-Tech Center 見学会報告
- ◆部会報告 ISO/TC 127 国際作業グループ報告…標準部会 / 102
- ◆新工法紹介…機関誌編集委員会 / 110
- ◆新機種紹介…機関誌編集委員会 / 112
- ◆統計 建設業における労働災害の発生状況…機関誌編集委員会 / 115
- ◆統計 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 / 120
- 行事一覧 (2019 年 12 月) … / 121
- 編集後記…(鈴木・太田) / 124

2020年3月号(第841号)

表紙写真

山岳トンネル工事における「切羽プロジェクトマップ」

写真提供：大成建設㈱

安全、労働災害対策 特集

- ◆巻頭言 働き方改革と建設安全……………蟹澤宏剛 /4
- ◆行政情報
墜落制止器具に係る制度改正と……………毛利正 /5
外国人労働者の安全衛生対策
- レジリエンスエンジニアリングと事故防止……………鳥居塚崇 /10
- 労働災害防止のための ICT 活用データベース……………本山謙治 /15
- ドラッグ・ショベルの斜面降下時における……………堀智仁 /22
進行方向の違いと機体の安定性の関係
- 重機の緊急停止システムと新しい安全の概念……………相田尚 /26
「Safety2.0」……………梶原洋平
協調安全で重機災害ゼロを目指す「WSシステム」……………立花
- 安全性を向上させたタイヤローラの運転支援装置……………鈴木正和 /31
衝突被害軽減アシスト装置の開発
- スマートデバイスを用いたバイタル・行動情報……………児玉耕太 /36
によるヒューマンリソースマネジメント……………橋北太樹
(HRM) への取り組み……………原成
- フルハーネスのかけ忘れに警告……………太田達也 /43
デジタル化技術による現場の見え方、……………服部沙里
高所作業員の労働災害対策を強化
- 作業時の危険発生をヘルメットの振動で……………益子孝 /48
伝える警報アイテム……………
ヘルメット振動警報装置「K・HO-MET……………(ケイホーメット)」
- バーチャルな環境で疑似トレーニングをおこなう……………蛭原巖 /55
新たな MR 技術 (AVR) の開発……………山長真介
- 山岳トンネル工事における……………谷卓也 /61
「切羽プロジェクトマップ」……………
地盤情報を切羽に投影して施工の安全性、……………
効率性を向上
- 安全面に配慮したトンネル切羽不連続面の……………舟橋孝仁 /67
走向・傾斜測定に関する取り組み……………原田法久
- 簡易粉じん測定器のトンネル建設現場での……………掛谷幸士朗 /72
環境測定への適用に関する研究……………林進士久
- 気象情報から起こりやすい労働災害を推測……………秋田宏行 /78
新しい危険予知システムの開発……………早藤健太郎
- 安全リマインドシステム『セーフティリマ……………飛田悠樹 /85
ンダー』を用いた一歩進んだ安全管理……………宇野昌利
- ◆交流のひろば 大事故に繋がる事故を……………藤澤剛 /91
疑似体験 5K 映像でリアルさ追求
- ◆交流のひろば はたらくじどうしゃ博物館……………土田健一郎 /94
- ◆ずいそう 昭和は遠くに、思い出のアルバム……………杉明 /97
- ◆ずいそう 瀬戸内国際芸術祭 2019 秋 訪問記……………平野貢 /101
- ◆JCMA 報告 2020 ふゆトピア・フェア in とまこまい……………企画部 /103
除雪機械展示・実演会開催報告
- ◆部会報告 第23回 機電技術者意見交換会報告……………建設業部会 /111
- ◆新工法紹介……………機関誌編集委員会 /121
- ◆新機種紹介……………機関誌編集委員会 /122
- ◆統計 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 /124
- 行事一覧 (2020年1月)…………… /125
- 編集後記……………(花川・竹田) /128

2020年4月号(第842号)

