

一般社団法人
日本建設機械施工協会誌 (Journal of JCMA)

2023

建設機械施工 **11**

Vol.75 No.11 November 2023 (通巻885号)

特集 港湾・海洋・海岸施設



火力発電所における海洋土木構造物の大規模プレキャスト化施工

巻頭言

これからの建設機械の新造・改造に向けて

特集技術報文

- 新潟港海岸（西海岸地区）大規模侵食対策事業
- 長崎港における人流・交流を核とした賑わい創出
- 浚渫工事の水中可視化システム
- 工場製作部材を用いたユニット式プレキャスト栈橋工法の開発
- 1,250 t 吊自己昇降式作業台船「柏鶴」
- 高性能水中位置管理機能搭載ブロック据付支援システム 他

行政情報

- 港湾におけるI-Construction, インフラ分野のDX 推進に向けた取組
- コンクリート製浮体式洋上風力発電施設的设计施工ガイドラインの概要

交流のひろば

- 海の地図PROJECT

まいそら

- レーザークラフトと私
- ワンコのいる人生

一般社団法人 日本建設機械施工協会

杭打工事用

パイルキーパー

海上・河川等での杭打ち作業用、
パイル保持装置

石狩湾新港洋上風力発電事業工事向け
パイルキーパー

仕様

杭径.....最大 φ2500mm
 杭重量.....最大 90ton
 開閉.....油圧駆動
 前後スライド範囲.....±900mm 油圧駆動
 左右スライド範囲.....±1000mm 油圧駆動

実績多数

海上工事、陸上工事、岸壁護岸工事、海上空港、
ダム湖再生工事、導枠治具、リーダー付



洋上風力発電ジャケット基礎杭工事



吉永機械株式会社

〒130-0021 東京都墨田区緑4-4-3 吉永ビル TEL:03-3634-5651
URL : www.yoshinaga.co.jp

建設機械用
無線操作装置

ダイワテレコン



ICT施工や自動制御に対応可能

ダイワテレコン872

- 最大72点の操作点数を持ち、比例制御にも対応いたします。
- 指令機操作パネルはレイアウトフリーで用途に合わせた実装部品が選択可能。
- 特定省電力無線429MHz帯域および1200MHz帯域選択可能。
- 外部接続用ポート(オプション仕様)より、LAN通信制御が可能。

取付改造実績

油圧ショベル, ブルドーザ, 振動ローラ
クローラダンプ, 鑿岩機, その他特殊専用機など

無線遠隔装置だけでは終わらない
弊社では制作から取付改造工事までを完全サポート
大型機対応屋内工場完備(100tクラスまで対応)



ハンディータイプ
使いやすさを極めた高機能・高性能
ダイワテレコン810

用途
インバータ制御機器
エンジン制御
油空圧比例制御

DAIWA TELECON 大和機工株式会社

常滑工場 〒479-0002 愛知県常滑市久米字西仲根227番
TEL : 0569-84-8582 (直通) FAX : 0569-84-8857
ホームページ <http://www.daiwakiko.co.jp/>
e-mail mekatoro@daiwakiko.co.jp

◆ 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.jcmnet.or.jp/privacy/> をご覧ください。

論文投稿のご案内

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

当協会ホームページ <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

令和6年度 日本建設機械施工大賞の公募について

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

令和6年度の表彰につきましても、下記により受賞候補者を公募いたしますので、内容検討の上、奮ってご応募いただきますよう、ご案内いたします。

1. 表彰の目的

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

2. 表彰対象

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

3. 表彰の種類

表彰は、大賞部門と地域賞部門の各部門とも**最優秀賞、優秀賞**とします。

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

受賞者には、賞状及び副賞として、1件につき次の賞金を授与します。

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

4. 表彰式

本協会第13回通常総会（令和6年6月予定）終了後に行います。

5. 応募

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

また、大賞部門と地域賞部門の両方へ応募することもできますが、同一内容の業績では、両部門へ重複して応募することはできません。応募の締切は、**令和6年2月29日（木）（必着）**です。

6. 選考

本協会が設置した「**日本建設機械施工大賞選考委員会**」で選考いたします。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**」及び本協会のHP（ホームページ）に掲載いたします。

以上

令和5年度 建設施工と建設機械シンポジウム開催のご案内

- ◇会 期：令和5年11月29日(水)～11月30日(木) (2日間)
- ◇会 場：機械振興会館 研修-1、2号室、B3-2会議室、B2ホール
(東京都港区芝公園3-5-8)
※ 会場に参加できない方はZOOMでの参加が可能です。
- ◇主 催：一般社団法人 日本建設機械施工協会
- ◇後 援：国土交通省、経済産業省、(国研)土木研究所(予定、順不同)
- ◇趣 旨：本協会では、昭和50年より建設機械と施工法に関する技術の向上を図ることを目的に、日頃の研究・開発の成果を発表する「建設施工と建設機械シンポジウム」を開催して参りました。協会といたしましては、建設施工と建設機械分野の産学官の専門家相互の情報交換と技術力の研鑽の場を提供できればと願っておりますので、ご多忙中とは存じますが、是非ご参加いただきますようご案内申し上げます。

◇内 容

- 特別講演：11月29日(水) 於：B2ホール
テーマ：「高校からの建設ICT教育～広島県府中東高校の事例から～(仮題)」
講師：川森 雅仁 氏(慶応義塾大学大学院 政策メディア研究科 特任教授)
- パネルディスカッション：11月30日(水) 於：B2ホール
テーマ：デジタル技術を活用した建設現場の生産性向上・カイゼンの方向性
コーディネーター：建山 和由 氏(立命館大学 総合科学技術研究機構 教授)
- 発 表：論文 42編
ポスターセッション 15編

◇参加費：無料(ただし、事前登録が必須です。)

◇参加申込：協会ホームページからWEB申込みをお願いします。

- ※1 会場参加者には、論文集・梗概集を配布します。また、ZOOM参加者のために事前に論文集・梗概集を専用HPIに掲載します。
- ※2 「建設系継続教育(CPDS)プログラム認定」の申請を予定しております。証明書の発行は会場参加者限定とします。なお、証明書は、CPDS技術者証、運転免許証など(顔写真付き)で本人確認をして渡しますので、当日持参して下さい。

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

第1日目プログラム <11月 29日(水)>

研修-1号室 (地下3階) 収容人員120名		研修-2号室 (地下3階) 収容人員120名		B3-2会議室 (地下3階)	
9:50	開会式				ポスターセッション
10:00	【品質確保・生産技術・生産性向上(2)】 座長： 山口 崇 9. 水中捨石マウンド締固め精度及び生産性向上に向けた取り組み ○森雅宏、酒井優希(五洋建設(株))	10:00	【建設改革(1)、品質・生産技術・生産性向上(11)】 座長： 行川 恒弘 40. 山岳トンネルにおけるドリルジャンボの遠隔操作システムの開発 ○細藤善幸(西松建設(株))、塚田純一(ジオマシエンジニアリング(株))、嶋島秀一(古河ロッドリル(株))	10:00	1. 建機用傾斜警報器「Tilt Alert」 ○濱田佑介(株)ハマダテクノス、小林憲文(日立建機(株))
10:20	8. バックホウ浚渫工事の水中可視化システムの開発 ○新開貴行(鹿島建設(株))、杉山修武(サイテックジャパン(株))、橋田隆史(株)ハイドロシステム開発	10:20	41. NETIS作業簡略化の検討～チャットボットの利用について～ ○櫻木翔平(国土交通省施工企画室)		2. 段差対向噴射式高圧噴射攪拌工法の生産性向上への取り組み ○島野嵐、山口洋(三信建設工業(株))、星宏明(株)トーマック
10:40	7. 濁水処理設備における自動管理システムの開発 ○辻岡高志、山本悟、井上洗也(西松建設(株))	10:40	42. 業種・労働内容に依存した生体情報に基づく労働ストレスの基礎検討 ○丹羽誠(立命館大学)、児玉耕太(名古屋立大学)		3. 2023年度上期のICT活用工事件数動向 ○片岡優介(ベーンシクインフオメーションセンター(株))
11:00	休憩(10分)				
11:10	【建設ロボット(1)】 座長： 本田 肇 37. 熟練オペレータに代わる「自動運転ローラ」の開発、現場適用 ○伊藤圭祐、中渡瀬圭吾(鹿島道路(株))、松本俊彦(鹿島建設(株))	11:10	【維持・管理・補修(3)】 座長： 西脇 徹郎 1. 災害復旧時の無人化施工の可否判断のための必要情報と判断者の役割に関する研究 ○茂木正晴((国研)土木研究所)		4. 道路用維持機械のアタッチメントの開発について ○武藤美代、原田毅(国土交通省九州技術事務所)
11:30	38. 全自動鋼製支保工建込みシステム ○五味春香、水谷和彦、小笠原裕介(前田建設工業(株))	11:30	2. 無電柱化に向けたトレンチャーを活用した掘削試験について ○永長哲也、中島淳一((国研)土木研究所寒地土木研究所)		5. 玉掛け不要!! 災害復旧用小型移動式クレーン SIKIAIR ○竹内豊(日立建機日本(株))
11:50	39. 自動建設ロボット開発のためのオープンソース型物理シミュレータの研究 ○遠藤大輔、松坂要佐、山内元貴((国研)土木研究所)	11:50	3. 除雪作業のレジリエンス能力向上と働き方改善 ○Jevica(株)建設IoT研究所、湯浅勝典(株)堀口組、須田清隆(株)環境風土テクノ		6. 山岳トンネルにおける防水シートの自動着工技術の開発 ○森藤彬、北村圭佑、佐藤彦彦(五洋建設(株))
12:10	星 休 息 (60分)				7. ICT除雪機械の開発 ○福島徹、前原正之、姫野利宗(国土交通省北陸技術事務所)
13:10	【特別講演】(60分) B2ホール 講 師：川森 雅仁氏(慶応義塾大学大学院 政策メディア研究科 特任教授) 講演題目：「高校からの建設ICT教育 ～広島県府中東高校の事例から～(仮題)」				8. 作業所CO2排出量モニタリングシステム ○出口明(株)竹中工務店、川上雅也(ユアサ商事(株))、片山賢(株)ゼロボード
14:10	休憩(30分)				9. 小型施工機による地盤改良自動計測システム GeoPilot®-AutoPileの適用範囲の拡大 ○伊藤竹史、廣畑憲史、今給黎健一(株)不動テトラ
14:40	【品質確保・生産技術・生産性向上(1)】 座長： 小澤 直樹 4. 3Dカメラ活用によるブルーフローリング試験のデジタル化について ○立花洋平、駒坂翼(株)NIPPO、鈴木章仁(株)ザクティ	14:40	【維持・管理・補修(3)、品質確保・生産技術・生産性向上(10)】 座長： 森田 将史 34. 排水機ポンプ設備におけるAIによる状態監視診断について ○平地一典、上野仁士((国研)土木研究所)、八木悟(株)ニュージェック		10. 「除雪車オペレータ支援システム」の構想概要について ○山田充、木村崇、山崎貴志((国研)土木研究所寒地土木研究所)
15:00	5. LIDARによる3D計測およびプロジェクションマッピングの開発～山岳トンネルにおけるインパット掘削・コンクリート打設への適用～ ○坂谷幸貴、橋伸一(株)大本組、家村亮明(株)計測リサーチコンサルティング	15:00	35. マスプロダクツ型排水ポンプの現場実証と新たな研究開発について ○永井亮佑、林明幸(国土交通省施工企画室)		11. 建設現場DX対応無線ネットワーク構築シミュレーション ○野瀬健一(西尾レントオール(株))
15:20	6. 油圧ショベルの車体センサデータを用いた掘削土の土質判別 ○森澤直樹、今西将也(株)小松製作所、橋本毅((国研)土木研究所)	15:20	36. 転圧施工履歴データを活用した土量管理システムの開発 ○黒田卓也(西松建設(株))、本木章平(戸田建設(株))、高尾篤志(株)奥村組		12. トンネル切羽への立入作業をゼロにする「自動装薬システム」の開発 ○小笠原裕介(前田建設工業(株))
15:40	休憩(10分)				13. 山岳トンネル用自動ズリ積込機の開発～トンネルズリだし作業の省力化と安全性向上を実証～ ○石井翔太、浅沼廉樹(株)フジタ、山田照之(株)三井三池製作所
15:50	【品質確保・生産技術・生産性向上(6)、維持・管理・補修(2)】 座長： 矢野 公久 19. 超高層建物における吊取り解体工法の開発 ○藤原健弥、石田武志、中村隆寛(鹿島建設(株))	15:50	【安全対策、事故防止】 座長： 丹治 雅人 31. クレーンワイヤー全周囲外観検査システムの開発 ○三浦拓也、宮川克己(株)熊谷組、松崎伸吾(株)パシフィックシステム		14. 重機搭載用レーザー計測システムトンネル版(重機LS)の開発 ○石井翔太、浅沼廉樹(株)フジタ、浮田真樹(ライカジオシステムズ(株))
16:10	20. 都心部での多軸台車による鋼製桁の送出し架設～交通量の多い道路横断部での生産性向上の取り組み～ ○早房昭人(鹿島建設(株))	16:10	32. クレーン敷板への偏心装置と降伏強度の関係に関する基礎的検討 ○堀智仁、玉手聡、田中直斗(独)労働者健康安全機構、田中直斗(株)タダノ		15. 内径100mm以下のパイプラインを調査するロボットの開発 ○庄野和隆(株)カナモト、中妻啓(株)CAST、梅田清(株)ソラリス
16:30	21. 鋼合成RC床版撤去における実物大供試体を用いた新技術の有効性の検討 ○石川穂乃花、重松尚久(呉高専)、下野聖也(極東興和(株))	16:30	33. 少子高齢社会、担い手不足等を背景とするヒューマンエラーの防止に関する一考察～機械設備を事例に～ ○渡邊賢一(国土交通省施工企画室)		
16:50		16:50			
17:00	懇親会 B3 於：御食事処 わかまつ				

※ プログラムは変更となる場合がありますので予めご了承下さい。
※ ■は、Zoomによる発表

第2日目プログラム <11月30日(木)>

研修-1号室 (地下3階) 収容人員120名		研修-2号室 (地下3階) 収容人員120名		B3-2会議室 (地下3階)	
				ポスターセッション	
10:00	【品質確保・生産技術・生産性向上(3)】 座長：伊藤 文夫 10. 造成工事を対象としたDX-ダンプトラックの運土情報記載システムの構築 ○前崎貴博、横島喬、宮下裕貴(清水建設(株))	10:00	【品質確保・生産技術・生産性向上(8)、ロボット(2)、建設改革(3)】 座長：玉石 修介 25. 段差対向噴射式高圧噴射攪拌工法の生産性向上への取り組み ○島野嵐、山口洋(三信建設工業(株))、星安明((株)トーマック)	10:00	ポスターセッション発表表 初日(11月29日)と同様
10:20	11. 地上型レーザースキャナの器械点設置位置検討のための3次元モデルを用いたシミュレータの開発 ○早川直樹、池田誠、杉谷康弘(国土交通省国土技術政策総合研究所)	10:20	26. ニューマチックケーソン工法における施工管理システムの開発 ○根岸直人、岩崎晃久(オリエンタル白石(株))、片岡知泰((株)DeepX)		
10:40	12. 土木現場におけるレーザースキャナの活用性を高める代替ターゲットの検討 ○池田誠、杉谷康弘、早川直樹(国土交通省国土技術政策総合研究所)	10:40	27. 圧入工法における載荷試験の効率的実施方法に関する研究 ○石原行博、江口正史、森敦((株)技研製作所)		
11:00	休憩 (10分)				
11:10	【環境調査・保全、品質確保・生産技術・生産性向上(9)】 座長：畑田 健 28. 水素内燃機関活用による重量車等脱炭素化実証事業 水素専焼エンジン・油圧ショベル及び水素供給事業実証プロジェクト ○山浦卓也、須山友貴((株)フラットフィールド)	11:10	【品質確保・生産技術・生産性向上(4)】 座長：中川 智裕 13. シールドトンネルCIM管理システムの開発及び適用事例 ○原久純、田中勉、長沢勇樹(西松建設(株))		
11:30	29. 「燃費基準達成建設機械認定制度」における新たな燃費基準値の策定とCNに向けた今後の取組について ○秋本雄希、中根亨、戸羽義幸(国土交通省施工企画室)	11:30	14. 遠隔現場における通信環境可視化アプリケーションの検証 ○新井智之、平野勝識((株)フジタ)、田代善久((株)キッズウェイ)		
11:50	30. コンクリート打設の自動管理におけるエッジAIシステムの利用 ○福原大祐、善本哲夫、横山隆明(立命館大学)	11:50	15. 建設機械施工の自動化・遠隔化技術の開発及び普及促進に向けて ○日出山慎人、吉田真人(国土交通省施工企画室)		
12:10	昼 休 息 (60分)				
13:10	【品質確保・生産技術・生産性向上(7)、建設改革(2)】 座長：山本 茂太 22. 近畿インフラDX推進センターでの官民人材育成の取組 ○菊池弘(国土交通省近畿技術事務所)	13:10	【品質確保・生産技術・生産性向上(6)、維持・管理・補修(1)】 座長：桑田 直人 16. 除雪グレーダのブレード自動化に向けた操作支援システムの開発 ○田中孝之、今野孝親、川上穰久(国土交通省東北技術事務所)		
13:30	23. 中小建設業へのICT普及促進の取組 ○戸羽義幸(国土交通省施工企画室)	13:30	17. 除雪機械作業装置の自動化に関する現状と今後の展望について ○遠藤天生、柿崎俊裕(国土交通省施工企画室)		
13:50	24. インフラ分野のDXに活用できる優れた民間技術の発掘～インフラDXコンペの開催～ ○山東論司(国土交通省近畿技術事務所)	13:50	18. 振動加速度レベルによる除雪トラックフレームの負荷傾向把握について ○植野英睦、山田充((国研)土木研究所寒地土木研究所)		
14:10	休憩 (30分)				
14:40	【パネルディスカッション】(100分) B2ホール テーマ：デジタル技術を活用した建設現場の生産性向上・カイゼンの方向性 コーディネーター：建山 和由 氏(立命館大学 総合科学技術研究機構 教授) パネリスト：未定				
16:20	休憩(10分)				
16:30	表彰式：論文賞、優秀発表賞(ポスター部門)、および閉会式 (20分) B2ホール				
16:50					

※ プログラムは変更となる場合がありますので予めご了承下さい。
 ※■は、Zoomによる発表

令和5年度 第1回 一般社団法人日本建設機械施工協会 人材育成助成事業の募集の告知

一般社団法人日本建設機械施工協会は、定款に基づきこれまで研究開発・調査研究に助成を行って参りました。

今般、喫緊の課題となっている担い手育成に重点を置き、建設機械及び建設施工に関する学校教育の優れた取組に対して助成を実施することとしました。第1回人材育成助成事業象者を下記のとおり公募しています。

1. 実施スケジュール

- (1) 公募期限は、令和5年12月22日(予定)まで
- (2) 助成対象者の決定は、令和6年3月中旬頃(予定)
- (3) 助成期間は、助成決定年度の年度末から令和7年3月31日まで

2. 人材育成助成事業の対象及び対象者

学校教育の取組として、高校・高等専門学校・大学及びこれらと連携する法人が実施する、「建設機械又は建設施工に関する技術者等の人材育成を行うもの」であって、優れた取組と判断されるものを助成の対象とします。

- ① 建設施工の合理化・生産性向上
- ② 社会資本の維持管理・保全技術の合理化・向上

3. 人材育成助成事業の金額及び期間等

- ① 金額：1件当たり50万円以内
- ② 期間：1年間（令和6年3月末から令和7年3月末）
- ③ 助成件数は、5件以内を予定しております

4. 応募

公募の詳細は、本協会HPをご覧ください。

(一社) 日本建設機械施工協会 発行図書一覧表 (令和5年11月現在)

消費税 10%

No.	発行年月	図 書 名	一般価格 (税込)	会員価格 (税込)	本部 送料
1	R5年10月	道路除雪施工の手引 (第17版)	4,950	3,960	770
2	R5年5月	橋梁架設工事の積算 令和5年度版	12,100	10,285	990
3	R5年5月	令和5年度版 建設機械等損料表	9,680	8,228	770
4	R4年5月	大口径岩盤削孔工法の積算 令和4年度版	6,600	5,610	770
5	R4年5月	よくわかる建設機械と損料 2022	6,600	5,610	770
6	R4年3月	日本建設機械要覧 2022年版	53,900	45,100	990
7	R3年1月	情報化施工の基礎 ~i-Constructionの普及に向けて~	2,200	1,870	770
8	H30年8月	消融雪設備点検・整備ハンドブック	13,200	11,000	770
9	H29年4月	ICTを活用した建設技術 (情報化施工)	1,320	1,122	770
10	H26年3月	情報化施工デジタルガイドブック【DVD版】	2,200	1,980	770
11	H25年6月	機械除草安全作業の手引き	990	880	770
12	H23年4月	建設機械施工ハンドブック (改訂4版)	6,600	5,610	770
13	H22年9月	アスファルトフィニッシャの変遷	3,300	2,970	770
14	H22年9月	アスファルトフィニッシャの変遷【CD】	3,300	2,970	770
15	H22年7月	情報化施工の実務	2,200	1,870	770
16	H21年11月	情報化施工ガイドブック 2009	2,420	2,178	770
17	H20年6月	写真でたどる建設機械 200年	3,080	2,618	770
18	H19年12月	除雪機械技術ハンドブック	3,300	2,970	770
19	H18年2月	建設機械施工安全技術指針・指針本文とその解説	3,520	2,992	770
20	H17年9月	建設機械ポケットブック (除雪機械編)	1,100	990	770
21	H16年12月	除雪・防雪ハンドブック (除雪編)【CD-R】	5,500	4,950	770
22	H15年7月	道路管理施設等設計指針 (案) 道路管理施設等設計要領 (案)【CD-R】	3,520	3,168	770
23	H15年7月	建設施工における地球温暖化対策の手引き	1,650	1,485	770
24	H15年6月	道路機械設備 遠隔操作監視技術マニュアル (案)	1,980	1,782	770
25	H15年6月	機械設備点検整備共通仕様書 (案)・機械設備点検整備特記仕様書作成要領 (案)	1,980	1,782	770
26	H15年6月	地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル	550	495	770
27	H13年2月	建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック (第3版)	6,600	5,940	770
28	H12年3月	移動式クレーン、杭打機等の支持地盤養生マニュアル (第2版)	2,750	2,475	770
29	H11年10月	機械工事施工ハンドブック 平成11年度版	8,360	8,360	770
30	H11年5月	建設機械化の50年	4,400	3,960	770
31	H11年4月	建設機械図鑑	2,750	2,475	770
32	H10年3月	大型建設機械の分解輸送マニュアル【CD-R】	3,960	3,564	770
33	H9年5月	建設機械用語集	2,200	1,980	770
34	H6年8月	ジオスペースの開発と建設機械	8,470	7,623	770
35	H6年4月	建設作業振動対策マニュアル	6,380	5,742	770
36	H3年4月	最近の軟弱地盤工法と施工例	10,450	9,405	770
37	S60年1月	建設工事に伴う濁水対策ハンドブック【CD-R】	6,600	5,940	770
38		建設機械履歴簿	440	396	770
39	毎月25日	建設機械施工	880	792	770

定期購読料 年12冊 10,032円 (税・送料込)

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

特集

港湾・海洋・海岸施設

巻頭言

4 これからの建設機械の新造・改造に向けて

岩波 光保 東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 教授

行政情報

5 港湾における i-Construction, インフラ分野の DX 推進に向けた取組

村上 亮太 国土交通省 港湾局 技術企画課 保全企画係長

9 コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の設計施工ガイドラインの概要

国土交通省 海事局 海洋・環境政策課 技術企画室

特集技術報文

14 新潟港海岸（西海岸地区）大規模侵食対策事業

美しい砂浜を将来に引き継ぐ取り組み

宮坂 義朗 国土交通省 北陸地方整備局 新潟港湾・空港整備事務所 第四建設管理官室 前任建設管理官

21 高知県須崎港における生物共生を考慮した港湾整備

永友 繁 三洋テクノマリン(株) 東京支社 技術部 環境コンサルタントグループ グループ長

26 長崎港における人流・交流を核とした賑わい創出

PPP / PFI 事業の導入可能性検討

梯 浩史郎 長崎県 土木部 港湾課 主任技師

32 浚渫工事の水中可視化システム

マシンガイダンス+マルチビームソナーの河床可視化技術

新開 貴行 鹿島建設(株) 北陸支店 大津分水路新第二床固改築 I 期工事 機電課長

38 火力発電所における海洋土木構造物の大規模プレキャスト化施工

武豊火力発電所リプレース工事

加藤 弘之 (株)JERA O&M・エンジニアリング運営統括部 土木・建築部
土木・建築再生可能エネルギーユニット 課長代理

井上 政明 大成建設(株) 土木本部 土木技術部 海洋技術室 室長

野勢 辰也 大成建設(株) 土木本部 土木設計部 海洋設計室 課長

44 工場製作部材を用いたユニット式プレキャスト栈橋工法の開発
PC-Unit 栈橋工法[®]

池野 勝哉 五洋建設(株) 技術研究所 土木技術開発部 専門部長

51 1,250 t 吊自己昇降式作業台船「柏鶴」

湯浅 大樹 東亜建設工業(株) 主査

56 港の基盤・空間デジタル化技術

伊藤 輝 東洋建設(株) 土木事業本部 総合技術研究所 鳴尾研究所 地盤防災研究室 研究員

64 高性能水中位置管理機能搭載ブロック据付支援システム

WIT B-Fix Neo

土屋 洋 若築建設(株) 建設事業部門 技術部 技術研究所 施工技術開発グループ 課長

69 マルチビーム測深機を用いた施工管理システム

橋田 隆史 (株)ハイドロシステム開発 代表取締役 社長

佐々木智弘 (株)ハイドロシステム開発 MBES 部門長

坂元 賢司 (株)ハイドロシステム開発 MBES フィールドサポート副技師長

	74	表層型メタンハイドレート回収技術 大口径海底掘削装置 望月 幸司 三井海洋開発㈱ 事業開発部 マネージャー (プロジェクト エンジニアリング) 岩本 駿介 三井海洋開発㈱ 事業開発部 プロジェクト エンジニア
投稿論文	81	建設機械施工における安全確保に関する一考察 —無人建設機械の導入と活用に向けて— 茂木 正晴 土木研究所 技術推進本部先端技術チーム主任研究員 山口 崇 土木研究所 技術推進本部先端技術チーム上席研究員 油田 信一 芝浦工業大学 SIT 総合研究所 特任研究員
交流のひろば	91	海の地図 PROJECT 高柳 茂暢 アジア航測㈱ 社会基盤システム開発センター マリンイノベーション推進室 室長
ずいそう	95	レザークラフトと私 穴井 秀和 鹿島建設㈱
	98	ワンコのいる人生 (ペットから家族へ) 宮崎 弘樹 西尾レントオール㈱ 四国 ICT 施工推進課
部会報告	100	成瀬ダム堤体打設工事 現場見学会 建設業部会
	103	(株)三井三池製作所 九州事業所 見学会 報告 機械部会 トンネル機械技術委員会
	106	新工法紹介 機関誌編集委員会
統計	107	建設業界における外国人材の受け入れについて 渡瀬 友博 (一社) 建設技能人材機構 管理部長 (兼) 調査研究部長
	113	令和5年度 (2023年度) 建設投資見通し 国土交通省 総合政策局 建設経済統計調査室
	120	建設工事受注額・建設機械受注額の推移 機関誌編集委員会
	121	行事一覧 (2023年9月)
	126	編集後記 (穴井・松澤)

◇表紙写真説明◇

火力発電所における海洋土木構造物の大規模プレキャスト化施工

写真提供：大成建設㈱

武豊火力発電所は、既存の発電設備を廃止・撤去し、高効率な発電設備を新設するリプレース工事を実施し、2022年に営業運転を開始した。海上工事においては大規模なプレキャスト化施工を実施して、発電所の早期運開に貢献した。PC桁をヤードで一体化したコンクリート製海上通路橋（幅員6m×橋長34m、重量740t）を1,400t吊起重機船で一括架設することで、架設以外の海上作業を省くことができた。

巻頭言

これからの建設機械の 新造・改造に向けて

岩 波 光 保



一般に、港湾・海洋・海岸での調査や施工においては、海中や海上での作業を強いられることから作業の機械化が早くから進み、これまでに多くの優れた技術が開発され、実際の現場で適用されてきた。昨今の生産性向上に向けた潮流の中で、作業の省力化や自動・自律化が求められ、作業船を含む建設機械や調査機械の高機能化が強く求められている。コンクリート工事においては、陸上工事でも海上工事でもプレキャストの流れが強まっており、特に海上工事においてはプレキャスト部材の大型化が可能となることから、これに必要な作業船や作業ヤードの整備が望まれている。

続いて考慮すべき社会背景として、国際競争力の確保のために必要な大水深岸壁の整備やエネルギーの安定確保のために必要な洋上風力発電施設の整備なども国を挙げて精力的に進められていることも、次世代の建設機械の開発と普及を後押しするきっかけとなっている。

もはや、この傾向にブレーキをかけることは不可避であり、より大型で、より高機能な建設機械の導入が必須となり、新造や改造のニーズが高まってくることが予測される。この傾向は基本的には望ましいものであると考えられるが、この動きを一層推進する上で留意すべき点をいくつか挙げておきたい。

まず、これからの時代は、ますます脱炭素の動きが加速することが予測されることから、建設機械の新造・改造にあたっては、この点に留意する必要がある。建設工事は二酸化炭素排出の大きなソースとなっているが、材料起因の二酸化炭素排出を大きく削減することは現時点では難しいことから、機械稼働や燃料消費に起因する二酸化炭素排出の削減を目指すことが望ましい。作業船等の建設機械の新造・改造にあたっては、動力の電動化も含め、二酸化炭素排出削減に資する技術の導入や活用を考える必要がある。

本質的に、作業の機械化により生産性向上が期待できるのは、大規模な工事や比較的単調な作業が繰り返される工事であり、小規模な工事や複雑な工事においては、今後も人力による細やかな作業が不可欠である。

また、作業の自動・自律化に資する技術を開発するためには、人力による作業のノウハウやコツをAI等により学習させ、機械の制御系に反映する必要がある。よって、今後、作業の機械化を推進する上では、機械化による得失を十分に検討した上で、機械化による作業と人力による作業の共存を目指す必要がある。この際、人力による作業を担う熟練技能者の確保と育成にも配慮しなければならない。

すべての分野において、今後、生産性向上や二酸化炭素排出抑制が一層求められ、建設機械の分野においても、これらを意図した作業船等の建設機械の新造・改造を進める動きが加速することが予測される。しかしながら、これらの建設機械を保有している民間企業にとって、莫大なコストを必要とする建設機械の新造や改造にはリスクが伴うことから、その決断を躊躇する可能性も否定できない。このことが原因となって、建設機械の新造・改造が進まず、結果的に生産性向上や脱炭素の動きが足踏みすることは避けなければならない。そのためには、建設機械の新造・改造に必要なコストに対する公的な財政支援が必要であり、そのためにも、まずは官民双方の建設的な議論から開始することが望まれる。しかしながら、現存するすべての建設機械を新造・改造することは費用の面で必ずしも現実的ではない。現在の建設機械についても生産性や環境負荷に配慮しながら、運用面の工夫なども取り入れながら、既存ストックの有効活用を図る必要がある。

近年、港湾・海洋・海岸での調査や施工に不可欠な作業船等の建設機械の高経年化やストック量の減少の問題が指摘されて久しい。今後も、これらの調査や施工を確実に進めていくためには、その時代のニーズに即した質と量の建設機械を保有し続けなければならない。生産性向上や脱炭素などの社会的ニーズや既存ストックの有効活用にも配慮しながらも、その新造・改造を進めていく必要がある。

行政情報

港湾における i-Construction, インフラ分野の DX 推進に向けた取組

村上 亮 太

国土交通省では2016年から建設現場の生産性向上を目指し、「i-Construction」を推進してきた。港湾工事においても、現場の生産性向上を目指して「港湾における ICT 導入検討委員会」を設置し、ICT 活用工事を導入・拡大してきたが、2020年からは、「港湾における i-Construction 推進委員会」と改称し、i-Construction に加えてインフラ分野の DX を推進している。本稿では、港湾局においてこれまで推進してきた「i-Construction」と「インフラ分野の DX」の取組とこれからの展開について紹介する。

キーワード：i-Construction, BIM/CIM, インフラ分野の DX, ICT 施工, ナローマルチビーム, 港湾工事, 生産性向上

1. はじめに

建設業は社会の安全・安心の確保を担う、我が国の国土保全上必要不可欠な「地域の守り手」としても重要であるが、少子高齢化・人口減少に伴う労働力不足への対応や休日確保等による働き方改革を進めるため、国土交通省では2016年から建設現場の生産性向上策「i-Construction」を推進し、建設現場の生産性を2025年度までに2割向上を目指すことを表明した。

港湾工事においても、現場の生産性向上を目指し、調査・測量、設計、施工、維持管理までのすべての建設生産プロセスにおいて ICT 等を導入、プレキャストなどによる現場作業の効率化、施工時期の平準化に加えて、測量から設計、施工、維持管理に至る建設プロセス全体を3次元データ (BIM/CIM) で繋ぐことや、新技術、新工法等の利活用に取り組んでいる。

また、2020年には新型コロナウイルス感染症対策を契機として、非接触・リモート型の働き方への転換と抜本的な生産性や安全性向上を図るため、インフラ分野の DX (デジタル・トランスフォーメーション) の取組が進められてきた。2022年3月には国土交通省の所管する各分野における施策を洗い出し、インフラ分野の DX 推進のための取組や実現のための具体的な工程 (2025年度まで)、利用者目線で実現できる事項をとりまとめた「インフラ分野の DX アクションプラン (第1版)」が策定された。

2023年8月には、インフラ分野の DX の一層の推進に向け「インフラの作り方の変革」, 「インフラの使

い方の変革」, 「データの活かし方の変革」という3つの観点で分野網羅的、組織横断的に取組を図ることとし、「インフラ分野の DX アクションプラン (第2版)」が策定されている (図-1)。

2. 港湾におけるこれまでの取組

(1) 港湾工事における現場条件

港湾工事においては陸上工事と異なり、風や波浪などの気象・海象条件の影響を大きく受ける作業船による海上作業、あるいは海上からでは見通しのきかない潜水士による水中作業が多くを占めている。

従って、施工条件が良好な時に効率よく作業を進めるとともに、水中を可視化することが生産性を向上させる重要なポイントになる。そこで、近年現場作業において主力となっている、左右方向に無数の音響ビームを発し、艀装した船が進むことで海底の3次元データの取得を可能とするマルチビームソナー (音響測深機) の活用により、マルチビーム測深を推進している (図-2)。

(2) 港湾における i-Construction 推進委員会

これらに対応するため港湾においては、2016年度に「港湾における ICT 導入検討委員会」を設置し、浚渫工事を対象に活用に向けた検討を進めるとともに、基礎工など他工種への ICT 活用拡大や BIM/CIM 活用の取組を進めてきたところである。2020年11月には「港湾における i-Construction 推進委員会」に改

インフラ分野全般でDXを推進するため 分野網羅的に取り組む

業界内外・産学官も含めて 組織横断的に取り組む

1. 「インフラの作り方」の変革

～昔とははらへずに現場管理が可能に～

データの力によりインフラ計画を高度化することに加え、i-Constructionで取り組んできたインフラ建設現場（調査・測量、設計、施工）の生産性向上を加速するとともに、安全性の向上、手続き等の効率化を実現する

自動化建設機械による施工



公共工事に係るシステム・手続きや、工事書類のデジタル化等による作業や業務効率化に向けた取組実施
・次期土木工事積算システム等の検討
・ICT技術を活用した構造物の出来形確認等

2. 「インフラの使い方」の変革

～賢く"Smart"、安全に"Safe"、持続可能に"Sustainable"～

インフラ利用申請のオンライン化に加え、デジタル技術を駆使して利用者目線でインフラの潜在的な機能を最大限に引き出す（Smart）とともに、安全（Safe）で、持続可能（Sustainable）なインフラ管理・運用を実現する

VRを用いた検査支援・効率化

自動化・効率化によるサービス提供

VRカメラで撮影した線路をVR空間上で再現

空港における地上支援業務（車両）の自動化・効率化

ハイブリッドダムを取組による治水機能の強化と水力発電の促進



3. 「データの活かし方」の変革

～より分かりやすく、より使いやすく～

「国土交通データプラットフォーム」をハブに国土のデジタルツイン化を進め、わかりやすく使いやすい形式でのデータの表示・提供、ユースケースの開発等、インフラまわりのデータを徹底的に活かすことにより、仕事の進め方、民間投資、技術開発が促進される社会を実現する。

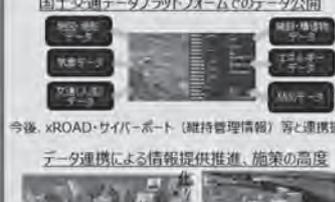
国土交通データプラットフォームでのデータ公開

今後、xROAD・サイバースポット（維持管理情報）等と連携拡大

データ連携による情報提供推進、施策の高度化

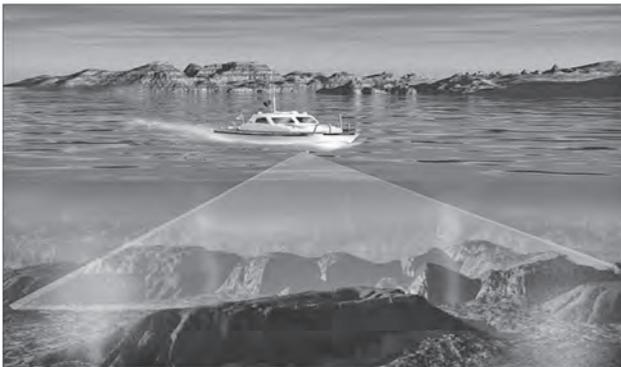
周辺建物の被災リスクも考慮した建物内外にわたる避難シミュレーション

3D都市モデルと連携した3D浸水リスク表示、都市の災害リスクの分析



出典：第8回国土交通省インフラ分野のDX推進本部より作成

図一1 インフラ分野のDXの方向性



図一2 マルチビーム測定のイメージ

称し、現場で必要とする技術課題を現場で実証しながら、港湾の建設生産の全プロセスでICT・BIM/CIMの活用等を推進し、効率化に取り組むためi-Constructionを推進してきた。2022年度までに6回の委員会を開催し、港湾におけるi-Construction、DXの更なる推進や生産性向上についての検討を行っている。

第6回委員会では、ICT浚渫工のCUBE処理への対応やマルチビームソナーでの測深データのノイズ除去にAIを活用したシステムの検討、BIM/CIMの監督・検査への活用のための属性情報の検討、2023年度からのBIM/CIM原則適用、生産性向上に関する検討方針等、2022年度までの検討内容の報告や2023年度以降の展開について議論が行われている。

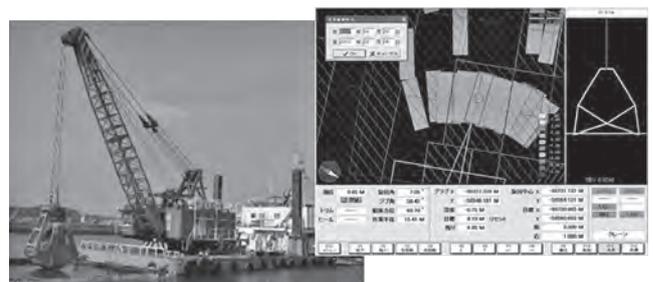
(3) 港湾におけるICT施工やBIM/CIMの取組

(a) ICT施工について

2020年よりICT浚渫工については本格運用、現在ICT基礎工やICT本体工等については試行工事やモデル工事を実施している。前述のとおり港湾におけるICT施工では、見えない水中を可視化することが重要なポイントとなっている。

例えばICT浚渫工では、起工測量、出来形測量の各段階でマルチビームソナーを活用したICT施工を行っており、起工測量では3次元の詳細な海底地形を計測して浚渫土量を正確に算出、出来形測量では検査や水路測量にも転用可能な精度のデータを取得することで、業務の短縮化を図っている。施工中は海底の浚渫位置や深さをリアルタイムで確認しながら浚渫を行うことが可能となっている（図一3）。

また、ICTブロック据付工ではICTを活用した施



図一3 ICT浚渫工（施工の可視化）

工として、ブロック（被覆、根固、消波）の据付箇所をリアルタイムで可視化する技術を用いた施工を実施している。例えば、①3Dソナー（超音波）により、水中の施工範囲をリアルタイムに可視化、②GNSSによる位置決めが行われており、作業船上のオペレータが据付位置を確認しながら施工できるため、作業の効率化が期待されている（図—4）。

生産性向上を主目的とされてきたi-Constructionだが、新たな取組として、潜水士の事故など安全に対する課題への対応にICTの積極的な活用を進めている。2022年度から、ICT活用の新たな取組として、作業効率や安全性の向上を図るため、「潜水作業の見える化向上モデル工事」と「作業船と潜水作業との連携向上モデル工事」を開始した（図—5）。

「潜水作業の見える化向上モデル工事」では、ダイバーカメラや緊急時浮上用ポンプ、ダイビングコンピュータを用いて、海中作業時に潜水士の作業を伴う現場において水上から把握しにくい潜水士の作業を可視化する取組を行っている。

「作業船と潜水作業との連携向上モデル工事」では、作業船と潜水士（潜水士船）の連携が必要な現場において、トランスポンダやモニター、ダイバーカメラを用いて、対象物と潜水士の位置の把握する取組を行っ

ている。

さらに、2023年度から潜水作業のICT活用に加えて、一般的に普及しつつあるICT機器を港湾、海岸工事の作業船のクレーン作業に活用することにより、作業員や作業船のクレーンオペレータがリアルタイムで危険を察知・回避し、安全性の向上を図る、「安全対策重点モデル工事」を開始したところである。

(b) BIM/CIMの活用について

港湾において、2017年度より栈橋式の構造物についてCIMの作成業務を試行し、2018年度からはBIM/CIM活用工事を開始した。2019年度には栈橋構造岸壁の設計業務は原則対象とし、2020年度からは、BIM/CIM活用業務・工事を拡大しており、試行業務・工事の実施結果をもとに、BIM/CIM活用のための基準類の策定や改定を行ってきた。

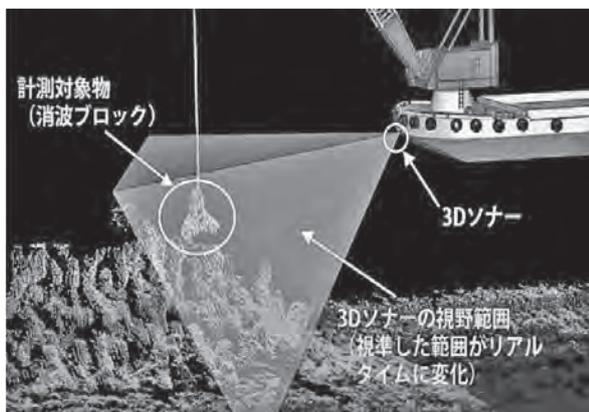
2023年度からはBIM/CIMの原則適用を開始し、これまでのBIM/CIMの作成から、業務・工事の特性に応じた活用内容（義務項目・推奨項目）を発注者が明確にして取り組むこととしている。工事における義務項目は、3次元モデルを活用した視覚化による効果で、施工計画の検討補助や2次元図面の理解補助、現場作業員等への説明等、3次元モデルの作成や更新を伴わない内容としており、BIM/CIMの活用が不慣れであっても活用しやすい内容としている。

3. 今後の展開

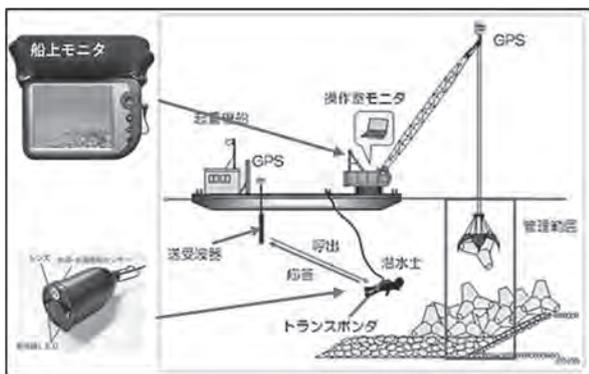
港湾におけるi-Construction、インフラ分野のDX推進のため、引き続きICT技術の導入に取り組むが、大手企業は、ICT施工や新たなICTの導入に積極的に取り組んでいるが、その一方で中小企業は、取組が少ないという現状がある。要因としては、ICT導入に係る設備投資の負担や対応人員の不足、ICTに関する知識不足などが考えられるが、汎用性が高く簡易なICT機器（スマートフォン、デジタルカメラ、小型ドローン等）の活用や精度を要さない工種への適用の検討を行うことで、中小企業がICTを導入しやすいモデル工事の検討を進めている。

BIM/CIMについては、原則適用に関する義務項目及び推奨項目の設定状況や活用目的を収集し、要領類の見直しや義務項目、推奨項目（例）の一覧の充実・更新するため検討を行っている。また、以前より検討を進めてきた港湾整備BIM/CIMクラウドの構築を進め、2024年度から試験運用の開始を目指している（図—6）。

また、港湾におけるi-Construction推進の一環として、港湾工事の出来形管理にかかる時間や労力を短縮



図—4 ICTブロック据付工（ブロック据付効率化のイメージ）

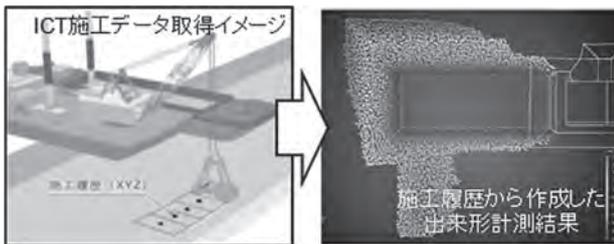


図—5 作業船と潜水作業との連携向上モデル工事のイメージ



図一六 BIM/CIM クラウドのイメージ

し生産性向上を図るため、ICTを活用した新たな出来形管理手法の検討に取り組んでいる。現場適用性が確認された技術である、ナローマルチビームを活用した基礎工の出来形検査手法や基礎工及び床掘工における機械施工履歴を活用した出来形管理手法について、モデル工事を実施し、出来形計測データを収集し、従来技術との比較・検証を行い、「出来形管理要領」、「マニュアル」、「積算要領」等の各種要領を策定予定である（図一七）。



図一七 施工履歴の活用のイメージ

4. おわりに

デジタル技術の進化により、調査・設計、施工、検査に至るインフラ整備や維持管理を抜本的に変革できるタイミングを迎えている。インフラ分野のDXやi-Constructionの取組は、単なるコスト縮減を目指すものではなく、人口減少社会で質の高いインフラ整備を持続する新たな仕組みづくりであり、社会全体の生産性向上や建設業の魅力向上、担い手の育成・確保に向けた働き方改革でもある。

港湾局においても取組を加速させ、人材育成を進めるとともに幅広く地方に展開することで、港湾全体の更なる生産性・安全性の向上と港湾に関する全ての者の働き方改革に取り組んでいく所存である。

JCMA

【筆者紹介】

村上 亮太 (むらかみ りょうた)
国土交通省 港湾局 技術企画課
保全企画係長



行政情報

コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の設計施工ガイドラインの概要

国土交通省 海事局 海洋・環境政策課 技術企画室

2050年カーボンニュートラルに向け、再生可能エネルギーを最大限導入することが求められており、特に洋上風力発電は、再生可能エネルギーの主力電源化に向けた切り札とされている。

浮体式洋上風力発電の導入促進において、事業全体の低コスト化は課題の1つとなっている。支持構造物をコンクリートで製造すると安く製造できる場合があるため、支持構造物をコンクリートで製造する際の技術基準が求められていた。

こうした状況を受けて、国土交通省では、浮体式洋上風力発電の建造・設置コストの低減、技術の普及促進を目的として、「コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の設計施工ガイドライン」の策定を行った。
キーワード：浮体式洋上風力、コンクリート、コンクリートの配合条件、設計要件、全体強度解析

1. はじめに

2050年カーボンニュートラルに向け、再生可能エネルギーを最大限導入することが求められており、特に洋上風力発電は、再生可能エネルギーの主力電源化に向けた切り札とされている。

これまで洋上風力発電は欧州を中心に拡大してきたが、2050年にかけてはアジア市場の急成長が見込まれている。特に深海域の広がる日本・アジアにおいては、浮体式の導入余地が大きい。浮体式は欧州においても開発途上である。

また、2020年には、洋上風力産業ビジョン（第1次）において「2040までに3,000万～4,500万kWの案件形成」が目標とされており、目標達成には、技術開発や量産化を通じて浮体式のコストを大幅に低減することが必要である。

こうした背景から2021年より、グリーンイノベーション基金において洋上風力発電のプロジェクトが開始されており、新技術の開発が進められている。コンクリート製浮体はその1つとして採択されている。

こうした状況を踏まえて、国土交通省では、日本特有の海象においても使用することができるコンクリート製での浮体式の設計・製造方法の検討を行い、「コンクリート製浮体式洋上風力発電施設の設計施工ガイドライン」（以下、「本ガイドライン」という。）を昨年度に取りまとめた。本ガイドラインは、洋上風力発電施設のうち、コンクリート製浮体式洋上風力発電の

設計施工に関するガイドラインを定めたもので、すでに建造されている鋼製浮体式洋上風力発電施設に共通する項目は「浮体式洋上風力発電施設技術基準安全ガイドライン」を参照している。本稿では、鋼製浮体式とコンクリート製浮体式の特徴の違いによる設計施工手法の違いを挙げながら、ガイドラインのポイントについて紹介する。浮体式洋上風力発電施設における鋼製浮体施設とコンクリート製浮体施設の特徴を表1に示す。

なお、本ガイドラインは国土交通省のホームページに掲載されているので参照されたい。
(https://www.mlit.go.jp/maritime/maritime_fr6_000006.html)

2. コンクリート製浮体施設における留意点

コンクリート製浮体施設は、波浪や海水飛沫の影響を受けるため、コンクリート自体の劣化や波による浸食により陸上施設に用いられるコンクリートよりも機能が損なわれやすい。そのための対策を含めて、コンクリート製浮体施設において特に留意すべき点を以下に記載する。

(1) ひび割れ幅の制限

コンクリート製浮体施設に過大なひび割れが発生した場合、鋼材腐食による耐久性の低下、水密性の低下に伴う浮体機能の低下等が生じる。したがって、コン

表-1 鋼製浮体式とコンクリート製浮体式の特徴

項目		鋼構造	コンクリート構造
材料	材料の構成	・単一材料（鋼材）	・複合材料（セメント、練混ぜ水、骨材、混和材、混和剤、鉄筋、構造用鋼材、PC鋼材、補強繊維等）
	材料の性能	・必要に応じて材質を選定	・使用目的に応じた配合設計が必要
	材料の特性	・腐食性があるため、防食が必要。 ・一般に部材の細長比が大きく、座屈の照査や座屈防止対策が必要。	・コンクリートが圧縮、鉄筋が引張を負担する複合構造。 ・水密性が要求される箇所では、コンクリートのひび割れを防止・制御するための方策（プレストレス等）が必要。 ・鉄筋腐食の防止対策が必要。
建造	建造方法	・工場で建造する方法と、工場で製造した鋼製部材を現地で接合して建造する方法がある。 ・工場製造は天候の影響を受けない（屋外作業が必要なものを除く）。	・現地で型枠にコンクリートを流し込んで構造物を建造する方法と、工場で製造したプレキャストコンクリートを現地で接合して建造する方法がある。 ・天候の影響を受けないような施工方法および管理が必要（工場製造が可能なものは除く）。
	建造工程	・硬化時間は不要。	・コンクリートの強度発現に時間がかかるので、現地でコンクリートを打設して構造物を建造する場合は工程に影響する。
検査		・水圧試験および水密試験等 ・構造部材および溶接部の欠陥（傷、クラック等）検査（目視あるいは非破壊検査） ・塗装検査	・鉄筋かぶりの検査（非破壊検査） ・ひび割れ幅の検査 ・コンクリート打継ぎ部の検査 ・プレキャスト部材接合部の検査 ・水圧試験および水密試験

クリートのひび割れ幅を適切に制限することが必要であり、飛沫帯に置かれる部材や主構造部材においては、設計耐用期間中に鋼材の腐食を防ぐことを目的に、ひび割れ幅の限界値を0.2mmとし、高い水密性を確保する必要がある部材におけるひび割れ幅の限界値は0.1mmを目安とした。

(2) 鉄筋かぶりの確保

コンクリート製浮体施設では、水の浸透や塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食を防止するために、所定の鉄筋のかぶりを確保することが不可欠である。そこで、鉄筋の最小かぶりの標準値を飛沫帯および海上大気中では60mm、海中では50mmとした。また、配筋検査時や型枠検査時に加えて、コンクリート打設後の非破壊試験によりコンクリート中の鉄筋のかぶりが確実に確保されていることを確認することとした。

(3) アルカリシリカ反応の抑制

海洋構造物であるコンクリート製浮体式施設には、海水中に含まれるアルカリ金属（Na, K）が供給されるため、陸上の構造物の場合に比べて、骨材のアルカリシリカ反応によるコンクリートの劣化が促進する可能性がある。

そこで、コンクリート製浮体施設に用いるコンクリートには、アルカリシリカ反応に対して「無害」であることが確認された骨材を用いることを原則とし

た。また、「無害」と判定された骨材であっても、当該骨材が、港湾施設等の海洋環境下での十分な使用実績が確認できていない場合には、①コンクリート中のアルカリ総量の抑制、②アルカリシリカ抑制対策効果をもつ混合セメントの使用、③アルカリシリカ抑制対策効果をもつ表面保護材の使用の3つの対策のうち、いずれか一つあるいは複数を組み合わせて抑制対策を講じるのがよいとした。

特に、高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等の結合材を適切な割合で混合すると、密実で海水の化学的作用に対する抵抗性が高いコンクリートとなるため、コンクリート内部への塩化物イオンの侵入も防ぐことができ、アルカリシリカ反応の抑制にも有効である。

(4) 適切な水セメント比の設定

コンクリートの強度、耐久性、水密性を支配する最大因子は水セメント比（W/C）であり、W/Cが小さくなるほど強度が高くなり、耐久性、水密性が高くなる。なお、セメント以外の結合材を使用する場合には、セメントにこれら結合材を含めた水結合材比を水セメント比と同義的に扱う。

コンクリート製浮体施設における水セメント比の上限は、飛沫帯及び海上大気中に供される部材の場合は40%、海中に供される場合は45%を標準とし、かつ、コンクリートに要求される強度、コンクリート劣化に対する抵抗性並びに物質の透過に対する抵抗性等を考

慮して、これらから定まる水セメント比のうちで最小の値を設定するとした。

「飛沫帯及び海上大気中」と「海中」とで標準比を区別したのは、「海中」は常時海中に没している部分のため酸素の供給量が少なく鋼材腐食の進行が穏やかなのに対し、「飛沫帯及び海上大気中」では、波しぶきや潮風によって乾湿が繰り返されることでコンクリート中の鋼材の腐食、凍害等の劣化が生じやすいからである。

3. 設計

浮体式洋上風力発電施設は、20年を超える供用期間において、継続的な稼働が前提とされており、浮体にコンクリートを使用する目的が風車を支持する構造物である浮体のコスト低減にあることから、高い頻度での点検や修繕は前提とされていない。浮体式洋上風力発電施設に重大な損傷が発生した場合、港湾での修繕費用だけでなく、係留、海底ケーブル等の再設置が必要となり、その費用が事業による収益を上回る可能性があることから、供用機間全体において十分な健全性を備えることが求められる。

(1) 設計目標と設計条件

コンクリート製浮体施設では、供用期間中において耐久性が確保されていることを前提とし、安全性、使用性などの要求性能を確保することが設計目標となる。ひび割れに関しては、バラストコンクリート等付属的な部材を除き、ひび割れが構造性能に悪影響を及ぼさない設計としなければならない。ただし、設計寿命を考慮した十分な検討と実績等による検証がなされ、かつ、設計的な余裕を十分に見込んでいる場合に

は、ひび割れの発生を許容することができるとした。

(2) 設計フロー

設計は、要求性能の設定、構造配置、構造詳細の設定、要求性能の照査という作業で構成され、これらの作業が一貫して実施されるために、適切な設計フローの設定が重要である。設計フローの例を図一に示す。

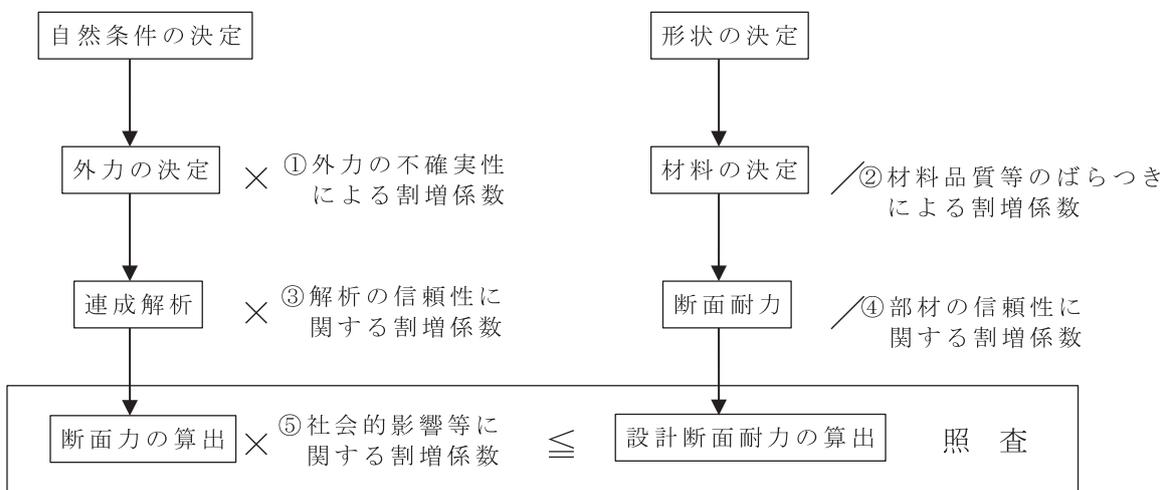
まず、自然条件を決定し、外力を算定、風車、浮体、係留系の動的連成解析によって、発生する断面力を算定する。次に浮体の形状を決定し、材料を選定、断面耐力計算により設計断面耐力を算定する。最後に、設計断面耐力が発生する断面力よりも安全側にあることを確認する。

(3) 構造配置

浮体構造においては、台風などによりコンクリートが損傷し、ひび割れなどが発生した場合、数時間から数日にわたり繰返し荷重が作用し海象条件によっては修復が困難になるため、損傷が加速的に拡大する可能性がある。そのため、タワー固定部、係留設備部など、暴風時において外力が継続的に作用する箇所については、ひび割れ後の弾塑性解析を様々な条件で実施し、加速度的な破壊に至らないことを確認するなど、慎重な設計が必要である。

タワー部は、陸上風車や着床式洋上風車と同様に、アンカーボルト方式、アンカーリング方式等によりコンクリート製浮体施設に接合するため、タワー固定部のコンクリートには引張力が作用する。また、浮体構造では、6自由度の動揺によるタワー固定部に大きな断面力が生じるため、タワー固定部周辺への影響についても考慮しなければならない。

係留部は、鋼製部材とコンクリートとの複合構造と



図一 設計フローの例

なり、アンカーボルトや埋め込み金物を利用する接合方法が想定される。コンクリートに繰返しの引張荷重が作用するため、疲労限界に対しても十分に配慮しなければならない。

(4) 全体強度解析

浮体式洋上風力発電施設では、空力的な現象と水力的な現象が連成するため、風車・タワー・浮体・係留系に作用する風および波による荷重を考慮した時間領域での連成解析を行う。ただし、時間領域における解析結果と同等以上の安全性が確保される場合には、周波数領域における解析手法を採用してもよい。

時間領域における動的応答解析手法を用いた全体構造系の動的連成解析のあと、浮体構造物を静的に解く、2段階解析法が適用できる。これにより、計算時間が短縮でき、解析が簡便となる。2段階解析フローの一例を図一2に示す。

(5) 耐久性に関する照査

本ガイドラインでは、耐久性に関する照査として、中性化と水の浸水に伴う鋼材腐食に対する照査、塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査、凍害に対する照査を規定している。

コンクリート構造物の耐久性に最も大きく寄与するのは鋼材腐食である。かぶりに過大な幅のひび割れが存在すると、局所的な鋼材腐食が生じる場合がある。そのため、コンクリート表面におけるひび割れ幅は、鋼材腐食に対するひび割れ幅の限界値以下でなければならない。

鋼材腐食の原因は塩化物イオンの侵入が主であり、コンクリート表面の塩化物イオン濃度は、構造物が供用される海域や海象条件によって異なるため、実績に基づいて設定するが、建設事例が少なく実測データが

十分でない海域に建設を行う場合は、塩化物イオン濃度を 18.0 kg/m^3 として設定する。

コンクリートの配合や設計で十分に鋼材腐食を防がない場合は、耐食性が高い補強材や防錆処置を施した補強材の使用、鋼材腐食を抑制するためのコンクリートの表面被覆、あるいは腐食の発生を防止するための電気化学的手法等を用いる等、適切な対策を施さなければならない。

4. 施工

個々の現場の条件に応じて、品質確保、工期、安全性、経済性、環境への影響を十分に考慮し、円滑な施工が実施できるように計画を立てる必要がある。

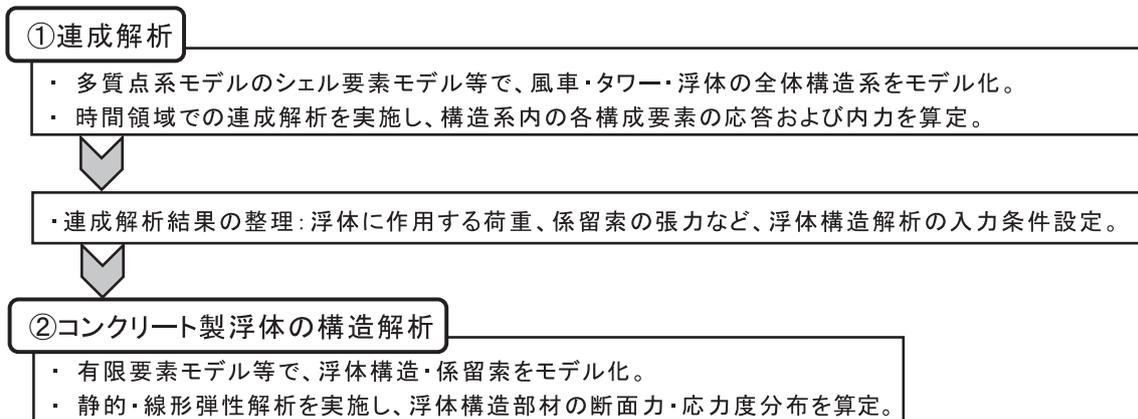
コンクリート製の施工方法は、現地で型枠にコンクリートを流し込んで建造する方法と、工場で製造したプレキャストコンクリートを現場で接合する方法がある。

(1) 現場打ちコンクリートの製造、打込み、養生

海洋の厳しい環境下で供用されるコンクリート製浮体施設は、わずかな初期欠陥の存在が、構造物の機能を早期に低下させる恐れがある。そのため、均一で欠陥のないコンクリートが得られるように、綿密な施工計画を立て、運搬、打込み、締固め、養生等、現場打ちコンクリートの全工程において入念な施工を行わなければならない。

(2) プレキャストコンクリートの運搬、接合、設置

プレキャストコンクリートは、所要の品質が得られるように製作する。また、プレキャストコンクリートは、その品質が損なわれないとともに、組み立てられた構造物の性能が確保されるよう、運搬、保管、接合、



図一2 2段階解析フローの例

架設および設置を行わなければならない。

(3) 高流動コンクリート

コンクリート製浮体施設は、鉄筋、PC 鋼材が密に配置される構造となることが多い。このような場合には、コンクリート工事における施工の省力化や合理化、信頼性の確保とこれに伴う耐久性の向上という面から、高流動コンクリートの使用を考えることが望ましい。ただし、万一の場合を想定し、施工条件や打設規模に応じた締固め装置を準備しておくのがよい。

5. おわりに

今回本ガイドラインを作成するにあたって、有識者

の方々に安全性について考慮すべき部分について検討いただき、関係機関の協力を得て安全検証や技術調査を実施した。今後、新技術の調査や運用の中での評価を引き続き行い、本ガイドラインがより適切で浮体式洋上風力発電の商業化に即したものになるよう、必要な見直しを行い、充実を図っていく。

JCMA

《執筆協力》

(国研) 海上・港湾・航空技術研究所, (一財) エンジニアリング協会

[筆者紹介]

