

一般社団法人
日本建設機械施工協会誌 (Journal of JCMA)

2024

建設機械施工



Vol.76 No.8 August 2024 (通巻894号)

特集 橋梁



4,500tの新設橋をスライド、5年半かけて準備した一括架け替え

巻頭言 橋と歩む私の人生

特集技術報文

- 高速道路橋として日本最長のPC箱桁橋「吉野川サンライズ大橋」が開通
- 4,500tの新設橋をスライド、5年半かけて準備した一括架け替え
- 熊本地震により被災した南阿蘇鉄道第一白川橋梁の架け替え工事
- 橋梁建設現場における重量物運搬用ドローンによる資材運搬
- 人工衛星を使った橋梁の変位分析と異常検知
- 橋梁3次元モデルを活用した設計施工におけるVR技術の適用 他

行政情報

- 国土を支える道路橋に係る行政施策の近況

交流のひろば

- 建設機械の遠隔制御に適用する無線通信品質向上への取り組み

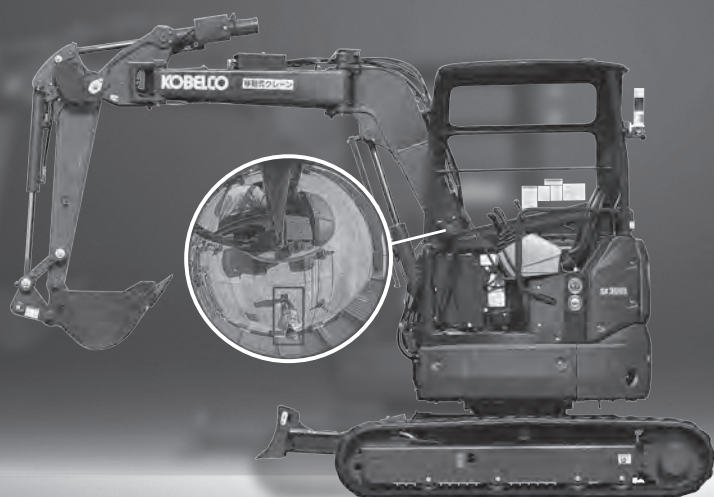
すいそう

- 試みるという名前の競技
- クイズのち人生

一般社団法人 日本建設機械施工協会

KOBELCO

機械周辺の人を認識して知らせることで 効率よく作業を行える衝突軽減装置



人
検知



検知対象外

※警報・停止機能はモノに
対しては作動対象外です。

広い範囲を監視

“人”を検知して機械を“停止”

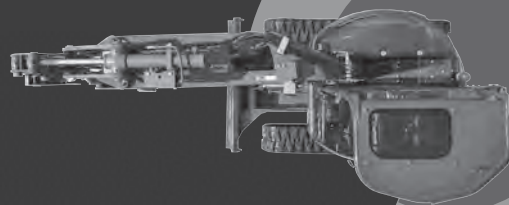
※現場の状況により検知精度に影響が出る場合があります。

ミニショベル向け衝突軽減装置

OmniEye®

NETIS登録済

車両搭載可能AIカメラ(KK-200027-VE)



警告エリア

警報/停止エリア

【運転員への警告エリア】
キャノピ:半径2.5m/キャブ:半径2.7m

【周囲の人への警報/機械停止エリア】
キャノピ:半径1.8m/キャブ:半径2.0m

コベルコ建機日本
WEBサイト



コベルコ建機日本株式会社

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

◆ 日本建設機械施工協会『個人会員』のご案内

会 費：年間 9,000円(不課税)

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

★個人会員の特典

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

この機会に是非ご入会下さい!!

◆一般社団法人 日本建設機械施工協会について

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

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

一般社団法人 日本建設機械施工協会とは…

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

■会員構成

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

■主な事業活動

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

■主な出版図書

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

その他、日本建設機械施工協会の活動内容はホームページでもご覧いただけます！

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

※お申し込みには次頁の申込用紙をお使いください。

【お問い合わせ・申込書の送付先】

一般社団法人 日本建設機械施工協会 個人会員係

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館2F

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

一般社団法人 日本建設機械施工協会 会長 殿

下記のとおり、日本建設機械施工協会 個人会員に入会します。

令和 年 月 日

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

【会費について】年間 9,000円(不課税)

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

【その他ご入会に際しての留意事項】

○個人会員は、定款上、本協会の目的に賛同して入会する個人です。 ○入会手続きは本協会会長宛に入会申込書を提出する必要があります。

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

【個人情報の取扱について】

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

論文投稿のご案内

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

当協会ホームページ <https://jcmanet.or.jp/>

★投稿対象

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

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

★部門

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

★投稿資格

原稿の投稿者は個人とし、会員資格の有無は問いません。

★原稿の受付

随時受け付けます。

★公表の方法

当協会機関誌へ掲載します。

★機関誌への掲載は有料です。

★その他：優秀な論文の表彰を予定しています。

★連絡先

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8（機械振興会館）

日本建設機械施工協会 研究調査部 論文担当

E-mail : ronbun@jcmanet.or.jp

TEL : 03 - 3433 - 1501

FAX : 03 - 3432 - 0289

第2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(予定)の告知

一般社団法人日本建設機械施工協会（以下「JCMA」という。）は、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始めました。

令和6年度 第2回人材育成助成事業対象者の公募について9月より開始を予定しておりますことをお知らせします。

1. 実施スケジュール

- (1) 公募期限は、令和6年11月30日(予定)まで
- (2) 助成対象者の決定は、令和7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8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。

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7年3月末から令和8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に掲載いたします。

(一社) 日本建設機械施工協会 発行図書一覧表 (令和 6 年 8 月現在)

消費税 10%

No.	発行年月	図 書 名	一般価格 (税込)	会員価格 (税込)	本部 送料
1	R6 年 5 月	大口径岩盤削孔工法の積算 令和 6 年度版	6,600	5,610	770
2	R6 年 5 月	橋梁架設工事の積算 令和 6 年度版	12,100	10,285	990
3	R6 年 5 月	よくわかる建設機械と損料 2024	7,260	6,171	770
4	R6 年 4 月	令和 6 年度版 建設機械等損料表	9,680	8,228	770
5	R5 年 10 月	道路除雪施工の手引 (第 17 版)	4,950	3,960	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

橋梁

巻頭言

行政情報

特集技術報文

4 橋と歩む私の人生

大山 理 大阪工業大学 工学部 都市デザイン工学科 教授

5 国土を支える道路橋に係る行政施策の近況

法定点検 3 巡目の要領改定, 能登半島地震を踏まえた技術基準

増 竜郎 国土交通省 道路局 国道・技術課 技術企画グループ 企画専門官
配島 洋伸 国土交通省 道路局 国道・技術課 技術企画グループ 課長補佐

12 気仙沼湾横断橋 斜張橋部の設計

向田 昇 大日本ダイヤコンサルタント㈱ 技術本部 理事

21 高速道路橋として日本最長の
PC 箱桁橋「吉野川サンライズ大橋」が開通
四国横断自動車道 吉野川大橋工事

中谷 隆行 西日本高速道路㈱ 四国支社 徳島工事事務所 工務課 工務課長
山口 統央 鹿島建設㈱ 土木設計本部 構造設計部 橋梁・インフラ更新 Gr グループ長
横山 由宏 鹿島建設㈱ 横浜支店 河内川橋 JV 工事事務所 工事課長

27 4,500 t の新設橋をスライド,
5 年半かけて準備した一括架け替え

濱野 康平 首都高速道路㈱ 更新・建設局 大師橋工事事務所 係員

31 熊本地震により被災した
南阿蘇鉄道第一白川橋梁の架け替え工事

北川 淳一 エム・エムブリッジ㈱ 技術部 設計グループ

38 大規模更新工事における生産性向上技術の開発
自動マーキング技術と支承交換省力化技術

尾田健太郎 清水建設㈱ グローバル事業本部 土木国際支店 土木部
吉浦 伸明 清水建設㈱ 北海道支店 土木部 工事長
高島 英一 清水建設㈱ 土木総本部 土木技術本部 橋梁統括部 副部長

42 橋梁建設現場における
重量物運搬用ドローンによる資材運搬

新述 隆太 ㈱大林組 本社 技術本部 未来技術創造部 主任
武田 篤史 ㈱大林組 本社 技術本部 技術研究所 構造技術研究部 主任研究員
成松 敏男 ㈱ SkyDrive ドローン事業開発室 室長

47 フォークリフトに装備する新設床版設置装置の開発

鈴木 健 西松建設㈱ 土木技術部 リニューアル課 課長
田中 秀幸 西松建設㈱ 平塚製作所 所長

51 マルチ検査ロボット“SPIRADER”が創る
コンクリート長寿命化社会

安藤 康志 KEYTEC ㈱ 営業部長兼移動体搭載システムリーダー
栗原 陽一 ㈱オンガエンジニアリング
佐藤 保大 東日本旅客鉄道㈱ JR 東日本研究開発センター 副主幹研究員

59 3D モデルを用いた橋梁の維持管理システム

伊井 宏樹 西日本旅客鉄道㈱ 金沢支社 金沢土木技術センター 施設管理係
中嶋 俊輔 ジェイアール西日本コンサルタンツ㈱ IT システムデザイン部 フィールド G 係長
内田 修 アジア航測㈱ 社会インフラマネジメント事業部 鉄道事業推進部 鉄道防災・DX 推進室 フェロー 学術博士 (土木工学)

66 人工衛星を使った橋梁の変位分析と異常検知

木下 耕介 日本電気㈱ ビジュアルインテリジェンス研究所 研究員
久村 孝寛 日本電気㈱ ビジュアルインテリジェンス研究所 主幹研究員

	71	ドローン空撮で 100 メートル先の微小変形計測 老朽化したインフラ構造物の効率的な維持管理に貢献 李 志遠 (国研) 産業技術総合研究所 分析計測標準研究部門 非破壊計測研究グループ 上級主任研究員
	74	FRP 部材を用いた劣化した RC 床版の延命化工法 『FS グリッド (FRP サポートグリッド)』による床版補強 山崎 敏宏 (株) IHI インフラ建設 鋼保全技術部 担当部長 中村 一史 東京都立大学大学院 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域 准教授 花村 光一 (株) 栗本鐵工所 コンボジットプロジェクト室
	80	橋梁 3 次元モデルを活用した設計施工における VR 技術の適用 保田 敬一 オフィスケイワン(株) 代表取締役 菅 功人 オフィスケイワン(株) 技術開発部 技術グループ サブリーダー
交流のひろば	86	建設機械の遠隔制御に適用する無線通信品質向上への取り組み 玉木 剛 (株) 日立国際電気 研究開発本部 主管技師長 (工学博士) 清水 秀晃 (株) 日立国際電気 ソリューション統括本部 DX 本部 主任技師 児玉 有康 (株) 日立国際電気 ソリューション統括本部 DX 本部 プロジェクトマネージャー
ずいそう	90	試みるという名前の競技 佐藤信一郎 日立建機(株) マイニングビジネスユニット開発統括部ダンプトラック設計部 ダンプトラック開発グループ 技師
	92	クイズのち人生 柴田陽二郎 (株) ミゾタ 工事本部 管理課
部会報告	94	令和 6 年度 第 134 回建設施工研修会 (映画会) 開催報告 広報部会
	97	新工法紹介 機関誌編集委員会
	102	新機種紹介 機関誌編集委員会
統計	103	主要建設資材価格の動向 機関誌編集委員会
	107	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
	108	行事一覧 (2024 年 6 月)
	112	編集後記 (宮川・花川)

◇表紙写真説明◇

4,500 t の新設橋をスライド, 5 年半かけて準備した一括架け替え

写真提供: 首都高速道路(株)

多摩川にかかる首都高速 1 号線の高速大師橋の更新工事は、既設橋の下流側に新設橋を架設し、照明柱・高欄・基層舗装等を可能な限り施工した後、既設橋と新設橋を上流側にスライドさせる横取り一括架設工法を採用し、2 週間の通行止め期間で 4,500 t、長さ約 300 m の橋梁を一挙に架け替えた。

2024 年(令和 6 年)8 月号 PR 目次
【ア】朝日音響(株)…………… 後付 6
【カ】コベルコ建機日本(株)…………… 表紙 2

【サ】サイテックジャパン(株)…………… 表紙 4
【タ】大和機工(株)…………… 表紙 3
デンヨー(株)…………… 後付 3

【ハ】baum China 2024 …………… 後付 1
【マ】マルマテクニカ(株)…………… 後付 5
三笠産業(株)…………… 後付 4

(株)三井三池製作所…………… 表紙 3
【ヤ】吉永機械(株)…………… 後付 2

巻頭言

橋と歩む私の人生

大 山 理



今年の3月上旬、私宛に本号巻頭言の執筆依頼があった。実は、これが、人生はじめての巻頭言執筆であり、当を得た内容となっていないと思うが、お付き合い頂ければ幸いである。

今月号は“橋梁”に関する特集と言うことで、まず、自らが、なぜ橋梁の分野に進もうと思ったかを紹介したいと思う。私が高校生となり進路を考え始めた頃、本州と北海道を結ぶ青函トンネル、本州と四国を結ぶ瀬戸大橋が相次いで開通した。現地に足を運び、スケールの大きさに驚き、将来、このようなプロジェクトに携わることが出来ればと思った次第である。ここで、早くも、橋梁かトンネルかの選択までを行っていたのだが、結果は簡単で、明石海峡大橋やしまなみ海道のプロジェクトが動き始めていたという理由から、橋一択となっていた。しかし、入学した大学には、西日本最大級の構造実験センターがあり、実物大レベルの供試体を用いた静的、繰返し載荷試験を行うことが出来るとの魅力から、将来の方向性として、設計から研究職に気持ちが移っていった。そして、大学教員を目指そうとしたところ、恩師から、『欧州、特にドイツでは、実務に携わった人を大学教員として採用している』との助言から、学位取得後、橋梁メーカーに就職、新東名高速道路などの鋼橋設計業務に従事する機会を得た。数年後、大学教員になって以降も、この実務経験は、教育や研究に活かすことが出来ている。

前段の話はこれくらいに留め、後半、橋梁に関する研究の話に移し、私の専門は鋼とコンクリートの複合構造で、その構造に種々の荷重が作用する中で、皆様と少し違う路線の内容にも取り組んでいるので紹介する。それは、“橋梁火災”に関するテーマで、橋梁直下において、失火からタンクローリーが横転することなどにより火災が発生し、桁や床版が損傷する事例が見られる中、道路や鉄道を管理する側は、鎮火後の通行（鉄道の場合は運行）再開の判断に時間を要するとの相談を受け、このテーマの研究をスタートさせ

ることにした。特に、複合構造の要となる頭付きスタッドなどのずれ止めは、万が一の場合、直接、目視による点検が出来ないため、頭を痛めることになる。そこで、支間：7.0 m の鋼とコンクリートからなる合成桁供試体を2体製作し、その1体の桁と床版下面を本学の大型水平加熱炉で加熱（最高温度：680℃、時間：30分）した後、通行再開と言うことで、その供試体に対して活荷重相当の荷重を繰返し載荷したところ、78万回程度で、非合成に近い挙動を呈し、頭付きスタッドの破断が確認された。並行して、熱履歴を受けていない供試体を対象にも繰返し載荷を行ったが、100万回まで、僅かな剛性の低下しか見られなかった。他にも実験や解析を通して、熱履歴を受けた合成桁橋の通行（運行）再開に向けた判断基準の提案を行っている。このように火災に関する研究に携わっていたおかげで、2023年9月5日に発生した「山陽自動車道尼子山トンネル」での火災事故において、早々に要請を受け、現場に足を運び、損傷度合いなどの見解を述べさせて頂いた。冒頭、自らの将来を考えた際、トンネルより橋梁を選んだ訳であるが、結果、橋梁、トンネル関係なく、社会インフラの整備や維持管理に対して少しは社会貢献出来ているかな？と思っている。これからも地球をフィールドにする以上、近い将来に発生が予測されている巨大地震や激甚化する自然災害などごく僅かな確率でも発生する可能性がある事象に対しては、最低限の機能を確保する対策を講じておくことが重要であると考えます。

この巻頭言の次のページからは、橋梁に関する最新の施工事例や技術が紹介されていますので、是非、ご一読頂ければと思います。

最後に、このような場を設けて頂いた関係各位の皆様に、厚く御礼申し上げます。

——おおよま おさむ

大阪工業大学 工学部 都市デザイン工学科 教授——

特集>>> 橋梁

行政情報

国土を支える道路橋に係る行政施策の近況

法定点検3巡目の要領改定，能登半島地震を踏まえた技術基準

増 竜 郎・齋 島 洋 伸

道路法が改正され，道路構造物の定期点検が義務化されて10年が経過。これまでの取組みを振り返り，3巡目となる令和6年度からの定期点検にあたり，点検の質の向上，合理化，効率化，デジタルデータ等の新技術の有効活用をねらいとして，点検要領を改定した。また本年，令和6年1月1日に発生した能登半島地震では，橋梁等道路構造物に各種の被害が生じ，それらを踏まえた技術基準の見直しの方向性が示された。これら，防災・減災，国土強靱化の一助となり，また，WISENET（ワイズネット）の基盤ともなる道路構造物の橋梁に係る行政施策を紹介する。

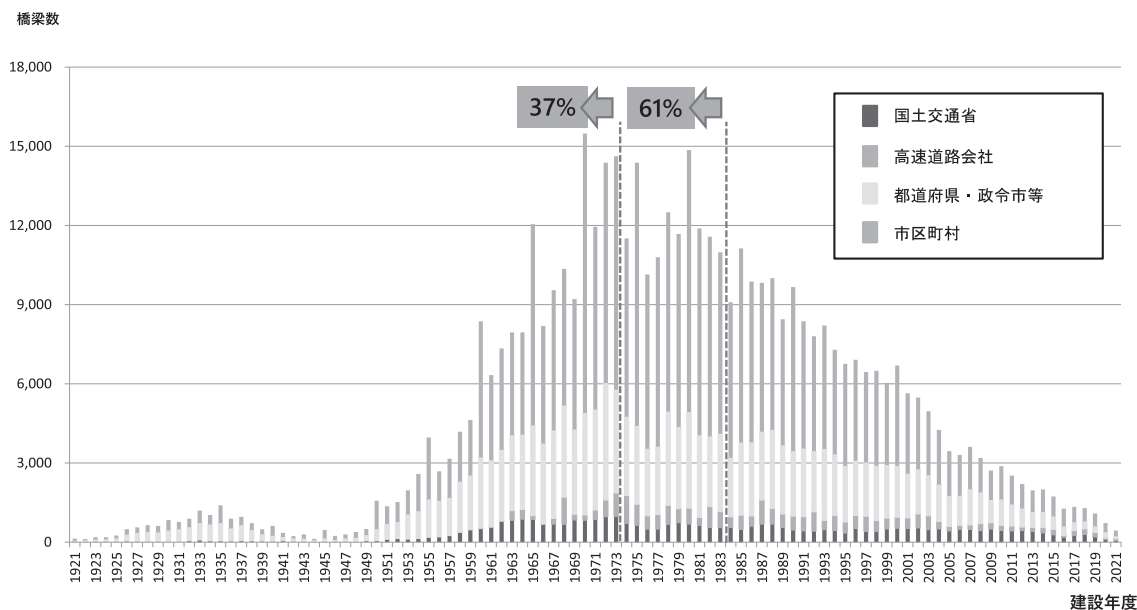
キーワード：法定点検，定期点検要領，点検の質の向上と合理化，能登半島地震，防災・減災，国土強靱化，WISENET（ワイズネット）

1. はじめに

我が国の道路などの社会インフラは，戦後の復興から高度経済成長期にかけて多くの整備が進められ，以降の数十年にわたり，我が国の経済の発展，国民の生活の安全・安心を支えてきている。年月が経つにつれて，古くなった橋に重大な損傷が生じるなど，社会インフラの老朽化が顕在化してきている。特に高齢化が

先行する橋梁については，建設後50年以上経過する橋梁の割合は，現時点で約37%となっており，10年後には61%に達することとなり，老朽化対策の重要性はますます高まっている（図—1）。また，地球規模の気候変動の影響による記録的な豪雨は，全国各地で毎年のようにその記録を更新し，とりわけ，河川の増水により橋脚が洗掘され沈下し重要な交通を担う橋梁が機能を損失する事案も後を絶たない。更に，我が

建設年数の推移（橋梁）



図—1 道路施設（橋梁）の高齢化・老朽化

国では不可避の大規模地震が、いつ、どこで起きてもおかしくない状況にある。

このような中、我が国の安全と発展を支え続ける社会インフラに対しては、老朽化対策と防災・減災の両面から強靱化に取り組むことが重要である。

本稿では、平成26年度より開始された定期点検について、これまでの取組みを振り返り、3巡目となる令和6年度からの定期点検にあたり、点検の質の向上、合理化・効率化、そして、点検支援技術と点検データの有効活用をねらいとした点検要領の改定について紹介する。後段では、本年、令和6年1月1日に発生した能登半島地震による橋梁等道路構造物の被害状況とそれらを踏まえた技術基準の見直しの方向性について紹介する。

2. 定期点検の改定

(1) 定期点検の制度化と改定の経緯

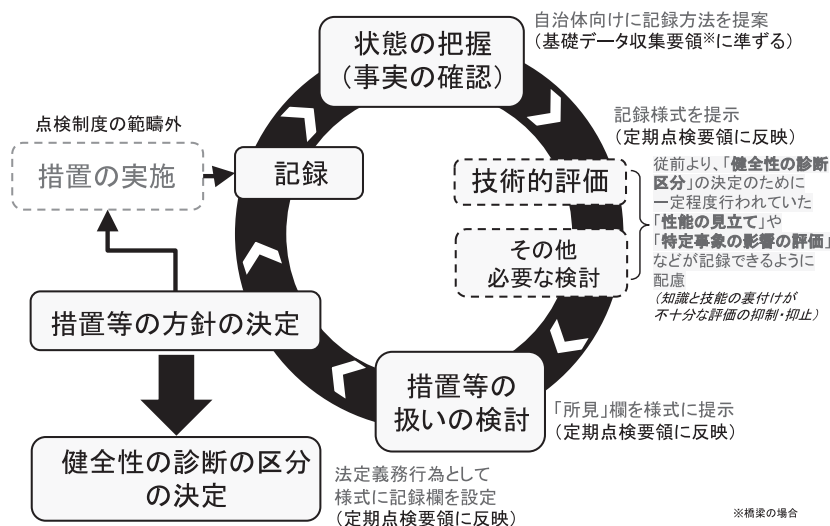
高齢化の進行に対して、平成16年には直轄において道路橋の定期点検を、また、平成19年には地方自治体を対象とした長寿命化修繕計画策定補助事業をそれぞれ開始した。とりわけ、平成24年に発生した中央自動車道の笹子トンネルの天井版落下事故により、社会インフラのメンテナンスの重要性について社会的にも大きく認識された。そのような状況下、平成25年には、インフラメンテナンス長寿命化基本計画を策定し、インフラメンテナンス元年として位置付けられた。そして、その翌年、平成26年度より、道路法に基づき、特に重要な道路構造物である橋梁、トンネル及びシェッド・大型カルバートの道路構造物の定期点検が義務付けられ、全国で定期点検が開始された。

法令に基づき、知識と技能を有する者による5年に一度の近接目視を基本とする定期点検が全国一律に開始された。2巡目に入るにあたっては、水中部等の目視困難箇所に対する点検支援技術の活用推進を図るとともに、溝橋等の簡易な構造に対してより合理的に点検が行えるよう配慮を行うなどの改善も図られた。そして、3巡目にあたり、これまでの取組みを踏まえ、社会資本整備審議会道路分科会道路技術小委員会における審議の中で、全体的な総括としては、法令及び技術的助言の内容は概ね妥当との認識が示された一方で、改善すべき課題も認識された。それは、構造物の外観性状のみから機械的に健全性の診断区分を当てはめようとするなどの不適切な事例が散見され、点検の品質に懸念があること、そして、合理的・効果的な維持管理にも重要な記録となる所見の記述内容に大きなばらつきがあることであった。また、国が定期点検に併せて実施している広範かつ詳細なデータ収集方法に倣ってデータ収集を行ってきた道路管理者からは、それが負担となっていること、また、損傷状況等の記録の取り方に苦慮していることも課題として認識された。

これらの課題に対し、自治体の道路管理者も交えた検討を経て、法令の基本的事項を踏襲する一方で、道路管理者に義務付けられている健全性の診断の区分の決定の根拠ともなる技術的な評価の内容などが適切に行われるよう、技術的助言を改めて発出するとともに、それに併せて推奨される記録様式なども添えた運用標準としての定期点検要領の改定を行った（図－2）。

(2) 定期点検要領の改定

定期点検要領の改定に関して、橋梁については、健全性の診断の区分の決定の大きな根拠ともなる技術的



図－2 道路法に基づく定期点検の改定ポイント

も実施している。直轄管理の道路橋においては、技術基準の検討のため橋梁の劣化傾向分析などが行えるように全国で詳細な点検データを記録している。一方、通常の道路管理上はそれ程の詳細な記録が必ずしも必要ではないと考えられるものの、それに代わる状態等の記録の残し方について標準的方法が確立していないことも有り、直轄に倣った記録を行い、それが負担となっている自治体も窺える。そこで、これまでの実績を踏まえて、平成19年の長寿命化計画策定補助事業の実施に併せて国が提供した「基礎データ収集要領(案)」に準じた、状態等の事実関係の記録様式を提供することとしている。全国で統一的な方法によって収集・蓄積される事実関係のデータやそれらを用いた統計分析結果などは、各道路管理者にとっても有益な情

報になると考えている(図—5)。

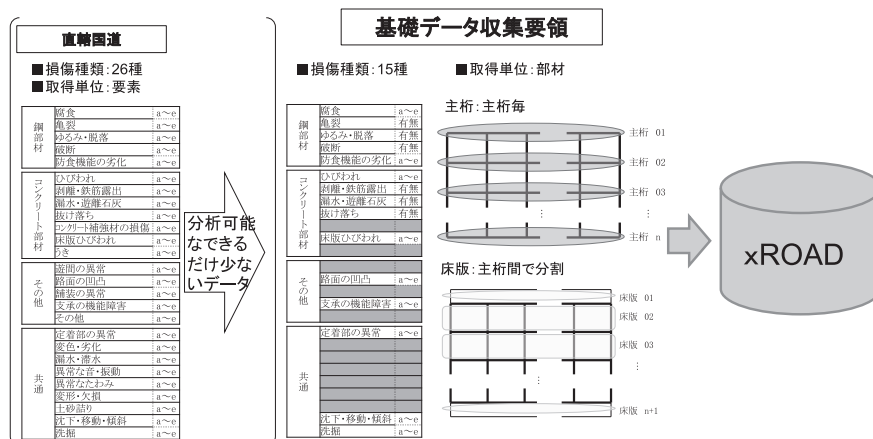
点検支援技術に関しては、今回の改定により、最新の道路橋示方書に基づく基本的な工学的評価に必要な情報がより明確化されることで、目視では得られない重要な部材内部の情報などを入手可能な点検支援技術が、有効に活用されることをねらいとしている(図—6)。また、先述の記録のフォーマットを統一化することにより、記録の支援に有効な点検支援技術の更なる活用や開発促進も期待される。

以上のように、今回の改定では、工学的な評価の適正化を軸に、記録の合理化、点検支援技術の有効活用、維持管理データの有効活用を図ったところであるが、重要な意図は、今後、数十年かけて道路インフラの更なる高齢化が着実に進行する一方、それらを支える技

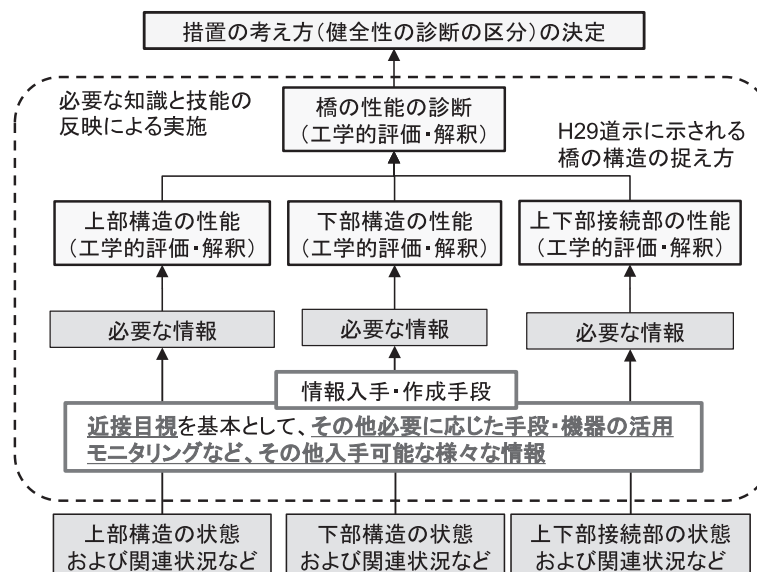
マネジメントに資する客観的事実の記録として統一的なフォーマットを提供
(管理者がH19長寿命化修繕計画策定にあたり活用実績もある)