表紙写真

国内最大規模の陸上風力発電所 風車群

写真提供：鹿島建設㈱

エネルギー 特集

- ◆巻頭言 エネルギー大転換がもたらす未曾有の……………諸富徹 /4
投資機会を活かす……………
～日本の新たな産業発展に向けて～
- ◆行政情報 小水力発電(従属発電)の普及への取組……………白土晶通 /5
- ◆行政情報 下水熱利用推進に向けた取組……………岡内啓悟 /11
都市に眠るエネルギー鉱脈
- ◆行政情報 東日本大震災の教訓に学ぶ……………西尾崇章 /16
防災意識社会への転換に向けて……………松本
- 車両通行が可能な太陽光発電舗装の実証実験……………吉中哲保理 /20
と次世代モビリティとの繋がり……………毅
- 国内最大級陸上風力発電所の建設……………佐藤知則 /26
3.2 MW 級風車 38 基の建設と特別高圧配電……………神谷真彰
設備一括工事……………藤田一太
- 超大型洋上風車の建設に対応できる……………堀白哲郎 /33
自航式 SEP 船……………野矢哲次
枝野佑樹
- 下水を対象とした微生物燃料電池の性能と……………麦田藍 /40
評価……………飯田和輝
吉田奈央子
- 超高層ビル建築工事で工事用電力を……………五十嵐保裕 /46
100%再生エネに
- AI を活用したエネルギー・マネジメント……………井町勝利 /53
サービスへの取り組み……………
- 脱炭素社会実現に向けた ZEB の取り組み……………松本久美 /59
- 水素を活用したまちづくり……………中村慎 /65
脱炭素モデルタウンの実現に向けて……………
- リチウムイオン電池、期待と課題……………村野上誠 /69
野澤俊夫
- 建設機械の電動化小史……………岡本直樹 /73
- ◆交流のひろば 水素社会の実現に向けた取り組み動向……………山口智也 /80
- ◆交流のひろば 産学官民の連携による震災の教訓の伝承……………原田吉信 /84
動き出した「3.11 伝承ロード推進機構」
- ◆ずいそう 70 歳過ぎでの博士号取得……………大川聰 /87
- ◆ずいそう 3 人でつなぐトライアスロン……………佐々木均 /88
- ◆ずいそう 海外勤務とゴルフ……………木全俊雄 /89
- ◆JCMA 報告 令和元年度 日本建設機械施工大賞 受賞業績(その3)…………… /92
- ◆部会報告 ISO/TC 国際作業グループ会議報告……………標準部会 /98
- ◆新機種紹介……………機関誌編集委員会 /115
- ◆統計 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 /118
- 行事一覧 (2020年2月)…………… /119
- 編集後記……………(穴井・上田) /122

2020年5月号(第843号)

表紙写真

3D オイラン車による建築限界干渉チェック

画像提供: 佐藤工業(株)

トンネル 特集

◆グラフィア 第28回 ISO/TC 195 神戸国際会議…………… /4

◆巻頭言
シールド技術における i-Construction ……岩 波 基 /10

◆行政情報
高レベル放射性廃棄物の地層処分……………北 川 義 人 覚 /11
鈴 木 村 哲 大

◆行政情報
ロボット研究開発拠点“福島ロボット……三 枝 芳 行 /17
テストフィールド”
その概要とトンネル点検作業への適用

あらゆる地山に対応した熟練技能を必要と……垣 田 見 康 毅 /22
しない余掘り低減技術を開発 ……垣 田 見 康 毅
差し角自動制御システム〈プラストマスタ®〉 ……松 本 啓 志

山岳トンネル工事の安全性・生産性向上技術…水 谷 和 彦 /28
鋼製支保工建込みロボットの開発

レール移動作業の自動化による生産性・……三 宅 拓 也 行 /34
安全性の向上 ……佐 木 林 秀 雅
急曲線対応型自動レール移動システム ……中 林 雅 昭
『Rail Walker System』の開発

山岳トンネルの切羽地質情報の定量評価技術の開発…谷 口 翔 /39
圧縮強度、風化度、割れ目状態を定量評価

トンネル切羽 AI 評価システムの現場導入 ……鈴 木 亮 汰 宏 /45
宇 都 宮 伊 佐 幸 基 真 幸

トンネル切羽の整形が必要な箇所を……山 本 橋 悟 史 /50
可視化して切羽の安全性向上 ……高 塚 田 純 一
高速 3D スキャナを使用した切羽掘削形状……高 塚 田 純 一
モニタリングシステムの開発と適用

3D オイラン車による建築限界検証 ……佐 藤 等 /56

新綱島駅非開削部の大断面馬蹄形トンネル……篠 原 丈 実 和 /60
駆動部が回収可能な泥濃式角形推進機を ……大 石 友 敦
用いた角形エレメント推進工法

地下水環境を配慮した高水圧下における……安 藤 秀 幸 /69
泥水式岩盤シールド施工

アクティブ制振装置のシールド工事への適用……星 野 智 紀 淳 /74
「ゆれなシールド」によりシールド掘進の ……中 山 本 山 雅 雅
振動を低減 ……杉 村 上 雅 賢

シールド工事の掘進管理を“見える化”する…大 林 信 彦 /79
KaCIM'S を開発・適用

◆交流のひろば
「空飛ぶクルマ」が変える社会 ……谷 本 浩 隆 /84

◆ずいそう 懐かしきかな青函トンネル……小 林 真 一 /87

◆ずいそう ポーツマス……………高 見 勲 /89

◆JCMA 報告
令和元年度 一般社団法人日本建設機械施工…… /91
協会研究開発助成
助成対象とする研究開発の決定のお知らせ

◆部会報告
ISO/TC 195 神戸国際会議 開催報告 ……標 準 部 会 /93

◆新工法紹介……………機関誌編集委員会 /107

◆新機種紹介……………機関誌編集委員会 /108

◆統 計 令和2年度 公共事業関係予算 ……機関誌編集委員会 /109

◆統 計 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 /115

行事一覧 (2020年3月)…………… /116

編集後記……………(京免・瀧本) /118

2020年6月号(第844号)