国土交通省 海事局 海洋・環境政策課 技術企画室



新潟港海岸（西海岸地区）大規模侵食対策事業

美しい砂浜を将来に引き継ぐ取り組み

宮坂 義朗

昭和 61 年度から長期にわたり試行錯誤を経て進めてきた新潟港海岸の大規模侵食対策事業が令和 4 年度に整備が完了した。新潟港海岸（西海岸地区）の侵食対策は、離岸堤（潜堤）、突堤及び砂浜を配置して面的に海岸を防護する工法（面的防護工法）を用いて海岸の長期的安定を図るものであり、砂浜を維持管理する指標の設定が不可欠であった。このため、同海岸の長期にわたる地形変化の観測データやその分析結果から得られた知見を踏まえ、砂浜の健全度指標を設定した。本稿では、全国で初めて砂浜の健全度指標を設定し、絶えず変化する砂浜の浜幅に着目して簡易に管理できる指標を設定した結果について紹介する。

キーワード：砂浜，維持管理，健全度指標，海岸保全施設

1. はじめに

海岸法の改正（1999 年）により、砂浜を海岸保全施設として指定することが可能になったものの、改正後 20 年経過した現在も指定事例は少ない。指定された事例が少ない一因として、砂浜はコンクリート構造物と異なり常に変形することから、その変形特性等を十分に把握した上で、維持管理を行う必要があるものの、砂浜の健全度を把握するための指標や維持管理基準の設定方法が確立していないためと考える。

新潟港海岸では、潜堤、突堤、養浜による面的防護工法により砂浜の回復に成功している。面的防護工法とは、沖合の幅広天端の潜堤及び砂浜等により波のエネルギーを徐々に減衰させる方式であり、潜堤前面の海底面を含め、海岸地形を安定的に維持することが可能である。突堤先端は、年数回波に対する移動限界水深まで延伸していることから、海底土砂移動は岸沖方向の流出入を考えれば良い海岸である。養浜の初期変形（波浪等外力により養浜初期地形が平衡地形に応答する変形）は、概ね収束しているものの、地盤沈下が継続しているため、養浜地形は僅かながら変形し続けている。このようななか、新潟港海岸では砂浜を海岸保全施設に指定する準備を進めている。

本研究は、沿岸漂砂による海底土砂の収支を考慮しなくて良い新潟港海岸の養浜地形変化特性を踏まえ、砂浜の点検が容易な汀線位置を指標として、砂浜の維持管理のための健全度を検討する。

2. 新潟港海岸の諸条件

(1) 防護ライン

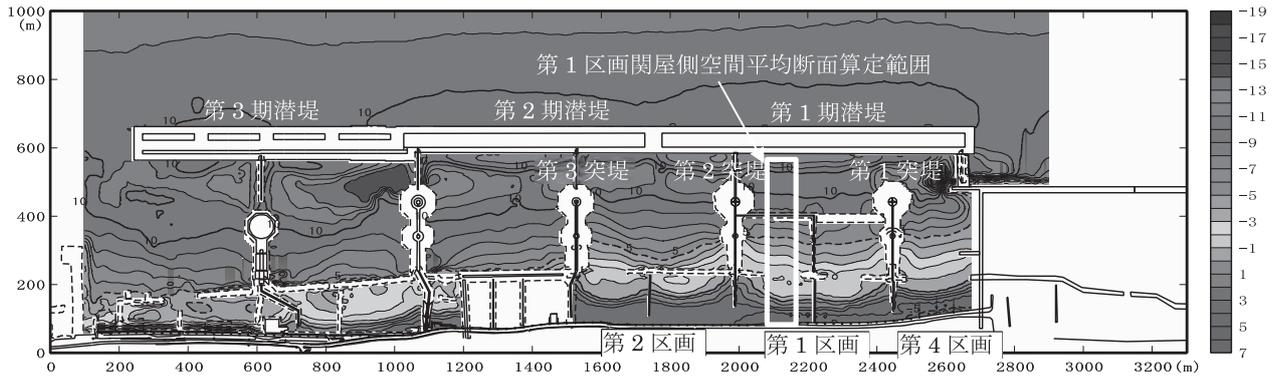
新潟港海岸は、新潟西港の西側に隣接する約 2.6 km の海岸である。養浜整備は、第 1 区画が 2000 年に完成（約 52 万 m^3 ）し、その後 2009 年に第 4 区画（約 22 万 m^3 ）、2015 年に第 2 区画が完成（約 40 万 m^3 ）した（図—1 参照）。養浜整備と並行して、養浜の後浜天端高とほぼ同じ高さで直背後に海岸道路（市道中央 3-176 号線）が建設され 2005 年に開通した。このため、新潟港海岸では海岸道路と養浜の境界を防護ラインとして波のうちあげを低減させる機能が要求されるようになった。

(2) 地盤沈下

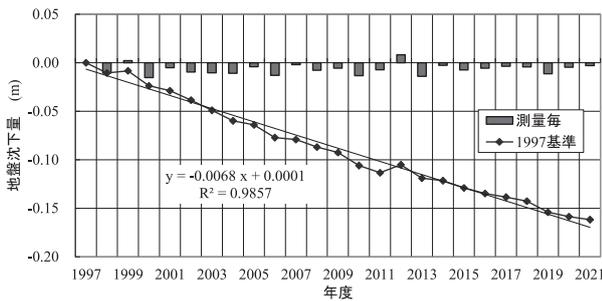
図—2 に示すように地盤沈下が約 7 mm/年の速度で継続しており、砂浜維持管理の重要な条件となっている。

3. 地形変化特性と養浜設計断面

第 1 区画では、養浜地形の安定性を監視するために、2001 年 7 月から現在まで年 2 回の頻度で深淺測量を実施している。図—1 の□枠囲みの空間平均断面は、2013 年頃までに養浜地形が波浪等外力に応答して、概ね平衡地形に達している（以下、この変形を養浜初期変形と記す）。図—3 は 2013 年以降の空間



図一 新潟港海岸の地形，海岸保全施設の平面配置

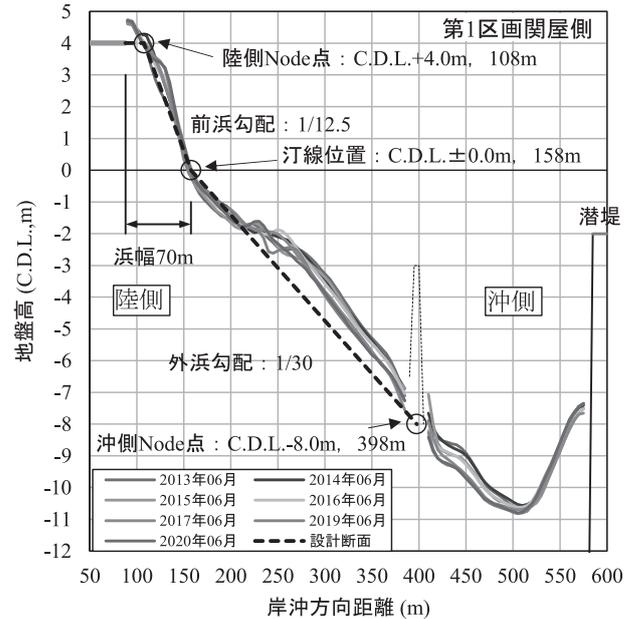


図二 地盤沈下の経年変化

平均断面地形を示したものである。2013年以降の断面地形変化は小さい。地形変化を詳細に見ると、C.D.L.+2.0mより高い領域では飛砂により僅かに堆積傾向となっている。また、C.D.L.±0.0mより陸側の海底勾配（前浜勾配）は約1/12.5、海側の勾配（外浜勾配）は約1/30となっており、汀線を境界に陸側と海側で異なった地形勾配が形成されていて、且つ、それぞれ平衡状態となっている。

岸沖方向距離600m付近に設置した潜堤背後の養浜断面は、C.D.L.+3.5~4.0m、およびC.D.L.-8.0m付近で断面地形変化が少なく、断面地形はこの2点をNode点としてその範囲内で変化していることがわかる。陸側のNode点C.D.L.+3.5~4.0mは、波の最大遡上高と概ね一致し、沖側のNode点C.D.L.-8.0mは、NOWPHAS新潟沖で設定された年数回発生波(H1/3=4.5m, T1/3=9.0s)の潜堤通過後の換算沖波波高に対する移動限界水深と一致している。

以上の特徴は、潜堤設置水深・断面諸元、養浜粒径が同じ他の区画でも同様である。そこで、波浪等外力に対して平衡となる養浜設計断面を設定し（図一3破線）、養浜の目的達成性能（波のうちあげ高）を改良仮想勾配法を用いて照査する。



図一3 第1区画関屋側の空間平均断面，設計断面

4. 維持管理指標と断面変化のモデル化

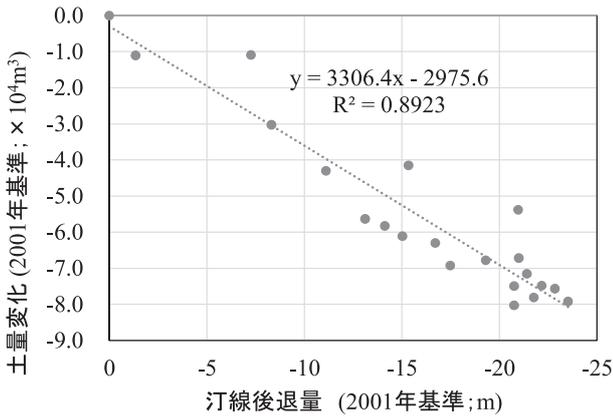
(1) 砂浜維持管理のための指標

砂浜の目的達成性能は、改良仮想勾配法を用いて算定の健全度の指標は、砕波点から波のうちあげ高までの断面積とすればよい。しかし、日常の施設点検で水中部の地形を把握することは、海岸管理者の負担が大きく困難である。

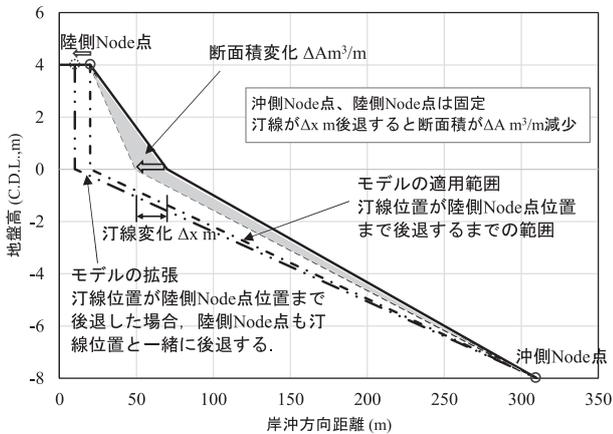
図一4は、養浜直後の2001年を基準として、養浜初期変形期間を含む2021年までのデータを用いて汀線後退量と土量変化の関係を示したものである。養浜断面積（養浜土量）と汀線変化量に高い相関関係（2008年～2016年）を示し、汀線位置を監視指標とすることが可能と考え、監視のしやすさから砂浜幅（汀線位置）を監視指標とすることにした。

(2) 汀線位置と断面変化のグラフ

第1区画における2013年以降の汀線後退速度は、



図一四 汀線後退量と土量変化の関係 (第1区画関屋側)



図一五 汀線後退量と土量変化のモデル

0.34 m/年となっており、ほぼ一様に汀線が後退（浜幅が減少）している。同期間の空間平均断面算定範囲の断面土量変化は、1.95 m³/m/年の速度で減少している。汀線後退1 m 当りの断面土量変化は5.7 m³/mとなる。

上記の関係と断面地形の Node 点をもとに、汀線位置と断面地形変化（断面積変化）の関係をモデル化する。陸側 Node 点は C.D.L.+4.0 m、沖側 Node 点は C.D.L.-8.0 m であり、この点に変化せず、汀線位置が変化する場合の断面変化は、図一五のようになる。このモデルでは、汀線が1 m 後退した場合の断面積変化は6.0 m³/m となり、実測値と概ね一致する。このことから、汀線位置から断面土量変化が推定できることを示しており、汀線位置を維持管理指標とすることの妥当性が確認される。

図一五に示す断面変化モデルにおいて、汀線位置が陸側 Node 位置まで後退した状況でも、波のうちあげ高が道路高(C.D.L.+4.0 m)に到達しない場合には、汀線位置と陸側 Node 点が陸側に移動すると仮定して、波のうちあげ高を照査する。

5. 健全度評価の設定

(1) 砂浜維持管理のための健全度

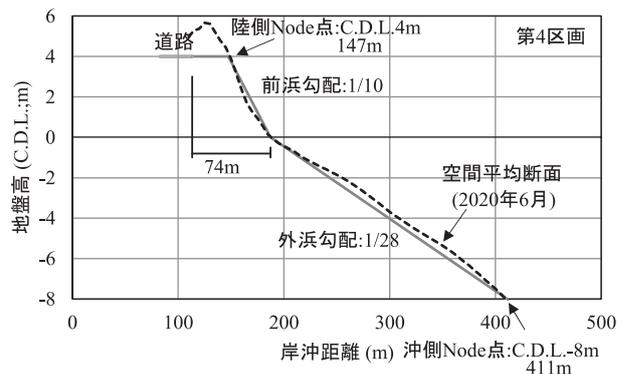
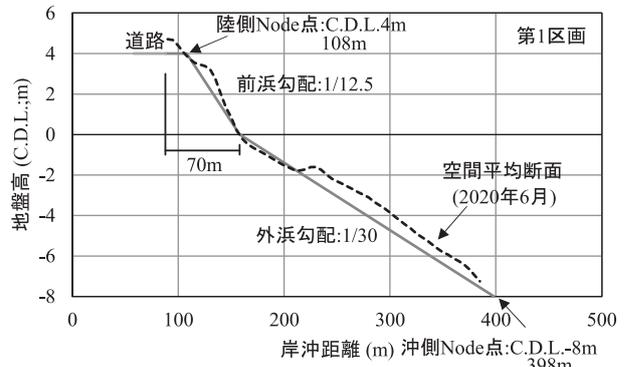
海岸保全施設維持管理マニュアルでは、「健全度評価は、土木構造物における一定区間を突堤間で区切られた区画とし、区画毎に防護機能（健全度）を A, B, C, D ランクで評価する。」とある。砂浜も海岸保全施設に指定する場合、直感的な理解のしやすさから、他施設と同様にランク分けを行った。そこで、砂浜の健全度を表一のように定義し、各段階の汀線位置を検討する。

(2) 設計断面と断面変化モデル

新潟港海岸の各区画は、沖合潜堤の設置水深、断面

表一 砂浜の健全度の定義

健全度	定義
A ランク 措置段階	砂浜が設計波浪・潮位に対して砂浜背後域に波が打ち上がる状態となっている段階
B ランク 予防保全段階	短期的な海浜変形（侵食）により容易に要事後保全段階に移行する可能性が高い段階
C ランク 監視段階	想定された変形が継続すると、砂浜が供用期間末までに予防保全段階（B ランク）になると想定される段階
D ランク 問題なし	C ランクよりも海側に汀線位置がある段階



図一六 各区画の設計断面と2020年6月の空間平均断面

諸元、養浜粒径が同じであることから、最終的には第1区画の平衡断面に近づくと考えられる。そこで、養浜後10年以上が経過し、養浜初期変形が収束している第1区画および第4区画において、現況断面から設計断面を設定した(図-6)。

(3) 外力条件

外力条件は、砂浜が設計波浪・潮位に対して砂浜背後域に波がうちあがる状態となる設計断面からの汀線後退量を決定する。

設計波は、NOWPHAS新潟沖の観測地点で $H_{1/3} = 9.3\text{ m}$, $T_{1/3} = 14.3\text{ s}$, $\theta = \text{N}23\text{W}$ である。波のうちあげ高を改良仮想勾配法により算定するため、エネルギー平衡方程式法による波浪変形計算から潜堤沖側の換算沖波波高を算定し、高山ら¹⁾の提案式により潜堤透過後の換算沖波波高を算定する。また、潜堤背後では平均水位が上昇するため、高山ら¹⁾の提案式より潜堤背後の平均水位上昇量を算定し、波のうちあげ高算定に考慮する。ただし、人工リーフの設計の手引き(改訂版)に、「現地海岸での水位上昇は断面実験結果の1/2以下になることが多い。」と記されていること、2012年11月26日~2013年2月1日の期間に、潜堤背後で観測した平均水位上昇量は、高山らの提案式に比べて1/3~1/2程度であったことから、平均水位上昇量は、高山らの提案式の1/2とする。設計潮位は、既往最大潮位である $\text{H.H.W.L} = \text{C.D.L.} + 0.88\text{ m}$ である。

(4) 各段階の検討

(a) 措置段階

図-6に示す各区画の設計断面に対して、図-5に示す断面モデルを用いて、汀線後退量と波のうちあげ高の関係を算定し、波のうちあげ高が海岸道路高となる場合を措置段階の汀線位置とする。汀線が陸側Node点まで後退しても波が道路高まで到達しない場合には、図-5に示すように、汀線後退とともに陸側Node点も陸側に移動すると仮定する。

図-7は、各区画の措置段階となる汀線後退量と波のうちあげ高の関係を示したものである。設計断面地形が異なるため、汀線後退0m(設計断面)における波のうちあげ高が異なる。第1区画では、汀線後退量が35.7mになると、波のうちあげ高が $\text{C.D.L.} + 4.0\text{ m}$ となり措置段階となる。

第4区画は、陸側Node点から道路までの後浜幅が広く、遡上波が道路まで到達し難い断面となっている。そこで、片野ら²⁾を参考に後浜天端幅(34m)の2%

を天端高に加算した仮想天端高(陸側Node点高+ $34\text{ m} \times 2\% = \text{C.D.L.} + 4.68\text{ m}$)と設定する。汀線が陸側Node点まで後退(汀線後退量40m)した後は、汀線後退とともに陸側Node点も陸側に移動すると考えるため後浜幅が徐々に狭くなり、その分仮想天端高が低下する。汀線が陸側Node点まで後退すると、外浜勾配が緩くなる分断面面積が増加し、波のうちあげ高が低下する。このため、汀線が陸側Node点まで後退した後は、波のうちあげ高を一定として検討している。

以上の結果をまとめると表-2のようになる。限界浜幅は30.2m~34.3mとなり、海岸管理、安全側を考慮して5m単位でまとめると全区画で措置段階となる浜幅は35mとなる。

(b) 予防保全段階

新潟港海岸の汀線は、冬季に後退し春季に前進する変形を繰り返しながら、徐々に後退する傾向を示している。そこで、冬季の汀線後退量を考慮して予防保全段階となる汀線位置を設定する。

図-8は、第1区画における2001年6月を基準とした汀線変動量(実線)と前の測量からの変動量(棒グラフ)を示したものである。2006年12月から2007年1月にかけて約10日間に10年確率波、20年確率波が連続して来襲しても汀線後退量は5m程度にとどまっている。高波浪が来襲して汀線が後退した状況で、さらに高波浪が来襲してもさらなる汀線後退が生じ難いことを示唆している。2014年12月の爆弾低気圧による汀線後退量も5m程度となっている。また、2016年12月25日から2017年1月12日に第1区画関屋側で汀線位置をビデオ観測を行っており、時化時における汀線後退量は5m程度であることを確認し

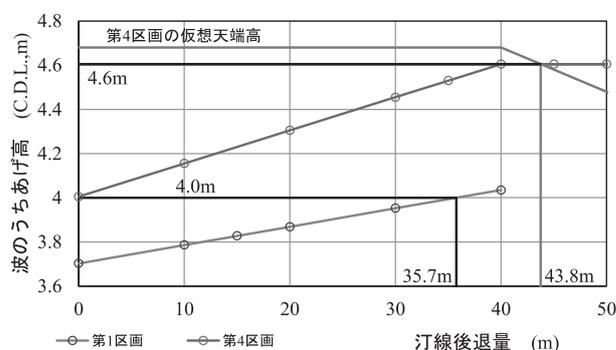
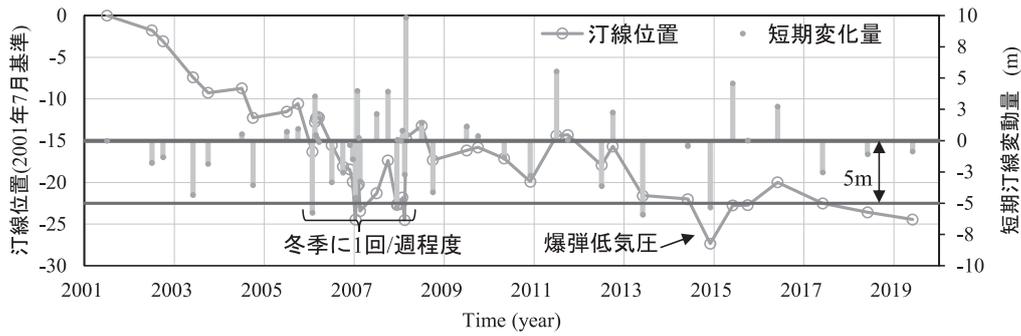


図-7 各区画の措置段階となる汀線後退量と波のうちあげ高

表-2 各区画の措置段階の浜幅

	設計浜幅	後浜幅	限界汀線後退量	限界浜幅	措置段階浜幅
第1区画	70 m	-	35.7 m	34.3 m	35 m
第4区画	74 m	34 m	43.8 m	30.2 m	35 m



図一八 第1区画における過去20年間の汀線位置の経時変化

ている。養浜初期変形が収束する2013年以前は養浜初期変形の影響が含まれるため5mを超える変化も確認されるものの、冬季の汀線後退量は冬季前の汀線位置から5m程度となっている。予防保全段階の汀線位置は、措置段階となる汀線の位置より海側5mとする。

(c) 監視段階

監視段階は、砂浜の供用期間(50年)に後退すると予測される浜幅とする。汀線変化予測モデルは、Kuriyamaら³⁾が提案した岸沖漂砂による汀線変動推定モデルに地盤沈下と海面上昇の影響を加えたものである。モデルの変数は、沖波のエネルギーフラックスと汀線位置、地盤沈下と海面上昇に伴う汀線移動量、平衡断面の位置であり、次式で表される(1a)。

$$y_{s,i} = y_{s,0} + \sum_{j=1}^i \left(\frac{dy_s}{dt} \right)_j \Delta t \tag{1a}$$

$$\left(\frac{dy_s}{dt} \right)_j = a_{01} + a_{02} + a_1 E_j^2 + a_2 E_j + a_3 (y_{s,j-1} - y_{eq,j-1})$$

ここで、 y_s は汀線位置(海方向が正の方向)、 t は時間。

t は時間間隔、 E は潜堤による波浪減衰を考慮した沖波のエネルギーフラックス(= $\rho g H_{1/3}^2 / 16$; $H_{1/3}$ は有義波高、 ρ は海水の密度、 g は重力加速度)、 a_{01} は地盤沈下と海面上昇による汀線変化速度((地盤沈下速度+海面上昇量)と海浜勾配の逆数との積)、 a_{02} 、 a_1 、 a_2 、 a_3 はそれ以外の係数、 y_{eq} は地盤沈下と海面上昇による平衡断面の移動量(=地盤沈下と海面上昇による汀線移動量の累積値 Σa_{01} 、海方向が正の方向)である。

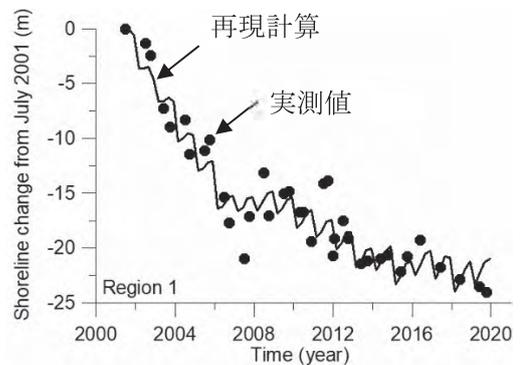
なお、モデルの仮定は以下のとおりである。

- ①汀線は、地盤沈下(7mm/年)および海面上昇(IPCC2019, RCP2.6)が生ずると、幾何学的に後退する。その量は、地盤沈下量と海面上昇量との和(地盤沈下量+海面上昇量)と海浜勾配との積で表

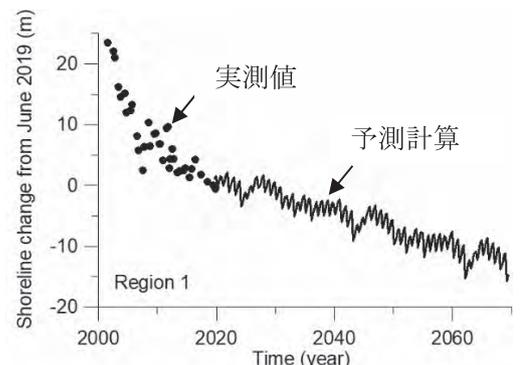
される。

- ②汀線は波浪の影響を受けて平衡断面に近づこうとする。一般的には、波浪が大きいほど平衡断面は岸側から侵食傾向となる。したがって、同じ侵食性の波浪が作用しても、あらかじめ侵食が生じていた断面では、堆積気味の断面に比べて汀線の後退量は小さくなる。
- ③平衡断面は地盤沈下と海面上昇によって陸側に移動する。その移動量は、地盤沈下と海面上昇による汀線移動量の累積値に等しい。

図一九は汀線位置の実測値と計算値の誤差が最小となるようにSCE-UA法(Duanら⁴⁾)により係数を



図一九 第1区画の汀線位置の再現計算



図一十 第1区画の供用期間の汀線位置の予測計算

表—3 経過年数と各段階の浜幅

経過年数	A (措置段階)	B (予防保全段階)	C (監視段階)	D (問題なし)
	波のうちあげ高>道路高もしくは後浜天端高となる浜幅 a(m)	一次的な汀線後退量 b(m)を考慮 (b = 5 m)	供用期間中に変化する浜幅 c (m) c : 供用期間×汀線後退速度	a + b + c ≤ 浜幅
2021年	浜幅 35 m 未満	35 m ≤ 浜幅 < 40 m	40 m ≤ 浜幅 < 60 m	浜幅 60 m 以上
10年	浜幅 35 m 未満	35 m ≤ 浜幅 < 40 m	40 m ≤ 浜幅 < 56 m	浜幅 56 m 以上
20年	浜幅 35 m 未満	35 m ≤ 浜幅 < 40 m	40 m ≤ 浜幅 < 52 m	浜幅 52 m 以上
30年	浜幅 35 m 未満	35 m ≤ 浜幅 < 40 m	40 m ≤ 浜幅 < 48 m	浜幅 48 m 以上
40年	浜幅 35 m 未満	35 m ≤ 浜幅 < 40 m	40 m ≤ 浜幅 < 44 m	浜幅 44 m 以上
50年	浜幅 35 m 未満	35 m ≤ 浜幅 < 40 m	浜幅 40 m	浜幅 40 m 以上

決定した再現計算結果を示したものである。計算値は実測値と良好に一致している。図—10は再現計算で設定した係数を用いて、供用期間50年の汀線位置を予測した結果である。供用期間50年間の汀線後退量は、5m刻みでまとめると20m（汀線後退速度：20m/50年：0.4m/年）となる。

(d) 砂浜維持管理のための各段階の浜幅

以上の結果をまとめると表—3のようになる。措置段階の汀線位置に高波浪時の汀線後退量5mを加えた汀線位置より汀線が沖側にあれば、背後域の安全性は確保されていることになる。新潟港海岸では汀線後退が継続しており、供用期間50年に対する平均的な汀線後退速度は0.4m/年と推定される。監視段階の浜幅（汀線位置）は、砂浜の供用年数と汀線後退速度から設定する考え方を提案している。この考え方は、供用期間残年数が50年の場合と、例えば残り10年となった場合の監視段階となる汀線位置は異なる。残供用年数が少なければ、汀線後退リスクも低下することを考慮したものである。以上のように、監視段階の浜幅は、供用期間残数に応じて変化する考え方を導入した。

6. 巡視点検項目

砂浜の巡視点検時項目は、海岸の安全な利用、景観等を維持する視点も必要であることから、以下の項目が必要と考える。それぞれの項目については、発生要因を分析したうえで、適切に対応する必要がある。

- ①各区画の汀線形状：突堤間の弧状汀線が保たれていない場合には、その要因を分析して対策する。
- ②汀線位置：表—3と照らして健全度を判断する。
- ③遡上痕跡：遡上高が後浜天端高に達している場合には、2次点検を実施する。
- ④浜崖：段差が大きく、安全性に問題がある場合は、立ち入り禁止措置等の緊急対応を実施する。
- ⑤洗掘：構造物の安定性に問題があると判断される場

合には、適切に対応する。

- ⑥陥没：予見は難しいものの、陥没が小規模でも確認できた場合には、ただちに立ち入り禁止措置等の緊急対応を実施する。
- ⑦漂着物：海岸利用等に影響すると考えられるゴミ、流木等がうちあげられている場合には撤去する。
- ⑧飛砂：飛砂対策工の制御効果が低下すると考えられる場合には、対策工回りの飛砂を除砂して海岸に戻す。

7. おわりに

本研究における主要な結論は以下のとおりである。

- a) 巡視時に容易に把握可能な汀線位置を砂浜の健全度を評価するための指標とする妥当性を確認した。
- b) 砂浜の維持管理も予防保全の考え方を踏襲し、砂浜の健全度を定義した。
- c) 地球温暖化による海面上昇、地盤沈下の影響を考慮した汀線変化予測モデルにより供用期間50年間の汀線位置を予測した。
- d) 供用残期間に応じて(C)監視段階、(D)問題なしの浜幅を定義する考え方を示した。

本研究における維持管理基準は沿岸漂砂による地形変化を考慮しなくて良い新潟港海岸をケーススタディとしており、他海岸で適用する場合には、次のことに留意する必要がある。海底地形のモニタリングを行った結果に基づく断面地形の変化予測を適切に行い、各海岸の特性を十分に把握して管理基準を設定する。

謝 辞

新潟西海岸技術委員会からの助言を得た。記して感謝の意を表します。

JICMA

《参考文献》

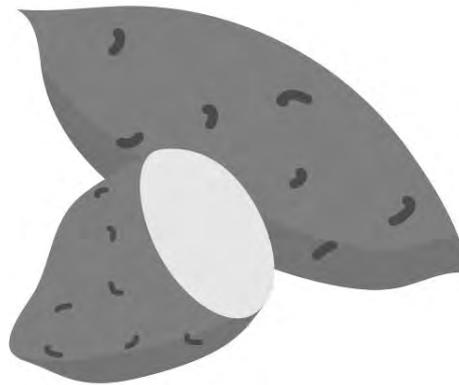
- 1) 高山知司, 池田直太, 永井紀彦, 高山優: 広天端幅潜堤の越波低減効果に関する不規則波実験, 第35回海岸工学講演会論文集, pp.587-591, 1988.

- 2) 片野明良, 清水利浩, 千田奈津子, 眞井里菜, 宇野喜之, 菊地野生 : 平坦な後浜天端幅を考慮した波のうちあげ高の算定方法について, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.78, 投稿中
- 3) Kuriyama, Y.,m. Banno and T. Suzuki: Linkages among interannual variations of shoreline, wave and climate at Hasaki, Japan, Geophysical Research Letters, 39, L06604, doi: 10.1029/2011GL050704., 2012.
- 4) Duan, Q. Y., V. K. Gupta and S. Sorooshian: Shuffled complex evolution approach for effective and efficient globalminimization, J. Optimization Theory and Applications, Vol. 73, No. 3, pp.501-521., 1993.



[筆者紹介]

宮坂 義朗 (みやさか よしあき)
国土交通省 北陸地方整備局
新潟港湾・空港整備事務所 第四建設管理官室
前任建設管理官



高知県須崎港における生物共生を考慮した港湾整備

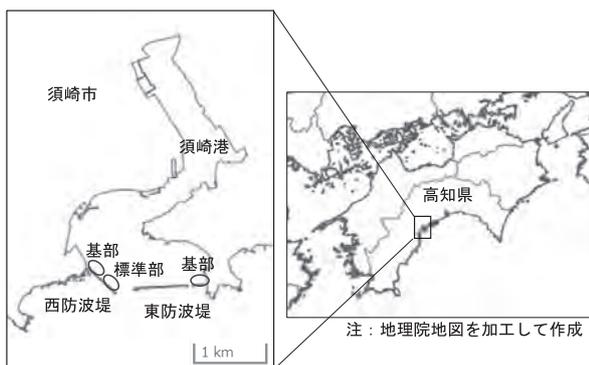
永 友 繁

高知県須崎港では、大規模地震等からの背後住民の生命と財産の防護および港内の静穏性確保を目的に湾口地区防波堤が整備され、現在は、東日本大震災を契機に粘り強い構造への補強等の改良工事が行われている。改良工事の腹付け工の補強により防波堤基部に創出された浅場において、平成 27～令和 4 年度に藻場造成実証試験を実施し、約 0.2 ha の藻場形成に成功した。この造成藻場は、生物の生息場となっているほか、ブルーカーボン生態系として機能し、年間 1.3 トンの CO₂ を固定すると試算された。また、防波堤本体では、リサイクル材である鉄鋼スラグ水和固化体の海藻類の着生基盤としての有効性判定試験も行い、南方系ホンダワラ類とテングサ類の着生に効果があると確認された。以上の結果は、周辺の天然藻場が磯焼け状態に陥っている現状において、港湾整備の大きな可能性を示唆している。

キーワード：港湾整備、環境配慮、生物多様性、藻場造成、磯焼け対策、ブルーカーボン

1. はじめに

高知県須崎港（図—1）は、土佐湾のほぼ中央に位置し、リアス式海岸の地形を生かした天然の良港である。湾奥には年間 430 万トンの生産能力をもつセメント工場、また背後には日本有数の石灰石の生産量を誇る鳥形山鉱山を有し、セメントおよび石灰石の積出港として発展してきた。現在は、高知県全体の港湾取扱貨物量の 8 割（令和元年、フェリー貨物を除く）、県下最大の貨物量を取り扱っている。須崎港は、入り口が広く、奥が深く狭いため、過去幾度となく大きな津波被害を受けてきた。そのため、津波から背後住民の生命と財産を防護すること、港内の静穏性を確保することを目的に、昭和 58～平成 25 年度にかけて湾口地区防波堤（西防波堤および東防波堤）が整備された。

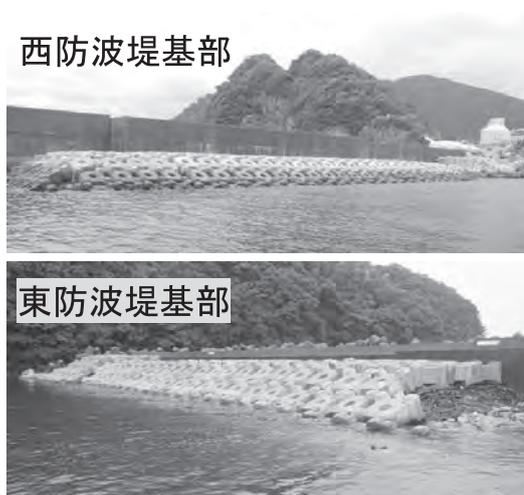


図—1 高知県須崎港（プロジェクト実施場所）

さらに、平成 23 年の東日本大震災以降は、大規模地震・津波に備えた粘り強い構造への補強等の改良工事が進行中である。この改良工事では、防波堤の腹付け工の補強により浅場が創出されたので、その浅場において、平成 27～令和 4 年度に藻場造成実証試験（本プロジェクト）を行った。

2. プロジェクト実施場所

藻場造成実証試験の実施場所は、湾口地区防波堤の西防波堤標準部と基部および東防波堤基部の港内側（防波堤背後）の腹付け工（図—2）の補強により創



図—2 西防波堤基部および東防波堤基部の腹付け工

出された浅場である。この防波堤背後の浅場は通常利用されることはなく、本プロジェクトではこの利用水域の有効活用を目指した。なお、防波堤周辺には岩礁域があるものの、植食性動物であるウニ類(ガンガゼ、ムラサキウニ等)が多く、その食害により藻場が衰退した磯焼け状態となっていた。

3. プロジェクトの概要と成果

(1) 防波堤基部の腹付け工における藻場造成

西防波堤基部および東防波堤基部の腹付け工により創出された浅場において藻場(ガラモ場)造成を実施するにあたり、以下の予備試験および検討を行った。

①対象海藻種の選定

当該場所において、周辺に生育している海藻類(藻場構成種)を中心に移植試験を行い、有望種を選抜した。移植試験に供した種は、温帯性ホンダワラ類(もともと須崎港周辺に生育しているホンダワラ類)のマメタワラ、トゲモク、ヒラネジモクおよびヨレモクモドキ、南方系ホンダワラ類(地球温暖化により分布が北上している種で、土佐湾では20年ほど前から確認されている¹⁾)のキレバモクおよびヒイラギモクのほか、コンブ類のカジメ、ワカメおよびヒロメであった。移植後の生育状況をそれぞれ観察して当該場所における藻場造成種としての適性を評価した結果、南方系ホンダワラ類のキレバモクおよびヒイラギモクを適種として選定した。

②食害防止対策

本実証試験では、植食性動物による食害を調査し、その防止対策を検討した。須崎港周辺で調査したところ、ガンガゼやムラサキウニといったウニ類、ブダイやアイゴといった植食性魚類が食害生物として認められ、天然藻場はウニ類の食害を受けて磯焼け(ウニ焼け)状態にあり、植食性魚類の摂食圧も高いことが確認できた。これらの食害の防止対策として、ハード対策としては、大型の食害防止ネット、小型の食害防止カゴの設置を、ソフト対策として、ダイバーによるウニ類の除去を検討した。その結果、ネットおよびカゴは、食害生物の侵入は防ぐことができるが、カゴおよびネットへの付着生物による目詰まりやネットの沈下、高波浪による破損等により長期間の維持管理は困難であると確認された。一方、ダイバーによるウニ類の除去は、一定期間をおいて繰り返すことで効果を持続させられることが確認された。

③環境改善・創造の効果

平成30年度に整備が完了した西防波堤基部腹付け

工区、および令和2年度に整備が完了した東防波堤基部腹付け工区では、令和4年6月の海藻繁茂期に、南方系ホンダワラ類を主体とする藻場(ガラモ場)が全域(計約0.2ha)に形成されていることが確認できた(図-3)。南方系ホンダワラ類は春季を中心に半年ほど繁茂することから、その藻場は「春藻場」と呼ばれる。この時期は植食性魚類の摂食圧が小さい時期に相当し、須崎港周辺では春藻場の形成が有利であったと考えられる。因みに、温帯性のホンダワラ類は周年繁茂し、その藻場は「四季藻場」と呼ばれる。

本実証試験では、防波堤基部の腹付け工の補強により浅場が創出されたこと、植食性魚類の摂食圧が小さい時期に藻場を形成する南方系ホンダワラ類を採用したこと(西防波堤基部ではスポアバッグ法による移植を実施、東防波堤基部は周辺からの自然加入)、および、もう一つの食害生物であるウニ類の除去を継続したことが藻場造成の成功につながった。かつて須崎港周辺に形成されていた四季藻場は、人為的に造成したとしても、ハード対策で植食性魚類の食害から守ることは困難であることを考慮すると、人工造成対象としては不利であろう。同様のことは、防除が難しい植食性魚類の摂食圧が高い海域に共通すると考えられ、ここでは南方系ホンダワラ類の藻場造成が推奨される(須崎モデルと命名)。

須崎港および周辺の岩礁域の天然藻場はほとんど磯焼け状態にある。本実証試験で造成された藻場は、天然藻場に代わって生物の生息場として重要な役割を果たすにとどまらず、ブルーカーボン生態系として機能して年間1.3トンのCO₂を固定すると試算されている。将来は、この造成藻場が藻類の分布拡大の核となり、カーボンニュートラルポータの実現に寄与することも期待できる。

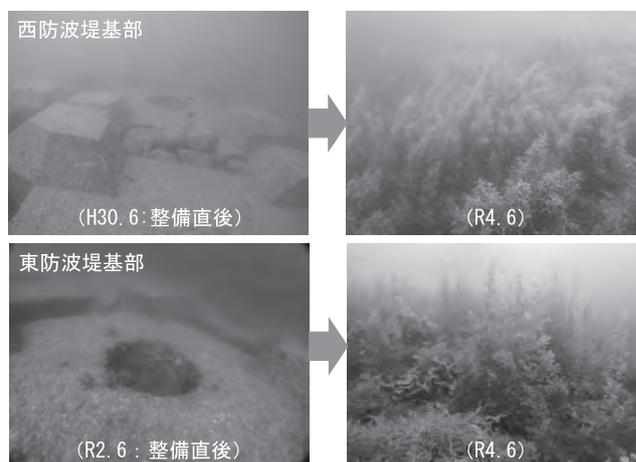


図-3 防波堤基部の腹付け工に造成した藻場

(2) リサイクル材である鉄鋼スラグの効果的活用

本実証試験では、鉄鋼スラグ水和固化体（結合材として高炉スラグ微粉末（セメントの代替）を、骨材として製鋼スラグ（天然石砂の代替）を材料として製造するリサイクル製品：以後、鉄鋼スラグとする）の海藻附着基質としての有効性を見るための海藻類の着生試験も行った。その結果、鉄鋼スラグは、碎石状では天然石と同程度、プレート状ではコンクリートと同程度の着生効果を有することが確認された。その内容は以下のとおりであった。

①西防波堤標準部での検討(人工碎石, 鉄分供給ユニット)：平成 27～令和 3 年度

西防波堤標準部(天端の水深:D.L.-4 m)において、鉄鋼スラグで作製した人工碎石(実験区)と天然石(対照区)を藻礁基盤として海藻類の着生生育状況を比較した。藻礁基盤の粒径はいずれも約 30 cm としたが、人工碎石については粒径約 20 cm および約 10 cm の試験区も設定した。なお、着生効果は、南方系ホンダワラ類およびテングサ類(とてんの原料)で評価した。その結果、テングサ類では、人工碎石で天然石と同等以上の着生効果が確認され、粒径が小さいほど被度(海藻類を上方から観察して附着基盤に投影し、それが覆う面積の割合)が大きい傾向にあった(図-4)。また、南方系ホンダワラ類では、藻礁基盤上ではほとんど着生はみられなかった。

着生基盤としての機能のほかに、鉄鋼スラグには鉄分供給の機能も期待されている。そこで、鉄分供給ユニット(転炉系製鋼スラグと人工腐植土を混合し麻袋に入れ、その麻袋を鋼製のボックスに入れたもの)を 2 基設置してその効果を評価することとした。その結果、鉄分供給ユニットには明瞭な海藻類の生育促進効果等は確認されなかった。このことは、須崎港では、自然海水中の溶存鉄は不足していないことを示してい

る。以上のことから、須崎港においては、鉄鋼スラグは鉄分供給ではなく、海藻類の着生基盤としての活用を図ることが適当である。

②西防波堤基部での検討(プレート, 人工碎石)：平成 30～令和 4 年度

人工碎石のテングサ類に対する着生効果が確認されたことから、次のステップとして、プレート状の鉄鋼スラグの着生効果を観察した。プレートは被覆ブロックの表面を模したもので、将来の鉄鋼スラグの活用を見据えたものである。

西防波堤基部の水深 D.L.±0~-5 m に設定した藻場造成地に、鉄鋼スラグで作製したプレート状および碎石状の藻礁基盤を同一の 3 区域に設置し、海藻類の着生生育状況を比較した。プレート基盤の設置様式は、以下の 7 通りとした(図-5)。

- ・プレート水平設置(被覆ブロックの天端に貼付け)
 - 3 条件：溝あり、溝なし、コンクリート(ブロック表面：対照区)。プレートの大きさは、縦 40 cm、横 70 cm、厚さ 7 cm、溝の幅と深さは 3 cm。

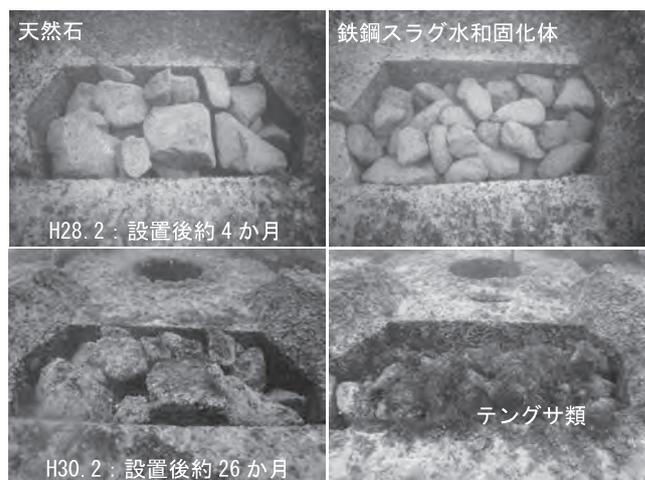


図-4 西防波堤標準部に設置した藻礁基盤(海藻生育状況)

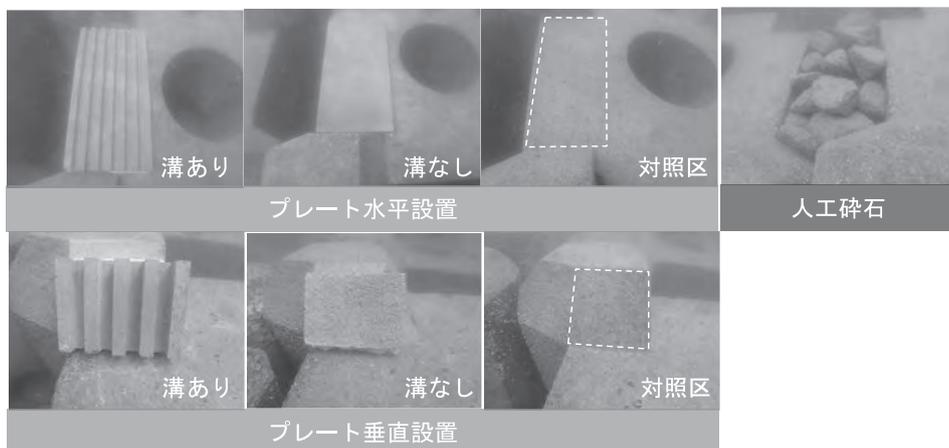


図-5 西防波堤基部に設置した藻礁基盤

- ・プレート垂直設置（被覆ブロックの脚部側面に貼付け）3条件:溝あり、溝なし、コンクリート（ブロック表面:対照区）。プレートの大きさは、縦27cm、横20cm、厚さ7cm、溝の幅と深さは3cm。
- ・人工砕石（被覆ブロックの間に間詰め）1条件:粒径約30cm。

溝の有無およびプレートの水平垂直方向の設定は、海藻類の生育阻害要因となる細粒分堆積の影響を検討するためのものである。なお、着生効果は、前記試験同様南方系ホンダワラ類およびテングサ類で評価した。

テングサ類の被度は、コンクリートブロック表面に比べて鉄鋼スラグプレートで高く、さらに人工砕石でより高かった。プレートでの被度は、設置後2年ほどはコンクリートに比べて高いものの、他の直立海藻の増加に伴い相対的に低下し、最終的にはコンクリートでの被度と同程度となった。この傾向は、垂直設置・溝ありの条件で顕著であったことから、溝の効果は限定的であることが示唆された。なお、人工砕石では、設置後5年においても被度の高い状態が維持されたことから、鉄鋼スラグのテングサ類に対する着生効果は、砕石状で高いといえる。南方系ホンダワラ類の被度は、プレートとコンクリートではほぼ同程度であり、人工砕石ではほとんど着生はみられなかった。なお、プレートでは、水平設置・溝なしの条件で被度が高い傾向にあった。

③東防波堤基部での検討（プレート）：令和3～4年度

前記の西防波堤基部における試験では、鉄鋼スラグの対照区とした被覆ブロックは藻礁基盤よりも数ヶ月前に設置されていたものであった。そこで、東防波堤基部では、鉄鋼スラグとコンクリートのプレートを同時に設置し、同一条件で南方系ホンダワラ類に対する着生効果を観察した。

東防波堤基部の水深D.L.-3mにおいて、鉄鋼スラグおよびコンクリートのプレートを並べて設置し、また、周辺の南方系ホンダワラ類の天然藻場内にも同様の試験区を設けた。プレートの大きさは、縦30cm、横50cm、厚さ4cm、表面は平滑（溝なし）とした。南方系ホンダワラ類の被度は、鉄鋼スラグとコンクリートでほぼ同程度であった（図-6）。

④環境改善・創造の効果

上述のように、鉄鋼スラグには、南方系ホンダワラ類とテングサ類に対する着生効果が確認された。鉄鋼スラグが低炭素型の構造物・リサイクル材であるという特性を考慮するならば、港湾整備においてコンク

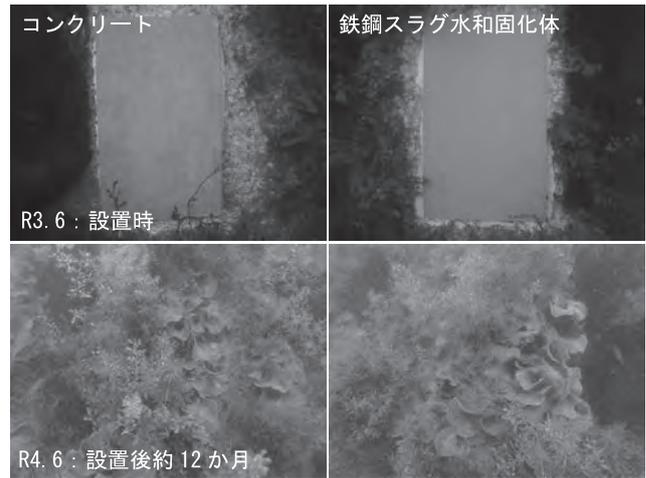


図-6 東防波堤基部に設置した藻礁基盤（海藻生育状況）

リートや天然石材の代替として有効に活用することが期待される。

4. 本プロジェクトの新規性

本プロジェクトの新規性として、以下の3点が挙げられる。

- ・防波堤腹付け工において藻場造成に成功したこと。
- ・リサイクル材である鉄鋼スラグの港湾整備における効果的な活用方法を明らかにしたこと。
- ・約8年間の長期間に及ぶ藻場造成実証試験において詳細なモニタリングを行ったこと。

5. 本プロジェクトの信頼性・安全性・経済性

本プロジェクトの信頼性・安全性として、以下の4点が挙げられる。

- ・防波堤改良工事において、腹付け工による浅場が創出されたことで防波堤本体の強度が増したこと。
- ・防波堤の腹付け工において活用方法を検討した鉄鋼スラグ（リサイクル材）は、一定の技術的知見、利用実績がある環境資材であること。
- ・鉄鋼スラグの効果を、現地実証試験においてコンクリートおよび天然石を比較対照として、統計解析による有意差判定が可能のように複数サンプルによる現地実証試験を実施したこと。
- ・代替材として鉄鋼スラグを活用するコストは、規模にもよるが、砕石状では天然石、ブロック状ではコンクリートと同程度である。鉄鋼スラグ活用による天然資源の節約、製造時のエネルギー節約・CO₂排出の抑制等、想定される付加価値は少なくない。

6. 社会での活用

本プロジェクトの成果の主な活用実績として、以下の2点が挙げられる。

- ・防波堤の腹付け工に造成した藻場が生物の生息場となっている。具体的には、春～初夏に藻場を形成する南方系ホンダワラ類のほか、テングサ類等が周年生育し、特に後者は須崎港周辺においても水産有用種として価値の高いイセエビの幼生の育成場になっている上に、防波堤そのものはイセエビ成体の生息場として知られている。
- ・防波堤の腹付け工に造成した藻場は、水産庁支援の水産多面的機能発揮対策事業において、地元漁業関係者を主体とした協議会によって利用され、アワビ稚貝の放流事業に貢献していること。

7. おわりに

本プロジェクトは、(一財)みなと総合研究財団様、国土交通省四国地方整備局様、高知港湾・空港整備事務所様と共同で実施した。また、プロジェクト実施にあたっては、地元漁業関係者、須崎市、高知県の皆様には多大なご協力をいただいた。共同実施者およびご協力いただいた各位に深く謝意を示します。

JCMA

《参考文献》

- 1) 原口展子・山田ちはる・井本善次・大野正夫・平岡雅規. 高知県萩崎地先におけるホンダワラ群落の構成種. *Bull. Mar. Sci. Fish., Kochi Univ.*, No.24, 1-9. 2006.

【筆者紹介】

永友 繁 (ながとも しげる)
三洋テクノマリン(株)
東京支社 技術部 環境コンサルタントグループ
グループ長



長崎港における人流・交流を核とした賑わい創出

PPP/PFI 事業の導入可能性検討

梯 浩史郎

本県が管理する重要港湾の一つである長崎港の周辺では、みなとと一体にまちが変化しており、100年に一度の変革期とも言われている。本稿では、人流・交流を核とした賑わい創出として、本県港湾課が実施している、長崎港松が枝地区での新国際ターミナル整備検討等や元船地区整備構想の検討状況について、港湾施設への適応事例が少ないPFI事業の導入に向けた検討状況を交えながら、紹介する。

キーワード：長崎港、人流、交流、賑わい、PPP、指定管理者制度、PFI

1. はじめに

九州の西端に位置する長崎港は、南西から北東に深く湾入して、港口付近に大小の島を有した天然の良港であり、その姿から「鶴の港」と讃えられてきた。

長崎港の開港は450年以上遡る。長崎港は、ポルトガル船の入港を契機に1571年に開港して以来、西洋・東洋を問わず海外との交易を通じて幅広い文化に触れ、取り込むことで独自の文化を発展させてきた国際貿易港である。

長崎港の優位性は、天然の良港であることだけでなく、日本本土の最西端に位置し、韓国・中国・東南アジア方面と近いといった地理的優位性（図-1）により、それらとの結びつきが強いことである。これらを生かし、国際貿易港として今日までの地位を築き上げ、本県だけでなく、日本の経済や文化の進展に重要な役割を

果たしてきた長崎港は2021年に開港450周年を迎えた。

現在、長崎港周辺では、2022年9月に開業した九州新幹線西九州ルートをはじめ、長崎駅周辺整備と一体となった新たな商業施設・ホテルの建設が終盤を迎えている。そのほか、隣接エリアでは、サッカースタジアムや、バスケットボールのホームアリーナなどと複合した商業開発が進められているなど、長崎のみならず、100年に一度と呼ばれる変革期を迎えている。また、長崎港周辺には、世界文化遺産である「明治日本の産業革命遺産」、「長崎と天草地方の潜伏キリシタン関連遺産」の構成資産が隣接しており、国内だけでなく、海外との交流人口の拡大が期待されている。

そのような中、本県港湾課において、国土交通省の協力を得ながら、特に、人流・交流を核としたみなとまちづくりを推進している。長崎港の内港地区のうち（図-2）、松が枝地区にて、クルーズ船の2隻同時着

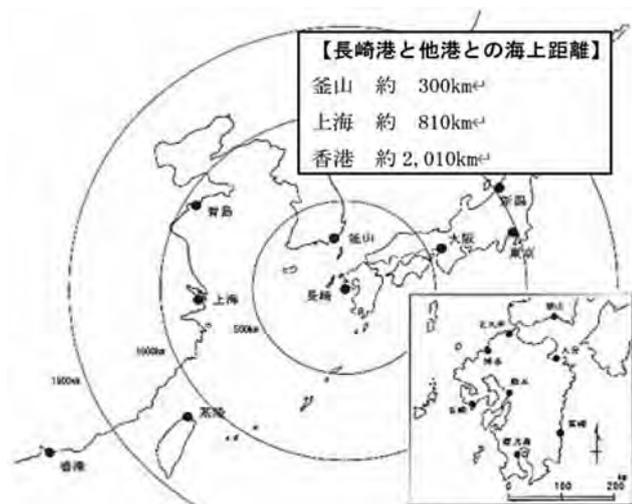


図-1 長崎港の位置



図-2 長崎港の各地区

岸が可能となる「長崎港松が枝地区旅客船ターミナル整備事業（以下、松が枝2バース事業とする。）」の事業推進や離島航路を有する海の玄関口である元船地区において、港湾機能の強化や賑わいの創出を目的とした「長崎港元船地区整備構想（以下、元船整備構想とする。）」の策定を鋭意進めていることである。

本稿では、人流・交流を核とした賑わい創出を目的とし、松が枝2バース事業と一体となった新国際ターミナル等の整備検討や、元船整備構想の策定経過に関し、導入を検討しているPPP/PFI事業を交えながら、紹介する。

2. 松が枝2バース事業

(1) 長崎港におけるクルーズ船のこれまで

長崎港は、立体的で美しいまちなかに直接クルーズ船が接岸できるなど、まち全体で上質なおもてなしが可能な港であり、クルーズ船初入港となる1958年のカロニア号以来、数多くのクルーズ船が寄港し、クルーズ船社からも高い評価をいただいている（写真-1）。そのような長崎港では、全国で初めての10万総トン級クルーズ船専用岸壁や、国内最大級の入国審査ブースを持つ国際ターミナルの整備など、クルーズ船受入体制強化に努めてきた。

2010年頃以降は、東アジア地域におけるクルーズ市場の拡大に伴い、一衣帯水の位置にある長崎港へのクルーズ船の寄港も急増しており、2017年は過去最高の267隻が寄港し、70万人を超える人流を生み出すなど、全国有数のクルーズ港として活躍している。なお、現在の国際ターミナル運営については、PPP手法のうち、多くの自治体で採用されている「指定管理者制度」を導入しており、ターミナルだけでなく、周辺駐車場や緑地も一体管理を実施することにより、円滑なクルーズ船受入体制の構築と、美しいみなとま



写真-1 長崎港クルーズ船寄港状況（2023年7月21日）

ちの景観を保っている。

そのような中、政府において、「明日の日本を支える観光ビジョン」を策定し、訪日クルーズ客の目標を設定し、クルーズ船への機運を高めてきたところ、これまでリーディングポートとして日本のクルーズ需要を支えてきた長崎港のポテンシャルをさらに高める必要性が認められ、2020年に大型クルーズ船の2隻同時着岸が可能となる「松が枝2バース事業」が新規事業化された。

その後、コロナ禍のため、長きに渡り国際クルーズ船の運航休止が続いたものの、今年3月に長崎港において、およそ3年ぶりに国際クルーズ船の受入を再開し、年末までで全国トップクラスとなる100隻以上の国際クルーズ船が寄港する見込みであるなど、クルーズ船によるみなとまち長崎の賑わいが少しずつではあるが、取り戻されつつある（表-1）。

表-1 主要港のクルーズ船寄港状況（2023年9月時点）

港湾名	寄港回数（寄港済み）			備考
	全体	うち外国籍	うち日本籍	
長崎港	61回	61回	0回	12月末まで：104回
東京港	32回	20回	12回	11月末までの入港予定を掲載（11月末まで：48回）
横浜港	117回	64回	53回	12月末までの入港予定を掲載（12月末まで：171回）
大阪港	33回	33回	0回	11月末までの入港予定を掲載（11月末まで：46回）
神戸港	56回	36回	20回	10月末までの入港予定を掲載（10月末まで：75回）
青森港	26回	21回	5回	11月末までの入港予定を掲載（11月末まで：37回）
金沢港	33回	25回	8回	11月末までの入港予定を掲載（11月末まで：34回）
清水港	34回	31回	3回	10月末までの入港予定を掲載（10月末まで：53回）
広島港	38回	37回	1回	12月末までの入港予定を掲載（12月末まで：70回）
博多港	45回	34回	11回	12月末までの入港予定を掲載（12月末まで：79回）
北九州港	6回	6回	0回	9月末までの入港予定を掲載（9月末まで：8回）
佐世保港	7回	6回	1回	12月末までの入港予定を掲載（12月末まで：19回）
八代港	10回	8回	2回	10月末までの入港予定を掲載（10月末まで：14回）
鹿児島港	59回	55回	4回	11月末までの入港予定を掲載（11月末まで：83回）
油津港	9回	6回	3回	11月末までの入港予定を掲載（11月末まで：15回）
那覇港	50回	43回	7回	12月末までの入港予定を掲載（12月末まで：96回）

(2) 長崎港におけるクルーズ船のこれから

前述した、大型クルーズ船の2隻同時着岸が可能となる「松が枝2バース事業」は、既存の延長410m/水深-10mの岸壁南側に連続バースとして、延長410m/水深-12mの岸壁を新たに設け、新岸壁の背後は、港湾埠頭としての機能を強化するため、水域の埋立を実施するものである（図-3）。

これまでの1バース体制では、寄港をお断りせざるを得なかったクルーズ船も多数存在したが、2バース体制が確保されることにより、更なるクルーズ船寄港が可能となり、より多くの人流を創出することが可能となる。



図-3 松が枝2バース事業の概要



図-4 新国際ターミナル等の施設配置計画

その多くの人流を、地方創生の拠点として、交流へと導き、本県の経済効果を更に高めていく必要がある。そのためには、以下の課題を解決する必要がある。現在、埋立予定地を含めた区域において、各種施設の整備計画を検討しているところである（図-4）。

(a) 「クルーズ船の受入拠点となる国際ゲートウェイ機能の強化」に関する課題

「国際観光都市長崎」の海の玄関口として、クルーズ船の2隻同時寄港に十分な入出国審査ブースと税関審査ブース及び円滑な交通結節が可能となるツアーバス駐車場やタクシー発着所を確保するなど、インバウンドだけでなく、発着港としても利用可能な基盤施設に強化していくことが課題である。

それら課題解決のためには、2つの岸壁の中央部周辺に、クルーズ船2隻同時寄港や発着利用に迅速な対応が可能な機能や面積を有した新国際ターミナル（出入国審査、税関・検疫検査）を整備し、クルーズ客の陸上交通への転換がスムーズに行えるよう、十分な駐車台数を兼ね備えたツアーバス駐車場やタクシー・シャトルバスの乗降施設機能をターミナルに隣接配置することが必要である。

また、クルーズ客だけでなく、乗組員や県民市民、観光客等にとっても快適に活用できるよう、十分な広さを兼ね備えた景観性の高い緑地空間や休息スペース、レクリエーション機能、観光案内機能などの観光

交流空間を新国際ターミナル内やその周辺に備えることで、すべての来訪者に対し、満足な長崎港とすることが重要となる。

(b) 「国内外の観光客の快適な移動を支える交通結節機能の強化」に関する課題

クルーズ船と陸上交通の接続が充実し、県内周遊や市内広域観光、長崎駅、まちなか、さらに世界遺産が集積する山手地区へ円滑に移動できる各種交通と連携した利便性の高い交通結節機能を強化していくことが課題である。

松が枝地区から長崎のまちなか、更には県内全域へ好影響を波及させるためには、利便性の高い交通結節機能が必要となるため、前述したツアーバス駐車場やタクシー・シャトルバスの乗降施設機能だけでなく、渋滞や安全性を考慮した道路機能を備え、幹線道路まで接続する必要がある。また、それらの道路については、歩行動線を兼ねることから、単なる歩道ではなく、プロムナード機能を備え、ウォークアブルなみちづくりを行うことで、みなとまち長崎の良さを認識してもらう必要がある。そのほか、高台に位置する南山手地区やまちなかへ利便性の高いモビリティを活用し、接続させることで周辺の回遊性を高めていくことも重要である。

このような中、これらの課題 (a)、(b) を解決していくためには、従来どおりの行政だけの整備・運営では、困難かつ非効率であり、いかに民間活力を導入していくかが重要であると考えられる。そのため、現在、これらの課題解決及び更なる発展に向け、PFI事業の導入可能性を検討しているところである。

(3) 新国際ターミナル等に関するPFI事業の導入に向けて

御存知の方も多いと思うが、PFIとは、Private Finance Initiativeの略称であり、PFI法（民間資金等の活用による公共施設等の整備等の促進に関する法律）に基づき、公共施設等の建設、維持管理、運営等を民間の資金、経営能力及び技術的能力を活用して行う手法のことである。

本件に関しては、ターミナルやツアーバス駐車場、周辺緑地整備に関する民間事業者ノウハウ活用や民間事業者による一体的な自主事業の実施を促すことで、クルーズ客や乗組員にとって、来訪満足度の高い受入体制を整えることを狙いとする。また、併せて、施設の利活用や土地の有効活用により、観光客だけでなく、周辺利用者へのサービス力を向上させ、地域全体の賑わい創出に繋げることといった観光交流機能強化に資する狙いがある。また、設計・施工・管理一体型

によるコスト縮減効果や、長期的な運営による質の高いサービスを提供するといった行政側のメリットも踏まえ、PFI事業の導入を検討している。

そのため、現在、以下の内容の一括によるPFI事業導入可能性を調査し、事業スキームを検討している。

- ・新国際ターミナルの設計、整備、運営、維持管理
- ・駐車場の設計、整備、運営、維持管理
- ・緑地、広場の設計、整備、運営、維持管理
- ・既存ターミナルの収益施設としての改修、運営、維持管理
- ・そのほか、自主事業としての収益施設整備、運営、管理現時点で、民間事業者との対話を重ね、組み立てている事業スキームは、BTO方式（独立採算型）である。