→ 他管理者とも比較検討が可能になる。

→ 国の分析結果との比較検討も可能になる。



図—5 維持管理データの有効活用方策



図—6 点検支援技術の有効活用方策

術者が減少していく中で、橋梁等インフラの状況を的確に把握し、致命的な事態に陥る前に、適切なタイミングで適切な補修等の措置を行うこと、いわゆる、予防保全が図られることに期待しているところにある。

これらの改定の意図について、全国の道路管理者及び点検実施者にできるだけ正確に理解して貰うために、道路管理者及び建設コンサルタンツ企業等向けの全国 Web 説明会をはじめ、全国の各地方整備局等の主催による自治体職員等の道路管理者を対象とした説明会を実施してきている。全国各地において、国土技術政策総合研究所の専門家とともに、制度の趣旨や要領改定の意図と技術的背景などについて、より正確かつ実感をもって理解できるように、実際の橋梁の現場での解説を含む説明会を行った（写真—1, 2）。私も数か所参加したが、自治体や整備局の職員の維持管理に対する切実で、実直な思いを肌で感じられたことは、貴重な機会であった。

さて、次に、維持管理とともに、国土強靱化の取り組みの重要な施策である防災・減災に係る話題に移る。



写真—1 定期点検要領改定の説明会の様子



写真—2 定期点検要領改定の現場実習の様子

3. 能登半島地震を踏まえた技術基準の方向性

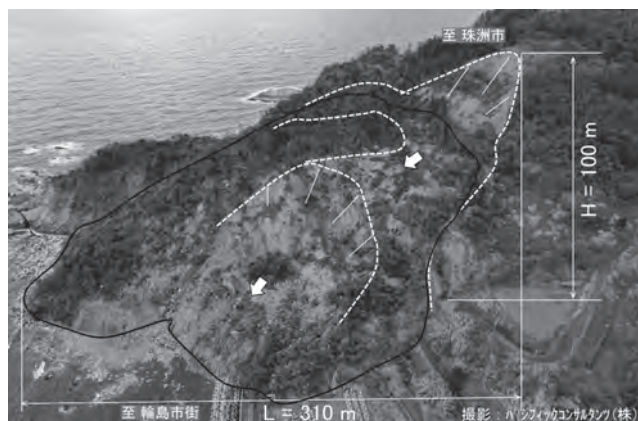
令和 6 年 1 月 1 日 16 時 10 分、石川県能登地方において、最大震度 7、マグニチュード 7.6 の地震が発生した。この地震により、現地の橋梁、トンネル、盛土などの土工構造の各道路構造物に様々な被害が生じ、交通に支障をきたした。発災後、国土技術政策総合研究所及び国立研究開発法人土木研究所の各分野の専門家が令和 6 年 1 月 2 日から 3 月 26 日にかけて計 37 回、延べ 196 名の体制で現地調査を行ってきた。この専門調査により、各道路構造物の被災状況、その特徴が明らかになってきた。令和 6 年 2 月 21 日に開催された社会資本整備審議会道路分科会道路技術小委員会においては、専門調査の中間報告がされ、この専門調査の中間報告とその後の調査結果を踏まえ、同年 3 月 26 日の同会議において、能登半島地震を踏まえた道路構造物の技術基準の方向性について審議がなされた。

(1) 令和 6 年能登半島地震による道路構造物（特に橋梁）の被害状況

まず、今回の地震の規模として、その地震動は、能登半島地域では、レベル 2 地震動と同程度であった。震度 7 を記録した地域では、一部の周波数帯でレベル 2 地震動を上回る場所も有った。今回の地震は、平成 19 年（2007 年）能登半島地震と比較しても、より大きい力が作用する地震動が記録された。

被害の特徴として、まず、石川県が管理する国道 249 号の沿岸部における大規模な斜面崩落や地すべりによる通行途絶、地山の変位による影響と推測されるトンネル覆工コンクリートの崩落など、構造物のみで被害を防ぐには限界が有る事例が見受けられた（写真—3, 4）。

また、橋梁本体としては通行機能を確保できていても橋梁に接続している土工構造物の被災により、道路



写真—3 地すべり・斜面崩壊（逢坂トンネル坑口埋没）



写真—4 覆工コンクリートの崩落（大谷トンネル）



写真—5 沢埋め高盛土の被災（能登大橋南側）



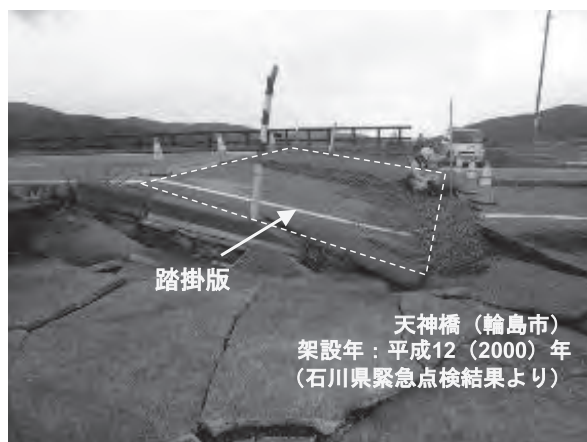
写真—6 新しい基準の橋の損傷例

としての通行機能が損なわれた事例、トンネル本体としては通行機能を確保できていても、トンネル坑口の斜面崩落により通行機能が損なわれた事例など、道路構造物の境界部付近での変状が交通機能に著しい障害を及ぼした事例が見受けられた（写真—5）。

橋梁に関して言及すると、石川県内（震度6弱以上）の橋梁3,018橋のうち、落橋した橋梁は、確認されていない。そして、耐震設計基準が大きく変わった兵庫県南部地震以後に設計された橋の本体は概ね軽微な被害に留まっており、基準の改定で対応が取られてきた橋脚のせん断破壊などは見られなかった（写真—6）。



写真—7 地盤からの変位の影響による橋台の被災例



写真—8 踏掛版が効果を発揮した例

一方で、地盤からの変位の影響により橋台に異常変位が残留する例など、本復旧の対応の遅れにつながる可能性の事例がみられた（写真—7）。

また、橋台背面については、小規模な段差は多数発生しているものの、速やかに機能回復できているものが大半であった。平成8年道路橋示方書で踏掛版の設置が望ましいとし、平成24年道路橋示方書で橋台背面アプローチ部の構造を規定した効果も有ったと考えられる（写真—8）。

（2）能登半島地震を踏まえた技術基準の方向性

これらの被害状況を踏まえ、道路技術小委員会において、次のとおり、道路構造物に係る技術基準の方向性が示された。

【道路構造物（共通事項）に係る技術基準の方向性】

○道路構造物のみで被害を防ぐには限界が有ることから、路線の検討や路線内での構造物の配置計画の検討等の道路計画段階において、周辺の地形や地質条件に関する情報とともに道路リスク評価の観点も踏まえ、安全で信頼性の高い道路計画となるように配慮に努めること。

○道路に求められる様々な性能（走行性能、壊れにくさ、復旧のしやすさ）に合理的に対応し、かつ、道路区間として総合的に道路機能を満足させられるように、道路構造物の技術基準の性能規定化を方策の一つとして検討を進めること。

○調査、設計、施工、維持管理において、性能規定も適用し新技術・新工法の活用に努めること（人の立ち入りが危険な被災箇所やコンクリート内部等の目視確認が困難な箇所での無人調査機や非破壊検査、また、盛土の施工方法や材料、トンネル復旧工法や材料などにおいて、新技術・新工法の活用を検討すること）。

【橋梁に係る技術基準の方向性】

○技術基準の妥当性を覆す事象や知見は現時点では確認されていないが、迅速な復旧の実現性を高める観点から、次について技術基準の充実・整備を検討すること。

- ・落橋防止構造のように、具体の外力が想定できない事象に対しても迅速な復旧の実現性が期待できる設計項目及び内容の充実化を検討すること
- ・所要の安全余裕を確保するだけでなく、迅速な応急復旧を可能とする損傷形態を実現させるための設計項目及び内容の充実化を検討すること
- ・橋梁の構造特性も踏まえ、地震後の点検や診断の容易さ、復旧のしやすさに配慮した構造、アクセス手段の確保について検討すること

○性能規定化されている道路橋示方書に準じて、個々の構造の条件を適切に反映し、復旧や修繕の目的に応じた柔軟かつ合理的な対策が行えるよう、要求性能の設定やダメージコントロールの考え方の導入なども含めた修繕の技術基準類の整備を検討すること。

以上の技術基準の方向性を踏まえ、今後、技術基準の充実を図ることとしている。

4. おわりに

我が国は、これまでも全国各地にて、大規模地震により甚大な被害を受けてきた。その時々技術者達により、その苦難を乗り越え、得られた知見に基づき、道路構造物の技術基準の整備と改良がなされてきた。それらのご尽力により、今回の大規模地震に対しても、多くの道路構造物の甚大な被害を防ぐことができた。

一方で、今回の地震により、盛土の大規模崩壊や道路構造物間の耐震性能の違い、構造物のみでの対応に限界が有ることなど、新たな課題も確認された。この経験と知見を基に、さらなる技術基準の改良と技術開発を進め、今後の全国の道路構造物の一層の改善につなげて参りたい。

また、今回の定期点検要領の改定により、本来の道路構造物に必要な工学的な評価が確実かつ適切に行われることとなり、これが、今後、数十年間を超え、将来世代にわたり、道路インフラが健全に保たれることにつながり、国民の安全と安心の確保、国土強靱化、そして、新時代に向けた WISENET2050 の一助となることを期待している。

JICMA

《参考文献》

- 1) 第22回社会資本整備審議会 道路分科会 道路技術小委員会（2024年3月26日） 資料
- 2) 第21回社会資本整備審議会 道路分科会 道路技術小委員会（2024年2月21日） 資料
- 3) 第19回社会資本整備審議会 道路分科会 道路技術小委員会（2024年1月19日） 資料
- 4) 第18回社会資本整備審議会 道路分科会 道路技術小委員会（2023年10月2日） 資料
- 5) WISENET（ワイズネット）2050・政策集 ～経済成長と国土安全保障を実現するシームレスネットワークの構築～（国土交通省道路局）

【筆者紹介】

増 竜郎（ます たつろう）
国土交通省 道路局 国道・技術課
技術企画グループ
企画専門官

配島 洋伸（はいしま ひろのぶ）
国土交通省 道路局 国道・技術課
技術企画グループ
課長補佐

気仙沼湾横断橋 斜張橋部の設計

向 田 昇

東日本大震災からの復興道路として、三陸沿岸道路の気仙沼湾を横断する3径間連続鋼斜張橋が建設された。

本稿は気仙沼湾横断橋の設計コンセプトと建設コンセプトを掲げて要求性能を設定した設計の取り組みや、想定外事象に対する鋼製主塔のダメージコントロール設計及びケーブル破断時のリダンダンシー設計等による橋全体の危機耐性の向上、橋梁点検車で点検できる一面吊り斜張橋の選定と主塔内・箱桁内の内部空間及び点検動線の確保による維持管理性の向上、そして起重機船を用いた主塔大ブロック架設、直下吊設備を用いた主桁バランシング架設、押し込み緊張設備を用いた橋面上からの斜ケーブル架設について報告する。

キーワード：設計・建設コンセプト、要求性能、維持管理性、復旧性、景観性、ダメージコントロール設計、リダンダンシー設計

1. はじめに

三陸沿岸道路は、東日本大震災からの復興道路として2021年12月に全線（全長359km）が開通した。

気仙沼湾横断橋は、三陸沿岸道路の気仙沼港IC～浦島大島IC間に建設された橋長1,344.0mの橋梁である。気仙沼湾を横断する海上部は橋長 $L=680$ mの斜張橋であり、復興のシンボルとしての役割が期待されている（写真—1）。

2. 橋梁計画概要

架橋位置は気仙沼港の朝日ふ頭を横断するルートであり、航路幅230mを確保する必要があった。橋梁形式は、地盤条件と経済性や維持管理性を総合的に判断し、朝日ふ頭側のP11橋脚と海上部のP12橋脚に主塔を配置した3径間連続鋼斜張橋を選定した（写真—2）。

支間割りは、防潮堤やふ頭の制約よりP11橋脚位置を、終点側の地形条件よりA2橋台位置を決定後に、斜張橋として適合する径間比1:2.25:1から中央径間長360.0m、側径間長157.8mとした。

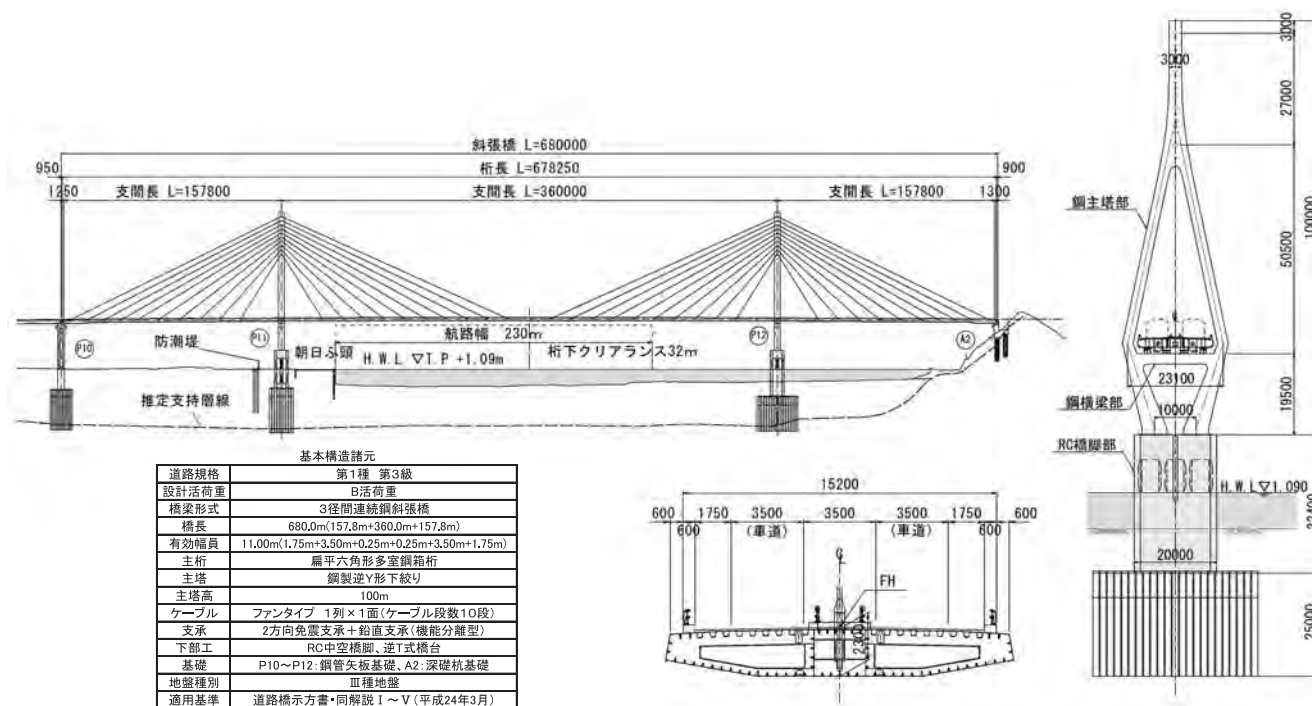
桁下クリアランスは既往最大通過船舶のマスト高に主桁足場設置のための余裕高を加えた32mに設定した（図—1）。



写真—1 気仙沼湾横断橋の全景



写真—2 斜張橋の全景



図一 斜張橋全体図

3. 建設コンセプト・設計コンセプトおよび要求性能の設定

(1) 建設コンセプト・設計コンセプト

本橋の計画・設計に際しては、「地域にとってこの橋がどうあるべきか」、「橋梁設計者がこの橋を設計するにあたって着目するポイント」を言語化した建設コンセプトと設計コンセプトを設定した。

(a) 建設コンセプト

気仙沼湾は天然の良港であるとともに、周辺を山々が囲み、風光明媚な場所である。地域の上位計画では、自然環境・周辺との調和に配慮、地域の誇り・復興の象徴となることへの期待が示されており、アンケートを実施して、以下を建設コンセプトとした。

気仙沼湾の象徴となり、自然豊かな風景と調和した地域の発展・復興を支える美しい形態の橋

(b) 設計コンセプト

東日本大震災からの復興の象徴であり、地震や津波等に耐え得る構造物となること、そして地域を支える社会基盤として長く愛されることを目指し、設計における要求性能設定の基本となる設計コンセプトを以下の言葉で表現した。

東日本大震災の被害を踏まえ、想定外の事象に対しても損傷が制御され、維持管理しやすい橋

(2) 要求性能の設定

設計に先立ち、斜張橋の構造特性、湾内に主塔を設

置する条件および緊急輸送路という本橋の特徴を踏まえた維持管理および想定外事象に対応する要求性能を具体的に整理した要求性能マトリクスを整理し、設計に反映させた。

海上部のP12橋脚は船舶や漂流物が衝突する場合を想定した。鋼部材に直接衝突しない橋脚柱高を設定しRC部材部に衝突を考慮した。

また、レベル1地震時においては橋脚コンクリートのひび割れを許容しない方針として耐久性向上に配慮した。設計荷重については「道路橋示方書」準拠を基本としつつ、想定外の超過外力や不測の事態を考慮した。ケーブル損傷等に対しては、一部の部材が損傷した場合でも補完性または代替性が確保され落橋等に至る致命的な損傷とならないように部材配置(ケーブル本数、落橋防止システム配置等)を検討した。ケーブル交換時においてもクレーン作業等の一時的な全面通行止めは許容するが、1車線分の通行幅を確保できることを要求性能として設定することで維持管理や復旧性に配慮した。

4. 構造形式の選定

(1) 上部構造形式

斜張橋の吊り形式については、建設コストに加え維持管理性(点検箇所数低減・橋梁点検車による主桁下面点検の容易性)等に優れる一面吊り斜張橋を選択し、主塔形式は逆Y形を採用した。

主桁断面は、耐風安定性に効果が確認されている六角形断面のモノボックス構造とし、床版形式は自重軽減を目的に鋼床版を採用した。

支承は、可動支承や分散支承に比べ、地震時の塔頂変位の軽減効果が高く、橋脚基部および主桁の曲げモーメントを30%以上縮減できる機能分離型の水平2方向免震構造を採用した。

(2) 下部構造・基礎構造形式

架橋位置の地層構成は、GL-40 m以深に分布する粘板岩層の上に緩い沖積砂質土層や沖積粘性土層が分布している。海底付近に分布しているAfs(s)層（シルト細砂）は液状化低減係数がゼロであり、その下層のAfs(c)層（砂質シルト）も設計N値としてゼロと判断されるごく軟弱層が分布している。

朝日ふ頭に配置するP11橋脚の基礎工天端は免震支承採用にあたり、地盤との共振リスク軽減を目的に液状化時の影響を受けるAfs(s)層の下に決定した。

海上部に配置するP12橋脚の基礎工天端は、Afs(c)層の津波発生時の洗掘の影響を考慮し、Afs(c)層の下に決定した（図-2）。

橋脚（柱）天端は主塔のアンカーフレームが配置されるため平面寸法が大きくなることから、自重軽減のため中空断面としている。P12橋脚は海中部にあり、中空橋脚にひび割れが発生した場合、中空内部への浸水に対して補修が困難となることから海中部は充実断面とした。

基礎工は荷重規模、経済性、土質条件より、鋼管矢板基礎を採用した。

5. 部材計画

(1) ケーブル配置計画（冗長性確保）

ケーブルは「工場集束型」とし、耐候性の高いポリエチレン被膜を施した平行線ストランドを採用した。

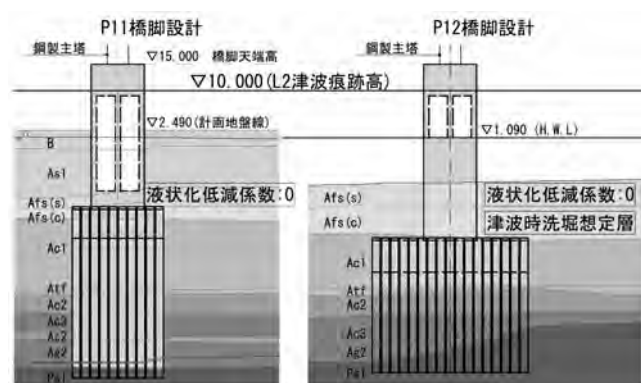


図-2 橋脚計画図

ケーブル段数は、破断時の冗長性を考慮して10段とした。

各ケーブルの間隔は、完成形および架設時の応力状態、主桁1ブロック長や部材搬入口としての荷取りスペース、ケーブル定着部の構造寸法等を考慮し、主桁上は15.0 m、主塔は3.0 mとした。

なお、ケーブルが配置されない中央径間の中央30 m区間は、中央帯を脱着可能な構造とし転回スペースとしている。

ケーブル交換時とケーブル破断時の冗長性を確認するために、構造解析による照査を行った。

ケーブル交換時は、1本のケーブルを外した構造系に片側交通規制想定0.5 Lを載荷したモデルにて、主塔・主桁の応力度は許容値以内であり、ケーブル張力に関しても安全率2.0 (2.5/1.25) を確保でき、要求性能を満足した。

ケーブル破断時は、破断時の衝撃（衝撃係数2.0）を考慮した活荷重の半載荷時の静的リダンダンシー解析と動的リダンダンシー解析を実施し、一番厳しいケーブルの破断時においても、主桁下フランジは安全率1.21で降伏照査を満足し、冗長性があることを確認した。

(2) ケーブル定着構造

(a) 主桁側

ケーブルの定着構造は、一面吊り構造であることから、桁下からの引込み緊張方式と橋面上からの押込み緊張方式を検討し、主桁下面の耐久性に優れケーブル交換時に桁下足場が不要で維持管理性に優れた押込み緊張方式を採用した（図-3）。

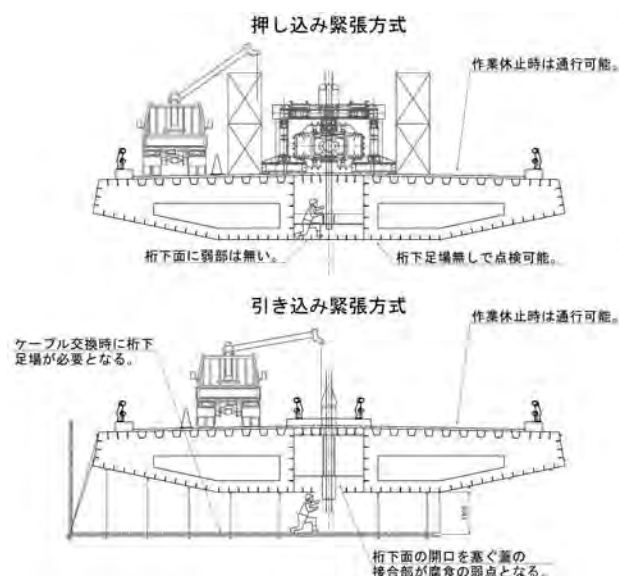
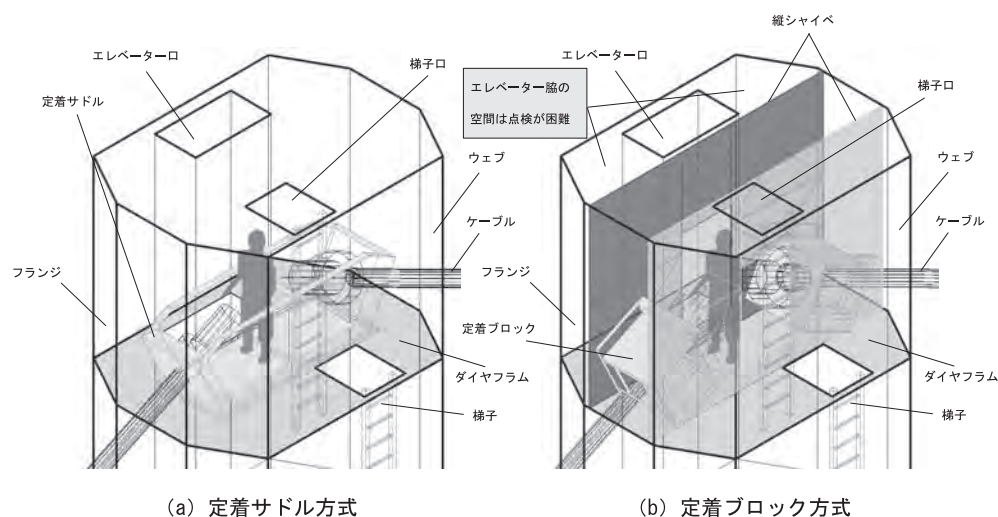


図-3 主桁ケーブル定着検討図



図—4 主塔ケーブル定着検討図

(b) 主塔側

主塔のケーブル定着は、定着サドル、定着ブロック、定着桁の3方式を検討し、鋼重増となるが、構造的、点検の容易性に優れるサドル方式を採用した（図—4）。

(3) 主桁の計画

主桁断面は、風洞実験により桁下面の角度等を設定したうえで、桁内点検時に歩行が容易で鋼床版デッキプレート下面の触指による点検が可能な計画とした。内空高は点検者が容易に通行可能である2.1m程度とした。

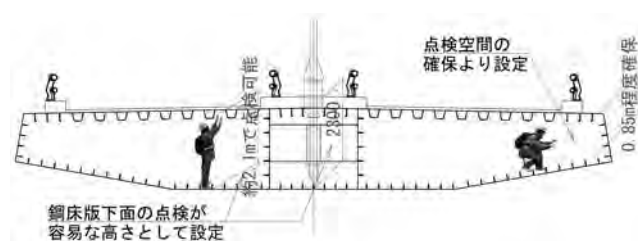
主桁、主塔外周の連結は、ボルト突起等の腐食原因を排除した「全断面現場溶接継手」とし、雨水の浸入等を防止するため、「ノンスカラップ継手」とした（図—5）。

(4) 主塔の計画

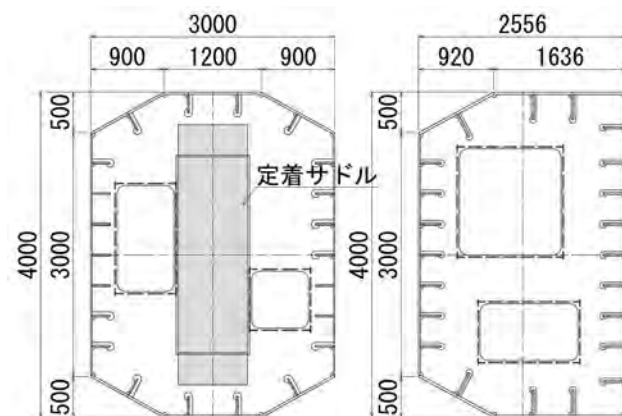
主塔断面形状は、「隅切り（角部を凹ませ全体を十字断面とする）案」と「面取り（角を斜めにカットする）案」の比較検討の結果、耐風安定および景観性に優れる「面取り」案とした（図—6）。

主塔傾斜部ダイヤフラムは、点検時の足場として用いるため、FEM解析にて構造的な課題がないことを確認したうえで水平に配置した。

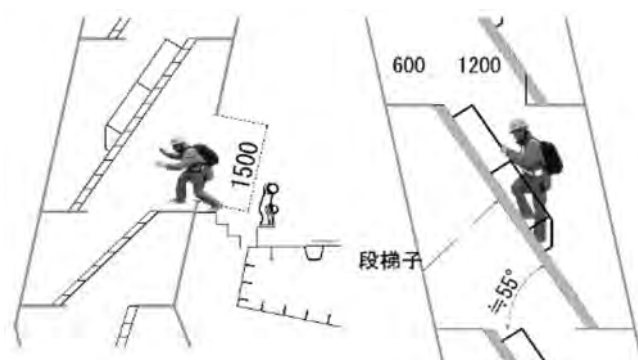
維持管理性の配慮として、EV配置、はしご角度、マンホールサイズ等については計画箇所ごとに維持管理スペースを検証しながら断面寸法や部材配置を行った（図—7）。