表紙写真

既設フィルダムの洪水吐き新設による設計洪水流量の増大化

写真提供: (株)大林組

維持管理・長寿命化・リニューアル 特集

◆巻頭言
インフラ維持管理に関わる地域格差の……久 田 真 /4
現状と未来の建設に求められるもの

◆行政情報 国土交通省におけるインフラ……松 岡 禎 典 /6
維持管理に関する取組

◆行政情報
インフラ維持管理への AI・ロボット等 ……川 口 貴 大 /12
新技術の導入に向けた取組

◆行政情報
民間等電子基準点に関する取組み ……檜 山 洋 平 /18

システムズエンジニアリングを用いた……大 川 聰 /23
建設機械の故障解析

線路設備モニタリング装置の本格導入 ……渡 邊 綾 介 /31
ビッグデータを活用した保線業務の変革

早期劣化が発生した橋梁に対する ……鳥 居 和 之 史 /36
メンテナンスマネジメントシステムの構築 ……深 田 幸

インフラモニタリングのための ……能 美 仁 /41
振動可視化レーダーの開発 VirA ……能 美 仁

道路構造物・設備等のインフラ計測・解析・……梅 山 聡 拓 /46
管理支援技術 ……久 嶋 田 雅 文
三菱インフラモニタリングシステム (MMSD®) ……中 田 雅 文

建設機械保全におけるオイル状態監視の ……小 倉 倉 興 太 郎 彬 樹 /52
自動化 建設機械状態監視システムの高度化 ……秋 田 秀 樹

塩害リスクのある RC 構造物に加熱改質 ……齋 藤 隆 弘 浩 /58
フライアッシュを適用 ……皆 佐 貴 之

クライミングクレーンの長寿命化への取組み…伊 佐 良 伸 /63

シートパイル補強工法で液状化の被害から ……佐 名 川 太 亮 幸 /67
基礎構造物を守る ……神 田 太 政

安価にして高速施工を可能にする床版更新 ……村 瀬 諒 介 大 史 /72
工法の開発 ……伊 三 藤 藤 恵
スマート床版更新 (SDR) システム

既設フィルダムの洪水吐き新設による ……太 高 田 親 勲 志 一 /78
設計洪水流量の増大化 ……西 溝 村 口 貴 晃
特殊な条件下での高度技術適用 ……渡 邊 和 隆 久 志 一 /86
浅 井 居 勇 一

3D スキャナを用いた大規模空間の ……越 村 聡 介 也 行 /91
リノベーション施工方法の開発 ……高 森 村 山 拓 康

◆交流のひろば
「みて☆つくって☆体験して！」 ……北 海 道 建 設 部 局 /98
建設産業の魅力を PR ……建 設 政 策 課
建設産業ふれあい展の開催について

◆ずいそう
海外現場 見てびっくり 聞いてびっくり ……林 利 成 /102

◆ずいそう 春の思い出……………山 本 将 登 /104

◆部会報告
ISO/TC 国際作業グループ会議報告 ……標 準 部 会 /106

◆新工法紹介……………機関誌編集委員会 /112

◆統 計 建設工事受注額・建設機械受注額の推移…機関誌編集委員会 /113

行事一覧 (2020年4月)…………… /114

編集後記……………(玉記・中川) /116

2020年7月号(第845号)

表紙写真

タワークレーン遠隔操作システム「TawaRemo」

写真提供：(株)竹中工務店

建設のBIM/CIM, XR, 遠隔操作 特集

- ◆巻頭言 BIM/CIMとXRによる建設の変革に向けて…矢吹信喜 /4
- ◆行政情報 国土交通データプラットフォームの取組…中西健一郎 /5
- ◆行政情報 国土交通省におけるBIM/CIMの普及・促進の取組…榮西巨朗 /11
- テレグジスタンス 新しい働き方と生き方…館 暲 /16
- BIM連携を可能とした建設ロボットプラットフォームの開発と取組…永田幸平 /23
- BIMと繋がる建設ロボットの普及展開を見据えて
- BIM/CIMとICT施工の融合…田島 僚 /27
- ICTをフル活用した大規模盛土管理の効率化・高度化 新東名高速道路川西工事におけるi-Constructionの本格展開…中村洋丈司 /33
- 永藏重 司夫
- 重機稼働をAI識別してCIM上にリアルタイム表示 Digital Twin…山本賢達 /40
- 池上晃司 /48
- 古市平理
- エリアから始める都市デジタルツイン…
- 先進技術を活用した建設現場の労働生産性向上への取組 映像認識AIとデジタルツインを用いた施工改善支援システム…深見 誠 /56
- 無人化施工VR技術の開発 シンクロアスリート®の無人化施工技術への適用…飛鳥馬原成翼 /62
- 北松 林 成 志
- 他業界から得る建築に必要なAR・VR技術の活用事例…竹内 一 生 /67
- MR技術を活用したトンネル維持管理システムにおける作図機能の開発 トンネルMR…若林 宏 彰 /72
- 無人化施工の迅速展開を目的としたHMD映像表示システムの提案…山内元貴 /78
- 山橋 本 毅
- タワークレーンの遠隔操作技術の開発と取組 TawaRemo…柿崎貴文 /82
- 柿郡 山 文 純
- ◆交流のひろば 他業種におけるスマートグラスの活用事例と今後の展望…座安剛史 /88
- ◆ずいそう トライアスロンの魅力…小野孝一 /92
- ◆ずいそう 交換留学生からの宝物…岩崎茂雄 /94
- ◆新工法紹介…機関誌編集委員会 /96
- ◆新機種紹介…機関誌編集委員会 /99
- ◆統計 主要建設資材価格の動向…機関誌編集委員会 /102
- ◆統計 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 /106
- 行事一覧(2020年5月)… /107
- 編集後記…(内藤・岡本) /110