BTO方式とは、Build Transfer Operateの略称であり、PFI事業方式の一つである。主な流れとしては、PFI事業者が施設を設計・建設し、完工後に行政に施設所有権を譲渡する。その後、契約期間満了日まで、施設運営や管理をPFI事業者が担い、期間終了後も施設所有権は行政が持ち続けるという方式である。本件において、運営の主要施設となる新国際ターミナルは、CIQ機能（出入国審査、税関・検疫検査）が大部分を占めるため、運営に関する県の関与度を担保する必要がある。そのため、BOT方式、BOO方式など、維持管理・運営期間の施設所有権が「民間」である方式は、公共性の高いCIQ機能を有するなか、公共側の自由度に課題があることや、固定資産税負担等を踏まえた賃料の支払いが必要となることなどから、デメリットも多く、BTO方式の導入が望ましいと考えている。

また、事業類型は、行政側の最終収支が赤字とならない、独立採算型の導入を目指している。官民のどちらがどの時点で、資金調達するかといった調整は今後必要であるが、施設整備費等のインシヤルコストだけでなく、維持管理・運営等に必要ランニングコストまで含め、施設利用料収入をもとに償還していくことを想定している。

ここで主な収入として見込んでいるのが、「(仮称)ターミナル利用料」である。長崎港では来年度からの徴収開始を予定しているが、他港（横浜港、博多港、八代港、佐世保港など）では、既に徴収しており、徴収金額はクルーズ客1名当たり、概ね500円～1,500円程度である。前述したとおり、長崎港には、クルーズ客が過去最高で約70万人来訪しており、松が枝2バス事業により2バス体制となることから、更なる来訪者の増加を想定している。そのため、今回は、本利用料収入を原資とし、ターミナル等施設整備や運

営費用等に充てていくことを基本としたPFI事業スキームの構築を進めているところである。

しかし、課題もある。それは、クルーズ需要が安定的かつ長期的に継続していくか否かである。前述したとおり、コロナ禍によるクルーズ船への影響は大きく、約3年にわたり、国際クルーズ船の催行は中止もしくは大幅な縮小を余儀なくされた。また、日本におけるクルーズ寄港の多くは、東アジアに依存している。そのため、中国や韓国をはじめとして国際情勢の動向によっては、クルーズ需要に大きな影響を与える可能性がある。

PFI事業は一般的に15年から30年程度といった長期間運営を実施する機会が多いため、適切なりスクヘッジをしておく必要がある。これまで、独立採算的に事業を実施、運営している事例のほとんどは、疫病等に関するリスクヘッジが官民間で曖昧になっていた。これからは、疫病に限ったことではないが、PFI事業、特に独立採算的手法を導入する場合においては、事業参画に興味がある事業者と綿密な個別対話を実施することで、官民で適切なりリスク分担制度を導入し、官民ともに自走可能な事業スキームの構築や公募資料を作成していく必要がある。

3. 元船整備構想の策定に向けて

(1) 元船整備構想策定に至った背景

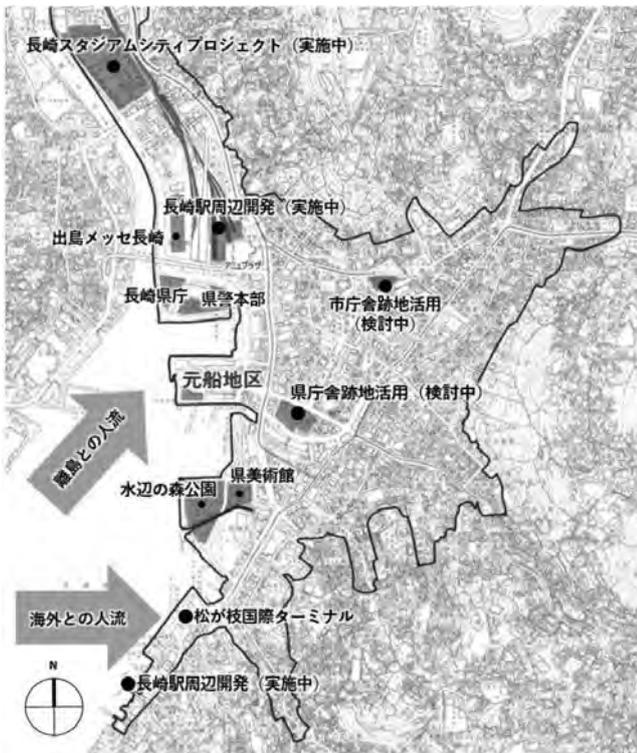
長崎港元船地区は、長崎市中心部に位置し、五島列島をはじめ、沿岸諸島への定期航路や「明治日本の産業革命遺産」の構成施設である端島への上陸・周遊クルーズなどが発着する「長崎港ターミナルビル」や、五島列島への物流機能となる上屋や遊歩道機能を有する「ドラゴンプロムナード」をはじめ、出島ヨットハーバーや商業・飲食施設が立地するなど、「海の玄関口」として、長崎港の港湾機能の中核を担うと同時に、多くの日常的な賑わいを見せている。

しかし、これら多くの施設は、1990年代前半に整備されており、供用後約30年が経過するなど、施設の老朽化や駐車場不足、道路渋滞等が課題となっている。そのため、2019年に民間事業者の独立採算による、ドラゴンプロムナードと駐車場施設の2施設の改修による機能向上と新たな賑わい創出について、事業者サウンディングを実施したが、この2施設に限定した、既存施設改修といった想定内容では、事業範囲が小さいことや、収益施設が少ないことを理由に、民間事業者による独立採算が成り立たないとの意見から、元船地区全体の改編計画検討が必要となった。

また、冒頭紹介したとおり、現在、長崎市周辺市街



図一五 長崎港元船地区の現況



図一六 長崎市街地周辺の開発状況

地では、昨年の西九州新幹線開業を含め、100年に一度といわれる変革の時期を迎えている(図一六)。特に臨海部の南側では前章の松が枝2バース事業によるクルーズ船の更なる入港増加など、インバウンドを軸とした賑わいの創出や地域活性化を目指しており、中心部では、新長崎駅ビルの新たなランドマークとして、商業施設やホテル、オフィスといった賑わい拠点施設が今年の開業予定とされている。北部では、長崎スタジアムシティプロジェクトとして、スタジアムを核としたアリーナや商業施設等の周辺開発が2024年頃の開業予定とされている。そのほか、まちなかでも長崎県庁跡地活用として、広場機能や情報発信機能、交流支援機能を兼ね備えた整備の基本構想が策定され、長崎市庁舎跡地にも新たな文化施設の計画が進め

られている。

このように長崎市街地の姿が大きく様変わりする中、元船地区の課題を解決しつつ、周辺地区と調和した「みなとづくり」のために、港湾機能の再編と併せ、港の賑わいを創出するための「長崎港元船地区整備構想」を策定し、まちなかと臨海部の連携を図っていくことにした。

(2) 元船整備構想の検討状況

同構想の検討・策定に当たり、今年5月に協議会を設立している。協議会は、長崎県副知事を議長とし、本県と長崎市の土木、まちづくり、観光関係部長、そして、旅客船協会や海運組合、コンベンション協会などの関係団体長、地元自治会長などの委員で構成している。

今年5月の第1回検討会議において、以下のとおり、整備構想のコンセプトや整備のポイントを取りまとめた(図一七)。整備コンセプトは、「長崎元船 OASIS ~海と船の楽しさ感じる, 島と食と人との交流空間~」である。OASISには、Ocean (海), Amuse (楽しさ), Ship (船), Seafood (食), Island (島), Intersect (交流), Space (空間)の意味を含め、コンセプトのサブタイトルを構成している。そのコンセプトを下支えるポイントを以下のとおり、5つ設定した。

(a) 暮らしを支える国内ターミナル機能等の強化による利便性向上

これは、ターミナル施設の機能向上や、駐車場、フェリー等が安定的に運航でき、効率的な物資供給が可能となる岸壁など、港湾埠頭としての機能強化を図るものである。そのための具体策として、ターミナルのバ



図一七 元船地区施設配置計画(案)

リアフリー化や、ボーディングブリッジの改修、駐車場を改築し、ターミナルと連結させることなどを想定している。そのほか、安定的なフェリー運航のため、岸壁の耐震検討や、可動橋の改修、船舶配置の見直しを実施したうえで、物流機能の強化のため、上屋機能の集約化や、機能高度化を図ることとしている。

(b) 臨海部を活かした観光・交流機能等による賑わいの創出

これは、観光クルーズやヨット利用の配置検討や、観光・交流機能・レクリエーション機能の強化といった、臨海部の更なる賑わい創出を図るものである。そのための具体策として、観光クルーズの発着施設や待合所の整備など、船舶を核とした賑わいづくりである。また、水辺を生かした魅力向上のため、民間資金を活用した観光・交流施設の誘致を図っていくが、その際の留意事項として、港であること、水辺であることを活かし、想起できるような交流施設誘致となるよう、行政によって開発コントロールをしていく必要があると考えている。そのほか、広場活用による賑わいづくりとして、地元ニーズとしても強く求められている広場や緑地を設けることにより、長崎くんちでの活用や、各種イベント開催、憩い空間となるような利用促進を図っていく。さらに、新たな整備を検討していく駐車場や上屋などにあっては、そのためだけの機能ではなく、限られた土地を有効活用するためにも、上層階や屋上部においては別機能での利用が可能となるよう、魅力の向上を図っていくことも重要であると考え。

(c) 車両や歩行者にとって優しいみちづくりによる利便性向上

これは、円滑な車両交通の実現や歩行者の安全性と回遊性の向上、各交通拠点からの元船地区への案内性向上を図るものである。そのための具体策として、道路拡幅や交差点改良、駐車場整備による交通渋滞の緩和や、公共交通によるアクセス性強化として、バス・タクシー乗降場・駐車場の整備や、新モビリティの乗降空間確保、シャトルバス等の誘致をしていくこととしている。また、歩行者回遊性の向上として、各施設間を連結することで、地上部だけではなく、2階レベル以上での地区内移動を可能となるよう、検討していくと同時に、歩行スペースに近接する広場空間では、恒常的なマルシェ等の開催を行うことで、歩くことが楽しくなるウォークアブルな空間を目指したい。

(d) 港、海が感じられる景観による魅力の向上

これは、眺望や夜景を含めた景観に配慮し、心安らげる空間の創出を図るものである。そのための具体策として、休息空間整備など、長崎港の広がりを感じる

ことのできる位置に広場を整備することで、景観を楽しむことのできる空間づくりを目指したい。また、元船地区を外から見た景観性として、世界新三大夜景である稲佐山からの夜景や、高台からみた外観として、デザイン性を確保していく必要がある。

(e) 公共、民間が連携した整備、運営、維持管理の実施による質の向上

これは、元船地区をさらに魅力あるみなとまちにしていくために、行政や民間、地元が連携し、利用者のニーズに柔軟に対応していくものである。そのためには、前章で記述した、PPP/PFI手法の導入検討を行い、効率的な整備、管理、運営を実施していく必要がある。

今年9月には、これらの整備コンセプトやポイントをもとに、第2回検討会議を開催し、施設の配置計画案について審議し、方向性が認められた(図-7)。今後は、これらの内容をもとにイメージパース図や大まかな整備スケジュール等を作成し、来年3月を目途に元船整備構想としてとりまとめていく予定である。

また、並行して、本構想の実現に向けたPPP/PFI事業の導入可能性調査として、今年から、民間事業者サウンディングを重ね、施設整備イメージや、事業スキームを構築していくこととしている。

4. おわりに

本稿では、人流・交流を核としたみなとの賑わい創出に関し、長崎港を例として紹介させて頂いた。日本では、高度経済成長期以降、1980年代頃から「総合的な港湾空間の創造」や、「豊かなウォーターフロント」というキーワードが生まれてきたが、一般市民などの地元住民や観光客などにとっては、近年、益々その存在意義が高くなってきている。港湾は、まちの中枢を担っており、港湾事業者以外の日常的な利用も多い。そのためにも、港湾荷役活動等には、十分な配慮をした上で、日常的な利用者にとっても、賑やかで、心落ち着ける空間として共存していけるよう心がけて、整備計画の一層の発展を目指し、100年に一度の変革期を長崎港港湾計画の大計へとつなげていきたい。

JICMA

【筆者紹介】

梯 浩史郎 (かけはし こうしろう)
長崎県 土木部 港湾課
主任技師



浚渫工事の水中可視化システム

マシンガイダンス+マルチビームソナーの河床可視化技術

新 開 貴 行

従来、バックホウ浚渫船による河床の掘削作業では、河床形状を直接、目で見ることができず、熟練オペレータによる経験と勘を頼りに作業を進めてきた。

マシンガイダンスの普及により、掘削高さのガイダンスは可能となっているが、リアルタイムに河床の現状を把握することは困難であり、作業船による深淺測量や潜水士による目視確認、ビデオ撮影による河床形状を確認する方法が主流となっている。

本報文では、バックホウ浚渫船に搭載したマシンガイダンス機能と新たに追加したマルチビームソナーの測量結果を連携させ、掘削作業中の河床形状がリアルタイムに把握できるシステムの開発について紹介する。
キーワード：バックホウ浚渫船、IT 土工、水中可視化、CIM、マルチビームソナー

1. はじめに

大河津分水路は、新潟県を流れる信濃川の洪水対策を目的に作られた人工河川であるが、近年のゲリラ豪雨や台風による流下能力不足に対する抜本対策となる河道拡幅（山地部掘削）に伴い改築が必要となった。当工事は、その改修事業のうち、増水時の洗堀防止と河口付近の減勢を目的とした床固めの改築工事である（写真-1、図-1）。

当工事では、バックホウ浚渫船による河川の掘削を行っているが、河床形状をリアルタイムに把握するこ

とが困難であり、作業船によるマルチビーム深淺測量または潜水士の目視やビデオ撮影により河床形状を確認し、その結果を基に追加施工や仕上げ掘削を実施している。本報文では、バックホウ浚渫船に搭載されたマシンガイダンス機能と新たに設置したマルチビームソナーの測量結果を連携させ、掘削中の河床形状がリアルタイムに把握できるシステムの開発について報告する。

2. 開発の目的

バックホウ浚渫船による掘削工事は、事前に実施する起工測量や進捗に合わせて実施する測量の結果や岩盤の地質調査結果などの数少ない情報を基に施工するため、オペレータの経験と技量に頼るところが大きい（写真-2）。しかし、現場で作業する技能者の高齢化



写真-1 大河津分水路全景

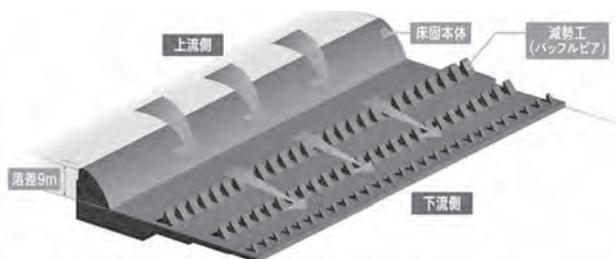


図-1 床固め完成図



写真-2 バックホウ浚渫船の掘削状況

や建設業のハードな労働環境のイメージから若手離れが進み、人手不足が深刻化している。現在では、ICT・IoTを駆使した技術力向上により人を選ばない施工の実現が求められており、水中施工の技術開発分野では水中可視化技術の開発が多く取り組まれている。

そこで、バックホウ浚渫船のブームに取り付けた傾斜計とGNSSを組み合わせたマシンガイダンス機能と、新たに設置したマルチビームソナーで入手した点群データをリアルタイムに連携させて画面に表示することにより、河床形状、掘り残しや土砂がバケットからこぼれた状況などを任意のタイミングで確認できるシステムを開発して、河床の可視化を目指した（写真—3）。

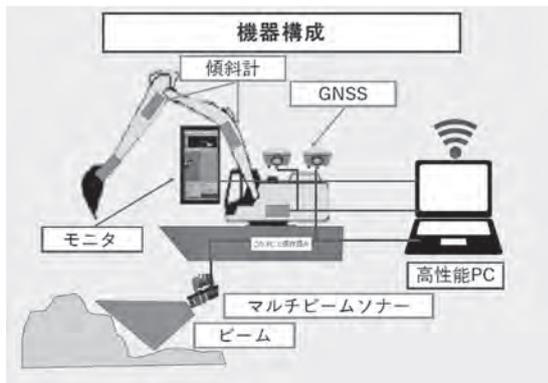
3. 技術の概要

(1) 機器構成

本システムの機器構成を図—2に示す。本システムは、バックホウに取り付けたマシンガイダンスと船首に取り付けたマルチビームソナーに大別される。マシンガイダンスの構成は、バックホウブームと本体に



写真—3 作業船による深淺測量状況



図—2 システムの機器構成

取り付けた傾斜計とGNSSからなり、バケットの刃先位置を把握する。掘削作業時でも障害の少ない船首に取り付けたマルチビームソナーの計測結果とマシンガイダンスによるバケット刃先位置情報を高性能PCによって統合して操縦席のモニタに表示される。これにより河床形状を確認しながら、バケット操作を行うことが可能となった。マルチビームソナーによる計測結果は、高性能PC内のクラウドアプリ（Box）を介して関係者全員で共有を行う。

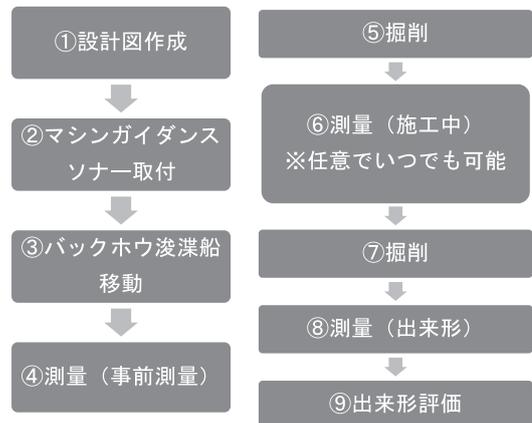
(2) システム活用フロー

システム活用フローを図—3に示す。

- ①掘削対象範囲の設計図を作成する
- ②バックホウ浚渫船にマシンガイダンス／マルチビームソナーを取り付ける
- ③掘削対象範囲に、バックホウ浚渫船を移動させる
- ④測量を行う（事前測量）
- ⑤測量結果を基に、バックホウ浚渫船で掘削作業を行う
- ⑥掘削作業後にマルチビームソナー測量を行い、進捗を確認する
※従来施工では、作業船による深淺測量を実施する
- ⑦測量結果を基に、バックホウ浚渫船で掘削修正作業を行う
※⑥と⑦の作業を繰り返す
- ⑧施工完了時に、出来形確認の測量を行う
- ⑨土量計算ソフトで出来形評価を行う

4. 施工実績

マルチビームソナーを搭載したバックホウ浚渫船による施工実績を以下に述べる。



図—3 システム活用フロー

(1) 掘削作業の生産性向上

①バックホウ浚渫船に搭載したマルチビームソナーによる測量を実施することにより、即座に河床の形状を更新できるため、掘削作業の進捗をリアルタイムに確認することが可能となった(図-4)。

⇒測量などによるバックホウ浚渫船の待機時間の削減につながった。

②バケット刃先位置と河床形状を一つのモニタで表示する。

⇒バケット刃先位置と最新の河床形状をリアルタイムに一つのモニタで表示することで、実際には見ることができない、水中の平面や断面情報を一度に確認することが可能となり、オペレータの経験や技量に頼らない水中掘削を実現することができた。

以下にモニタ画面(図-5参照)の各表示画面の説明を行う。

①リアルタイムな河床の形状(三次元)

マルチビームソナーで得られた測量結果が、即座に三次元の河床形状として表示される。

高さによって色分けされるので、直感的な高さの把握が可能。

②バケット刃先位置(断面)

バケット刃先位置と河床形状の詳細を確認するとき、拡大された断面として表示する。

③リアルタイムな河床の形状(二次元)

マルチビームソナーで得られた測量結果が、即座に二次元の河床形状として表示される。

上記項目1の三次元と同様に、高さによって色分けする。

④マルチビームソナー操作

マルチビームソナーの測量開始・停止を行う。

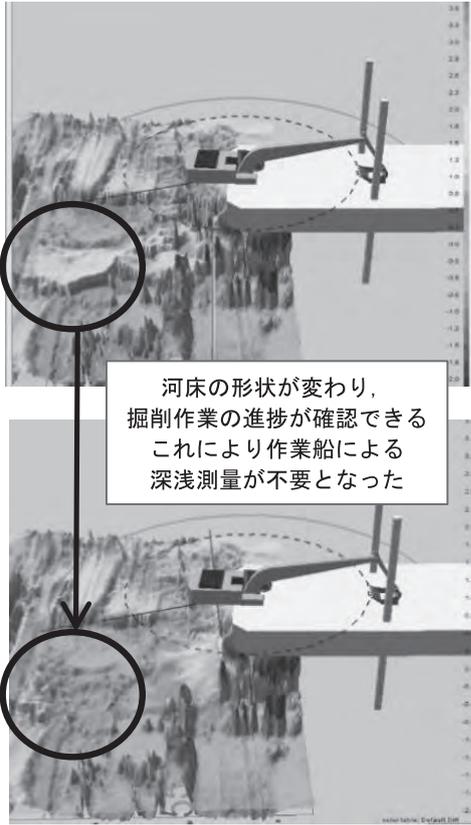


図-4 マルチビームソナー照射後の河床形状

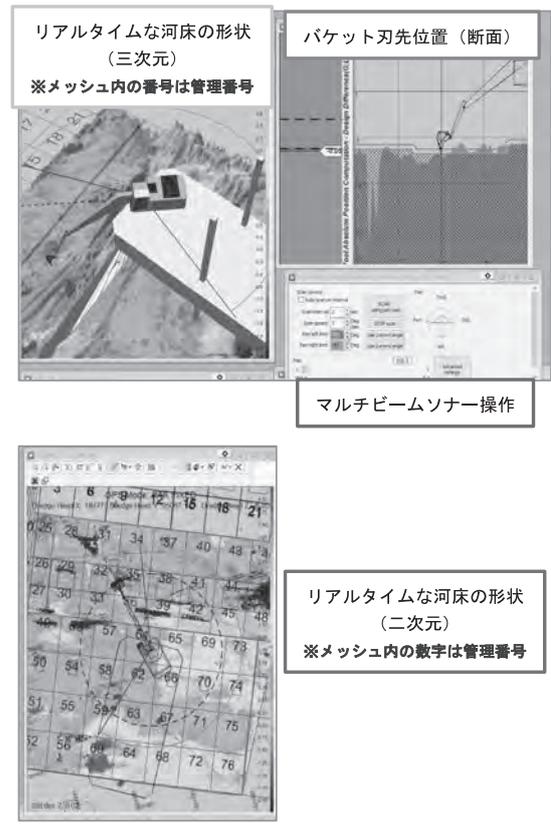


図-5 モニタの表示状況(一つの画面で表示が可能)

表-1 不要となった作業内容と削減効果

	不要になった作業内容						
	マルチビームソナー測量	測量	データ整理	(掘削作業)	測量	データ整理	再掘削
掘削作業							4日
短縮日数	1	1		1	1	1	計 5日

※今回試行した期間(エリア)での短縮効果

(2) 作業日数の削減に関する効果

従来は、掘削作業開始前と完了後の2回、作業船による深浅測量を実施していた。今回開発したシステムにより、作業船による深浅測量回数が0回となり、合計で4日間の短縮となった。また、測量後の再掘削が不要となり、再掘削にかかる日数を0日にすることで、1日間短縮することができた。表一1に作業内容と削減効果を示す。

① 測量に関わる作業日数の削減効果

- ・ 深浅測量日数 2日×2回=4日
(1回の深浅測量に掛かる日数
測量1日+データ整理1日=計2日)
短縮日数 計4日

② 掘削作業に関わる作業日数の削減効果

- ・ 測量後の再掘削 1日
短縮日数 計1日
- 合計で5日間の削減効果となった。

(3) 作業人員の削減に関する効果

作業中の深浅測量が不要になったので、2回分の深浅測量の作業人員である8人を削減することができた。

① 作業人員の削減効果

- ・ 計測会社による深浅測量の作業人員
2回/月=8人
測量:2人/回
データ整理2人/回 計4人/回
- ・ 本システムの活用 0回/月=0人
縮減人数 8人

(4) 安全性の向上に関する効果

従来は、掘削の進捗を確認するため、写真一4に示すように船舶先端でのレッド測量(おもしろを船上からたらず測量)を行っていたが、この作業が不要となり作業員落水の危険がなくなった。



写真一4 レッド測量 (従来の方法)

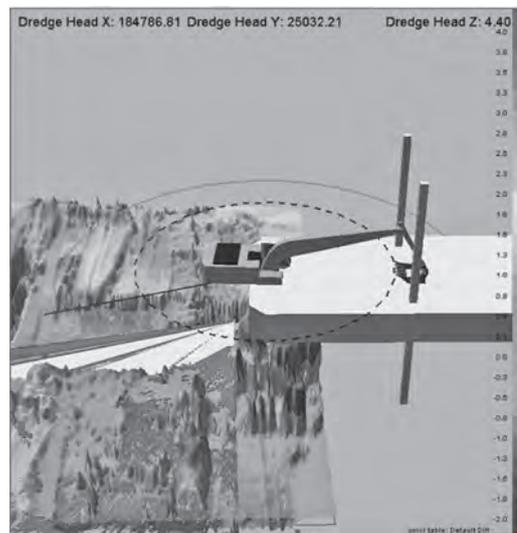
(5) 品質の確保・向上に関する効果

当工事では、鋼殻ケーソンを設置する所定の深さまでバックホウ浚渫船による掘削を実施した。鋼殻ケーソンは、本堤部の基礎となる大事な構造物となるため、設置精度に直接関係する掘削作業は、高い精度が要求される。浚渫船に搭載したマルチビームソナーによる測量は、図一6、7に示すようにリアルタイムで河床形状が把握できるため、精度の高い掘削作業が可能となった。

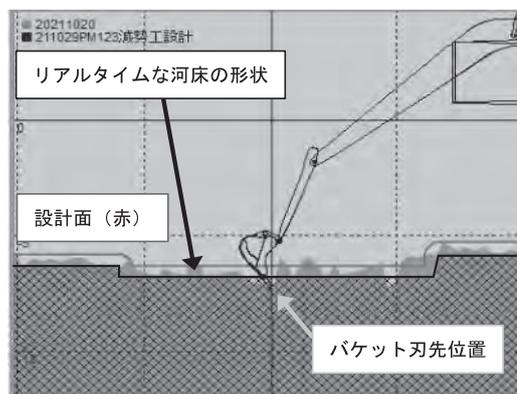
(6) 精度について

マルチビームソナーをバックホウ浚渫船に搭載した測量は前例がないため、精度の確認を実施した(図一8、9)。図一10は、マルチビームソナーの精度確認結果の抜粋を示す。精度確認方法は、通常行われている作業船による深浅測量と、バックホウ浚渫船に搭載したマルチビームソナーによる測量の結果を比較してその差異を考察した。

精度検証は、バックホウ浚渫船による掘削前と掘削



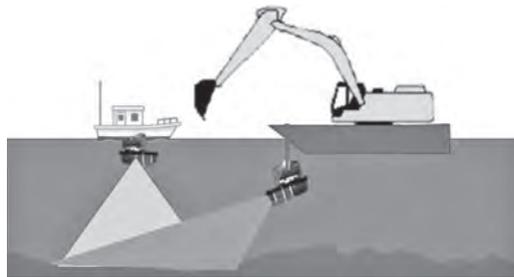
図一6 バックホウ浚渫船に搭載されたマルチビームソナーによる測量



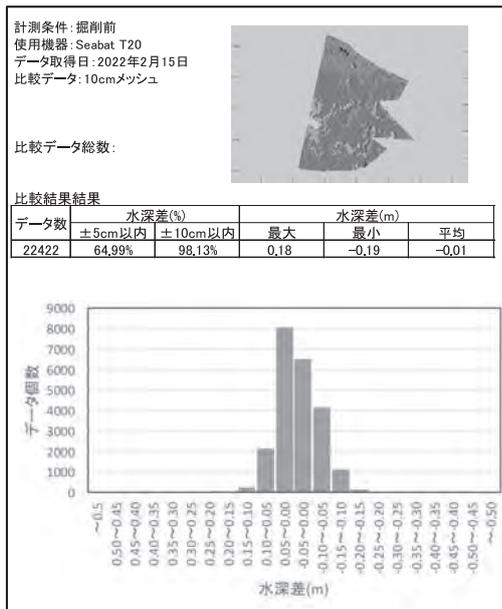
図一7 作業中のモニタ表示



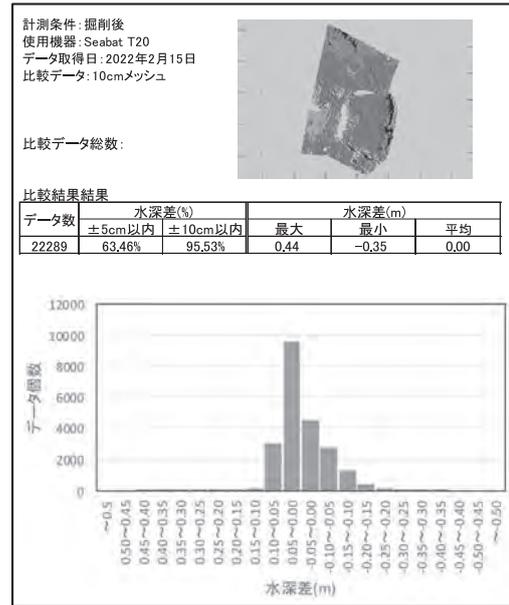
図一 8 掘削前の測量



図一 9 掘削後の測量



図一 10 作業船による深浅測量



図一 11 バックホウ浚渫船搭載のマルチビームソナーの測量結果



図一 12 高さにより色分けされた河床の形状

後の各1回、そして場所が違う2つの掘削エリアの計4回実施した。測量結果の差は10cm以内が95%以上であり、バックホウ浚渫船に搭載したマルチビームソナーの精度は、通常行う作業船での深浅測量と同程度の精度であると言える(図一11)。

(7) 施工管理の効率化・高度化に関する効果

①バックホウ浚渫船に搭載したマルチビームソナーによる測量後の結果は、即座に標高による色分けがされ直感的に高さを把握できる。バックホウオペレータへ適切な掘削指示が可能となり、施工管理の効率

化に寄与する(図一12)。

- ②今まではバックホウのオペレータしか把握できなかった河床形状を、作業に関わる者全員がPC画面で共有できる。また、河床の形状を可視化することにより、オペレータの経験や技量に頼らず画面を見ながら的確な操作を行うことができた。また、集団の知恵で多面的に掘削作業や工程の検討が可能となり、高度な施工管理を実施できた。
- ③ソナー測量結果は、世界測地系による.ascの点群データで出力ができるため、土量計算ソフトなどのソフトを活用し、土量計算や出来形判定を行うこともできる(図一13, 14)。

5. おわりに

従来の中掘削作業は、オペレータの経験や技量に頼るところが大きいが、今回開発した水中可視化技術は、マシンガイダンス機能とマルチビームソナーの測

20211121.asc - メモ帳

ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)

24941.88,184732.63,-14.00
25056.13,184752.13,-5.50
25056.38,184752.13,-5.81
25056.63,184752.13,-7.07
25056.88,184752.13,-7.41
25057.13,184752.13,-8.79
25057.38,184752.13,-7.85
25057.63,184752.13,-8.15

図-13 取得した点群データ



図-14 土量計算ソフトでの表示 (高さによる色分け)

量結果を連携させたシステムを構築したので、河床形状を任意のタイミングで把握し、多面的で詳細な施工管理の実現が可能となり、生産性向上を達成することができた。しかし、マルチビームソナーは高価な機材であり導入費用が高額となった。今後のマルチビームソナーの流通量が増加し、リース費用が低減することを期待する。

本システムが、河川などの濁りや水流による河床地形変化が確認できない水中での掘削工事や浚渫工事などで活用され、さらに海上や湖畔など水中作業全般で生産性向上や出来形向上に繋がるように今後も開発を継続したい。

JICMA

【筆者紹介】

新開 貴行 (しんかい たかゆき)
 鹿島建設株式会社
 北陸支店 大河津分水路新第二床固改築 I 期工事
 機電課長



火力発電所における海洋土木構造物の大規模プレキャスト化施工

武豊火力発電所リプレース工事

加藤 弘之・井上 政明・野勢 辰也

武豊火力発電所リプレース工事は、地域の安定的な電力供給を目的として石油を燃料とする既存の発電設備を廃止・撤去し、石炭に木質バイオマス燃料の混焼を取り入れた107万kW級の高効率な発電設備（5号機）を新設するものである。そのうち、土木工事は揚炭棧橋をはじめとする燃料受入・石炭灰搬出用の荷役棧橋および受入・払出用コンベヤ設備の基礎を新設する海上工事と、取放水設備および各種陸上設備基礎の躯体構造物、その他構内の外構設備類一式を新設する陸上工事からなる。本工事では、海洋土木構造物において大規模なプレキャスト（以下PCa）化施工を実施して、工程短縮や品質の確保に取組み、発電所の早期運開を達成した。本稿では、その施工内容を紹介する。

キーワード：発電所、棧橋、連絡橋、海上施工、プレキャスト、起重機船

1. はじめに

武豊火力発電所は、愛知県知多半島の中央部、三河湾北西部の衣浦湾に面した豊かな自然と温暖な気候に恵まれた環境の中に位置している。1966年に1号機、1972年に2～4号機が営業運転を開始し、中部地域の電力安定供給に大きな役割を果たしてきたが、長期的な電力の安定供給と発電コストの低減、最新鋭の設備導入による環境性の向上を図るため、木質バイオマス燃料の混焼を取り入れた高効率な出力107万kWの石炭火力発電所へとリプレースすることとなり、2018年に現地での工事に着手した。地域の安定的かつ効率的な電力の供給を目的に早期運開が望まれる中、2022年に営業運転を開始した。

土木工事のうち、海上工事は、前面海域の浚渫工、揚炭棧橋、燃料受入・石炭灰搬出用の海上コンベヤ基礎、副資材棧橋、棧橋アクセス用の海上連絡通路橋、深層取水設備の構築工があり、非常に数多くの構造物や多様な工種を含む工事である。

2. 工事概要

(1) 工事概要

工事名称 武豊火力発電所5号機土木建築工事
 工事場所 愛知県知多郡武豊町
 発注者 JERA パワー武豊(同)
 施工者 大成建設(株)

契約工期 2017年12月13日～2022年5月31日

(2) 工事内容（海上工事分）

- ・浚渫工：570,540 m³
 - ・揚炭棧橋：幅26m×長さ375m（鋼管杭300本）
 - ・副資材棧橋：ドルフィン式棧橋2基（鋼管杭166本）
 - ・海上通路橋：幅6m×長さ25～35m×6橋（鋼管杭18本）
 - ・海上コンベヤ基礎：42基（鋼管杭172本）
 - ・深層取水設備：延長165m（鋼管杭73本）
- 武豊火力発電所の全体パース図を図-1に示す。



図-1 武豊火力発電所全体パース図

3. 工事の課題と対応方針

本工事は、早期運開を達成するために以下に示す4つの課題があった。

(1) 大規模な構造物且つ大量の施工数量

海上構造物のコンクリート量が約2.1万m³と大量であり、コンクリートの海上運搬や現地での打設を軽減する必要がある。

(2) 気象・海象の影響を受ける海上での躯体構築

海上での躯体構築では、資材や作業員の運搬、起重機船の揚重作業などが必要であるが、気象・海象の影響を受け、陸上作業に比べて稼働率が低い。これに加え、型枠・支保工などの仮設構造物は、急速に発達する低気圧や台風に伴う高波・高潮により損傷する可能性がある。

(3) 他工事との輻輳と引渡し工程の厳守

隣接する他工区の船舶と係留索が輻輳するため、自社の工程を優先した船舶の配置ができない状況下において、設備メーカーへの引渡し工程を厳守する必要がある。

(4) 難易度の高い構造

揚炭栈橋には、重量約2,000tの揚炭機が設置される(写真-1)。高い耐震性を確保するため、斜杭式の栈橋構造となっており、杭頭部の型枠支保工が複雑になることから多くの手間がかかる。また、コンベヤ基礎は設備の制約から海上高所での躯体構築となり(写真-2)、施工性や安全性の向上が必要である。

これらの課題を解決するため、海上作業の削減が可能な大規模なPCa化施工が必要であると考え、

- ①揚炭栈橋と海上コンベヤ基礎のPCa化
 - ②海上通路橋の一括架設
- を行い、工程短縮、施工効率の向上、省力化、安全性の向上を目指すこととした。



写真-1 揚炭栈橋と揚炭機



写真-2 海上コンベヤ基礎

4. 大規模PCa化に対する課題と施工内容

(1) 揚炭栈橋のPCa化

揚炭栈橋のPCa化には2つの課題があった。

一点目は揚炭栈橋(図-2, 3)が斜杭構造であり、PCa化をどのように実現するかである。斜杭には傾斜角、平面振り角があり、杭頭部はPCa部材の落とし込みが困難(写真-3, 図-4)なため、これまで斜杭構造の栈橋にはPCa化施工が行われなかった。

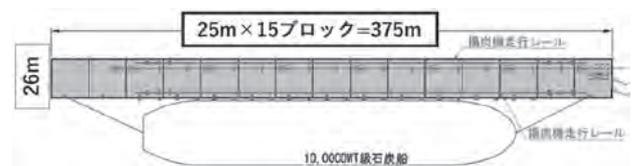


図-2 揚炭栈橋全体平面図

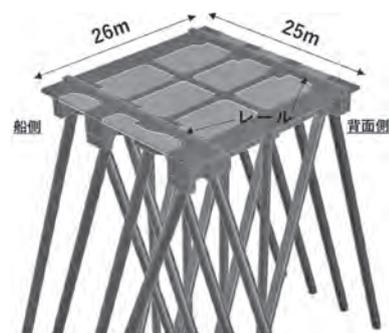


図-3 揚炭栈橋構造図 (1ブロック)

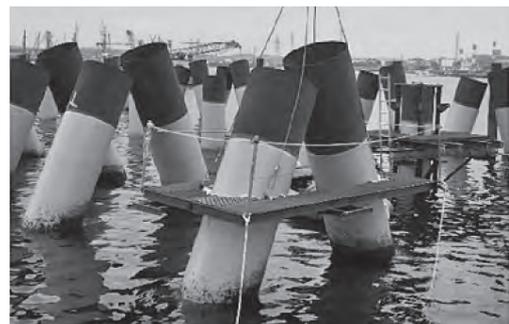


写真-3 揚炭栈橋の斜杭

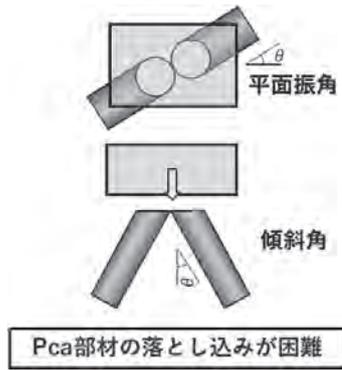


図-4 斜杭部のPCa化

このためPCa化は梁とスラブに限定し、PCa化の難しい杭頭部の施工は場所打ちとした(図-5)。本工事ではPCa化した梁を利用して効率的に場所打ち部の施工を行う方法を考案した。

まず、PCa梁設置用の受鋼材を支保工と一括架設する(図-6、写真-4)とともに、杭頭部の足場を確保する。

また、斜杭部で3方向の梁を安定的に受けられる受鋼材を使用した(図-7、写真-5)。

さらに、PCa梁架設後に受鋼材とPCa梁を利用し、吊支保工として受け替えた(図-8、写真-6)。これにより、潜水作業を排除した効率的な施工を可能とした。



写真-4 受鋼材、支保工、PCa梁架設状況

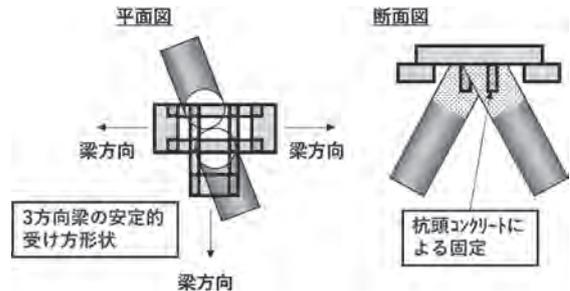


図-7 PCa梁設置用受鋼材の概要図



写真-5 PCa梁設置用受鋼材

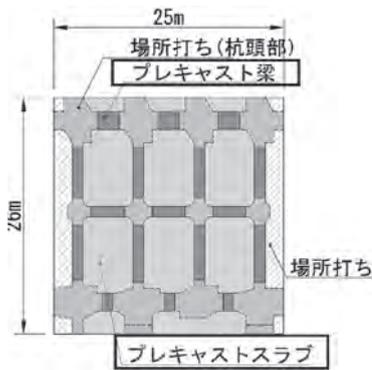


図-5 揚炭棧橋PCa配置図

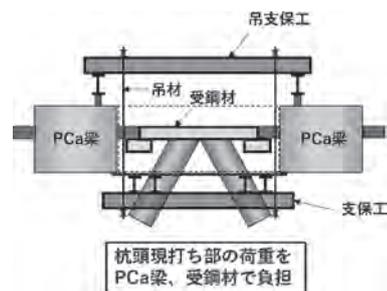


図-8 受鋼材とPCa梁による吊支保工

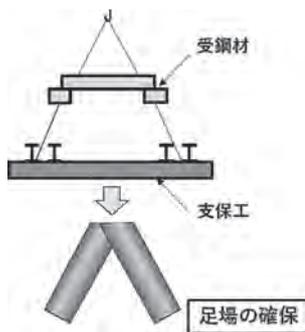


図-6 受鋼材と支保工の一括架設



写真-6 吊支保工状況

二点目は、PCa 梁接続部の品質確保である。梁の接続部は、2,000 t もの揚炭機荷重を受けるため、コンクリートの打継によるせん断耐力の低下や塩化物イオンの侵入による鉄筋の腐食を生じさせない対策が必要である。この課題に対しては、以下の3つの対策により、高耐力、高耐久性を実現した（図-9、写真-7）。

- ①ダウエルバーによるせん断耐力の増強
- ②エポキシ樹脂塗装鉄筋による塩害対策
- ③表面保護材による打継面の被覆

これらの対策により、揚炭機橋のPCa 化が可能となった。施工状況写真を写真-8、9に示す。

(2) 海上コンベヤ基礎のPCa 化

海上コンベヤ基礎は、4本の斜杭構造が40基あり、躯体は設備の制約により海面上9 mと高い位置にあった（図-10）。

そのため、斜杭へのPCa 躯体の架設方法や据付精

度、安全性の確保に課題があった。また、斜杭は打設後、杭頭が内側に傾くため、位置を調整する必要があった。

杭頭位置の調整に関しては、高所への速やかな設置・撤去が可能な足場を考案した。この足場を用いて、杭頭位置の調整や固定を容易に行うことができた（写真-10、図-11）。

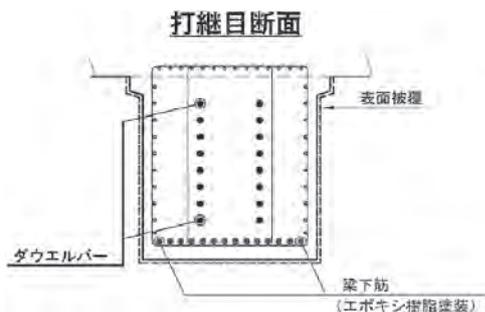


図-9 PCa 梁接続部の対策



写真-9 PCa スラブ設置状況

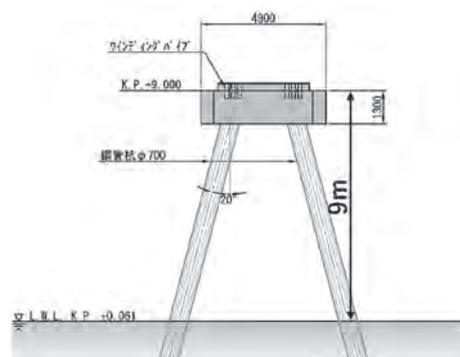


図-10 海上コンベヤ基礎断面図

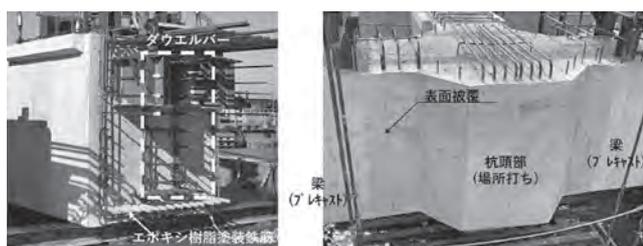


写真-7 PCa 梁接続部対策状況



写真-10 足場設置状況



写真-8 PCa 梁設置状況

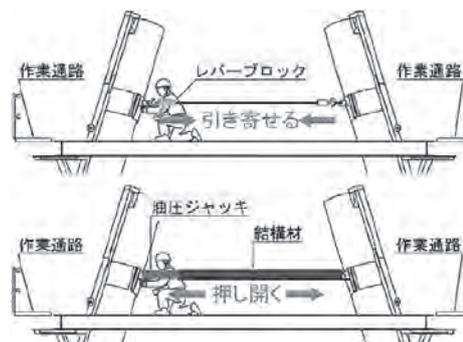


図-11 杭頭位置調整作業要領



写真-11 カメラ映像を使用したPCa 躯体の無人架設状況

据付精度と安全性に関しては、PCa 躯体の架設時に躯体の開口部に取り付けたカメラの映像による無人架設を考案した。監督者と作業員は、開口と杭の位置をタブレットで確認することで、オペレータに明確な指示を出すことができた。架設時は船上からロープで介錯することで、足場上の作業員を不要とした。これにより、安全性と据付精度を確保できた（写真-11）。

(3) 海上通路橋の一括架設

海上通路橋の架設は、従来工法では5個のセグメント桁を連結して1本のPC桁を製作し、これを1本ずつ6本製作して現地に架設した後、PC桁間の間詰コンクリートの打設、PC桁の横締め、地覆の構築までを海上作業で行っていた。そのため、PC桁架設後に海上で行う作業が多く、気象・海象の影響を受けやすいことから、工程の短縮は難しかった。

一方、一括架設工法は橋本体を別のヤードで一体化施工し、起重機船で1橋分を一括架設するもので、架設以外の海上作業を省くことができた。この一括架設工法は、本規模のPC桁コンクリート橋では例を見ないものである（写真-12, 13）。



写真-12 海上通路橋全景



写真-13 海上通路橋の一括架設状況

(4) PCa 施工の効果

上記のPCa化を実施することで、現場作業を削減し、大幅な工期短縮が可能となった。ヤードの早期引き渡しに貢献し、発電所工事全体の早期運開に寄与することができた（表-1）。

5. おわりに

本工事では、これまで困難とされてきた斜杭構造へのPCa化施工やPC桁コンクリート橋の一括架設など海洋工事における大規模なPCa化施工を積極的に取り入れ、工期短縮をはじめとする様々な効果を実現し、2022年5月に竣工することができた（写真-14）。

表-1 PCa 施工の効果

構造物	対象	数量	工程短縮効果	その他の効果
揚炭機船 副資材機船	梁	310 基	3ヵ月（揚炭機船の場合） （当初20ヵ月→実施17ヵ月）	現場施工数量の4割減 （コンクリート、鉄筋、支保工）
	スラブ	210 基		
海上コンベヤ基礎 （ドルフィン）	フーチング	40 基	14.5日/基 （当初23日→実施8.5日）	作業船拘束期間の削減 高所作業の災害リスク削減
		8 基		
海上通路橋	橋梁上部	6 橋	最大2日/橋の架設	海上足場作業ゼロ達成
放水路	側壁	368 m	6ヵ月 （当初27ヵ月→実施21ヵ月）	土留支保工、仮設足場が不要



写真-14 工事完了写真

これからカーボンニュートラルに向けたアンモニアや水素の入出荷栈橋など，海洋工事が本格的に計画される中で，生産性向上や労働力不足に対する参考の一助となれば幸いである。

最後に，本工事の施工にあたりご指導・ご協力を頂いた関係者の皆様に感謝の意を表します。



[筆者紹介]

加藤 弘之 (かとう ひろゆき)

(株)JERA

O&M・エンジニアリング運営統括部

土木・建築部 土木・建築再生可能エネルギーユニット

課長代理



井上 政明 (いのうえ まさあき)

大成建設(株)

土木本部 土木技術部 海洋技術室

室長



野勢 辰也 (のせ たつや)

大成建設(株)

土木本部 土木設計部 海洋設計室

課長



工場製作部材を用いたユニット式プレキャスト 栈橋工法の開発

PC-Unit 栈橋工法[®]

池野 勝哉

栈橋工事において、PCa 施工は生産性向上の有効な手段として期待されている。これまで、現地で PCa 部材を製作するサイト PCa 栈橋工法は実用化されているものの、比較的大きな陸上ヤードが必要となることや、起重機船の調達性やそれに伴うコスト増加など適用には制約も多い。そこで著者らは、全て工場製作した PCa 部材を現地でプレストレスにより組み立てる PC-Unit 栈橋工法[®]を開発した。本稿では、本工法の概要および技術課題の取組内容について紹介するとともに、建設時の推計 CO₂ 排出量の観点からも優れた PCa 工法であることを示す。

キーワード：栈橋上部工，プレキャスト，工場製作，ユニット式，プレストレス，CO₂ 排出量

1. はじめに

近年、建設現場の生産性向上を目的として、プレキャスト（以下、PCa）部材を活用した省人化技術が求められている。一般に、栈橋上部工の PCa 施工は、下部工である鋼管杭の打設と並行して、現場内あるいは近隣ヤードにおいて PCa 部材を製作し、大型の起重機船で架設するサイト PCa 栈橋工法¹⁾（以下、サイト PCa）が用いられている。しかし、サイト PCa は比較的大きな陸上ヤードが必要であり、起重機船の調達性やそれに伴うコスト増加など適用には制約も多い。そこで、ユニット化した栈橋上部工を全て工場製作し、現地へ陸上運搬したのち、プレストレスにより組み立てる PC-Unit 栈橋工法[®]（以下、本工法）を開発

した²⁾。本工法は、サイト PCa と比較して更なる省人化や工期短縮が期待できるとともに、プレストレスコンクリート構造とすることで、上部工の軽量化が図れるため、地震時慣性力の軽減など合理的な設計が可能となるものである。

一方、世界的に脱炭素化に向けた取り組みが活発化する中、我が国においても建設時における低炭素化の重要性がますます高まっており、施工者自らの直接排出のみならず特に排出割合が多いとされる材料に由来する上流側の間接排出を考慮したサプライチェーン排出量の評価が重要である。本稿では、本工法の概要および技術課題に対する取組内容について紹介するとともに、図-1 に示す工法の推計 CO₂ 排出量を比較した結果について示す。



図-1 栈橋工法の一覧

2. 本工法の概要

(1) 本工法の構成ユニット

本工法の栈橋上部工は、2種類のPCa部材（杭頭部材、梁部材）で構成され、陸上運搬が可能なユニットとして工場製作される。鋼管杭と杭頭部材との接続は、鋼管杭への架設後、鞘管と鋼管杭との隙間に無収縮モルタルを充填する鞘管方式³⁾を採用している（図一2(a)参照）。梁部材は合理化した逆U字形断面(RC構造と比べて約30%の軽量化を実現)とするとともに、杭頭部材の梁受け材に梁部材を嵌め込むように架設することで、施工時の安全性を向上している（図一2(b)参照）。その後、PC鋼より線をPCa部材のシース内に挿入し、所定のプレストレスを導入することで、全てのPCa部材を圧着接合する。

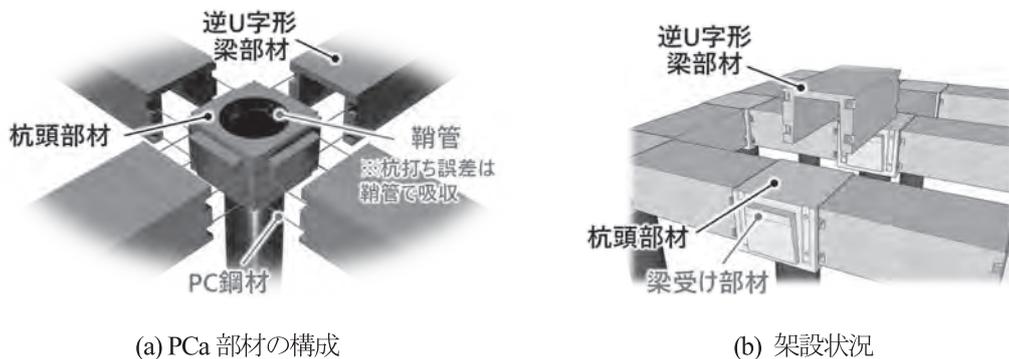
(2) 施工フロー

本工法には、「単独架設タイプ」と「プレ連結架設タイプ」の2種類の施工方法がある。図一3にそれ

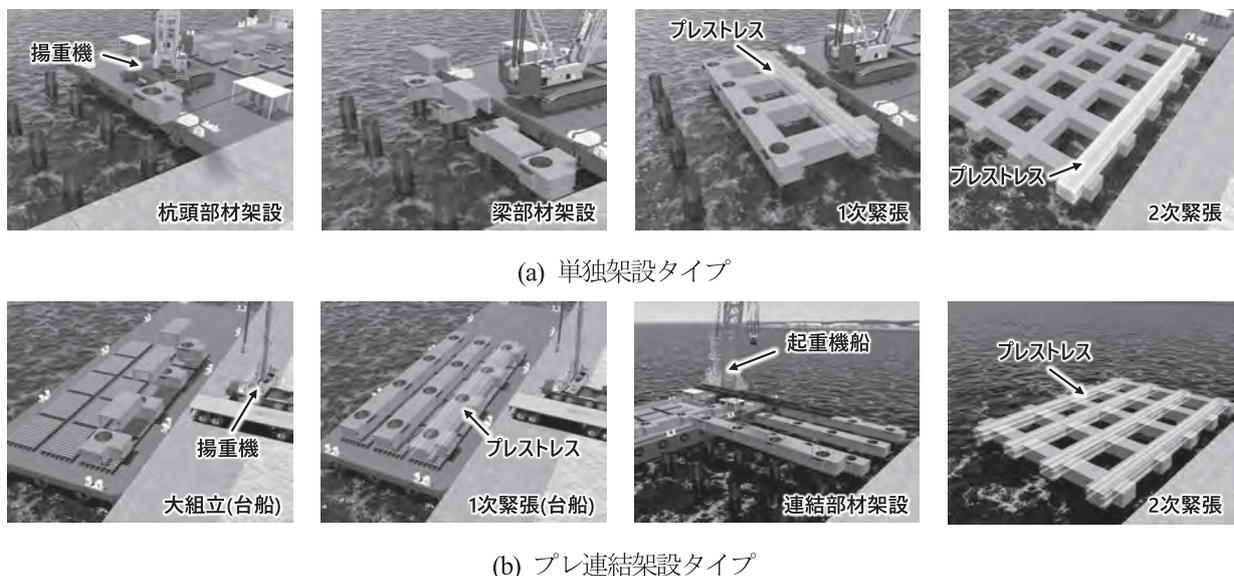
ぞれの施工フローを示す。単独架設タイプは搬入したPCa部材をそれぞれ単独に架設する方法であり、搬入車両から揚重機により直接架設できるが、1次緊張が完了するまで部材同士は一体化されないため、静穏な港内での作業に適している。一方、プレ連結架設タイプは現地に搬入したPCa部材をあらかじめ陸上ヤードあるいは台船上で大組み立てし、一方向の1次緊張によって連結部材を形成する。この連結部材を鋼管杭に架設し、1次緊張と直交する残りの梁部材を架設した後、2次緊張により一体化を図るものである。単独架設タイプと比べて起重機船による架設が必要となるため、大規模な栈橋工事に適している。

(3) 本工法の技術課題

栈橋は鋼管杭と上部工が剛結合された多径間ラーメン構造として設計されるため、杭頭部に最も大きな断面力が作用する。本工法で採用している圧着接合は建築分野で適用事例があるが、栈橋の鋼管杭が直接的に高重量の上部工を支持している点や、厳しい塩害環境



図一2 本工法の概要



図一3 施工フロー

に曝されている点で建築構造物とは異なる状況下にあると言える。そのため、図-4に示す①曲げモーメントに対する杭頭接合部の曲げ耐荷性能、②せん断力に対する部材接合部の一体性、③PCa部材の架設精度、④圧着接合部における塩化物の浸透抵抗性、について確認する必要があった。

3. 取組内容

(1) 杭頭接合部の曲げ耐荷性能

杭頭接合部を模した逆T形模型(縮尺比1/4)を用いて交番載荷実験を実施した。実験概要を図-5に示す。実験ケースは、試験体の設計曲げ耐力が同程度となるような従来の現場打ちによる「RC構造」、本工法の「PC圧着構造」の2ケースである。交番載荷は、鋼管杭基部の外縁が降伏した時の水平変位 δ_y を整数倍し、 $\pm 1\delta_y \dots \pm 5\delta_y$ の各ステップを3回ずつ繰り返した。実験結果として、 $3\delta_y$ 時の損傷状況を図-6に示す。「RC構造」は杭頭部の広範囲にひび割れが

発生し、杭頭部のひび割れが梁部へ進展・拡大している。一方で、「PC圧着構造」は杭頭部材の側面に微細なひび割れが生じたが、除荷に伴いひび割れが閉合する傾向が確認された。また、杭頭部材と梁部材の接合境界面では、弾性的な開閉挙動が見られ、梁部材へのひび割れ進展は限定的であった。実験で得られた荷重-変位関係を図-7に示す。「RC構造」では、杭頭部のひび割れ損傷が梁部へ進展・拡大し、載荷ステップの後半において荷重ゼロ付近で変位が進行するスリップ現象が見られた。一方、「PC圧着構造」はプレストレスによる杭頭接合部の拘束によって、杭頭部材や梁部材のひび割れが抑制されるためスリップ現象は生じず、残留変位の少ない紡錘形状を示していた。以上より、本工法の「PC圧着構造」は従来の「RC構造」と同等以上の曲げ耐荷性能を有し、ひび割れ損

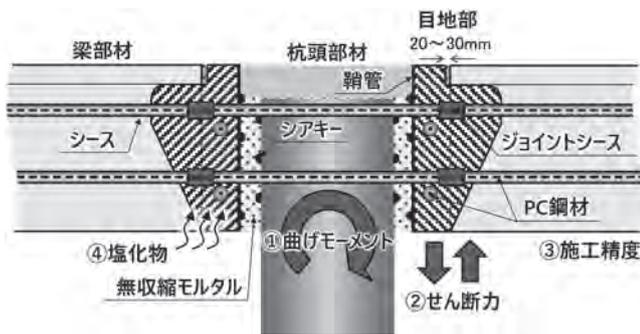


図-4 本工法の技術課題



(a) RC構造



(b) PC圧着構造

図-6 試験体側面の損傷状況

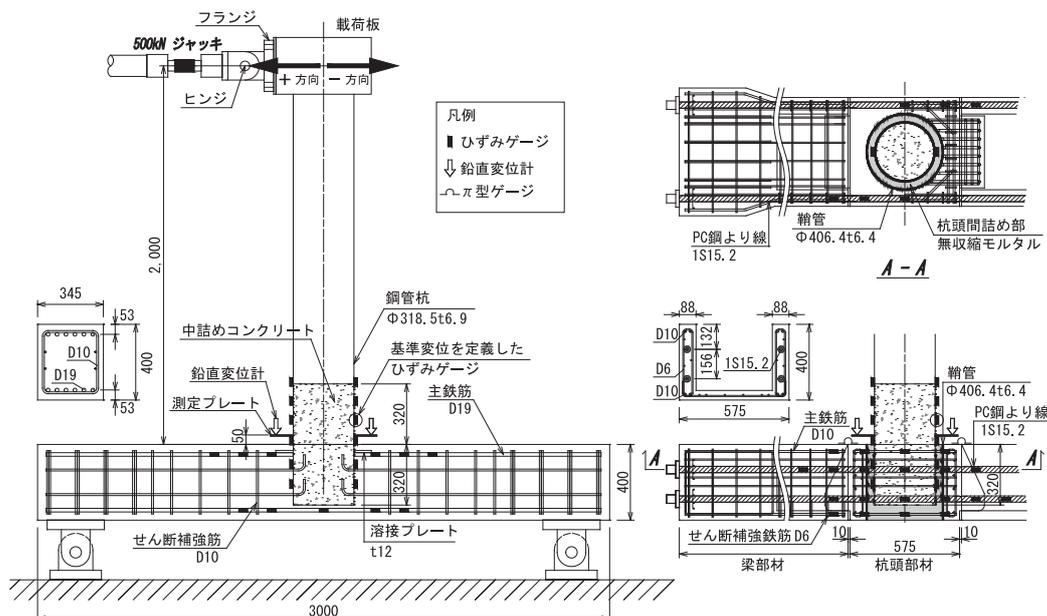
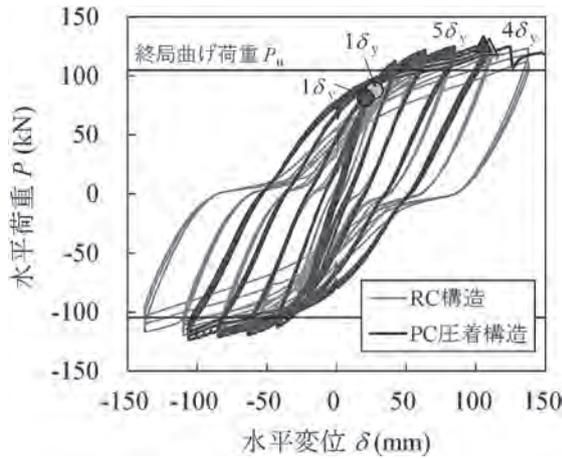


図-5 交番載荷実験の概要(左:RC構造,右:PC圧着構造)

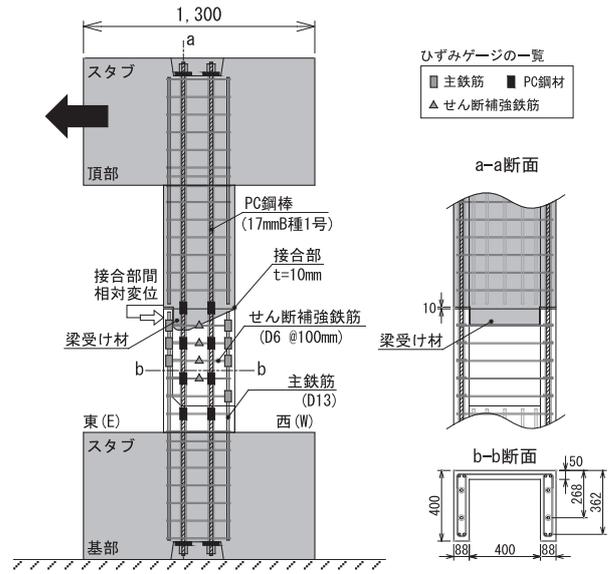


図一七 荷重-変位関係

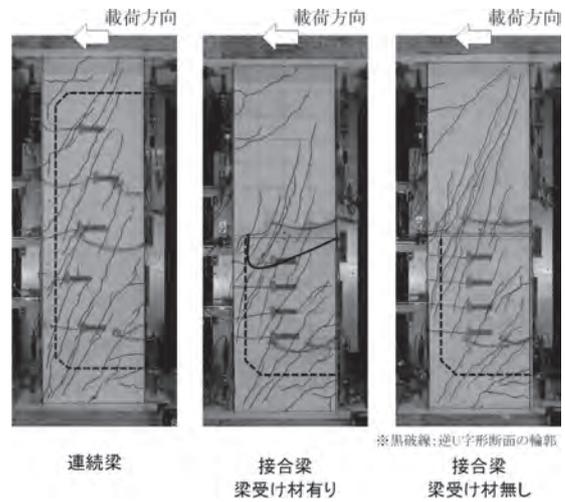
傷が少ない杭頭接合方法であることを確認した。

(2) 部材接合部の一体性

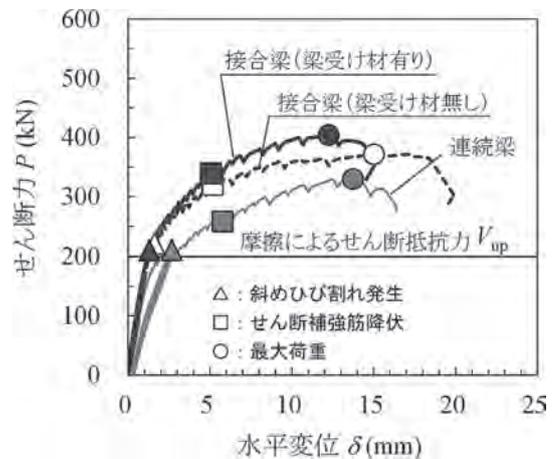
本工法の杭頭部材と梁部材はプレストレスで圧着接合されるため、部材接合部には摩擦によるせん断抵抗力が発揮される。ここでは、部材接合部に一様なせん断耐力を作用させたせん断耐力実験について示す。実験の概要を図一八に示す。実験は連続梁と試験体中央で接続した接合梁（梁受け材有り、梁受け材無し）の3ケースを実施した。本工法では、せん断耐力の作用方向によって、梁受け材がせん断耐力に及ぼす影響を明らかにするため、接合梁は梁受け材の有無を試験因子にしている。各ケースの最大荷重時におけるひび割れ性状を図一九に示す。全てのケースにおいて、試験体中央付近で斜めひび割れが発生し、せん断補強筋が降伏した後、ひび割れが右斜め上方に進展して荷重低下に至った。なお、連続梁および接合梁ともに破壊形態は斜め引張破壊となり、接合梁の接合境界面に沿ったひび割れの貫通は確認されていない。実験で得られた荷重-変位関係を図一十に示す。接合梁は、接合部の摩擦によるせん断抵抗力 V_{up} の繰返し荷重に対しても弾性的に挙動し、梁受け材有りは荷重 404 kN (V_{up} の2倍)、梁受け材無しは荷重 372 kN (V_{up} の1.9倍)で斜め引張破壊により荷重低下した。また、これら接合梁は破壊に至るまでの間、接合境界面にズレは生じていなかった。このように本工法の接合梁は、設計せん断抵抗力 V_{up} の範囲において、連続梁と同様に一体的に挙動することを確認した。