図—5 主桁断面検討図



図—6 主塔断面計画図



図—7 維持管理スペース検討

(5) 耐久性向上策

塗装仕様としては C-5 塗装系を基本とし、構造的弱部や耐久性上の弱部として、主桁支承周り、主塔基部、主塔横梁、塔頂部およびフィレット部については「金属溶射（AlMg 溶射）+ C-5 塗装系」を採用した。

足場用吊り金具は常設のピース部が塗膜劣化の弱部となることから、脱着式の吊り金具を採用し耐久性に配慮した。

海上部に設置される P12 橋脚 RC 柱は、エポキシ樹脂鉄筋の採用と必要かぶり厚（純かぶり 90 mm 以上）の確保に加え、表面改質剤を併用し、更なる耐久性向上を図った。

6. 景観検討

本橋は、甚大な津波被害を受けた地域の早期復興のシンボルとして、地域住民からの大きな期待が寄せられていた。その期待にふさわしい存在となるよう、景観検討を実施した。

(1) 主塔および橋脚部のデザイン検討

景観的課題（図—8 左）を踏まえ、主塔デザインの着眼点を以下のように設定した。

I 主塔全体に安定感を与え、また気仙沼地域の象徴となりうる伸びやかなプロポーション

II 自然豊かな風景に調和する優しいフォルム

I について、模型・CG 等の検討資料を用いて検討し、主塔上部の折れ曲がり部に大きな R を入れ連続性を確保。杖柱分岐部に 3 次放物線を導入し面の大きさを低減し全体プロポーションを整えた。

II について、主塔と橋脚の断面形状等を工夫することにより、周辺環境のスケール感と調和し優しい印象のフォルムとすべく、ディテールデザインを行った。

(2) 色彩検討

橋の色彩は、市民アンケートや建設コンセプトとの整合性を基に、低彩度・高明度の候補色を選定した後、色見本を用いた現地確認を経て、地域懇談会において復興の象徴となる白色（マンセル値 N9）に決定した。

(3) ライトアップ検討

夜間景観においても気仙沼湾のシンボルとして美しく視認できるようライトアップ検討を行い、主塔、ケーブル、主桁（主塔近傍）を照射する案とした。

7. 耐震設計

(1) 目標耐震性能および各部材限界状態の設定

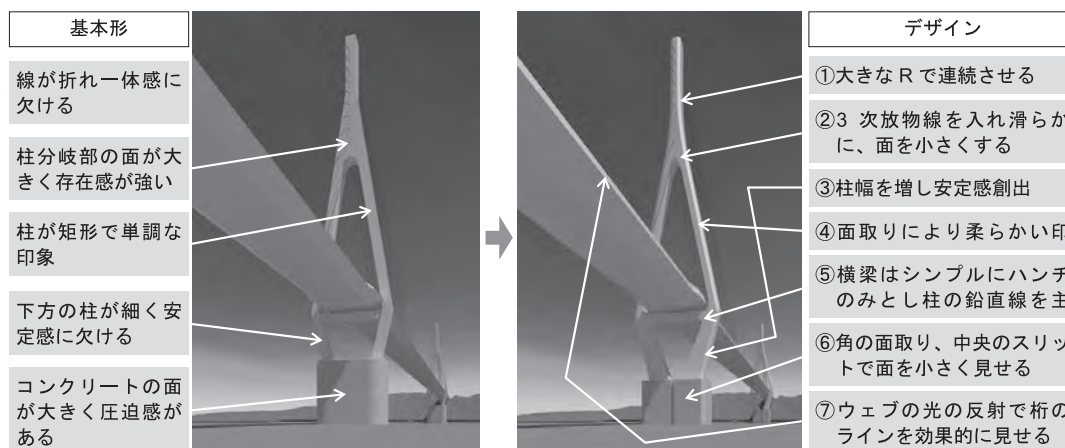
本橋における目標耐震性能は「H24 道路橋示方書」V 耐震設計編に示される各部材の限界状態を踏襲した。

ただし、橋脚の限界状態については、P10～P12 橋脚は海中橋脚もしくは根入れの深い橋脚であり、速やかな修復性を確保するために、「力学的特性が弾性域を超えない状態」をレベル 2 地震時の限界状態とした。

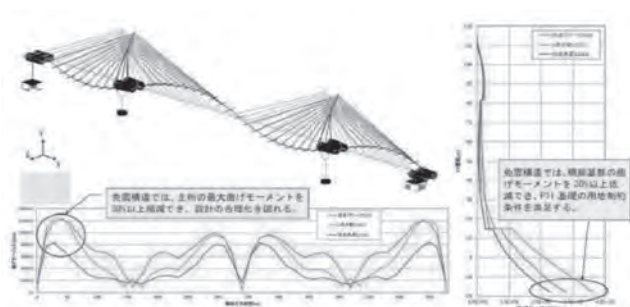
レベル 2 地震に対する橋脚の応答を弾性域にとどめることで、繰返しの大規模余震に対する安全性および緊急輸送路としての供用性も確保されるものである。また、P12 海中橋脚については、津波による局所洗掘時および漂流船舶衝突時の安全性を確保することを目標性能に加えた。

(2) 免震構造の採用

耐震設計上の課題として、P11 基礎は周辺を新設防潮堤や市道に囲まれていて用地制約が厳しいこと、可とう性の高い斜張橋に設計地震波を作用させると主桁の移動量が大きく、端支点部の構造が成立しない。そこで、全支点の橋軸・直角二方向に機能分離型免震支



図—8 主塔・橋脚・主桁デザイン



図—9 免震構造によるレベル2地震時応答の低減効果

承を配置し、主塔・主桁の最大曲げモーメントを固定・可動構造に比べて30%以上縮減させることで、P11基礎の用地制約条件を満足させた(図—9)。

(3) 免震橋と軟弱地盤との共振性の検証

当該地盤には軟弱な粘性土層が厚く堆積しているため、免震橋と軟弱地盤の共振性を検証した。免震橋の周期特性と1次元地盤応答解析(SHAKE)による地盤の周期特性の近接性について検証したうえで、解析ソフト「SoilPlus」を使用した2次元FEM動的相互作用解析を行った。解析ケースは3ケース実施し、Case1は動的相互作用を無視したケース、Case2は動的相互作用を考慮したケース、Case3は地盤の動的特性G-h- γ 曲線として、P11地盤から採取して行った繰返し三軸試験値を用いた場合の3ケースである。解析の結果、共振現象の発生は無く、免震支承の減衰効果を確認した。

8. ダメージコントロール設計

(1) 漸増動的解析(IDA)による鋼製主塔の損傷制御

(a) ダメージコントロール設計概要

本橋はレベル2地震時に弾性状態にとどめる設計と

しており、一般的な道路橋以上の耐震性能を確保している。しかしながら、設計想定からのわずかな地震動スペクトル特性の相違により、橋梁の各部が脆性的な破壊に至らないとは限らない。そこで、想定される弱部の破壊形態を分析して、経済的合理性を失わない範囲で構造の見直しを行い、レベル2地震を超える想定外地震に対してもねばり強く、かつ維持管理が容易な構造とした。本報告では、以上をダメージコントロール設計と呼ぶ(図—10)。

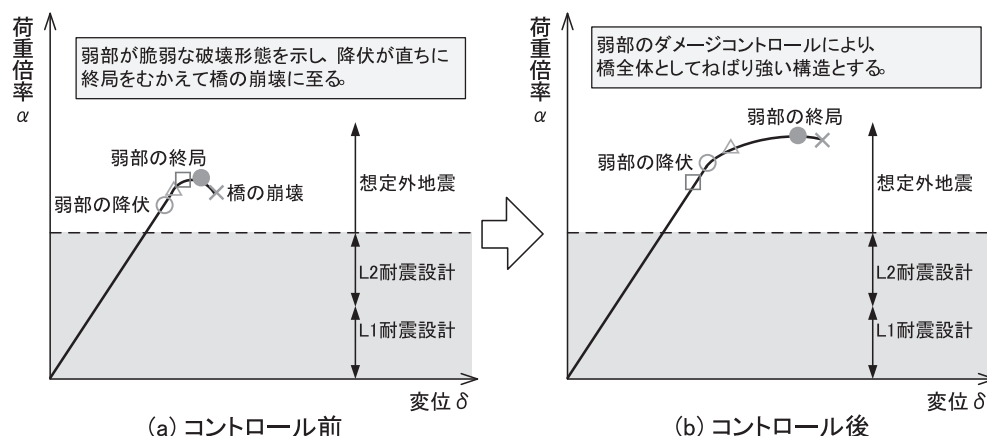
(b) 橋全体系のダメージコントロール設計

レベル2地震を超える具体の地震強度を設定した定量的な設計照査は困難であるため、加速度波形を倍率変化(ScaleFactor, SF)させ、パラメトリックに地震応答を解析する「漸増動的解析(Incremental Dynamic Analysis, IDA)」により、脆性的な破壊に至る弱部の把握、余剰耐力および対策後の効果の検証を解析ソフト「SeanFEM」により行った。

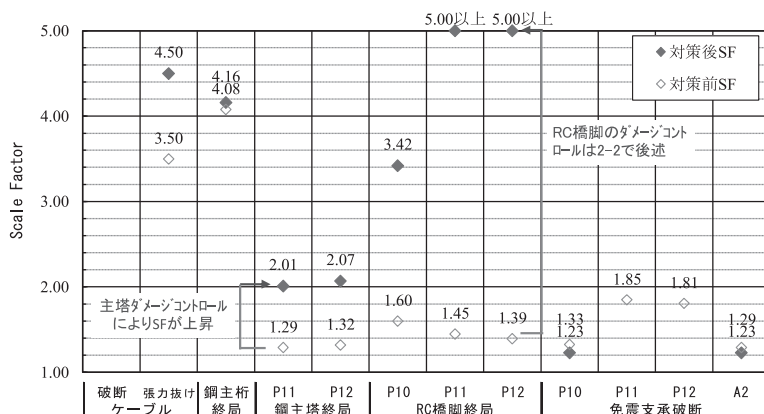
橋軸直角方向加振時のIDA解析の結果(図—11)、SF=1.29~1.32にて主桁が主塔の柱に衝突することにより、主塔下部の柱が終局に至ることがわかった。SF=1.29~1.85で免震支承のひずみが300%を超過し破断するが、別途鉛直支承を有する機能分離型支承を採用しており、免震支承の破断後も鉛直荷重を支持できるため、崩壊に繋がる可能性は低いと考えられる。

これらの対策として、横梁上の主桁側に緩衝装置を設置し、衝突力は支承台座を介して横梁が受けるものとした(図—12)。

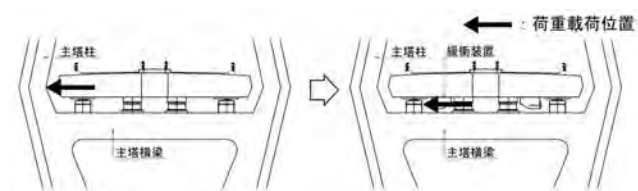
対策後は、横梁が損傷した後に下柱の圧壊に至る破壊順序となり、SF=2において終局に至る結果となった。レベル2地震の2倍程度まで余剰耐力を有しており、ダメージコントロールの効果が確認された。対策後の鋼部材終局時のSFコンター図を図—13に示す。



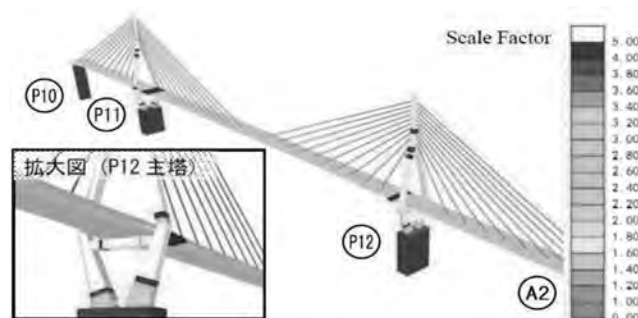
図—10 ダメージコントロール設計のイメージ



図一 11 橋軸直角方向 IDA 解析による各部材損傷時の SF 値



図一 12 主塔のダメージコントロール



図一 13 鋼部材終局時の SF コンター図 (対策後)

(2) 主塔 RC 橋脚のダメージコントロール設計

(a) 主塔 RC 橋脚のダメージコントロール設計方針

レベル 1 およびレベル 2 地震に対するひび割れを制御することで被災後の耐久性の向上を目指した。レベル 2 地震を超える想定外地震時にも脆性的な破壊形態とならないようねばり強い構造とし、さらに、船舶衝突時の安全性を確認した。

(b) レベル 2 地震時に対する 2 次元 FEM プッシュオーバー解析

レベル 1 地震時には発生断面力がひび割れ耐力以下となることを確認したうえで、レベル 2 地震時に対する検討では、2 次元 FEM モデルによるプッシュオーバー解析を行い、レベル 2 地震時の水平力作用時におけるひび割れ状態を確認した。

P12 橋脚の中空断面部には斜めせん断ひび割れが広範囲に発生する。中空断面を充実断面に変更すること

でレベル 2 地震時の橋脚天端の変位が大きく減少し、海中部は柱基部に曲げひび割れが発生するものの、中空部に発生していた斜めせん断ひび割れは低減される。

(c) 想定外地震時に対するダメージコントロール設計

想定外地震時には、主塔 RC 橋脚は $SF = 1.39 \sim 1.45$ にて中空部のせん断破壊により終局に至るため、橋軸直角方向に隔壁を追加し、せん断補強鉄筋を 3 段配置することで曲げ破壊先行型となるように断面を決定した。対策後は $SF = 5$ でも終局に至らない結果となり、余剰耐力が大きく向上することを確認した。

(d) 船舶衝突に対する FEM 解析

船舶衝突のケースとしては、常時水深 (HWL) で既往最大船舶が衝突するケース、および津波時水深で湾内に停泊している船舶が衝突するケースを想定した。船舶衝突力として、船首が圧壊した際の船首圧壊力を作用させた FEM 解析を実施したが、前述までの対策により、橋脚の耐力が大きく向上しており、船舶衝突時においても橋脚部は弾性範囲内となった。

9. 耐風設計

(1) 架橋地点の風環境

過去の風観測データより、現地の 100 年再現期待値を基にした基本風速は 26.5 m/s 程度であるが、既往長大橋における設定事例も参考としたうえで、安全側となる「道路橋耐風設計便覧」値 42.3 m/s を採用した。

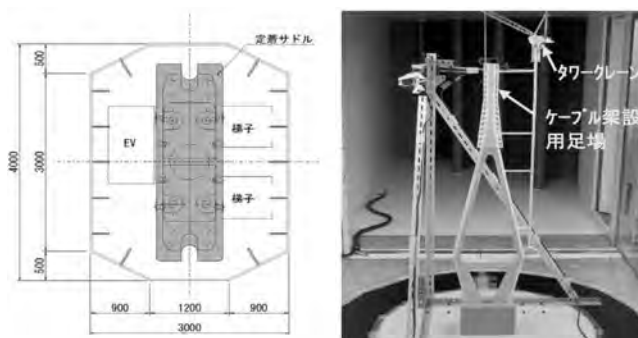
(2) 主桁完成時の風洞実験

桁形状は、主桁は剥離干渉法を適用した桁断面 (図 5) に対して風洞試験を行った (写真 3)。

ばね支持試験の結果、設定した基本断面で発散振動は生じず、たわみ渦励振、ねじれ渦励振の発現振幅は許容振幅を下回っており、耐風安定性を満足した。



写真一3 主桁ばね支持試験



図一14 主塔面取り断面と風洞模型

(3) 主塔架設時の風洞実験

主塔は単独構築時が最も不安定となるため、風洞実験による照査を行った（図一14）。主塔断面にも剥離干渉法を適用し、角部を「面取り」、「隅切り」とする断面を比較検討した。

実験の結果、面外振動の耐風安定性は隅切り断面よりやや劣るものの、架設時の一時的な過励振であり、足場を設置することで許容振幅以内に収まることから、完成後の維持管理性、景観性を重視して「面取り断面」を採用した。

(4) ケーブル制振対策

ケーブルにおける制振対策は、空力対策を施し潜在的に耐風安定性を高めることが重要であり、空力対策と減衰付加対策を併用して相互効果を図る方針とした。空力対策では、ケーブル本体の疲労耐久性や橋の供用性に影響を与えるような有害な振動現象（渦振、レインバイブレーション、ドライギャロッピング）に効果のある対策を要求性能とした。

減衰付加対策として、高減衰ゴムを全ケーブルの桁側ケーブルカバー内に設置し、1ケーブルあたり高減衰ゴムを3個設置することで、ケーブル変形に伴うゴム体の局所ひずみを防ぐ方針とした。

10. 施工計画

(1) 鋼管矢板基礎の工法決定

橋脚の鋼管矢板基礎の支持層は粘板岩（Psl）の非

常に硬い岩であり、油圧ハンマによる打設が不可能であるため、補助工法を必要とした。

使用する鋼管矢板は径 1,500 mm、長さ 47.5 m と大口径かつ長尺なものであった。転石混じりの砂礫層を打ち抜き、支持層である粘板岩に確実に根入れさせることが課題であり、実施工では鋼管矢板基礎として施工実績の少ない先行掘削（砂置換）+打込み工法が採用された。また、砂置換された中に鋼管矢板を打設するという特殊な地盤条件であったため、鉛直支持力の確認を目的として衝撃載荷試験を実施し、設計の要求事項が確認されている。

(2) 鋼管矢板井筒内の支保工のトラス化

橋脚の鋼管矢板井筒内は支保工としての切梁が密に配置される。

P12 橋脚基礎は塩害環境下にさらされる重要構造物であり、長期耐久性の確保が重要課題であった。コンクリート配合・施工方法を工夫する一方、躯体内を貫通する支保工材は橋脚の耐久性に対して大きなリスクであった。これらを解決するために実施工では支保工をトラス化し、躯体を貫通する支保工材をゼロにした。同時にトラス化した支保工を一括施工することで、工期短縮が図られている。

11. 架設計画

(1) 海上部架設条件

主桁、主塔ブロックの輸送は海上輸送を前提とした。朝日ふ頭は使用船舶の停泊地として利用することができ、上部工架設時の必要航路幅 190 m（5000DWT 級貨物船に対するビジュアル操船シミュレーション結果より設定）を条件とし架設計画を行った。

(2) 主塔架設計画

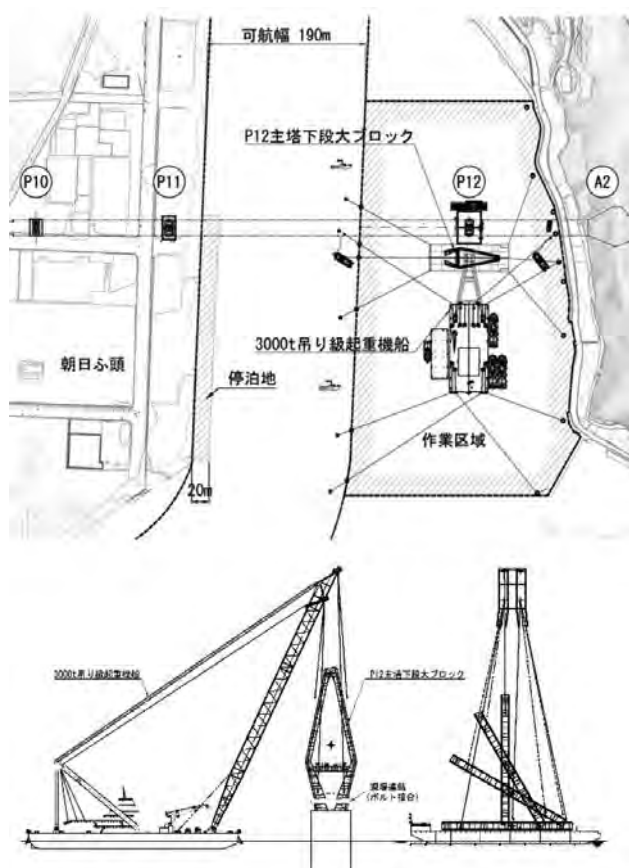
P11 主塔は、750 t クローラクレーンを用いた単ブロック架設とした。

海上部の P12 主塔は、海上起重機船（FC）を主塔正面に配置すると航路幅が確保できないため、主塔大ブロックを上下に分割し、3000 t 吊り級 FC を用いた側面建て起こしによる大ブロック架設とした（図一15）。

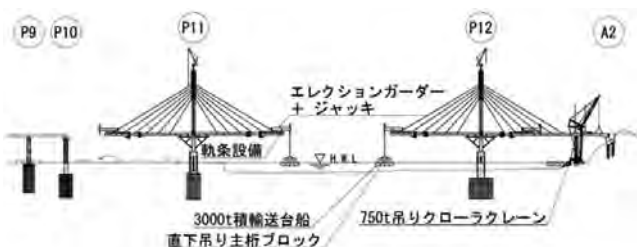
実施工においても同工法を採用して架設されている。

(3) 主桁バランシング架設計画

主桁の架設は工期、経済性から、P11 および P12 主塔から左右に張出し架設するバランシング架設工法を



図一 15 P12主塔下段大ブロック架設



図一 16 主桁架設概要

採用した。A2 橋台手前の張出し桁先端への主桁ブロックの移動が困難な区間は、750tクローラークレーンを用いたクレーンベント架設とした（図一 16）。

主桁バランシング架設時の解体計算を行い、架設ステップごとの主桁および主塔の断面照査を実施し、架設時が断面決定ケースとはならないことを確認した。

(4) 主桁バランシング架設時の風洞実験

主桁バランシング架設時（最大張出し時）を想定した3次元弾性模型風洞実験により耐風安定性を満足することを確認した。ただし、斜ベント等の架設機材を外した場合に、主桁の水平変位が増大することから、張出し桁が端支点に到達するまでは、斜ベントによる拘束効果を見込むように、斜ベント本体および斜ベント上に設置するストッパーの設計を行った。

実際の架設工事においても斜ベントによる拘束を考慮するように施工され、作業中止となるような有害な風振動は発生しなかった。

12. おわりに

本稿では気仙沼湾斜張橋における設計コンセプトや維持管理復旧性に関する要求性能を設計に取り入れた手法と耐震設計、耐風設計、架設計画について報告した。要求性能の抽出や橋梁計画方針、危機耐性向上策の取組み等が今後の橋梁設計の参考になれば幸いである。

J C M A

【筆者紹介】

向田 昇（むかいだ のぼる）
大日本ダイヤコンサルタント(株)
技術本部
理事



特集>>> 橋梁

高速道路橋として日本最長の PC 箱桁橋「吉野川サンライズ大橋」が開通

四国横断自動車道 吉野川大橋工事

中 谷 隆 行・山 口 統 央・横 山 由 宏

吉野川サンライズ大橋は徳島県を東西に流れる一級河川吉野川の河口に建設された PC 箱桁橋であり、橋長 1,696.5 m は高速道路橋としては日本最長の長大橋である。本橋建設工事においては上部工にプレキャストセグメントによる張出し架設工法が採用された。同工法としては最大支間長 130 m も日本最長である。現場付近の製作ヤードで合計 490 個のプレキャストセグメントを製作し、架設には様々な制約条件から 2 種類の施工方法を採用して全てのセグメント架設を行った。本橋は 2022 年 3 月 21 日に開通・供用開始となった。

キーワード：橋梁、プレキャストセグメント、製作ヤード、張出し架設、架設桁、エレクションノーズ

1. はじめに

吉野川サンライズ大橋は、徳島南部自動車道のうち徳島 JCT の南方 3 km に位置し、吉野川の河口に建設された橋長 1,696.5 m の PC15 径間連続箱桁橋である（写真—1）。

本橋の基本計画は、鳥類の飛翔と河川流況を阻害しない最大支間長 130 m の桁橋形式で、施工においては工程短縮と施工の合理化の観点からプレキャストセグメント（以下、セグメントとする）を用いた張出し架設工法で行った。また吉野川の河口部である本橋の架橋位置付近には港湾施設が無いため防波堤がなく、架設地点においても外洋の影響を直接受ける環境であった。

セグメント製作では、断面形状が変化するセグメントを製作するための設備をもつ製作ヤードを整備し

た。セグメント架設では、河川内の施工と様々な制約から架設桁とエレクションノーズを使用した 2 種類の架設方法で施工を行った。

本報告では、セグメントの製作とその架設方法について報告する。

2. 工事概要

工 事 名：四国横断自動車道 吉野川大橋工事
四国横断自動車道 吉野川大橋（その 2）
工事

発 注 者：西日本高速道路(株) 四国支社

工事場所：徳島県徳島市川内町旭野～東沖洲

工 期：2016(H28).2.3～2022(R4).7.12

構造型式：PC15 径間連続箱桁橋

支 間 長：94.4 + 11 @ 130.0 + 78.0 + 45.0 + 43.9 m

橋 長：1,696.5 m

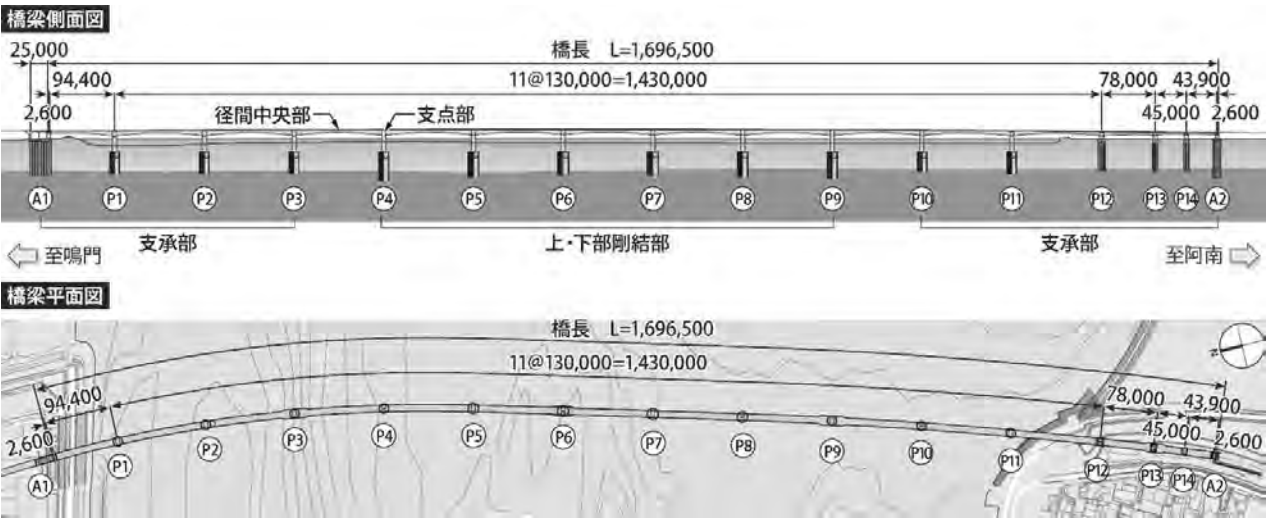
平面線形：R=2,000～A=700～R=∞～R=7,000

3. セグメント製作

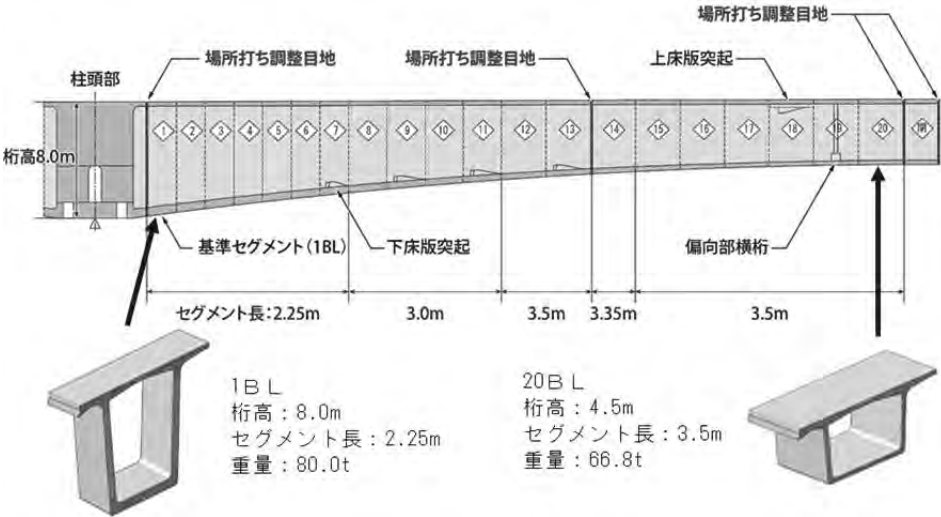
橋梁一般図を図—1、セグメント形状を図—2に示す。セグメント重量が 100 t を超えないようにブロック割を調整した。また製作において型枠等の設備をできるだけ統一することが工程短縮に繋がることから、桁高を 4.5～8.0 m、ブロック割を各径間 40 BL + 閉合部（計 41 セグメント）、セグメント長を 2.25 m、3.0 m、3.5 m の 3 種類に統一した。