2020年8月号(第846号)

表紙写真

中国・都江堰(世界遺産)

2300年間その機能を持続しているグリーンインフラ

写真提供：中国・都江堰市(中央大学)

河川工事 特集

- ◆巻頭言 近年の豪雨災害の教訓を踏まえた今後の防災・減災対策…池内幸司 /4
- ◆行政情報 令和元年洪水を契機に取り組み「緊急治水対策プロジェクト」流域内の各主体と連携しハード・ソフト一体となった治水対策をプロジェクト化…石田和也 /5
- ◆行政情報 令和元年度のTEC-FORCE活動…立松明憲 /11
- ◆行政情報 河川情報に関する最近の動向…国土交通省 水管理・国土保全局 河川計画課河川情報企画室 /16
- 河川環境課河川保全企画室
- 中国・都江堰と林盤にみるグリーンインフラ 悠久の歴史に学ぶ、持続可能な社会的共通資本整備の原点…石川幹子 /20
- カピリジャンウメル 陳 捷
- 河道掘削後の再堆積や樹林化を抑制するための技術…大坪摩耶 /26
- 大瀬 智 之
- 河川管理のニーズを解決する除草機械技術…砂田千佳 /31
- 砂田 千 佳
- 3次元計測によるポンプ設備の据付状態把握 「高精度3次元レーザスキャナを用いた床版変状計測技術」の活用…荻原勇人 /36
- 荻原 勇 人
- 令和元年東日本台風における栃木県建設業協会の災害時の取組み 道路河川等管理情報システムを使用した地元建設業の組織力…手塚真人 /42
- 手塚 真 人
- 災害復旧工事におけるICT施工の活用 沙流川災害助成工事での築堤盛土施工…坂東紀志 /48
- 坂東 紀 志
- 陸上・水中レーザードローン 革新的河川管理プロジェクトの成果…富井隆春 /53
- 富井 隆 春
- 海底設置型フラップゲート式可動防波堤 岩手県大船渡漁港水門への適用…仲水保京一 /59
- 水佐藤健彦
- 非出水期施工における工程確保の工夫(壊の全面改修) 那賀川(一期)農地防災事業…吉村英也 /65
- 本原 多 利 庸
- 那賀川南岸堰補修建設工事
- 水陸両用建設機械を活用した河川工事事例報告…飯塚尚史 /74
- 小笠原真樹
- 飯馬 塚 尚 史
- 河川改修(榎瀬川水門工事) 老朽化した既設樋門の取壊し新設工事…田中耕平 /80
- 田中 耕 平
- 鉄道向け3次元計測解析サービスの開始 RaiLis(レイリス, Railway LiDAR inspection system)…平松孝晋 /85
- 平土 松 孝 晋
- ◆交流のひろば 信濃川やすらぎ堤かわまちづくり ミズベリング信濃川やすらぎ堤の取り組み紹介…樋熊佑弥 /90
- 樋熊 佑 弥
- ◆ずいそう 「水辺」の眺めを見守り続ける、暗渠マニアのひとりごと…高山英男 /94
- 高山 英 男
- ◆ずいそう 幕末維新の不都合な真実…松嶋憲昭 /96
- 松嶋 憲 昭
- ◆JCMA報告 第9回通常総会(定時社員総会)報告… /99
- ◆JCMA報告 日本建設機械施工大賞 受賞業績… /101
- ◆部会報告 ISO/TC国際作業グループ会議総括報告…標準部会 /103
- ◆統計 建設企業の海外展開…機関誌編集委員会 /115
- ◆統計 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 /119
- 行事一覧(2020年6月)… /120
- 編集後記…(松本・松澤) /122

2020年9月号(第847号)

表紙写真

ICT技術導入により生産性向上に取り組んだ高尾野橋梁

写真提供: 鉄建建設(株)