図一八 せん断耐力実験の概要



図一九 最大荷重時の正面ひび割れ性状



図一十 荷重-変位関係

(3) PCa 部材の架設精度に関する施工性確認実験

本工法は、鋼管杭に杭頭部材を架設し、杭頭部材の梁受け材に逆U字形断面の梁部材を上方から嵌め込み、ジョイントシースを接続する。その後、連続した

シーズ内にPC鋼材を挿入し、所定のプレストレスを導入する。このような施工工程において、先行して設置された杭頭部材に生じた架設誤差は、(a) 梁部材の

架設, (b) ジョイントシース接続およびPC鋼材の挿入, (c) 部材目地間への無収縮モルタル充填, の3つの後続工程に影響を与えることが想定される(図-11)。そこで, 杭頭部材に架設誤差を与えた上で, 上記(a)から(c)に至る工程の施工性について, 実物大試験体を用いた施工性確認実験を行った。

実験状況を図-12に示す。施工時において架設する梁に対して, 直交する梁部材は架設済みであると見做し, 架設誤差として杭頭部材間に相対的なズレを与えた。ここで, 港湾工事共通仕様書に示された栈橋上部工の出来形管理基準は, 法線に対する出入りとして ± 30 mm, 鉛直方向 ± 20 mmであることから, 相対的なズレとして各方向にそれぞれ60 mm, 40 mmを与えた(図-13)。杭頭部材に誤差を与えた状況下において梁部材を架設した結果, 杭頭部材との接触や干渉が生じることなく架設できることが確認された。また, 接続したジョイントシース内に無収縮モルタルの流入は認められなかった。続いて, シース内にはプランジャーと呼ばれる直径約60 mmの模擬PC鋼棒を挿入し, 誤差が生じた条件下においても, 杭頭部材の外端部から梁部材, 対向するもう一つの杭頭部材の外端部にわたるまで, 問題なく通過することが確認された。部材接合部の目地部への無収縮モルタル充填は, 部材上方からの自然流下により行った。このような工

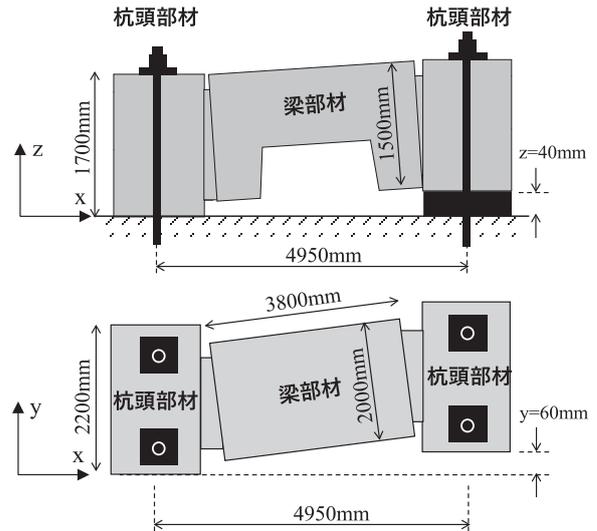


図-13 架設誤差の与え方

程を3回繰り返して実施したが, 側面および底面の型枠からモルタルの漏出は認められなかった。

(4) 圧着接合部の塩化物浸透抵抗性

本工法では部材接合部の目地部は無収縮モルタルを充填するため, その接合境界面から塩化物が浸透する場合, 鋼材腐食等に影響を与える恐れがある。そこで, 接合部を模した試験体を製作し, 劣化促進試験を実施した。劣化促進試験は, 約45度に温めた海水(久里浜港)を用いて, 3.5日浸漬, 3.5日乾燥となる乾湿繰返し条件下で行った。試験体の概要図を図-14に示す。本試験体では接合部を模擬するため, 切り欠き部(図-12の右上写真)を有する一対のコンクリートブロックにシース管の接続およびPC鋼材の挿入を行い, 目地部および切り欠き部に無収縮モルタルを充填して作製した(図-14)。実栈橋での塩化物浸透面を考慮し, 図中のように2面を暴露面, その他の4面はエポキシ樹脂で被膜した。ここでは, 接合境界面の目荒しの有無を試験因子とした試験結果を示す。2年間の劣化促進試験後, 図-15で示す箇所にてコア採取($\phi 100$ mm \times 250 mm)を行い, 電子プローブマイクロアナライザー(以下, EPMA)によるCl元素分析を行った。元素分析は, 試験体長手方向の界面(コ

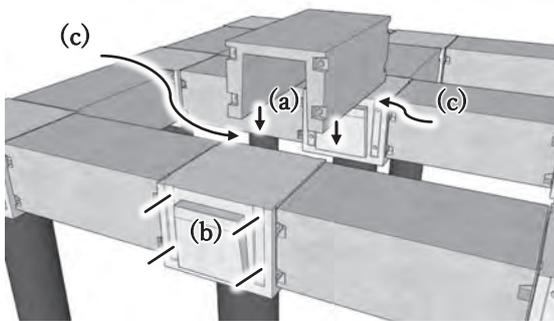


図-11 杭頭部材の架設誤差が与える影響

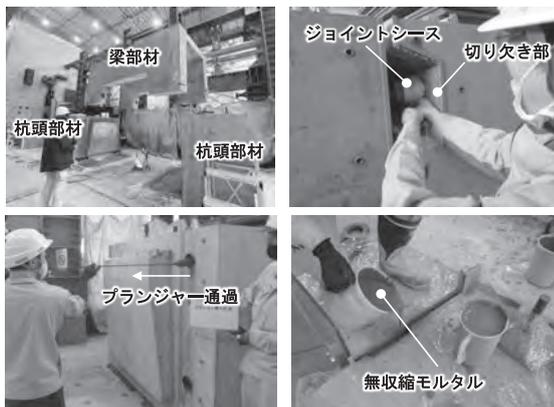


図-12 施工性確認実験の状況

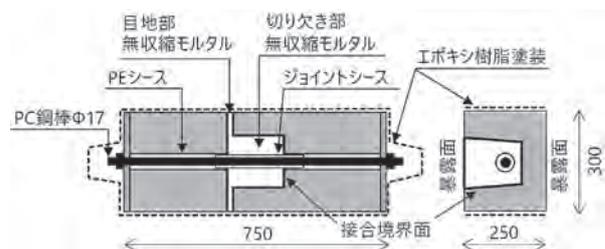


図-14 試験体の概要 [単位: mm]

ア①) および短手方向の界面(コア②)とし、幅 80 mm×深さ 80 mm を EPMA の対象範囲とした。

EPMA による Cl 元素分析結果を図-16 に示す。目荒し無しではコア②のみ接合境界面に塩化物の浸透が確認された。コア①の接合境界面はプレストレスの導入方向と直交した面であるため、接合同士が圧着することで塩化物浸透が抑制されたものと考えられる。一方、目荒し有りでは、両コアとも接合境界面に沿った塩化物浸透は確認されていない。本工法の接合境界面は目荒し有りを標準仕様としており、目荒しによる塩分浸透抑制効果について確認することができた。本試験については、今後も継続して長期モニタリングを実施する予定である。

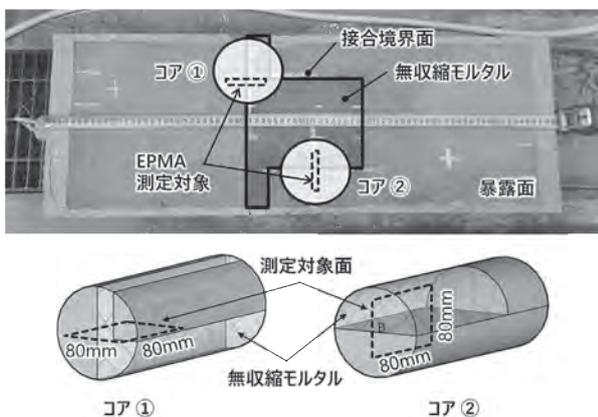


図-15 EPMA の採取位置

4. 建設時における推計 CO₂ 排出量の比較

検討に用いた栈橋モデルは、幅 33 m×長さ 25 m の直杭式栈橋であり、鋼管杭は 1 ブロック当たり 5×6 本 (5 ブロックで計 150 本) である。本工法は、工場製作した PCa 部材をトレーラーで陸上運搬 (300 km と仮定) し、現地の陸上ヤードで連結部材を組み立てる「プレ連結架設タイプ」と仮定した。本工法は上部工がプレストレスコンクリート構造となるため、梁部材の軽量化が可能であり、下部工の再設計により鋼管杭は 4×5 本 (5 ブロックで計 100 本) となる。栈橋モデルを図-17 に示す。

本検討では、上流側 (資材生産、燃料・電力の採掘、輸送配送) の間接排出から自社の直接排出までの建設時におけるサプライチェーン排出に着目して推計する。5 ブロック当たりの CO₂ 排出量の推計結果を図-18 に示す。図中より、本工法の CO₂ 排出量は従来の現場打ちに対して約 25% 削減されていることが分かる。ただし、同図の内訳を見れば分かるように、CO₂ 排出量の約 95% は資材生産に伴う間接排出であり、その多くは鋼管杭や鉄筋等の鋼材が占めている。そのため、現場打ちと同杭数であるサイト PCa は、鞘管の分だけ資材生産に伴う CO₂ 排出量が増えている。本工法は、上部工軽量化によるセメント量および杭本数の削減により、資材生産に伴う CO₂ 排出量を抑えている。燃料消費による自社の直接排出を見ると、サ

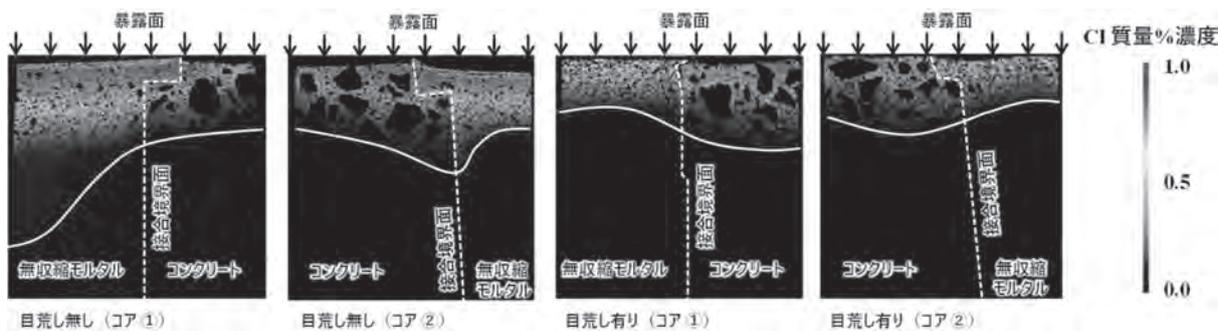


図-16 EPMA の分析結果

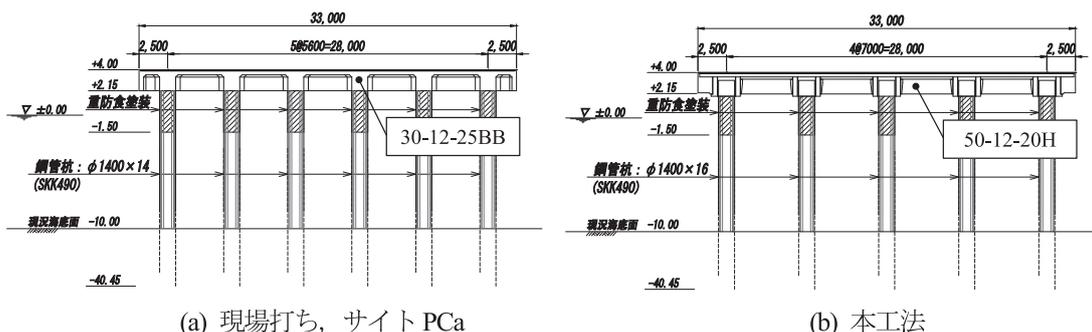
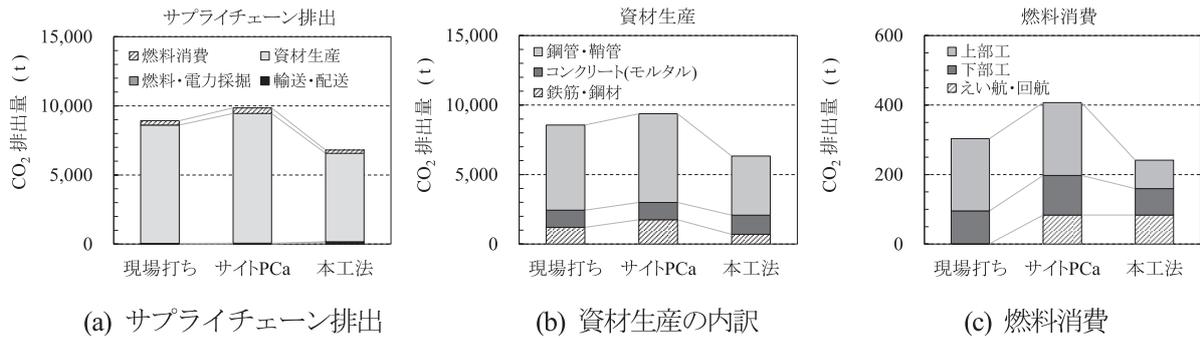


図-17 栈橋モデル



図一 18 CO₂ 排出量の推計結果

イト PCa および本工法は、現場打ちに比べて作業船舶のえい航・回航に伴う分だけ CO₂ 排出量が多い。しかし、本工法は工場製作による上部工の排出量減、杭本数の削減による下部工の排出量減により、現場打ちの燃料消費よりも直接排出が少ない。このように、本工法は、CO₂ 排出量の観点からも優れた PCa 工法であることが分かる。

5. おわりに

本稿では、PC-Unit[®] 栈橋工法の概要および技術課題への取組内容について紹介した。また、栈橋の検討モデルを用いた CO₂ 排出量の比較を行い、従来の現場打ちおよびサイト PCa と比べて、低炭素な PCa 施工方法であることを示した。本稿を通じて、栈橋の PCa 施工が普及し、港湾工事の安全性およびコンクリート品質の向上、生産性向上の一助になれば幸いである。

本工法は、このたび (一財) 沿岸技術研究センターの港湾関連民間技術の確認審査・評価証 (第 22003 号)

を取得した。共同研究 (日本ピーエス、海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所、東京工業大学) の関係者、評価委員会委員および事務局の方々にこの場を借りて謝意を表す。

JCMMA

《参考文献》

- 川俣 奨：栈橋上部工受梁のプレキャスト化施工について, Marine Voice21, Vol.302, pp.12~15, 2018.
- 田中豊, 池野勝哉, 石塚新太, 田中智宏, 金枝俊輔, 栗原勇樹, 前嘉昭, 天谷公彦, 中村 壘, 川端雄一郎, 加藤絵万, 岩波光保: PC 圧着構造を用いたユニット式プレキャスト栈橋の開発-工場製作部材による省力化施工-, 港湾空港技術研究所報告, Vol.61, No.1, 2022.
- 池野勝哉, 伊野同: プレキャストを利用した老朽化栈橋のリニューアル技術-栈橋工事の生産性向上を目指して-, 建設機械施工, Vol.70, No.9, pp.85-90, 2018.

【筆者紹介】



池野 勝哉 (いけの かつや)
 五洋建設株式会社
 技術研究所 土木技術開発部
 専門部長

1,250 t 吊自己昇降式作業台船「柏鶴」

湯 浅 大 樹

本稿では、(株)大林組と東亜建設工業(株)が共同で建造した自己昇降式台船 (Self-Elevating Platform, 以降「SEP」とする)「柏鶴」について紹介する。柏鶴は1,250t吊のジブクレーンを搭載したSEPで、船名の「柏」は、(株)大林組の旧社章に用いられた意匠 (創業者の家紋である「丸に土佐柏」)に、「鶴」は、東亜建設工業(株)の発祥の地「鶴見」と創業者三名を表すシンボルマーク「三羽鶴」に由来している。本船は洋上風力発電設備の建設やメンテナンスだけでなく、気象・海象条件の厳しい海域における海洋土木工事においても活用が可能である。

キーワード：洋上風力発電設備，自己昇降式台船，SEP，Self-Elevating Platform

1. はじめに

2020年10月、当時の内閣総理大臣が2050年までにカーボンニュートラルを目指すことを発表した。これを受けて、経済産業省より洋上風力産業ビジョンが策定され、カーボンニュートラルの達成に向けて2030年までに10GW、2045年までに30～45GWの電力を洋上風力発電設備により発電するという目標が掲げられた。1GWは大凡原発1基分であり、2045年までに原発30～45基分の電力を洋上風力発電設備により発電するという目標になることから、官民あげて洋上風力発電産業拡大のための準備を進めている状況である。

この背景のもと、国内の洋上風力発電産業発展の一端を担うべく1,250t吊のジブクレーンを搭載したSEP「柏鶴」を建造した。本船はジャパンマリユナイテッド(株)横浜事業所 磯子工場にて建造された。

2. 基本仕様

洋上風力発電設備の建設やメンテナンス以外に、各種土木工事や海底の地質調査などにも活用することを念頭に本船は設計された。本船の外観を写真—1に、本船の特長を以下に示す。

(1) 特長

① 1,250t吊ジブクレーンを装備し、10MWまでの洋上風力発電設備建造に対応。



写真—1 柏鶴 外観

- ② DPSと操船ウインチを装備し、現場条件に合わせて位置決め方法を選択可能。
- ③ IMO排ガス2次規制のNO_x排出基準に準拠し環境負荷の軽減。
- ④ 施工情報を3Dで可視化し、リアルタイムで共有可能。
- ⑤ 洋上風力発電設備建設工事や通常の港湾工事にも対応可能。

(2) 主要諸元

設計当初は5MWクラスの洋上風力発電設備をターゲットとしていたが、近年の急速な風車大型化に対応するべく建造途中に仕様変更を行った。仕様変更では主にジブクレーンの能力を向上させ、10MWクラスの洋上風力発電設備の建設に対応できるSEPとなった。

レグに関しては延長が可能となっており、将来的により大水深での施工にも対応可能である。

ジブクレーン以外の主要機器は国内メーカー製を採用しており、昇降装置は三菱長崎機工(株)製、自動船位保持装置（以下、DPS）は川崎重工業(株)製である。

図-1に一般配置図を、表-1に主要諸元表を示す。

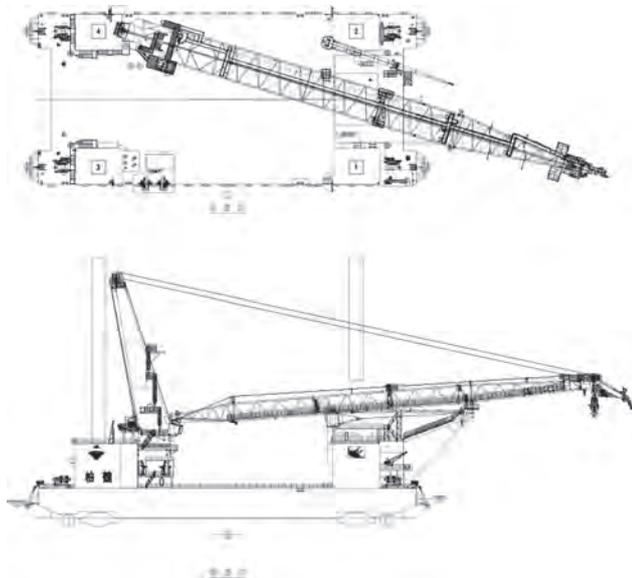


図-1 一般配置図

表-1 主要諸元

船級	日本海事協会		
設計製造	ジャパンマリンユナイテッド(株)		
船体寸法	長さ	88 m	
	幅	40 m	
	深さ	7.0 m	
	計画喫水	4.6 m	
	デッキ面積	2,000 m ²	
レグ	長さ	約 63.0 m (70 m へ延長可)	
	断面形状	3.2 m 角の正方形	
昇降装置	設計製造会社	三菱長崎機工(株)	
	形式	ピンホール式	
	昇降能力	3,500 t/基	
	保持能力	5,000 t/基	
ジブクレーン	設計製造会社	Huisman	
	ブーム長	99 m	
		定格総荷重	作業半径
	主巻	1,250 t	18.5 m
	補巻	50 t	107.5 m
DPS	設計製造会社	川崎重工業(株)	
	スラスト出力	1,400kW/台	
エアギャップ	13 m		
最大搭載能力	約 4,800 t		
最大搭載人員	54 名		

3. 主要機器

(1) 昇降装置及びレグ

昇降装置は昇降シリンダ、ヨーク、駆動ピン、固定ピンから構成されている（図-2 参照）。ヨークは昇降シリンダと連結されており、昇降シリンダの可動域まで昇降することができる。ヨークには4本の駆動ピンが装備され、ピンをレグの穴に挿入してヨークと共にレグを昇降させる。昇降シリンダの可動域までレグを昇降させた後、固定ピンを挿入してレグを固定し、駆動ピンの盛り替えを行う。盛り替え後、固定ピンをレグから抜去し、再度昇降シリンダを昇降するという作業を繰り返す。

昇降装置1基当たりの昇降能力は3,500 tで、保持能力は5,000 tである。

レグにはジェットシステムが搭載され、レグが海底地盤に潜り込んでしまった場合の引き抜き補助として、スパットカンの下端からジェット水を噴出できるようにしている。

昇降装置操作盤を写真-2に示す。

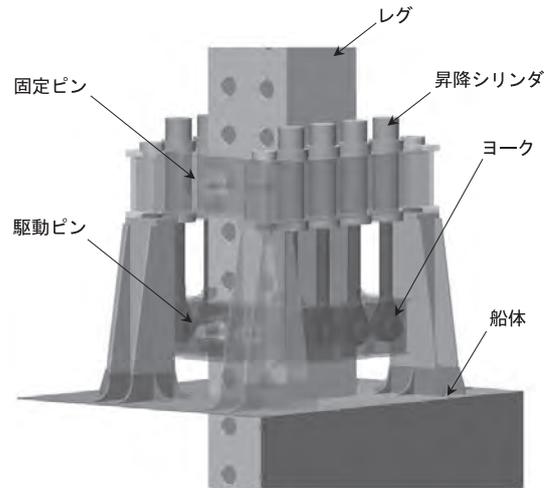


図-2 昇降装置内部構成



写真-2 昇降装置操作盤

(2) ジブクレーン

定格1,250 t吊のHuisman社製の全回転クレーン(写真-3参照)は応答性の高い電気駆動システムにより、正確かつ精密な吊作業が可能である。また、カウンターウェイトを搭載していないため、軽量かつコンパクトである。SEPは甲板上に貨物を積む関係上、最大搭載能力やデッキ面積が重要となるため、本クレーンはSEP用のクレーンとして適している。

ジブの先端にはスーパーフライジブ(写真-4参照)と呼ばれる定格荷重540 tの延長ジブの装着が可能で、吊荷重よりも揚程が必要になる、風車の組み立て時等に使用する。

(3) DPS

DPSとはDynamic Positioning Systemの略で、アンカー等を使用せずに洋上の目標位置に船体を保持するシステムである。潮流や風、波などの外力に対して、推進用のスラスタを自動制御することで、船体を定点

に保持することができる。本船は出力1,400 kWのスラスタを4基搭載している。写真-5にスラスタを示し、写真-6にDPS操作盤を示す。

(4) 操船ウインチ

本船は真鍋造機株式会社製の操船ウインチを4台搭載している。巻き上げ能力としては50 t×0.21 m/sになり、ワーピングドラムを搭載している。写真-7に操船ウインチを示す。



写真-3 Huisman社製ジブクレーン



写真-4 スーパーフライジブ



写真-5 スラスタ



写真-6 DPS操作盤



写真-7 操船ウインチ

(5) 船内電源

電源として、ヤンマー製船用発電機を動力源とした主発電機を4台(1,720kW/台)、補助発電機を1台(400kW)搭載している。これらの発電機はIMOの2次規制に適合しており、窒素酸化物の排出量の低減に寄与している。

発電機が過負荷になる前に、制御盤から負荷に対して使用電力を低減(スラスト、昇降装置)し能力を抑えた状態で運転を継続させる信号を出したり、ボイラーや通風機のような運転にあたり優先度の低い負荷設備を遮断したりする機能があり、ブラックアウトを未然に防ぐことができる。

(6) モニタリング・制御・支援のシステム

船橋操作室(写真-8)には、各機器をモニタリング、制御、操作支援するためのシステムを装備している。

昇降装置制御盤では、各レグに作用している荷重や船体傾斜など昇降操作に関わる情報や、昇降装置を駆動させる油圧関係の情報などがモニタリング可能であり、これらの情報を基に昇降操作を行う。

船体位置誘導システムでは、船体の現在位置やクレーンの起伏・旋回角や荷重値、船底から海面までの距離(エアギャップ)等をモニタリングすることができる。また、施工現場での目標船体位置・方位を事前に登録しておくことで、操船ウインチ使用時にも船体位置の誘導を行うことができる(図-3参照)。

バラスト制御盤ではタンク内液位や船体傾斜をモニタリングし、また、タッチパネルでバルブを操作することでバラスト水量の調整をすることができる。浮上時に船体を水平に維持する際や、ジャッキアップ時に重量物を下ろした後に各レグ荷重の均等化する際に使用する。

また、円滑なオペレーションを陸上からサポートす



図-3 船体位置誘導システム

る目的で、船内Wi-Fi環境や衛星通信システム、TV会議システムを装備している。

4. 居住施設

本船は定員が54名であり、居住設備としては食堂、厨房、冷凍庫室、糧食庫室、シャワー室、浴室、洗濯室、トレーニングルーム、娯楽室、会議室などを備えている。船橋操作室には事務スペース、打ち合わせスペースを配置している。女性用シャワー室を完備し、中には女性専用の洗濯設備やトイレも備え付けられているため、女性も快適に居住できる環境が整えられている。一部の居室にはトイレやシャワーが完備されている(写真-9)。

5. おわりに

本船は、洋上風力発電設備の急速な大型化に対応するため、建造途中としては異例の大規模仕様変更を行った。内容としてはクレーン能力増強が主であるが、それに伴う仕様変更項目は船体部や電気部等多岐にわたったため、建造の関係者の皆様には大変ご尽力をいただいた。



写真-8 船橋操作室



写真-9 トイレ・シャワー付き居室

今後は、洋上風力発電設備の建設工事やメンテナンスを通じて脱炭素社会の実現に貢献していく所存である。

建造に際してご指導ご協力を頂きました関係者の皆様に誌面を借りてお礼を申し上げます。

J C M A



【筆者紹介】
湯浅 大樹（ゆあさ だいき）
東亜建設工業(株)
主査



港の基盤・空間デジタル化技術

伊藤 輝

近年、国土交通データプラットフォームなどこれまで蓄積されてきた様々なデータを活用する動きが加速している。また、BIM/CIMによる設計施工の原則適用など取り扱う必要のあるデータが変化している。

筆者らは都市丸ごとのシミュレーション技術研究組合に参画し、DPP（データ処理プラットフォーム）を用いた港湾分野のデータ変換・統合技術の研究開発を行っている。これは、データ変換・統合処理を自動化することにより効率的にデータを扱うことのできる技術である。

本報では、技術研究組合港湾分野のデータ変換・統合技術について3つの取り組みを紹介し、データ変換・統合技術について効果や課題を述べる。

キーワード：DX，デジタルツイン，シミュレーション，港湾

1. はじめに

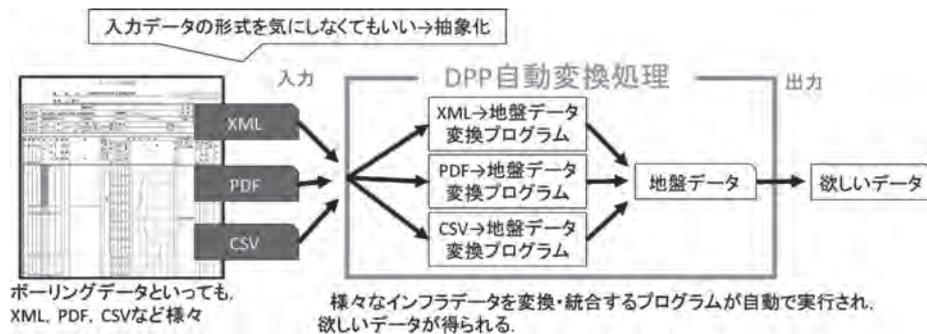
最近、国土交通データプラットフォーム（以下、国土交通DPF）など、電子納品された国有のデータを便利に利用できる状態で公開する動きが加速している。このようなインフラデータは年代、目的などによってデータの記述形式が多種多様である。例えばボーリングデータであれば、アナログデータをスキャンしたPDF形式のデータであったり、最新の電子納品基準を満足するXML形式のデータであったりと記述形式が異なったり、重要構造物付近の表層から最深部まで密にN値を測定したデータ、杭打ちのために支持層とその付近のみN値を測定したものであったりと目的によって持っているデータの質が異なっていたりする。ボーリングデータのみに着目してもこのように様々な形式・目的で記述されたデータが混在するため、構造物設計や防災・減災シミュレーションのための地震応答解析、津波・高潮シミュレーションを実施する場合、解析担当者はデータの収集・補間、シミュレーションソフト毎に異なるパラメータの計算や、入力データの作成など大きなコストが必要となる。そのため、地震や津波・高潮の重畳といった様々な災害シナリオの考慮や、地震応答解析による防波堤の沈下予測と組み合わせた津波シミュレーションなどの綿密な解析を行って避難計画を立てるなどといった対策は作業コストが高く難しくなっている。また、BIM/CIMを用いた設計施工、維持管理が推進され、デジタルツ

インを用いたシミュレーションの研究が進む中で、これまで蓄積されてきた様々な構造物図面の活用が急務となっている。構造物図面を読み取りBIM/CIMモデルを作成するには、その両方に精通した技術者が小さくない工数をかける必要があるが、今後モデル化が必要となる構造物の数は膨大であり、現実的ではないと思われる。担い手不足の中、このような課題に対応するためには、ベテランや専門的な技術者の技術を扱いやすいプログラムに実装し、多くの技術者が扱えるようにすべきであり、最近ではAIを使った研究が目立っている。

筆者らは、都市丸ごとのシミュレーション技術研究組合（代表：神戸大学）に参画し、DPP（データ処理プラットフォーム）を用いてこれらの様々な形式の様々なインフラデータを効率的に連携し、都市を丸ごとデジタルツインする研究開発を行っている。

2. DPP（データ処理プラットフォーム）

都市丸ごとのシミュレーション技術研究組合では、理化学研究所で開発されたDPP（データ処理プラットフォーム）を基幹技術とした都市デジタルツイン技術の社会実装を目的としている。DPPとは、“データ変換を自動化することにより、データ形式を抽象化する手法及び言語”である¹⁾。DPPの概要を図1に示す。先に示した通り、ボーリングデータは年代・目的によって様々な形式で記述される。DPPのライブ



図一 1 DPP (データ処理プラットフォーム) の概要

ラリとして、読み込んだデータを中間的なデータ（例の場合、地盤データ）に変換するプログラムをそれぞれプログラミングしておくことで、どのような形式のデータを入力しても DPP が自動で適切な変換プログラムを選択し自動変換する。変換プログラムが充実すれば、ボーリング試験のデータであればどのようなものでも入力できるため、データの形式を意識することがなくなり、抽象化されていると言える。変換プログラムは元データからデータを適切に取得するだけでなく、データの加工・補間といった処理も実装される。DPP では、DPP による処理をスクリプトを用いて制御する機能が備わっており、DPP ライブラリの作成者は DPP 利用者が適切にデータの加工・補間・整形が行えるようプログラムを実装している。先に述べたように、スキャンされた PDF データの場合、手書きの数値を読み込むことができず必要なデータが得られない場合など、周囲の情報から適切に補間したり、データの欠落を検出し、プログラムの使用者に判断をゆだねるといった方法をとる必要がある。これらの処理は、土木に関する深い知識（土木知）を持った技術者が DPP のライブラリを記述することで実装が可能となる。このため、都市丸ごとのシミュレーション技術研究組合では IT 業界や大学のほか、ゼネコンやコンサル各社が DPP プログラムを学習し、共同でライブラリを開発している。

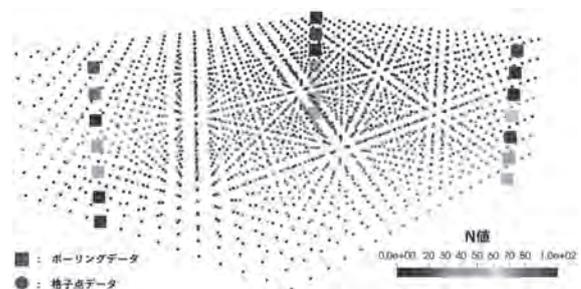
DPP によるデータ変換ライブラリは、ボーリングデータなどを処理する地盤分野のほか、高速道路などの橋脚、河川、埋設管等様々な分野で開発が行われているが、ここでは港湾分野の開発内容を紹介する。

3. 港湾 DX

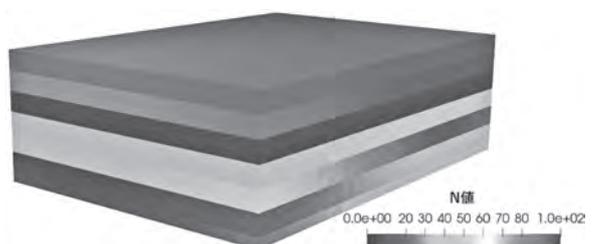
港湾分野の DPP ライブラリ開発について、代表的なものを下記に示す。

(1) 地震応答解析ソフトウェア FLIP の入力データ自動作成

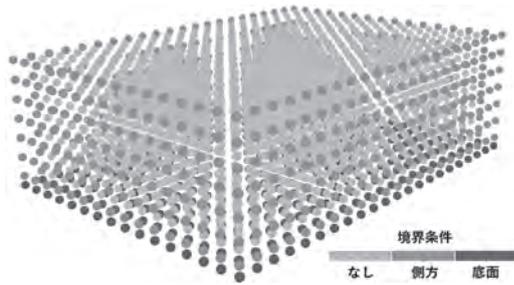
地盤分野では神戸大学が主導して汎用地盤モデル「GridModel」が開発されている²⁾。GridModel を図一 2 に示す。GridModel は N 値などのボーリングデータから補間されたデータが格子状に配置された地盤モデルである。続いて図一 3 は GridModel の格子状に補間されたそれぞれの格子点に対して節点や要素の情報を与えた有限要素モデルである。最後に図一 4 は GridModel に付与された節点情報を可視化した図であり、境界条件で色付けしている。GridModel の格子点にはボーリングデータから補間された N 値、土質区分などのデータと、これらのデータから計算された数値解析用の土質パラメータが設定されている。FLIP で利用できる地盤モデル用のパラメータも可能なものは自動で計算されるほか、DPP スクリプトを用いてパラメータを直接指定することも可能である。計算されたパラメータや有限要素モデルは FLIP でそのまま利用できる入力データとして出力することができる。



図一 2 GridModel



図一 3 GridModel から作られた有限要素モデル



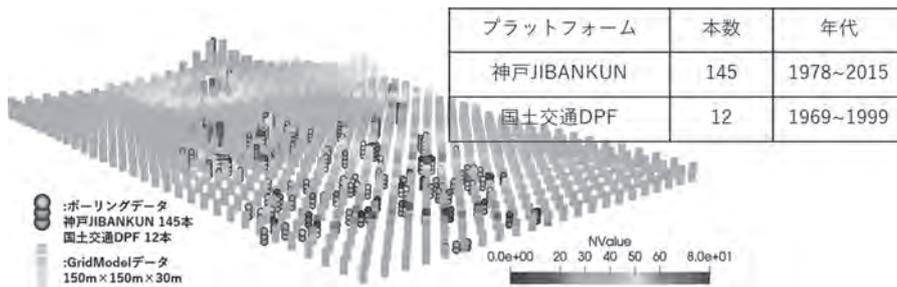
図一4 境界条件パラメータ

図一5に神戸市灘区のボーリングデータを用いて作成したGridModelを示す。DPP・GridModelを用いたボーリングデータの読み込み及び地盤モデルの作成は、フォルダに国土交通DPFからダウンロードしたXML形式のボーリングデータを配置し、DPPスクリプトを読み込むことで簡単に行うことができる。また、図一6に示すような有限要素モデルも自動で作成され、有限要素解析ソフトFLIP用の入力データが出力される。図一7は出力された入力データを用いて解析を試行した結果である。

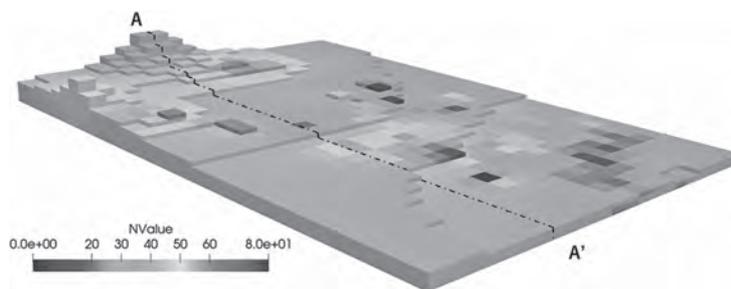
(2) 津波・高潮シミュレーションの合理化

津波・高潮シミュレーション用の入力データを効率的に出力するためのDPPライブラリ開発について示す³⁾。設計実務で津波・高潮シミュレーションを実施する場合、対象となる領域（設計対象の構造物が設置される領域など）は津波・高潮の影響する範囲と比べるとごく狭い領域となる。そのため標準的な津波・高潮シミュレータでは、日本列島を含むような範囲が広く、粗いメッシュの領域から、徐々に狭く詳細な領域へと計算範囲を区切る（ネスティングする）ことで計算コストと計算精度を確保している。このとき、詳細で狭い領域は現地で取得した地形データなどを利用することとなるが、その他の広範囲のデータはG空間情報センターなどで公開されているデータを使用することが多い。本DPPライブラリでは、設計実務でよく用いられる「内閣府 南海トラフの巨大地震モデル検討会」のデータ（以下、検討会データ）を用いて津波・高潮シミュレータ向け入力データを作成する。

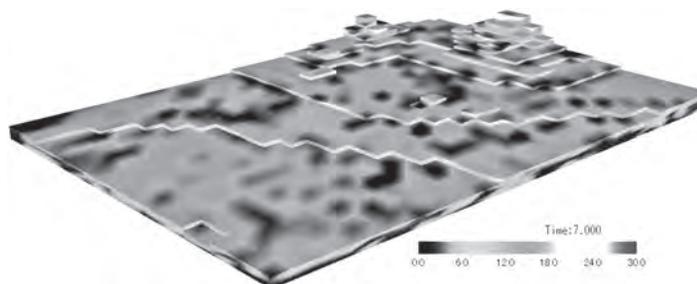
図一8にライブラリの処理フローを示す。検討会



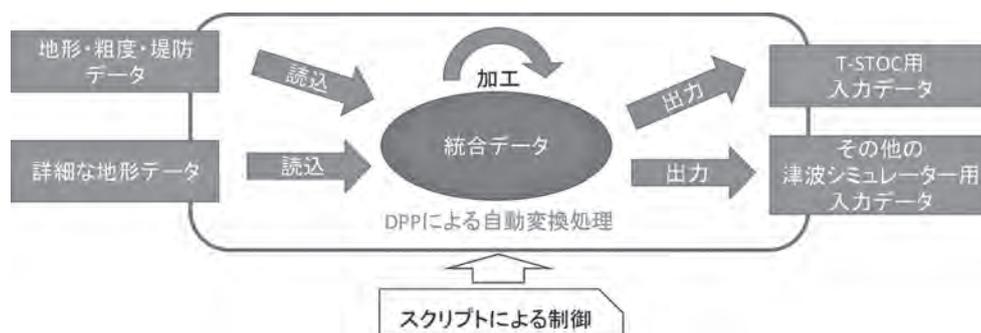
図一5 神戸市灘区のGridModel



図一6 神戸市灘区の有限要素モデル



図一7 神戸市灘区の地震応答解析試行結果



図—8 津波高潮シミュレーション向け DPP ライブラリの処理フロー

データは、その他の津波・高潮シミュレーションの入力データとして作成されたものではないため、使用するシミュレータ向けにデータの大幅な加工、整形が必要となる。本システムは、港湾空港技術研究所で開発された津波高潮シミュレータ STOC の入力データを標準として出力できることを目標に開発されているが、将来的に各社で様々に使われているシミュレータの入力データを出力できるよう、できるだけ汎用性を持たせて開発が行われている。DPP ライブラリとして実装されている本システムは、DPP 上でスクリプトを使って制御可能である。検討会データを読み込んで中間データを作成・加工し、各種シミュレータ向けに出力される処理はすべてスクリプトによって制御される。スクリプトの命令文には、STOC 向けの入力データを出力する命令のほか、地形データなどを確認するため可視化ソフトで閲覧できる形式のデータを出力する命令、解析条件パラメータを変更したりする命令が実装されている。その他、STOC による解析を実施するためには必要となるデータの加工命令が実装されており、各領域の境界部分の地形データの変更により整合性エラーが出ないようにしたり、解析領域の自動分割を命令として実装し必要であれば計算コストを低減できるような機能追加を行った。このようにすべての加工作業を自動化することではなく、スクリプトを用いて実施する命令として実装することで作業を省力化するだけでなく、技術者が高度な処理を行える高度化を実現できるように開発が行われている。このため、専門家が作成したスクリプトを使ったり、アドバイスをすることで専門的な知識を持たない自治体等で入力データを作成したりすることができる。その他、地震発生時にスクリプトが自動で処理を開始するように設定しておき、発生した震源の位置によって適切な津波モデルを選定、入力データを作成して STOC によるシミュレーションを実施し、結果データを自動で変換して適切なプラットフォームに送信することで被害の推定に利用したりできる。

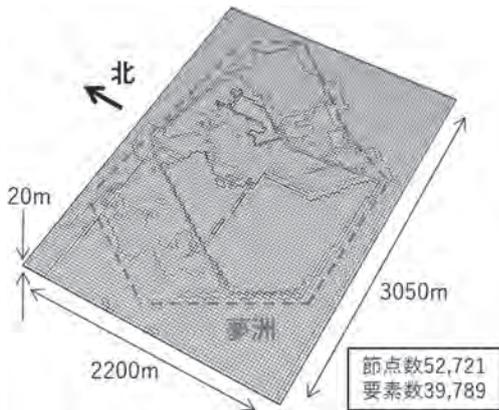
表—1 に本システムを用いた場合の津波・高潮シミュレーションの入力ファイルの作成日数と、現行の作業日数の比較を示す。現行の作業日数が約 17 日間の作業を必要とするのに対して、DPP を利用する場合はスクリプトの作成時間である 1.6 日間と大幅に短縮される。また、スクリプトを再利用、あるいは多少のパラメータ変更のみの場合、DPP によってデータが処理される時間は 1 分程度となる。そのため、様々な条件でシミュレーションを行いたい場合、特に手作業で変更することが難しいパラメータがある場合には大きなコストダウンとなる。

図—9, 10 に大阪府大阪市此花区夢洲付近のボーリングデータを用いて DPP で自動作成した有限要素モデルと、同じく夢洲付近の地形データを示す。一般的に地震応答解析を行う場合、地形の座標は原点付近に設定するが、DPP ライブラリではボーリングデータに含まれる緯度経度などの座標情報を持っているため、検討会データと位置が整合する(図—11)。このため、地震応答解析の結果である沈下情報をそのまま津波・高潮シミュレーションの地形データに反映させることが可能となっている。また、システムの開発が進むことで対応する地震応答解析ソフトが増加すれば、港湾構造物が設置された地盤は FLIP、高速道路盛土などは DACSAR の解析結果を反映させるなど、様々な分野で信頼されているソフトウェアを連携させることが可能である。これまで、地震後の防波堤や重油タンクの被害、堤防の被害が津波被害にもたらす影響が議論され、これらを連成する解析手法が提案されるなど研究開発が進んでいるが、実用化には至っていない。しかしながら、FLIP や DACSAR などの異なる分野で信頼されている解析技術と津波シミュレーションを連携させることで、ある程度の信頼性を確保しつつ急務となる災害対策を進めることができると思われる。また、入力データ作成コストが低減したことにより、これまで防波堤が健全か完全に消失したかの極端な設定で行わざるをえなかった津波・高潮シミュ

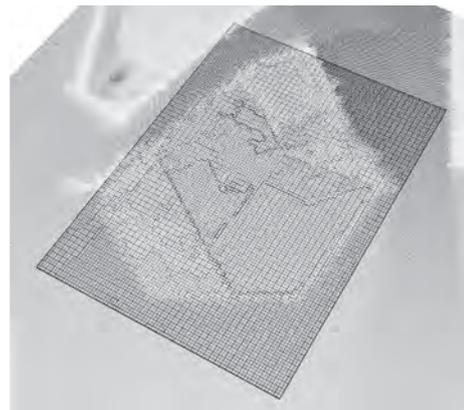
表一 1 DPP と現行作業の日数比較

項目	作業内容	現行 (日)	DPP利用 (ms)	DPP利用 (日)
計算条件	内閣府「南海トラフの巨大地震モデル検討会」のデータあるいは「報告書・成果品」のデータ読み込み	1.5	10497	
	領域の接続関係の定義 (data.ini)	0.1	4	
	解析条件ファイルの作成 (Area)	3.8	32333	
	計算ケース名の出力	0.1		
	計算格子データの設定	2.0		
	分割領域の設定	0.1		
	形状データの設定	0.1		0.1
	時間積分の制御情報の設定	0.1		0.1
	使用するモデル・パラメータの指定	0.1		0.1
	流体の物性値の設定	0.1		0.1
	境界条件の設定	0.5		0.5
	初期条件の設定	0.1		0.1
	行列ソルバーのパラメータの指定	0.1		0.1
想定する台風情報の設定	0.5		0.5	
再現計算モデルの構築	地形・形状データ (Area.str)	10.5	97	
	解析領域のX, Y, Z方向のセル数設定	1.5		
	計算セルか否かを表すフラグの設定	1.5		
	各セルの有効体積率の設定	1.5		
	X, Y, Z方向の面透過率の設定	1.5		
	海底面のZ座標値の設定	1.5		
	水位の設定	1.5		
	マニングの粗度の設定	1.5		
計算の実施	ネスティング計算時の地形の不整合によるエラー訂正	1.0	9791	
合計		16.9	52722 ≒53秒	1.6

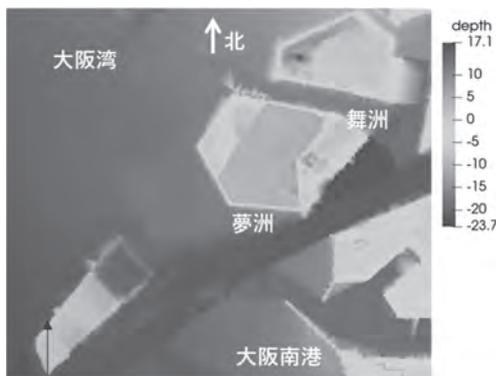
() 内はスクリプト作成時間を含む場合の合計



図一 9 大阪府大阪市此花区夢洲付近の有限要素モデル



図一 11 有限要素モデルと地形データの整合



図一 10 大阪府大阪市此花区夢洲付近の地形データ

(3) 二次元港湾構造物図面の三次元モデル化

国土交通 DPF など で 公 開 さ れ る デー タ の 中 に は、電 子 納 品 さ れ た CAD 図 面 デー タ な ど も 含 ま れ る。こ の よ う な CAD 図 面 を 三 次 元 化 し、デ ジ タ ル ツ ィ ン が 構 築 で き れ ば、各 種 災 害 シ ム ユ レー シ ョ ン な ど に 役 立 つ と 思 わ れ る。ま た、BIM/CIM に よ る 設 計 ・ 施 工 ・ 維 持 管 理 が 推 進 さ れ る 中 で、図 面 デー タ の 効 率 的 な 三 次 元 化 は 必 要 な 技 術 で あ る。特 に 港 湾 分 野 で は、既 存 の 港 湾 構 造 物 の 延 伸 ・ 改 良 な ど 旧 構 造 物 の 図 面 を も と に 設 計 を 行 う こ と が 比 較 的 に 多 い た め、効 率 的 な 三 次 元 モ デ ル 化 技 術 の 需 要 が 高 ま っ て い る も の と 思 わ れ る。

DPP に お い て、理 化 学 研 究 所 に て こ れ ま で に 高 速 道 路 橋 脚 の 二 次 元 CAD 図 面 か ら 三 次 元 モ デ ル を 出 力 す る プ ロ グ ラ ム が 開 発 さ れ て い る^{4),5)}。CAD 図 面 デー タ は、線 や 点、文 字 列 の 集 ま り で あ り、専 門 的 知 識 が

レ ー シ ョ ン か ら、地 震 に よ る 被 害 を 考 慮 し た よ り 経 済 的 に 優 れ た シ ム ユ レー シ ョ ン を 多 シ ナ リ オ で 実 施 ・ 比 較 検 討 し た り、ア ン サ ン プ ル 予 測 を 実 施 す る こ と が 可 能 に な る。

あれば構造を読み取ることが可能であるが、プログラムでは線や点・文字列の位置情報やレイヤー情報などしか読み取れず、構造を判読することは困難である。DPPでは橋脚の二次元CAD図面を読み取るプログラムを開発する際、データ変換・統合技術を活用して線や点、文字列の集まりから図を推定する機能が実装されている。港湾構造物図面の読み取りに必要な処理と橋脚の図面の読み取りプログラムは共通する部分が多くあるためこれらを利用して開発を行っている。

DPPを用いた二次元図面の三次元化技術は、特徴として図面から取得したデータをナレッジグラフと呼ばれる一種のデータベースとして保持することがあげられる(図-12)。ナレッジグラフでは、“港湾構造物”といった広い概念のデータから混成提、ケーソン、ケーソンの高さ等のパラメータへとより具体的にデータを関連付け、木構造のデータベースとして保存する。ナ

レッジグラフは図面からデータを取得するたびにこの木構造にデータの追加や変形等の操作することで構築される。このため複数の図面からデータを読み取り木構造を適切に発展させることで、施工区域全体あるいは港湾全体をデータベース化することも可能となる。

データを出力する際にも、ナレッジグラフを活用することで様々な要求を達成することが可能である。ナレッジグラフは自然言語類似の表現によってデータにアクセスすることが可能になっている。例えば図-13のナレッジグラフに対して“港湾構造物の名前が” *工区ケーソン “であるケーソンの高さ”をリクエストすれば、“12.1m”の数値データにアクセスすることができる。データへのアクセスだけでなく、“港湾構造物のケーソン”でアクセスできるデータに対して三次元モデルの出力命令をすれば、適切な形式の3Dデータが得られる。図-13～15にテストモデルと



図-12 ナレッジグラフ



図-14 BIM/CIM用の詳細なモデル

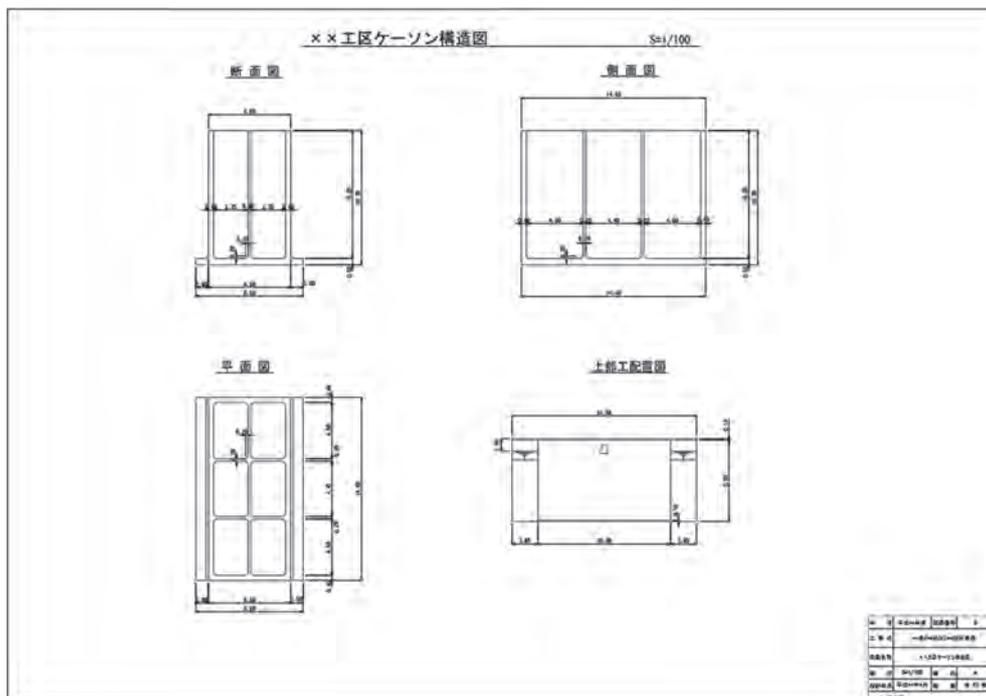


図-13 電子納品基準を満足するケーソン構造図(隠滅処理済み)



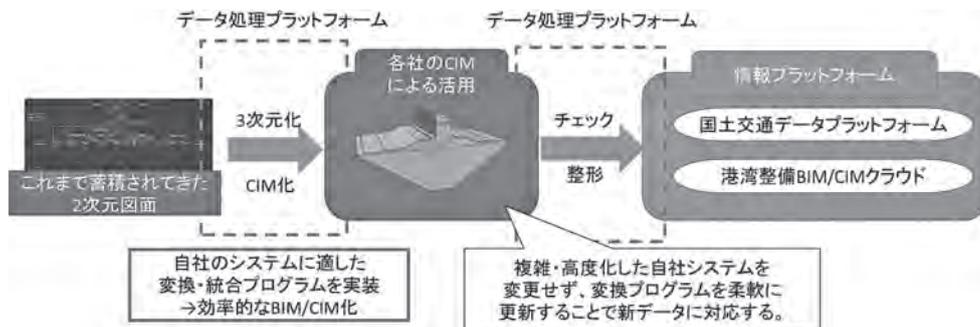
図一 15 地震応答解析用の三次元モデル

して用意したケーソン構造図と三次元モデルの出力結果を示す。三次元モデルは BIM/CIM モデルとして利用できる詳細なモデルと、地盤も含めた地震応答解析に必要な十分なモデルを出力することができる。これらは、先に述べたデータのアクセス方法を用いて詳細モデルと地震応答解析用モデルを選択することができる。

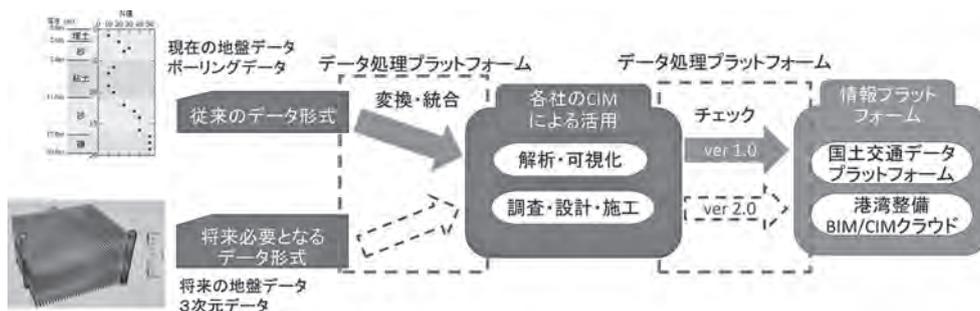
これらの図面読取・出力技術は発展途上であり、現状対応できる港湾分野の図面の種類は少ない。先行している高速道路橋脚の分野では、橋脚の配筋図を読み取って三次元モデルとするなど研究が進んでいる。港湾分野でも、平面図など広い範囲の図面だけでなく、配筋等の詳細なモデルを出力するために必要な図面など対応を広げたい。

4. データ変換・統合技術と CIM

構造物図面などの三次元化技術について、非 BIM/CIM データを BIM/CIM 化する技術を研究・開発することで企業にとってどのような便益があるか述べる。図一 16 はこれまで蓄積されてきた図面と、各企業が持つ設計・施工・維持管理システムと情報プラットフォームとの関わりである。まず、これまで蓄積されてきた様々な分野の構造物図面は BIM/CIM が推進されることにより BIM/CIM 化加工が必要なデータになった。また、納品先のプラットフォームはこちらも同じく BIM/CIM データによる納品が求められる、実際に港湾分野では港湾整備 BIM/CIM クラウドの整備が進められている。その中で、各設計・施工・維持管理企業は複雑・高度化した自社システムを持っており対応が急務となる中、人手不足や労働時間規制など条件は厳しいものとなっている。3章で述べた構造物図面の三次元化技術は現状、詳細モデルや地震応答解析用モデルの2つの出力先を実装しているが、各社が持つ設計・施工・維持管理システム向けの出力を実装することで、自社システムを維持しつつ対応可能であると考えられる。また、納品においてもこれらのデータ変換技術を取り入れることで、社外秘の情報をシステム的に取り除いたり最新の納品基準を満たすかどうか自動でチェックすることができる。図一 17 には、さらに周辺環境が変化する場合の対応を示す。今後新たな



図一 16 データ変換・統合技術と情報プラットフォームの関わり



図一 17 入出力情報の発展とデータ変換・統合技術

計測技術やデータの蓄積方法が考案されて扱うデータが追加されたり、提出方法や基準が変化しても、データ変換・統合技術を持っていれば機能追加で対応可能である。

データ変換・統合技術を持つ大きな便益として、データの標準形式に縛られないといった点があげられる。例えば、今後 BIM/CIM が標準となっていく中で BIM/CIM 向けソフトウェアでそのまま地震シミュレーションを行うなど、BIM/CIM と親和性の高い解析手法が台頭すると思われる。しかし日本で主に信頼され、伝統的に使われている解析手法で BIM/CIM を意識したものは少なく、海外の手法に置き換わっていく可能性も少なくない。データ変換・統合技術を用いれば、BIM/CIM 等の標準形式は抽象化された形式の一つにすぎない。解析手法でいえば、BIM/CIM データから自動で入力データを作成したり、出力データを BIM/CIM データに自動で変換するプログラムを開発することで、伝統的手法も両立が可能である。これにより、BIM/CIM に親和性の高い手法から伝統的な手法まで多様な選択肢を保持できるほか、新たなシステム整備を行うコストを削減することができる。

5. 課題

これまでデータ変換・統合技術を学習し、港湾分野でライブラリとして実装してきた中で見た課題を整理する。

まず、土木の知識に優れ、プログラムとして実装できる人材が少ないことがあげられる。DPP によるデータ変換・統合技術は、その特殊な設計から土木技術者には難度が高く、この技術を使いこなす情報工学の人材は土木の知識を持たないため、柔軟な実装が困難である。そのため両方の技術を持った技術者の育成が必要なことである。データ変換・統合技術はその性質上、変換プログラムが多様化すればするほど便利になっていくが、技術者の数が少ないことからプログラムの充実とは遠くなっている。

次に、データへのアクセス難度が高い点である。国土交通 DPF によりデータベースにアクセスしやすく

なったり新たなデータが公開されてはいるが、途上であり十分にプログラムの開発を行えるほどは充実していない場合が多い。特に、構造物図面の三次元化においては顕著で、技術研究組合に参加している設計会社の厚意で図面データを得ているのが現状である。本来であればケーソン構造物一つとっても様々な表記ゆれやデータの欠損などプログラムにて対応したい事象は様々に存在するが、図面数が少ないため比較検討しプログラムに落とし込む作業が実施できずにいる。

6. おわりに

都市丸ごとのシミュレーション技術研究組合の港湾分野で研究開発が行われている港湾 DX 技術を紹介したほか、データ変換・統合技術について述べた。今後も精力的に研究開発を進め、社会実装など進めていきたい。

JICMA

《参考文献》

- 1) 大谷英之：記述形式の自動変換に基づく異種データ連携における型定義の自動化に関する研究，地理情報システム学会講演論文集，No.28，ROMBUNNo.F-5-4，2019.
- 2) Takeyama, T. O-Tani, H. Oishi, S. Hori, M. and Iizuka, A. : Automatic Construction of Three-dimensional Ground Model by Data Processing, Transaction on Mechatronics, Volume : 26, pp.2881-2887, 2021.
- 3) 伊藤輝，竹山智英，大谷英之：地震応答解析と津波シミュレーションの入力データ自動構築と連携システムの開発，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，78，pp.L_889-L_894，2021.
- 4) 大谷英之：自然言語類似の情報表現を媒介とする異種データ連携における統合データとしてのナレッジグラフ自動構築手法の検討，人工知能学会第二種研究会資料セマンティックウェブとオントロジー研究会，2022 卷，SWO-058 号，pp.12-01-pp.12-04，2022.
- 5) 大谷英之：土木構造物設計図面からの 3 次元モデル自動構築におけるナレッジグラフの利用，人工知能学会第二種研究会資料セマンティックウェブとオントロジー研究会，2022 卷，SWO-057 号，pp.08-01-pp.08-06，2022.