写真—1 吉野川サンライズ大橋



図一 橋梁一般図



図二 セグメント形状

表一 セグメント製作ヤードの主要設備

設備名称	第1 製作ヤード	第2 製作ヤード	役割
100t吊橋形クレーン	1基	1基	セグメント運搬
15t吊橋形クレーン	2基	2基	資機材揚重・運搬
製作台	3基	2基	セグメント製作
上屋設備	3基	2基	雨天養生
測量塔	2基	2基	製作時の測量
鉄筋先組架台	3基	2基	鉄筋先組
仮置き架台	126個 仮置き可	163個 仮置き可	セグメント仮置き
出来形管理架台	3基	2基	セグメント出来形計測

各セグメントは概ね5～7日サイクルで製作を行い、1張出しの20BLは約5カ月で製作した。コンクリート品質および出来形においても大きなトラブルなく高精度に製作することができた。

(1) セグメント製作ヤード

セグメント製作ヤードは後述する2種類の架設方法に応じて製作ヤードを2箇所に分けて配置した。各ヤードにおける主要設備の名称、役割、数量を表一に示す。

(a) 第1製作ヤード

第1製作ヤードは全長約470mの直線形状で、本橋背面の本線盛土に隣接している。製作設備（製作台、鉄筋先組架台、出来形管理架台）で製作したセグメントは一旦仮置き架台に運搬し、出荷時期まで保管する。その後ヤード先端の750t吊クローラークレーンまで運搬して本線盛土上の運搬台車に載せて出荷する。運搬台車は盛土上および橋面上を走行し、後述の架設後方まで陸送する（写真—2）。

ヤードの地盤条件から、製作設備が中央、仮置き架台がヤード端、750t吊クローラークレーンが反対側の端というレイアウトとしたため、セグメントは製作～仮置き～出荷の過程で製作設備の脇を2度通過させる必要がある。

(b) 第2製作ヤード

第2製作ヤードは台船を用いてセグメントを出荷するため、架設地点から約5km離れた港湾施設跡地を使用した（写真—3）。敷地は四角型の形状であり中央に公道（港湾内道路）を跨いだ配置である。

製作したセグメントは公道を横断して仮置き架台に仮置きし、岸壁に配置した750t吊クローラークレーンで台船に積み込み出荷する。そのためセグメント運搬設備は敷地内に縦横に敷設した軌条を走行可能な仕様が



写真—2 第1製作ヤード



写真—3 第2製作ヤード

求められた。

(2) 橋形クレーン

セグメント製作ヤード内の揚重設備として、完成したセグメント運搬用と、セグメント構築用の2種類の橋形クレーンを設置した。前者はセグメント運搬専用として、最大重量である100tを定格荷重とした。フックは無く、専用の吊り治具を装備している（写真—4）。後者は後述の鉄筋先組架台で構築した鉄筋ユニットを吊上げられるよう15tを定格荷重としている。また、その他の雑揚重の作業性を考慮し2.8t吊の補巻きウィンチも装備している（写真—5）。

またセグメント運搬用100t吊橋形クレーンは、第1および第2製作ヤードの各課題に対応させるため、それぞれに以下の機能を追加した。

(a) 第1製作ヤード

運搬するセグメントが必要最小限の離隔で製作設備を通過できるようにするため、吊り治具に回転・固定できる機能を設けた。この工夫によりクレーンをでき



写真—4 100t吊橋形クレーン



写真—5 15t吊橋形クレーン

る限り小さくし、クレーン本体および基礎構造の合理化を図った（写真—6）。

(b) 第2製作ヤード

走行装置に旋回機能を持たせたボギー旋回式橋形クレーンを採用した。走行路の交差点(クロスポイント)にて車輪に併設した油圧ジャッキでジャッキアップすることで走行車輪を浮かせて向きを変える（写真—7）。これによって走行方向を90°転換できる仕様とした。

(3) 鉄筋先組架台

セグメント製作に鉄筋先組工法を採用しており、鉄筋先組架台で鉄筋組立を行った。下床版架台はチェーンブロックで支持し、桁高変化および下床版の勾配変化に応じて高さを調整できる仕様とした。上床版および張出部は躯体形状に合わせた受架台を設置した。鉄筋先組架台で組み立てた鉄筋ユニットを製作台に直接吊り込むことでサイクル工程の短縮を図った（写真—8）。

(4) 製作台

製作台は、主にバルクヘッド端版、側枠、内枠および底版で構成される型枠設備である。側枠以外は各部

材の組替により、変化する断面形状に対応する構造とした。この製作台に鉄筋先組架台で組んだ鉄筋ユニットを吊り込み、コンクリート打込みを行った。外周には雨天時や冬期の保温養生および機械設備の保守養生を目的として開閉式の大形テントである上屋設備を設置した（写真—9）。

(5) 出来形管理架台

出来形管理架台は、製作したセグメントが仮置きできる架台と、その周囲に作業足場を配置した設備である。ここで「架設線形予測システム」による計測を行



写真—6 セグメント運搬状況



写真—7 走行車輪旋回状況



写真—8 鉄筋先組架台



写真—9 セグメント製作台, 上屋設備



写真—10 デジタルカメラによる計測状況

う。本システムはセグメント形状の3次元座標を簡易にかつ正確に計測できるデジタルカメラ（誤差0.5mm以内）により、3次元で全体形状を高精度に計測することでセグメント接合面の形状を適切に把握し、張出架設時の架設線形を予測するものである（写真—10）。

4. セグメント架設

P5～P12張出しは周辺海域の水深が浅く海象条件の影響を受け易いことから、第1製作ヤードでセグメントを製作し、そのまま海上運搬を経由せず運搬可能な架設桁架設を採用した。一方でP1～P4張出しは周辺海域の水深が深く、比較的海象条件の影響を受けにくい。また平面の曲率半径が小さいことで架設桁の移動難易度が高くなることから架設桁架設は採用せず、第2製作ヤードで製作したセグメントを海上運搬するエレクションノーズ架設を採用した（写真—11）。

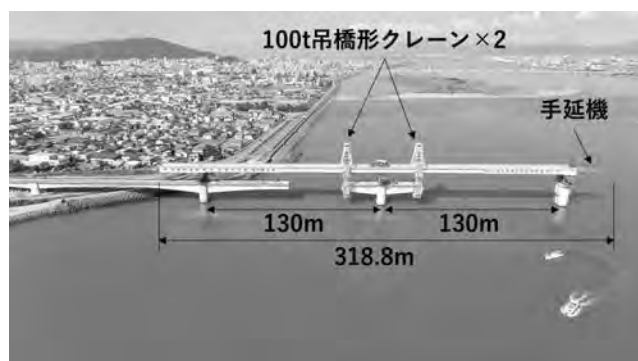
(1) 架設桁架設

(a) 架設桁

架設桁は送り出す桁の先端に24mの手延機を取付けた全長318.8mの鋼桁である。架設桁上に設置した100t吊橋形クレーン2機を用いてセグメントを架設する（写真—12）。架設桁後方に陸送したセグメントを橋形クレーンでつり上げて架設位置まで運搬し架設する（写真—13、14）。架設桁は2径間で構成され、柱頭部



写真—11 セグメント架設



写真—12 架設桁全景

上に設けた脚上設備によって支持されている。1径間の張出し架設が終われば架設桁を次の橋脚へ送り出す。

(b) 運搬台車

第1製作ヤードで製作したセグメントはA2側背面の本線盛土上に運搬し、そこから運搬台車を用いて架設桁後方につける。運搬中の転倒防止およびフェールセーフとして、鋼材による保護およびベルトスリングによる固縛を行った。また、走行速度は安全性を考慮して8.0～12.0m/分に調整した（写真—15）。



写真—13 セグメント吊上げ状況



写真—14 セグメント架設状況



写真—15 セグメント運搬台車

(2) エレクションノーズ架設

(a) エレクションノーズ

エレクションノーズの構造は場所打ちの張出し架設に用いる移動作業車(ワーゲン)と同様にメインジャッキ、アンカージャッキを装備したトラス構造(上部フレーム)の上にセグメント架設クレーンを搭載したものである(写真—16)。上部フレームには移動用レールおよびジャッキが装備されており、セグメント1個(または2個)架設を行ったのちにジャッキ操作により架設したセグメント上に前進をすることにより張出架設を施工する。

(b) 運搬台船

セグメント運搬用の台船は船の動揺の影響を考慮して1,000t積台船を採用した。また、台船上に固定装置の設置および控えワイヤーを設置することで、海上運搬中の転倒防止とした。

架設海域に到着したセグメントを吊上げる際に、運搬台船の動揺によりセグメントと衝突するリスクを避けるため、固定装置は片面のみの配置として吊上げ後

台船が退避しやすい構造とした。セグメントのPC緊張用シース孔にPC鋼棒を差し込み固定装置と接続し緊張して一体化した(写真—17)。

(3) セグメント架設実績

架設桁架設においては、工程短縮を目指した昼夜2交代の架設により、1日4BL架設を行った。1張出し架設が約20日の実績で、次張出し施工に向けた架設桁の送出しで約1カ月かかることから、延べ2カ月弱で1張出しの施工が完了した。

エレクションノーズ架設においては、セグメントを海上運搬する際に荒天等による稼働率低下も影響し、1張出し架設が約2～3カ月とエレクションノーズ移設に約1カ月の延べ3～4カ月で1張出しの施工が完了した。

また、前述の写真計測による架設線形予測の効果もあり、各閉合を問題なく行うことができた。

5. おわりに

本工事は厳しい海象条件等の施工環境の中で工程短縮が求められており、従来と同様の方法では施工不可能な様々な課題があったが、社内外から知恵を頂き、創意工夫によって一つずつ課題を解決することにより竣工を迎えることができた。本稿が類似工事の一助になれば幸いである。

J C M A



写真—16 エレクションノーズ



写真—17 台船上セグメント固縛状況

【筆者紹介】

中谷 隆行 (なかに たかゆき)
西日本高速道路㈱
四国支社 徳島工事事務所 工務課
工務課長



山口 統央 (やまぐち つねひさ)
鹿島建設㈱
土木設計本部 構造設計部 橋梁・インフラ更新 Gr
グループ長



横山 由宏 (よこやま よしひろ)
鹿島建設㈱
横浜支店 河内川橋 JV 工事事務所
工事課長



4,500 t の新設橋をスライド， 5 年半かけて準備した一括架け替え

濱 野 康 平

多摩川にかかる首都高速 1 号線の高速大師橋は、1968 年 11 月の開通から 50 年以上が経過し、1 日約 8 万台もの自動車交通による過酷な使用状況などから、橋梁全体に 1,200 か所以上の疲労き裂が発生していたため、構造物の長期的な安全性を確保する観点から疲労損傷が発生しにくく、長期の耐久性と維持管理性を備えた構造の橋梁へ更新した。更新工事は、既設橋の下流側に新設橋を架設し、照明柱・高欄・基層舗装等を可能な限り施工した後、既設橋と新設橋を上流側にスライドさせる横取り一括架設工法を採用し、2 週間の通行止め期間で重さ約 4,500 t（附属物等を含む）、長さ約 300 m の橋梁を一挙に架け替えた。

キーワード：維持管理、景観、強度向上、短時間施工

1. はじめに

首都高速道路は、1962 年 12 月に高速 1 号羽田線京橋～芝浦間の 4.5 km が開通し、2023 年 8 月現在の路線延長は 327.2 km に達している。東京都と神奈川県の間である多摩川を渡る高速 1 号羽田線の高速大師橋は 1968 年 11 月に供用されて 50 年以上が経過している。多くの自動車交通による過酷な使用状況などにより、橋梁全体に多数の疲労き裂が発生しており、都度、点検、補修・補強を繰り返していたが、疲労き裂の発生が後を絶たないため、構造物の長期的な安全性を確保する観点から、多摩川を渡河する地点に架かる延長約 300 m の 3 径間連続鋼床版桁橋の架け替え（更新）を実施した。また、新設橋の車道部には開断面リブを、横構（横桁）と主桁ウェブの接合は全断面溶接に改めフィレット構造を採用することで、疲労き裂が発生しにくい構造とした。また、新設橋は、最新の設計基準を適用しており、現況より橋桁の自重が増加するが、それに併せ橋脚も造り替え、河川内の橋脚は T 型 RC 単柱橋脚から鋼 -RC 複合門型橋脚に構造を変更した。

2. 全体施工概要

一般的な橋梁の架け替えは数年を要するが、通行止めによる社会的影響を考慮し、新設橋の大部分を事前に完成させた状態で架け替えを行うことで通行止めを 2 週間に短縮する計画とした。本工事の全体施工ス

テップ図を図 1 に示す。

Step1 として、供用中の既設橋付近の河川内で新設橋脚の構築、バント設備の設置を行った。河川内新設橋脚は鋼管矢板井筒基礎工法により施工した。バント

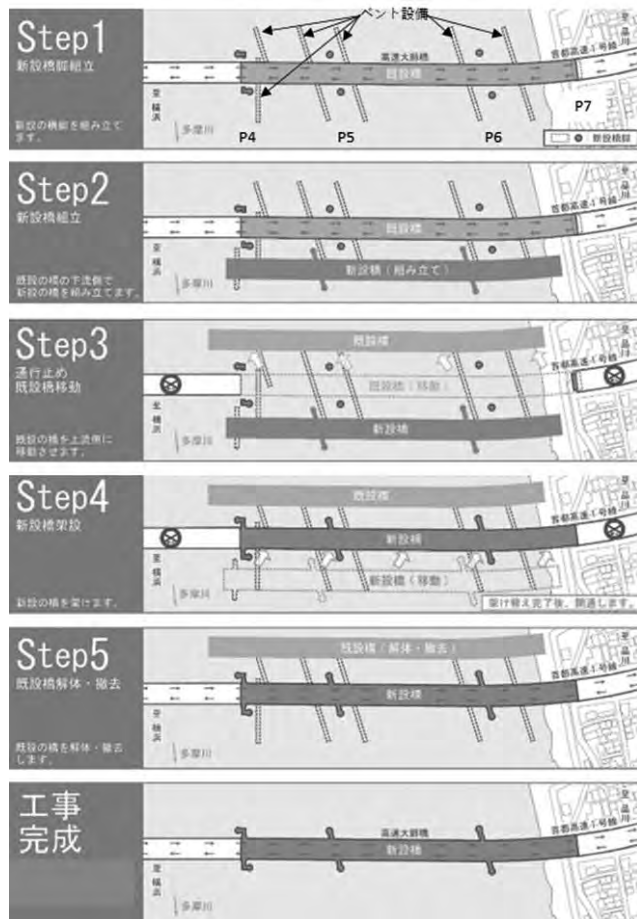


図 1 本工事の全体施工ステップ図

設備は、桁の横取り架設に必要な位置に鋼管杭を打設し、その直上に架設桁を設置する構造である。

次に Step2 として、下流側に設置されたベント設備上で新設桁の組み立てを実施した。河川内のベント設備は工事期間中の河積阻害率を低下させるため、最小限の配置とし、P4-P5 間と P5-P6 間は大ブロックの状態ベント設備上へ 2022 年 4 月と 5 月にそれぞれ台船一括架設を実施した。また、P6-P7 間については、トラベラークレーン工法により、2022 年 6 月から 10 月にかけて新設桁の組み立てを実施した。その後、通行止め期間中の作業量を極力減らすために、新設桁上で、照明設備の配線や照明柱の設置、壁高欄、標識柱の設置、舗装の一部等を可能な限り施工した。

そして、Step3～4 において 2023 年 5 月 27 日から 6 月 10 日にかけて高速本線を 2 週間通行止めにし、高速大師橋の架け替え工事を実施した。架け替え方法は横取り一括架設を採用した。架け替えに伴う横取り工、その他、橋脚の接合や舗装等の橋面工、各種検査等を行った後に、交通開放し、生まれ変わった高速大師橋が供用した。

Step5 では、既設橋脚や既設桁、河川内のベント設備等を撤去するとともに、恒久足場の設置等を実施し、工事の完成となる。

3. 新設橋の組み立て

全体施工ステップの Step2 における下流側での新設橋の組み立ては主に台船リフトアップ架設とトラベラークレーン架設を併用した。

河川上の 2 径間（P4-P6 間）は、横浜ヤードにて地組立した長さ約 132 m、重さ約 1,900 t の P5-P6 間のブロックを 2022 年 4 月に、有明ヤードにて地組立した長さ約 82 m、重さ約 1,300 t の P4-P5 間のブロックを 5 月にそれぞれ浜出し、曳航および現地で台船リフトアップ架設を行った（写真—1, 2）。その後、P4-P6 間の新設桁上にトラベラークレーンを組み立て、P6-P7 間の桁架設、現場溶接等を行い 2022 年 10 月に新設桁の組み立てが完了した（写真—3）。

新設桁の組み立てが完了した後、通行止め期間を極力短くするため、通行止め前に以下の施工を行った。

- ・壁高欄、中央分離帯（伸縮装置周辺を除く）
- ・基層ゲースアスファルト舗装（伸縮装置周辺を除く）
- ・照明柱、電力・通信ケーブル
- ・標識柱および標識 等



写真—1 大ブロック浜出し



写真—2 大ブロック曳航



写真—3 トラベラークレーン架設

4. 高速本線通行止めを伴う横取り一括架設

前述のとおり、高速本線を通行止めし、橋桁の横取り一括架設を実施した。通行止め直前の高速大師橋を写真—4に示す。通行止め期間は2023年5月27日(土)から2023年6月10日(土)の2週間であり、通行止め範囲は、高速1号羽田線平和島出入口・東海ジャンクションから高速神奈川1号横羽線大師出入口である。横取り架設計画図を図—2に示す。

新設橋の横取り設備盛替えでは、既設橋台車のPC鋼線を解放してウィンチで引き戻し新設橋台車に固定し直す等の作業を行った。既設橋の横取りではベントに沿った方向(河川の流れ方向)の移動のみであったが、新設橋の横取りでは、新設橋と周辺の建物が干渉しないよう、ベントに対し斜め方向に移動する必要があるため、ベント直角方向も加えた2方向のジャッキを用いて横取りした。基本的にベントに沿った方向の横取り設備は既設橋と同じであるが、ベント直角方向は新設橋に設置したテーパ架台にクランプで固定したH鋼クランプジャッキを介して、クレビスジャッキの押し引きによって移動させた。横取り後は桁端部材の架設、ジャッキダウン、桁位置調整を実施した。

あるため、ベント直角方向も加えた2方向のジャッキを用いて横取りした。基本的にベントに沿った方向の横取り設備は既設橋と同じであるが、ベント直角方向は新設橋に設置したテーパ架台にクランプで固定したH鋼クランプジャッキを介して、クレビスジャッキの押し引きによって移動させた。横取り後は桁端部材の架設、ジャッキダウン、桁位置調整を実施した。

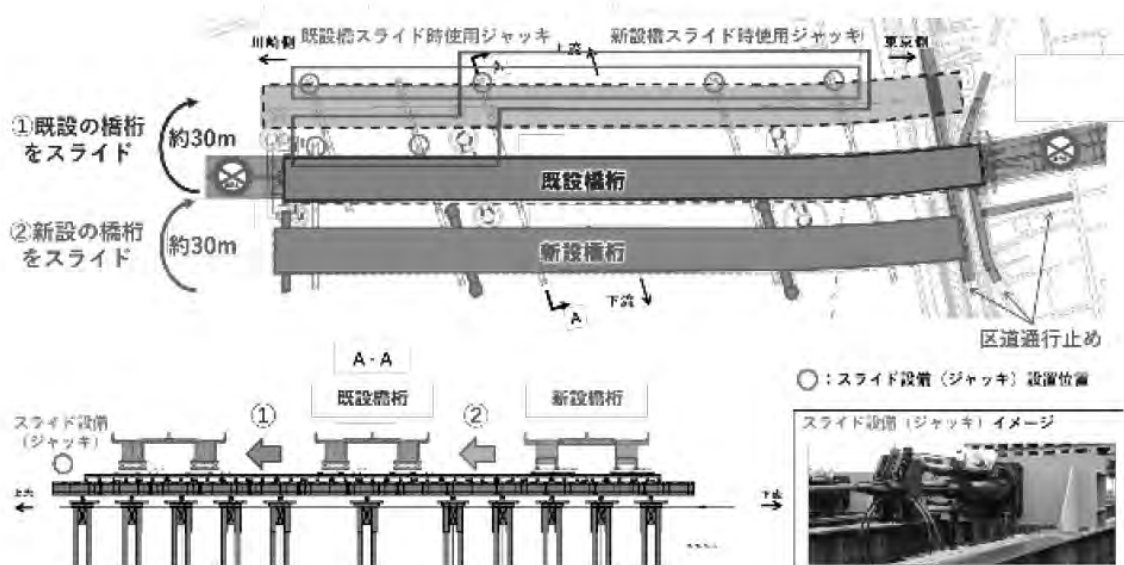
今回の新設橋の横取りは2種類の横取り装置(ダブルツイインジャッキ・クレビスジャッキ)を組み合わせた使用となり、施工の確実性・安全性を確認するため、実際のジャッキを用いた施工試験を事前に行い施工性を確認した。

横取り後は位置調整完了の上、中間支点であるP5、P6橋脚において、予め河川内に施工していた新設橋脚と新設橋に取り付けられた柱の上端部を溶接した。溶接箇所では、上側の板厚を70mm、下側の板厚を95mmにし、この板厚差で横取り時における施工誤差を吸収した。2週間で架け替えを遅延なく終えるため、雨天の場合には作業が困難である溶接作業も予定通り実施できるよう、新設橋脚上に風防設備を設置して確実な工程管理を実施した。

通行止め期間中、台風の影響により一時作業中止となったが、前後の工程管理を確実に実施することで、通行止め中に予定していた全ての工事を無事に完了することができた(写真—5)。



写真—4 集中工事直前の高速大師橋



図—2 横取り架設計画図



写真—5 完成写真

5. おわりに

安全確認等，開通に必要な検査や手続きを経て，6月10日に交通開放した。

本工事は2週間という限られた時間の中で既設橋の撤去・新設橋の架設を無事に施工することができた。これは本工事の関係者が高速大師橋架け替え工事に真摯に向き合い議論を重ねてきたからこそである。本誌

面をお借りして厚く御礼申し上げる。

今後の高速大師橋更新工事では，横取りに使用したベント設備や既設橋，既設橋脚を撤去するとともに，恒久足場の取り付け等を順次進めていく予定である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 田中芳和，田原徹也，志治謙一，藤井品：高速大師橋更新事業の工事概要，土木施工，PP68-71，(2018.11)
- 2) 王サイ：高速大師橋更新事業の施行概要，土木技術，PP94～97，(2023.7)
- 3) 濱野康平，右高裕二，石原新吉，竹林丈：供用後50年経過した橋梁の交通影響に配慮した横取り一括架設による更新-首都高速1号羽田線高速大師橋更新事業-，橋梁と基礎，PP13-18，(2024.1)
- 4) 佐藤友明：高速大師橋300mスライド一括架設通行止め期間2週間で架け替え，JSSC会誌No55，(2023.11)

【筆者紹介】

濱野 康平（はまの こうへい）
首都高速道路㈱
更新・建設局 大師橋工事事務所
係員



熊本地震により被災した 南阿蘇鉄道第一白川橋梁の架け替え工事

北 川 淳 一

南阿蘇鉄道第一白川橋梁は、高森線 立野駅～長陽駅間の一級河川白川に架かる単線鉄道橋として昭和2年に完成した。構造形式は、2ヒンジスパンドレル・ブレースト・バランスドアーチと呼ばれる日本でも希少なアーチ橋であり、先人達の貴重な技術の結晶とその優れた景観美から、2015年度に選奨土木遺産として選出された。しかし、翌年の2016年4月に発生した熊本地震の影響により被災し、橋梁の変形や部材損傷などが生じた。既設橋の損傷状況の調査の結果、旧橋を全撤去し、新設橋へ架け替える復旧計画が決定された。

旧橋の撤去には、損傷部材を安全に撤去する方法として、ケーブルエクシジョン直吊り工法を採用した。2021年2月から旧橋撤去を開始し、約4か月で全撤去完了。その後下部工補強を行った後、2022年1月より、同じくケーブルエクシジョン直吊り工法にて新橋の架設を開始し、2022年7月には架設・塗装まで完了した。令和4年度の田中賞を受賞し、2023年夏には全線開通し、いまでは観光客で賑わっている。
キーワード：熊本地震、旧橋撤去、ケーブルエクシジョン直吊り工法

1. はじめに

第一白川橋梁は、一級河川白川に架かり、南阿蘇鉄道高森線 立野駅～長陽駅間に位置する全長166.3mの単線鉄道橋である。昭和2年に建設された本橋は、2ヒンジスパンドレル・ブレースト・バランスドアーチと呼ばれる国内でも数少ない橋梁形式であり、平成27年度には、選奨土木遺産として選出された（写真一1）。しかし、その翌年の平成28年4月に熊本地方を襲った最大震度7の地震により、この第一白川橋梁も大きな損傷を受けた。写真二、三に、被災状況を示す。地盤変動による支点沈下および支間方向の支点移動が生じ、さらには崩落した土砂の衝突もあり、複数の部材が座屈・破断などの損傷を受けた。さらに、



写真一 震災前の第一白川橋梁



写真二 対傾材・下横構の破断



写真三 土砂による下弦材変形

見た目には健全に見えても、降伏応力を超えるほどの残留応力が生じている部材も多数あるとの見解から、架け替えを余儀なくされた。

本工事は、この被災し損傷した第一白川橋梁を撤去し、新橋への架け替えを行う工事であり、本稿は、損傷した特殊形式の橋梁を安全に撤去し、新しく架け替える上での課題とその対策について述べるものである。

2. 損傷した橋梁を撤去する上での課題

本工事の難しさは、地震により多数の部材が座屈・塑性変形・破断していることが確認されており、さらに一見健全そうに見える部材も実際は降伏応力を超えているかもしれないという、未知の応力状態の橋を撤去解体することである。

そのため、部材の切断により、残留した応力が瞬間的に解放され、衝撃を伴うような橋体の変位が想定される。衝撃を伴う橋体の変位は、部材の損傷を進行させることに加え、健全な部材まで損傷させてしまい、解体中の橋体の倒壊と、それに伴う作業員の墜落災害が懸念された。

そのため、本撤去工事を安全に行うためには、以下の点が課題であった。

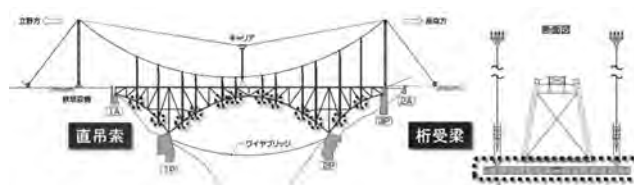
- ・死荷重による応力・変形を低減できる安定した多点支持状態での撤去
- ・事前のステップ解析によるリスクの把握とその対策
- ・各撤去ステップにおける橋体挙動のモニタリングと、異常時における即座の対策

これらの課題に対して、本工事で行った対策について以降に示す。

3. 安全に撤去するための対策

(1) ケーブルエレクション直吊り工法

本橋は、白川の溪谷に位置するため、通常のようなベントによる多点支持ができない環境であった。そこで、橋体格点位置を直吊り索と桁受梁で多点支持し、死荷重による応力や変形、損傷による残留応力を低減した上で解体することができるケーブルエレクション直吊り工法（図—1）を採用することとした。この工法を採用することで、衝撃を伴う橋体変位を抑制し、橋体の倒壊に繋がるような部材の応力超過を回避することができ、安全な撤去作業が可能となった。ケーブルクレーンの鉄塔は1A側（立野側）が120tで塔高35.435m、2A側（高森側）が137tで塔高40.435mのものを建てこんだ。1A側は、背面に迫る犀角山ト



図—1 ケーブルエレクション直吊り工法概要図

ンネルの損傷が著しかったため、同トンネルを崩し、平面化したことにより部材の仮置きや、施工に対する十分なヤードを確保することが出来た。そのため1A側は200t吊オールテレーンクレーンを用いて20ブロック（最大重量は塔頂梁の33t）に分けて施工した。

一方で2A側は背後にトンネルを控えヤードが狭かったことや、復旧した線路を用いて部材を搬入する必要があるため、使用する専用台車（軌陸車）の積載能力の限界なども踏まえて46ブロックに細かく分割し、最大でも4.8t（鉄塔柱材）に抑えて35tラフタークレーンで組み立てた。