コンクリート工, コンクリート構造 特集

- ◆巻頭言 作業用ロボットの夢……………綾野克紀 / 4
- ◆行政情報 コンクリートの生産性向上検討協議会の動向 全体最適の導入(コンクリートの規格の標準化等) ……栗原和彦 / 5
- 働き方を変える打継ぎ目処理剤の開発 すぐ撒けて良く見える材料が現場を変える ……御領園悠浩 / 14
- 超強度吹付けコンクリート「T-HPSC®100」を開発 脆弱な地山条件下におけるトンネル支保工の施工を効率化 ……川口哲生 / 20
- RC 栈橋上部工における汎用プレキャスト工法の開発 オールプレキャスト施工の実現 ……池野勝哉 / 27
- ポリウレタ樹脂を用いたコンクリート構造物の機能保持・向上技術 タフネスコート工法 ……久保昌史 / 33
- Fc300 N/mm² クラスの超強度・高性能コンクリートの開発と適用 ……本間大輔 / 40
- パイロット孔が不要な押し切り式ワイヤーソー装置の開発 ……大河原暁彦 / 49
- N式凝結テスターによる打重ね管理の提案 ……齋藤誠智 / 53
- コンクリート工事を見える化するデータプラットフォーム「CONCRETE @ i」を構成する各種要素技術 ……松本修治 / 59
- 山岳トンネルにおける覆工コンクリートの急速打設システムの開発 ひび割れ誘発目地の形成機構を有するセントルを用いた実大施工実験 ……齋藤隆弘 / 65
- 橋梁現場の生産性を向上させる技術開発 ……大野俊平 / 70
- 防潮堤工事の型枠・コンクリートの施工実績 場所打ち擁壁工(堅壁部)の施工におけるCF(Compsite Form Method)工法の採用 ……宇佐美克 / 75
- 覆工コンクリート施工目地部の一体化防止材料の適用効果に関する研究 ……宇野洋志 / 80
- 輝度を利用したコンクリートひび割れ画像測定に関する精度検証 ……野間康隆 / 84
- トンネル壁面画像からのクラック自動検出 ……和村智之 / 89
- ◆交流のひろば 女性専用仮設トイレが気付けてくれたもの フラワートイレプロジェクトから快適トイレへ ……熊本好美 / 94
- ◆ずいそう Kamiokaの地下から探る宇宙 ……池田一得 / 99
- ◆ずいそう 家族の生き様が大切な事を伝えてくれた ……植松努 / 101
- ◆ずいそう 変化 ……齋藤斗志郎 / 103
- ◆部会報告 ISO/TC 82/SC 8/JWG 2020年2月東京国際作業グループ会議報告 ……標準部会 / 105
- ◆新工法紹介 ……機関誌編集委員会 / 111
- ◆新機種紹介 ……機関誌編集委員会 / 114
- ◆統計 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 / 116
- 行事一覧(2020年7月) …… / 117
- 編集後記 ……(副島・赤坂) / 120

2020年10月号(第848号)

表紙写真

災害発生時の復旧作業における二次災害を防止する

小型電動遠隔解体ロボット

写真提供: ハスクバーナ・ゼノア, 前田製作所

大規模災害, 防災, 災害復旧, 復興 特集

- ◆巻頭言 社会インフラの適切な管理と配置計画……………中村光 / 4
- ◆行政情報 電気事業法の改正のポイントや経緯等の解説 第201回通常国会における法律改正によって成立した制度を中心に ……友澤孝規 / 5
- ◆行政情報 今後の港湾におけるハード・ソフト一体となった総合的な防災・減災対策のあり方 ……唐井小川 / 10
- 防災・減災の地山補強土工法 PAN WALL「パンウォール」工法 ……小林怜夏 / 15
- プレキャスト部材による既設堤体の嵩上げ構造の開発 現地短工期, 省スペース, 省力化が可能な「プレキャスト嵩上げ防水壁」 ……由井陸粹 / 20
- オートゲート(無動力自動開閉ゲート) ……小野寺哲男 / 25
- 既設モルタル・コンクリート吹付をはり取らずに老朽化したのり面を再構築 老朽化した吹付のり面補修・補強工法「ニューレスプ工法」 ……近藤保徳 / 30
- インフラ保守・点検・調査を実施する新しい取り組みの提案・実践 ……春田健作 / 36
- 大規模洪水時に既存ダムの最大活用を目指す 統合ダム防災支援システムの開発 ……高橋陽一 / 41
- 鉄道高架橋コンクリートブロック高欄のはく落対策工法 ガレットサンド工法 ……小倉浩則 / 47
- 自然災害に対する安全性指標 GNS (Gross National Safety for natural disasters)の市町村別 GNS (GNS-Ver.2.0)の開発 東日本を一例として ……伊藤和史 / 51
- GNSを用いた東日本大震災前後の東北地方太平洋側3県の自然災害リスクの分析 ……小伊藤山倫 / 57
- 急傾斜地超大型モノレールによる運搬技術 ……内田淳也 / 64
- 災害復旧に際する二次災害の軽減に向けて 電動式バックホーの活用提案 ……渡邊宏範 / 70
- 台風による大規模災害緊急復旧工事における建設機械の活用事例 自然の力に対して機械の力と人の力で打ち勝つ ……中政村誠 / 75
- コンクリート製品搬送据付装置「リフトローラー工法」の紹介 ……阪口裕紀 / 81
- ハイパースペクトルカメラの災害調査への適用 ……小野秀史 / 86
- 薄型パネルを用いたレンガトンネル修繕工と施工機械の開発 T3パネル工法・Tカッター ……大本晋士郎 / 94
- ◆交流のひろば 建設機械における生分解性作動油の動向 ……磯部貞佑 / 100
- ◆ずいそう 続・勝手に松本隆論 ……岩本英司 / 105
- ◆ずいそう 移動と異動 ……石関弘年 / 107
- ◆新工法紹介 ……機関誌編集委員会 / 108
- ◆新機種紹介 ……機関誌編集委員会 / 112
- ◆統計 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 / 116
- 行事一覧(2020年8月) …… / 117
- 編集後記 ……(宮川・宇野) / 120

2020年11月号(第849号)