【筆者紹介】

伊藤 輝 (いとう ひかる)
東洋建設㈱
土木事業本部 総合技術研究所 鳴尾研究所
地盤防災研究室
研究員



高性能水中位置管理機能搭載ブロック据付支援システム

WIT B-Fix Neo

土 屋 洋

起重機船を用いた水中ブロック据付に用いられるブロック据付システムは、港湾工事において比較的実績の長い ICT 活用システムと言える。しかし、吊荷の位置管理にクレーンブームトップを基準とするものが多く、ワイヤーの振れ等の影響により高精度な据付位置管理に向かない。この課題に対して弊社では、港湾工事に最適化された高精度な水中位置検知装置を用いて水中の吊荷の位置を直接測位することで高精度な位置管理が可能なブロック据付支援システムを開発した。本稿は、本システムで用いられる高性能な水中位置検知装置と管理ソフトの概要および活用例について報告するものである。

キーワード：港湾工事，ICT，施工支援システム，水中ブロック据付，水中位置検知装置

1. はじめに

国土交通省は、港湾事業において ICT を全面的に活用する工種のひとつとして、ブロック据付工を挙げている¹⁾。水中におけるブロック据付工事を支援するための ICT 活用システムは、現場導入開始より既に 10 年以上の実績を持っており、信頼性の高いものが運用されている。しかし、ICT 活用工事で求められる機能に加え、技術提案できる高度な技術が求められる近年では、これに十分に対応できるように、要素技術の追加や既存の機能の改善が課題となっている。

港湾工事に用いられる ICT 活用システムであるブロック据付支援システムは、主に起重機船を用いた水中ブロック据付に活用されており、吊荷の位置をクレーンブームトップの位置で管理するものが主流である。この方式は、ワイヤーの振れ等により、ブームトップの位置は正確に把握できても、吊荷の位置は正確に把握できない場合がある。そこで弊社では、吊荷の位置を高性能水中位置検知装置によって直接測位する機能を持つブロック据付支援システム「WIT B-Fix Neo (Wakachiku Information Technology Block Fixation System Neo)」(NETIS: KTK-210007-A)²⁾を開発した。本稿は、高性能水中位置検知装置をはじめとした構成技術を含め、WIT B-Fix Neo についてその概要を報告するものである。

2. 水中位置検知装置

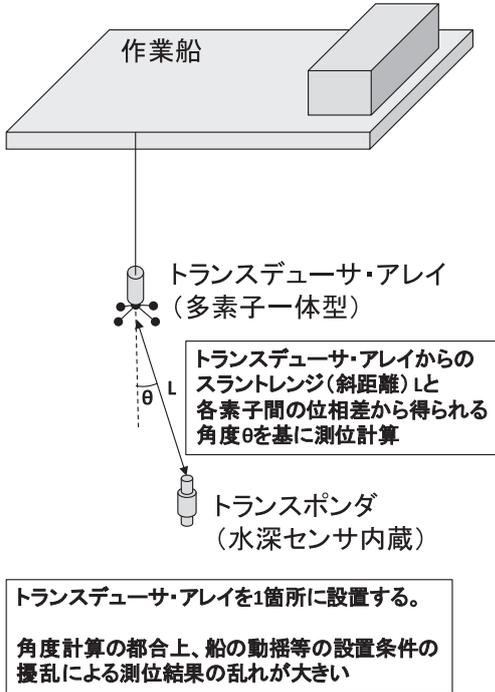
電波、電磁波が拡散しやすい水中では、音響を用いた測位技術が使用される。水中位置検知装置は音響を利用するアクティブソナーの一種で、船上の「トランスデューサ」と対象物に設置した「トランスポンダ」が音響信号をやり取りすることによってトランスポンダ位置の測位を行うものである。水中位置検知装置を用いて水中の物体の位置を特定するための手法はいくつか存在しており³⁾、それぞれの手法に一長一短がある。本システムでは、作業船への艀装を想定した「SSBL 方式」または「SBL 方式」と呼ばれる測位方式を採用し、対象や条件に応じて使い分けることができるようにしている。

(1) SSBL 方式による水中測位

SSBL 方式は、Super Short Base Line 方式の略称で、USBL (Ultra Short Base Line) 方式とも呼ばれる。発信する音波の波長を基準にした複数の振動子を正確かつ規則的に配列した「トランスデューサ・アレイ」を用いる測位方式である。図 1 に SSBL 方式の水中位置検知装置の概略説明図を示す。

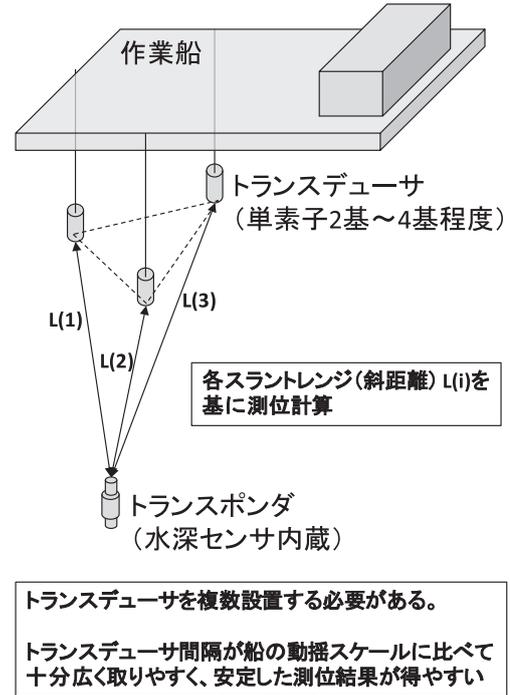
この測位方式では、トランスデューサ・アレイを船艀の 1 箇所に艀装し、測位対象となるトランスポンダへのスラントレンジ（斜距離）と方向角を用いて測位する。ここでトランスデューサ・アレイとは、複数の音響素子を高精度に配置した一体型のトランスデューサである。SSBL 方式は、トランスデューサの艀装が

SSBL (SuperShortBaseLine) 方式



図一 1 SSBL 方式水中位置検知装置

SBL (ShortBaseLine) 方式



図一 2 SBL 方式水中位置検知装置

1 箇所で済むことから、船舶艤装の際に配置計画が複雑にならず、比較的広く普及している方式である。港湾工事で用いられる ICT 施工支援システムにおいても導入が進んでおり、主に作業潜水士の位置管理に用いられることが多い。十分な精度を持つ測位方式であるが、測位計算に方向角を用いることから、艤装精度や、艤装した船舶の動揺状況によっては測位が不安定になりやすいこともある。

(2) SBL 方式による水中測位

SBL 方式は、Short Base Line 方式の略称である。単素子のトランスデューサを船上の複数個所に艤装し、測位対象のトランスポンダまでのスラントレンジ(斜距離)を複数取得し、これを用いた幾何学計算によりトランスポンダの位置を決定する。図一 2 に SBL 方式の水中位置検知装置の概略説明図を示す。

SBL 方式では、測位計算の都合上、トランスデューサどうしの距離 (Base Line) を比較的長くとる必要がある。必要な距離は、測位対象水深によるが、10 m ~ 40 m 程度をターゲットとした港湾工事では、短くても 10 m 以上が望ましい。SBL 方式では、複数個所にトランスデューサを設置する必要性から船舶艤装時の配置計画に注意する必要がある。その一方、測位計算において角度を使わず、距離を用いる (三角測量のイメージ) ので、測位安定性が高く、安定した高精度測位が比較的容易である。

3. 施工支援システム 「WIT B-Fix Neo」

「WIT B-Fix Neo」は、水中位置検知装置、GNSS 等を組み合わせ、ブロック据付工をはじめとした水中構造物の据付に適用できる施工支援システムである。本システムは、SSBL 方式、SBL 方式の両方式に対応しており、測位対象、管理目的、使用船舶等の条件に合わせて適切に使い分けることができる。また、本システムで用いる水中位置検知装置は、港湾工事で用いることを想定していることから、同形式の一般的な汎用水中位置検知装置とは一部異なる仕様としている。

まず、港湾工事で対象となることの多い浅海域を対象とするため、測位対象とする水深は 60 m とした。次に、平面距離はクレーンの旋回半径や起重機船のサイズ、作業潜水士の送気ホース長等を考慮し、半径 300 m 程度に検知範囲を絞った。これに基づいて、音響出力や通信データフォーマットの最適化を行うことで、複雑な音響条件である浅海域における測位安定性や精度の向上を図っている。

吊荷対象物に設置するトランスポンダには水深センサを内蔵している。水深センサ情報を用いることで、測位に用いられる幾何学計算の解の補正に有用な追加情報を得ることができる。特に、浅海域での工事に見られる平面距離と鉛直距離に大きな差が生じるような幾何学的に歪な測位条件においては、水深方向の誤差が大きくなりやすく、有効な補正情報となる。また、

潜水士が装備する際には、無線通信式の深度計として、潜水士の減圧管理に応用することも可能である。

(1) システム構成

本システムの構成を図-3に示す。基本的な構成は、以下の通りである。

(a) 船位およびクレーンの吊点位置を測位するためのGNSS機器

水中位置検知装置の測位における基点となる位置を、船体に艤装したGNSS（コンパス）を用いて取得する。また、クレーンの動きは施工管理において重要な情報であるので、クレーンブームトップにもGNSSアンテナを設置する。

(b) 吊荷、潜水士の位置を測位するための水中位置検知装置

水中位置検知装置は、測位方式によって適切な位置に艤装される。トランスデューサは、音響的な見通しを確保するため、船底より低い位置に設置する必要があることに注意する必要がある。

(c) これらの機器の取得データを送受信するためのネットワーク（一部無線）

GNSSや水中位置検知装置の計測データや管理ソフトウェアの情報は、有線LAN、無線LAN等を用いたネットワークを用いて配信される。

従来、ICTを用いたブロック据付管理システムでは、クレーンブームトップのGNSSを用いて吊荷の

位置を管理する方法が多くとられていた。しかし、風や潮流等により吊荷が動揺する場合には、お互いの位置は必ずしも一致しない。

これに対して、本システムでは吊荷に取り付けたトランスポンダを用いて吊荷の位置を直接測位することにより、正確な吊荷の位置管理が可能となる。長尺の吊荷等、方向管理が必要なものに関しては、図-4に示すように、複数のトランスポンダを用いることで位置、方向の同時管理も可能である。

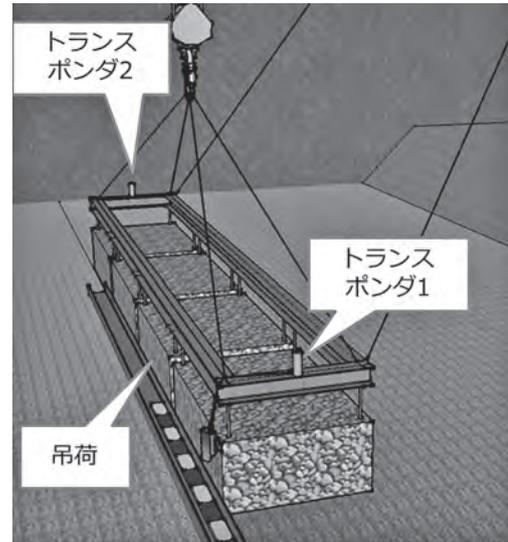


図-4 トランスポンダを複数設置した吊荷

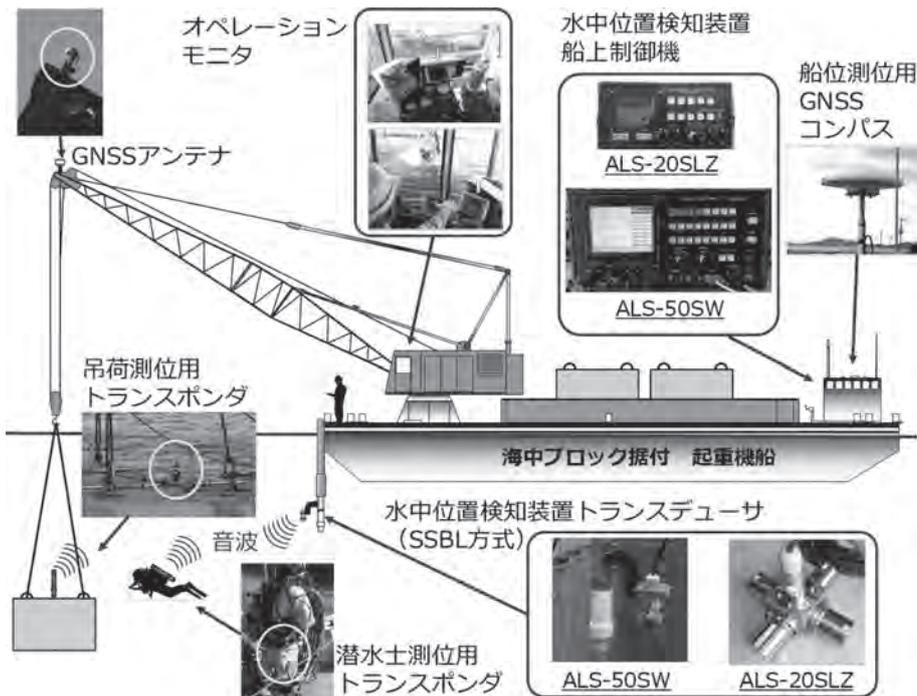


図-3 WIT B-Fix Neo のシステム構成

(2) 施工管理ソフトウェア

各測定機器の情報は無線、有線のネットワークによりやり取りされ、施工管理ソフトウェアの入力データとして、船上の任意の場所において取得可能である。また、管理ソフトウェアの画面は必要に応じてリモート共有され、管理者、作業員の持つ端末を用いて情報を共有できる。この管理システムは、主とするブロック据付誘導機能に加えて、安全管理機能、船位誘導機能、進捗管理機能等、施工管理に有用な機能を備えており、2008年に現場導入されて以来、様々な改良を重ねてきた。以下、本システムの活用例として、被覆ブロック、大型ブロックの据付について紹介する。

(a) 被覆ブロック据付

被覆ブロックの据付においては、クレーンの機動性の高い小型の起重機船を用いることが多いことから、SSBLの水中位置検知装置を用いた図-3のような機器構成によって施工を行うことが多い。被覆ブロック据付において吊荷と潜水士の位置を管理する場合の管理画面例を図-5に示す。潜水士はアイコンで、吊荷位置はクロスヘアラインの中心として表示され、互いの位置関係が視覚的に把握できる。トランスポンダの深度は画面下部に時系列表示されており、平面位置と併せて3次元的な位置管理が可能である。

また本システムは、水中位置検知装置の計測データを用いて管理画面の左上に表示されている「潜水士①接近」のように、吊荷と潜水士の接近警報機能を備えている。本機能は、直接目視管理することの難しい水中作業における吊荷と潜水士の激突、挟まれ事故等の安全管理に有用である。施工管理については、画面上の色付けとリスト表示による進捗管理機能を備えており、効率的な管理が可能である。画面右上のリストに

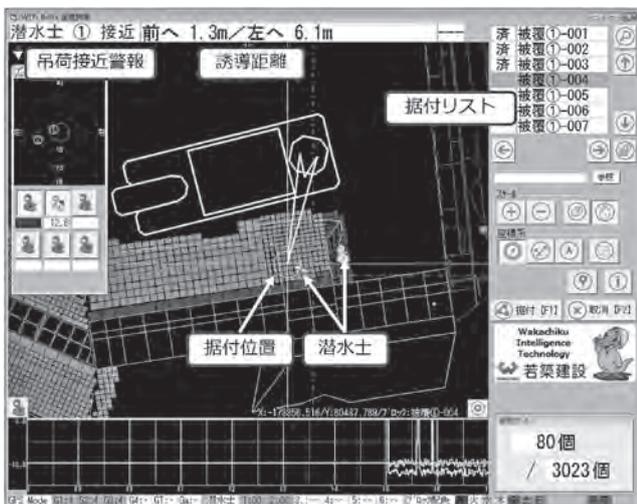


図-5 被覆ブロック据付管理画面例

表示される「済」マークは、画面上のボタンをクリックする、またはキーボードのファンクションキーを押下することでつけることができる。「済」の付いたブロックは据付座標、時刻が記録されており、サイクルタイムの評価に役立つ。

(b) 大型構造物の据付

大型の水中構造物（例えば、1,500tクラスの大型ブロック）を据付ける場合の管理画面例を図-6に示す。ブロック据付位置を高精度に管理するために、図-7に示すようにSBL方式の水中位置検知装置を用いており、据付対象のブロックには、方向管理のために2本のトランスポンダを設置している。図-6に示す管理画面では、トランスポンダ基準の位置とGNSS管理の位置が、画面上下方向にずれていることがわかる。これは、ワイヤーが前後に振れていることから、GNSSの測位情報を用いて算出したブロック位置と水中位置検知装置を用いて直接測定したブロック位置にずれがあることを示している。

実際の施工状況においては、このような大型の構造物であっても、うねりによる船体の動揺や風によるワイヤーの振れが見られることは多く、クレーン吊り点直下で安定していることは少ない。加えて、大型構造

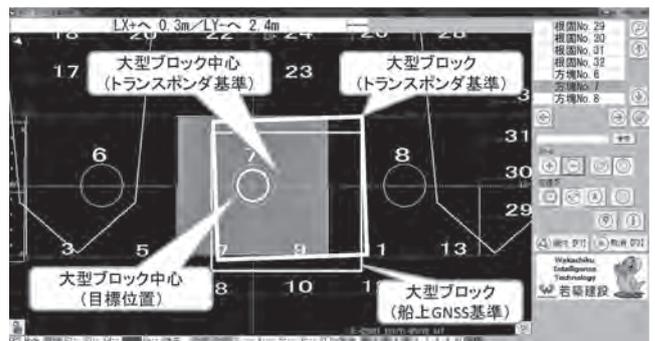


図-6 大型ブロック据付管理画面

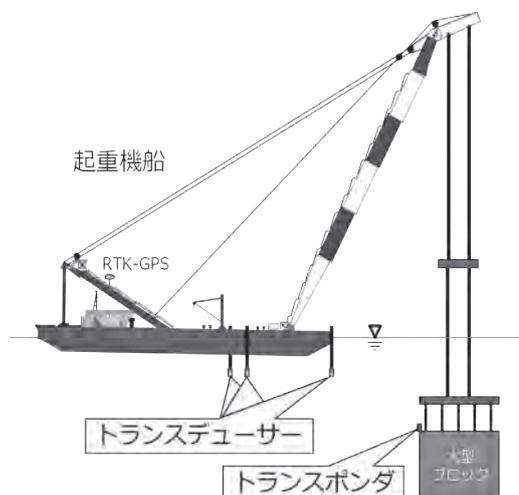


図-7 大型ブロック据付時の機材配置

物の据付においては高精度な位置管理を求められる。これらの条件下で要求される施工精度を効率的に満足するために、水中の吊荷位置を高精度に直接測位できる機能が有効である。半面、測位精度を出すには艀装精度や船体のロール、ピッチ補正の精度が重要であり、艀装や事前キャリブレーションに労力を割く必要がある。

4. おわりに

高性能な水中位置検知装置を備え、水中の吊荷位置を直接測位できるブロック据付管理システム「WIT B-Fix Neo」について、その構成機器と施工管理ソフトウェア、および活用事例を紹介した。本システムは10年以上にわたり改良を継続し、現場の需要に応えた有用な機能を実装してきた。SBL方式の高性能水中位置検知装置への対応と、水中の吊荷位置の直接管理機能はそのひとつである。さらに、2021年には、ソフトウェアと併せて機能を再整理し、新たなICT活用施工管理システムとして現場への導入を進めている。

各業界において担い手不足が問題となっている我が

国の現状を鑑みると、港湾工事においても現場の機械化、自動化を推進していく必要がある。本システムの備える計測技術、可視化技術は、水中施工を伴う港湾工事の自動化に向けた基礎的な要素技術であると言える。まずは、水中の作業状況を直接俯瞰できる3Dソナー等の高度な新技術と併せて、正確な座標管理に本システムを活かす等、様々な要素技術を組み合わせ、適材適所で運用していくことが肝要であると考ええる。

JCMA

《参考文献》

- 1) 港湾におけるi-Construction, (https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_fr5_000061.html)
- 2) 「高精度水中ブロック・潜水士位置検知機能搭載据付支援システム WIT B-Fix Neo」, 新技術情報提供システム NETIS, (<https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubsearch/details?regNo=KTK-210007>)
- 3) 「海洋音響の基礎と応用」, 海洋音響学会, 2004年

【筆者紹介】

土屋 洋 (つちや ひろし)
若築建設(株)
建設事業部門 技術部 技術研究所
施工技術開発グループ
課長



マルチビーム測深機を用いた施工管理システム

橋田 隆史・佐々木 智弘・坂元 賢司

浚渫や護岸工事、ブロック据付工などの海上工事において、水中の状態をリアルタイムに可視化しながら作業を行うことができれば、施工作業の確実性が向上する。また、確認測量などに要する待ち時間を削減することができれば、工事全体の効率化を図ることができる。このようなニーズに応えるため、マルチビーム測深機にパン回転装置を装着して台船上からスキュンニングを行い、準リアルタイムに3次元測量結果を得る施工管理システムを確立した。さらに、既存の国産施工管理ソフトの改修を行い、マルチビーム測深機のデータをリアルタイムに反映させるシステムを構築した。データ検証の結果、データの有効半径は水深比3.3倍、比較計測との標準偏差は6cmで全体の95%以上が±10cm以下の誤差範囲であることが確認できた。一方、台船でのパッチテストが課題であり、水路測量データとしての利用には課題が残るが、水中を可視化しながら作業できるという点での有効性が確認できた。

キーワード：マルチビーム測深機、MBES、モーションスキャン、マシンガイダンス、施工管理システム

1. はじめに

浚渫工事、護岸工事、ブロック据付工、などで実施される起工測量や竣工検査などにおいて、マルチビーム測深機（以下、MBESと記述：Multibeam Echosounder）が広く活用されている。MBESとは、扇状に発射した超音波の反射波を受波アレーにて受信し、数百の単独ビームに分離することで進行方向と直交する横断線上の測深を行い、作業船に艀装して航走させることで広域の3次元データを取得するシステムである。これを使って、作業中の固定された台船から面計測が可能となれば、水中地形を視認しながら重機操作が可能となり、施工の確実性を向上させることができる。この様な用途に現在では4Dソナーが利用されており、工事施工の高度化に大きく貢献してきた。一方、MBESを利用するメリットとしては、4Dソナーに比べて即時性は劣るが測量精度が高いこと、1台のMBESで水路測量と施工管理に兼用できる汎用性、などが挙げられる。本稿では、バックホウ台船およびグラブ台船にMBESを用いた施工管理システムを構築し（写真1）、実証試験を行った結果を報告する。

国内においては既に自社開発もしくは国産の施工管理システムを導入している企業も多い。この場合、海外製品の導入にはコスト増と使用方法の大幅な変更が強いられる点がデメリットとなる。こうした課題を解



写真1 MBES施工管理システム使用状況
台船：ハヤカワ建設機一栄号

決するため、既存の国産施工管理ソフトに、MBESスキュンニングデータを利用できるように機能改修を行った。本稿では、海外製の施工管理システムの紹介、国産の施工管理システムの改修事例の紹介、データ精度の検証結果、および、運用上の課題などについて報告する。

2. 海外製施工管理システムの紹介

(1) 施工管理システムの構成

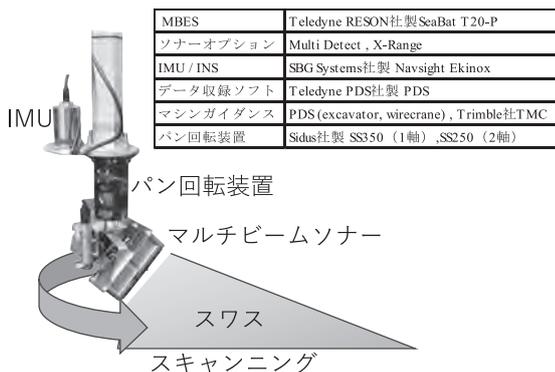
パン回転装置にMBESを艀装することで、定点からの3次元スキュンニングが可能となる。ソナー上部にIMUを装着することで、揺動なども補正しながら

スキャンニングを行うことができるため、ここではモーションスキャンと記述する。モーションスキャンは単独で利用することも可能であり、システムがシンプルなため、常設では無くテンポラリーに利用する際には有効である。また、台船や起重機もしくはバックホウなどの挙動をリアルタイムにアニメーション表示させる機能がマシンガイダンス機能であり、掘削履歴などを管理する機能が施工管理機能となる。データ収録ソフトと施工管理システムは、海外製の場合、一体的に機能するケースが多く、3Dグラフィックが洗練されている。現在提供可能な工種としては、バックホウ浚渫、グラブ浚渫、ポンプ浚渫、ブロック据付工、などである。

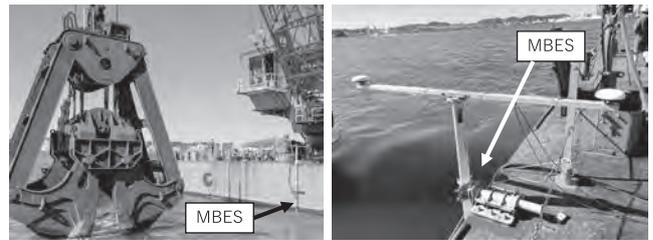
(2) 機器構成の一例

本稿で検証に利用したシステムの機器構成を図一1に示す。本実験ではMBESにデンマーク Teledyne RESON 社製 SeaBat T20 を使用したが、T50, T51 も選択可能である。パン回転装置は SeaBat など大型ソナーの回転にも対応する米国 Sidus 社製高トルク機種が適している。データ収録ソフトは Teledyne PDS, マシンガイダンスは Trimble 社の TMC を用いた。浚渫工事などでは掘削直後に土砂が舞い上がり底層付近で高濃度浮遊層が形成されやすい。この様な場合に有効なオプションとして X-Range を利用した。

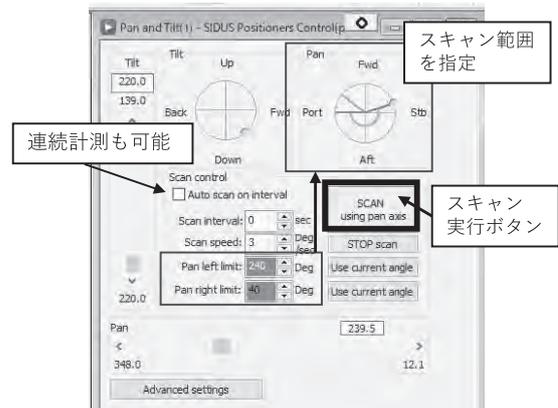
写真一2に、グラブ浚渫船にMBESを艀装した状況を示した。ソナーが回転しても浚渫船の舷側に干渉しないようにソナーヘッドを水面下1mに取付けた。GNSSアンテナはポールのトップに取付けているが、クレーンのジブがGNSSの真上に位置したときは測位データの利得が低下するため、常設の場合はブリッジの天井など上空が開けた場所にアンテナを設置することが望ましい。



図一1 MBES 施工管理システムの機器構成



写真一2 MBES 施工管理システム設置状況
グラブ浚渫船：関門港湾建設(株) 関陽



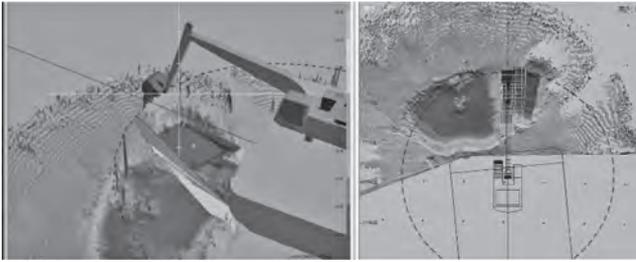
図一2 モーションスキャン制御画面

(3) モーションスキャン機能

モーションスキャン計測の制御画面を図一2に示す。スキャンの設定は、データ収録ソフトである Teledyne PDS のコントロール画面上で、船首方向から見た開始角度、終了角度、および回転速度、を入力することができる。また、Auto Scan 機能を選択すれば、一定時間ごとに自動でスキャンが実行される。ソナーのスキャン中はリアルタイムに画面上でデータ更新され、1スキャン終了と同時にグリッドファイルがハードディスク上に出力される。グリッドファイル名は固定名を選択することが可能なため、外部のソフトからファイル名を指定して容易に読み込むことが可能であり、外部アプリケーションとの連携も可能である。

(4) マシンガイダンスおよび施工管理機能

台船の位置と方位はGNSSコンパスから、クレーンやバックホウなどの情報はアームに取付けた傾斜センサーやワイヤー巻取りドラムからの回転情報などをソフトに取り込んで計算させる。なお、近年では起重機から施工管理向けの信号が出力される装置も普及しており、これを直接取り込むことも可能である。TMCでは図一3左の様に点群データを3D表示可能で、グリッドデータも並列表示可能である。またスキャン中のスワス位置も描画され、計測と同時に測深データが即座に更新される。バックホウなどで水底を掘削した場合は、バケットサイズなどの情報を元に



図一三 マシンガイダンスおよびグリッド表示

掘削量が計算されて掘削痕がグラフィック表示される。MBESによるモーションスキャンが実行された場合は、最新の実測値で上書き更新される。

3. 国産の施工管理システムの改修

(1) 海外製の施工管理システムにおける課題

Teledyne PDSなどの海外メーカー製施工管理ソフトは、同一ソフト上からMBES計測とパンチルト装置の制御が可能で、計測結果表示とマシンガイダンスがシームレスに利用できる。また、3Dグラフィック機能においても洗練されており視認性が高い。一方、国内では自社開発もしくは国産の施工管理システムを導入しているケースが多く、それらはMBESとの連携機能は持たないものの、施工管理の高度化に大きく寄与している。これら既存の施工管理システムにみられる共通点としては、台船回航の誘導機能や、施工計画立案機能、などが実装されている例が多く、これらは海外製の施工管理システムにはみられない。このため、自社製の施工管理システムを導入済みの事業者にとっては、新たに海外製システムを導入することで、使い慣れた機能が使用できなくなるなどの弊害が懸念される。こうした課題を解決するため、国内企業による自社開発の施工管理システムに、MBESのモーションスキャンデータを連携されるためのシステム改修を行った。

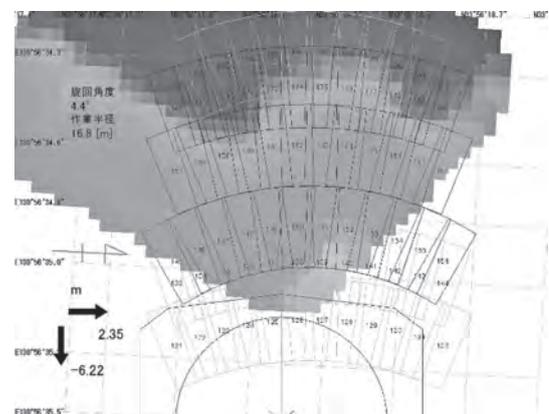
(2) MBES計測データ読み込み機能の追加

対象としたのは、関門港湾建設㈱が自社開発した施工管理システムである。ここでは仮にDRGシステム(DRG: Dredging System)と記述する。DRGシステムは、事前に掘削座標を含めた施工計画を詳細に作成し、施工時にはバケットによる実際の掘削履歴を施工計画に合わせて管理していく機能を有する。また、関門海峡などの強流帯においても海流計測結果からバケットの移流計算を行い、水中での施工座標を補正するなど、施工場所の特長を踏まえた運用が可能となっ

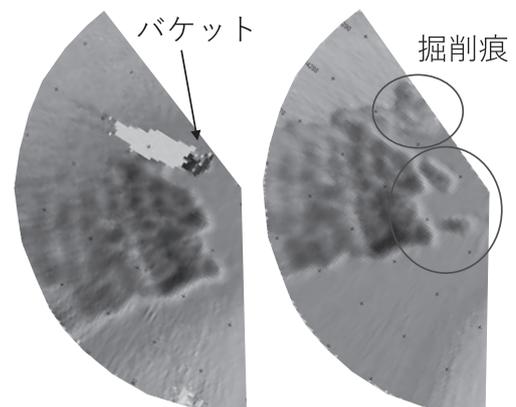
ている。このため、新たに海外製の施工管理ソフトを導入することが難しく、従来のDRGシステムを活用した形で、MBESとの連携を図る機能を追加することとした。

具体的には、MBESのモーションスキャン制御はTeledyne PDS側で実施し、スキャン完了後に得られたグリッドファイルを即座に読み込んで施工場所にグリッド表示させる、という手順である(図一四)。2種類のソフトを別々に制御する必要があるため、操作性の面で若干の煩雑さが生じることと、モニターを2つ準備しなければならない、などのデメリットもある。しかし、MBESのモーションスキャンはブリッジ上の監視員が操作できるため、クレーン操作室のオペレーターは画面の拡大・縮小やクレーンの操作などに専念でき、操作内容が追加されることは無い。

図一五はAuto Scanモードの有効性を確認した結果である。インターバルは5分間隔、回転速度は5度/秒で、掘削作業を止めることなく計測させている。図一五左は、施工中のバケットが映り込んでいる状態で、右図では10分後(2計測後)に掘削痕が追加された状況を確認できる。この様に、一時的にバケットの陰が映り込んだとしても、最新データで上書き更新され



図一四 DRGシステムでのMBESグリッド表示



図一五 Auto Scanモードの検証

る。以上より、狙った位置にバケットを降ろして掘削できることが確認されたとともに、Auto Scan モードが有効であり、計測に要する 30 秒程度の待ち時間は作業性に大きな支障を及ぼさないことが確認できた。

4. 実験およびデータ検証

(1) 水平方向の有効計測距離

垂直護岸に MBES とパン回転装置を取付け、静的環境からスキヤニングさせて水平方向の有効計測距離を検証した。計測対象は直径 20 cm 前後の捨て石マウンドである。センサー直下の水深は 9 m、有効データの半径は 31 m であった（水深比 3.3 倍）。比較のために MBES の航走計測を実施している。両者を重ね合わせたところ（図-6）、水平距離は水深比 1.6 倍付近までは比較データと良好に一致しているが、水深比 1.6~3.3 倍の範囲は比較データとの乖離が見られた。これは入射角が浅くなることと、対象が玉石であったためにボトム検出精度が低下したことが考えられる。平坦地形ではここまで顕著では無いが、やはり水深比 1.6 倍付近を境にデータ品質の低下が見られる。これらの結果から、モーシヨンスキャンのデータ有効範囲としては、最大計測範囲は水深比 3.3 倍で、良好な精度が担保できるのは水深比 1.6 倍までの範囲であることが確認された。

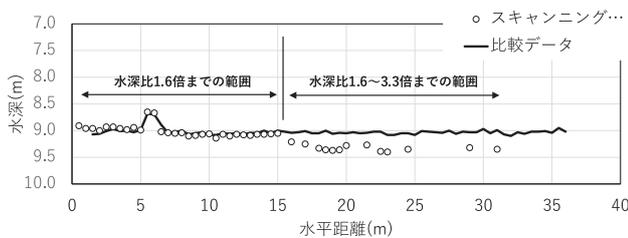
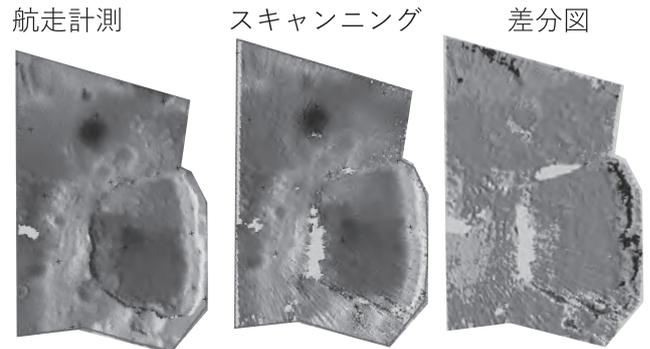


図-6 水平計測距離の検証

(2) マルチビーム航走データとの比較

次に、実際に台船に取付けた状態でモーシヨンスキャンさせたデータについて、通常マルチビーム航走計測データおよびスキヤニングデータとの高さの差分を図-7に示した。計測範囲全体について統計を取ったところ、両者の標準偏差は 6 cm、最大誤差は +44 cm、平均誤差は -1 cm となった。全データの 95% 以上が ±10 cm 以内に入っており、概ね良好なデータと言える。掘削範囲の輪郭付近では誤差が大きくなる傾向が見られたが、これは急傾斜面での僅かな座標のズレが影響したものと思われる。以上の様に、標準偏差、平均誤差、ともに良好な数値が得られてお



比較結果結果	水深差(%)		水深差(cm)			
	±5cm以内	±10cm以内	最大	平均	標準偏差	
データ数	22289	63.46%	95.53%	0.44	-0.01	0.06

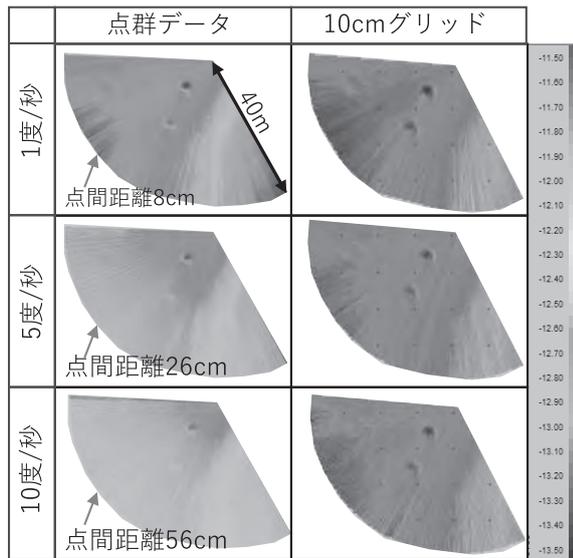
図-7 航走計測との比較検証

り、モーシヨンスキャンのデータにおいても施工管理上、実用的なデータが取得できることが確認できた。

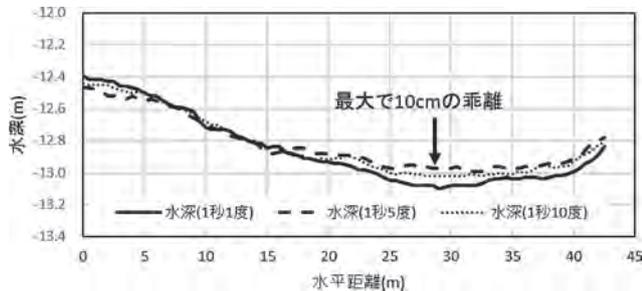
(3) 回転速度の違いによるデータ比較

次に、パン装置の回転速度によるデータ品質の違い、および最適な回転速度を把握するための検証を行った。スキヤニング時間は短時間が望ましいが、回転速度が速くなることでデータの品質や空間解像度が低下する恐れもある。このため、実用的な回転速度を把握するために、1秒間に、1、5、10度の3ケース実施した。回転範囲は120°としたため、10度/秒のケースで計測完了に12秒必要となる。各ケースについて、点群と0.5mグリッドに変換した比較図を図-8に示す。計測範囲にスパットの痕跡が2箇所確認できる。これは、いずれの回転速度でもグリッド化したデータには明確に痕跡が確認可能で、10度/秒のケースでもほとんど劣化が見られなかった。スワス端部での点群間の距離は、10度/秒のケースで水平距離40mに対して56cm程度であり、十分な点群密度を有していると言える。

次に、回転速度の違いによるバイアスの有無を検証した。図-9は、上記3ケースについて同一測線を切り出して比較した図で、最大誤差10cm以内に収まっており、回転速度の違いによりバイアスなどは生じないことが確認できた。最大誤差10cmは若干大きめに感じるが、本実験では2軸のパンチルト装置で計測しており、ギアの遊びが若干生じていたため、それが計測誤差に影響を及ぼした可能性が考えられる。経験的に、1軸のパン回転装置の方がギアの遊びが少なく、良好なデータが得られる傾向が見受けられる。以上より、施工中の回転速度として10度/秒の回転速度でも十分に実用的であることが確認できた。



図一八 回転速度の違いによる点群とグリッド



図一九 回転速度の違いによるデータ比較

(4) 台船でのパッチテスト

通常マルチビーム測量を実施する際には、ソナーとIMU間の取付け角度誤差（ミスアライメント）を、算出するためのパッチテストと呼ばれる一連の作業を実施する。これは、傾斜面など一定の条件の地形を選定して測深幅の重なりを調整しながら複数回航走して計測を行い、取得された地形データの断面プロファイルからソフトウェアがピッチ、ロール、ヨー軸それぞれのミスアライメントを逆算するというものである。しかし、機動力に乏しい台船においてパッチテストを実施するのは容易ではなく、特に流れが速い場所では困難を伴う。当該検証では、簡易的な方法として、台船をほぼ同じ測線上に約30mの距離を1往復させてパッチテストを実施した。その結果、有効なミスアライメント値を得ることができず、パッチテストそのものが成立しなかった。その理由として、選択した地形が平坦地形であったことと、作業上の制約で同一測線上を往復せざるを得なかったことが挙げられる。通常、台船が施工する場所は平坦地形が多いと予想されるため、場所や方法などには工夫が求められる。案としては、①海底にブロックなどを仮設し、台船の位置

をずらして3箇所ほどからスキヤニング計測し、既知のターゲットを重複計測させてパッチテストを行う方法、②作業船に一旦艀装を付け替えて通常のパッチテストを実施した後に台船に付け替える方法、などが考えられる。いずれも計測に要する労力が大きく、パッチテストの実施に関しては今後の課題である。

5. おわりに

MBESを活用した施工管理システムは、水中地形を視認しながら作業できる点で有効であることが確認できた。比較計測の結果、標準偏差6cm以内の精度が確認できた。計測範囲は、水深比1.6倍までは良好であるが、水深比1.6～3.3倍の範囲では精度が低下する傾向が見られる。特に玉石マウントなどの計測結果で遠方の精度低下が著しかったので計測対象によっては注意が必要である。今後は台船での簡便で効果的なパッチテストの方法を考案することが課題である。さらに施工事例と検証を重ね、誤差が生じやすい条件の把握や使用上の注意点などについて精査していく必要がある。

なお、本稿執筆にあたり、施工管理システムの事例紹介としてハヤカワ建設(株)殿に協力を頂いた。比較検証実験は大河津分水路新第二床固改築I期工事事務所に、バン回転装置の回転速度検証および国産の施工管理システムの改修に関しては、関門港湾建設(株)の協力を頂いた。ここに感謝の意を表すと共に、さらに当該システムが関係者の事業に貢献していくことを期待する。

JICMA

【筆者紹介】



橘田 隆史 (きつだ たかし)
 (株)ハイドロシステム開発
 代表取締役 社長



佐々木 智弘 (ささき ともひろ)
 (株)ハイドロシステム開発
 MBES 部門長



坂元 賢司 (さかもと けんじ)
 (株)ハイドロシステム開発
 MBES フィールドサポート 副技師長

表層型メタンハイドレート回収技術

大口径海底掘削装置

望月 幸司・岩本 駿介

メタンハイドレート（以下、MH）は、メタンガスと水分子が結晶化した氷状の物質であり、MH1 m³から約170 m³のメタンガスを取り出すことができる。日本海側の水深500 mから1,000 mの海底表面には、表層型MHと呼ばれるMHが多く存在しており、純国産の新たなエネルギー資源として期待されている。

表層型MHの研究開発は国家プロジェクトとして2013年から資源量調査が始まり、2020年から回収技術に関する要素技術開発が開始されている。本プロジェクトの一環として、表層型MH掘削用の大口径ドリルの開発を進めており、2022年度に表層型MH含有地盤を模擬した地盤を用いて陸上での掘削性能試験（以下、掘削試験）を行った。本報告では、表層型MHの研究開発のプロジェクト概要及び2022年度に実施した掘削試験について紹介する。

キーワード：海底資源開発、表層型メタンハイドレート、大口径掘削装置

1. はじめに

MHは高温・高圧環境下において、メタンガスと水分子が結びついてできた氷状の物質として存在しており、MH1 m³から約170 m³のメタンガスを得ることができる。図-1に示すように、日本近海の海底では、太平洋側において、水深1,000 m程度の海底面から200～300 m下に位置する砂及び砂泥互層の堆積物の粒子の隙間を埋めるように存在している砂層型MHと、日本海・北海道側において、水深500～1,000 mの海底面表面付近に存在する表層型MHとに分類される。日本の海域には、これらのMHが多く存在していると考えられており、純国産の新たなエネルギー資源になるだけでなく、将来的な水素・アンモニアの原料としても期待されている¹⁾。



図-1 砂層型MHと表層型MHの賦存領域
(引用：(国研)産業技術総合研究所ホームページ)

2013年から始まった資源量把握の調査によると、調査海域内で表層型MHが存在する可能性がある箇所が1,742箇所確認された。その内の1箇所となる上越沖の海鷹海脚のエリアではメタンガス換算で約6億m³あることが分かった（2016年調査）。また、表層型MHは、塊状、層状、粒状など、様々な状態で賦存していることが確認された。

表層型MHの研究開発は国のプロジェクトとして行われている。政府により、5年ごとに見直されている「海洋基本計画」において、海洋に関する施策方針の中に、表層型MHの研究開発が含まれている。また、経済産業省により、海洋基本計画に基づいた開発計画（「海洋エネルギー・鉱物資源開発計画」）が策定されている。現在は、第3基海洋基本計画（2018年5月15日）及び2019年2月15日に改定された「海洋エ



図-2 表層型MHの研究開発に関するロードマップ
(引用：(国研)産業技術総合研究所ホームページ)

エネルギー・鉱物資源開発計画」に示されている表層型 MH の研究開発ロードマップ（図一 2）に従い、経済産業省からの委託事業として、（国研）産業技術総合研究所が委託先となり、再委託を受けた機関が開発に取り組んでいる²⁾。

2023 年現在、表層型 MH の研究開発は、「生産技術の開発」、「海洋産出試験の実施場所の特定に向けた海洋調査」、「環境影響評価」の 3 つの柱と商業化に向けて必要な条件を検討するための長期的取組で進んでいる。生産技術の開発については、「掘削技術」、「揚収技術」、「分離技術」の 3 つの要素技術に分けて技術開発が行われている。今回報告する掘削試験は、「生産技術の開発」の要素技術のうち、「掘削技術」に該当する。

2. 表層型メタンハイドレート回収技術のコンセプト³⁾

表層型 MH を回収する方法として、図一 3 に示す広範囲鉛直掘削法の開発を行っている。

(1) 広範囲鉛直掘削法の概要

広範囲鉛直掘削法とは、浮体式生産設備（FPS）からライザー管を鉛直方向に降ろし、その下端に装備している大口径ドリルによって、海底面下の表層型 MH を掘削・回収する方法である。なお、水平方向に掘削範囲を広げる場合は、一旦、ドリルを海底面上まで上げてから FPS を移動させ、再度ドリルを降ろして掘削する。表層型 MH の掘削からメタンガスの生成までの一連の流れは以下となる。

- ①海底地盤表面に大口径ドリルを押し付けて回転することで掘削を行う。
- ②ライザー管の途中にガス（今回はメタンガス）を注入することで発生するガスリフトによって、掘削物

を周辺泥海水と共に大口径ドリル底面から吸い込み、浮体生産設備まで揚収する。

- ③浮体式生産設備のガス化タンクにて、揚収した MH をメタンガスに分解する。
- ④浮体式生産設備で生成したメタンガスは、海底パイプラインによって陸側へ移送する。また、生成したメタンガスの一部をガスリフト用のガスとして使用する。
- ⑤浮体式生産設備で MH と分解した周辺泥海水は、泥水排出ラインを通じて、海底部の窪地に排出する。

(2) 広範囲鉛直掘削法の特徴

本回収方法は以下の特徴を有する。

- ①大口径ドリルは掘削と吸込みを同時に行うため、掘削による操業ブルームが発生せず、環境に与える影響が小さいシステムとなる。
- ②大口径ドリルは資源回収船から吊り下げた状態で掘削を行うため、海底面を自走して掘削する水中クローラでは対応困難な、軟らかい地盤、凸凹した地盤でも掘削が可能となる。
- ③ガスリフト方式による掘削物の揚収は、商業レベルでの海底資源回収方法として長年にわたり、多数の実績がある。海中に水中ポンプ等の動機器がないため、揚収部のダメージが最小限に抑えられるほか、駆動源となるガスコンプレッサが FPS 上にあるため、メンテナンスが容易である。

3. 掘削試験の概要

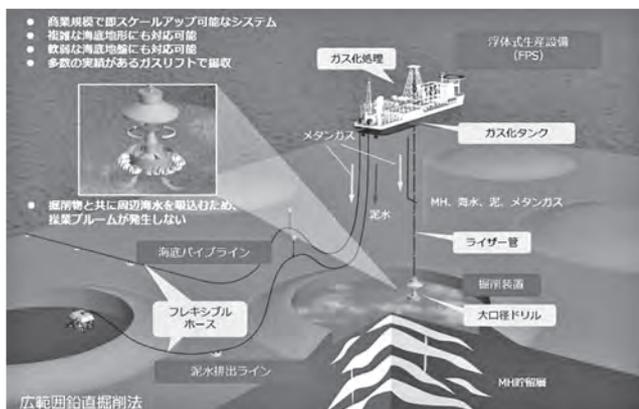
(1) 試験の種類と目的

表層型 MH 掘削に適した掘削装置を開発するためには、実際に表層型 MH 含有地盤を掘削して、種々のデータ取得、掘削状況の確認が必要となる。しかし、海洋での試験は困難なため、陸上で実際の海底地盤に近い地盤を製作して掘削試験を実施することにした。

表層型 MH は軟泥地盤中に塊状、層状、粒状といった様々な状態で賦存している。表層 MH を商業段階で掘削する際には、より多く MH が含まれている地盤が望ましく、塊状の MH をターゲットとして掘削することになるが、軟泥地盤の割合が大きい粒状 MH が存在する地盤を掘削することも想定される。そこで、今回は、2 つの地盤を製作して試験を行った。

(a) 模擬地盤掘削試験

粒状 MH が内部に 20% 賦存する海底下数十メートルにおける軟泥地盤を想定した模擬地盤を用いて試験を実施した。軟泥中にある粒状 MH は、MH と同等の密度を有する $\phi 10$ mm のポリプロピレン製ボール



図一 3 表層型 MH 回収システム

(以下、PP ボール)、軟泥地盤を同等の強度に調整した流動化処理土を用いて模擬地盤を製作した。

本試験では、ドリルが海底地盤を掘削中に、掘削された軟泥地盤と共に粒状MHも一緒に回収されることを確認することを目的とした。

(b) 大型氷掘削試験

表層型MH100%の地盤を想定して、表層型メタンハイドレートと同等の強度を持つ大型氷の模擬地盤を用いて試験を実施した⁴⁾。

商業段階では、主に、塊状のMHを掘削することになると考えられる。そのため、本試験では、表層型MH掘削に適した掘削装置開発に向けて、掘削中の掘進速度、ドリル設置圧、ドリル掘削トルク等、設計に必要なデータを取得することを目的とした。

(2) 試験の原理

(a) 実施場所

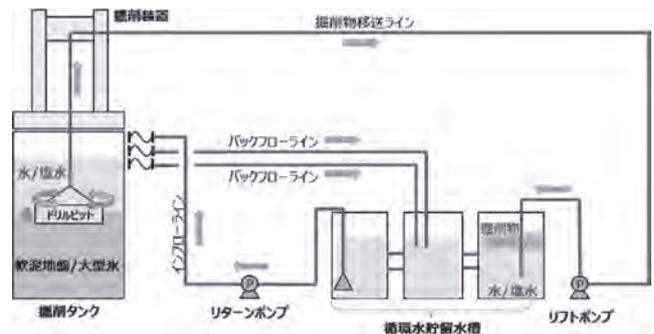
模擬地盤掘削試験、大型氷掘削試験ともに、北海道北見市のオホーツク地域創生研究パークにて実施した(写真—1)。試験設備の設置に約30m×30m以上の敷地が必要であった。また、大型氷掘削試験では、データ取得のためにできる限り大きな氷塊が必要となるが、市販されている氷では対応できないため、外気温を利用して試験用の大型氷を製作する必要がある。オホーツク地域創生研究パークは広い敷地を有しているだけでなく、冬季は最高気温も氷点下となる期間が長いので、本試験の実施場所とした。

(b) システム全体概要

本試験設備の概略図を図—4、大型氷掘削試験時の試験設備をドローンで撮影した全体写真を写真—2に示す。模擬地盤掘削試験、大型氷掘削試験ともに、若干の仕様変更はあるものの、同じ試験装置を用いて実施した。試験装置の原理は次の通りである。

事前準備

①掘削タンク内に掘削対象となる地盤(模擬地盤、大



図—4 試験設備概略図



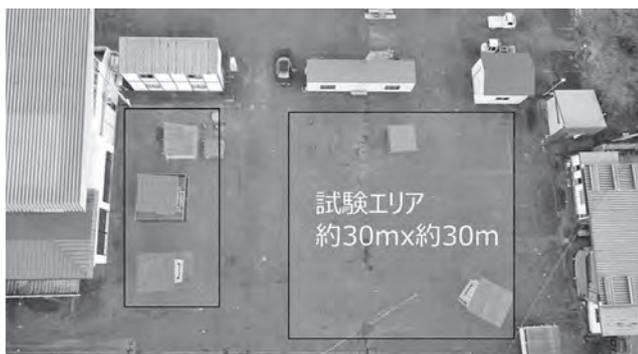
写真—2 試験設備全体写真(北見工業大学提供)

型氷)を製作する。

②循環水貯留水槽内に、模擬地盤掘削試験では水、大型氷掘削試験では凍結対策として塩水を満水状態まで貯める。

試験手順

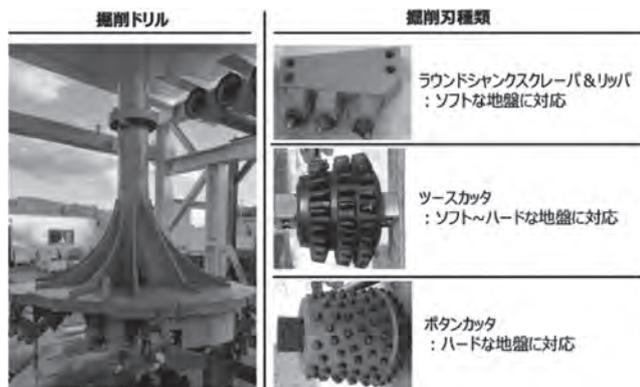
- ①掘削装置の下まで掘削タンクを移動させて所定の位置に設置する。
- ②リターンポンプを起動させて、循環水貯留水槽から掘削タンク内へ水/塩水を送り、循環水貯留水槽と掘削タンク間で水/塩水を循環させる。
- ③掘削ドリルを掘削対象地盤の表面付近まで降ろし、リフトポンプを起動する。掘削ドリル底面から循環水貯留水槽へ水/塩水の移送を開始する。掘削タンク内の液面が下がると、掘削ドリル底面から空気を吸い込んでしまうため、常に掘削タンク内が満水状態になるようにリターンポンプとリフトポンプの流量を調整する。
- ④掘削ドリルを回転させながら降ろし、所定の深さまで掘削対象地盤の掘削を行う。
- ⑤掘削完了後、リターンポンプ、リフトポンプ、掘削ドリルの運転を停止する。掘削ドリルを上昇させ、掘削タンクを掘削装置の外側へ移動させる。



写真—1 試験エリア上空写真(北見工業大学提供)

表一 掘削ドリル概略仕様

材質	炭素鋼
サイズ	直径 2.65 m
掘削面	吸込口 1 箇所, 掘削刃取付部 15 個
掘削刃	①ラウンドシャンクスクレーパー&リップ ②ツースカッタ ③ボタンカッタ



図一5 掘削ドリル (左), 試験に用いた掘削刃 (右)

(c) 掘削ドリル

本試験では、直径 2.65 m の大型ドリルを用いた。商業段階では直径約 7 m を想定しているが、試験設備が大きくなるため、必要なデータが取得可能な最小サイズとした。尚、掘削刃は実スケールとしている。掘削ドリルの概略仕様を表一に記す (図一5)。

尚、模擬地盤掘削試験では軟泥地盤とともに粒状 MH が回収されることを確認することが目的であり、掘削刃の種類は関係がないため、ラウンドシャンクスクレーパー&リップのみを使用した。一方で、大型水掘削試験では各掘削刃における掘削時の計測データが必要であったため、表一に示す 3 種類の掘削刃をそれぞれ装備して掘削した。

(d) 掘削装置

掘削装置は、海底掘削技術サービスを行っている HMM 社 (独) より、地盤掘削用として多数の実績がある装置をレンタルした。本装置は、油圧により掘削ドリルを回転・昇降させる装置となっており、ドリル設置圧、ドリル回転数、掘進速度等を設定して掘削可能な装置となる。掘削装置の概略仕様を表二に記す⁵⁾。

(e) 掘削タンク

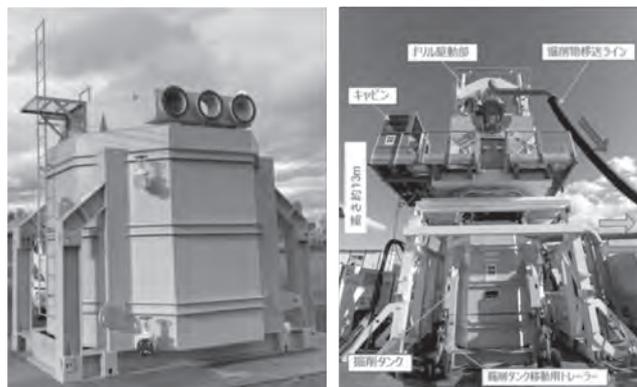
掘削タンクは、掘削対象となる地盤を製作するための鋼製タンクである。掘削試験の際には、本タンクを掘削装置の下部に設置して、掘削ドリルをタンク内部に降ろして掘削する。本タンク内の掘削対象地盤が掘削中に回転しないよう、八角柱のタンク形状を採用し

表二 掘削装置概略仕様

製造メーカ	HMM
機器名称	Wirth™ Pile Top Drill Rig Type PBA936s
シリンダ	最大スラスト力: 1,000 kN 最大プルバック: 1,700 kN
パワー スイベル	最大トルク: 360 kNm 最大速度: 20 rpm

表三 掘削タンク概略仕様

材質	炭素鋼
外形	対辺 3.2 m, 高さ約 3.7 m の八角柱形状



写真一3 掘削タンク (左), 及び、掘削タンク設置後の掘削装置 (右)

た。本タンクを移送する際には、脱着可能な掘削タンク移動用トレーラーをタンクに取付け、トラックによる牽引によって移動させる。掘削タンクの概略仕様を表三に記す (写真一3)。

(f) リフトポンプ

リフトポンプは、掘削タンク内の掘削物と水/塩水が、掘削物移送ラインを経由して循環水貯留水槽へ送られるためのポンプである。本ポンプ内には掘削物が通過するため、固形物の輸送に適した吸込スクリー付き汚泥ポンプを採用した。尚、掘削物移送ラインの管内流速が商業化段階で想定されるライザー管内の流速と同程度になるように、本ポンプの容量を決定した。リフトポンプの概略仕様を表四に記す。

(g) リターンポンプ

リターンポンプは、循環水貯留水槽内の水/塩水が、インフローラインを経由して掘削タンク内へ送られるためのポンプである。本ポンプの容量は、リフトポンプの流量とバランスをとる必要があるため同等の

表四 リフトポンプ概略仕様

製造メーカ	古河産機システムズ(株)
型式	吸込スクリー付き汚泥ポンプ(HSP-400C)
ポンプ容量	1,000 m ³ /h × TH 5.1 m

表一5 リターンポンプ概略仕様

製造メーカー	(株)浪速ポンプ製作所
型式	渦巻きポンプ (FEWV-400D)
ポンプ容量	1,000 m ³ /h × TH10.0 m × SH-1.0 m

容量が求められる。リターンポンプの概略仕様を表一5に記す。

(3) 実施体制

本試験の全体計画は三井海洋開発(株)、試験機器の製作は(有)平間機械工業所、工事詳細計画・機材手配・工事指揮は(株)アクティオ、掘削装置の運転はHMHが行った。また、模擬地盤の製作では、北見工業大学・日本大学・北海学園大学・(株)大伸によって仕様検討から実際の製作まで実施し、大型水の製作では北見工業大学・(有)平間機械工業所によって仕様検討から実際の製作まで実施した(図一6)。

(4) 模擬地盤掘削試験

(a) 試験期間

模擬地盤掘削試験は以下の期間で実施した。

- ①模擬地盤製作：2022年10月14日
- ②掘削試験：2022年10月20日

(b) 模擬地盤製作の概要

前述の通り、模擬地盤は、これまでの調査研究の結果、流動化処理土(泥水+セメント)にφ10mmのPPボールを混ぜて製作することにした。本試験では、約11m³の模擬地盤(掘削タンク内の模擬地盤高さ1.3m相当)が必要であったため、作業性を考慮し、模擬地盤製作用に開口部の広い鋼製タンクを別途用意し、重機を用いて模擬地盤を製作した。PPボールは模擬地盤中に可能な限り均一に分散させる必要があるため、泥水にセメントを加えた後、まだ流動性がある状態でPPボールを投入して攪拌した。十分な攪拌が

確認できた後、掘削タンクへ移送して所定の強度になるまで静置した(図一7)。

製作方法

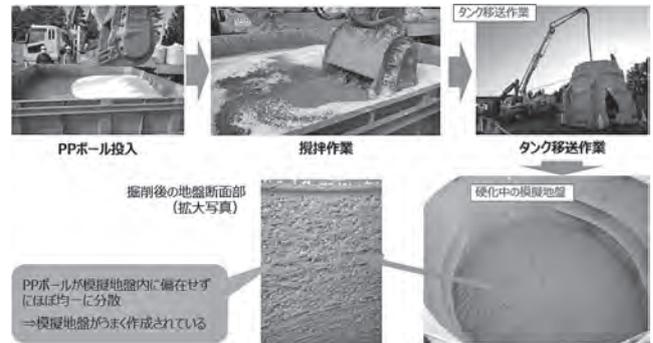
- ①模擬地盤製作用に開口部の広い鋼製タンクを用意する。
- ②水槽に泥水、セメントを投入して攪拌する。
- ③セメントが泥水に混ざった後、PPボールを投入して攪拌する。
- ④模擬地盤製作用の鋼製タンクから掘削タンクへ模擬地盤を移送する。
- ⑤所定の強度になるまで数日間静置

(c) 試験の実施

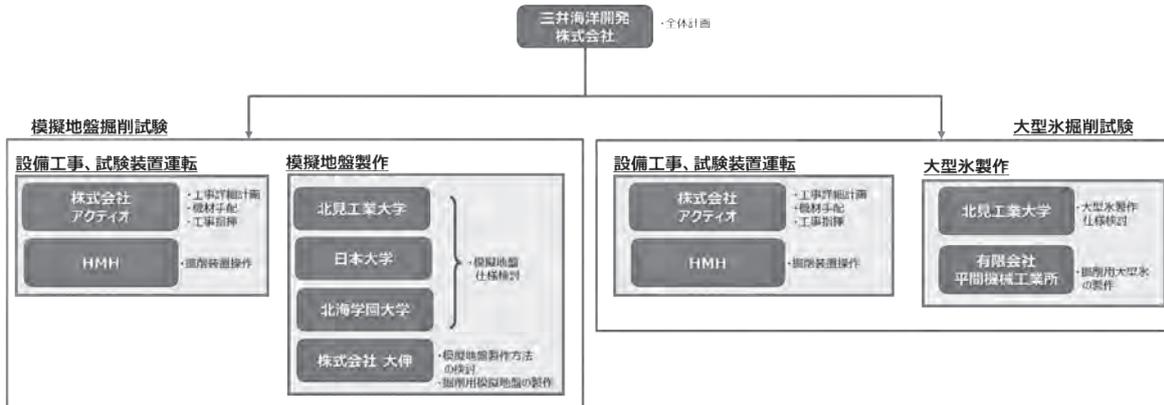
模擬地盤掘削試験では、掘削タンク1基を用いて、3.(2)(b)で述べた試験手順に沿って試験を実施した。

(d) 試験結果

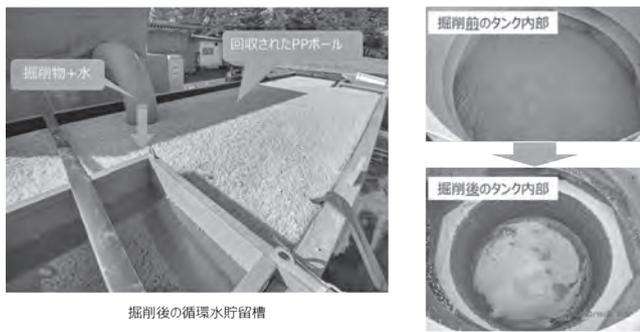
模擬地盤を掘削中、PPボールの吸込みを確認した。図一8の左写真に示す通り、掘削物が送られてくる一時貯留水槽には大量のPPボールが輸送されたことが確認できた。また、図一8の右写真に示す通り、掘削試験後、模擬地盤には綺麗な掘削断面が確認できた。以上より、本掘削装置は、軟泥地盤における掘削、粒状MHの回収ができることを確認した。



図一7 模擬地盤製作の様子



図一6 実施体制



図一八 模擬地盤掘削試験後の循環水貯留層、及び、試験前後の掘削タンク内の様子

(5) 大型氷掘削試験

(a) 試験期間

掘削試験に用いる大型氷の製作は、外気温で氷製作が可能となる2022年12月5日より開始した。掘削試験は、1月末より2月中旬にかけて、4つの掘削タンクを用いて実施した。

①大型氷製作：2022年12月5日～2023年2月6日

②掘削試験：2023年1月31日～2023年2月13日

(b) 大型氷製作の概要

大型氷掘削試験では、掘削タンク内に約11 m³（タンク内高さ1.3m相当）の水を製作して掘削を行った。これまでの実験により、外気温のみを利用して水から氷を製作する場合、製作期間が限られているため、掘削タンク内で製作される氷の高さは約1mが限界であった。そのため、掘削試験中にデータ取得しない範囲は市販されている氷塊を敷き詰めた後、隙間を水で埋めて氷塊を製作した。

(c) 試験の実施

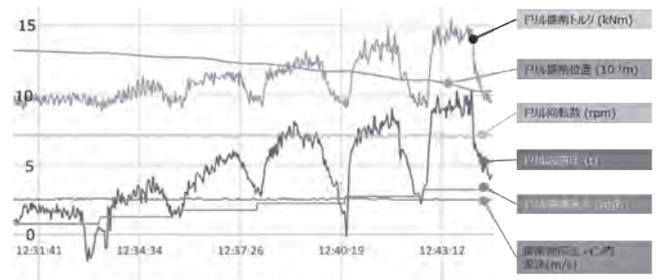
大型氷掘削試験では、3種類の掘削刃において掘削データが必要であったため、掘削刃を都度交換して掘削試験を行った。そのため、大型氷掘削試験では、掘削タンクは4基用意し、3.(2)(b)で述べた試験手順に沿って試験を実施した。

尚、今回の試験では、掘削物移送ライン内流速、ドリル回転数を設定した値になるように調整し、ドリル掘進速度を段階的に増加させて、ドリル設置圧、ドリル掘削トルク等を計測していった。