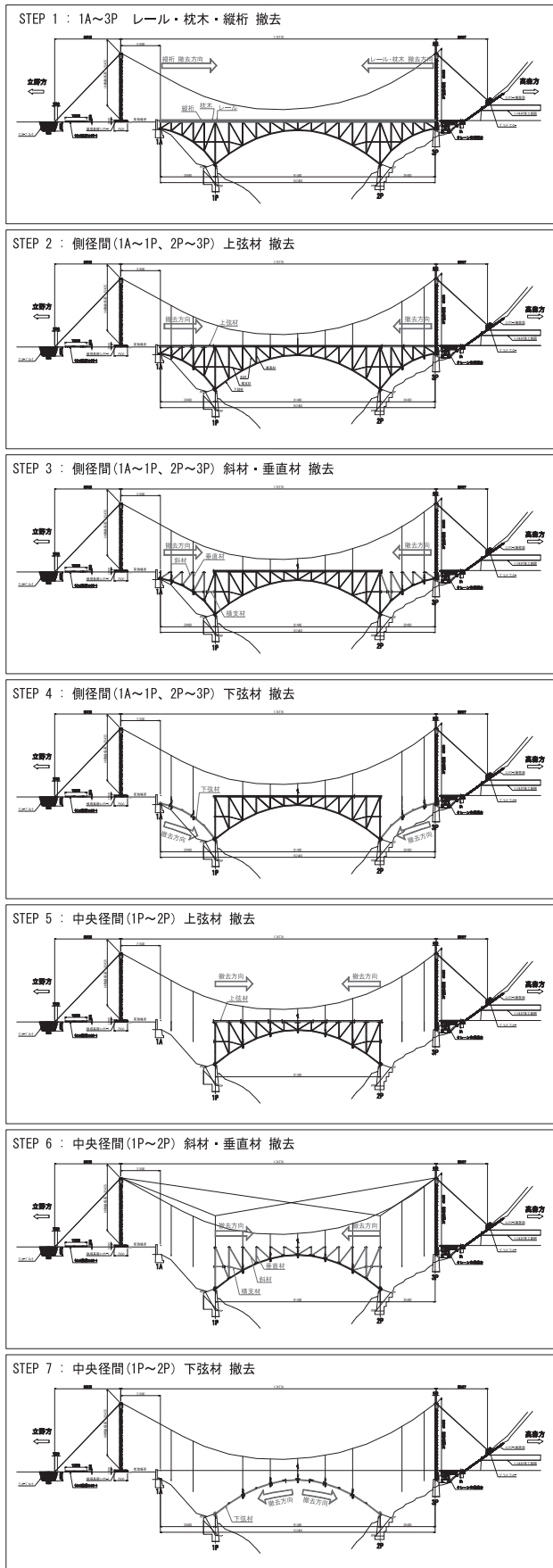
(2) 撤去ステップ解析

本橋を安全に撤去するためには、まず、現況を解析モデルで再現した上で、撤去ステップ毎の挙動を予測することが重要である。問題は、損傷部材をどうモデル化するかであったが、損傷部材のモデル化にあたっては、現況の実測変形量が解析値と一致しているか、解析上、降伏を大きく超過する部材では健全に見えても局部座屈などの変形が生じていないかを現地で確認し、出来る限り再現精度を上げた。

その解析モデルを用いて、計画した撤去ステップ（図—2）に従い解体解析を行い、ステップ毎の各部材における応力度を算出した。過度な応力が発生する場合には、直吊り索の張力調整により応力度を低減させるなど、さらに詳細な施工手順を計画していった。しかし、本橋では、既に地震により許容応力度を超過する部材が多数生じており、その部材を全て許容値内に戻すことは不可能である。そのため、本解析では、以下の判定基準を設けて解析を行う方針とした。

- ・現況で許容応力度を超過していない部材 ⇒降伏応力以下に収める
- ・現況で許容応力度は超過しているが降伏していない部材 ⇒降伏応力以下に収める
- ・現況で降伏応力を超過している部材 ⇒現状を悪化させない

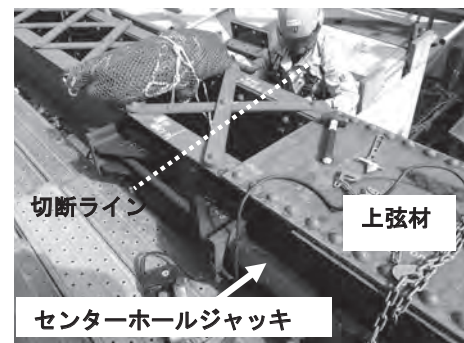
上記の判定基準を満足させる施工ステップを確立させ、この解析結果（直吊り索の張力、変位量）を施工時の管理値とした。



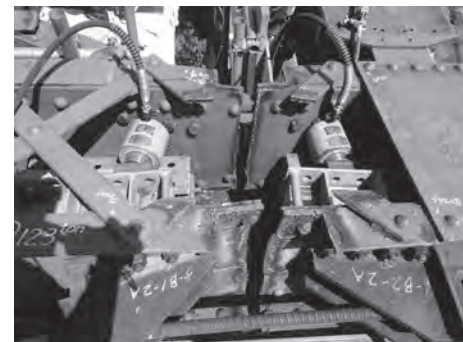
図一 撤去ステップ図

また、この事前の撤去ステップ解析から、上弦材には最大で約 80 t の引張力が生じており、切断により引張力が解放されることで、最大で 220 mm もの衝撃的な相対変位が生じることが予想された。そのため、切断による衝撃的な変位を防止する対策を事前実施する必要があった。そこで、写真一 4 に示すように、切断位置にセンターホールジャッキを用いた変位拘束治具を設置し、引張力を相殺する圧縮力を導入した状態で上弦材の切断を行うこととした。これにより、変位を拘束した状態で安全に切断することができ、切断後には徐々にジャッキ反力を解放していくことで、緩やかな変位となるようコントロールし、衝撃的な応力解放を防止することが可能となった。

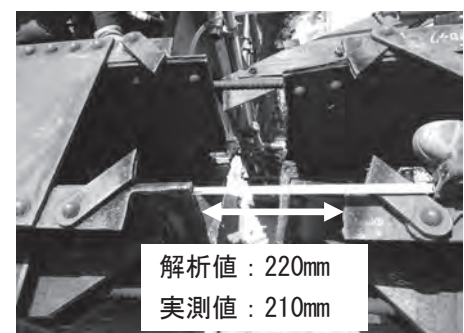
ジャッキ反力解放後の切断面相対変位を計測したところ、解析値 220 mm に対して、実測値 210 mm とほ



(a) 変位拘束治具



(b) 切断後 (ジャッキ解放前)



(c) 切断後 (ジャッキ解放後)

写真一 4 上弦材変位拘束治具

ば一致する結果となり、その他の大きな変位が予想された箇所も解析値と一致した。

この上弦材撤去は、衝撃的な変位が予想される最も危険なステップであったが、事前解析の妥当性を確認した上で、そのリスクを把握し、それに対する対策を事前に準備できたことが、安全な撤去施工につながった（写真—5）。

(3) 一元計測管理システムの構築

今回のケーブルエレクション直吊り工法では、ステップ毎に橋の状態が刻々と変化する。そのため、解析精度を向上するだけでなく、その解析結果と撤去ステップ毎の挙動が乖離していないかをリアルタイムに確認し、異常値が出た際に、タイムリーに対処する必



写真—5 撤去状況

要があった。そこで、橋体の高さ、直吊り索張力、桁受梁から直接反力が載荷される鉛直材の発生応力をリアルタイムに計測し、管理モニター上で一元管理できるシステムを構築した（図—3）。

これにより、撤去中の直吊り索張力と橋体の形状がリアルタイムに計測・調整でき、解体撤去を安全かつスピーディーに行うことができた。

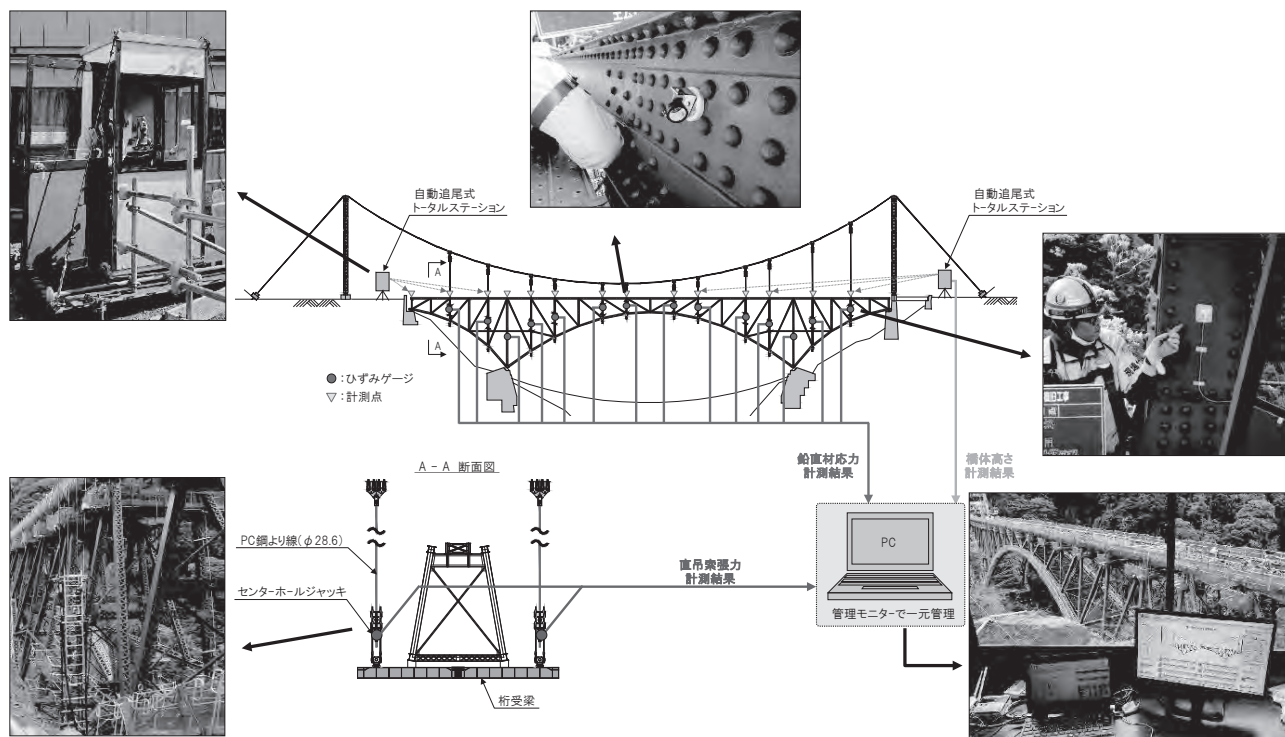
4. 新橋の設計

新橋は、土木遺産でもあった旧橋橋梁形式および景観性を踏襲し、部材配置は概ね現状維持、断面形状および寸法は同程度、色調も旧橋と全く同じとなるように設計を行った（図—4）。

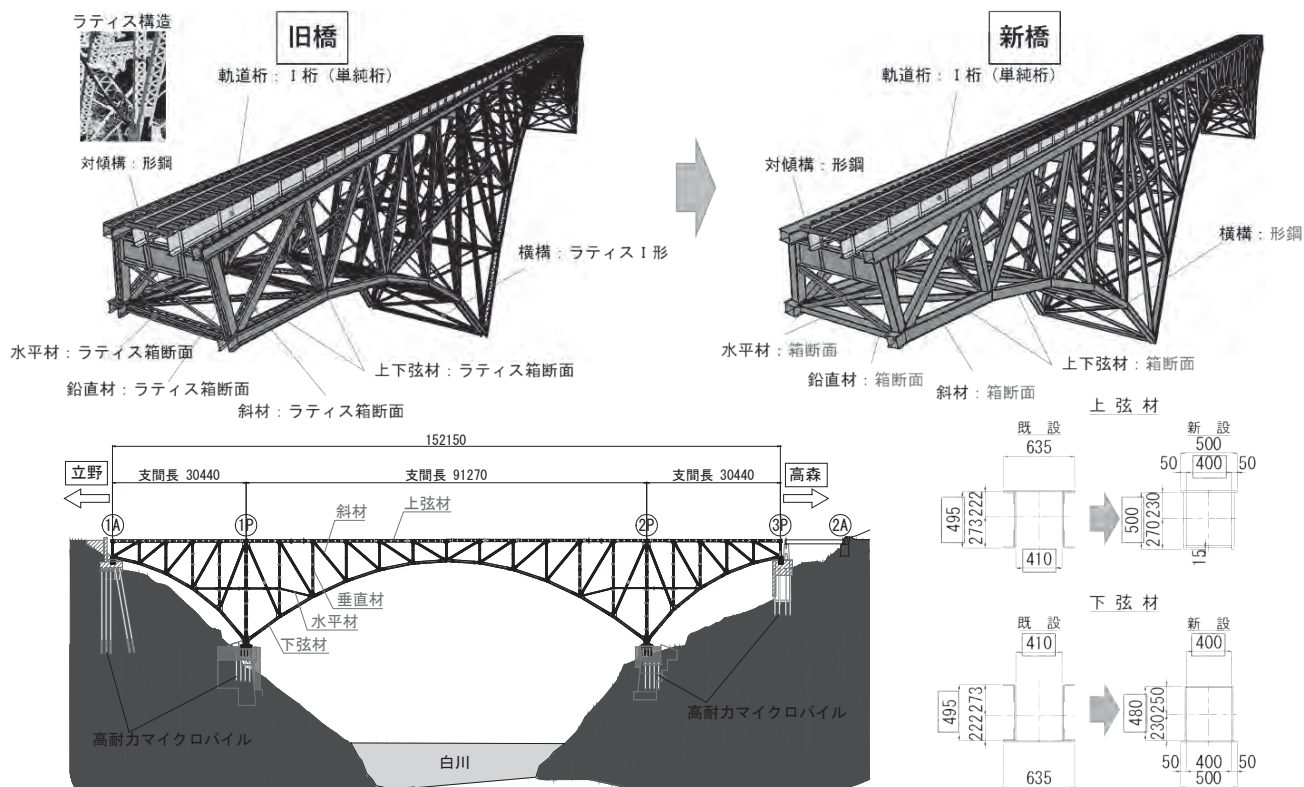
新橋は、鉄道橋としての施工条件や品質管理への対応、さらにスパンドレル・ブレースド・バランスドアーチという構造の特異性を有しているため、製作上および架設上の課題について事前検討を行い、各施工段階における、品質および出来形確保のための諸施策を実施した。

(1) 部材断面

旧橋は、主構造である上弦材、下弦材、その他、鉛直材、斜材、水平材、対傾構、横構、軌道桁と様々な部材で構成されており、新橋においても概ね同様の配置や形状を踏襲している。ただし、旧橋の主構造にお



図—3 一元計測管理システム概要図



図ー4 構造一般図および新旧断面比較

いては、形鋼や平鋼をリベット接合したラテイス構造の疑似箱断面を用いていたが、新橋では、一般的な鋼板と溶接による箱断面を基本とした。なお、断面寸法は、旧橋の景観性を考慮し、同程度のものとしている。

(2) 耐震設計

熊本地震により被災した本橋において、耐震設計は最重要事項である。そのため、設計においては、鉄道構造物等設計標準に基づくL2地震動を考慮し、動的応答解析にて部材照査を行った。その結果、上部工は、主構の板厚アップや対傾構・下横構・上横構などのブレース材のサイズアップにより、また、下部工は、高耐力マイクロパイルによる補強杭の増設により耐震性を向上させることとした。

さらに、熊本地震では地震の揺れに加えて、断層の変状による大きな地盤変位が生じ、旧橋にも以下の被害が発生した。

- ・ 支点位置地盤の移動（線路方向）
- ・ 斜面崩壊による土塊流入（1A～1P間）

本橋の架橋地点は、布田川断層帯に位置（付近で交差していると想定）するため、将来、断層活動が生じた際に、新橋もまた大きな地盤変状の影響を受ける懸念があった。そのため、新橋の設計においては、一般的な耐震設計（L1地震動・L2地震動に対する安全性の確保）に加え、地盤変状のように、定量的な予想が

難しく、不確実性の大きい作用に対しても橋を致命的な状態にしない対策（桁かかり長の確保・損傷制御型支承の採用・ジャッキアップ補強点の設置）を講じ、復旧性も高めることとした。

5. 工場製作について

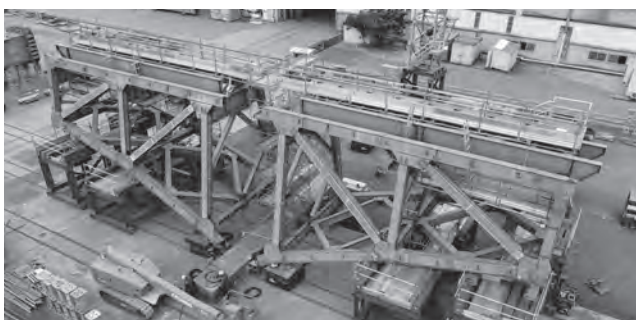
(1) 仮組立計画

鉄道橋では、架設時の精度を確保するため、橋梁全体を一度に組立てる「一括立体仮組立」を行う事が原則とされている。しかし、本橋は主構造高さが約24mと高く、屋外門型クレーンの使用が不可であること、主構に傾斜を持ったトラス構造のアーチであり、仮組立時の受け点と受け方が非常に複雑かつ困難となることなどを踏まえ、一括立体仮組立に代わる、分割での部分面組仮組立および部分立体仮組立を併用することとした。分割単位の仮組立には、それぞれの重複ブロックに基準となる管理ポイントを設け、出来形誤差を引き継ぐ事で、誤差の累積管理を実施した（写真ー6, 7）。

また、仮組立の出来形を現地架設時に再現するため、添接部にサブサイズ工法を適用したパイロットホールを設けた。具体的には、2mm小さい孔を明けて仮組立を行い、仮組立検査後にリーミングにより仕上げた。施工箇所については、現地と情報共有するこ



写真—6 部分面組仮組立



写真—7 部分立体仮組立

とで、ドリフトピン挿入により現場で仮組形状の再現を行った。

これら製作段階での諸施策を実施することで、出来形ならびに品質を確保した製品を、架設現地へ送り出すことができた。

6. 架設工事

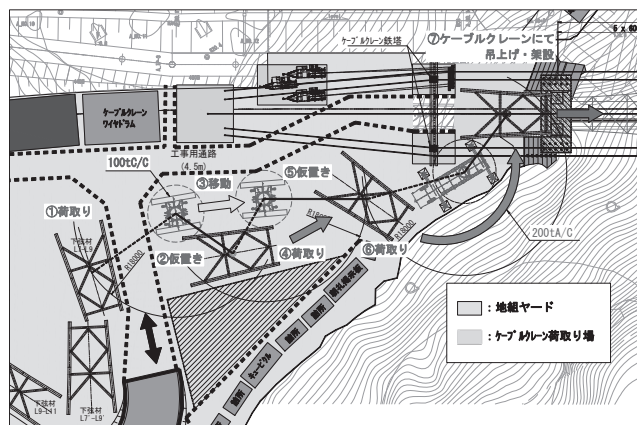
(1) 桁地組から架設への流れ

本橋は多数の部材で構成されており、それを1本1本ケーブルクレーンで架設しては非効率である。そのため、地組ヤードにて、上弦材、鉛直材、下弦材をブロックに地組立てし、それを大型クレーンでケーブルクレーン荷取場まで運搬し、最後にケーブルクレーンで架橋地点まで運搬・架設するという流れ作業を構築し、効率的な施工を実現した(図—5)。

(2) 架設工法について

被災した旧橋を撤去するのにケーブルエレクション直吊り工法を用いたが、新橋架設においても、旧橋撤去と同じ工法を採用することとした(写真—8)。これにより、設備の入れ替えの必要がなく、工程短縮・工費削減が可能となった。

また、旧橋撤去時と同様、橋体の高さ、直吊り索張力、桁受梁から直接反力が載荷される鉛直材の発生応



図—5 桁地組から架設への流れ



写真—8 下弦材架設状況(閉合)

力をリアルタイムに計測し、管理モニター上で一元管理できるシステムにより、安全かつスピーディーに架設を行うことができ、出来形においても今回の管理手法を用いることで厳しい規格値内に収めることができた。

7. おわりに

今回、地震により損傷し、未知の応力状態にあるスパンドレル・ブレースド・バランスドアーチを撤去するという国内でも類を見ない工事を行った。

厳しい施工条件下で最も安定した状態で撤去できる工法の選定、リアルタイムに計測を行い異常値に対する対処を即座に行える一元計測管理システムの構築、解析モデルの妥当性を確認した上での危険ステップの事前把握と対策準備という、安全に撤去作業を行う上での3つの課題を克服することで、安全な施工に繋がっただけでなく、工程も約1カ月短縮することができた。

また、新橋については、複雑かつ部材数の多い橋梁形式にもかかわらず、分割仮組を駆使し、高い製作精



写真—9 全線開通後の第一白川橋梁

度を実現し、さらに、架設工事では、工場製作の出来形を現場で再現する工夫と、リアルタイムに橋体状況を計測できる一元計測管理システムの構築により、安全かつ高精度な架設を実現した。

こうして、南阿蘇鉄道第一白川橋梁は、全線復旧を望む沿線地域の期待に応え、財源確保や技術的課題などの種々困難を乗り越え、熊本地震最後の公共インフラ復旧として再建された（写真—9）。

本橋は、沿線住民にとって欠かせない地域公共交通

機関の一部であると同時に、その景観美から多くの人の記憶に残る観光資源の1つでもあり、熊本地震復興のシンボルとして後世に伝えていくべき橋梁であると認められ、令和4年度土木学会田中賞に選出された。

南阿蘇鉄道は、2023年7月に全線開通し、観光名物のトロッコ列車を目当てに多くの観光客で賑わっている。

J C M A

《参考文献》

- 1) 小原ら (2023)：南阿蘇鉄道第一白川橋梁の被災状況と復興に向けた取り組み, 2023.1, 橋梁と基礎
- 2) 北川ら (2023)：熊本地震により被災した南阿蘇鉄道第一白川橋梁の撤去工事, 2023.1, 橋梁と基礎
- 3) 森谷ら (2023)：南阿蘇鉄道第一白川橋梁の新橋製作と架設, 2023.2, 橋梁と基礎

〔筆者紹介〕

北川 淳一（きたがわ じゅんいち）
エム・エムブリッジ㈱
技術部 設計グループ



大規模更新工事における生産性向上技術の開発

自動マーキング技術と支承交換省力化技術

尾 田 健太郎・吉 浦 伸 明・高 島 英 一

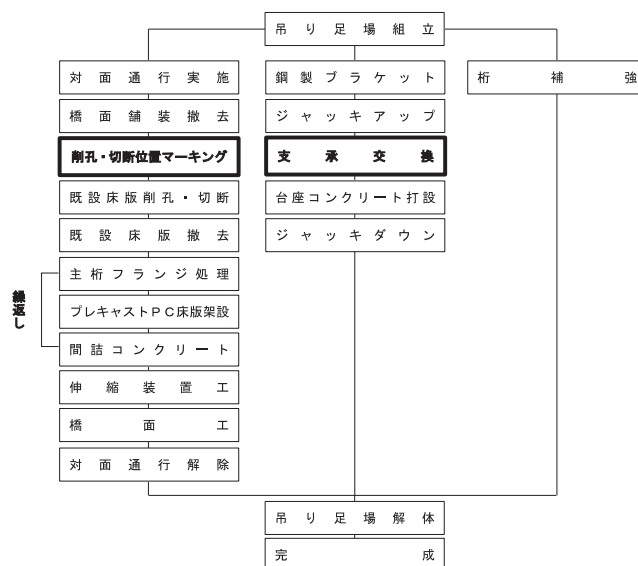
既設道路橋の大規模更新工事における生産性向上技術として自動マーキング技術と支承交換省力化技術を開発した。自動マーキング技術は、橋面舗装撤去後の測量マーキング作業を自律走行可能な自動マーキングロボットを用いて省力化した。支承交換省力化技術は、ラチェットレンチのみで組立および操作可能な専用装置を開発し、狭あいな桁下での支承交換作業を省力化した。

キーワード：大規模更新工事，自動マーキングロボット，測量，支承交換，省力化

1. はじめに

高度成長期に整備された道路橋は、経時的な劣化に加え大型車両の増加および凍結防止剤の散布などによる損傷が激しく、全国各地で床版取替や支承交換などの大規模更新工事が進められている。更新工事期間中は一般通行車両の交通規制を伴うため、規制期間の短縮が求められる。また時間外労働時間の上限規制が適用される中での工期短縮や慢性的な人手不足解消のため、生産性向上を図る技術の開発が求められている。

標準的な大規模更新工事のフローを図一1に示す。対面通行規制の実施や解除、既設床版の切断・撤去やプレキャストPC床版架設に関する技術は様々な事例があるが、床版切断位置の測量マーキング作業や支承交換作業の生産性向上事例はほとんどない。本稿ではこの2つの作業に着目した生産性向上技術を紹介する。



図一1 大規模更新工事のフロー

2. 自動マーキング技術

～自動マーキングロボットの活用～

(1) 開発背景と自動マーキングロボットの概要

橋面舗装撤去後の既設床版切断位置の測量マーキング作業は、橋梁全長に及んで実施する必要がある。橋長150m程度の橋梁の場合、2日程度の短期間で1,000点以上の位置出しという膨大な作業が発生する。また、本設利用する主桁を切断機械で損傷しないように、精度良い測量作業が求められる。そこで、測量精度を確保し、かつ測量マーキング作業の省力化を図るべく、自動マーキングロボット（以下「ロボット」、写真一1）を活用することとした。



写真一1 自動マーキングロボット

ロボットは、自動走行と自動マーキングを行う機能を有している。操作者がタブレットで作業を指示するとタブレット端末上に保存した測量点データに基づき、自機位置を自動で取得し、所定の位置まで移動した後、搭載したスプレーで点や線を自動でマーキングする。タブレット端末とロボット本体はBluetooth(近距離無線通信)で接続され、30 m 以内であれば通信可能である。また、機械の自機位置の取得方法は、GNSS 受信機か自動追尾型トータルステーションを選択可能で、世界測地系の測地座標系か個別に設定した小座標系のいずれにも対応可能であり、自動追尾型トータルステーションであれば上空に制限がある屋内でも使用可能である。

測量データのタブレット端末への入力、点マーキングではCSVデータ形式を、線マーキングではCADデータのDXF形式をパソコンで事前に準備し、USBメモリーを介してデータをタブレット端末に保存することで対応できる。ロボットの諸元を表―1に示す。

(2) 実証実験

ロボットを用いた実証実験として、①ロボットのマーキング速度やスプレータイミングのセッティング、②測量既知点との誤差精度、③ロボットの走行性能や操作性を確認した。自機位置取得方法はGNSS受信機(写真―2)と自動追尾型トータルステーションの両方で実験した。

実験の結果、適切なセッティングを設定すれば、平均測量誤差はGNSS受信機と自動追尾型トータルステーションともに概ね ± 15 mmの精度でマーキング可能であることを確認した。一方、走行路面の凹凸によってマーキング精度が左右されることも判明した。実施工ではアスファルト舗装切削後の切削面上での作業となるため、不陸の影響を受けやすい。そこで、高い精度を確保できる点マーキングのみロボットに作業させ、点と点をつなぐ線マーキングは人力で行う併用作業とすることとした。以上の実証実験から、自動マーキング技術は現場適用可能と判断した。

表―1 ロボット諸元¹⁾

項目	諸元
重量	22 kg (バッテリー: 4 kg)
寸法 (縦×横×高さ)	804×688×491
連続稼働時間	8 時間
バッテリー	リチウムイオン電池
速度	最大 時速 4 km
最大登坂スロープ	15%

(3) 実施工への適用

実橋の床版取替工事に適用し、自動マーキング技術の効果を確認した。床版の撤去面積は約 2,250 m² (橋長 177 m) であり、測量点は約 1,100 点であった(写真―3)。事前決定した切断ラインをCADデータからCSVデータ形式に変換してタブレット端末に保存した。

測量マーキング作業は1日、作業人員は4名、ロボットは2台にて実施し、実働3時間程度で完了させることができた。同種規模の従来測量作業の場合と比較すると、88%の省力化が確認できた(表―2)。また、CADデータからCSVデータへの変換作業も1名で3時間程度の作業であることから大幅な省力化を実現した。



写真―2 確認実証状況 (GNSS 受信機)



写真―3 マーキング状況 (自動追尾型トータルステーション)

表―2 自動マーキング技術の効果

(床版撤去面積 2,250 m²)