表紙写真

ニュージーランド ウォータービュー高速道路プロジェクト
 ウォータービューコネクショントンネル北坑口と接続ランプ
 写真提供：(株)大林組

道路 特集

- ◆巻頭言
道路インフラの整備・更新事業の生産性……前川 宏一 /4
向上に思うこと
- ◆行政情報
道路分野における新技術導入促進の取組……国土交通省道路局国道・技術課技術企画室 /5
- ◆行政情報
道路維持管理の高度化・効率化に向けた取り組み 国道(国管理)の維持管理のあり方についての中間とりまとめを公表
岸 本 達 彦 /11
- 移動式防護柵「ロードジッパーシステム」……澤田石 貞 彦 /18
- ウォータービュー高速道路プロジェクト……佐藤 誠 治 /24
- 円形セグメントとバイブルーフを用いた非開削トンネル工事の高速化・省人化 スーパーリングK-UP工法の開発……増田 昌 弘 /30
- 山岳トンネル工事におけるホイールローダ遠隔操作システム トンネル切羽近傍の掘削ずり運搬作業を無人化……山下 雅之 信 /36
吉塚 田 純 一
- プレストレスジョイントを用いた道路橋床版更新技術の開発……岡本 信也 晃 /40
伊小 林 顕 頭
- 高速道路舗装の長寿命化に向けた高耐久路盤用混合物の開発と施工事例……菅野 勝一 樹 /47
高白 橋 茂 悠
- みちびきの位置情報を付与した水糸下がり検測デジタル化技術の開発……其相 直 樹 /52
田 生 尚 行
- アスファルト舗装の品質と安全性の向上を目指した取り組み アスファルト舗装温度管理システム……小池 祐毅 一郎 /57
山 清 一 輝
- 2020年中国の舗装紹介……渡 邊 哲 也 /62
- 生産性と安全性の向上を目指した締固め機械の特徴紹介……後 藤 春 樹 /66
- ◆ずいそう 朱鷺の野生復帰に思う……後 藤 文 夫 /70
- ◆JCMA 報告 令和2年度日本建設機械施工大賞 受賞業績(その2)…… /71
- ◆CMI 報告 道路橋床版防水層の健全性評価システムの開発……榎 園 正 義 /89
橋 本 雅 行
- ◆新工法紹介……機関誌編集委員会 /94
- ◆新機種紹介……機関誌編集委員会 /97
- ◆統計 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 /104
- 行事一覧(2020年9月)…… /105
- 編集後記……(石倉・斉藤) /108

2020年12月号(第850号)

表紙写真

建設用3Dプリンタを用いたPC構造体
 写真提供：大成建設

先端土木・建設技術の開発と実用化 特集

- ◆巻頭言
最先端の土木技術・建設技術への期待……永 谷 圭 司 /4
- ◆行政情報
国土交通省におけるICT施工の導入状況……宮 本 雄 一 /5
- 深層学習およびアンサンブル学習を用いた切羽評価システム……長谷川 裕 員 /12
谷 村 浩 輔
- 建設機械のEMC試験に対応可能な大型電波暗室建設：新欧州EMC試験要求(EN ISO 13766)が開始……下 地 浩 信 /18
- 転圧プロセスの自動化により一貫した締固め作業を実現する半自動振動ローラ締固めシステムの開発……田 中 誠 /24
- 5G高速通信システムによる建設機械遠隔操作技術 建設機械遠隔操作技術の一般工事利用に向けた取り組み……堀 尾 訓 之 人 /28
藏 多 正 邦
岡 古 本 屋 宏 弘
- 吹付砕工省力化技術の開発 ラクデショット……川 本 卓 人 /34
森 田 晃 大
窪 塚 司 輔
- 長時間飛行可能な有線給電ドローンを開発 無人化施工現場で建設機械との連携を実証……千 葉 拓 史 /40
- コンクリート構造物を「現場で直接プリント造形」 On-Site Shot Printer の開発……羽 生 賢 一 和 /45
八木 橋 宏 薫
永 橋 沢 薫
- 建設用3Dプリンタを用いたPC構造体の設計施工デモ実証と今後の展望 生産性向上と新たな構造の実現を目指して……木ノ村 幸 士 /52
- 自律走行式床面ひび割れ検査ロボットの開発 一ロボットによる自動検査の導入効果……羽根田 健 /57
- 人と重機の接触災害リスク低減システムの開発 ICTで人と重機の協調安全を実現……奥 田 悠 太 /61
- 生産性向上、ワークライフバランスに寄与する建設ロボット開発の最新状況と今後の課題……中 川 啓 太 郎 /66
- 山岳トンネルのロックボルト打設自動化を実現……山 口 洋 平 /71
松 本 上 啓 志
三 上 英 明
- ◆交流のひろば
スパコン世界ランキング四冠「富岳」への期待……辛 木 哲 夫 /74
- ◆ずいそう 難し、コロナ……永 井 修 /80
- ◆ずいそう コンクリートカッター業の誕生……仲 山 寛 治 /82
- ◆CMI 報告 建設機械の騒音低減に資する新技術の評価 テーマ設定型NETIS技術の現場実証……齋 藤 聡 輔 /84
齋 藤 渉 渉
- ◆新工法紹介……機関誌編集委員会 /88
- ◆新機種紹介……機関誌編集委員会 /91
- ◆統計 令和2年度(2020年度)建設投資見通し……機関誌編集委員会 /94
- ◆統計 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 /99
- 行事一覧(2020年10月)…… /100
- 編集後記……(山本・飯田) /104

FA機器の 最適無線化提案

クレーン、搬送台車、建設機械、特殊車両他
産業機械用無線操縦装置

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!