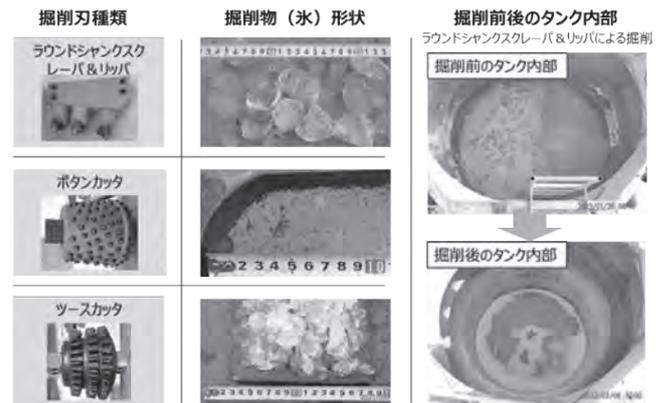
(d) 試験結果

今回計画していた全ての計測データを取得することができた。計測データの一部を図一9に示す。ドリル掘進速度の増加に合わせて、ドリル設置圧、ドリル掘進トルクも増加することが確認できた。

また、図一10に示す通り、掘削刃によって掘削された氷の形状に特徴があることが分かった。ラウンドシャンクスクレーパ&リップでは数cmの氷塊であ



図一九 大型氷掘削試験結果：掘削データ（一部抜粋）



図一十 大型氷掘削試験結果：掘削物（氷）形状、掘削タンク内の様子

たが、ツースカッタでは1cm程度の氷塊であり、ボタンカッタはシャベット状となっていた。掘削試験後の大型氷の掘削断面は、模擬地盤掘削試験の時と同様に、綺麗な円筒形状になることを確認した。

4. おわりに

本掘削試験により、今回の目的であった、表層型MH掘削用ドリル開発に必要な掘削データの取得、掘削物の回収状況等を確認することができ、表層型MH掘削用ドリル開発に向けて大きな一歩となった。

2023年度中には、海洋エネルギー・鉱物資源開発計画が改定され、表層型MHの研究開発に関する新しいロードマップが示されると考えられる。今後も、我が国の新しいエネルギー資源となるよう、表層型MHの商業化実現に向けて取り組んでいく所存である。

最後に、本掘削試験は、経済産業省のメタンハイドレート研究開発事業の一部として、委託先である国立研究開発法人産業技術総合研究所からの再委託によって実施した。（国研）産業技術総合研究所、本試験に携わった関係者皆さまのご指導、ご協力により成功できたこと、ここに感謝の意を表します。

《参考文献》

- 1) (国研) 産業技術総合研究所 ホームページ
<https://unit.aist.go.jp/georesenv/topic/SMH/introduction.html>
- 2) 「カーボンニュートラルに向けたメタンハイドレート開発の位置付け」
経済産業省 資源エネルギー庁 石油・天然ガス課, 2021年12月
- 3) 三井海洋開発㈱ ホームページ
https://www.modec.com/jp/business/newbiz/methane_hydrate.html
- 4) 「表層型メタンハイドレートを模擬した氷試験体の製作と強度評価」,
地盤工学会北海道支部技術報告集 61 105-110, 2021年
- 5) HMM ホームページ
<https://hmmw.com/service/rcd-rigs-pile-top-drill-rigs/>



[筆者紹介]

望月 幸司 (もちづき こうじ)
三井海洋開発㈱
事業開発部
マネージャー (プロジェクト エンジニアリング)



岩本 駿介 (いわもと しゅんすけ)
三井海洋開発㈱
事業開発部
プロジェクト エンジニア



投稿論文

建設機械施工における安全確保に関する一考察

—無人建設機械の導入と活用に向けて—

茂木 正晴¹・山口 崇²・油田 信一³

¹ 土木研究所 技術推進本部先端技術チーム主任研究員 (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

E-mail: moteki@pwri.go.jp

² 土木研究所 技術推進本部先端技術チーム上席研究員 (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6)

E-mail: t-yamaguchi573cl@pwri.go.jp

³ 芝浦工業大学 SIT 総合研究所 特任研究員 (〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5)

E-mail: yuta@ieee.org

建設業における現場環境は、現場毎に一様ではなく天候等によっても日々変化している。また、作業対象となるプロダクトサイズも大きい。そのため、製造業と比して建設業の中で建設機械を用いた土木工事の自動化が難しく、日々の作業における安全の確保も、オペレータや作業者に依存せざるを得ない状況にある。これは建設業の大きな特徴であり、生産性の向上と安全の確保を如何にして両立させるかが大きな課題となっている。

本稿では、建設業の中で建設機械を用いた土木工事における事故について分類し、発生する被害を整理した。それに基づき、安全性確保に向けて、建設業の中で建設機械を用いた土木工事における協調安全の考え方と実現すべき技術的方策について検討結果を示す。また、無人建設機械の導入時に“安全性確保”の観点から遵守すべき事項を提案する。

キーワード: *Construction machine, Remote control, Automatic site and Autonomous control, Accident in construction site, Cooperative Safety for construction*

1. はじめに

国土交通省直轄工事事故発生件数(図-1)¹⁾を見ると平成25年度以降の減少傾向から近年は横ばいに推移しており、事故は継続的に発生している状況にある。作業時における事故を大別すると第三者に対する人的な公衆災害は大きく減少しているものの作業者同士や建設機械による労働災害(死傷事故)、構造物やインフラ等の公衆災

害(物損)は、ほぼ同数の発生が見られる(図-1)。

本稿では、建設業の中で建設機械を用いた土木工事(以下、建設機械施工)における事故と安全性について考察する。

我が国において直面している人口減少の中、建設業は他産業と比較して高齢化率が高い。建設機械オペレータ(以下、オペレータ)をはじめとする建設事業の担い手不足が深刻化している。そのため、建設現場の生産性の確保と向上は重要な課題となっている。一方、建設機械と作業者の協働する多様性のある現場作業環境では、作業者の死傷事故の発生の恐れが小さくない。したがって、建設機械施工における安全性の確保も、建設生産システムを考えるうえで重要な課題の一つである。

近年、ICT (Information and Communication Technology) の活用による建設生産システムの改革への取り組みが進められている。その一つに、デジタル技術を活用した建設機械の自動・自律化、遠隔操作化によりオペレータが搭乗しない建設機械(以下、無人建設機械)による施工があり、その実現と導入に向けた研究開発や現場での検証等が進められている。



図-1 国土交通省直轄工事事故発生件数(労働災害及び公衆災害(物損と第三者)件数の推移)¹⁾

従来、無人建設機械による施工は、災害時に人が立ち入ることのできない危険なエリアにおける施工や、ダム施工現場のように、建設機械による自動施工が比較的容易に実現可能となるように整備された環境下に限って導入されてきた。しかし、無人建設機械は、将来的には建設生産システムの改革に向けて、複数の建設機械や作業員との協働といった様々な施工環境の中での活用が期待されている。

本稿では、まず、建設機械による施工時に発生する事故の分類と発生する被害について考察する。次に、IEC (International Electrotechnical Commission) が2020に発行した白書(Safety in the future)²⁾(以下、IEC白書)が提唱としている協調安全の考え方をサーベイする。そして、建設機械施工において実現すべき建設機械と作業員ならびに環境・環境システムに関する協調安全の在り方を述べる。また、その考え方にに基づき、建設現場で発生している事故を防ぐための技術的方策を提案する。最後に、建設現場に無人建設機械の導入する際の安全性確保のために遵守すべき事項を提案する。

2. 建設機械施工における事故の現状

2.1 建設業における事故

建設業(ここでは、建設機械施工の他に建築工事等も含む)における死傷者数は、図-2³⁾に示されるとおり、製造業を大きく上回り、未だ全産業の約3割を占めている。

現場では、作業時に事故が発生した場合、工事中断による工程の遅延や様々なペナルティ、工事コストの増加等が発生する。そのため、建設業における事故対策として、リスクアセスメントの実施や危険予知(KY)活動による事前の安全衛生対策などにより、不安全行動の予測・事故防止につながる管理体制を図っている。しかし、建



図-2 令和4年労働災害発生状況 (R4.12速報値)³⁾

設業は、製造業と同様な安全への啓蒙を図っているものの2倍程度の事故が発生している実態がある(図-2³⁾。

2.2 建設機械施工における事故実態と統計

建設業における工事事実態の内訳は、図-3⁴⁾に示すように種類別死傷者数の中で道路工事が最も事故件数の多い工事となっている。道路工事における建設機械に起因する死傷者数の約7割は、図-4⁴⁾に示すように挟まれ・巻き込まれ、激突され、といった建設機械と人に起因するものと考えられる。このことは、建設機械による施工時に人(オペレータと作業員)と混在した環境下での事故発生が高いことが伺える。また、吉川ら⁵⁾は、建設機械を用いた施工時における事故について、①建設機械等の転落による災害、②つり荷による災害、③建設機械の掘削等により溝等の崩壊するような災害、④建設機械等と作業員の接触による災害の4つに大きく分類している。また、“挟まれ・巻き込まれ、激突され”の事故は、建設機械の機種別の中では図-5⁵⁾に示すように、油圧ショベルによる事故が多く。これは、作業時の後退中や旋回中において作業員との間に接触が発生していることが考えられる。

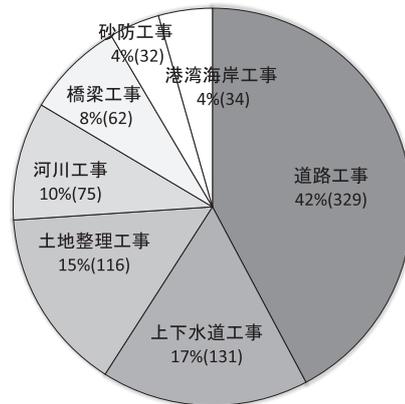


図-3 建設業における工事事実態の内訳⁴⁾
(平成29年, 休業4日以上, 単位:人)

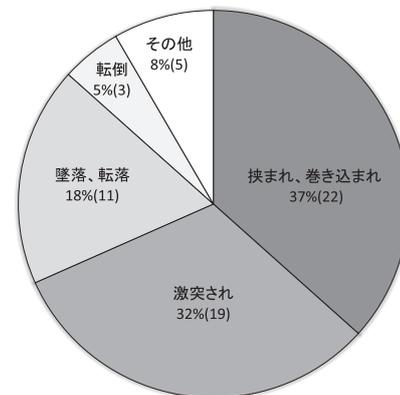


図-4 道路工事における建設機械に起因する死傷者数⁴⁾
(平成29年, 休業4日以上, 単位:人)

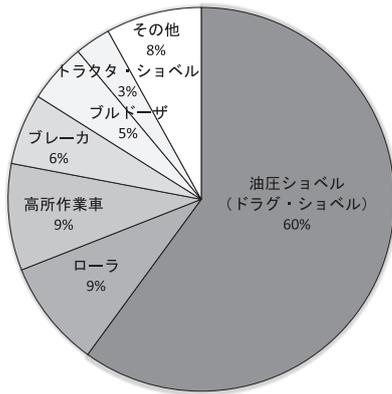


図-5 建設機械等による死亡災害の機種ごとの割合
文献⁵⁾より引用

2.3 事故実態に基づく分類と発生する被害の考察

土木工事における建設機械による施工時に発生する事故の分類から発生が想定される被害を検討した。

建設機械施工における事故は、①建設機械稼働時の前後進や旋回中に発生する機械単体による事故、②軟弱地盤、高低差等による転倒・転落・滑落、③建設機械と作業者の接触による、挟まれ・巻き込まれ、激突等の事故、④玉掛け等の機械と作業者が協調して行うべき作業における異常干渉、⑤建設機械の故障による暴走等の事故が考えられる。それらの各々について、表-1に示すように発生する被害には差異がある。特に、建設機械の単独事故と目される②軟弱地盤、高低差等による転倒・転落・滑落を除き、作業者と混在した作業環境における事故は、作業者の死傷事故のリスクが想定される。また、⑤故障による暴走のように建設機械施工時における機械の故障等は、多角的な被害の発生が想定される。

なお、建設機械による事故の多くは、オペレータや作業者の認識・判断ミス等によって発生していることが考えられる。オペレータや作業者は、周囲に注意を払いながら作業を遂行するが、その中で、認識ミス等による事

表-1 土木工事における事故の分類と発生する被害

事故等の分類	発生する被害の想定		
	構造物等への物損事故	オペレータの死傷事故	作業者の死傷事故
建設機械に係る具体的な事故等の状況			
走行時及び作業時の構造物への接触及び衝突	○	○	—
軟弱地盤、高低差等による転倒・転落・滑落	—	○	—
作業者の挟まれ・巻き込まれ、激突	—	—	○
作業者との協調作業時の異常干渉	—	—	○
故障等による暴走	○	○	○

故の発生は、一定数存在する。特に、建設作業においては、作業内容や現場環境の多様性が大きく、人の認知・判断におけるミスによるリスクは小さくない。認識ミスや無意識な行動等は、一般的に人の身体的・生理的な現象であり、ミスの発生を100%無くすることは難しい。

この人為的なミスを減らすためには、現場での作業においてオペレータや作業者に判断を委ねていた判断基準や詳細な手順等を明確に示すことや自動化の導入が防止策につながるものと考えられる。これについては、別の機会に検討を加えたい。また、建設機械の物理的な故障等によって発生する事故は、日々のメンテナンス等の体制をしっかりと取り組むことによって防止することが必要となる。

3. 建設機械施工における生産性と安全性の両立

3.1 建設機械施工の特徴

建設機械施工は、製造業などの“ものづくり”に比して、作業内容と作業環境に大きな違いがある。

まず、作業の工程や作業内容は、繰り返し作業のような様なものではない。この点では、受注生産品(一品生産)、あるいは、工芸品のような一品一品を吟味したうえで製品を製作する工程にも近いものともいえる。また、作業環境も多様性に富む。特に、環境そのものが作業の対象でもある。この作業環境は、作業の進行によって変化していくものであり、また、天候等によっても日々変化する。

建設作業に携わる人(オペレータや作業者)は、この条件下で自ら作業内容等を認識し、判断したうえで、作業を遂行している。また、環境そのものが作業の対象であるため、具体的な作業の対象や取扱われる建設機械のサイズが極めて大きい。そのため、それらとの接触がすぐに危険に結びつき、発生する事故も重大なものとなるリスクがある。

作業現場では、オペレータや作業者は、建設機械と作業者の混在した環境で、それぞれ自らの認識・判断によって環境の状況に応じて能動的(active)に多様な行動をとっており、この点が、製造業などの他産業と比した建設作業の大きな特徴である。

3.2 建設機械と作業者の分離と協調

建設機械による施工現場における死傷事故の多くは、人と機械の接触により発生している。そこで、作業環境の改善(人と機械に起因する物理的環境)として、一般に建設機械の稼働と人による作業を完全に分離させた施工環境が考えられる(図-6)。



図-6 建設機械と作業者を独立させた施工環境

しかし、現実には、狭隘箇所等や詳細な作業を作業員によって進めざるを得ないケースがあり、建設機械の可動範囲に作業員が立ち入った作業が存在して、建設機械と作業員の協調が求められる場合が少なくない。

特に、都市土木のように限定された作業環境内で進められる施工においては、建設機械と作業員の作業エリアを完全に分離することは難しく、建設機械と作業員が混在した環境下での作業が進められることとなる(図-7)。



図-7 建設機械と作業員が混在する施工環境

さらに建設機械と作業員(誘導員含む)が密接に協調して進められる共同作業も存在し、そこでは作業エリアの完全な分離は不可能である。例えば、図-8に示される建設機械によって保持された管渠の埋設物設置工事等は建設機械単体で行うことはできない。これは現地にいるオペレータによって操作される建設機械のすぐ近くにいる作業員(玉掛け、誘導員)によって行われる作業の例である。ここでは、建設機械(オペレータ)と作業員は、緊密な意思疎通を行いつつ協調して作業が遂行される。

このように、多様性のある現場環境における多様な作業の遂行のためには、機械と人との完全な分離は難しく、安全性を確保するために建設機械(オペレータ)と作業員に対して確実な協力・協調した取り組みが必要となる。

一方、安全性を確保するための確実な方法は、図-6に示す建設機械と作業員が働くエリアを分離し、稼働中の建設機械と作業員との接触を避けることである。そこで、例えば、必要に応じて建設機械を止めて、その間に作業員が建設機械のまわりで働くなど、建設機械と作業



図-8 建設機械と作業員による協調作業

員が混在しながら、実質的に建設機械の稼働エリアと作業員が働くエリアが分離される体制などを構築していく必要がある。

3.3 事故防止のための建設機械と作業員との連携

一般的に製造業における生産ラインであれ、建設機械施工であれ、安全のためのリスク回避と生産性向上は相反する性質を持つ。

製造業における生産ラインは、一般に、機械動作の自動化や制御の高度化により、生産性を維持若しくは向上させつつ安全性の向上が図られてきたと考えられる。

一方、建設機械施工では、作業対象や環境に多様性が大きく、目的とする作業においても想定外の危険が存在することも少なくない。そのため、安全性は一層重要であるものの、生産性の向上と安全の確保が相反する程度が大きく、それを勘案した安全性の確保の方策を定めていく必要がある。

建設機械施工における安全性確保の考え方は、建設機械・作業員の安全と作業環境の改善に焦点を当てる必要がある。したがって、安全性確保のためには、単一の要因やアプローチだけでなく、多くの要素の組合せによって達成できるものと考えられる。

そこで、一般的に人的要因から発生する事故への防止対策の訴求先となる4M(Man, Machine, Media, Management)^{6,7)}といった要素(要因)を参考に、建設機械施工における特殊性から目指すべき“人・機械・環境”の協調を具現化するための検討が必要となる。

大型機械と人(作業員)が混在して働く環境(作業現場)において、生産性を維持しつつ安全性を確保したい。そのためには、建設機械や作業員毎の個別の安全機能・安全化のみでなく、建設機械施工における総合的な視点から作業現場の安全性の向上を追求するアプローチが必要となる。この観点に立って、建設機械施工全体のシステムとしての安全性確保の方策を整理したものが図-9である。すなわち、施工現場の安全確保のためには、以下の要素について推進する必要がある。

- ①作業環境の改善(人と機械に関連する物理的環境)
- ②安全対策技術(支援技術を含む)の導入
- ③人・組織内における安全対策(教育・管理体制等)
- ④規制やルール等の整備

なお、本稿では、現場内で作業を行う建設機械(オペレータ)や作業員を対象とした、①作業環境の改善(人と機械に関連する物理的環境)、②安全対策技術の導入(支援技術を含む)の観点から安全性確保のために必要となる課題について検討を進めた。

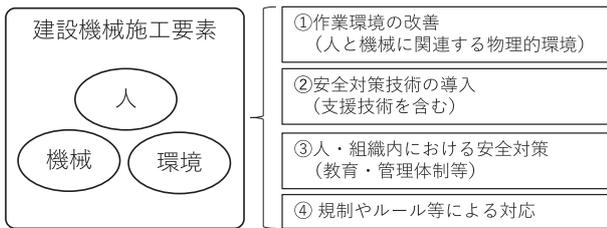


図-9 建設作業における全体システムとしての安全確保の方策

4. 建設機械・作業員・環境による協調安全

4.1 IEC 白書における協調安全

IEC では、安全・安心確保に関する国際規格とし、2020年にIEC/MSB(Market Strategy Board)がIEC白書²⁾を作成した。

このIEC白書では、これからのIT時代の機械を用いる生産工程における安全の概念について述べたものであり、人と機械の個別エリアでの安全確保から、ITの導入によって人と機械が協働して安全を実現するシステムにシフトし、安全性と効率性の両立を目指すことを提言し、次世代の安全は、“人・機械・環境が調和する総合的なシステム”^{2), 8)}により推進するものとし、人と機械が協働して安全を実現する協調安全を目指すものとしている。

IEC白書の提唱する協調システムは、人の持つ注意力・判断力を活かしつつ安全から逸脱した行為の抑制をAI等によって支援することで包括的な安全を再構築するものであり、人・機械・環境が調和した協調安全(Harmonious Safety)を目指すものとしている⁸⁾。図-10にIEC白書が提唱している協調安全のレベルを示す。

ここでは、まず、協調安全レベル(CSL)1で、どのエリアからでも動作停止可能なシステムとして、そのうえで、協調安全レベル(CSL)2～4で、人と機械の協調・協力のレベルが増し、結果として、システム全体が最適化されて、生産性と効率性の両立が段階的に図れるものとしている。

4.2 製造業と建設機械施工との相違

IEC白書は、基本的に製造業の生産ラインにおける安全性の達成を目的としているものと考えられる。

その生産ラインの多くは、比較的安定した工場内の作業環境における、比較的一様な作業内容の達成を目的としている。製造業では、自動化・無人化されたシステムの導入などにより、生産性の向上と事故削減の両方が果たされてきた。また、ここでは、事故は“期待された行動からの逸脱行為”により発生することを想定し、日々のKY活動等の啓蒙により、その逸脱行為を無くすこと

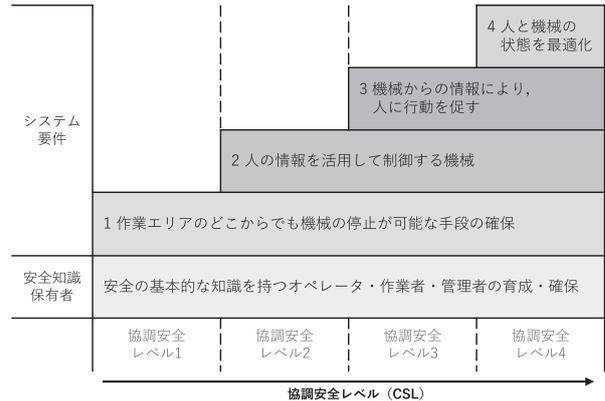


図-10 協調安全レベル (IEC 白書より引用)

で事故リスクを低減させ、安全性を向上させてきている。

したがって、IEC白書では、機械はかなりの部分で自動化が進んでいることを前提としており、手動操作の機械は原則として考察の範囲外となっているように見受けられる。

一方、建設機械施工では、3.1で述べたとおり、生産対象物のサイズが大きく環境全体に及び、また、その環境自体が多様で、時々刻々変化する、という特徴がある。したがって、機械・人・環境の3者連携における各者の役割は異なってくる。特に“環境”に関する考え方は大きく変わらざるを得ない。

4.3 建設機械施工の現場における協調安全の在り方

建設機械施工においては、単純にIEC白書に示された協調安全の考え方をそのまま安全性を確保するための方策とすることは難しい。そのため、人・機械・環境が調和する総合的なシステム^{2), 8)}を実現しようとする場合も、建設機械施工の特性を把握したうえで、取り組みを進める必要がある。

IEC白書における協調安全の各レベルを参考に、建設機械施工における協調安全レベルの考え方を再構築したものを図-11に示す。

ここでは、現時点において適用可能な方策として、建設機械・作業員・管理者が作業情報の共有を図ること、ならびに、安全のための建設機械の停止を可能とする手段を持つことを協調安全レベルCSL1とした。

協調安全レベルCSL2～4は、今後の建設機械施工に適用することを想定している。そして、例えば、接触が避けられない現場では、危険を察知してその情報を現場管理者と建設機械(オペレータ)と作業員が相互にその情報を用いて安全を確保するシステムとすること(CSL2)。作業内容や進め方の再構築と、環境の整備(建設機械や作業員と環境の間の通信システムの整備、ならびに、危険検知用センサシステムの設置など)により、

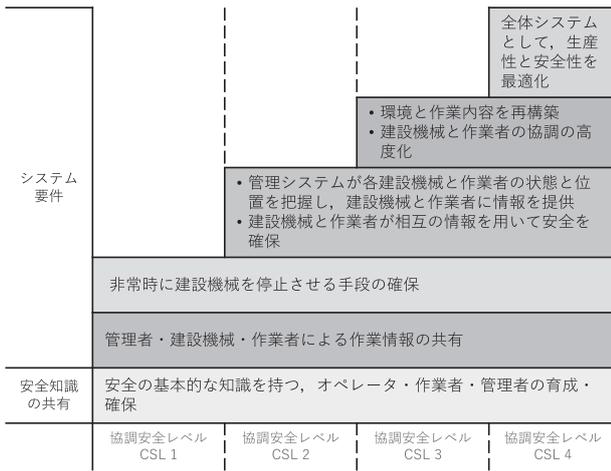


図-11 建設機械施工における協調安全レベル

建設機械(オペレータ)と作業員の協調を高度化すること(CSL3)。さらに、各者の行動を協調させることにより生産性と安全性の最適化を図ること(CSL4)。それらによって、建設施工現場におけるあるべき協調安全に到達するものと考えられる。

5. 建設機械施工における事故防止と安全性確保のための方策

表-1 に示した建設機械施工における事故実態から整理した具体的な事故状況に対し、建設機械(オペレータ)

と作業者、現場管理者において安全性確保のために実現すべき技術的方策について検討を行った。

事故発生の多くは、現場での作業においてオペレータや作業者に判断を委ねられる。また、オペレータと作業者の間で状況の認識について不一致が存在することがその発生要因として挙げられる。そこで、製造業における生産ラインのように詳細な手順や配置等の状況といった情報を明確に示すことが、その防止のための方策となる。また、それでも、その不一致は完全にはなくすことが出来ないことから、異常時の建設機械の非常停止機能の準備も事故抑制につながるものと考えられる。

そこで、表-1 で整理した事故状況の分類に示す具体的な事故等の状況に対応した安全性確保のために達成すべき技術的方策を検討した。検討では、現場内で直接作業を遂行する建設機械(オペレータ)と作業者、現場管理者を対象に、図-6 に示す①作業環境の改善(人と機械に起因する物理的環境)、②安全対策技術の導入(支援技術を含む)及び図-11 の協調安全レベルの考え方に基づき安全性確保のための技術的方策を整理した。表-2 では、安全性確保のために達成すべき、建設機械と作業者に関連する物理的環境に関連する技術として、建設現場内の環境情報の取得と共有(作業内の俯瞰)や建設機械や作業者の状態を提示することを挙げた。次に、支援技術を含む安全対策技術の導入として、接触等のおそれのある状況を検知し、状況を伝達することや自動的な建設機械の

表-2 建設機械施工における安全性確保のために実現すべき技術的方策

具体的な事故状況	安全確保のための技術的方策 (A. ~ W.)		
	建設機械 (搭乗・遠隔操作ではオペレータ)	作業者	現場管理者 (管理システム)
走行時及び作業時の構造物への接触及び衝突	A. 作業環境に関する情報の提示 B. 動作状況の把握 (提示伝達) C. 構造物への接触前に自動停止		
軟弱地盤、高低差等による転倒・転落・滑落	A. 作業環境に関する情報の提示 D. 建設機械の姿勢を把握(提示伝達) E. 危険領域に入る前に自動停止若しくは回避		S. 作業エリア内の俯瞰 T. 逸脱した行動を確認後、関係者に提示伝達
作業エリア内での作業者の挟まれ・巻き込まれ、激突	F. 作業者等の行動計画を予め把握 G. 作業エリア内の作業者の位置の検知と情報の提示伝達 H. 危険領域への進入者の検知と自動停止	O. 建設機械の行動計画を予め把握 P. 建設機械の作業エリア内への進入警告 Q. 建設機械の接近に伴う警告と回避行動	U. 危険と判断した場合の警告 V. 建設機械稼働状況のモニタリング W. 建設機械の緊急停止
作業者との協調作業時の異常干渉	I. 協調作業する作業者の行動を予め把握 J. 逸脱した動作への警告 K. 1 工程毎の確認と作業プロセスのガイダンス	R. 協調作業する建設機械の行動計画を予め把握 J. 逸脱した動作への警告 K. 1 工程毎の確認と作業プロセスのガイダンス	
故障等による暴走	L. 建設機械の異常動作を提示伝達 N. オペレータによる緊急停止 M. 異常動作の自動検知と自動停止	L. 建設機械の異常動作を提示伝達	V. 建設機械稼働状況のモニタリング W. 建設機械の緊急停止

停止、緊急停止の必要性を挙げている。表-2に示すA.～W.の技術的方策については、具体的な機能として、センサ・カメラ等の搭載による情報取得技術、GNSS等により計測される情報を視覚的に表現し提示する技術、作業現場内における建設機械や作業者の監視を可能とする技術、状況に応じた建設機械の停止機能及びそのための制御技術の開発が望まれる。

なお、F、G、Iについては、作業エリア内での作業者の動向を把握するうえで必要となる情報を建設機械オペレータが把握するための技術的方策である。具体的には、「F.作業者等の行動計画を予め把握」は、計画段階で予め作業者の動向を把握するもの、「G.作業エリア内の作業者の位置の検知と情報の提示伝達」は、作業計画で規定されていない協働する作業者の動向をリアルタイムに把握することを目的としている。また、「I.協調作業する作業者の行動を予め把握」は、建設機械と作業者の協調作業時の異常干渉を防ぐことを目的として、すぐ近くの作業エリア内に存在する作業者のみでなく、より広く、工事関係者の行動を予め把握することを求めている。

6. 自動化と無人建設機械の導入における安全確保

現在、建設業における労働者不足や高齢化率の高さが深刻化する一方、建設現場の生産性確保及び向上は重要な課題となっている。このため、必要とする労働力の削減や、非経験者に工事の遂行が強く求められている。そのため、ICT(Information and Communication Technology)を適用した施工の自動化や遠隔操作化への期待は大きく、様々な場面での試みが進められている。

しかし、従来行われてきた人力による作業や建設機械の操作と、自動・自律化・遠隔操作化による建設機械の作動については、安全確保の上でも考えるべき事柄に違いがある。本章では、特に建設機械施工における、オペレータ非搭乗の無人建設機械の導入について、安全確保の観点から検討する。

6.1 建設機械の自動・自律化と安全確保に関する注意

建設機械における自動・自律化は、作業時のオペレータの人的要因に起因する事故の削減に役に立つ可能性がある。しかし、現状の技術では、建設機械が自ら多様な現場環境の中で確実に状況を把握して自動的に働くようにすることは難しい。また、そこにいる作業者の存在や動きを建設機械が自ら確実に認識することは、現状では現実的ではない。その点で、建設機械と作業者が混在す

る現場環境では、建設機械の自動化は、安全性の観点からみると、一般に負の要因をとる。したがって、生産性の向上や作業者の削減を目的として自動化を導入する際には、改めて、安全確保のための配慮が必要となる。

ただし、環境や作業の形態を整備することで、ある程度の作業工程の自動化を図ることはできる。

危険検知用のセンサによる危険状態の自動検知、および、それに基づく自動停止機能などは、安全性の向上に役立つ。今後、自律・自動化を進めるうえでは、それらの機能を過信することなく、機能を活かすという視点で導入を進める必要がある。

自ら動作を決めて作業を進める自律機械は、予定された環境・状況の中において、予定された通り確実に(自動的に)働くことが期待される。しかし、予定外の状況に対する十分な対応能力を持たせることは、現実的ではない。IEC白書にも“安全性の問題は対象システムの内外での通常運転からの逸脱が原因で発生する。”²⁾と述べているように、安全性の確保は、予定された工程通り進んでいないときの対応が重要となる。特に、建設機械施工における作業のプロセスでは、元来実行されるべき作業工程とその作業環境が多種多様にわたる。そのため、自律化された建設機械における安全性の担保は極めて難しい。自動化システムの導入に際しての安全性の確保については、ここに注意する必要がある。

6.2 無人建設機械の導入

オペレータが建設機械に搭乗せず、自動・自律的に施工を行う建設機械、および、遠隔地にいるオペレータにより操作運転される建設機械を無人建設機械と呼ぶ。

自動・自律化された建設機械は、予めプログラムされた手順に基づき、建設機械に搭載したカメラやセンサ、GNSS等の機器によって、周囲の状況を認識し、自らの判断によって建設機械を作動させて作業を進める。

遠隔化された建設機械は、無線LAN等の通信技術により、建設機械と遠隔地にある操作室で、映像や操作情報を交換し、遠隔操作室にいるオペレータにより建設機械を操作する。

既に、ダム等の大規模建設現場では、自動化された建設機械による施工システムの試験的な導入が進められている。また、災害復旧活動等で活用されている無人化施工は、人の立ち入ることのできない危険な特殊環境における災害対応工事での活用が行われてきた。近年、これらの無人建設機械をさらに広く一般の施工現場に適用して、施工期間の短縮や作業コストの削減、オペレータの作業負担の軽減、安全性の確保、労働環境の改善を図るための、技術開発等や導入が進められている。

6.3 安全性の観点からの無人建設機械の特徴

ここでは、安全性の観点から無人建設機械施工のメリットとリスクを述べる。

6.3.1 無人建設機械の安全上のメリット

- (1) オペレータが建設機械に非搭乗となると、搭乗オペレータに関連する死傷事故等は回避される。
- (2) 遠隔操作においては、一般に、複数のオペレータが一つの遠隔操作室で働く場合が多い。この場合、オペレータは互いにある程度の情報を共有し、調整を図りながら作業を行うこととなる。したがって、建設機械の操作には自動的にほかの人の注意も向けられることとなり、オペレータの勘違いなどによる人的要因による事故は軽減される。また、オペレータの突発的な不調にも対処できる。
- (3) 自動制御においては、オペレータの不注意や勘違いなど、人的要因による事故が回避される。

6.3.2 無人建設機械の安全上のリスク

- (1) 遠隔操作では、現場から届いた画像等の限られた情報に基づいて建設機械が操作される。したがって、オペレータは搭乗時に比して十分な情報が得られず、精密な作業ができないことが安全性への阻害要因となり得る。また、建設機械全周に対する俯瞰的な情報が得にくい恐れがある。さらに、現場の建設機械と遠隔操作室間の通信には若干の時間遅れがあり、現場で発生する事態への即応性が不十分となる可能性がある。
- (2) 自動・自律機械については、作業者が操作する場合に比して、建設機械が持つ認知能力の不足が大きな問題となる。特に、自動建設機械から見て予定外の

状況が発生した時には、それに対処することはできないと考えるべきである。したがって、自動運転中は、常に外部からその動作をモニタ(監視)して、外部から非常停止などの対処をする体制が必要である。

6.4 無人建設機械に求められる技術的課題

建設機械施工において、自動・自律化とオペレータによる遠隔操作とした場合、想定される事故は異なる。また、施工環境での作業者の協働の有無等、建設機械の活用シーンによって想定される事故の様相には多様性がある。

そのため、無人建設機械を効率的に導入し、生産性の向上と安全性の確保の両立に役立てるためには、技術的に検討・開発すべきことは多い。しかし、それらは、まず、最低限の事故防止、あるいは安全確保の条件を満たしたものを導入し、それを運用しつつ、安全性と生産性の双方の向上を両立に必要な十分な機能や条件を明らかとし、その実現を図って行くことが望ましい。

表-2 で整理した建設機械稼働時の安全性確保において配慮すべき課題(技術的方策となる A ~ W)について、無人建設機械が遠隔操作と自動制御で働く場合に関して、安全性確保のための技術課題を整理した(表-3)。

オペレータによる遠隔操作は、搭乗での操作と比較した場合、オペレータの取得できる知覚情報等(視覚・聴覚・触覚等)が不足するケースも考えられる。したがって、安全への配慮として、オペレータへの的確な情報の伝達(映像を中心とする知覚情報の提供)と作業手順の誤認知や操作インターフェースによる操作ミスを防止するためのフルブーフ機能やオペレータへの適切な誘導を促すガイダンス機能といった支援技術が求められる。

建設機械の自動・自律化では、オペレータによる逸脱

表-3 無人建設機械施工の各シーンにおける安全性確保のための技術課題

無人建設機械の活用シーン		無人建設機械施工の安全性確保のための技術的方策 (表-2 の A ~ W.)		
活用シーン (作業形態)	建設機械の運転モード	必須となる方策	活用状況及び技術開発動向に応じた技術的方策	
建設機械と作業者が分離された現場での建設機械施工の活用	遠隔操作	V, W	A, B, C, D, E, F, G H, L, N, M, S, T, U	
	自動・自律化		F, G, H, L, N, M, S, T, U	
作業者等と建設機械の混在した現場での活用	遠隔操作		A, B, C, D, E, F G, H, L, N, M, O P, Q, S, T, U	
	自動・自律化		F, G, H, L, N, M O, P, Q, S, T, U	
建設機械と作業者による協調作業	遠隔操作			I, J, K, R, L, N, M
	自動・自律化			

した行為は排除できるが、一方、環境の状況に対する認知能力の不足があり、その状況把握能力の向上に従って、実用化が進められることとなる。なお、機械制御のためのプログラムや建設機械本体・通信装置内の異常、あるいは、制御系の突発的な故障によって制御不能に陥り、建設機械が暴走して協働する作業員や周辺構造物等への接触事故等の発生が想定される。そのため、故障等の発生を排除・抑制することが必要である。

7. 無人建設機械導入時に遵守すべき条件

無人建設機械を導入する際に、従来の搭乗操作による建設機械の利用時と同等以上の安全を周辺の作業員に対して確保したい。そのためには、現実的には、無人建設機械と作業員を確実に分離すること、および、個別の建設機械や作業員毎ではなく、施工システム全体として、建設機械と作業員における接触を防ぐ機能を持たせることが必要である。当面は、これを建設機械と環境(管理システム)に準備させることが適切であろう。

そこで、建設機械と作業員への安全対策としては、以下の無人建設機械導入時に遵守すべき条件(1)~(3)のうちの1つまたは複数及び、(4)を実装することが求められる。

- (1)建設機械が作業するエリアと作業員が働くエリアを分離し、そのエリアの情報を建設機械と作業員に事前に周知・共有する。
 - ・手段の例：コーンを設置/地図情報の事前共有
- (2)建設機械または作業員が、そのエリアを越えたか、越えようとするものの検知と、その情報を各者に提示する。
 - ・検知手法の例：建設機械および作業員による認識/監視員による目視/レーザカーテンなどのセンサ/建設機械および作業員が持つ位置センサ(GNSSなど)を管理システム(監視室)が監視
 - ・情報共有の方法の例：センサ等に直接つながる機器による警告/管理室に情報を集め、建設機械と作業員に通知(放送あるいは作業員の持つタブレットに通知)/オペレータに情報を通知(遠隔操作、搭乗操作について)/自動機械のコントローラに通知(自動・自律化について)
- (3)建設機械自身により、その稼働域への作業員の侵入の検知とそれに対して対処する。
 - ・検知法の例：建設機械に搭載したセンサによる自動検知/遠隔操作については、オペレータがセンサ情報や全周カメラの映像などを見て認識
 - ・対処法の例：機械による警告音の発生/動作の低速

化と停止/管理システムへの通知と管理システムによる対処

- (4)建設機械の故障等を理由とする動作異常や暴走による被害を防止(検知と対処)する。
 - ・検知法の例：管理システム(管理者)の常時監視による異常検出
 - ・対処法の例：無人建設機械の稼働エリアの境界に物理的な柵を設置することにより、建設機械がエリアから逸脱することを防止/異常検出時の遠隔自動停止機能の実装/制御系と独立した非常停止機能の実装

なお、これらの安全確保のための機能自体についても、①機械の故障、②通信系の不調、③作業員の不注意や遠隔オペレータの体調不良等により正常に機能しない可能性が存在する。したがって、それらへの対処として可能な限り多重化等がなされた安全確保機能の準備が必要である。どの機能を実装・準備するといった判断は、リスクアセスメントにより決定する。

8. おわりに

建設機械施工において発生する被害には差異がある。特に作業員と混在した作業環境における事故は、作業員の死傷事故のリスクが想定される。また、建設機械の故障等による暴走は、多角的な被害の発生が想定される。

本稿では、現場内で作業を行う建設機械(オペレータ)や作業員を対象とした、作業環境の改善、安全対策技術の導入の観点から安全性確保のために必要となる課題について検討を進めた。

検討を進めるうえでIEC白書の提唱する“人・機械・環境”の調和を目的とした協調安全の各レベルを参考に、建設機械施工における協調安全レベルの考え方を示し、事故状況の分類に示す具体的な事故等の状況に対応した安全性確保のために達成すべき技術的方策を提案した。

具体的には、建設機械と作業員に関連する物理的環境に関連する技術として、建設現場内の環境情報の取得と共有(作業内の俯瞰)や建設機械や作業員の状態を提示することを挙げた。次に、支援技術を含む安全対策技術の導入として、接触等のおそれのある状況を検知し、状況を伝達することや自動的な建設機械の停止、緊急停止の必要性を挙げた。

建設現場の生産性確保及び向上を目的としたオペレータ非搭乗の無人建設機械の導入において、最低限の事故防止、あるいは安全確保の条件を満たしたものを運用しつつ、安全性と生産性の双方の向上を両立に必要な十分な

機能や導入時に遵守すべき技術的方策を提案した。

また、当面、無人建設機械を導入する場合、生産性と安全性を確保するうえで、建設機械と作業者の接触をなくすために遵守すべき条件を示した。

今後は、本稿により提案した安全への配慮に基づき測位・映像・センサ・機械制御等の技術の具体的な研究開発及び施工時における建設機械・作業者の行動分析を行い、事故発生の抑制を目的とした各種技術開発を具体的に進める必要がある。また、無人建設機械の導入においては、技術開発の動向や生産性向上を視野に入れつつ、当面、建設機械と作業者等の分離した環境下において安全性確保のために遵守すべき条件を満たした取り組みによる推進に期待したい。

謝辞：本稿をまとめるにあたり情報提供及び議論等に参加いただいた国土交通省味田悟氏、金森宗一郎氏に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 樋口恒一郎：“建設工事における事故と安全対策”，（社）全日本建設技術協会，<https://www.zenken.com/kensyuu/kousyuuukai/R04/687/higuchi.pdf>
- 2) IEC（国際電気標準会議）/MSB（市場戦略評議会）：“IEC 白書 Safety in the Future”，IEC（国際電気標準会議），https://www.japan-certification.com/wp-content/uploads/iec_wp-Safety-in-the-Future_JP20210713.pdf
- 3) 厚生労働省労働災害発生状況，<https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzenisei11/rousai-hassei/dl/s22-12.pdf>
- 4) 厚生労働省職場の安全サイト，労働災害統計，<https://anzeninfo.mhlw.go.jp/user/anzen/tok/bnsk00.html>
- 5) 吉川直孝，伊藤和也，堀智仁，清水尚憲，濱島京子，梅崎重夫，豊澤康男：ドラグ・ショベルに係る死亡災害の詳細分析と再発防止，土木学会論文集 F6（安全問題）Vol.70, No.2, pp.L107- L114, 2014.
- 6) 石橋昭：“ヒューマンファクターとエラー対策”，保健医療科学，国立保健医療科学院，51（4），pp.232-244, 2002.
- 7) 小松原明哲：“安全人間工学の理論と技術－ヒューマンエラーの防止と現場力の向上－”，丸善，p.21, 2016.
- 8) 神余浩夫：“Safety in the Future - IT時代の安全概念-”，システム制御情報学会，システム／制御／情報，Vol.64, No.11, pp.430-434, 2020.

（2023.6.14 受付，2023.8.30 採用決定）

A Study on Safety Assurance in Construction Machinery Installation - Toward the Introduction and Use of Unmanned Construction Machinery -

Masaharu MOTOKI¹, Takashi YAMAGUCHI², Shinichi YUTA³

¹ Senior Researcher, Construction Technology Research Department, Public Works Research Institute

² Chief Researcher, Construction Technology Research Department, Public Works Research Institute

³ Project Researcher, SIT Laboratories, Shibaura Institute of Technology

The construction industry site environment is not uniform from site to site, but changes daily depending on weather conditions and other factors. In addition, the size of the products to be worked on is large. Therefore, it is more difficult to automate civil engineering work using construction equipment in the construction industry than in the manufacturing industry, and the safety of daily work is dependent on operators and workers.

This is a major characteristic of the construction industry, and a major challenge is how to achieve both productivity improvement and safety assurance.

In this paper, accidents in civil engineering works using construction machinery in the construction industry are categorized and the damage caused by such accidents is summarized. Based on this, the paper presents the results of a study on the concept of cooperative safety in civil engineering works using construction machinery in the construction industry and the technical measures that should be implemented to ensure safety.

In addition, the paper proposes the items that should be observed from the viewpoint of “safety assurance” when unmanned construction machinery is introduced.

交流のひろば/agora—crosstalking—



海の地図 PROJECT

高柳 茂暢

「海の地図 PROJECT」は、(公財)日本財団と(一財)日本水路協会が主体となり、2022年から10年をかけて我が国の約90%にもおよぶ浅海域の海底地形を計測し、地図化を行うプロジェクトである。本プロジェクトでは従来の船舶による音響測深ではなく、「航空レーザ測深(ALB)」という手法を用いて水深20mまでの浅海域の詳細な地形図の整備を行う。プロジェクトの成果は、将来的に研究機関・行政・企業・市民等の様々な主体に幅広く利活用されることで、我が国を取り巻く海の諸問題解決の糸口となることが期待されている。

キーワード：海の地図 PROJECT, (公財)日本財団, (一財)日本水路協会, ALB, 浅海域, 水深段彩図, シームレス, 知の図

1. はじめに

皆さんは「海の地図 PROJECT」をご存じだろうか。

このプロジェクトは2022年から10年をかけ、日本沿岸の約9割に相当する浅海域の海の地図を作るという日本初のプロジェクトで、企画・支援を行う(公財)日本財団と、事業を運営する(一財)日本水路協会が2022年10月に共同で記者会見を行っている(写真—1)。

ここで「海に囲まれた日本は、全国の海の地図が既に整備されているのでは?」と思われる方も多いただろう。確かに、1872年(明治5年)に日本初の海図となる「陸中国釜石港之図」が作られてから約150年、「海図」や「海の基本図」など用途に応じた海の地図は既に数多く整備・活用されている。



写真—1 海の地図 PROJECT 記者発表の様子

しかし、本プロジェクトで作る「海の地図」は既存の海の地図とは一線を画す手法で作られる、極めて高精度な地図であることが大きな特徴であり、我が国ではこれまで全国規模で作られたことのない「新たな海の地図」なのである。

今回は、この「新たな海の地図」の革新性や作り方、今後の利活用の可能性等について皆さんに紹介したいと思う。

2. これまでの海の地図と課題

(1) 既存の海の地図

冒頭にも少し紹介したように、我が国には既に用途に応じた海の地図が整備・活用されている。

例えば、船の安全な航行に欠かせない「海図」(図—1)や、等深線で地形が表現された「沿岸の海の基本図(海底地形図)」(図—2)、資源探査などに活用される「大陸棚海の基本図」のほか、地質や地磁気・重力の分布を示した海の地図など、様々な地図が存在する。

海の地形を示した地図に限定すると、これまでの海の地図は「船舶で測量された成果」から作られている。古くは鉛の錘がついたロープやワイヤーを海中に下すことで水深を測る「錘測(すいそく)」を行っていたが、1950年代後半以降、船舶から海中へ発する音波の反射から海底の地形を知る「音響測深」が主流となった。



図一 海図 (W101A 阪神港神戸より引用)



図二 沿岸の海の基本図 (海底地形図) (第 6356-3 宿毛湾より引用)

しかし、音響測深により様々な海の地図が描かれている一方で、調査に利用する船舶の座礁の危険がある沿岸のごく浅い海域は、測量が困難であるため現在でも未だに詳細な地形が明らかとなっていない「未知のエリア」となっている。

(2) 海にまつわる課題

海難・水難事故、海洋環境の変化、人と海の繋がり希薄化など、海には様々な問題があり数多くの課題が存在する。特に、人間の活動域に近い沿岸域には数多くの課題がある一方で、この重要なエリアでは海の地形図が十分整備されておらず、海と陸がシームレスに繋がった詳細な地形図が存在していない。

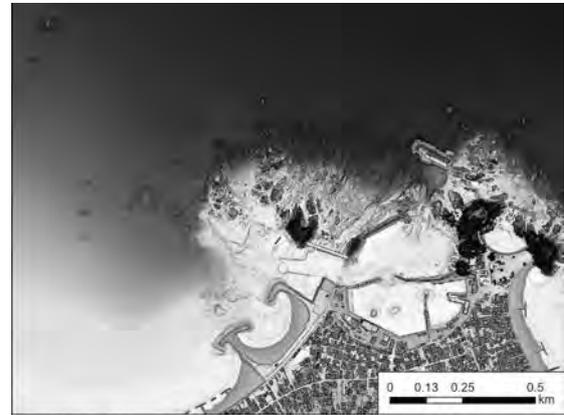
地図はあらゆる事象を判断し、意思決定するための基盤情報となるものであり、浅海域の詳細な地図が未整備であることは、沿岸部における海の諸問題を解決するための様々な分野の研究や技術の向上を停滞させることの一因になっていると言っても過言ではない。

つまり、沿岸部の浅海域という重要な場所において、科学的なエビデンス・データの充実を図ることが、現代の海の諸問題の解決のための喫緊の課題となっているのである。

3. 海の地図 PROJECT とは

(1) 新しい「海の地図」

まずは本プロジェクトで整備する海の地図をご覧ください (図一3)。



図一3 水深段彩図 (出典：海の地図 PROJECT 記者発表資料)

(本来はカラーの図面であるが) 先に示した水深値や等深線で示された地図とは表現方法が全く異なっているのがお分かりいただけるだろう。

この図は「水深段彩図」と言って、陰影で地形の凹凸を、色の変化で水深を示したものであり、メッシュサイズは 0.5 m×0.5 m で地形が表現されている。

これまでの海の地図と言えば、水深値が記載されているか、同じ水深を線で結んだ等深線が記載されているかのどちらかであり、地形を読むのには多少の慣れが必要であった。しかし、水深段彩図は直感的に地形と水深が把握できるだけでなく、別途用意した陸の地形データと組み合わせれば、同じ精度で海中から陸上までの広い範囲がシームレスに表現できる。

なお、この水深段彩図は三次元の点群データから作られているため、既存の図面と同じ水深値や等深線の表現も可能である。

(2) 海の地図 PROJECT の 3 本の柱

本プロジェクトでは、以下の 3 つの要件を柱として遂行し、詳細な海底地形情報を活用した研究を行うとともに、広く利活用および協働の機会創出等を行うことで海の諸問題を解決、改善することを目的としている。

①測定と地図化

日本全国 90% の浅海域で測定と地図化 (浅海域の海底地形情報の整備・地図作成)

②利活用

浅海域の地図の公開および活用方法の調査・研究 (調

査研究、活用基盤の試行等)

③協働の基盤化

浅海域の地図を用いた協働の基盤創りと促進（研究機関・行政・企業・市民への適切な公開）

(3) 地図整備の現状と国の政策との関連

海岸や浅海域では、省庁や行政の管理・所管体制が極めて複雑で、全国の浅海域を広範囲に計測することは容易ではない。また、浅海域における海の地図を作成する主体は、技術的に高度かつ長期間にわたるプロジェクトを着実に実行できることも必須条件となる。

そのような背景から、海の諸問題解決に要する多様な組織と調整能力を持つ（公財）日本財団と、海に関する様々な地図の取り扱いに精通する（一財）日本水路協会によりこのプロジェクトは遂行されている。

また、今年4月に閣議決定された「第4期海洋基本計画」の中では、沿岸域の海底地形の把握を含む水路測量が「着実に推進すべき主要施策」として位置づけられており、本プロジェクトは国が推進する主要施策の実現に資する重要な位置づけ・役割を担っていくことも期待されている。

4. 「新たな海の地図」の作り方

(1) 空からの測量「ALB」

本プロジェクトでは航空機を用いた航空測量によって海の地図を作っている。この技術はALB(Airborne LiDAR Bathymetry)と呼ばれ、陸上や水面の高さを測る近赤外のレーザーと、水中の地形を測る緑色のレーザーを上空から照射し、二種類のレーザーが水面や海底から反射して戻ってくるまでの時間差で水面から海底までの距離(=水深)を測っている(図-4)。

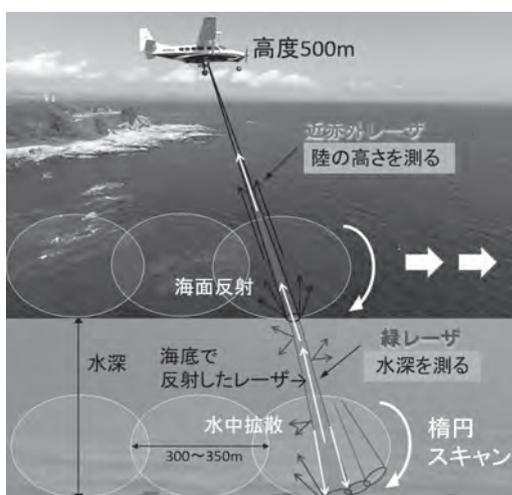


図-4 ALBの概念図

この手法は海中から陸上までシームレスに地形を把握することができる一方で弱点もある。

それは透明度の約1.5倍程度の深さまでしか測深できないこと、雨が降ると計測自体ができないこと、白波や波で巻き上げられた砂等があると海底が正しく判別できないこと、等である。

例えば、透明度が10mの海域では水深15mほどまでの地形を計測することができるが、それより深い場所の地形を測量するには従来の船舶を使った音響測深の出番となる。

(2) 我が国での導入事例

ALBの技術自体は1960年代に開発されていたものの、機材(ALBセンサ)が大型であったことから民間の測量会社は導入できなかった。

その後、我が国では2003年に海上保安庁が国内で初めて導入し、機材がさらに小型化しヘリコプターやセスナ機に搭載できるようになった2015年頃から民生に利用され始め、2023年現在、我が国では5社が機材を保有している。

(3) 使用する機材

ALBの機材には透明度の約1.5倍までの海底を測量できるShallowタイプのセンサと、より深場に特化したDeepタイプのセンサがあり、DeepタイプのセンサはShallowタイプのセンサとタンデムでセスナ機に搭載する(写真-2)。

本プロジェクトでは、沿岸の地形や計測機材の特性を踏まえて計測計画の最適化を図り、気象・海象の状況に応じて計測を実施している。



写真-2 固定翼に搭載されたALBセンサ
(奥：Shallowタイプ 手前：Deepタイプ)

(4) 海外の ALB に関する取組

ALBによる海底地形の計測は海外でも行われており、特にアメリカやフランスでは国家レベルで大規模に実施されている。

両国の取組では、主に計測した二時期のデータを比較することで土砂移動を把握し、ハリケーン等の自然災害に対する被災状況評価や、海岸侵食等の海岸管理に活用されている（図—5）。



図—5 海岸侵食の把握例

(出典：Philpot (2019) Airborne Laser Hydrography [Blue Book II])

5. 今後の展開

今後、本プロジェクトで作成された海底地形図に、海流、生物、事故情報など様々な「知」を重ねることで次世代に豊かな海を引き継ぐための海の日本地図が完成する。

その「知の図」を活用することで、例えば海難・水難防止、防災・減災、海の生態系の解明、ブルーカー

ボンの取組の加速、シチズンサイエンスの促進、再生可能エネルギーへの活用など、様々な方面への発展が期待できる。

6. おわりに

我が国初の取組となる全国規模での ALB 計測と地図化は、規模の大きさに加え、精度確保やデータ間の接合など、これまででない困難さが伴う。しかしながらこの取組は、現在、そして将来の海の諸問題の解決のための基礎データとして、長きにわたり求められてきたデータである。

将来的にはこの地図に様々な知を重ねるだけでなく、海外での利活用と同様に、2度目の計測結果との差分から、これまで得られなかった知見も得られるだろう。

本プロジェクトはまだ始まったばかりだが、この壮大かつ前例のないプロジェクトで得られた成果が適切に利活用されれば、沿岸部における海の諸問題を解決するための様々な分野の研究や技術がさらに深化するものと期待している。

J C M A

【筆者紹介】

高柳 茂暢 (たかやなぎ しげのぶ)
アジア航測(株)
社会基盤システム開発センター
マリノイノベーション推進室
室長



ずいそう

レザークラフトと私

穴井秀和



私がレザークラフトを始めたのは2019年なので、まだ4年の経験しかない。あれこれとレザークラフトの蘊蓄^{うんちく}をいえるほどわかってはいない。

始めたきっかけは、現場での安全大会の直会での出来事である。毎月1日に行う安全大会の夕方に、直会と称して現場職員を対象とした会食を事務所で行っていた。大きな現場だったので、50人程度での会食だ。現場代理人の発案により、その月の誕生日を迎える人にレザークラフトの小物をプレゼントすることになった。作るのは現場の職員で休日がつぶれるとぶつぶつ言いながら、キーホルダーやブックカバーなどの小物を作ってくれては毎月贈呈してくれていた。私はその時、手軽に手作りのプレゼントを贈ることができることに憧れた。元々、革製品が好きなので、自分用に材料費だけで作れることも魅力だ。女房や子供、そしてまだ見ぬ孫や親せきの子供など、退職後の余裕時間を使って丁寧に作れば、気軽に安く、プレゼントできるのではないかと思った。

でも、具体的にはどうすればいいかわからなかった。先現場職員に教えてもらった。幸いにも道具をプレゼントしてくれたので、すぐに始めることができた。道具はセットでもバラでも買うことができる。初めは最小限でいいと思う。

さて、どういう手順で作るのか。まず作るものを決め、その型紙を手に入れる。初めはどうしていいかわからないから、作り方を教えてくれる本を買う。初心者向けの本は結構多く出版されており、作りたいものを探して本を購入する。それらの本には型紙の付録がついて写真で作り方が解説されているので、その通りに作ればなんとなくできる。近頃ではYouTubeの利用も多いだろう。

革はどこで買うか？まず、すぐに探しやすいのはハンズのレザークラフトコーナーである。もっと色々な種類を探したいなら、東京だと浅草橋・蔵前付近に革を売っているお店が多く、探検するとハンズより安く買える。ネットで直接買うとさらに安く手に入るが、実物を手に取ることができないので、初心者は質感がつかめず、失敗する恐れがある。私もいまだに思っていたのと違うと感ずることがある。

次は型紙に合わせて革を切る。プロは革包丁を使うが、素人はカッターナイフでいい。カッターは刃を研がなくてもいいし、安い。ただし、安定して革を切ることができるように刃の厚いカッターの方がいい。今ではあまり見かけないが、昔の床屋さんは、髭剃りの刃を帯のような長い革で研磨していた。それほど革は固く、逆にいうと革を切る刃は傷みやすい。

革を切ったらそのままでもいいけど、表になる革(これをギンメンという)の切端(これをコバという)の角をヘリオトシで角をとり滑らかにする。機械図面の「C」にあたる。そして切断面のザラザラ感をなくすために仕上げ材を塗って、丸い木の棒でコバをこすって毛羽立ちをなくす。上級者はさらに染料で切断面を染め、定着材を塗って磨き上げる。この仕上げの出来で初心者かどうかを見分けることができる。

次に革を縫うのだが、手縫いの場合、まず革に穴をあけて縫う。縫い目がそろっているか否かがその作品の評価に大きく影響するので、手縫いの場合、この穴のあけ方がまっすぐで等間隔であるかが最も重要である。そのためには、デバイスのようなもので革のふちから等間隔になるように薄く線を引き、その線上に穴をあける。穴をあける道具は、菱目打ちといって穴をあける刃が2個や4個、等間隔でついている。この菱目打ちを革にあて木槌でたたいて革に穴をあける(写真-1)。

あとは、革用の糸を必要な長さに切り、その両端に針をつけ、二つの針を交互に穴に通して縫っていく。

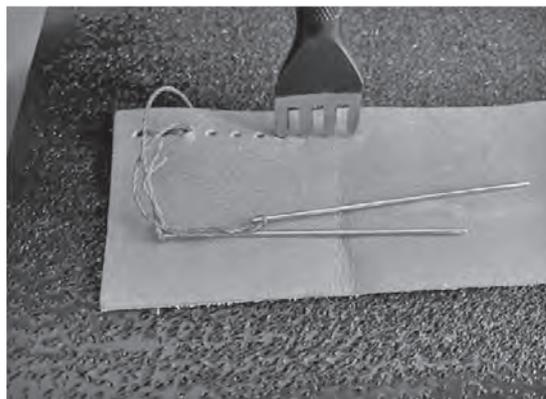


写真-1 穴あけと手縫い

糸は麻糸に自分で蠟をつけたり、蠟付けした合成繊維の糸を使用する。縫っているときに糸が擦り切れるのを防止するために蠟付けした糸を使う。以上を基本として必要に応じてボタンやファスナーなどをつけたりする。

そうやって作ってきたものはどんなものか？

まず最初に作ったのはキーホルダー。写真—2のように様々な形、色のものがある。革の色だけではなく、縫う糸の色・太さ、取り付ける金具の大きさ・材質・色など自分が好きなようにバリエーションを楽しめる。

小物を作ることに飽きてきて写真—3のような鞆や手袋・手袋ホルダーまで段々作るようになってきた。機能上は支障ないけど、細かな部分にはほころびがあって、人にプレゼントできるようなものではない。やはり自分用の域を出ていない。

それでもくじけることなく、財布はもちろん、名刺入れ、メモ帳、眼鏡ケース、IDカード入れ、筆入れ、時計バンド、マウスパッドなど様々なものを作ってきた。振り返ると50種類くらいのアイテムを作っている。材料費だけでできるのもいいけど、一番の魅力は自分用にカスタマイズできるところがいい。同じ形のバッグにしても大きさや形、色など自分で選べる。そ



写真—2 キーホルダー達



写真—3 鞆、手袋・手袋ホルダー

して、バッグであれば内側のポケットの大きさ・形も自由に作ることができる。旅行用のバッグであれば、御朱印帳入れやコンパクトな絵の具入れなど、市販のバッグにはない注文をかなえることができる。困ることとすれば、先に述べたように革に縫い穴をあけるときの木槌を使うが、この時にたたく音がうるさいこと、時々使う染料で床や壁、テーブルなどを汚してしまうこと。だから、作業している周辺を汚さないように養生して慎重に、また夜は早めに切り上げて騒音の苦情がでないようにするなど、工事現場と同じように地域住民（家族）に気を配りながら、製作を続けている。

こうやって鍛錬を重ねて出来上がった最新作が写真—4の通勤用バッグである。これも作り方を指南してくれる本を買って、型紙通りに革を切り、記載された写真を参考にして丁寧に作り上げた。丁寧な作り方だったし、休日しか作業できないので、出来上がるまでに2、3か月かかった。

このように作品が増えてくると、周りの人の目に触れる機会も増えてくる。私がレザークラフトを行っていることを知っている人、知らない人、色々だ。知っている人は、「これもそうなの？」という感じで確認するようなことを言われる。それを横で聞いていて私が作ったことを初めて知った人は、大体驚く。買うわけではないので、手に取って確認することは少なく、一瞬の見た目にはよくできていると勘違いするのだと思う。そんな時に私が一番恐れていることは、「私にも作って！」と言われることである。昔からの知り合いのおばちゃんが言いそうなことだ。幸い、私の周りにはジェントルな人ばかりなので、そんな目にはあっていない。簡単なものなら作ってあげてもいいけど、それが他の人にも広がると面倒になる。

当然、家族も私が何を作ったのかよくわかっている。どんな材料、革を持っているかまで知っている。だか



写真—4 最新作

ら娘にこんな財布を作ってくれとスマホに写真を送り付けられた。そういう要望のものは、型紙も作り方を書いた本はないので、これまでの経験を頼りに想像しながら作る。そうするとやはり経験が足りていないので、なんとなくできるけど見栄えも悪い。娘はちょっと顔をきつらせながら「ありがとう」と受け取ってくれた。

そんな娘とのやり取りを見ているのか、娘から聞いているのか、我が家のおばちゃん（女房）は、「作ってあげようか？」とも言ってないのに、「私いないからね!!」と一方的に宣言された。まだまだ、修行の道は長い。

—あない ひでかず 鹿島建設株—



ずいそう

ワンコのいる人生 (ペットから家族へ)



宮崎 弘樹

私が中学生の時から実家でワンコを飼い始めて今のワンコは4代目になります。その影響もあり、いつかは私も家庭にワンコと暮らせる日を望み考えていました。丁度、新居がペットと一緒に暮らせる環境となり念願のワンコを迎え入れる条件ができたので、ペットショップに通い一目惚れした子犬を、一時的な感情ではない事を自問自答繰り返し、覚悟を決め決断しました。その時の私はペットショップの店員さんから見れば、いつも同じ子犬をガラス越しに見て、子犬に話しかけ半落ち状態の私が優柔不断に見えていたのでしょう。それに対して家族は驚きました。私は考えに考え覚悟を決め決断しましたが、家族には相談すること無くペットショップからお試しのお泊り預かりという条件で連れて帰ったものですから。でも子犬の愛くるしさに反対する意見も出ず、半ば私の強引でもありましたが、ワンコとの暮らしが始まりました。私はワンコのいる暮らしが学生の時ありましたが、妻と子供は初めての体験でした。私はある程度は想像と覚悟は出来ていましたが、それでも室内飼いは初めてだったので想定外の事は多くありました。妻と子供はそれ以上に大変だったと思います。好奇心旺盛でよく頃合いのいい物は噛じられたりしました。遊びに夢中になり、せっかく覚えたトイレに帰れず間に合わずカーペットを汚してしまい、その度に家族は大慌て、遊んでほしいの表現を甘噛で表現しているのですが、子犬の歯は尖っていて痛いので手に傷も出来ることがよくありま