作業方法	省力化指標 (人・時間)	省人化指標 (人)
自動マーキング技術	12.5	4
従来測量作業	104	13 (2 日合計)
削減率	88%	69%

3. 支承交換省力化技術 ～支承交換装置の開発～

(1) 開発背景と支承交換装置の概要

従来の支承交換作業は、狭い桁下の下部工上でチェーンブロックやレバーホイストなどの汎用工具を複数使用して行うことが一般的である（写真—4）。その際、作業箇所付近の鋼桁部材に適宜フックをかけるなど現場合合わせの工具使用で支承を移動させるため、交換作業に時間を要する。また、狭い空間のため作業員が無理な姿勢での工具使用となる可能性も残る。そこで、支承交換作業の効率化と安全性の向上を目指し支承交換装置を開発した。

支承交換装置（以下「装置」）は水平移動機能と昇降機能を有するため、支承の移動時に作業箇所付近の鋼桁部材を利用する必要がない。また、位置微調整機能により支承位置決め作業も素早く行えるため、作業時間の短縮が可能である（図—2）。さらに、装置の組立・解体を含め支承交換のすべての作業を、安全な姿勢でラチェットレンチのみで操作できる。組立前の各部材重量を20 kg以下とすることで、狭い桁下空間での装置の運搬性にも配慮している。

支承交換の手順は①支承設置箇所の横に設置した回転台上に支承を仮置きし、設置する角度に調整した

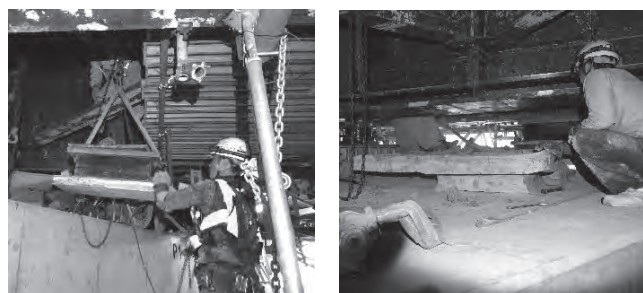
後、装置を組み立てる。②装置の把持部材で支承を把持する。③昇降機能と水平移動機能を使って支承をし、設置位置まで水平移動する。④平面位置および設置角度を位置微調整機能で微調整し、支承を所定の位置にリフトダウンして設置完了となる（図—3）。

(2) 実証実験

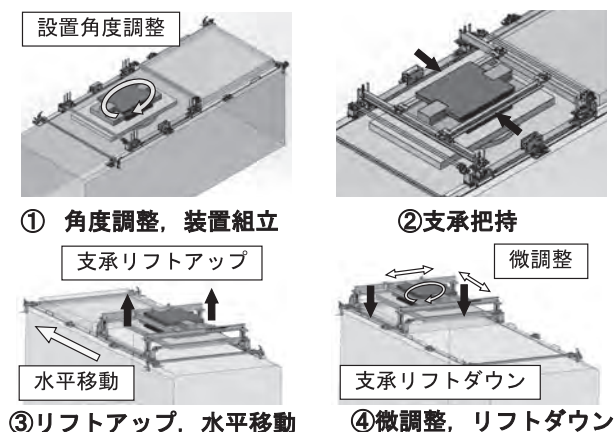
実橋の支承交換工事において、支承交換省力化技術の実証実験を行った。

現場は鋼桁橋の支承交換を含む工事であり、ジャッキアップブラケットで桁をジャッキアップした後、既設の支承を撤去し、新設支承を設置する。新設支承はゴム支承であり、重量は上査と下査、ベースプレートを含めて1.2tであった。桁下フランジから台座コンクリートまでの距離（桁下空間）は410 mmであり、支承高さが250 mmであることから桁下空間の支承設置後の余裕量は約160 mmであった（写真—5）。

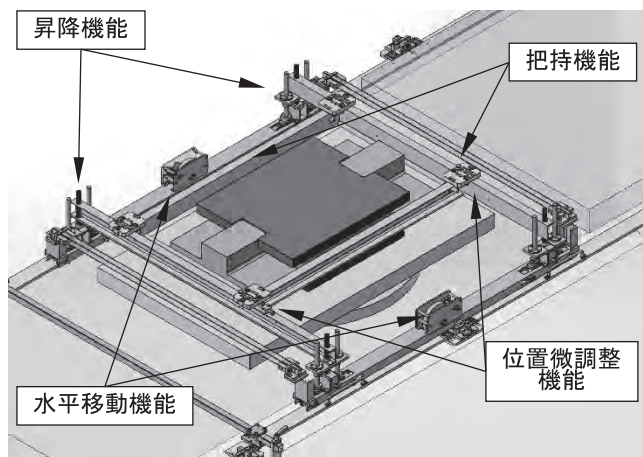
実証実験は支承を回転台上に仮置きした状態から開始し、装置組立、支承の移動、所定の位置への設置、装置解体にかかる時間を計測した。従来の支承交換工



写真—4 従来の支承交換作業



図—3 作業手順



図—2 支承交換装置



写真—5 実験状況

表—3 支承交換省力化技術の効果

(支承1基当たり)

作業方法	省力化指標 (人・分)	省人化指標 (人)
支承交換省力化技術	150	2
従来工法	265	5
削減率	43%	60%

法との作業人員および作業時間の比較を行い、開発の効果を確認した。

実証実験の結果、装置を用いた支承交換作業は支承1基当たり150分・人で完了することができ、従来工法265分・人と比較し、43%の省力化を実現した(表—3)。また、チェーンブロックやレバールックなどの複数の汎用工具を用いず、ラチェットレンチのみですべての作業が可能であることを確認した。

4. おわりに

道路橋の大規模更新工事の作業フローの中で、これまで省力化事例の少ない測量マーキング作業と支承交換作業について適用技術を開発し、現場適用性と改善効果を確認した。今後は開発した工法の現場適用を進

めつつ更なる改善に取り組む所存である。

J C M A

《参考文献》

- 1) ㈱グレートスタージャパン タイニーサーベイヤー 製品仕様書
- 2) 吉浦ら：自動マーキングロボットを用いた床版取替工事における測量作業省力化の報告，土木学会第78回年次学術講演会講演概要集，VI-141，2023

【筆者紹介】

尾田 健太郎（おだ けんたろう）

清水建設㈱

グローバル事業本部 土木国際支店 土木部



吉浦 伸明（よしうら のぶあき）

清水建設㈱

北海道支店 土木部

工事長



高島 英一（たかしま えいいち）

清水建設㈱

土木総本部 土木技術本部 橋梁統括部

副部長



橋梁建設現場における 重量物運搬用ドローンによる資材運搬

新 述 隆 太・武 田 篤 史・成 松 敏 男

建設作業員の高齢化および減少を見据え、資機材運搬に伴う労働の軽減および施工の効率化を目指して、建設現場における運搬の自動化の需要が高まってきている。新たに空のモビリティとして、重量物搬送用の大型ドローンの利用について検討しており、橋梁建設現場にて重量物運搬用ドローンによる資材運搬を実施した。工事で使用する H 型鋼や鉄骨ボルトなど、20 kg 相当の資材を、現場事務所前広場から橋桁の上まで、水平距離約 200 m、垂直距離約 20 m の距離を運搬した。また荷下ろしにはホイスト装置を使うことで、非着陸での荷下ろしを行った。本稿では試験を通して得られたドローンの資機材運搬の利点及び課題について紹介する。

キーワード：ドローン、カーゴドローン、橋梁建設現場、自動施工

1. はじめに

ドローン技術の発展はモビリティ分野に革命をもたらしている。「空の産業革命に向けたロードマップ」¹⁾が 2015 年に公表されてから、航空機から空飛ぶクルマも含めた空モビリティ施策への発展・強化が議論されている。ドローンによる空中配送が、都市部や離島などへの物資輸送を可能にし、交通渋滞や環境負荷の低減につながると考えられており、その他にもドローンを使った物資の移動は、災害現場や医療救急などにも期待されている。また、ドローンは農業や娯楽など幅広い分野で活用されており、日本国内のドローンビジネスの市場規模は 2023 年度には前年度に対して 24.0% 増加し、3,828 億円に拡大、2028 年度には 9,340 億円に達する見込みであると報告されている²⁾。一方、作業員の高齢化および減少³⁾への対応が課題となっている昨今の建設現場でも、効率的な運搬のニーズは広がっている。既に、建設作業員が資材運搬といった単純作業から解放され、技能や習熟度が求められる作業に集中できるように、AGV (Automatic Guided Vehicle) と呼ばれる無人搬送車を活用した資材搬送の自動化が研究⁴⁾されている。ドローンについては特に、山間部や急傾斜地に立地する現場、狭あいなヤードしか確保できない現場、工程上クレーンを設置することが困難な現場では、自動自律飛行が可能な重量物運搬用ドローンの活用が有効であると考えられる。これを受けて、大林組では 2019 年から重量物運搬ドロー

ン(カーゴローン)による資機材運搬を検討しており、2022 年には橋梁建設現場にてカーゴドローンによる資機材運搬の試験運用を実施した。本稿では試験を通して得られたカーゴドローンの利点及び課題について紹介する。

2. 重量物運搬ドローン

(1) 機体の性能と特徴

今回使用した重量物運搬用ドローンは、SkyDrive 社が開発した「SkyLift」(以下、本物流ドローン)(写真-1)であり、機体性能は表-1 の通りである。機体はバンでも運搬できるサイズであるため、準中型以



提供：SkyDrive

写真-1 本物流ドローン

表一 本物流ドローン機体性能

サイズ	全長 1.9 m×全幅 1.2 m×全高 1.0 m (プロペラ折畳時) 全長 2.5 m×全幅 1.9 m×全高 1.0 m (プロペラ展開時)
機体重量	35 kg(バッテリー 20 kg を除く)
最大ペイロード	30 kg 20 kg(ホイス機構利用時)
最長飛行速度	36 km/h
最大飛行距離	2 km(最大積載時)
最大飛行時間	9～15 分(積載量による)
オプション	着陸せず荷物を昇降するホイス機構

上のトラックを手配しなくても持ち運ぶことが可能となっており、ヤードの限られた建設現場への搬入に適している。またフェールセーフを成立させるため、8基のローターを搭載している。プロペラのうち一軸が動かなくなった際も安全に着陸できるように設計されているため、建設現場のような、人と共同で作業することへの信頼性は高い。

機体の特徴としてはフライトモードの切り替えが可能な点である。飛行モードには3種類あり、完全手動での飛行モード(Horizon モード)、GNSSを利用することで操縦者が手を止めても、その場でホバリング可能な飛行モード(Position モード)、自動自律運転による飛行(Mission モード)が備えられている。Mission モードでは、予め飛行経路を指定する必要がある。ルート選定には、通過点(ウェイポイント)の設定が必要であり、座標と高度を設定することで、ウェイポイント同士を直線でつなぐように移動する。ドローンの動線に障害物がある場合は、カメラによりそれを検知し、自動で回避する。またGNSSにより自己位置を把握していることから、強風などで進路が外れた場合でも、設定されたルートに復帰することが可能である。自動自律飛行の目的は、パイロットなどに関する少人化のみならず、ヒューマンエラーを極力排除することにより安全性を向上させるとともに、パイロットに要求される技術レベルを下げることにある。また、大きな特徴と言えるのが、ホイス機構を有していることである。ホイス機構とは資材をドローンから吊り降ろす装置で、また吊荷が接地することによりフックが自動で外れる機構を備えている。これにより狭隘な場所であっても非着陸で荷下ろしをすることが可能となっている。

環境耐性については定常風速 7 m/s 以下を想定しており、これは積み荷の重量より前後する。ドローンの性質上、機体の安定性はプロペラの推力に対する離

陸重量で決まるため、積み荷が重いほど、耐風性能は低下する。そこで、機体を軽量化するために、本機はCFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)とよばれる炭素繊維プラスチックを多く用いている。

(2) 期待される活用シーン

現在の資材運搬方法は、トラックなどの車両、クレーンなどの揚重機、海工事などにおける船舶が中心であり、これらは、建設工事に適するように進化してきたため、高い利便性を有している。しかし、建設現場は、現場ごとに条件が異なるため、これらだけで高い生産性を保てない場合がある。その場合、軽微でわずかな作業のために高コストをかけた機材を導入するなど、人力に頼らざるを得なかった。ドローンはこれらの隙間を埋めることができるような運用が期待される。現在の最大ペイロード 30 kg であれば、台車や一輪車での運搬が困難な局面が主に想定される。すなわち資材移動に鉛直方向の移動があるケース、川・海や崖などの障害があるケースなどがこれに該当する。特に地形が険しい山間部で行われる道路工事や河川改修などの現場では、ドローンによる資材の空輸が期待されている。

(3) 関連法規

2024 年現在、バッテリーを含む機体重量 100 g 以上の無人航空機(飛行機、回転翼航空機、滑空機、飛行船であって構造上人が乗ることができないもののうち、遠隔操作又は自動操縦により飛行させることができるもの)は国土交通省が管轄する専用システムサイトへの登録が義務付けられており、定期的な更新が必要とされている。また航空法、小型無人機等飛行禁止法や自治体の条例によって飛行が制限されている(表一2)⁵⁾。2022 年 12 月からは無人航空機操縦士技能証明と呼ばれる国家資格が実装され、資格の等級に

表一2 無人機運用についてのルール

無人航空機の飛行の許可が必要となる空域	遵守するルール	承認が必要となる飛行の方法
150 m 以上の上空	アルコール又は薬物等の影響下で飛行させないこと	夜間での飛行
緊急用務空域	飛行前確認を行うこと	目視外での飛行
人口集中区域の上空	航空機又は他の無人航空機との衝突を予防するよう飛行させること	人または物件と距離を確保できない飛行
空港島の周辺	他人に迷惑を及ぼすような方法で飛行させないこと	催し場所上空での飛行
		危険物の輸送
		物件の投下

よっては、特定の飛行（人、物件からの距離が 30 m 未満の飛行、夜間での飛行、目視外での飛行、人口集中地区での飛行）が申請なく可能となっているが、最大離陸重量が 25 kg を超える機体の飛行については、依然として全て国土交通省への申請が必要である。また航空機製造事業法によって離陸重量が 150 kg 以上の機体は無人機としては認められておらず、これが実質的な国内でのドローンによる重量物運搬の限界であるが、緩和に向けた議論がなされている⁶⁾。

3. 橋梁建設現場での試験運用

(1) 試験概要

2022 年 10 月 25 日から 10 月 27 日の 3 日間にわたって、高度 30 m に最大 20 kg の資材（写真—2）を現場事務所前広場から、水平距離約 200 m、垂直距離約 20 m 運び、ホイス機構により桁上の荷下ろしポイント（写真—3）へ無着陸での荷下ろしを実施した。飛行ルート概要を図—1 に示す。本現場は横浜市内に位置する橋梁工事現場であった。現場の特徴としては、高低差があり、広い敷地を有していることから、人力による資材運搬には時間がかかるため、ドローンの活用ニーズがあり、将来的な実用化が見込まれる現場であった。

今回の飛行では、人や物件からの距離が 30 m 未満の飛行、人口密集地区での飛行、物件の投下について、事前に飛行許可が必要であった。加えて、今回、試験運用を実施した橋梁建設現場は、構造物に由来する突風や地磁気の乱れなどがあることから、重量物運搬用ドローン適用の難易度が高く、かつ鉄道営業線と近接しているため、さらに高い安全性が要求された。特に地磁気に関しては、今回のような鋼構造物の近傍では、構造物由来の磁気が地磁気を乱し、ドローンの方位を検出するコンパスに影響を及ぼしルートの逸脱を起こす可能性があった。そのためコンパスを用いない手動の飛行により地磁気の乱れを計測し、安全が確認された高度で飛行させることとした。今回の試験運用では、これまでの試験で得られた知見をもとに、適切な経路を選定したうえで機体と運用方法の両面から安全性を高めることで、重量物運搬用ドローンを橋梁現場で活用するための安全かつ効率的な運航体制を確立した。

(2) 試験計画

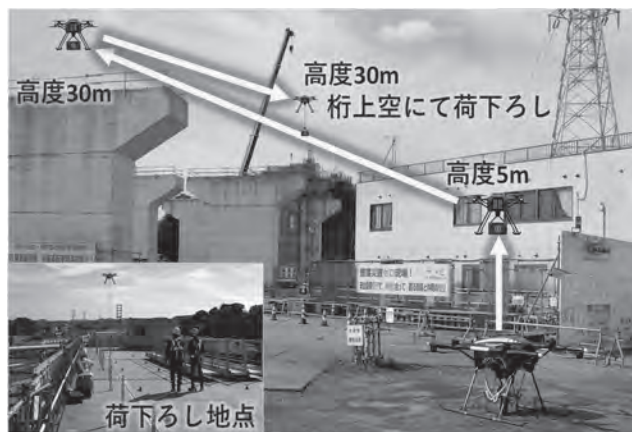
試験運用について、現場配置計画図を図—2 に示す。試験運用ではパイロットが操縦し、Horizon モー



写真—2 運搬資材



写真—3 ホイス機構による荷下ろし



図—1 飛行経路図

ド、Position モードで飛行を行った後に、Mission モードで飛行した。なお、目視外飛行を避けるため、離着場からウェイポイント、ウェイポイントから荷下ろし地点の飛行では、操縦者を切り替えて運用した。試験運用中は、磁気や GNSS、電波信号状況等を計測し、計測結果を反映した高度の選定を行った。安全対策と



図ー2 現場配置図

して、クレーンの吊荷と同様に、ドローンの直下は立ち入り禁止とし、監視員を配置した。立ち入り禁止の範囲は、ドローンが速い速度で動いていることや、強風の影響などで位置が安定しないことなどを考慮し、飛行ルートの直下から15m以内とした。このとき他の作業への影響を考慮し、作業が中断する10時、12時、15時の休憩時間を利用して運搬を行った。

試験運用における、資機材運搬の手順を次に示す。(括弧内は操縦者を示す。)

- ①カーゴドローンに資機材を搭載する。(離発着ポート側補助者)
- ②カーゴドローンを離陸させ、操縦受け渡しポイントまで移動させる。(離発着ポート側操縦者)
- ③操縦受け渡しポイントにて、操縦者を切り替える。(離発着ポート側操縦者→荷下ろしポイント側操縦者)
- ④カーゴドローンを荷下ろしポイントまで移動させ、ホイストを利用して資機材を荷下ろし、ホイストを巻き上げた後に、操縦受け渡しポイントまで移動させる。(荷下ろしポイント側操縦者)
- ⑤荷下ろしポイント上空からカーゴドローン移動後、投下された資機材を受け取る。(荷下ろしポイント側補助者)
- ⑥操縦受け渡しポイントにて、操縦者を切り替える。(荷下ろしポイント側操縦者→離発着ポート側操縦者)
- ⑦カーゴドローンを着陸させる。(離発着ポート側操縦者)

(3) フライト結果

① 10月25日 (計：2フライト)

当日は、風速が強く、飛行させることが困難であった。

Horizon モードにて、動作確認および地磁気の確認のためのフライトを実施した。地磁気の影響は小さく、桁上5mの位置でも影響が極小である結果となった。

② 10月26日 (計：5フライト)

Horizon モードによる動作確認を実施後、Position モードにてウェイポイント取得し、ホイストおよびフックの動作確認飛行を実施した。また同モードにて15kgのペイロードを桁上に運搬した。上空風が強く、フライトは飛行のタイミングが困難であった。

③ 10月27日 (計：12フライト)

快晴かつ無風であり、飛行に適した環境であった。Horizon モードでの動作確認後、Position モードで5kgから20kgまでの資材運搬を実施。動作が正常であることを確認後、Mission モードにて最大ペイロード20kgの資材運搬を実施した。

今回は30分の休憩時間中に最大3回の飛行を行うことができたが、試験的な要素を排除していけば、天候次第では4～5回のフライトが可能と考えられる。

4. 課題と展望

今回の試験運用では課題が多く見つかったが、実際に運用してみると、やはり橋脚のような垂直移動の多い現場では、運搬速度は人力に比べると非常に早く、手段としての優位性は感じられた。一方で、重量物運搬ドローンの建設現場の適用については、技術面では、ペイロードの重量の増加が最大の課題である。今回運搬した資材は20kgと、人力でも運べる重量であり、建設現場における用途は限定されていたが、機体の大型化により、ペイロードが50kg程度を超える

と、人力では運搬が困難なケースが増えることが予想され、用途は格段に増えるものと考えられる。ペイロードを上げるためには機体の軽量化、バッテリーのエネルギー密度の向上が必要であり、これらは耐環境性能の向上にもつながる。

また、より高い安全信頼性が確保できれば、人とドローンがより近づいて作業することが可能になり、運搬効率の向上も見込まれる。現状ではクレーンなどの建設機械と比較しても、ドローンは重大事故のリスクが高く、ドローン自体にフェールセーフ機構を持たせるだけではなく、人為的ミスの低減も重要と考える。現状では大型ドローンの運転には熟練パイロットが必要であるが、一般的なパイロットが安全に飛ばせられる状況になることで、パイロットの労働負担および建設コストの低減にもつながると考えられる。

また他の自動化技術との親和性は高く、例えば、ドローンで運んだ荷物を AGV 上に下ろし、AGV が建屋内を運搬するような運用手法も考えられる。将来的には、様々な建設ロボットをドローンに積み込むことも想定される。ただし、現状では複数のドローンを同時に飛行させることも困難で、ドローンの位置精度を考慮すると、他の自動化技術との組み合わせによるシステム化には、まだ技術の向上が必要である。

5. おわりに

作業員の負担の軽減や危険回避など労働環境の改善により、建設業界全体の生産性向上への貢献を目指して、今後も試験運用を重ね、建設現場に適した重量物運搬用ドローンの開発や効果的な活用方法を検討し、建設現場における自動化を進める予定である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 国土交通省ウェブページ, 空の移動革命に向けた官民協議会
https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk2_000007.html
- 2) CPRC 競争政策研究センター公開資料, 「2023 年度, 日本国内におけるドローンビジネスの現状と今後の展望」
https://www.jftc.go.jp/cprc/events/bbl/index_1.html
- 3) (一社) 日本建設業連合会ウェブページ, 建設業就業者数の推移
<https://www.nikkenren.com/publication/handbook/chart6-4/index.html>
- 4) 大本絵利, 低床式自立搬送台車の開発, 大林組技術研究所報 No84, 2020
- 5) 国土交通省ウェブページ, 無人航空機 (ドローン・ラジコン機等) の飛行ルール
https://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html
- 6) 経済産業省ウェブページ, 航空機製造事業法における無人機規制の在り方に関する検討会
https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/mujinki_kisei/index.html

【筆者紹介】

新述 隆太 (にいのべ りゅうた)

(株)大林組 本社
技術本部 未来技術創造部
主任



武田 篤史 (たけだ あつし)

(株)大林組 本社
技術本部 技術研究所 構造技術研究部
主任研究員



成松 敏男 (なりまつ としお)

(株) SkyDrive
ドローン事業開発室
室長



フォークリフトに装備する新設床版設置装置の開発

鈴木 健・田中 秀幸

床版取替工事は、一般的にはクレーン作業にて新設床版を設置する。しかしながら施工条件によっては、クレーン作業が制限される場合が考えられる。著者らは、このような施工条件に対して、フォークリフトに装備可能な新設床版設置装置を開発した。この装置には、床版放置作業の省力化や高速化を目的に、床版の設置場所にて、床版の微調整（鉛直、回転および軸方向）がリモコンで操作できる機能を付加した。また、この装置の性能を確認するため、本装置を使用した実大の床版設置実験を実施した結果、床版の設置作業時間は、クレーンを使用する場合と同等、もしくは、より高速施工が可能であることが確認できた。

キーワード：道路橋、床版取替工事、フォークリフト、床版設置装置、技術開発、維持管理

1. はじめに

高速道路の構造物は老朽化が進んでおり、現状のまま進むと2030年には、開通から30年以上経過した道路が約8割¹⁾になると考えられている。このような背景から、高速道路会社は「高速道路リニューアルプロジェクト」²⁾として、全国で大規模更新工事を進めている。

床版取替工事における新設床版の設置は、一般的にはクレーンもしくは専用の架設機を使用して実施されている。しかしながら、工事箇所の周辺環境によっては、クレーン作業ができない、クレーン作業時間が制限される、もしくは作業時間そのものが限定的となる（例：昼夜連続通行止めができず夜間のみ通行止め施工可能。翌朝車線開放）等の制約があることも考えられる。

そこで、著者らは、荷役作業で使用する重機の1つである「フォークリフト」に着目し、フォークリフトにて新設床版の運搬および設置が可能な専用装置の開発を試みた。

2. 新設床版設置装置の仕様

今回開発した新設床版設置装置（写真—1、以下、本装置と称す）は、フォークリフトの荷役用の「つめ」に接続し、フォークリフト本来の機能である、運搬物の昇降機能や、つめ部の左右調整機能も併用することとした。



写真—1 フォークリフトに装備可能な本装置

本装置とフォークリフトとの接続は、本装置にフォークリフトの「つめ」を貫通させる箇所を設け、「つめ」を通して接続することとした。ここで、本装置を使用して、床版を把持した状態で運搬する際は、本装置の脱落が懸念される。この対策として、貫通部にクロロプレンゴムを配置し、このゴムとつめを油圧ジャッキにより固定させることとした。

床版取替工事で設置する新設床版の接手は、従来工法では主としてループ接手が採用され、床版間の離隔は300 mm～400 mm程度となる。一方、近年開発されたコッター式接手³⁾では、床版間の離隔は20 mmであり、挿入する継手の設置可能な許容量は、数 mmとなる。この設置精度に対して、新設床版をフォークリフト本体のみの機能で実施することは、作業時間が長大となり、施工効率の低下が懸念される。そこで、本装置には、床版の微調整機能（表—1）を追加した。調整装置は、油圧制御とし、微小な調整を可能とした。

表－1 本装置の微調整機能（実大実験仕様）

微調整機能	搭載台数	能力	最大調整可能量	移動速度 等
鉛直	8 台	200 kN	850 mm	上昇 3.7 mm/ 秒 下降 2.0 mm/ 秒
回転	2 台	押（伸）：20 kN	$\pm 4.8^\circ$	伸：8 mm/ 秒
軸方向		引（縮）：20 kN	± 100 mm	縮：15 mm/ 秒



写真－2 本装置のリモコン



写真－3 製作した模擬床版

なお、床版の微調整作業は、床版設置場所で、作業員が目視確認しながら実施することが想定される。これを考慮して、本装置の微調整は、リモコン（写真－2）で操作可能とした。微調整機能のうち、特に、新設床版の把持および鉛直調整を行う鉛直シリンダーの本数は、実工事の PC 床版に埋設される把持金物数と同様に 8 本配置とし、配置位置は、後述する模擬床版に埋設した把持金物位置に合わせた。また鉛直シリンダーの調整機能は、個別制御に加えて、設置する床版の橋軸直角方向の勾配に合わせて同調できる機能を付加させた。回転調整および軸方向調整機能は、本装置上部に軸方向に配置した 2 本の油圧シリンダーにて行うこととした。

これらの機能の仕様は、フォークリフトに装備した本装置を用いた新設床版の設置速度が、クレーン作業と同等もしくは同等以上となることを目標として検討を実施し、設定した。

本装置の設計および装置開発は、西松建設㈱およびオックスジャッキ㈱の共同で実施した。仮組試験および試運転は、2023 年 9 月に西松建設㈱平塚製作所にて実施し、各油圧制御試験を実施して、微調整機能の仕様および性能を確認した。なお、今回製作した本装置の各調整機能や油圧装置等はリース材で構成したため、装置全体の重量は約 6 t となった。

3. 実大実験

（1）模擬床版の製作

本装置の性能およびフォークリフトに装備した本装置による新設床版の設置速度を確認するため、実大の運搬および設置実験を実施した。

運搬する床版は、実際の高速道路 2 車線断面級の箱桁形状を簡略化した模擬床版（写真－3、橋軸直角方向幅：約 12 m）を 2 枚製作した。模擬床版を把持するための金物は、実工事で使用する金物と同製品とし、8 箇所配置とした。また、実際の床版を模擬するため、橋軸直角方向の勾配は、カントを考慮して 3.0°とした。なお模擬床版の橋軸方向幅は、使用するフォークリフトを 24 t 級としたことから、今回製作した本装置の重量を考慮して、約 1.7 m にて製作し、模擬床版の重量は、16 t とした。

（2）実大実験

実大実験は、2023 年 10 月下旬に実施した。実験時のフォークリフトの走路は、碎石と敷鉄板で造成した。走路の橋軸直角方向勾配は、実工事の施工条件に近似するよう、模擬床版と同等の 3.0°で造成した。