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



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サテライト

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!**



マイティサテライト

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/



無線工事のことならフルライン、フルオーダー体制の弊社に今すぐご相談下さい。また、ホームページでも詳しく紹介していますのでご覧下さい。

朝日音響 検索

VOLVO アスファルトフィニッシャー

VOLVO アスファルトフィニッシャーは、

- ・ベスト舗装
- ・力強さと正確さ
- ・究極な運動性能
- ・優れた視界性
- ・メンテナンスをより短時間に且つ、より短時間にこれらをお約束します。



クローラフィニッシャー

クローラ機の主な特徴

- ・電子制御式ドライブコントロール (EPM 2)
- ・回転式コントロールパネル
- ・クローラオートテンション
- ・スクリードテンショニングデバイス
- ・スクリードロードデバイス
- ・ダブルタンパースクリード取付可能 (VDT-V タイプスクリード)

ホイール機の主な特徴

- ・電子制御式ドライブコントロール (EPM 2)
- ・レールスライド式コンソール
- ・前輪油圧式ライドレベラー付ステアリング
- ・前輪駆動負荷トルク制御
- ・スクリードテンショニング装置



ホイールフィニッシャー

マシンケアテック 株式会社

〒361 - 0056 埼玉県行田市持田 1 - 6 - 23
TEL 048 - 555 - 2881 FAX 048 - 555 - 2884
<http://www.machinecaretech.co.jp/>

VOLVOCONSTRUCTIONEQUIPMENT



GOMACO

Gomaco社の舗装機器は、どんなスリップフォーム工法にも対応します。



Commander III

最も汎用性の高い機種です。一般道路舗装のほか、路盤工事、河川工事、分離帯・縁石などの構造物構築に最適です。



RTP-500

長ブームの砕石・コンクリート搬入機です。このほかにも、ロック・ホッパーなどへの舗装支援機器として、どんなスリップフォーム機械にも対応可能です。



マシンケアテック株式会社

〒361-0056 埼玉県行田市持田1-6-23
TEL:048-555-2881 FAX:048-555-2884
URL: <http://www.machinecaretech.co.jp/>

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

ダム工専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。



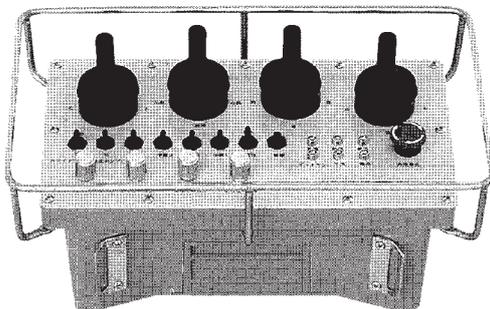
吉永機械株式会社

〒130-0021 東京都墨田区緑4-4-3 TEL. 03-3634-5651
URL <http://www.yoshinaga.co.jp>

建設機械用
無線操作装置

ダイワテレコン

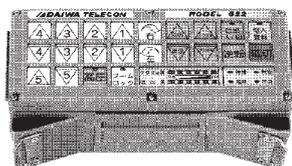
あらゆる仕様に対応
指令機操作面はレイアウトフリー



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)又は油圧バルブ用出力仕様も可能。
- 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 〒479-0002 愛知県常滑市久米字西仲根 227 番
TEL 0569-84-8582(直通) FAX 0569-84-8857
ホームページ <http://www.daiwakiko.co.jp/>
e-mail mgclub@daiwakiko.co.jp
営業所 東京、大阪、他

精密さとパワーで建設の現場を支える。

発電機・溶接機・コンプレッサは抜群の性能を誇るデンヨー製品で!



発電機

図書館内並の低騒音を実現!
静音発電機マーリエ



50Hz-7m
43dB

DCA-25MZ

溶接機

最大溶接電流500A&インバータ制御
炭酸ガスエンジン溶接機



溶接電流 500A
(炭酸ガス/カタンク/手溶接)

交流電源
三相 25 kVA

DCW-500LSE

コンプレッサ

アフタクーラ/アフタウォーマ内蔵
電子制御で低燃費&低騒音



DIS-670LS-D

●技術で明日を築く
デンヨー株式会社
本社：〒103-8566 東京都中央区日本橋堀留町2-8-5
TEL:03(6861)1122 FAX:03(6861)1182
ホームページ：http://www.denyo.co.jp/

札幌営業所 011(862)1221 東京支店 03(6861)1122 大阪支店 06(6448)7131
東北営業所第1課 019(647)4611 横浜営業所 045(774)0321 広島営業所 082(278)3350
東北営業所第2課 022(254)7311 静岡営業所 054(261)3259 高松営業所 087(874)3301
信越営業所 025(268)0791 名古屋営業所 052(856)7222 九州営業所 092(935)0700
北関東営業所 027(360)4570 金沢営業所 076(269)1231