した。いつの間にか子犬中心の生活になり自然と家族との会話も増えて来ました。現在ワンコを迎えて4年になりますが、少し噛じられた食卓椅子の脚、ファスナーの開け締めの手で持つ所が曲がっているのも当時は必死だったので、もう、またやられたくらいの感じでしたが、今見ると懐かしく微笑ましいものになりました。子育てと同じく後悔が多くて、もっとこうしてやれば良かった、優しく説き解いて導いてやればと思いますが、当時は余裕が無く今は落ち着いたワンコをみてその分優しく撫でてやっています。ワンコと一緒に暮らし始めてからワンコの特性、性格もわかってきました。犬種、個体によっては違いはあると思いますが、我が家のワンコで説明しますと、共同生活を送るために常に周りをよく見えています。自分の置かれている環境、触れ合う人たちの様子、顔色まで見えています。人の言っていることもわかっているようで、単語レベルではかなり理解しているように思います。特に口調とか表情はよく察しているようです。あまり不安にさせないように私自身慌てること無く、接しているときは自分自身落ち着けるように心がけています。他にも気付かさせられる事もありまた多くの人との出会いも経験させてもらいます。ワンコと散歩をしているとよく話しかけられます。同じくワンコを散歩している人を始め犬好き動物好きの人、小さいお子さんからお年寄りまで色々な人と挨拶したり話したり出来ます。また散歩の際に普段は目の行かなかった足元の草花とか



写真—1



写真—2



写真—3

季節のちょっとした変化も感じられるようになりました。我が家にワンコがいなければできなかったことばかりです。今では顔なじみも出来てワンコとの散歩の楽しみも増えました。もちろん我が家のワンコもいっぱいワンコ友達が増えました。たまには叱られたり、吠えられたりはしますが、その時は私も一緒に謝ったりしています。ワンコ共々まだまだ修行中です。ワンコは人のようには喋れませんが飼い主はもとより色ん

な人とコミュニケーションがとれます。なぜだろう？と考えます。見た目の愛くるしい仕草や表情もそうですが、何より実直というか真っ直ぐというか正しい表現方法が見つかりませんが、ワンコは今この瞬間を精一杯一生懸命に生きています。過去の事は経験値だけでこれっぽっちも考えていません。もちろん後悔もないと思います。未来の事を考えることもせず、強いて言うならば今を精一杯楽しむために今を一生懸命にすることかもしれません。私自身もこの事は大変勉強になります。過去を後悔する事で振り返らない、起こってもいない未来の不安を考えて何も出来ない事。私が仕事で携わっている ICT の分野も初めての仕事が多くリスクや不安が先に立つと中々前に進まなくなる。私が不安になると周りにも伝わる。我が家のワンコのように今を一生懸命、楽しく、精一杯やっていたら自然とコミュニケーションがとれて仲間も増え一人ではできない事も仲間たちと一緒に乗り越えられるだろう。我が家族になったワンコがしてきたように。

—みやざき ひろき 西尾レントオール(株) 四国 ICT 施工推進課—



部 会 報 告

成瀬ダム堤体打設工事 現場見学会

建設業部会

1. はじめに

建設業部会では、令和5年度建設業部会夏季現場見学会を2023年8月31日に秋田県の成瀬ダム堤体打設工事において実施した。参加者は事務局を含め20名であった。

2. 工事概要

成瀬ダムは、雄物川水系成瀬川の秋田県雄勝郡東成瀬村椿川地内に建設される多目的ダムとして建設するものであり、雄物川水系河川整備計画の一環をなすものである。

ダムの目的は、洪水調節、流水の機能維持（流域の自然環境保全）、農業用水・生活用水の確保、水力発電である。

発注者 国土交通省東北地方整備局成瀬ダム工事事務所

施工者 鹿島・前田・竹中土木特定建設工事共同企業体

ダム諸元

型式	台形CSGダム
堤高	114.5m
堤頂長	755.0m
堤体積	485万 ³ m ³
総貯水容量	7,850万 ³ m ³
有効貯水容量	7,500万 ³ m ³

現場の特徴は3点が挙げられる。

日本独自のCSG（Cemented Sand and Gravel）工法を導入しており、完成すると台形CSGダムとして日本最大の高さ、大きさとなる。

鹿島が独自に開発した建設生産システム「A⁴CSEL（クワッドアクセル）Automated/Autonomous/Advanced/Accelerated Construction system for Safety, Efficiency, and Liability」をはじめとした最先端のICTを用いた機械化・自動化の施工技術を数多く導入している。

冬季は多いところで3m弱の積雪を観測する豪雪

地帯のため施工が行えず（グラウチング等は実施）、年間で工事ができる期間が6か月程度しかない。

3. 現場見学

現場見学にあたり、事務局の会議室で工事概要ならびにA⁴CSELをはじめとする数多くの施工技術の説明を受けた。

A⁴CSELの手順だが、施工計画システムで当日の作業内容を決め、機械の配分などの条件を設定すると、AIとシミュレーションによって各重機の工程や作業区画が自動的に決定する。続いて施工管制システムで各重機に作業指示データを送るとともに、施工の進捗管理を行う。環境変化等によって計画との差異が生じたときは、システムによって軌道修正を行う。施工管制システムから送られてきた指示は、重機管理システムで各重機に送信し、自動的に決められた経路で作業を行う。

各重機はいずれも汎用の建設機械であり、GNSS、ジャイロ、レーザスキャナなどの計測機器と制御用PCを搭載している。使われている重機は、55t級自動ダンプトラック、21t級自動ブルドーザ、11t級自動振動ローラである。他に有人のバックホウ、ホイールローダなども稼働している。有人、無人の施工エリアは分けられており、干渉することはない。また各重機にはセンサが取り付けられており、他重機や車両、作業員が接近したときは停止するようになっている。

自動化施工率（＝自動化施工面／リフト面積）は最大で97%を達成している。堤体端部は型枠と干渉するため振動機を取り付けたバックホウで締め固めなければならないことと、GNSSが入りにくいエリアが一部あったため、この数値とのことである。

夜間も自動化施工を行うことができ、28時間20分の連続稼働に成功している。2023年5月には最大28.1万³m³（うちCGS26.1万³m³）を打設している。

8月26日現在で堤体CSG打設は3,181,600³m³（73.8%）、コンクリート打設は383,100³m³（64.2%）であり、CSG打設は今年で90%の施工が終わる予定である。

まずは右岸天端より堤体全景を見学した。この日は右岸側で堤体打設を行っていた（写真—1）。

この日も A⁴CSEL によって施工されていた（写真—2）。ただ、本来 CSG 製造設備で製造した CSG は、ベルトコンベアと SP-TOM と呼ばれる輸送設備（写真—3）で堤体まで運搬され、自動ダンプトラックが受け取るが、本日は施工場所の関係により、ダンプトラックは有人運転であった。有人運転の場合でも、システムによってどのプラントで CSG を積み込み、どの位置に降ろすかが運転席のタブレットに表示され、それに従って運転を行っていた。

重機であるが、有人操作と比べて一糸乱れぬ動きをしていることが非常に印象的であった。遠くから眺めていても、ブルドーザによる敷き均し、ローラによる締め固めの均一さがわかる。また、旋回や速度調整も自動で行われており、重機が接近して接触するかもしれないといった不安は、全く感じない。

ここまでの自動運転を成立させるため、毎日トライアル & エラーを行い、最適となる軌跡を求めているとのことである。

CSG 堤体の耐久性を高めるため、上下流の表面に

75 cm の階段形状のコンクリートが施工されている。型枠は H 形鋼（400H）5 m を 2 段重ねたもので、従来なら堤体上面の移動式クレーンで移動するが、CSG 打設のダンプと輻輳して安全性と生産性を阻害するため、「置き型枠自動スライドシステム」を使用している。置き型枠の引き上げ、設置、設置後の台車の横移動という一連の作業を自動化でき、作業員 1 人で施工ができ、作業時間も 1/5 短縮することができる。

続いて堤体右岸側サイトにある KAJIMA DX LABO に案内してもらった（写真—4）。AR、VR やパネルを活用し、工事などについて体感・学習できる施設である。

ここでは成瀬ダム施工概要と A⁴CSEL を中心とした技術紹介のシアター、そして成瀬ダムのジオラマによる AR 体験とパネル紹介、展望デッキでの AR 体験を行った（写真—5）。なお、こここの 2 階が A⁴CSEL の管制室となっていた。現在は他の自動化施工の現場と合わせ、鹿島本社関連施設の管制室から、複数現場の一括自動化施工管制による稼働を実施中である。

最後に、CSG 製造設備とコンクリート製造設備に案内してもらった（写真—6, 7）。CSG 製造設備は



写真—1 現場全景（左岸側から望む）



写真—3 SP-TOM とベルトコンベア



写真—2 A⁴CSEL による施工状況



写真—4 KAJIMA DX LABO



写真—5 成瀬ダムジオラマとAR体験状況



写真—7 CSG ダンプホッパー



写真—6 CSG 製造設備



写真—8 CSG 中央制御室

合計3系統設けられており、1系統当たり $360 \text{ m}^3/\text{h}$ の製造が可能である。

CSG材の製造は、中央制御室に数人が常駐するだけで、工程はすべて自動化である（写真—8）。プラント内の各所にカメラやセンサを設置し、異常時には制御室で確認できる体制となっている。またCSG材の粒度分布計測など、品質管理の効率化も行われている。

4. おわりに

A⁴CSELを一度この目で見たいと思い、非常に楽しみしていた見学会であったが、想像以上の機械の動き

に圧倒された。また、システムの開発・運用・改善に対する現場の熱意を強く感じ、非常に有意義であった。

最後に、大変お忙しい中、今回の見学会にご協力頂きました建設共同企業体の関係者の皆様に、厚く御礼申し上げます。

JCMMA

【筆者紹介】

浅井 秀明（あさい ひであき）
前田建設工業㈱
土木事業本部 機械部 機械技術グループ
主幹



部 会 報 告

(株)三井三池製作所 九州事業所 見学会 報告

機械部会 トンネル機械技術委員会

1. はじめに

JCMA 機械部会のトンネル機械技術委員会では、令和5年9月5日に(株)三井三池製作所 九州事業所への見学会を実施した。参加者は15名であった(写真-1)。



写真-1 見学者集合写真

2. 見学スケジュール

令和5年9月5日(火)

13:00 大牟田駅集合

13:00~13:15 貸切バスにて

(株)三井三池製作所へ移動

13:15~13:40 (株)三井三池製作所

会社及び製品概要説明

13:40~15:20 工場見学

15:20~16:30 大牟田市石炭産業科学館に移動

及び見学

16:30~17:00 大牟田駅へ移動・順次解散

3. (株)三井三池製作所会社概要

■設 立：1959年(昭和34年)10月
創立64年

■代 表 者：中村元彦

■資 本 金：10億円

■本 店：中央区日本橋室町2-1-1

■工場概要：九州事業所

福岡県大牟田市新港町6番地15

4. 会社及び製品概要説明他

福岡県大牟田市の三池港に隣接する広大な敷地に、設計から製造、組立、検査までの一貫した生産体制を有し、高品質な製品を世界へと提供する事業所であり、ロードヘッダ、再生可能エネルギー等を重要視している(写真-2)。



写真-2 説明会風景

(1) オープンヤード貯蔵設備

- ・国内シェアNo.1(80%)を誇るオープンヤード貯蔵設備のリーディングカンパニー
- ・遠隔からの積付、払出の完全自動運転

(2) 屋内貯蔵システム

- ・客先の条件に合わせて自社にて設計、製作、管理まで一括

(3) 減速機・増速機

- ・小型から大型まで客先のニーズに対応

(4) 電動機

- ・設備の用途や使用環境に配慮しながら製作

(5) ロードヘッダ

- ・500台以上のロードヘッダーを製作、販売

※ラインナップ：SLB-350S 型（全断面用），SLB-300S 型（全断面・上半断面両用），MRH-S300A 型（上半断面用），MRH-S200 型（上半断面用），MRH-S100 型（小断面用），MRH-S65 型（小断面用），SLB-300SG 型（海外仕様），S200M 型（海外仕様）

(6) 応用掘削機械

- ・海洋工事において掘削技術を水中に展開
- ・水中掘削を遠隔から制御

(7) 小水力発電システム

- ・50 以上の発電施設にて採用

※ラインナップ：フランス水車，インラインチューブラ水車，S 形チューブラ水車

(8) ステンレスプール

- ・新設からリニューアルまで設計製作

※ラインナップ：学校プール，可動床付プール

(9) ファインブランキング加工

- ・一般的なプレス加工では困難なミクロン単位の精密なプレスが可能

※一部，(株)三井三池製作所製品案内より抜粋

■共同開発案件

○ AI ロードヘッダ

- ・(株)安藤・間と共同で ICT を駆使した最新のトンネル掘削機を開発
- ・移動や掘削などの動作を遠隔操作室で行う「遠隔操作機能」と，周囲を各機器で計測することで周辺認識を行い，無人で掘削を行う「自動運転機能」を装備している

○ AI ロックローダ

- ・(株)フジタと共同で山岳トンネルの掘削ズリだし作業の省力化，省人化を可能とする AI 機能搭載の積み込み機「AI ロックローダ」を開発

5. 工場見学

技術開発センターから 2 班に分かれ第 1，第 2，第 3 工場を見学した。

●海外向けロードヘッダの製作 (写真—3)

- ・オペレータへの環境対策，ズリかき寄せに特徴

●小水力電力発電 (写真—4)

- ・出力 560kW，1 年あたり 10 台程度受注製作



写真—3 ロードヘッダ (SLB-300SG III 型)



写真—4 小水力電力



写真—5 土のう造成機

●土のう造成機 (写真—5)

- ・ゴムクローラ式，走行速度 2.4 km/h，ホッパー約 60 袋，20 秒/袋
- ・袋詰めと結束作業を自動

●5S の推進 (工具の見える化) (写真—6)

- ・ムダをなくす取組の 1 例であり，整然と整備されていた



写真一六 工具の見える化



写真一七 工程の見える化（モニター表示）

●工程・稼働状況の見える化（写真一七）

- ・多様な製品の進捗をモニター表示している。またWEB管理により事務所からも常時進捗管理できる。工場内各所にWi-Fiが設置されている。

6. 大牟田市石炭産業科学館見学

世界文化遺産「明治日本の産業革命遺産」三池エリア（三池炭鉱，三池港，三角西港）ガイドンス施設である大牟田市石炭産業科学館を見学した（写真一八）。

明治日本の産業革命遺産は九州・山口を中心とした8エリア23の資産で構成されている。この23の構成資産全体で製鉄・鉄鋼・造船・石炭産業において幕末から明治時代にかけての日本が急速な産業化を成し遂げている。

当館はかつて国内最大の炭鉱のあった大牟田が知る地球資源や石炭の魅力を映像・資料・展示により紹介している施設である。

解説ボランティア（元炭鉱マンと思われる）の解説を受けながら、映像で三池炭鉱の歴史について学んだ。採炭現場を再現した模擬坑道では、ロードヘッダ、



写真一八 大牟田市石炭産業科学館（石炭産業科学館HPより）



写真一九 見学状況

ホーベル等の採炭機械も展示されており炭鉱の歴史に触れられる興味深い見学会となった（写真一九）。

7. おわりに

今回、製品や機械の開発状況等についてもご説明頂き、工場見学では、実機械の構造や溶接ロボット等の自動化設備についても理解でき、大変有意義なものとなりました。

今回の見学会において説明及び案内をして頂きました(株)三井三池製作所 九州事業所栗林所長様，事業部南條部長様，技術開発部山田部長様，製造部砂川部長様，産業機械営業部鶴元部長様，産業機械営業部山中主任様，製造部前原組立課長様，製造部橋本課長様並びに九州事業所関係者の皆様にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

JICMA

【筆者紹介】

橘 伸一（たちばな しんいち）
 (株)大本組 技術部
 土木本部 技術課長
 (一社)日本建設機械施工協会
 機械部会 トンネル機械技術委員会
 委員



新工法紹介 機関誌編集委員会

04-454	切羽先行変位計測システム「TN-Monitor」の機能拡張	大成建設
--------	-------------------------------	------

▶ 概 要

山岳トンネルの施工において、脆弱な地山条件を有する場合や、周辺構造物や地表面に対する影響監視が求められる都市部でのトンネル工事では、掘削の影響による変位を常時計測し、大きな変形が生じる前段階から必要な補助対策工を講じることが重要となる。この目的で、しばしば切羽到達前から変位計測を始める切羽先行変位計測が実施される。当社では、坑内の切羽から全ての計測器械を設置できる切羽先行変位計測システム「TN-Monitor」を開発し、様々なトンネル工事に適用してきた。しかし、既往の「TN-Monitor」の計測対象項目は多点型傾斜計による鉛直方向の沈下と、多点挿入式変位計による切羽押し出し変位に限定されていた。一方、大土被りトンネルで、鉛直方向応力よりも水平方向応力が卓越する場合や、岩盤物性の異方性が顕著な場合には、横断面方向の水平変位が支配的になる場合もある。そこで、多点でケーブル延長方向のひずみを計測できる光ファイバケーブルセンサを複数組み合わせる事により、鉛直変位と水平変位を同時に計測できる手法を開発し、「TN-Monitor」のラインナップの拡充を図った。本開発により、切羽前方の3次元的な地山挙動を評価することが可能となった。

▶ 特 徴

光ファイバケーブルセンサは、高いひずみ追従性と精度が得られるFBG (Fiber Bragg Grating) がケーブル全長に施されたAGF (All Grating Fiber) を用い、測定方式は高い空間分解能が期待できるOFDR (Optical Frequency Domain Reflectometry) を採用した。光ファイバケーブルセンサは、従来の切羽先行沈下計測手法と同様に切羽近傍から打設した長尺鋼管内に設置することを想定した (図-1)。

図-2 に鋼管内の計測器械の断面図を示す。AGF を貼り付

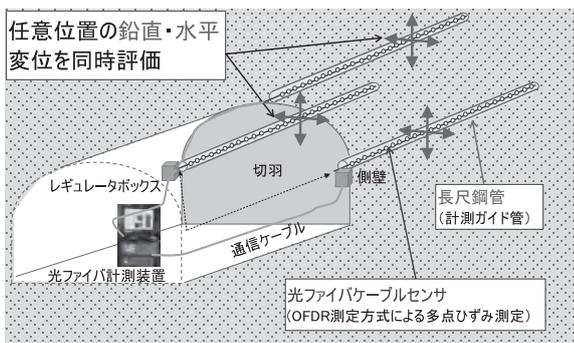


図-1 TN-Monitor (光ファイバ) 計測概念図

けたPVC平板を4組準備し、それらを角パイプの内側からパッカーと一緒に挿入する。計測時にはパッカーを窒素ガスにて加圧拡張することで角パイプの内側に固定する。鋼管から充填材を介して伝わる地山の変形量を角パイプの鉛直および水平方向の変位量として、上下、左右のAGFに生じたひずみ差から計算することができる。計測完了後には、パッカーを減圧することで、パッカーとAGFを貼り付けたPVC平板を回収し、再利用できる点が本技術の特徴の一つである。

熊本57号滝室坂トンネル東新設(二期)工事にて本計測技術を適用し、計測器械の施工性や再設置による計測データ取得の実現性などの有効性を検証した。計測器設置後に、前方に4m掘削した時点での変位分布(図-3)は、絶対値は小さいものの水平・鉛直変位ともに切羽近傍で顕著な増加傾向を示しており、一般的なトンネル挙動を計測できることを確認した。

▶ 用 途

- ・山岳トンネル施工時の切羽先行変位計測

▶ 実 績

- ・熊本57号滝室坂トンネル東新設(二期)工事

▶ 問 合 せ 先

大成建設(株) 技術センター

〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1

TEL: 045-814-7221

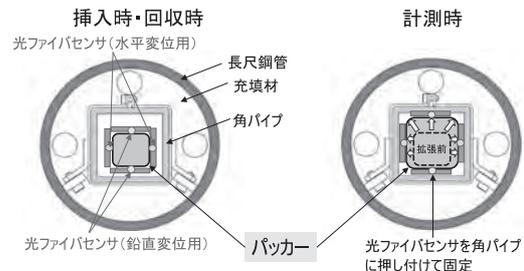


図-2 TN-Monitor (光ファイバ) 計測器械の仕様

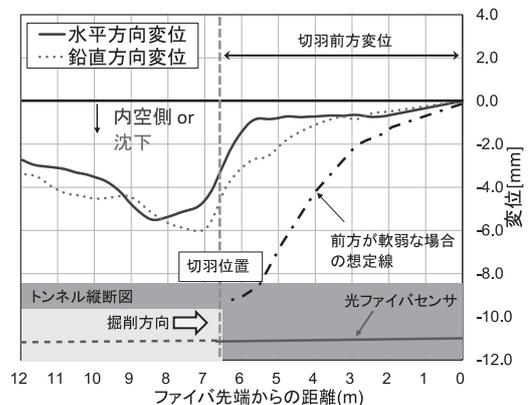


図-3 計測結果例

建設業界における外国人材の受け入れについて

1. はじめに

建設業界の就業者数は、1997年の685万人をピークに2021年3月時点では492万人まで減少している。その中で特に技能労働者の年齢分布を見ると、60歳以上が約4分の1を占め高齢化が進んでいる一方で、29歳以下の若手技能労働者は約1割となっている（図1）。

このような担い手不足と高齢化が進む現状に対して、建設業界においては、担い手の処遇改善、働き方改革、生産性の向上といった取組を進めているところであるが、なお不足する人材については、外国人材を受け入れることも選択肢の一つである。

本稿では、建設業界における外国人材（特に技能実習生と特定技能外国人）の受入制度の現状について紹介する。

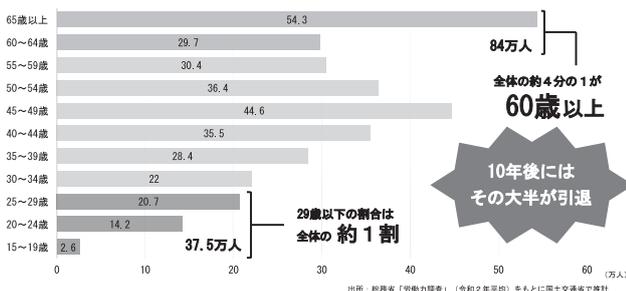


図1 年齢階層別の建設技能者数

2. 建設分野における外国人材の受入状況

(1) 建設分野における外国人材の種類

建設分野に携わる外国人材としては、主に技能実習生、特定技能外国人の2種類がある。

技能実習生は、我が国の技能、技術又は知識を開発途上国等へ移転を図り、開発途上国等の経済発展を担う「人づくり」に協力することを目的として受け入れているものである。

特定技能外国人は、相当程度の知識又は経験を有する外国人労働者を、我が国の人手不足が深刻な特定産業分野（建設業をはじめ、介護、製造、農業等の12分野）に受け入れているものである。

現場においては、技能実習も特定技能も似たようなものと認識されている現状があるかもしれないが、技能実習は人づくりが目的、特定技能は人手不足対応が目的であり、制度の目的が異なっていることに留意が必要である。

(2) 建設分野における外国人材の受入状況

建設分野に携わる外国人材の人数は、2011年度では12,830人（うち技能実習生6,791人、外国人材建設就労者*0人、特定技能外国人は0人）であったが、年々増加傾向にあり、2021年度では110,018人（うち技能実習生70,448人、外国人材建設就労者1,767人、特定技能外国人は6,360人）となっている（表1）。

なお、技能実習生と特定技能外国人の人数については、それぞれ最新のデータが政府機関から公表されているので、後述する。

今後も、建設分野に携わる外国人材の人数は増加を続け、技能実習生と特定技能外国人がその中心となっていくことが想定される。

※「外国人材建設就労者」は、東日本大震災の復興事業の更なる加速を図りつつ、オリパラ関連施設整備等による一時的な建設需要の増大に対応するため、緊急かつ時限的措置（在留期限は2022年度末まで）として受け入れていたものである。

表1 建設分野に携わる外国人材の人数

(単位：人)

年度	建設業外国人全体	在留資格別の内訳		
		技能実習生	外国人建設就労者	特定技能外国人
2021	110,018	70,488	1,767	6,360
2020	110,898	76,567	3,987	2,116
2019	93,214	64,924	5,327	267
2018	68,604	45,990	4,796	
2017	55,168	36,589	2,983	
2016	41,104	27,541	1,480	
2015	29,157	18,883	401	
2014	20,560	12,049		
2013	15,647	8,577		
2012	13,102	7,054		
2011	12,830	6,791		

出典：外国人材建設就労者は国交省調べ、特定技能外国人は入管庁調べ、その他は「外国人雇用状況」の届出状況（厚生労働省）外国人建設就労者・特定技能外国人は年度末時点、その他は10月末時点の人数

3. 技能実習生制度の現状

(1) 技能実習制度の概要

外国人技能実習制度は1993年に創設され、2010年に新たな在留資格「技能実習」が創設され、技能実習生の法的保護及びその法的地位の安定化を図るための措置が講じられた。さらに、2017年11月には、外国人の技能実習の適正な実施及び技能実習生の保護を図るため、技能実習に関し、基本理念を定め、国等の責務を明らかに

統計

するとともに、技能実習計画の認定及び監理団体の許可の制度を設け、これらに関する事務を行う外国人技能実習機構を設ける等の所要の措置を講ずる「技能実習法」が施行された。

技能実習生は、入国直後の講習期間以外は、雇用関係の下、労働関係法令等が適用される。また、技能実習の形態には、「企業単独型技能実習」と「団体監理型技能実習」があり、98.5%が団体監理型である（2022年6月末時点の法務省データより）。

技能実習の期間については基礎的な技能等を効果的・効率的に修得等する前期3年間、応用段階の実習をする後期2年間の5年間となっている。

技能実習を行うには技能実習計画の認定を受ける必要があり、技能実習の成果が評価できる技能検定等（1年目、3年目及び5年目に受検）が整備されている職種・作業を対象としなければならない。建設関係では22職種33作業が対象となっているが、「建設機械施工」もその1職種となっており、「押土・整地」、「積込み」、「掘削」、「締固め」の4つの作業が対象となっている。

(2) 技能実習計画の建設分野の追加認定基準

建設業では、従事することとなる工事によって就労場所が変わるため現場ごとの就労監理が必要となることや、季節や工事受注状況による仕事の繁忙で報酬が変動するという実態を踏まえ、技能実習生の適正な就労環境を確保する必要がある。このため、建設分野の技能実習計画の認定に当たり、以下の基準を追加し、外国人技能実習機構において審査している。

①技能実習を行わせる体制の基準

- ・申請者が建設業法第3条の許可を受けていること
- ・申請者が建設キャリアアップシステムに登録していること
- ・技能実習生を建設キャリアアップシステムに登録すること

②技能実習生の待遇の基準

- ・技能実習生に対し、報酬を安定的に支払うこと

③技能実習生の数

- ・技能実習生の数が常勤職員の総数を超えないこと（優良な実習実施者・監理団体は免除）

(3) 技能実習生の受入状況

建設分野における技能実習生の受入状況であるが、2011年10月末は6,791人であったのが、2020年10月末には76,567人まで増加している。その後、コロナ禍の入国規制の影響等により、2022年10月末には70,489人まで減少している（図-2）。コロナ入国規制の緩和を受けて、今後、再び技能実習生の受入人数が増加していくことが想定される。

建設分野における技能実習生の受入状況を国別に見てみると、2022年10月末では、ベトナム人が54,099人と一番多く、次いでフィリピン人が13,298人、中国人が12,760人、インドネシア人が12,138人の順となっている（図-3）。

建設分野における技能実習生の受入状況を職種別に見てみると、2022年10月末では、とびが20,429人と一番多く、次いで建設機械

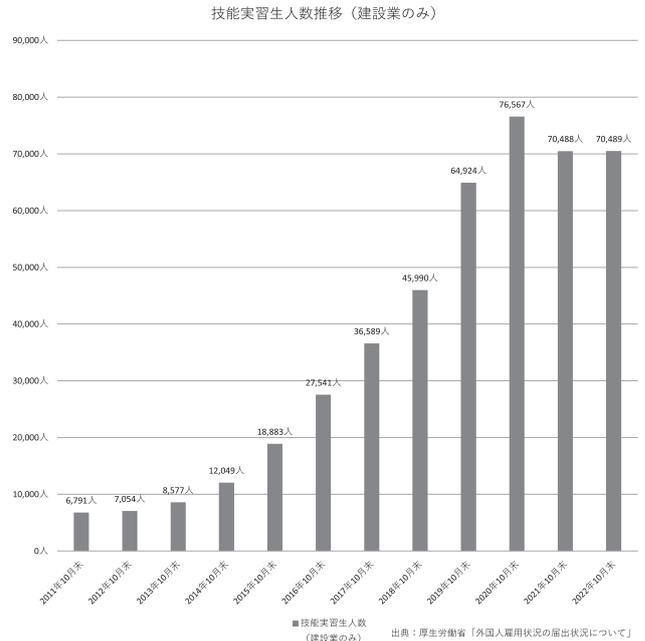


図-2 建設分野の技能実習生の人数推移

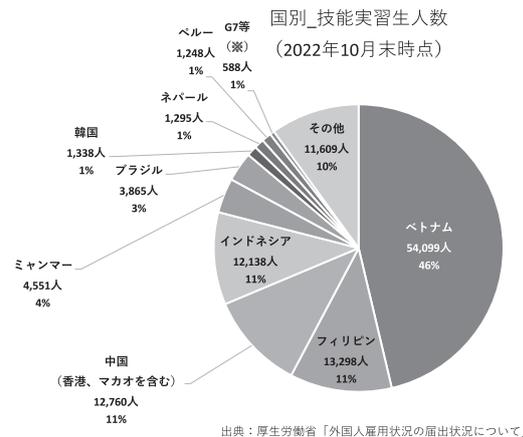


図-3 建設分野の技能実習生の国別人数

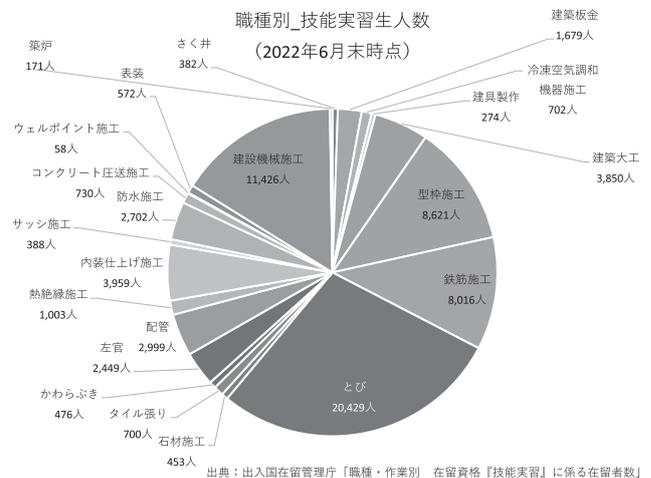


図-4 建設分野の技能実習生の職種別人数

施工が11,426人、型枠施工が8,621人、鉄筋施工が8,016人の順となっている（図-4）。

（4）技能実習制度の課題

技能実習制度創設以来、建設分野においても積極的に受け入れが行われてきたところであるが、課題も指摘されているところである。

第一に、建設分野は他分野と比べて失踪率が高い点である。2021年度の状況を見ると、失踪率は、他分野が約2.6%であるのに対し、建設分野は約6.3%と高くなっている。

第二に、労働基準監督署による監督指導において、多くの労働法令違反が発覚しているという点である。2021年度の状況を見ると、労働法令違反が発覚した事業場数は80.4%となっており、「割増賃金の支払い」、「安全基準」、「賃金の支払い」等の違反が指摘されている（図-5）。

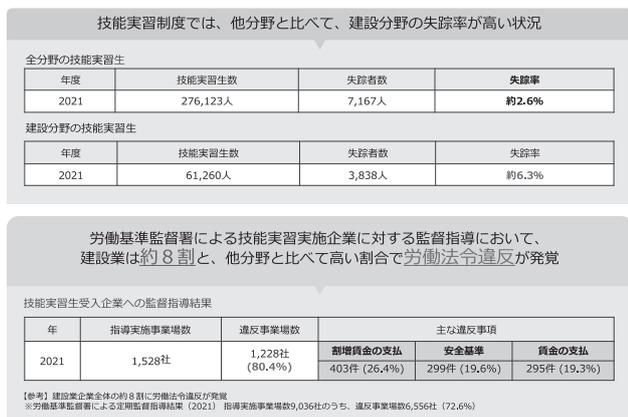


図-5 建設分野の技能実習生の失踪率等

技能実習制度のこのような状況を踏まえ、特定技能制度においては、可能な限り失踪率や労働法令違反を減らすため、建設分野独自の制度があるが、詳細については4（1）④で後述する。

4. 特定技能外国人制度の現状

（1）特定技能外国人制度の概要

①制度創設の趣旨等

特定技能外国人制度は、国内人材を確保することが困難な状況にある産業分野（建設業をはじめ、介護、製造、農業等の14分野）において、一定の専門性・技能を有する外国人を受け入れることを目的とする制度である。2018年に成立した改正出入国管理法により在留資格「特定技能」が創設され、2019年4月から受け入れが可能となった。

②特定技能1号と2号の違い

特定技能外国人には、特定技能1号と特定技能2号の2種類がある。

特定技能1号は、在留期間は5年、家族の帯同は不可とされてい

る。特定技能1号になるには以下の2つのルートがある。

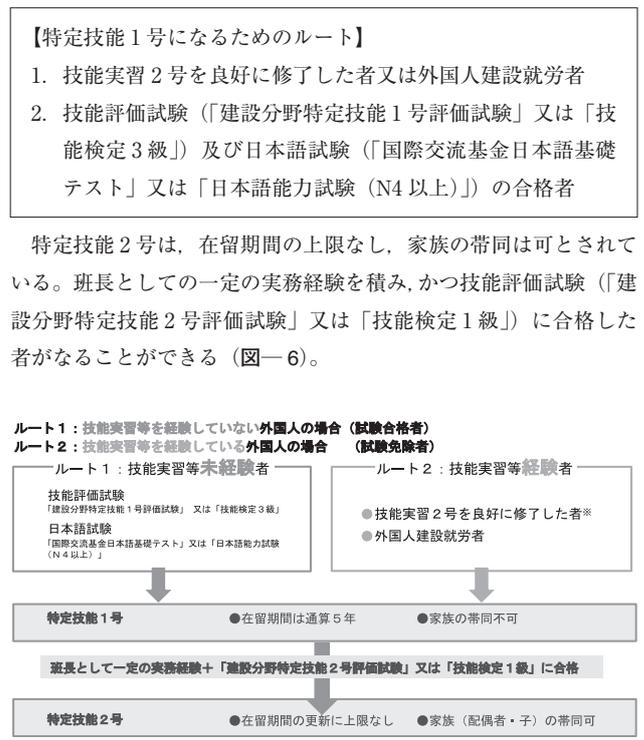


図-6 特定技能1号と特定技能2号になるルート

③業務区分の再編

制度創設当初、建設分野の特定技能は建設機械施工を含む19業務区分があり、それぞれ技能評価試験を実施してきたが、2022年8月30日の閣議決定で「土木」、「建築」、「ライフライン・設備」の3区分に再編され、建設機械施工は「土木」の業務区分に包含されることとなった。

新旧業務区分の対応は表-2のとおりであるが、例えば、2022年8月30日時点で、「建設機械施工」の業務区分で在留資格を有している1号特定技能外国人は、「土木」の業務区分で在留資格を有しているとみなされる。また、「土木」の業務区分で在留資格を有している場合、「建設機械施工」の他にも、「型枠施工」、「コンクリート圧送」、「トンネル推進工」、「土工」、「鉄筋施工」、「とび」、「海洋土工」の業務に従事することができる。

このように、業務区分の再編により、非常に幅広い業務に従事することが制度上は可能となったのである。

また、特定技能の新業務区分と技能実習の対応関係は表-3のとおりである（技能実習において建設関係として整理されている22職種に、「23 鉄工」、「24 塗装」、「25 溶接」を加えている）。

技能実習を良好に修了した者は、各職種に対応する業務区分の特定技能1号の在留資格に切り替えることが可能となる。例えば、「建設機械施工」の技能実習を良好に修了した者は、「特定技能1号（土木）」の在留資格への切り替えが可能となる。

④特定技能外国人受け入れのための手続き

特定技能外国人を受け入れるための手続きとしては、大きく分け

統計

表一 新旧業務区分の対応

旧業務区分	新業務区分		
	土木	建築	ライフライン・設備
1 型枠施工	○	○	
2 左官		○	
3 コンクリート圧送	○	○	
4 トンネル推進工	○		
5 建設機械施工	○		
6 土工	○	○	
7 屋根ふき		○	
8 電気通信			○
9 鉄筋施工	○	○	
10 鉄筋継手		○	
11 内装仕上げ/表装		○	
12 表装		○	
13 とび	○	○	
14 建築大工		○	
15 配管			○
16 建築板金		○	○
17 保温保冷			○
18 吹付ウレタン断熱		○	
19 海洋土木工	○		

表三 技能実習の職種と特定技能の新業務区分の対応

技能実習の職種	特定技能 新業務区分		
	土木	建築	ライフライン・設備
1 さく井	○		
2 建築板金		○	○
3 冷凍空調和機器施工			○
4 建具製作		○	
5 建築大工		○	
6 型枠施工	○	○	
7 鉄筋施工	○	○	
8 とび	○	○	
9 石材施工		○	
10 タイル張り		○	
11 かわらふき		○	
12 左官		○	
13 配管			○
14 熱絶縁施工			○
15 内装仕上げ施工		○	
16 表装		○	
17 サッシ施工		○	
18 防水施工		○	
19 コンクリート圧送施工	○	○	
20 ウェルポイント施工	○		
21 建設機械施工	○		
22 築炉		○	
23 鉄工	○	○	
24 塗装	○	○	
25 溶接	○	○	○

て、出入国管理庁への在留資格の認定申請手続と国土交通省への受入計画の認定申請手続がある。

出入国管理庁への申請手続は、特定技能外国人の受入が認められている12分野共通の仕組みであり、国土交通省への受入計画の認定申請手続は、建設分野独自の仕組みである。このような建設分野独自の仕組みができた理由は、先述の3(4)のとおりである。

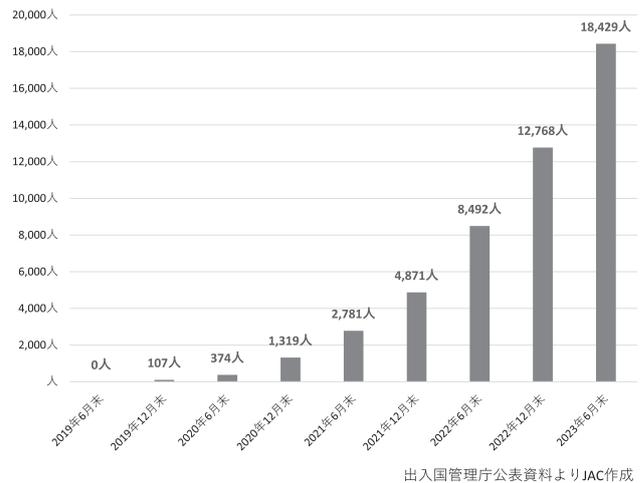
国土交通省の受入計画の認定基準の主な内容は、

- ・申請者が建設業法第3条に基づく許可を取得すること
 - ・申請者及び特定技能外国人が建設キャリアアップシステムに登録すること
 - ・申請者が特定技能外国人受入事業実施法人(JAC)へ加入すること
 - ・同等技能・同等報酬、月給制・定期昇給制を採用すること
 - ・重要事項について母国語による書面での事前説明
 - ・特定技能外国人に受け入れ後講習を受講させること
 - ・巡回指導による確認を受けること
- などである。

(2) 特定技能外国人の受入状況

建設分野における特定技能1号外国人の人数は、制度創設の2019年より年々増加しており、2023年6月末時点では18,429人となっている(図一7)。

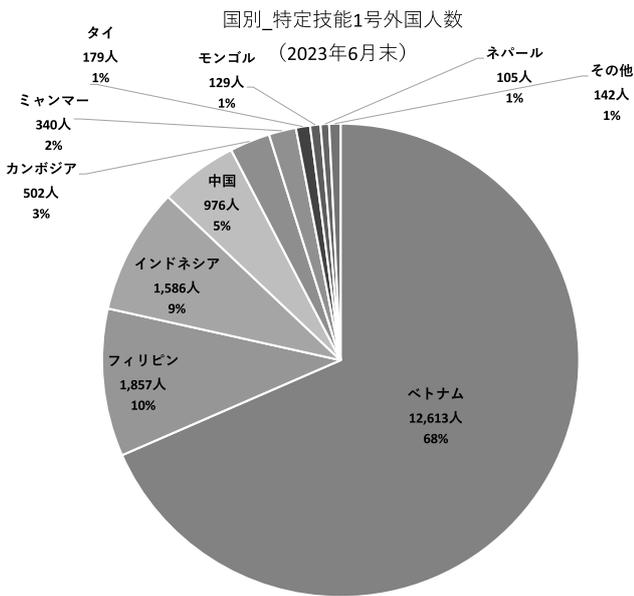
なお、特定技能1号外国人の受け入れ人数については、政府の「建設分野における特定技能の在留資格に係る制度の運用に関する方針」において上限が設けられており、2023年度末までに最大34,000



図一7 建設分野の特定技能1号外国人人数推移

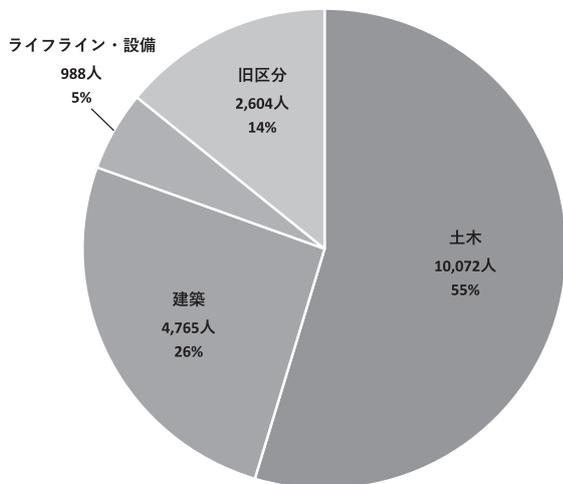
人とされている。

国別の内訳を見ると、18,429人のうち、ベトナムが12,613人と一番多く、次いでフィリピンが1,857人、インドネシアが1,586人の順となっている(図一8)。



図一八 建設分野の特定技能1号外国人人数 (国別)

区分別_特定技能1号外国人人数 (2023年6月末)



図一九 建設分野の特定技能1号外国人人数 (業務区分別)

業務区分別に見ると、18,429人のうち、土木が10,072人、建築が4,765人、ライフライン・設備が988人、旧業務区分が2,604人（うち建設機械施工が432人）となっている（図一九）。

なお、新業務区分では、建設機械施工は土木に含まれている。特定技能2号外国人の人数は、2023年6月末時点で12人であり、業務区分別に見ると土木8名、建築3名、旧区分（内装仕上げ）1名となっている。なお、特定技能2号が出たのは全分野で建設分野が初めてである。特定技能1号の在留期間が5年であることを考慮すると、今後、特定技能2号の人数が増加していくことが想定される。

(3) 建設分野の特定技能評価試験

2022年8月30日の閣議決定で、19業務区分が「土木」、「建築」、「ライフライン・設備」の3区分に再編されたことは先述のとおりであるが、旧業務区分の技能評価試験は2022年度末で終了し、2023年度からは新区分の技能評価試験のみとなっている。

（一社）建設技能人材機構（JAC）においては、建設分野の特定技能1号評価試験を実施しており、特定技能2号評価試験については、現在、年内実施を目指して準備を進めているところである。以下に、新区分の特定技能評価試験の実施状況や今後の予定等について記載する。

① 特定技能1号評価試験

特定技能1号評価試験については、国内では東京都、北海道、宮城県、愛知県、大阪府、広島県、福岡県など、全国の主要都市で実施している。今年度の10月以降の実施予定日と試験会場は、以下のとおりである（表一四）。

次年度以降の予定は、確定次第JACのHPに掲載するので、ご覧になって頂きたい。

海外試験については、本年7月からインドネシア、フィリピンにおいて実施している。今後、カンボジア、モンゴル、ネパール、タイ、スリランカ、インド、ウズベキスタン、バングラデシュにおける実施についても検討しており、準備が整い次第JACのHPでご案内したい。

新区分による特定技能1号評価試験については、国内では2022年12月より、海外では本年7月より実施しているが、これまでの受験者は累計1,000人、合格者は累計363人、合格率は36.3%となっ

表一四 特定技能1号評価試験の実施日と試験会場

試験実施日	試験会場
令和5年10月2日、16日、23日、30日	東京都
令和5年10月11日、12日	北海道
令和5年10月25日、26日	大阪府
令和5年11月6日、13日、20日、27日	東京都
令和5年11月15日、16日	大阪府
令和5年11月29日、30日	愛知県
令和5年12月4日、11日、18日	東京都
令和5年12月6日、7日	福岡県
令和5年12月20日、21日	大阪府
令和6年1月15日、22日、29日	東京都
令和6年1月24日、25日	大阪府
令和6年1月31日	愛媛県
令和6年2月5日、19日、26日	東京都
令和6年2月15日、16日	大阪府
令和6年2月29日	熊本県
令和6年3月4日、11日、18日、25日	東京都
令和6年3月13日、14日	大阪府
令和6年3月21日	広島県

統計

表—5 特定技能1号評価試験の受験者数、合格者数等

試験実施国	合格者数／受験者数（合格率）			
	土木	建築	ライフライン・設備	各国合計
(1) 日本	64／283 (22.6%)	161／430 (37.4%)	84／162 (51.9%)	309／875 (35.3%)
(2) フィリピン	8／14 (57.1%)	2／12 (16.7%)	14／25 (56.0%)	24／51 (47.1%)
(3) インドネシア	4／7 (57.1%)	21／55 (38.2%)	5／12 (41.7%)	30／74 (40.5%)
各区分合計	76／304 (25.0%)	184／497 (37.0%)	103／199 (51.8%)	363／1000 (36.3%)

ている。国別、業務区分別の受験者数、合格者数及び合格率はそれぞれ表—5のとおりである。

②特定技能2号評価試験

特定技能2号評価試験については、現在、試験実施に向けた準備作業を進めているところである。今後、関係行政機関等との調整の上、「試験日程」や「試験範囲を示すテキスト」等の公開を行い、年内には試験を開始することを目指している。

5. おわりに

以上、建設業界における外国人材の受け入れの現状について、特に技能実習生と特定技能外国人を中心に概説してきた。担い手不足と高齢化が進む建設業界においては、担い手の処遇改善、働き方改革、生産性の向上といった取組を更に加速させるとともに、外国人

材を受け入れることについても考えていかなければならない。

そのような中で、昨年末より政府において「技能実習制度及び特定技能制度の在り方に関する有識者会議」が設置され、技能実習制度と特定技能制度の見直しが検討されており、今後の動向を注視する必要がある。

JCMA

[筆者紹介]

渡瀬 友博（わたせ ともひろ）
（一社）建設技能人材機構
管理部長（兼）調査研究部長



令和5年度（2023年度）建設投資見通し

国土交通省 総合政策局 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

2023年度の建設投資は、前年度比2.2%増の70兆3,200億円となる見通しである。

2023年度の建設投資は、前年度比2.2%増の70兆3,200億円となる見通しである。このうち、政府投資が25兆3,400億円（前年度

比4.5%増）、民間投資が44兆9,800億円（前年度比1.0%増）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43兆4,300億円（前年度比0.6%増）、土木投資が26兆8,900億円（前年度比4.9%増）となる見通しである。

2022年度の建設投資は、前年度比1.5%増の68兆7,900億円となる見込みである。このうち、政府投資が24兆2,500億円（前年度比0.9%増）、民間投資が44兆5,400億円（前年度比1.8%増）と見込まれる。これを建築・土木別に見ると、建築投資が43兆1,600億円（前年度比0.6%増）、土木投資が25兆6,300億円（前年度比3.0%増）となる見込みである（表—1）。

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。2023年度の建設投資については、2022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70兆3,200億円となる見通しである（図—1, 2, 表—2, 3）。

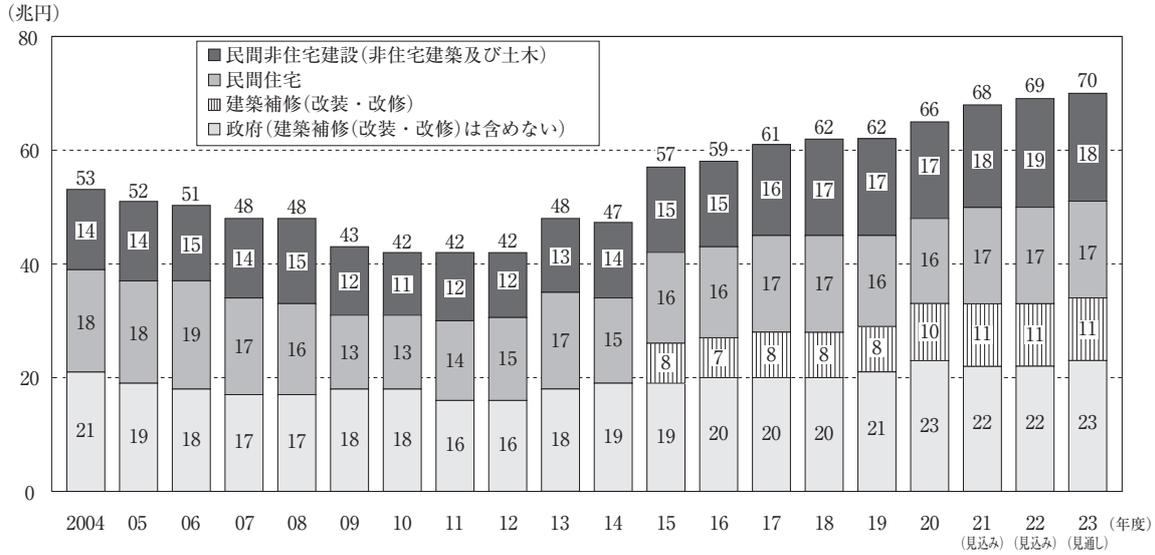
表—1 2023年度建設投資額（名目値）

（単位：億円・%）

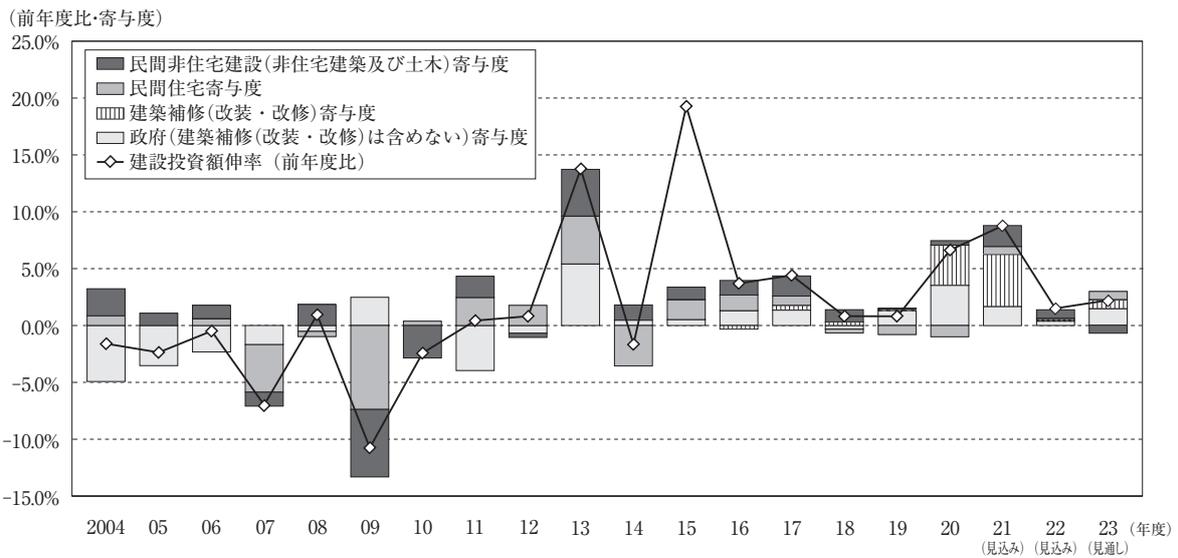
項目	年度	投資額				対前年度伸び率			
		2020年度 (実績)	2021年度 (見込み)	2022年度 (見込み)	2023年度 (見通し)	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度
総計		664,448	678,000	687,900	703,200	6.6	2.0	1.5	2.2
建築		408,873	429,100	431,600	434,300	1.8	4.9	0.6	0.6
住宅		161,118	171,400	173,200	178,300	▲ 3.8	6.4	1.1	2.9
政府		4,338	3,900	4,000	4,200	▲ 0.5	▲ 10.1	2.6	5.0
民間		156,780	167,500	169,200	174,100	▲ 3.9	6.8	1.0	2.9
非住宅		147,247	149,900	150,000	142,600	▲ 5.2	1.8	0.1	▲ 4.9
政府		40,366	39,700	38,100	39,800	3.3	▲ 1.6	▲ 4.0	4.5
民間		106,881	110,200	111,900	102,800	▲ 8.1	3.1	1.5	▲ 8.1
建築補修 (改装・改修)		100,508	107,800	108,400	113,400	27.3	7.3	0.6	4.6
政府		18,819	19,200	19,000	19,800	33.8	2.0	▲ 1.0	4.2
民間		81,689	88,600	89,400	93,600	25.9	8.5	0.9	4.7
土木		255,575	248,900	256,300	268,900	15.4	▲ 2.6	3.0	4.9
政府		187,834	177,500	181,400	189,600	12.3	▲ 5.5	2.2	4.5
公共事業		162,353	153,200	158,100	165,200	14.4	▲ 5.6	3.2	4.5
その他		25,481	24,300	23,300	24,400	0.5	▲ 4.6	▲ 4.1	4.7
民間		67,741	71,400	74,900	79,300	25.1	5.4	4.9	5.9
再掲	政府	251,357	240,300	242,500	253,400	11.8	▲ 4.4	0.9	4.5
	民間	413,091	437,700	445,400	449,800	3.7	6.0	1.8	1.0
	民間非住宅建設 ^{注1}	174,622	181,600	186,800	182,100	2.4	4.0	2.9	▲ 2.5

(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. 2023年度の伸び率は、「令和5年度の経済見通しと経済財政運営の基本的態度」（令和5年1月23日閣議決定）及び「令和5（2023）年度内閣府年次試算」（令和5年7月20日）の指標から算定している。

統計



図一 建設投資額 (名目値) の推移



図二 建設投資額 (名目値) の伸び率と寄与度

表一 2023年度の地域別・建設投資 (見通し)

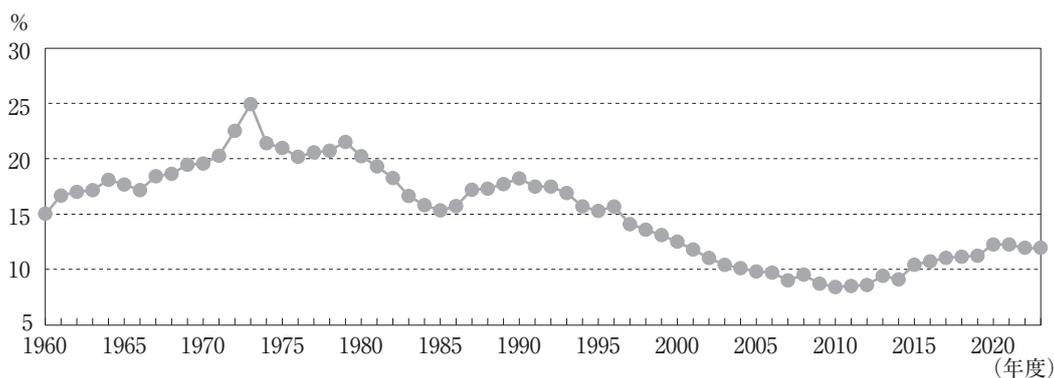
(単位: 億円)

地域	北海道	東北	関東	北陸	中部	
建築計	17,900	30,700	171,800	18,200	50,800	
土木計	16,800	23,800	70,500	20,400	37,400	
合計	34,700	54,500	242,300	38,600	88,200	
地域	近畿	中国	四国	九州	沖縄	合計
建築計	60,800	23,200	10,200	45,300	5,300	434,300
土木計	38,000	20,800	7,400	29,900	3,900	268,900
合計	98,800	44,000	17,600	75,200	9,200	703,200

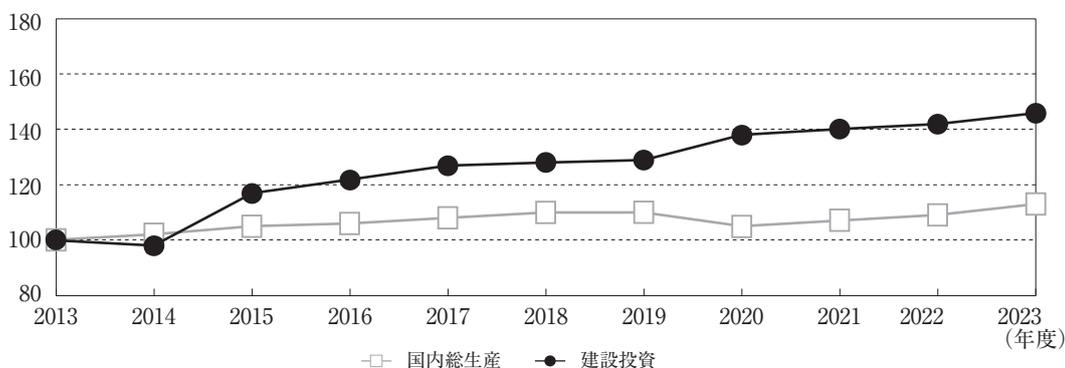
※各種別計を四捨五入により100億円単位の値としているため、合計と必ずしも一致しない。

表一三 2023年度の地域別・建設投資のシェア（見通し）

地域	北海道	東北	関東	北陸	中部	
建築計	4%	7%	40%	4%	12%	
土木計	6%	9%	26%	8%	14%	
合計	5%	8%	34%	5%	13%	
地域	近畿	中国	四国	九州	沖縄	合計
建築計	14%	5%	2%	10%	1%	100%
土木計	14%	8%	3%	11%	1%	100%
合計	14%	6%	3%	11%	1%	100%



図一三 建設投資の国内総生産に占める比率



図一四 過去10年間の国内総生産と建設投資の水準の推移

3. 国内総生産と建設投資の関係

2023年度の建設投資が国内総生産に占める比率は、12.3%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%程度で推移しており、実績額で比較可能な2020年度では12.4%となっている（図一三～五、表一四）。

4. 建設投資の構成と推移

(1) 建設投資の構成と推移

2023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%を占めている。

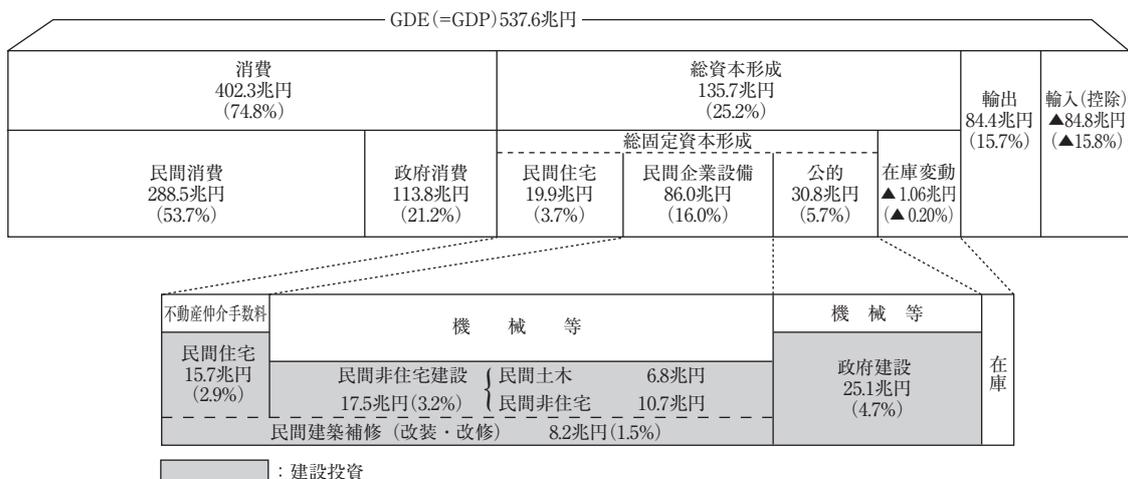
2023年度の建設投資の構成を見ると、民間投資が64%、政府投資が36%である。民間投資のうち住宅、非住宅及び建築補修（改装・改修）投資を合わせた建築投資が全体の53%を占めている。政府投資は土木投資が全体の27%を占めており、この両方で建設投資全体の80%を占めている（図一六、七）。

統計

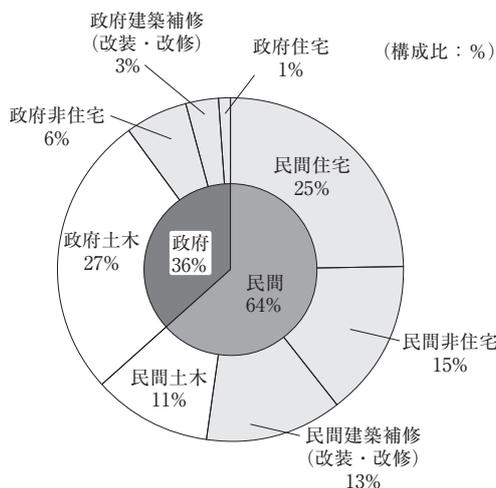
表—4 国内総生産及び建設投資の推移

(単位：億円・%)

項目 年度	国内総生産 (名目値) (A)	建設投資 (名目値) (B)	国内総生産のうち、 建設投資が占める割合 (B)÷(A)×100
1960	166,806	25,078	15.0
1961	201,708	33,418	16.6
1962	223,288	37,772	16.9
1963	262,286	44,979	17.1
1964	303,997	54,750	18.0
1965	337,653	59,531	17.6
1966	396,989	67,820	17.1
1967	464,454	84,928	18.3
1968	549,470	101,915	18.5
1969	650,614	125,251	19.3
1970	752,985	146,341	19.4
1971	828,993	166,768	20.1
1972	964,863	214,625	22.2
1973	1,167,150	286,673	24.6
1974	1,384,511	293,944	21.2
1975	1,523,616	316,241	20.8
1976	1,712,934	341,965	20.0
1977	1,900,945	387,986	20.4
1978	2,086,022	426,860	20.5
1979	2,252,372	479,219	21.3
1980	2,483,759	494,753	19.9
1981	2,646,417	502,198	19.0
1982	2,761,628	500,689	18.1
1983	2,887,727	475,988	16.5
1984	3,082,384	485,472	15.7
1985	3,303,968	499,645	15.1
1986	3,422,664	535,631	15.6
1987	3,622,967	615,257	17.0
1988	3,876,856	666,555	17.2
1989	4,158,852	731,146	17.6
1990	4,516,830	814,395	18.0
1991	4,736,076	824,036	17.4
1992	4,832,556	839,708	17.4
1993	4,826,076	816,933	16.9
1994	5,119,588	787,523	15.4
1995	5,252,995	790,169	15.0
1996	5,386,596	828,077	15.4
1997	5,425,080	751,906	13.9
1998	5,345,641	714,269	13.4
1999	5,302,986	685,039	12.9
2000	5,376,142	661,948	12.3
2001	5,274,105	612,875	11.6
2002	5,234,659	568,401	10.9
2003	5,262,199	536,880	10.2
2004	5,296,379	528,246	10.0
2005	5,341,062	515,676	9.7
2006	5,372,579	513,281	9.6
2007	5,384,855	476,961	8.9
2008	5,161,749	481,517	9.3
2009	4,973,642	429,649	8.6
2010	5,048,737	419,282	8.3
2011	5,000,462	421,139	8.4
2012	4,994,206	424,493	8.5
2013	5,126,775	482,997	9.4
2014	5,234,228	474,941	9.1
2015	5,407,408	566,468	10.5
2016	5,448,299	587,399	10.8
2017	5,557,125	613,251	11.0
2018	5,565,705	618,271	11.1
2019	5,568,363	623,280	11.2
2020	5,375,615	664,448	12.4
2021	5,505,304	678,000	12.3
2022	5,602,000	687,900	12.3
2023	5,719,000	703,200	12.3



図一五 国内総支出と建設投資の関係 (2020年度)



図一六 2023年度 建設投資の構成(名目値)

(2) 建築・土木別構成比の推移

2023年度の建設投資は、建築投資が62%で、土木投資が38%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、2015年度以降、建築投資が60%台、土木投資が30%台で推移している(図一八)。