実験では、まず初めに、模擬床版を把持した状態で、フォークリフトの走行状況（写真－4）を確認した。その結果、模擬床版を把持した状態でのフォークリフトの走行性や安定性は、橋軸直角方向に勾配があっても問題ないことが確認できた。また、フォークリフト



写真一4 フォークリフトに装備した本装置による模擬床版運搬状況



写真一6 模擬床版中心角度1.5°回転した条件での床版設置実験状況



写真一5 橋軸直角条件の床版設置実験状況



写真一7 クレーンを使用した床版設置実験

停止時の本装置の脱落や本装置の不具合の発生はなかった。また、把持した模擬床版の荷振れについても問題ないことが確認できた。

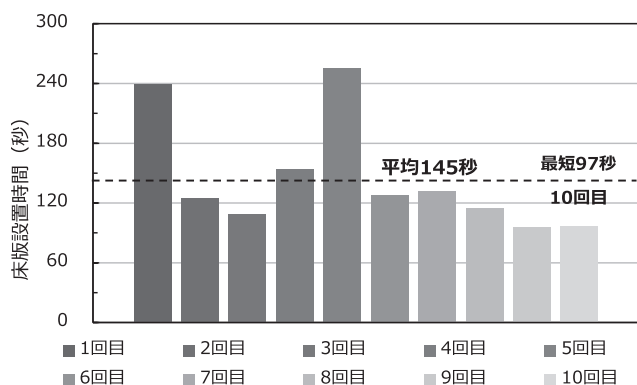
次に、模擬床版の設置時間について実験にて検証した。床版設置に必要な時間の定義は、模擬床版1枚目を設置した状態で、2枚目を設置する時間とした。計測時間は、フォークリフトにて模擬床版2枚目を模擬床版1枚目手前まで運搬完了後から設置完了までの時間とした。床版間距離は、コッター式接手を想定して20mmとし、許容値は、 $\pm 2\text{mm}^{4)}$ とした。また、床版間の横ずれの許容値についても、コッター式接手を想定して $\pm 5\text{mm}^{4)}$ とした。床版の設置角度は、橋軸直角(写真一5)と、模擬床版中心に対して1.5°回転(写真一6)させた場合の2ケースを実施した。上記の実験に加えて、実大実験では、クレーンを用いた床版設置実験を実施(写真一7)し、フォークリフトに装備した本装置による床版設置時間とクレーン作業による床版設置時間を比較して、当初の目標である「新設床版の設置時間がクレーン作業と同等もしくは同等以上」が達成できたかを確認した。

なお、実大実験時の作業員は、作業員3名、フォークリフト運転者1名および本装置の操作者1名の5名で実施した。ただし、本装置の操作者は、今後、作業員が兼務する予定であり、将来は4名で作業可能と考えられる。

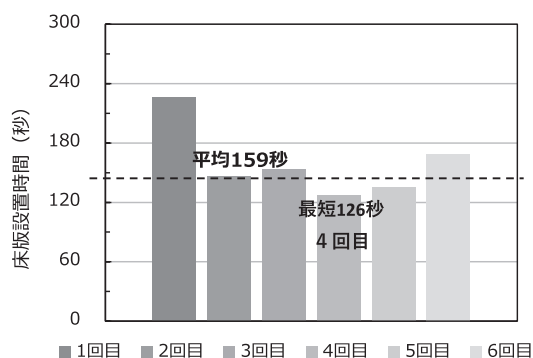
(3) 床版設置時間の計測結果

本装置を用いた床版設置時間の計測結果を図一1に示す。床版の設置条件は、橋軸直角である。本装置を用いた床版設置時間は、10回の平均では145秒であり、最短時間は97秒であった。また、設置に必要な時間は、実験回数が増えるほど短縮する傾向が確認された。これは作業員の本装置に対する慣れと、床版を把持した際に、あらかじめカントを考慮した鉛直制御用油圧シリンダー長の調整ができたため、床版設置時の鉛直に対する微調整作業が発生しなかったためである。なお、5回目の設置時間は、他に比べて長くなっている。これは、床版間距離の調整に時間を要したためである。

次に、模擬床版を床版中心で1.5°回転させた実験に



図一 本装置を用いた床版設置時間の計測結果



図二 クレーンを用いた床版設置時間の計測結果

については、本装置を使用して床版を回転させる手順が増えたことで、床版設置時間の平均は約 280 秒程度となったものの、微調整は本装置にて実施することができた。

なお、実験時にリモコンのトラブルや油圧システムのトラブル等は発生しなかった。

一方、一般的な工法であるクレーンを用いた床版設置実験の計測結果を図一 2 に示す。使用したクレーンは床版の重量と作業半径から 70 t 級とした。クレーンを用いた床版設置時間は、6 回の平均では 159 秒であり、最短時間は 126 秒であった。ただし、クレーンによる床版設置作業については、橋軸直角条件であっても、床版設置位置の調整に、レバブロック等の補助器具が必要であった。このことから、本装置は、クレーン作業に比べて、床版設置工事の省力化や省人化

の効果も期待できることが確認された。

以上より、今回開発したフォークリフトに装備する新設床版設置装置の施工速度は、クレーンと同等もしくはそれ以上と評価することができた。

4. おわりに

床版取替工事において、クレーン作業ができない、クレーン作業時間が制限される等を想定して、フォークリフトに装備可能な床版設置装置を開発した。この装置を用いて実大の床版設置実験を実施した結果、本装置を用いた施工速度は、クレーンを使用する場合と同等もしくはそれ以上であることが確認できた。著者らは、今後の床版取替工事での本装置の適用に向けて、今回の実験で確認された課題等に対して、本装置の改良を継続する予定である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 東日本高速道路(株)：高速道路の現状 (<https://www.e-nexco.co.jp/renewal/status/>)
- 2) 中日本高速道路(株)：高速道路の更新事業 (<https://www.c-nexco.co.jp/corporate/operation/maintenance/renew/>)
- 3) 渡邊輝康他：コッター床版の試験施工に関する報告，第 10 回道路橋床版シンポジウム論文報告集，pp.195-200，2018.11
- 4) 髯谷亮太他：「コッター床版工法」による橋梁床版取替工事－NEXCO 東日本 高速道路リニューアルプロジェクト，熊谷組技術研究報告 第 79 号 /2020，2021.1

【筆者紹介】

鈴木 健（すずき たけし）
西松建設(株)
土木技術部 リニューアル課
課長



田中 秀幸（たなか ひでゆき）
西松建設(株)
平塚製作所
所長



マルチ検査ロボット“SPIRADER”が創る コンクリート長寿命化社会

安 藤 康 志・栗 原 陽 一・佐 藤 保 大

“SPIRADER”は壁面や天井を自由に走行し、電磁波レーダでコンクリート内部の状態を確認することができるロボットである。新幹線の鉄筋コンクリート橋の調査のため、運用する JR 東日本がロボットメーカーと共同開発をした。そして最新レーダの搭載でさらに正確な鉄筋位置の把握と遠隔地からのデータ分析が可能となっており、さらに鉄筋腐食検査機や衝撃弾性波測定装置なども加え多様な調査への対応ができる「マルチ検査ロボット」への発展を目指している。

キーワード：壁面走行ロボット、鉄筋かぶり、橋りょう、トンネル、電磁波レーダ、鉄筋腐食、ひび割れ、空洞

1. はじめに

“SPIRADER”（以下、本ロボットという）は元々、JR 東日本が新幹線大規模改修工事に向けた計画策定のための調査を目的としてオンガエンジニアリングと共同開発した壁面走行ロボットである。天井や壁面を自在に走行し、点検作業を行うことができる。

この技術を全国の道路橋やトンネルなどコンクリート構造物に展開し、普及させることで、社会インフラの老朽化という日本国が抱える問題に貢献することができるのではないか、というのがこのプロジェクトの端緒である。

コンクリート構造物は点検と保守を確実に実施すれば 50 年といわれている寿命以上に持たせることが可能だが、その実施がなければ、劣化が進行し構造物自体を取り壊さざるを得なくなり、結局新規に作り直すことになる。これに伴う作業やセメント製造の過程で排出される CO₂ の発生が環境破壊を招くだけでなく、結果的にコスト面でも大きな負担となるのである。

また、高所や人が容易に立ち入れない箇所の点検管理と現状把握は重要であり、これらを日常的に行っておくことで、災害時の復旧計画の立案の迅速化にもつながる。

人力から AI ロボット活用へ、これはその第一歩となるプロジェクトである。

2. 全国各地のコンクリート構造物を取り巻く環境と抱える課題

日本各地では過去から様々な社会インフラが堅実に整備され、地方の人々の暮らしや交通を支えてきた。

しかし、昨今の少子化により、とくに地方自治体においては将来的に大幅な税収の減少が見込まれており、コンクリート構造物を中心とするインフラの維持管理に大きな影響をもたらす可能性がある。

そして建設から長い年月を経て老朽化したコンクリート構造物も数が多くなり、これらの点検や補修といった維持管理費用はさらに大きくなることが予想される。

また、前述の少子化はこういった業務に携わる技術者の不足を招き、その技能の育成や承継をますます困難にするだろう。

さらに地震大国である日本においては災害時に迅速に損害を把握することも求められ、そのためにも定期的な点検の効率化は急務なのである。

そもそもコンクリートは加工しやすく、自然鉱物（石灰石）を利用できる非常に便利な素材であるが、製造過程で大量の CO₂ を放出している。老朽化した構造物を「壊しては作る」ことは補修に比べ環境負担が大きいのである。

上記にある様々な課題解決のための一つの提案が、現在飛躍的に進化を遂げているロボット技術と、最新の電磁波レーダ装置（小型、軽量、無線データ伝送）や複数の検査装置を用いることにより簡単に確実に構

造物の非破壊検査が可能となる「遠隔探査システム」である。

3. コンクリート構造物と鉄筋のかぶり

鉄筋のかぶり深さはコンクリート構造物にとっては非常に重要な要素の一つである。コンクリートは素材性質として圧縮力には強いが引張耐力は小さい性質があり、そのために鉄筋を利用して引張耐力を向上することで構造物等に利用されている。また、アルカリ性という性質も持っており、内部の鉄筋を腐食から守るという役割も果たしている。

鉄筋がコンクリート表面から浅いところであれば構造耐力的には有利だが、風雨や外気の影響を受け錆が発生しやすくなる。そして鉄筋は腐食するとその体積の膨張を招きその膨張厚でコンクリートのひび割れ（クラック）を生ずる、そしてそこから侵入した雨水がさらに腐食を促進して最終的には構造耐力の低下につながるのである。逆に鉄筋が深い位置にあれば錆を生じる可能性は減るが、構造耐力は小さくなってしまう。

つまり、設計基準に基づいた適切なかぶり深さに配筋されていることが非常に肝要で、その正確な把握がコンクリート検査の主たる目的なのである。

4. 吸引型壁面走行ロボットの開発の経緯

2031年度より東北新幹線（東京～盛岡間）および上越新幹線（大宮～新潟間）の土木構造物を対象に、大規模改修を実施する計画があり、鉄筋コンクリート橋については全延長に亘り、表面改修工を施工する方針である。調査と分析の結果、鉄筋腐食を起因とした変状はかぶりと水掛かりに因るところが大きいと判明し、それらを基に、表面改修工の最適な計画策定が可能となった。

しかし、現在のかぶりを把握するのに人力による測定を実施しており、労力やコストが過大となるといっ

た課題がある。

そこで、かぶり測定の機械化に向け市場調査によるロボットの比較を行い、壁面走行ロボットを活用したかぶり測定方法の機械化を検討した。

(1) 機械化に向けたロボットの比較検討

(a) 整理結果

実用中・研究段階も含めて、現在考えられる橋りょう用点検ロボット方式について市場調査を行い、それらを比較検討した。結果を表—1に示す。延長方式は他の方式に比べ大型であり、機動性に劣るという性質を有する。この性質は橋りょうの柱間隔が長大でない鉄道の橋りょう点検には適していないため、延長方式を除外することとした。

(b) 橋りょう用点検ロボット運用上の課題

飛行方式と壁面走行方式のロボットの運用上の課題として、壁面走行方式は飛行方式に比べ測定面へのアクセスが不利である。しかし、この課題は、移動補助手段の開発を行うことで克服可能と考える。

一方、飛行方式における“航空局に対する飛行許可申請”は法規制のため、技術開発での解決は困難であり、実運用上の大きな課題となる。さらに、同一機能を持った機体を考えた場合、壁面走行方式は飛行方式に比べ操作が容易である。以上から、かぶり測定の機械化においては壁面走行方式（移動補助手段を含む）を選定した。

(c) 壁面走行方式の密着方法の検討

密着方法の種類と特徴は以下の通り示す。コンクリート橋の梁部材等でも走行可能であることを考慮し、高い走行安定性を誇る、真空吸着型を採用した。

- ・電磁吸着型：高い走行安定性を誇るが、走行面が磁性体であることが必要。
- ・真空吸着型：高い走行安定性を誇るが、走行面に高い平坦性が必要。機器寸法・重量が大きい。
- ・プロペラ推力型：他方式に比べ走行安定性が劣るが、不陸面の走行性能が高い。

表—1 橋りょう用点検ロボット方式

方法	型式	主な測定対象と方法	備考（2018/10時点）
飛行方式	マルチコプタ型（ドローン）	画像撮影による点検や、農薬散布など	多方面で実用化
壁面走行方式	真空吸着型	橋梁側面、下面の打音、レーダ、写真撮影など	開発段階
	磁力吸着型	画像検査・清掃など	実用化（※吸着面が磁性体であることが必要）
	プロペラ推力型	橋梁側面・下面のレーダ、写真撮影など	研究段階
延長方式	懸垂型	橋梁下面の画像撮影など	開発段階
	アーム型	橋梁側面の画像撮影など	フィールド試験段階

(d) かぶり測定機器の検討

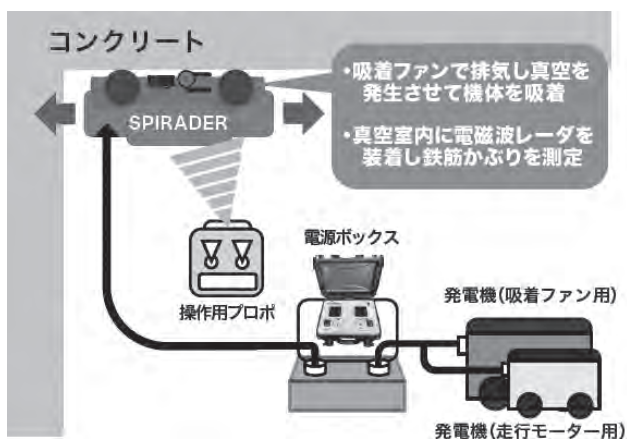
コンクリート中の鉄筋かぶりを非破壊で測定する方法としては、「電磁誘導方式」と「電磁波レーダ方式」が存在する。非接触で連続した測定が可能であり、機器自体の重量が軽いことを条件とし、電磁波レーダ方式のかぶり測定機器を選定した。

(2) 吸引型壁面走行ロボット本体の開発

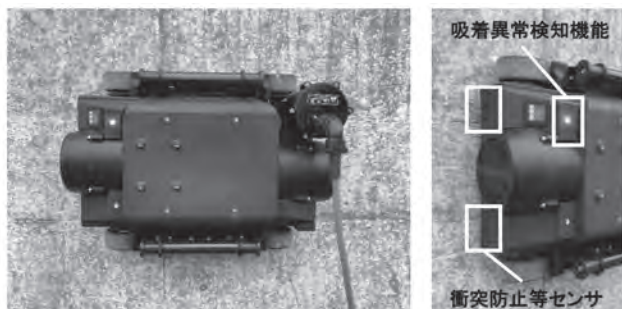
JR 東日本とオンガエンジニアリングが共同で吸引型壁面走行ロボットの開発を行った。

(a) 仕様 (図—1)

- ・吸着方式：高速ターボ排気方式
- ・シール：16 分割ブラシ做い方式
- ・本体寸法：W408 mm×D575 mm×H233 mm
- ・総重量：19.5 kg (電磁波レーダ含む)
- ・走行速度：40 cm/ 秒 (検査モード 20 cm/ 秒)
- ・給電方式：電源ケーブルでの外部電源 (発電機)
- ・走行安全装置：壁面等衝突防止および踏み外し防止として、赤外線距離センサを前方両端に配置 (写真—1)
- ・吸着異常検知機能：吸引内の真空度を圧力センサでリアルタイムにモニタリングを実施する。吸着安全域は緑色 LED, 吸着危険域は赤色 LED で知らせる



図—1 ロボット構成



写真—1 ロボット壁面走行状況および走行安全装置・吸着異常検知機能

(写真—1)

- ・安全設備 (落下対策)：耐荷重 800 kg (400 kg を 2 系統備え、万一 1 系統が動作しなくなった際も十分に落下を回避することが可能)
- ・測定開始地点へのアプローチには高所作業車を使用

(b) ロボットの検証

高架橋にて吸引型壁面走行ロボットの評価試験を行った。結果は良好で、高架橋の側面および下面での走行に問題がないことを確認した。

(c) ロボットによる作業時間短縮性能の評価

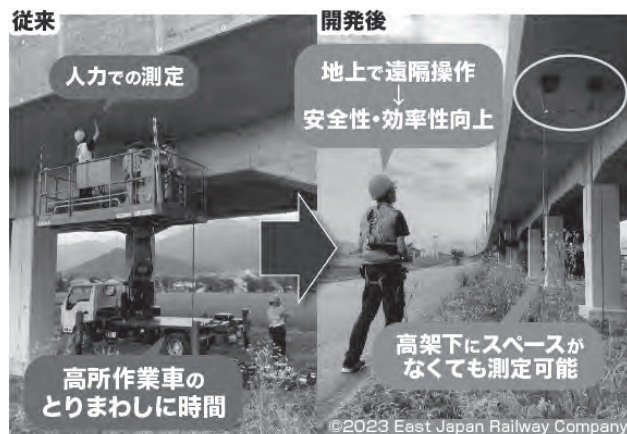
高架橋において、高所作業車を用いた人力での従来方法とロボットを使用した方法とでかぶり測定時間を計測した。両者を比較した結果、従来方法に比べてロボットの方が短時間で計測できるという結果となった (写真—2)。

また、今回は 1 径間毎に計測したが、張出スラブや長い径間の桁など、通して測定できる部位はより一層の効率化が図れると考えられる。

(3) 今後の展開に向けた製品改良

将来的に取得データの位置情報の一元的管理を目指している。高架橋下面などは衛星情報を用いた位置把握が難しいため、カメラ映像による Visual SLAM 技術を活用した位置把握について検討し、高架橋で撮影を行い、動画から取得した座標データの位置把握の精度を確認し評価した。また使用するカメラを選定した。

危険な場所での点検作業に今回開発するロボットを活用できれば、足場を組むことを必要としないので、工期や費用が大幅に短縮できる。また、ロープによる懸垂下降や空中作業も必要なくなり、現場作業員の危険がかなり軽減される。さらに災害発生時には、高所作業車等の特殊な車両の手配をすることなく現場で運用ができ、無線通信による専門技術者からの遠隔サ



写真—2 人力での従来方法とロボットを使用した方法の比較

ポートで迅速に点検作業を行うことで、大きな事故を未然に防ぐことが可能となる。

5. 電磁波レーダの概要

(1) かぶり深さの測定原理

コンクリート内部探査用電磁波レーダは、図一2に示すようにコンクリート内に送信アンテナから電磁波を輻射し、コンクリート内の鉄筋や非金属管、空洞等から反射して戻ってきた反射波を受信アンテナで受信する装置である。

装置から鉄筋等の物標まで距離は、図一3に示す送信から受信までの時間差 T に、媒質中の電磁波の速度を掛けて求めることができる。また、この装置の車輪には「距離計(エンコーダ)」が組み込まれており、測定面上における起点(スタート位置)から反射物直上までの水平距離を測定することができる。

電磁波レーダで測定するかぶり深さ(深度) $D(m)$ は、送信アンテナから輻射された電磁波が鉄筋等に反射して受信アンテナで受信されるまでの時間差 $T(s)$ の $1/2$ に、透過した媒質中の速度 $V(m/s)$ を掛けたものであり、(1) 式で表される。

なお、輻射から受信までの時間 T は、往復時間と

なるため、かぶり深さを求める際の片道時間差 T の $1/2$ となる。

$$D = \frac{1}{2} \times T \times V (m) \quad (1)$$

また電磁波の速度は、空気(真空)中では $3 \times 10^8 (m/s)$ であるが、コンクリートなどの空気以外の媒質を進む場合は、その媒質固有の比誘電率 ϵ_r (イプシロン) に影響される。そのため電磁波の速度は(2) 式のように表される。

$$V = \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\epsilon_r}} (m/s) \quad (2)$$

(1), (2) 式より、電磁波レーダで測定するコンクリート内の鉄筋かぶり深さ(深度) $D (m)$ は、(3) 式で表される。

$$D = \frac{1}{2} \times \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{\epsilon_r}} \times T (m) \quad (3)$$

なお媒質固有の比誘電率 ϵ_r は、媒質によって大きく異なる。たとえば空気や真空の比誘電率は1だが、ポリスチレンは2.4～2.7、海水・清水は81、そして金属など導体は ∞ となっている。一般的なコンクリートの比誘電率は6～8と幅をもち、乾燥していると低く、打設後間もない含水率が高い場合は高い。よって正確な深度を知るには、対象とする媒質の比誘電率を正確に求める必要がある。

(2) 鉄筋が山形波形(ハイパボラ)となる理由

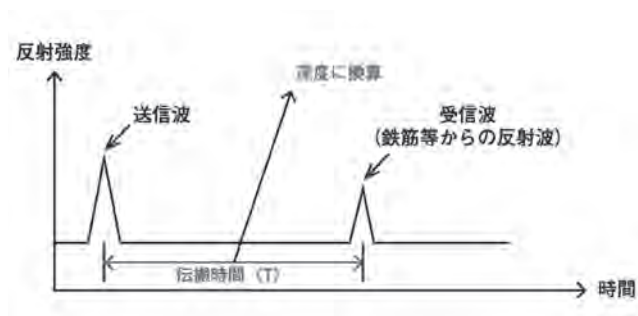
送信アンテナから輻射される電磁波は、その進行方向(下向き)に対して広がりを持っているため、図一4に示すように鉄筋直上通過前の $P1$ においても前方の鉄筋からの反射波($R1$)を受信する。よってこの位置では、装置から鉄筋までの斜めの距離 $d1$ を表示することになる。装置から鉄筋までの距離は、装置が鉄筋直上($d2$)になった時に最短となり、その後、再び装置は鉄筋までの斜めの距離を表示することになる。その結果、レーダ画面に表示される2D画像(断面画像)では、鉄筋直上をピークとする左右対称の山形波形として鉄筋が表現されることになる。

この山形波形は双曲線(ハイパボラ; hyperbola)であり、鉄筋に接近する部分を山形波形の「立ち上がり」、鉄筋から離れる部分を「立ち下がり」と呼ぶ。

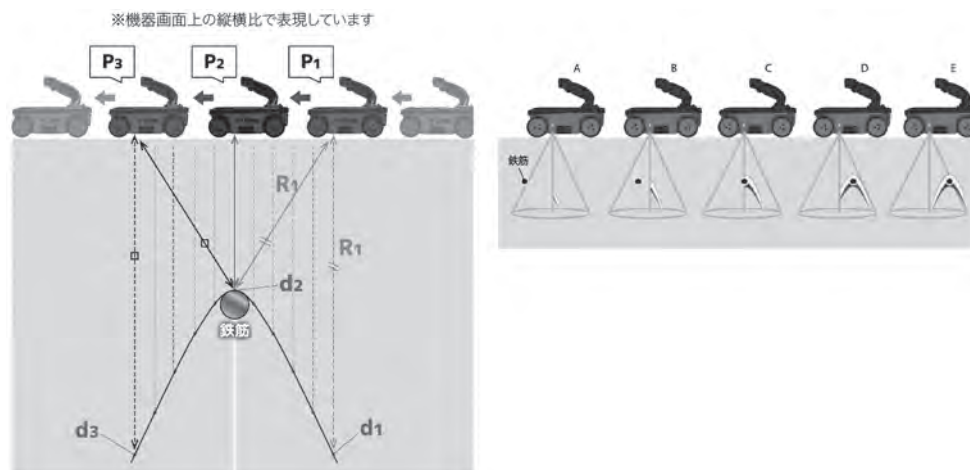
このように電磁波レーダ法では、鉄筋の位置を2D画像上、点として直接求めることはできないが、鉄筋と直交する方向に装置を移動させ、鉄筋からの山形波



図一2 電磁波レーダ測定原理



図一3 反射波形例



図—4 鉄筋が山形波形になる理由

形を得ることにより、そのピーク位置を鉄筋直上とし、またその位置での深度を鉄筋の深度として求めることができる。

(3) 鉄筋の深度と山形波形（ハイパボーラ）の関係

図—5は鉄筋深度と山形波形（ハイパボーラ）の関係をシミュレーション結果として示したものである。山形波形のピークは、反射体の深度が浅い場合鋭く、反射体の深度が深くなるほど緩やかになる。また「立ち上がり」、「立ち下がり」の太さは、反射体の深度が浅い場合は細く、深い場合は太い。

実際に測定した波形が図—6である。これを見ると、鉄筋1→2→3→5の順で、ピーク付近のカーブが緩やかになっていることがわかる（※鉄筋1, 2, 3, 5は同一径）。

以上が電磁波レーダでコンクリート内部の鉄筋位置把握をする基本的な原理である。

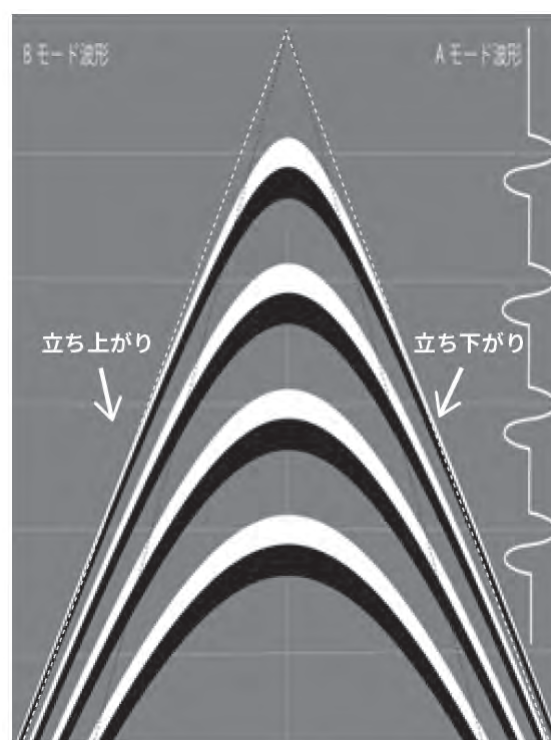
6. マルチ検査ロボットへ ～各種測定機器の装備～

本ロボットの大きな特徴の一つに、その自重に加え60 kgという大きなペイロードを持つことが挙げられる。これを利用し、複数の検査機器や作業機械を取り付けることが可能となっており、現在実装に向けた改造と現場での検証実験が順次行われている。また、それらの結果を受け各種機器をロボット用にカスタマイズする作業も並行して進められている。

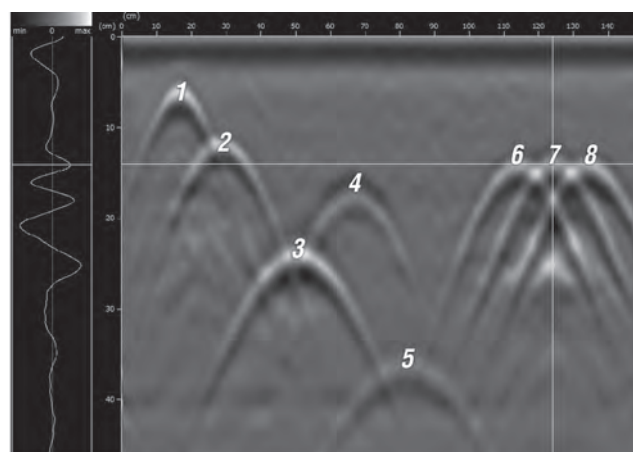
具体的には以下のようなものがある。

(1) 最新電磁波レーダ

まず、かぶり深さの測定に使用される電磁波レーダ



図—5 鉄筋深度別山形波形のシミュレーション画像



図—6 鉄筋深度別山形波形の比較

の選定にあたっては鉄筋のかぶり位置が正確にわかるよう自動深度補正 (ADC) を備えており、多重反射 (リングング) が少なくノイズ除去機能に優れていて走査画面での目標物判別が付きやすいものを条件とした。加えて走査画面を遠隔地でモニタリングできるよう、無線によりインターネットを介してスキャンデータを送信できるものを選んだ。