マルマテクニカのホリゾンタルグラインダー



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

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

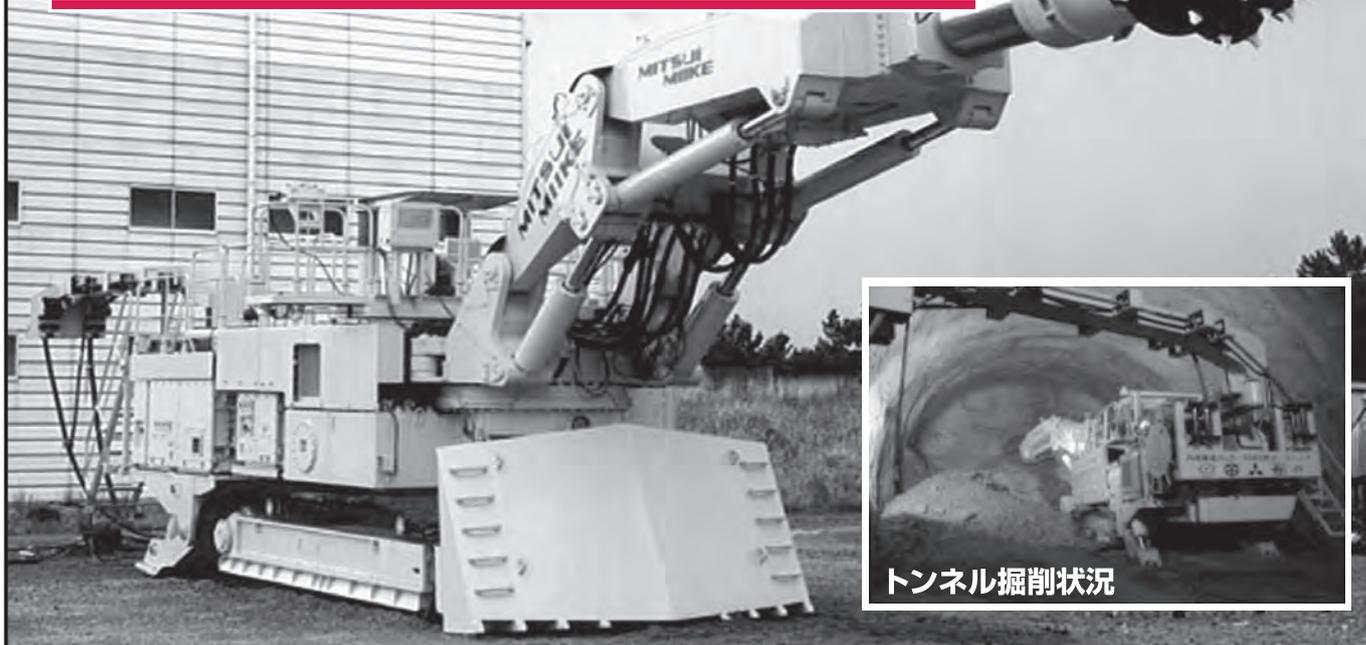
三笠産業株式会社
 MIKASA SANGYO CO., LTD. TOKYO, JAPAN

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 | 北関東営業所 TEL:0276-74-6452 | 中国営業所 TEL:082-875-8561 | 沖縄出張所 TEL:080-1013-9328 |
| 札幌営業所 TEL:011-892-6920 | 長野出張所 TEL:080-1013-9542 | 四国出張所 TEL:087-868-5111 | |
| 仙台営業所 TEL:022-238-1521 | 中部営業所 TEL:052-504-3434 | 九州営業所 TEL:092-431-5523 | |
| 新潟出張所 TEL:090-4066-0661 | 金沢出張所 TEL:080-1013-9538 | 南九州出張所 TEL:080-1013-9558 | |

全断面对应トンネル高速施工掘進機

ロードヘッドSLB-350S



大断面トンネルの高速施工を目指して

特 徴

- 国内最大の350/350kW定出力型2速切換式電動機を搭載しており、軟岩トンネルはもとより、中硬岩トンネルにおいても十分な掘削能力を発揮します。
- 切削部には中折れブームを採用しており、ベンチ長は最大5mまで確保できます。又、中折れブームを取り外しての全断面掘削、及び上半掘削も可能です。
- 中折れブームの取り外し、及び低速掘削を行うことにより、機体安定性と掘削トルクが増加し、中硬岩トンネル掘削時において高い効果を発揮します。(硬岩用ドラム使用)
- 油圧式のスライドデッキを機体両サイドに装備しており、機体幅より各々1mの張り出しが可能であるため、下部掘削時等におけるオペレータの視界が大幅に改善されます。
- ディーゼルエンジンの搭載により、ロードヘッド単独での走行が可能です。^{※1,2}

よって、機体移動に際し配線替えや別途発電機の準備が不要となり、作業時間が短縮されます。

※1 ディーゼルエンジンはオプション仕様となります。

※2 揺寄・コンペヤ仕様の場合、ディーゼルエンジンは搭載されません。



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

A WIRTGEN GROUP COMPANY

 **WIRTGEN**



信頼のインテリジェンス

▶ www.wirtgen.com/milling

ヴィルトゲン新型路面切削機はデジタル化された切削システムで作業を効率化し、生産性を向上します。切削品質も最適化され、必要に応じて書面レポートを自動作成するオプションも実現します。経験豊富なユーザー様の情熱に傾聴し、効率的にデザインに取り入れて更なる革新を共に目指します。

ヴィルトゲン・ジャパン株式会社
東京都千代田区神田神保町2-20-6 • tel 03-5276-5201 • fax 03-5276-5202 • www.wirtgen-group.com/japan

雑誌 03435-12



4910034351206
00800

「建設機械施工」

定価 本体八〇〇円 (税別)