(3) 政府建設投資の動向

2023年度の政府建設投資は、前年度比4.5%増の25兆3,400億円となる見通しである。

2023年度は、前年度比4.5%増加し、25兆3,400億円となる見通

しである。

2022年度は、前年度比0.9%増加し、24兆2,500億円となる見込みである。

(4) 住宅投資の動向

2023年度の住宅投資は、前年度比2.9%増の17兆8,300億円となる見通しである。

2023年度の民間住宅投資は、前年度比2.9%増の17兆4,100億円となる見通しである。また、政府住宅投資を合わせた2023年度の住宅投資全体では、前年度比2.9%増の17兆8,300億円となる見通しである。

(参考)

2022年度の新設住宅着工戸数は、前年度比0.6%減の86.1万戸で

統計

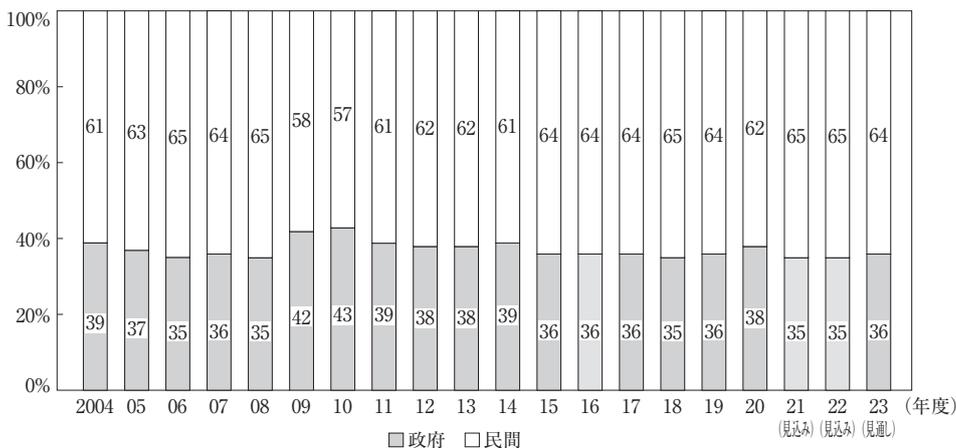


図-7 政府・民間別構成比の推移

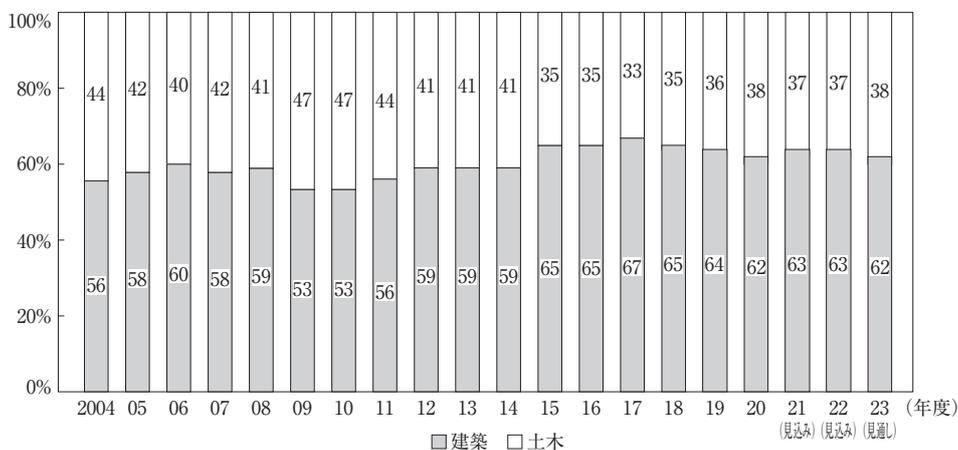


図-8 建築・土木別構成比の推移

表-5 新設住宅着工戸数と伸び率（前年度比）の推移

（単位：戸・％）

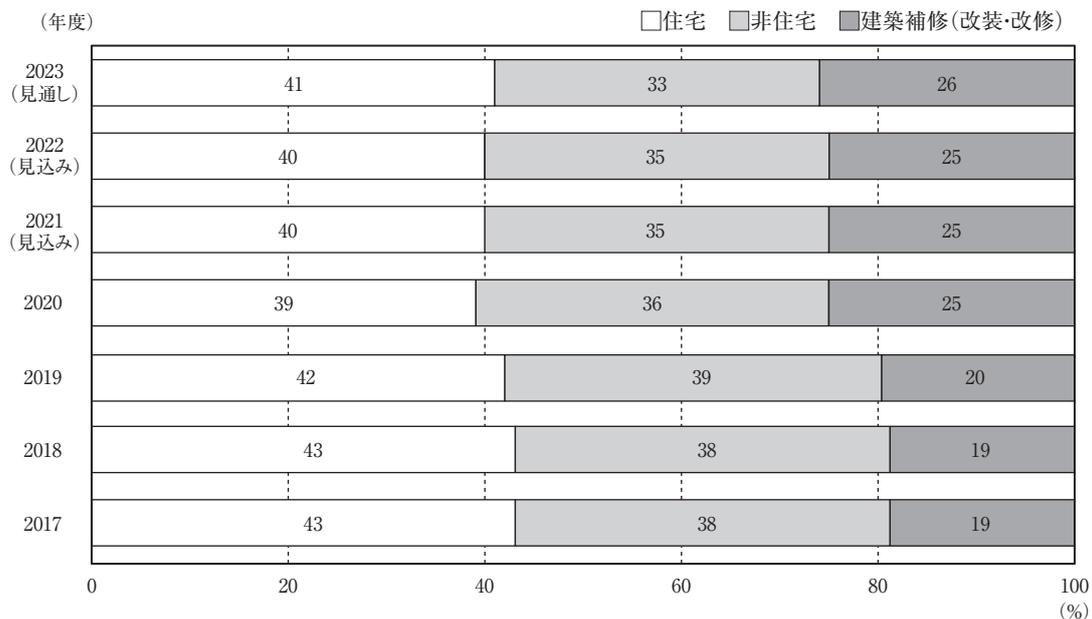
年度	総計		持家		貸家		給与		分譲	
	着工戸数	伸び率	着工戸数	伸び率	着工戸数	伸び率	着工戸数	伸び率	着工戸数	伸び率
2018年度	952,936	0.7	287,710	2.0	390,093	▲ 4.9	7,958	46.4	267,175	7.5
2019年度	883,687	▲ 7.3	283,338	▲ 1.5	334,509	▲ 14.2	6,108	▲ 23.2	259,732	▲ 2.8
2020年度	812,164	▲ 8.1	263,097	▲ 7.1	303,018	▲ 9.4	6,908	13.1	239,141	▲ 7.9
2021年度	865,909	6.6	281,279	6.9	330,752	9.2	5,494	▲ 20.5	248,384	3.9
2022年度	860,828	▲ 0.6	248,132	▲ 11.8	347,427	5.0	5,720	4.1	259,549	4.5

あった。利用関係別に見ると、持家は24.8万戸（前年度比11.8%減）、貸家は34.7万戸（前年度比5.0%増）、給与住宅は0.6万戸（前年度比4.1%増）、分譲住宅は26.0万戸（前年度比4.5%増）となっている（表-5）。

(5) 建築補修（改装・改修）投資の動向

2023年度の建築補修（改装・改修）投資は、前年度比4.6%増の11兆3,400億円となる見通しである。

2023年度の民間建築補修（改装・改修）投資は、前年度比4.7%増の9兆3,600億円となる見通しである。また、政府建築補修（改装・



図一〇 住宅・非住宅・建築補修（改装・改修）構成比の推移

表一六 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
2019年度	116,305	1.6	54,160	11.5	170,465	4.5
2020年度	106,881	▲ 8.1	67,741	25.1	174,622	2.4
2021年度（見込み）	110,200	3.1	71,400	5.4	181,600	4.0
2022年度（見込み）	111,900	1.5	74,900	4.9	186,800	2.9
2023年度（見通し）	102,800	▲ 8.1	79,300	5.9	182,100	▲ 2.5

改修）投資を合わせた2023年度の建築補修（改装・改修）投資全体では、前年度比4.6%増の11兆3,400億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30%を占めている（図一〇）。

(6) 民間非住宅建設（非住宅建築及び土木）投資の動向

2023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%減の18兆2,100億円となる見通しである。

2023年度の民間非住宅建築投資は、前年度比8.1%減の10兆2,800億円となる見通しである。また、民間土木投資は、前年度比5.9%増の7兆9,300億円となる見通しである。

これにより、2023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%減の18兆2,100億円となる見通しである。

2022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2.9%増の18兆6,800億円となる見込みである。

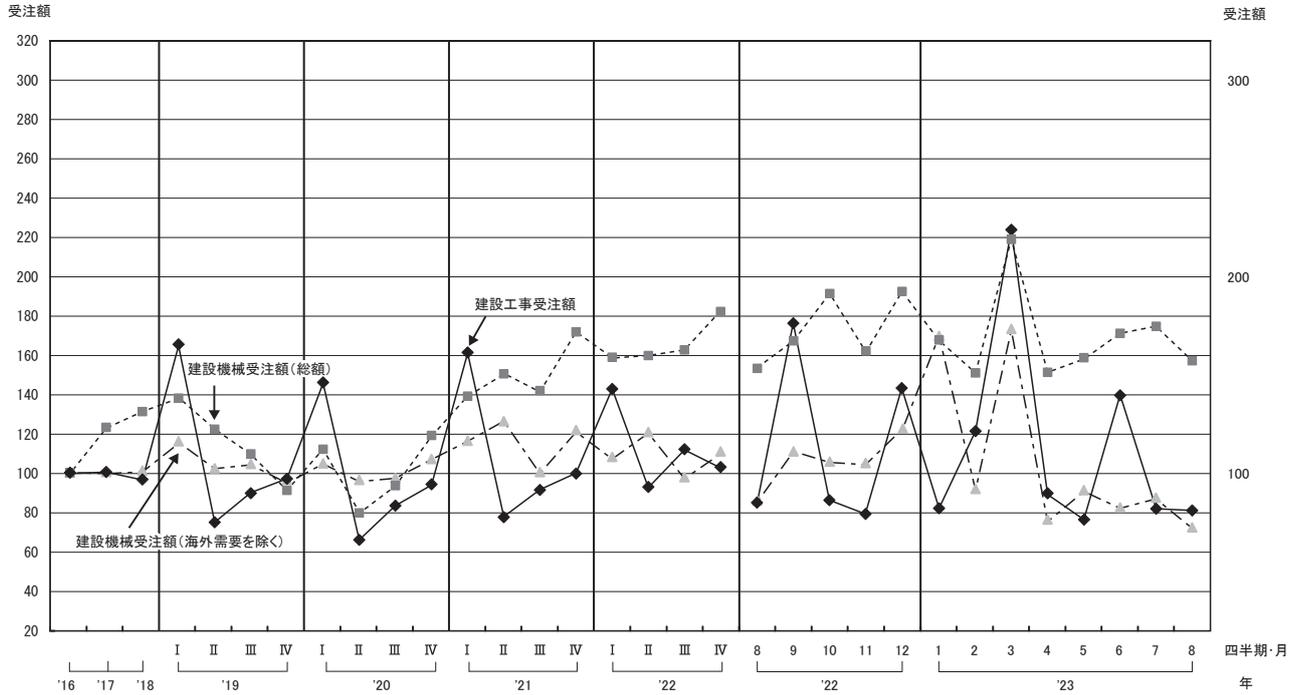
このうち、民間非住宅建築投資は11兆1,900億円（前年度比1.5%増）、民間土木投資は7兆4,900億円（前年度比4.9%増）となる見込みである（表一六）。

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

で参照されたい。
(https://www.mlit.go.jp/report/press/joho04_hh_001175.html)。

建設工事受注額・建設機械受注額の推移

建設工事受注額：建設工事受注動態統計調査(大手50社) (指数基準 2016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 2016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							
2016年	146,991	99,541	17,618	81,923	38,894	5,247	3,309	98,626	48,366	151,269	134,037
2017年	147,828	101,211	20,519	80,690	36,650	5,183	4,787	99,312	48,514	165,446	137,220
2018年	142,169	100,716	24,513	76,207	30,632	8,561	5,799	95,252	46,914	166,043	141,691
2019年	156,917	114,317	24,063	90,253	29,957	5,319	7,308	109,091	47,829	171,724	150,510
2020年	143,170	97,457	19,848	77,610	35,447	5,225	4,175	91,725	51,443	171,740	141,261
2021年	157,839	111,240	22,528	88,713	38,056	4,671	3,874	106,034	51,806	192,900	137,853
2022年	165,482	119,900	33,041	86,862	33,436	5,252	6,898	114,984	50,496	207,841	130,901
2022年 8月	10,334	8,302	3,261	5,042	1,451	362	220	7,711	2,624	202,166	10,413
9月	21,617	13,586	3,925	9,661	5,298	680	2,052	13,970	7,647	208,186	15,244
10月	10,520	7,331	1,341	5,991	2,426	413	351	7,400	3,120	208,774	9,760
11月	9,636	6,849	1,908	4,941	2,121	385	282	6,736	2,900	206,833	11,819
12月	17,593	14,275	5,184	9,091	3,208	540	-430	13,048	4,544	207,841	16,317
2023年 1月	10,021	6,986	1,556	5,430	2,452	336	248	6,867	3,154	207,251	10,213
2月	14,867	9,285	1,928	7,358	5,010	372	199	9,662	5,204	209,850	12,419
3月	27,481	18,606	4,053	14,553	7,409	674	791	17,187	10,294	214,894	21,223
4月	10,993	8,354	2,034	6,320	2,003	528	107	7,807	3,186	215,556	9,294
5月	9,304	6,854	1,807	5,047	1,772	345	332	6,125	3,179	214,435	10,569
6月	17,100	12,062	2,801	9,260	3,457	506	1,075	11,401	5,699	215,220	16,006
7月	9,973	5,877	1,269	4,607	3,360	429	308	5,401	4,572	214,911	9,995
8月	9,888	7,470	2,331	5,138	1,930	343	146	7,132	2,756	-	-

建設機械受注実績

(単位：億円)

年 月	16年	17年	18年	19年	20年	21年	22年	22年 8月	9月	10月	11月	12月	23年 1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月
総 額	17,478	21,535	22,923	20,151	17,646	26,393	29,024	2,233	2,439	2,790	2,361	2,804	2,445	2,198	3,197	2,214	2,308	2,494	2,549	2,289
海 外 需 要	10,875	14,912	16,267	13,277	10,966	18,737	21,816	1,766	1,832	2,211	1,788	2,130	1,509	1,694	2,246	1,795	1,807	2,042	2,070	1,894
海外需要を除く	6,603	6,623	6,656	6,874	6,680	7,656	7,208	467	607	579	573	674	936	504	951	419	501	452	479	395

(注) 2016～2018年は年平均で、2019～2022年は四半期ごとの平均値で図示した。
 2022年8月以降は月ごとの値を図示した。

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

行事一覽

(2023年9月1～30日)

機械部会



■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：9月1日(金)(会議室, Web 併行開催)

出席者：石倉武久委員長ほか7名
 議題：①GX建設機械認定制度への対応について議論：JCMAS H 023 改正案に関する議論, JCMAS改正までのスケジュール確認

■コンクリート機械技術委員会

月日：9月1日(金)(会議室, Web 並行開催)

出席者：麓谷武委員長ほか7名
 議題：①前回の議事録確認 ②技術発表：極東開発工業(株)「ディストリビュータ 技術紹介」 ③6/30実施の見学会報告書の紹介 ④上半期事業報告案の確認

■トンネル機械技術委員会 見学会

(株)三井三池製作所 九州事業所・石炭産業科学館 見学

月日：9月5日(火)

参加者：丸山修委員長ほか14名
 見学内容：①(株)三井三池製作所 九州事業所：海外向け掘削機「MRH-SLB300SG3型 ロードヘッダー」他の見学, および工場施設, 設備の見学 ②石炭産業科学館：わが国の近代化の原動力となった三池炭鉱に関する資料の展示のほか, 地下の採炭現場を再現したダイナミックトンネル(模擬坑道)などの見学

■トンネル機械技術委員会 機械設備改善WG

月日：9月7日(木)(会議室, Web 併行開催)

出席者：椎橋孝一郎リーダーほか14名
 議題：①メンバーより提出された機械設備改善調査票について記載内容の説明と議論 ②今後の進め方について

■トンネル機械技術委員会 積込・運搬機械調査WG

月日：9月8日(金)(会議室, Web 併行開催)

出席者：浅沼副委員長ほか16名
 議題：①積込・運搬機械に関する技術紹介と意見交換：ニシオティーアンドエム(株)の技術紹介, コマツカスタマー

サポート(株)の技術紹介 ②WGの運営方法に関する議論

■ダンプトラック/トラクタ技術委員会 見学会 日立建機(株)常陸那珂臨港工場・コマツ茨城工場 見学

月日：9月11日(月)

出席者：委員, 事務局 計12名
 見学内容：①日立建機(株)：超大型油圧ショベル, ダンプトラックの生産工場 見学 ②コマツ：ダンプトラック, ホイールローダの生産工場の見学

■基礎工用機械技術委員会

月日：9月13日(水)(会議室での対面開催)

出席者：草刈成直委員長ほか14名
 議題：①各社トピックス：日立建機(株)「リーダレス型基礎機械 RX3300-7の説明」 ②ライト工業(株)による技術プレゼン：「ICT 法面工の最新施工事例と自社開発した法面施工機械の紹介」 ③今後のスケジュールについて：見学会(10/20, 11/8実施予定)の内容説明, 技術プレゼン, 各社トピックスの予定

■路盤・舗装機械技術委員会 総会

月日：9月14日(木)(会議室, Web 並行開催)

出席者：美野隆委員長ほか会場参加者38名, Web参加48回線
 議題：①委員長挨拶 ②R5年度活動経過報告と進捗状況説明 ③建設機械・施工に係る安全対策の向上に関する発表(4件) ④建設機械最新技術の動向に関する発表(4件)

■トンネル機械技術委員会・幹事会

月日：9月19日(火)(会議室, Web 併行開催)

出席者：丸山修委員長ほか11名
 議題：①第3回WGの報告 ②見学会について：9月実施のメーカ見学会の報告, 来年度の計画について ③技術講演会について：講演者選定の状況確認

■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：9月21日(木)(会議室, Web 併行開催)

出席者：石倉武久委員長ほか9名
 議題：①GX建設機械認定制度への対応について議論：国交省との打合せ(9/5(火))の報告, 「建設施工の地球温暖化対策検討分科会(9/19(火)開催)」の概要報告, JCMAS H 023 改正案の標準部会審議について標準部との打合せ, 今後の進め方について議論

■原動機技術委員会

月日：9月21日(木)(会議室, Web 併

行開催)

出席者：工藤陸也委員長ほか26名
 議題：①前回の議事録確認 ②国内次期排出ガス規制に関する情報交換 ③海外排出ガス規制の動向に関する情報交換：北米次期排出ガス規制のアップデート情報 ④カーボンニュートラルについて情報交換：温室効果ガスに関する集計結果について, 「建設施工の地球温暖化対策検討分科会(9/19(火)開催)」の概要報告

■除雪機械技術委員会

月日：9月26日(火)(会議室, Web 併行開催)

出席者：坂井幸尚委員長ほか27名
 議題：①国交省から除雪に関する状況報告：令和6年度予算概算要求の概要, 除雪機械自動化に関する情報提供 ②自動化, 情報化対応関連, 他技術についての情報共有：日本電気(株)からの情報提供「除雪車の自動運転化に向けた技術開発の紹介」, R5年度以降の活動テーマの検討 ③工場見学会の説明 ④標準部からの情報提供「ISO/TC 195/SC 2/WG 1活動状況説明とWG参画のお願い」

■ショベル技術委員会

月日：9月28日(木)(会議室, Web 併行開催)

出席者：安部敏博委員長ほか8名
 議題：①上半期活動報告案の確認 ②各社トピックス関連：報告の運用方法に関する議論, 日立建機(株)：油圧ショベル事業に関する紹介 ③GX建設機械認定制度について：「建設施工の地球温暖化対策検討分科会(9/19(火)開催)」の概要報告

■情報化機器技術委員会 見学会

(株)UL Japan 大型電波暗室, 信頼性試験設備の見学

月日：9月29日(金)

参加者：白塚敬三委員長ほか14名
 見学内容：①UL Japan 会社, 事業所概要, 大型電波暗室に関する説明 ②大型電波暗室, 信頼性試験設備の見学 ③質疑応答

標準部会



■JIS原案作成分科会

月日：9月1日(金)

出席者：高山剛委員(日立建機)ほか9名
 場所：Web上(Zoom)
 議題：①JIS原案作成の進捗報告 ②JIS原案検討(JIS A 8308 土工機械

ー基本機種ー識別及び用語, JIS A 8423-1 土工機械ーグレーダーー第1部: 用語及び仕様項目) ③次回本委員会開催予定 ④委員の交代

■ ISO/TC 195/SC 3/WG 2 穿孔及び基礎
工用機械ー安全 第1回国際バーチャル WG 会議

月 日: 9月5日 (火) 夜

出席者: 山本卓也委員 (技研製作所) ほか 18名

場 所: Web上 (ISO Zoom)

議 題: ① NP 20770-1 ~ -6 投票結果確認・コメント審議 ②次回開催予定 (10月18日 (水) 夜)

■ ISO/TC 195/SC 1 委員会

月 日: 9月7日 (木)

出席者: 川上晃一委員長 (日工) ほか 11名

場 所: 協会会議室及び Web上 (ISO Zoom)

議 題: ① SC 1 パーチャル総会 (9月15日 (金)) 対応協議 ② TC 195 国際バーチャル総会 (9月21日 (木)) 対応協議

■ ISO/TC 127 土工機械委員会国内総会

月 日: 9月8日 (金)

出席者: 小塚大輔 (コマツ) 委員長ほか 26名

場 所: Web上 (ISO Zoom)

議 題: ① TC 127 親委員会, SC 1 ~ SC 4 分科会 活動計画及び審議状況報告 ②投票案件 ③インド国際総会 (10月8日~13日) への対応協議

■ ISO/TC 82/SC 8/JWG 4 (遠隔運転・自律運転及び有人運転鉱山機械の相互運用性の仕様) 国際 WG 会議

月 日: 9月11日 (月) ドイツ現地時間では日中, 日本時間では午後遅く~深夜

出席者: 日本から岡ゆかりコンビナー (コマツ) など対面及び Web で 5名, 海外 (オーストラリア・カナダ・フィンランド・米国) から対面及び Web で 11名, 合計 16名出席

場 所: ドイツ国ラインラント=プファルツ州ヴィントハーゲン地区の Wirtgen 社及び Web上 (ISO Zoom)

議 題: ①開会 (ISO 行動規範確認, 出席者点呼, 議事案採択など) ②コンビナー及び担当者からの報告 (新業務候補「プラストホールドリルー電子運用インターフェース仕様ー第1部: 機械制御インターフェース」関連含む) ③前回会合まとめ・今回合論点提示 ④ ISO/Pwi 3510 の自律運転重ダンプトラック関連個所での自律式鉱山機械

と管理システムとの通信インターフェースの検討及び論議並びに聴取意見の対応 ⑤次の段階検討・役割分担・次回会合など

■ ISO/TC 82/JWG 1 (ロックドリルリグ) 国際 WG 会議

月 日: ドイツ現地時間では9月11日 (月) 午後 (日本時間では夜~深夜) 及び9月12日 (火) 日中 (日本時間では午後遅く~深夜)

出席者: スウェーデンの ELSTER コンビナー (Epiroc 社) など海外 (中国・フィンランド・ドイツ・スウェーデン・米国・カナダ・チリ・ISO 中央事務局) から対面及び Web で 18名, 日本から福田秀司委員 (古河ロックドリル) など Web で 4名, 計 22名出席

場 所: ドイツ国ラインラント=プファルツ州ヴィントハーゲン地区 Wirtgen 社及び Web上 (ISO Zoom)

議 題: ①開会 (出席者点呼, ISO 行動規範確認, 議事案採択など) ②当該業務 ISO 18758 「ロックドリルリグ」改正概観 (EU 機械規制の動向への対応含む) ③ ISO 18758 改正案に対する意見対応検討 (案文への折り返し含む) ④当面の作業 (担当分担) ⑤次回会合 (2024年6月に CEN/TC 196 地下鉱山機械総会と並行開催見込み)

■ ISO/TC 82/SC 8 (高度自動探掘システム) 総会

月 日: ドイツ現地時間では9月13日 (水) 午前, 日本時間では午後遅く~夜

出席者: カナダから Web 出席の国際議長の Daneshmend 教授など海外 (中国・フィンランド・イラン・ロシア・スウェーデン・米国・オーストラリア・ドイツ・カナダ・ISO 中央事務局) から対面と Web で 32名程度, 日本から岡ゆかり WG 4 コンビナー (コマツ) など対面と Web で 4~5名程度出席

場 所: ドイツ国ラインラント=プファルツ州ヴィントハーゲン地区 Wirtgen 社及び Web上 (ISO Zoom)

議 題: ①開会 (出席者点呼・ISO 行動規範確認・議事案採択・決議起草委員指名など) ②幹事国報告 ③ TC 82/SC 8 主導の合同作業グループ (JWG 1~JWG 4) 報告 (プラストホールドリルー電子運用インターフェース仕様ー第1部: 機械制御インターフェースを PWI 予備業務として登録し, 専門家の JWG 4 への招集を決議) ④他の委員会傘下の合同作業グループ (TC 127/SC 2/WG 22 及び JWG 28 並びに

SC 3/JWG 16) 報告 ⑤連携報告 ⑥次回会合

■ ISO/TC 82/SC 8/JWG 2 (自律システムと FMS との相互運用性) 国際 WG 会議

月 日: ドイツ現地時間では9月13日 (水) 午後, 日本時間では夜

出席者: カナダからコンビナーの Politick 氏など海外 (フィンランド・スウェーデン・米国・オーストラリア・カナダなど) から対面で 8名程度, Web で 3名程度出席, 日本から岡ゆかり WG 4 コンビナー (コマツ) など対面で 2名, Web で 1名出席

場 所: ドイツ国ラインラント=プファルツ州ヴィントハーゲン地区 Wirtgen 社及び Web上 (ISO Zoom)

議 題: ①開会 (ISO 行動規範確認, 出席者点呼, 議事案採択など) ② ISO/CD 23725 自律システムと FMS との相互運用性に対する意見への対応を DIS に進めるため検討

■ ISO/TC 195/SC 1 委員会 (予備日)

月 日: 9月13日 (水)

出席者: 北内正彦委員 (日本建設業連合会) ほか 4名

場 所: Web上 (ISO Zoom)

議 題: 9月7日 (木) の本委員会と同じ ① SC 1 パーチャル総会 (9月15日 (金)) 対応協議 ② TC 195 国際バーチャル総会 (9月21日 (木)) 対応協議

■ ISO/TC 195/SC 2/WG 2 国際バーチャル WG 会議

月 日: 9月14日 (木) 夜

出席者: 和田悟知委員 (豊和工業) ほか 10名

場 所: Web上 (CEN Zoom)

議 題: ① ISO/DIS 24147 「路面清掃車ー用語及び商業仕様」コメント審議 (続き)・FDIS 投票の確認 ②次回会合予定 (12月12日バーチャル)

■ ISO/TC 82 総会: (ISO/TC 82 国内審議団体の (一社) 資源・素材学会さんに, TC 82 傘下の SC 8/JWG 4 コンビナーの岡ゆかり氏 (コマツ) の日本 JISC 代表としての総会出席登録をお願い申し上げた)

月 日: 9月14日 (木) 日中 (日本時間では午後遅く~深夜)

出席者: 国際議長の PILLER 氏など海外各国から対面及び Web で参加, 日本からは岡ゆかり SC 8/JWG 4 コンビナー (コマツ) が対面出席

場 所: Web上 (ISO Zoom)

議 題: ①開会 (出席者点呼・ISO 行動規範確認・議事案採択・前回会合議事録確認・決議起草委員指名など)

②幹事国報告（定期見直し結果報告含む）③ISOの規定改訂などの紹介④分科委員会国際議長及び作業グループコンビナーの再任⑤業務計画の検討⑥各分科委員会報告⑦TC直属作業グループ報告⑧合同作業グループ報告⑨新業務の検討⑩連携報告⑪次回会合・その他

■ISO/TC 127/SC 3/WG 5-ISO/TS 15143-4「土工機械及び走行式道路建設機械－施工現場データ交換－施工現場地形データ」案文統合特設会合

月日：9月15日（金）日本時間では12時～14時

出席者：共同プロジェクトリーダーのBOLLWEG氏（Deere社）など海外数名、日本から山本茂コンビナーなど数名出席

場所：Web上（ISO Zoom）

議題：案文はすでに意見聴取に付されているが、従来論議の未解決事項を担当含め整理

■ISO/TC 195/SC 1 国際バーチャル総会

月日：9月15日（金）夜

出席者：川上晃一国際議長（日工）ほか20名

場所：Web上（ISO Zoom）

議題：①SC 1 幹事国報告 ②SC 1/WG 5・WG 6・WG 9 コンビナー任期更新 ③ISO/TPM からの説明 ④SC 1/WG 2 ISO/FDIS 13105-1「コンクリート表面こて仕上げ機械－第1部：用語及び商業仕様」・ISO/FDIS 13105-2「同－第2部：安全要求事項及び検証」報告 ⑤SC 1/WG 4 ISO/FDIS 19711-2「トラックミキサー－第2部：安全要求」報告 ⑥SC 1/WG 6 ISO/CD 21573-1「コンクリートポンプ－第1部：用語及び商業仕様」報告 ⑦SC 1/WG 5・WG 6-CEN/TC 151/WG 8 との協業に関する報告 ⑧SC 1/WG 7 ISO/AWI 18650-2「コンクリートミキサー－第2部：混練効率の試験要領」報告 ⑨SC 1/WG 8 ISO/PWI 5342「コンクリート機械－施工現場情報交換」報告・協議 ⑩ISO/TC 71 とのリエゾン提案 ⑪SC 1/WG 9 ISO/AWI 6085：/Amd 1「セルフローディングモバイルコンクリートミキサー－安全要求事項及び検証」報告 ⑫SC 1/WG 10 ISO/AWI 18651-1「コンクリート内部振動機－第1部：用語及び商業仕様」報告 ⑬ISO 13105-2 に関する研究報告 ⑭次回 SC 1 総会の予定

■ISO/TC 23/SC 19/JWG 10（極低電圧電機駆動の安全）－ISO 23285「農業機械及びトラクタ並びに土工機械の直流32-75V及び交流21-50Vで作動する電気及び電子機能部品及び装置の安全」国際WG会議

月日：9月18日（月）日本時間では夜

出席者：米国 WEIRES コンビナー（Deere社嘱託）など海外（大半は米国）から十名前後、日本から事務局1名
場所：Web上（ISO Zoom）

議題：①開会（出席者点呼、ISO行動規範確認、議事案採択など）②第2次CD投票時各国意見の未対応部分検討③次の段階（DISに進める）④次回会合（DIS投票後と示唆）、その他

■ISO/TC 195/SC 2 国際バーチャル総会

月日：9月19日（火）夜

出席者：室谷雅之委員（協和機械製作所）ほか22名

場所：Web上（ISO Zoom）

議題：①SC 2 幹事国報告 ②傘下WG 1・2 活動報告 ③次回SC 2 総会の予定

■ISO/TC 195/SC 3 国際バーチャル総会

月日：9月20日（水）夜

出席者：佐々木正博委員（ファーストループテクノロジー）ほか18名

場所：Web上（ISO Zoom）

議題：①SC 3 幹事国報告 ②傘下WG 1・2 活動報告 ③リエゾン報告 ④次回SC 3 総会の予定

■ISO/TC 195 国際バーチャル総会

月日：9月21日（木）夜

出席者：川上晃一 SC 1 国際議長（日工）ほか31名

場所：Web上（ISO Zoom）

議題：①TC 195 幹事国報告 ②傘下WG 2～WG 9・SC 1～SC 3 活動報告 ③リエゾン報告 ④次回TC 195 総会の予定（2024年秋季 中国・鄭州）

■令和5年度上期標準化会議

月日：9月27日（水）

出席者：小塚大輔部会長（コマツ）ほか11名

場所：Web上（Zoom）

議題：令和5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5年度上期標準部会事業報告（案）

■ISO/TC 195/SC 2/WG 1 国際バーチャルWG会議

月日：9月27日（水）夜

出席者：清水康史委員（岩崎工業）ほか9名

場所：Web上（CEN Zoom）

議題：①WD xyz「冬期保守用機器－スノーブロー用語定義及び分類」コメント審議（続き）②次回会合予定（11月22日バーチャル）

■ISO/TC 127/SC 3/WG 5-ISO/TS 15143-4「土工機械及び走行式道路建設機械－施工現場データ交換－施工現場地形データ」国際WG会議

月日：9月29日（金）日本時間では12時～14時

出席者：日本から山本茂コンビナー（コマツ）など10名程度、海外からBOLLWEGプロジェクトリーダーなど14名程度出席

場所：Web上（ISO Zoom）

議題：案文はすでに意見聴取に付されているが、ISO/TC 195/SC 1（コンクリート機械）における情報化施工標準化動向、関連技術で特に案文の附属書Lに關係するInfraBIM openの活動として明年2024年1月末のリヨンでの開催が紹介され、また、案文の委員会意見聴取後11月にウェブ会議で整理のうえ、明年1月にWG対面会合など今後の予定検討

建設業部会



■三役会

月日：9月11日（月）

出席者：森田将史部会長ほか4名

議題：①2023.10.06 機電技術者の為の講演会について報告 ②2023.10.11 建設業部会資料途中報告 ③2024年度機電技術者意見交換会の見直しについてご相談 ④その他

■建設業 ICT 安全 WG

月日：9月20日（水）

出席者：中野正晴委員ほか3名

議題：①10/11 建設業部会での本WG報告について ②ICT安全対策機器アンケートDBの部会承認後のホームページ公開とその後のDB更新・運用について（更新スパン、周知先の拡大有無等）<https://jcmant.or.jp/ict-anzen/> ③その他

レンタル業部会



■レンタル業部会

会議：レンタル業部会
月日：9月7日（木）（Web会議併用）
出席者：飛山分科会長ほか11名
議題：①分科会長挨拶 ②コンプライアンス分科会活動 ③R5年度見学会について ④各社の取組事項、部会員共通の問題、課題について

各種委員会等



■機関誌編集委員会

月日：9月6日（水）
出席者：中野正則委員長ほか24名
議題：①令和5年12月号（第886号）計画の審議・検討 ②令和6年1月号（第887号）素案の審議・検討 ③令和6年2月号（第888号）編集方針の審議・検討 ④令和5年9月号～令和5年11月号（第883～885号）進捗状況報告・確認 ※通常委員会及びZoomにて実施

支部行事一覧

北海道支部



■令和5年度除雪機械技術講習会(第3回)

月日：9月6日（水）
場所：小樽市（小樽経済センター）
受講者：134名
内容：①除雪計画 ②除雪機械の取り扱い ③除雪の安全施工 ④冬の交通安全 ⑤除雪の施工方法

■令和5年度除雪機械技術講習会(第4回)

月日：9月14日（木）
場所：旭川市（道北経済センター）
受講者：176名
内容：上記第3回と同じ

■令和5年度除雪機械技術講習会(第5回)

月日：9月29日（金）
場所：網走市（オホーツク・文化交流センター）
受講者：172名
内容：上記第3回と同じ

東北支部



■令和5年度総合防災訓練

月日：9月1日（金）
場所：支部会議室
出席者：小野由則術部会副会長ほか9名

内容：①東北地方整備局主催「令和5年度総合防災訓練」の情報伝達訓練に参加

■令和5年度 i-Construction 施工 講習説明者 認定試験・更新講習（支部開催）

月日：9月5日（火）、6日（水）
場所：仙台市 フォレスト仙台
内容：①講演「未来を建てる建設業界～生産技術のススメ～」(講師：JCMA 本部 業務執行理事 岩見吉輝) ②更新講習(講師：情報化施工技術委員会 鈴木勇治委員長、橋本靖彦副委員長) ③認定試験

受験者等：

9月5日（火）更新講習受講者：35名
認定試験：31名

9月6日（水）更新講習受講者：38名
認定試験：40名

■令和5年度 基礎技術講習会（インフラDX）（主催：東北土木技術人材育成協議会）

【座学1】インフラDX概論 講師：東北地方整備局 企画部

【実習1】DX技術実践 MR体験、VR体験、遠隔臨場体験ほか 講師：東北地方整備局・JCMA 東北支部

【座学2】BIM/CIM概論 講師：(一社)建設コンサルタンツ協会 東北支部

【実習2】BIM/CIM・点群体験実践演習 講師：JCMA 東北支部

⑤5回目

場所：東北技術事務所 研修棟

月日：9月12日（火）

受講者：20名

■除雪講習会

①青森(1)会場

月日：9月20日（水）

場所：青森市 青森産業会館

受講者：191名

②青森(2)会場

月日：9月21日（木）

場所：青森市 青森産業会館

受講者：161名

③弘前会場

月日：9月22日（金）

場所：弘前市 岩木文化センター あそべる

受講者：148名

④奥州(1)会場

月日：9月28日（木）

場所：奥州市 奥州市文化会館

受講者：127名

④奥州(2)会場

月日：9月29日（金）

場所：奥州市 奥州市文化会館

受講者：128名

北陸支部



■第1回新技術活用評価会議

月日：9月6日（水）
場所：北陸地方整備局 4F 合同会議室
出席者：宮崎施工技術部会長
議題：座長の選任、新技術活用システムの概要、スマート制御付きトランス「ダイモトランスプレミアム」事後評価、スマート制御付きトランス「ダイモトランスプレミアム」活用促進技術の指定、令和5年度推奨技術等の選定結果、「急傾斜法面等に適用できる草刈り技術」テーマ設計型

■「インフラDX人材育成センター」整備における研修カリキュラム打合せ会

月日：9月7日（木）
場所：Web会議
出席者：堤事務局長
受検者：北陸インフラDX人材育成研修計画について、カリキュラムイメージについて

■けんせつフェア北陸2023 in 金沢の屋外展示計画打合せ

月日：9月8日（金）
場所：北陸支部 事務室
出席者：堤事務局長、相手方：北陸技術事務所+北陸地域づくり協会
議題：屋外展示配置計画について、屋外展示物搬入・搬出計画について、屋外展示の発動発電機計画について、屋外大型建設機械の敷鉄板等の計画について

■令和5年度 JCMA 北陸支部 親睦ゴルフ大会

月日：9月15日（金）
場所：ノーブルウッドゴルフクラブ
参加者：北陸支部会員18名

■令和5年度 第1回雪氷部会

月日：9月29日（金）
場所：興和ビル 10F 大会議室
出席者：堤事務局長ほか部会メンバー14名
議題：①「道路除雪施工の手引」の部分改定について ②道路除雪オペレータに関する実態調査報告について ③除雪車の運転操作上達のかんどころ取りまとめ、(中間報告)について

中部支部



■建設機械施工管理技術検定実地試験

月日：9月1日（金）～4日（月）
場所：愛知県刈谷市「住友建機販売株

愛知教習センター」

受験者：1級 受験者113名，2級 受験者351名

■広報部会

月日：9月11日（月）

出席者：濱地仁広報部会長ほか7名

議題：「中部支部だより」第83号について

■「i-Construction 施工説明者試験」及び「i-Construction 施工説明認定者の更新講習会」

月日：9月19日（火）

場所：名古屋市MDKビル4階会議室及び1階前田ホール

受験者：39名

受講者：40名

■建設施工研修会（映画会）

月日：9月21日（木）

場所：名古屋市中小企業振興会館

参加者：約70名

■技術・調査部会

月日：9月25日（月）

出席者：宮内秀弘部会長ほか11名

議題：技術講演・発表会の発表テーマの選出について

関西支部



■令和5年度建設機械施工管理技術検定（第二次検定）

月日：9月6日（水）～9日（土）

場所：コベルコ教習所（株）

延受験者数：419名（1級134名，2級285名）

■建設業部会，リース・レンタル業部会合同見学会

月日：9月12日（火）

場所：ヤンマーパワーテクノロジー（株）伊吹工場

参加者：瀬戸晴久建設業部会長，橋本宏治リース・レンタル業部会長以下30名
内容：ヤンマーパワーテクノロジー（株）伊吹工場見学

■建設用電気設備特別専門委員会（第490回）

月日：9月13日（水）

場所：中央電気倶楽部 会議室

議題：① JEM-TR104（建設工事用受配電設備点検保守のチェックリスト）審議 ② JEM-TR236（建設工事用400V級電気設備施工指針）審議 ③ 2023年度 JEM規格類5年見直し回答票 審議 ④ その他

■「建設技術展2023近畿」主催・共催者会議（第2回）

月日：9月27日（水）

場所：大阪マーチャングाइズ・マートビル

出席者：松本克英

議題：① 「建設技術展2023近畿」のプログラム及び全体概要について ② 開会式出席依頼について ③ 注目技術賞の審査員について ④ 当日の動員体制について

中国支部



■中国地方整備局との災害協定に基づく災害対策訓練

月日：9月4日（月）

場所：広島YMCA 会議室

参加者：玉田一雄企画部会長ほか8名

内容：① 訓練概要説明 ② 災害対策訓練 ③ 訓練後の反省点の拾い出し

■第2回企画部会

月日：9月25日（月）

場所：広島YMCA 会議室

出席者：玉田一雄部会長ほか10名

議題：① 中国地方整備局との意見交換会の議題調整と今後の予定について ② 情報伝達訓練の結果報告及び取りまとめについて ③ その他懸案事項

四国支部



■令和5年度建設機械施工管理技術検定【実技】試験

月日：9月9日（土），10日（日）

場所：日立建機日本（株）四国支店構内（善通寺市）

受験者：1級：76名 2級：279名 計355名（延べ人数）

試験監督者：小松修夫総括試験監督者ほか12名

■「建設現場の生産性向上セミナー」（次世代現場体験）

月日：9月27日（水）

場所：西尾レントオール（株）四国機械センター構内（高松市）

参加者：午前10名，午後10名

主催者：西尾レントオール（株）

協賛：四国地方整備局，JCMA 四国支部，（株）建設システム

内容：① ICT施工の現状 四国地方整備局 ② 三次元設計演習（株）建設システム ③ 三次元施工管理実習 西尾レントオール（株），（株）建設システム

九州支部



■企画委員会

月日：9月19日（火）

場所：宝ビル11F 1106 会議室

出席者：10名

議題：① 令和5年度 JCMA 九州支部の主要行事予定について ② JCMA 認定講師試験と更新講習 ③ ICT技術講習会 記者発表，聴講者募集 ④ 会員向け講習会等の取組メニュー検討 意見交換

■技術部会

月日：9月20日（水）

場所：アーバンネット博多ビル4F 第1会議室

出席者：22名

議題：① 勉強会について ② 事業説明会について ③ 整備局との意見交換会について ④ 現場見学会について ⑤ 企業PR，リクルート活動について

編集後記

今年は猛暑が10月初旬まで続く異様な気候でしたが、秋も深まり、これから冬を迎えます。夏の猛暑が冬にどう影響を与えるのか、気候の変化が気になるところです。

さて、11月号の特集は「港湾・海洋・海岸施設」です。輸出入の玄関口であるコンテナターミナルの整備、クルーズ船の旅客ターミナルの整備に加え、洋上風力発電設備設置による再生エネルギーへの対応など、今後の日本を支える施設・設備の新設・更新が進められています。また、これらを支える技術、機械についても注力されており、本号でこれらの最前線について紹介しています。

まず巻頭言は、東京工業大学の岩波教授に執筆していただきました。港湾・海洋・海岸における調査や施工には作業船や建設機械の保有・更新は不可欠だが、生産性や脱炭素などの社会的ニーズや既存ストックの有効活用の配慮などが必要と述べられています。

また行政情報では、国土交通省から港湾におけるi-Constructionの取り組み、コンクリート製浮体式風力

発電施設の設計ガイドラインについて紹介していただきました。

特集技術報文では港湾施設・海洋構造物の実例として、新潟港、高知県須崎港、長崎港での取り組みについて述べられています。海洋工事・工法としては、i-Constructionを用いた浚渫工事、プレキャストを用いた工事や工法について掲載されています。海洋工事機械・設備・システムとしては、洋上風力発電設備の施工に期待のかかる新しい自己昇降式作業台船やデジタル化技術、i-Constructionに対応したブロック据え付けシステムなど、港湾施設・海洋構造物並びに施工する機械・システムの最前線についてお届けしています。また、投稿論文として「建設機械施工における安全確保に関する一考察」について土木研究所、芝浦工業大学から寄稿していただきました。

交流のひろばでは、「海の地図PROJECT」という興味深い取り組みについても紹介されています。

最後に、これらの執筆を快く受けていただいた執筆者、並びに協力いただきました執筆者の方々へ深くお礼を申し上げます。ありがとうございました。

(穴井・松澤)

機関誌編集委員会

編集顧問

今岡 亮司	加納研之助
後藤 勇	新開 節治
関 克己	高田 邦彦
田中 康之	田中 康順
中岡 智信	渡邊 和夫
見波 潔	

編集委員長

中野 正則 日本ファブテック(株)

編集委員

渡邊 賢一	国土交通省
槻瀬 誠	農林水産省
木村 桂一	(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)
加藤 友希	(株)大林組
出口 明	(株)竹中工務店
宮川 克己	(株)熊谷組
松本 清志	(株)奥村組
京免 継彦	佐藤工業(株)
平田 惣一	鉄建建設(株)
副島 幸也	(株)安藤・間
松澤 享	五洋建設(株)
飯田 宏	東亜建設工業(株)
佐藤 裕	日本国土開発(株)
丑久保吾郎	(株)NIPPO
室谷 泰輔	コマツ
山本 茂太	キャタピラー・ジャパン
花川 和吉	日立建機(株)
丹治 雅人	コベルコ建機(株)
漆戸 秀行	住友建機(株)
大竹 博文	(株)加藤製作所
田島 良一	古河ロックドリル(株)
鈴木 健之	施工技術総合研究所

事務局

(一社)日本建設機械施工協会

12月号「先端建設技術特集」予告

・自動化・自律化協会の取組 ・油圧ショベルを無線で遠隔操作、西松建設が開発したシステムの工夫「トンネルリモスエクスカベータ」 ・建設機械や車両における受動的身体揺動の模擬生成 ・シールド工事で測量機器の盛替え不要の自動連続測量システムの開発 ・トンネル覆工コンクリート全自動打設システムの施工実績 ・コンクリート湿潤養生 自動認識ロボットの開発 ・世界初、燃料電池を動力源としたラバータイヤ式門型クレーンの開発と実証試験に成功 ・山岳トンネル掘削の作業状況を自動分析するAIシステム「CyclEye®」 ・山岳トンネル用の自動ズリ積込み機 ・AI-ロードヘッダの開発 ・山岳トンネル施工管理システム「Hi-Res」の展開 ・トンネル吹付けコンクリートの面的厚さ管理技術 ・掘削具合の可視化技術「SP-MAPS」をトンネル切羽に適用 ・NETIS登録技術拡張現実技術を利用した3Dモデル現場可視化システム Trimble Site Vision ・点群データを利用した施工事例 ・ローカル5Gを活用した自動走行及び4K映像の実証実験に関する取組み

【年間定期購読ご希望の方】

- ①書店でのお申し込みが可能です。お近くの書店へお問い合わせください。
②協会本部へのお申し込みは「年間定期購読申込書」に必要事項をご記入のうえFAXをお送りください。
詳しくはHPをご覧ください。

年間定期購読料(12冊) 10,032円(税・送料込)

建設機械施工

第75巻第11号(2023年11月号)(通巻885号)

Vol.75 No.11 November 2023

2023(令和5)年11月20日印刷

2023(令和5)年11月25日発行(毎月1回25日発行)

編集兼発行人 金井道夫

印刷所 日本印刷株式会社

発行所 本部 一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番8号 機械振興会館内

電話 (03) 3433-1501; Fax (03) 3432-0289; <http://www.jcmanet.or.jp/>

施工技術総合研究所	〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154	電話 (0545) 35-0212
北海道支	〒060-0003 札幌市中央区北三条西2-8	電話 (011) 231-4428
東北支	〒980-0014 仙台市青葉区本町 3-4-18	電話 (022) 222-3915
北陸支	〒950-0965 新潟市中央区新光町 6-1	電話 (025) 280-0128
中部支	〒460-0002 名古屋市中区丸の内 3-17-10	電話 (052) 962-2394
関西支	〒540-0012 大阪市中央区谷町 2-7-4	電話 (06) 6941-8845
中国支	〒730-0013 広島市中区八丁堀 12-22	電話 (082) 221-6841
四国支	〒760-0066 高松市福岡町 3-11-22	電話 (087) 821-8074
九州支	〒812-0013 福岡市博多区博多駅東 2-4-30	電話 (092) 436-3322

本誌上への広告は  有限会社 サンタナ アートワークス までお申し込み、お問い合わせ下さい。

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町 2-21-5 井手口ビル 4F TEL: 03-3664-0118 FAX: 03-3664-0138

E-mail: san-mich@zam.att.ne.jp 担当: 田中

KOBELCO

Performance  Design

新型 ミニ

SK45SR SK55SR

ミニショベルがモデルチェンジ

2023年4月順次登場

特設サイトは
こちら

iNDr+E

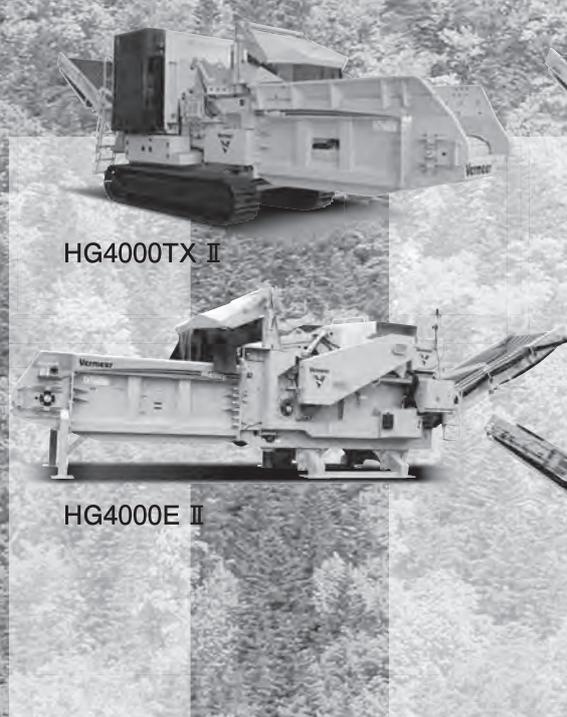


コベルコ建機株式会社

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

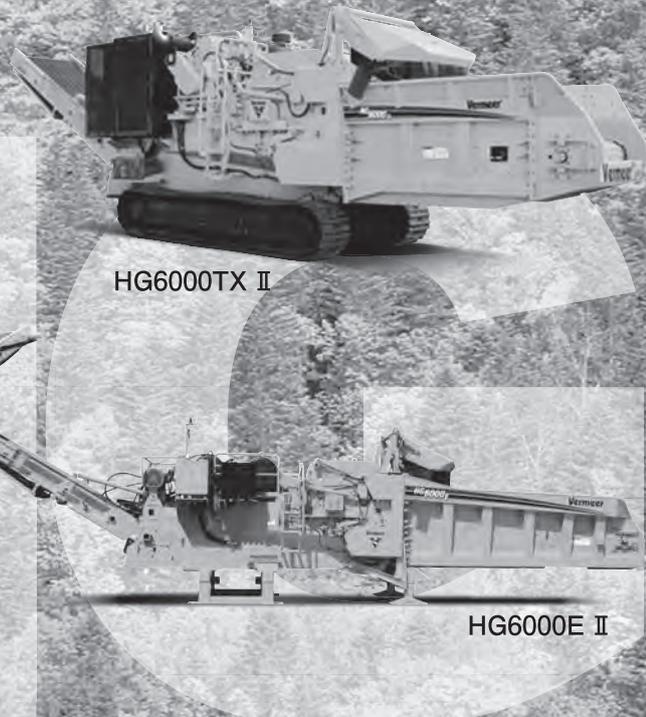
www.kobelco-kenki.co.jp

マルマテクニカのホリゾンタルグラインダー



HG4000TX II

HG4000E II



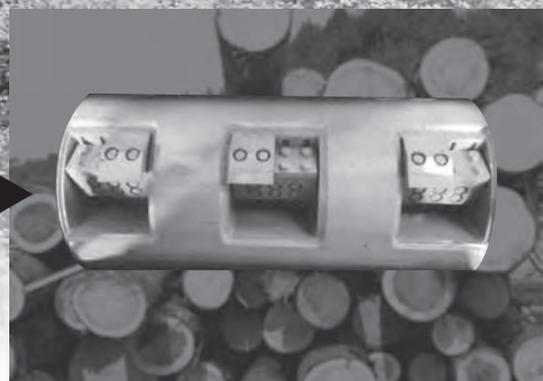
HG6000TX II

HG6000E II

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。



破碎部のみの載せ替えが可能!!
様々な用途に1台で対応が可能



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。



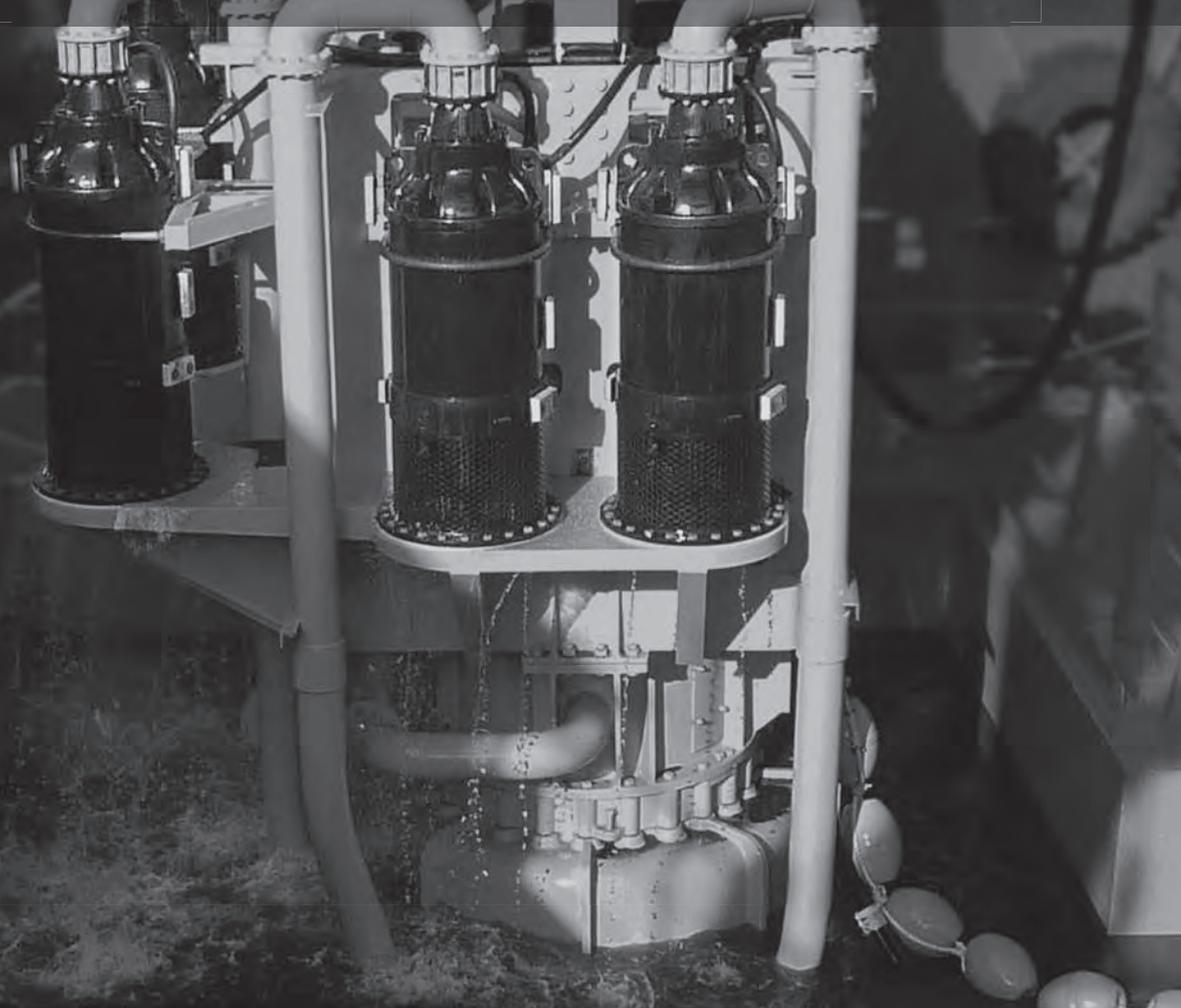
マルマテクニカ株式会社

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

耐海水用水中ポンプ

ツルミには、海水による腐食を防ぐ防食技術があります。



造船所のドック排水や港湾・
浚渫工事などで発揮される防食技術！

POINT 01

モータシャフトを守る
耐海水特殊鋳鉄
を採用した羽根車



POINT 02

耐久性を向上させる
防食塗装

POINT 03

ポンプ本体を守る
電気防食



選べるグレード

求められる防食性能や
予算に応じてグレード
選択が可能です。

詳しくはこちら



Web サイト

株式会社 **鶴見製作所**

大阪本店：〒538-8585 大阪市鶴見区鶴見4-16-40 TEL.(06)6911-2351 FAX.(06)6911-1800
東京本社：〒110-0016 東京都台東区台東1-33-8 TEL.(03)3833-9765 FAX.(03)3835-8429

北海道支店：TEL.(011)787-8385 東京支店：TEL.(03)3833-0331 北陸支店：TEL.(076)268-2761 近畿支店：TEL.(06)6911-2311 四国支店：TEL.(087)815-3535
東北支店：TEL.(022)284-4107 北関東支店：TEL.(028)613-1520 中部支店：TEL.(052)361-3000 中国支店：TEL.(082)923-5171 九州支店：TEL.(092)452-5001

www.tsurumipump.co.jp

Mikasa

http://www.mikasa.com

街づくりを支える、信頼の三笠品質。



転圧センサー

バイプロコンパクター

MVH-308DSC-PAS

NETIS No. TH-120015-VE

タンピングランマー

MT-55H



MVC-F60HS

NETIS No. TH-100006-VE



MRH-601DS

低騒音指定番号5097



FX-40G/FU-162A



MCD-318HS-SGK

低騒音指定番号6190

三笠産業株式会社

MIKASA SANGYO CO., LTD. TOKYO, JAPAN

本社 〒101-0064 東京都千代田区神田猿樂町1-4-3 TEL: 03-3292-1411 (代)

大阪支店 TEL:06-6745-9631
札幌営業所 TEL:011-892-6920
仙台営業所 TEL:022-238-1521
新潟出張所 TEL:090-4066-0661

北関東営業所 TEL:0276-74-6452
長野出張所 TEL:080-1013-9542
中部営業所 TEL:052-504-3434
金沢出張所 TEL:080-1013-9538

中国営業所 TEL:082-875-8561
四国出張所 TEL:087-868-5111
九州営業所 TEL:092-431-5523
南九州出張所 TEL:080-1013-9547

沖縄出張所 TEL:080-1013-9328

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

加熱式付着防止装置

Asphalt Anti-Sticking Heater System

ローラのタイヤを熱風加熱することにより、アスファルト合材の付着を防止

(特許第 4753689 号)

振動タイヤローラ GW750 への実装例



フロント部分



現場稼働



加熱装置



実験結果



付着防止装置の効果

加熱式付着防止装置の特長

- プロパンガスを燃料とする熱風ヒータにより加熱を行うのでタイヤへの熱負荷が少ない。
- アスファルト舗装転圧時に付着防止剤や水を使用しないので表面温度の低下を招かない。
- 車体停止時にはヒータ自動消火、再発進時に自動点火、これにより消し忘れ・点火忘れを防ぐ。
- 車体との脱着は簡単に行えるので、必要とされる現場出庫時に容易に取り付けることができる。



製造・販売
株式会社名倉製作所

〒103-0015 東京都中央区日本橋箱崎町 27-2
TEL : 03-3667-0521 (代) [✉ nmac@mint.ocn.co.jp](mailto:nmac@mint.ocn.co.jp)

FA機器の最適無線化提案

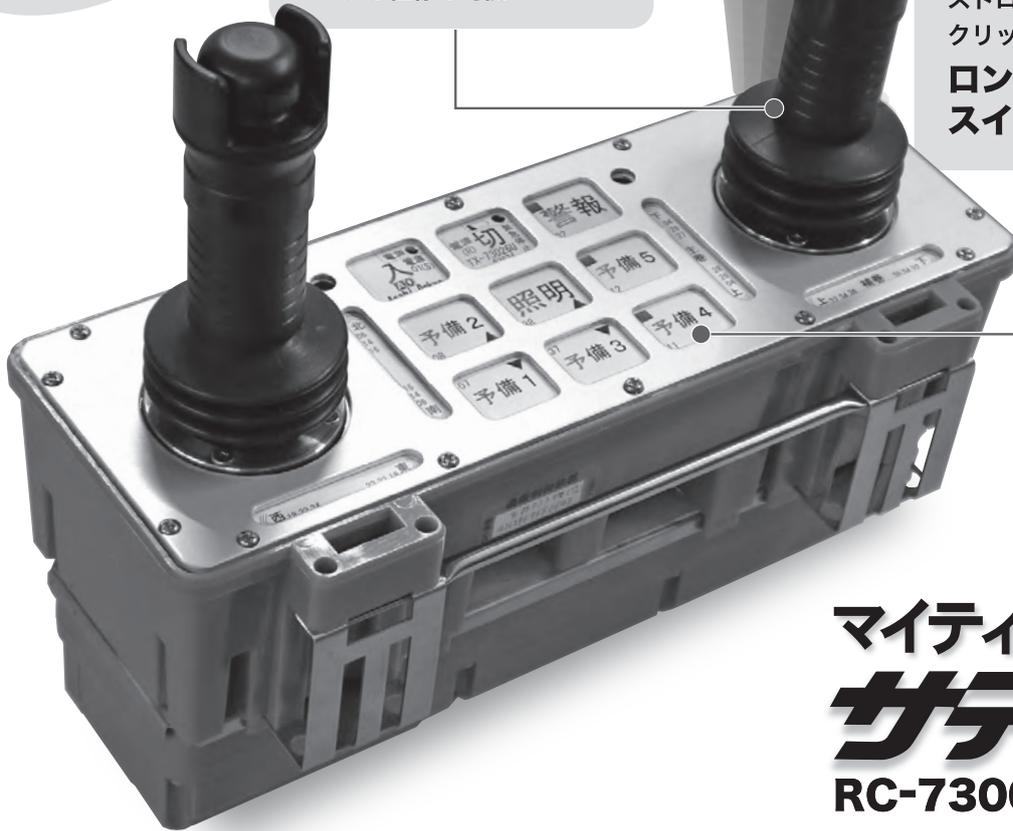
クレーン・搬送台車・建設機械・特殊車両他
産業機械用無線操縦装置

New!

自社開発した
**3ノッチ式
ジョイスティック**
中立位置に自動復帰
する仕様も可能!

自動復帰!

ストロークが深く、
クリックがハッキリ!
**ロングストローク
スイッチ**を標準採用



マイティ 429MHz帯・1.2GHz帯
特定小電力モデル対応
サテラ
RC-73000U/G シリーズ

スリムケーブルレス 5800シリーズ 好評発売中!

双方向データケーブルレス

《TC-1000808S》

**緊急停止
スイッチ** (オプション)

429MHz帯・1.2GHz帯
特定小電力モデル対応

プッシュロック、
ターンリセット型
キノコスイッチ



クレードルタイプ
充電台対応

**2段押3組
標準型**

- インバーター制御の
クレーンに最適!
- クリック感ハッキリの
ロングストローク
スイッチ

**429MHz
1216MHzが
同価格!!**



- ・見えない機械の制御もフィードバック!
- ・双方向制御がこの1セットで対応可能!
- ・新周波数920MHz帯を採用!

常に半歩、先を走る



朝日音響株式会社

〒771-1311 徳島県板野郡上板町引野字東原43-1 (本社工場) FAX.088-694-5544 TEL.088-694-2411
<http://www.asahionkyo.co.jp/>



無線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



誰もが安全で健康に働ける 現場を目指して

ICTの進化は、経験値や体力を問わず、

さまざまな人材が現場で活躍できる可能性を広げています。

コマツはICTを通じて、誰もが安全で健康に働ける

未来の現場を目指します。

KOMATSU
Creating value together

コマツカスタマーサポート株式会社 〒108-0072 東京都港区白金1-17-3 Tel.050-3486-7147 <https://kcsj.komatsu/>



雑誌 03435-11



4910034351138
00800

「建設機械施工」

定価 八八〇円 (本体八〇〇円 + 税10%)