(a) 自動深度補正 (ADC)

鉄筋からの反射波が走査画面上で描く山形波形 (ハイパボーラ) は基本的にアンテナのフレア角によって決まり、深度によって角度が変化するので、そこから目標物がどの深さにあるのか計算することができる。ただしその角度はコンクリート中の比誘電率によって影響を受けるので、正確な深度を得るには正確な比誘電率を求めることが重要である。しかもコンクリート中の比誘電率は均一とは限らないが、この ADC は深度ごとに山形波形の傾きを自動計算し、複数のアルゴリズムを利用して比誘電率を算出する。これにより、鉄筋の正確なかぶり深さがわかる (図—7)。また、

比誘電率はコンクリートの表面温度によって変化するが、その校正も行われている。

(b) ノイズ除去機能

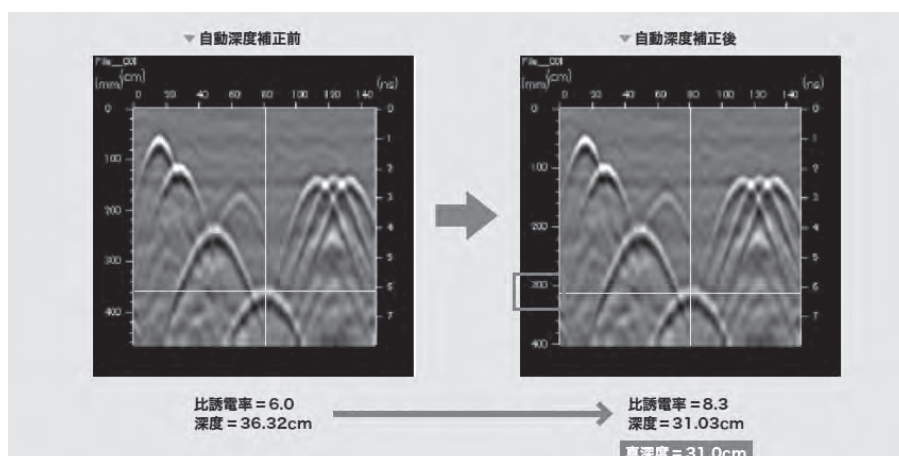
走査画面にノイズが多ければ、かぶり深さの把握や埋設物の特定が困難になるので、リングングを抑制するよう適切に調整されたフィルタに加え、反射波からノイズを除去することが必要となる。反射波を複数回受信して加算平均することによりランダムノイズを除外することができるのだが、もちろんこの回数が多ければ多いほどノイズを綺麗に除去することが可能だ。

(c) クロススキャン

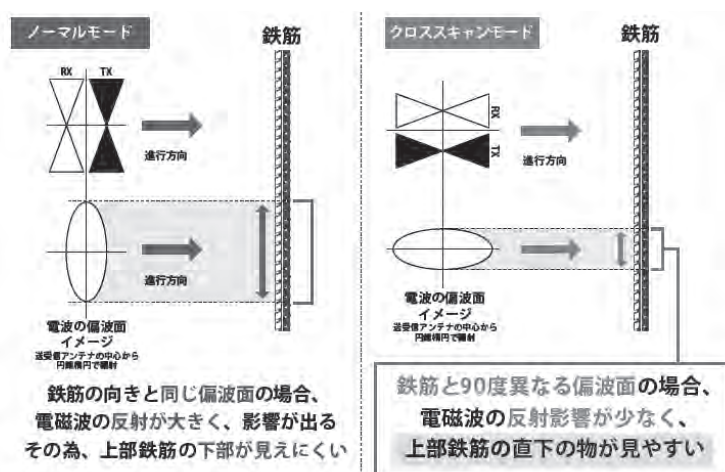
アンテナの方向を 90 度回転させると、送受信アンテナの位置関係から鉄筋反射の影響が小さくなり、鉄筋奥の非金属に電波が当たりやすくなるため非金属を検知しやすくなり、通常は上部鉄筋の反射で隠れていた深層部の埋設物および、ひび割れや空洞などを発見しやすくなる (図—8)。

(d) 無線での走査データ送信

今回装備される電磁波レーダはロボットに装着され



図—7 自動深度補正の重要性



図—8 通常方向 (ノーマル) と交差偏波 (クロス) の違い

たアンテナから、無線で走査データを受信してレーダ本体のディスプレイで確認ができる方式である。さらにこの本体をスマートフォンなどのデバイスに無線でつなぐことにより、走査データをリアルタイムでインターネットを介して送信することが可能だ。走査画面の分析にはある程度の知識と経験が必要となるが、これにより現場で走査している画像をリアルタイムで遠隔地から専門家が分析したり、また検査位置や手法の指示を出したり、ということができるようになる。誤読による事故の防止や作業効率の向上にもつながる重要な機能である。

(2) 鉄筋腐食探知機

完全非破壊で鉄筋の腐食度合を確認できる機器が実用化されており、その搭載を予定している。

コンクリート内部の鉄筋の腐食は、電気化学反応に起因する。この電気化学反応は、陰極で水酸化物イオンが放出され、また陽極で鉄イオンが放出されるため、電子は陽極から陰極に移動し（図—9）、最終的には鉄筋の表面にできる陽極と陰極との間に電位差をもたらすというものである。

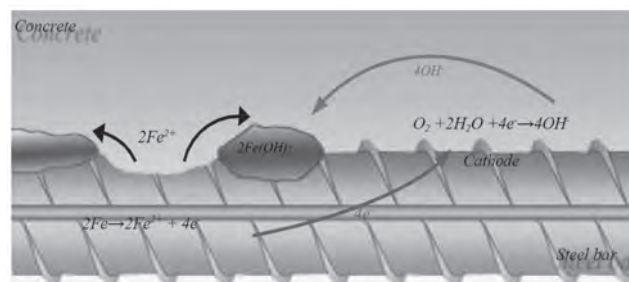
この装置では、コンクリート内部の鉄筋に生じる電気化学的反応を図—10のように4つの電極を用いてコンクリートの表面から測定が可能である。

腐食速度の測定には、外側二つの電極間に交流電流を印加し、内側二つの電極でその間にできる電圧を測定する。

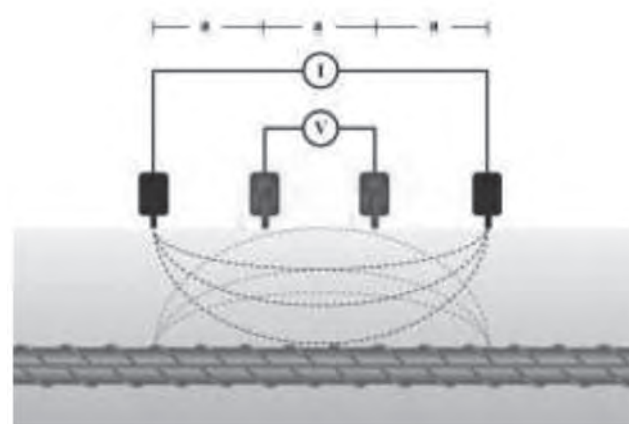
鉄筋の健全度はコンクリートの構造強度に関わる重要な要素の一つである。鉄筋の腐食が進むと鉄筋が膨張することで剥離の原因となる。電磁波レーダで正確に鉄筋位置（配筋位置と深さ）を把握することで、コンクリート表面からその鉄筋の状態や腐食スピードを調べることができ、将来の腐食の予測を行い保全・修理計画に役立てることができる。衝撃弾性波：これまでの点検ハンマーに代わる、剥離や浮きを調査する非破壊検査手法だが、ロボットにこの装置を取り付けることにより構造物表面の状態を確認することが可能である。

(3) 高解像度カメラ

調査箇所を接写し、状態をリモートで観察することができる。目視による確認は現場においても重要だが、これまで作業員が到達できなかった高所や狭所の状態を知ることにも容易となる。



図—9 コンクリート内の鉄筋腐食



図—10 コンクリート内部の鉄筋の腐食を検出するためプローブの構成図

(4) 電磁波レーダへのソフトウェア支援（入隅判定）

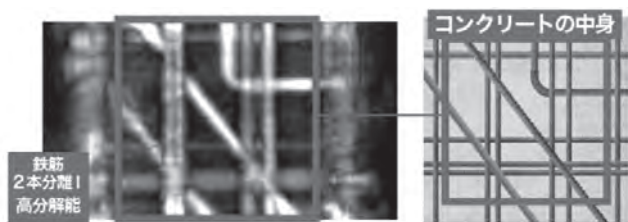
本ロボットは自動の衝突防止機能を備えていて、そのため障害物や壁面の際には寄ることができない。このため、そのような場所の直上まで電磁波レーダのアンテナを移動することができない場合、その直下にある鉄筋の確認は不可能となるのが一般的である。この解決策として、アンテナを埋設物直上まで持って行かなくても、反射波の一部を得ることで、この画像から山形波形の全体像をソフトウェア処理で描画し、埋設物の位置を特定することが可能となった。

※特許 7327865 鉄筋コンクリート構造体のレーダ不可視領域の推定装置及び推定方法

(5) 3D スキャン

従来、コンクリート内の立体画像を得ようとするれば、グリッドシートと呼ばれる方眼紙の直線に沿って縦方向と横方向に複数回の走査をする必要があった。最新機ではレーダ本体を測定場所でジグザグに動かすことにより、図—11のように映像を得ることができるようになっている。

これはレーダ本体の Visual SLAM とホイールエンコーダーを組み合わせることで実現した機能だが、将来的に



図一 11 3D スキャンによるコンクリート内透視画像

は6-(3) で検討されているカメラを活用しロボットに搭載したアンテナで3D スキャンを行えることが期待される。埋設物がどこにどのように入っているかを視覚的に把握することで適切な作業が可能になり、事故の軽減にもつながる。

また、本機能はレーダの自己位置を同定できるようになっているので、この技術を応用することによりロボットの自己位置を把握し管理することが可能となる。

7. この技術がもたらす効果

最新電磁波レーダを備えた本ロボットは、現在建築土木業インフラ事業に関わる全ての事業者を大きく手助けするものになると思われる。

本ロボットは、性能・コスト面だけでなく、検査の際に作業人員を最低限に抑えることができ現在日本全体が抱える人材不足面を解消し日本の社会インフラの

安全性を考える上で必須となってくるものと考えます。

また、日本の産業部門におけるCO₂排出量は、全体の35%を占めその割合は大きい。コンクリート構造物を壊さず補修・修復して長期寿命化することによりCO₂の排出量を減らし、資源の消費と産業廃棄物の発生を抑制することで環境への負担を低減させストック型社会への転換を図ることができる。

J C M A

【筆者紹介】

安藤 康志 (あんど う こうじ)
KEYTEC (株)
営業部長兼移動体搭載システムリーダー



栗原 陽一 (くりはら よういち)
(株)オンガエンジニアリング



佐藤 保大 (さとう やすひろ)
東日本旅客鉄道(株)
JR 東日本研究開発センター
副主幹研究員



3D モデルを用いた橋梁の維持管理システム

伊 井 宏 樹・中 嶋 俊 輔・内 田 修

鉄道橋梁構造物は社会インフラとして安定した品質が求められ、かつ 100 年規模の長期的な維持管理が必要である。また膨大なストック量に対してバランスよくコストを投入する必要があるため、効率的かつ質の高い保守管理手法の構築が求められている。特に、検査～計画～工事の各工程における明確な情報の蓄積と管理が重要である。本報では、立体的なビジュアルで変状や補修履歴を記録・確認できる 3D モデルを活用して、より質の高い維持管理を効率的に実施できるシステムを開発したため、その内容について報告する。

キーワード：鉄道橋梁、展開図、3D モデル、時系列管理

1. はじめに

鉄道の安全・安定輸送を維持するためには、橋梁をはじめとした構造物の適切なメンテナンスを確実に実施し、長寿命化を図ることが重要である。鉄道橋梁の維持管理は、現地での目視による劣化状況の確認を主体とし、紙資料の展開図に変状位置や劣化度合を記録し、検査記録簿に取りまとめるという手段が一般的であった。このような従来型の維持管理手法では、現地に多くの紙資料を持ち込む必要があり、また、手書きで作成した展開図をもとに検査記録簿や集計資料を作成する必要があるなど、多くの労力を要してきた。

このように、構造物の維持管理業務は労働集約的なものである一方、鉄道分野においても高度経済成長期に構造物が集中的に整備されたため、全体的に老朽化構造物が増加していくことが予想されている。土木学会が発足させた「インフラメンテナンス（鉄道）特別委員会」の 152 の鉄道事業者に対してのアンケート調査¹⁾によると、高架橋以外の橋梁に限られるが 2020 年時点において、建設後 100 年経過した橋梁は約 15 % であり、建設後 80 年～100 年経過した橋梁が 20 % 以上存在することが明らかになっている。鉄道橋梁の老朽化による取り替えは短期間で集中的に実施されることは少ないため、老朽化構造物の増加は今後も続くことが予想される。高架橋に関しても、新幹線の開通から 60 年以上経過していることから、同様の傾向があるものと考えられる。

構造物の維持管理業務の従事者という観点では、少

子高齢化の影響で新規労働者確保も進まず、多くのベテラン層の引退も続く中、労働人口は減少の一途をたどっている。内閣府によれば、2030 年時点の生産年齢人口は 2015 年と比較して 11.1 % も減少する見込みが示されている²⁾。このような老朽化構造物の増加と労働人口減少および専門技術者の減少のミスマッチの解消は、鉄道事業者にとっても達成が強く求められる課題である。

国土交通省においても、建設分野全体の生産性向上が重要課題であると位置づけている。2016 年に“i-Construction”，2024 年に“i-Construction 2.0”を策定しており、ICT の全面的な活用によるインフラ分野の DX 化を進めている。その中で、データ連携の基盤として BIM/CIM をはじめとした 3D データの活用を推奨しており、施工段階のみならず維持管理の段階においても 3D モデルをベースに情報を充実させつつこれらを活用し事業全体の効率化を図ることを提唱している³⁾。

経年劣化により品質低下が進行している構造物であっても、容易に供用停止とすることはできない。そのため、定期的にコストをかけて検査および修繕を実施することで、必要な品質を確保しながら供用を続けている。一方、人口減少や少子高齢化による事業収益の低下やインフラ従事者の減少という背景から、今後はこれまで以上に効率的な維持管理を行うことが求められている。これらの課題に対処する手段の一つとして、誰でも直感的に把握しやすい 3D モデルを橋梁検査の情報共有・管理の基図として活用し、各種業務の

効率化を図る取り組みを進めている。具体的には、3D モデル上に現地で検査結果を記録するシステムを開発し、現在すでに一部の線区で運用を開始している。本稿では、そのシステムの機能および現在の運用状況について報告する。

2. 概要

本システムでは、橋梁の 3D モデルと現場で撮影した外観写真を対応づけることが可能である。3D モデルと対応した写真上で変状や補修箇所の図形をなぞると、それが 3D モデル上に反映されるとともに、検査・調査を行った時点ごとにレイヤ情報としてデータベースに登録することができる。これにより、業務への習熟度によらず、正確かつ容易に情報を記録することができる。さらに「①変状や補修箇所の正確な位置や大きさの把握と集計作業の自動化」、「②計画・検査・工事での情報共有と履歴管理」が可能となっている。

本システムでは構造物ごとに 3D モデルをあらかじめ構築しておく必要がある。個別に構築する労力を軽減するために、モデル構築が効率的に行えるような仕組みを取り入れた。以下に詳細を述べる。

3. 3D モデルを用いた橋梁の検査システム

(1) システムの特徴

これまでは、立体構造物である橋梁を部材ごとに平面に表した展開図に変状や補修箇所を記録して管理する方法が一般的であった。検査・調査の結果を正しく伝達し、補修場面において適切に計画できるようにする点で展開図は有効であった。しかし、立体を平面上で表現する方法であるため作成や集計作業に手間、労力がかかり、特に構造が複雑になると業務負担が大きい。また、現場で目視確認した変状を展開図上に転記するため、変状の位置や大きさはあくまで模式的なものとなり、展開図上に記載した変状位置が実際の橋梁構造物のどの位置にあるかを判断しにくいこともある。このように、正確な管理がしづらい状況もみられた。これらの橋梁の維持管理における課題を解決するため、正確な座標情報に基づいたデータ管理が可能となる 3D モデルを情報共有・管理の基盤とする本システムを開発した。

本システムの特徴は、「現場で撮影した写真上で判読した変状や補修箇所および形状を 3D モデルに反映し、その位置・数量を正確かつ自動的に算出できること」、「撮影写真や変状補修を時系列で管理でき、変状

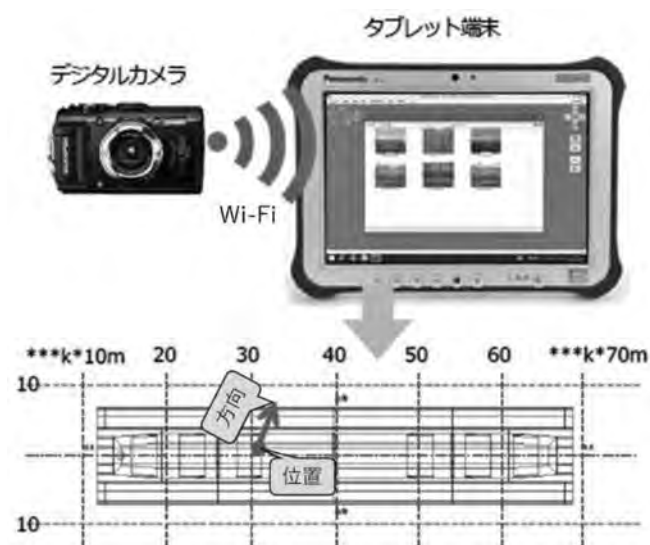
の進行を 3D モデル上および撮影写真上での確に追跡できること」、さらに「補修によりどの変状が解消したかを把握できること」にある。以下にその特徴を紹介する。

(a) 写真管理

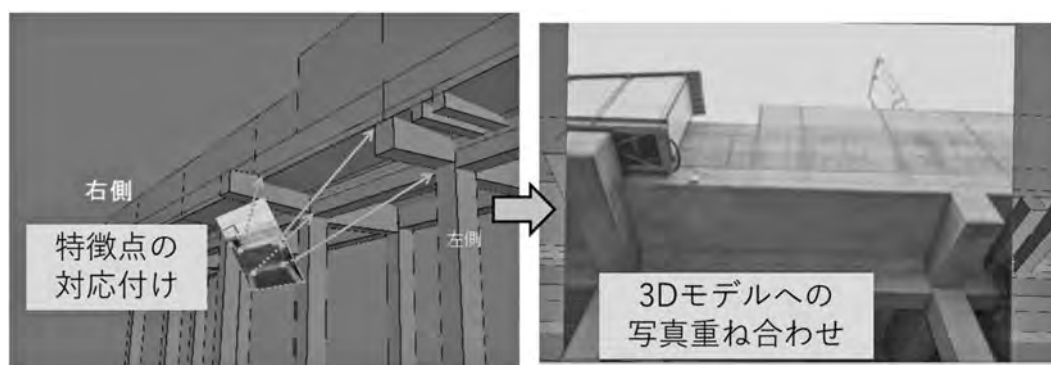
現場で撮影した写真は、変状などの発生状況の記録として有用な情報である。写真管理においては、撮影方向や位置を正しく記録することが重要であるが、写真に写っている範囲が構造物のどの場所に対応するのかを直観的に把握することは難しい。そこで本システムでは、3D 空間上に撮影写真を正確に配置することで、構造物と撮影写真の位置関係を視覚的に把握できる仕組みを構築した。具体的には、デジタルカメラで写真撮影をしてから無線（Wi-Fi）を利用してその写真をタブレット端末に取り込み、作業者が画面上に表示した構造物の模式図上で矢印を入力することで、撮影した位置と方向を矢印で示せるようにした（図—1）。この手順を経て、現場で撮影した写真が 3D 空間上の概略的な位置に登録される。さらに、現場での撮影写真と 3D モデルにおける位置を正確に一致させるための「精密配置」を実施する。精密配置を行うと、図—2 に示すように 3D モデル上の正しい位置に、写真が重ね合わさる。精密配置のプロセスでは、写真の撮影位置を 3D 空間上に落とし込んだうえ、3D モデルと撮影写真の両者に対し、作業者が PC 画面上で 4 点以上の対応点をマウスクリックにより指示する。こうして撮影時の方位、角度を算出することにより、3D モデルと撮影写真の対応付けを行う。

(b) 変状・補修管理

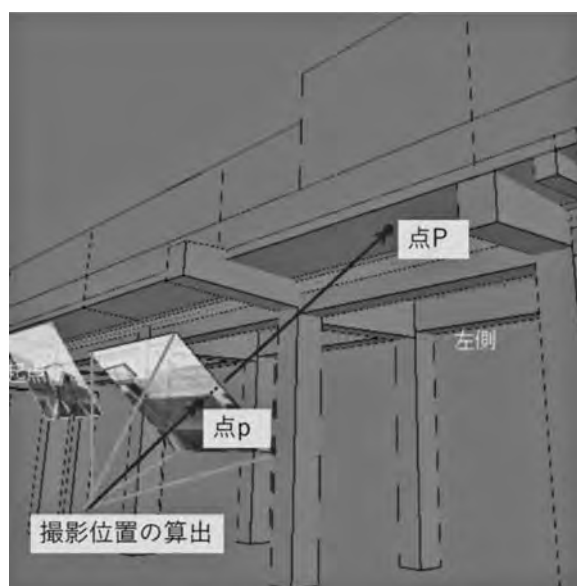
3D 空間上に正確に配置された写真（精密配置済み写真）は、配置の過程で撮影位置、方位、角度が求め



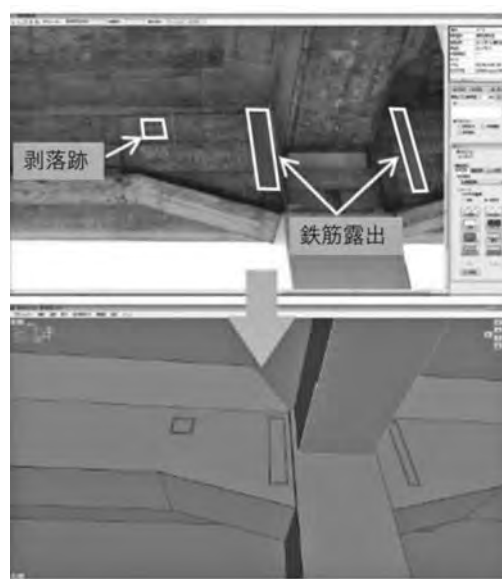
図—1 撮影写真の Wi-Fi 転送と撮影位置の記録



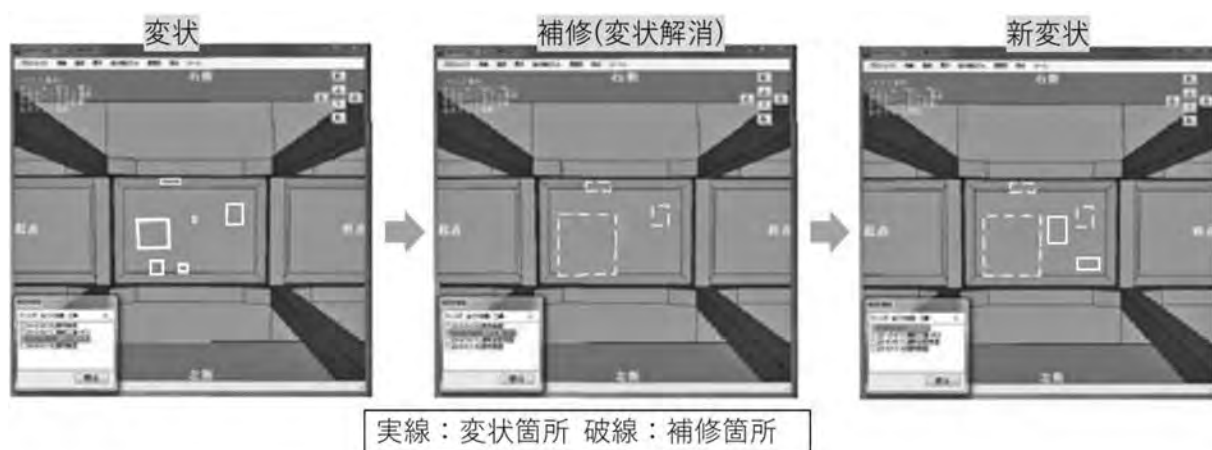
図一 2 特徴点の対応付けによる写真と 3D モデルの重畳表示



図一 3 3D モデルと写真の対応関係



図一 4 変状入力と 3D モデル上への反映



図一 5 変状等時系列管理

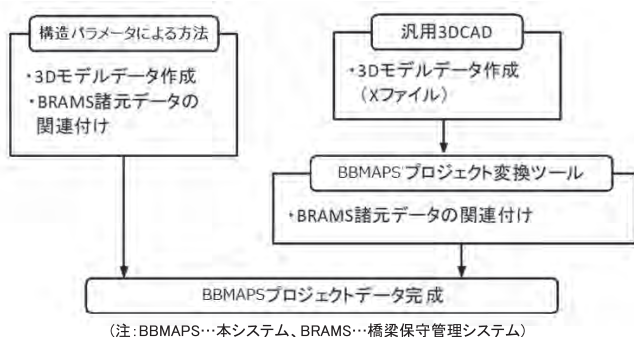
られている。すなわち、写真上の点 p に対応する 3D モデル上の点 P の 3 次元座標を計算することができる (図一 3)。つまり、写真上で変状・補修箇所を図形でなぞると、その結果が 3D モデルに正確に反映され、位置と数量 (長さや面積) の自動的な算出が可能

となる (図一 4)。さらに、個別の変状・補修個所の図形は、ID と属性情報を持つデータベースとして一元管理されるため、経年的な変状の進行や工事による補修履歴を正確かつ精度よく把握することができる (図一 5)。

(c) 橋梁 3D モデルの構築

コンクリート橋梁の 3D モデルを作成するにあたり、本システムでは、コンクリート橋梁に対して一般的な区間で用いられることの多い「標準型のモデル」をあらかじめ登録している。しゅん功図面に記載された部材ごとの寸法（構造パラメータ）を転記することで、3D モデルを容易に構築することができるようにした。本システムで対応できない特殊で複雑な構造については、汎用 3DCAD ソフトで作成した 3D モデルを取り込むことで対応できる。概念図を図—6 に示す。

3D モデルデータ整備では、個別のしゅん功図面を確認したうえで「構造パラメータ（部材寸法）により作成可能なもの」、構造物が複雑であるため「汎用 3DCAD での作成でしか対応できないもの」に振り分ける作業



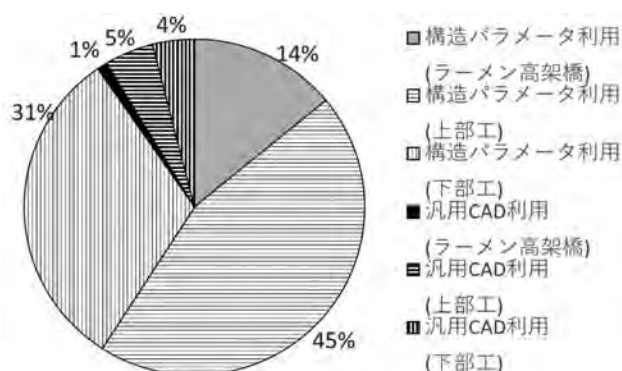
図—6 3D モデルデータの作成方法

が必要となった。モデルの作成コストは、構造パラメータによる手法が汎用 3DCAD での作成と比較して廉価である。3D モデルデータ整備の費用を精度よく把握するうえで、この振り分けの作業は重要である。

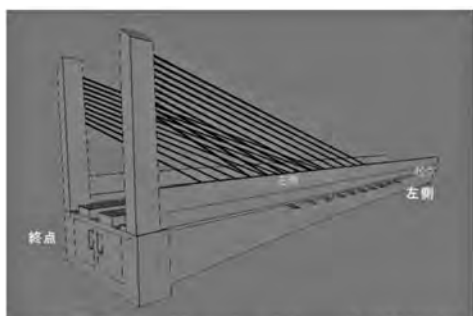
作成方法による割合は、図—7 に示すとおり、構造パラメータによる方法が 90 %、汎用 3DCAD による方法が 10 %であった。汎用 3DCAD により作成した特殊で複雑な橋梁 3D モデルの例を図—8 に示す。

(2) 個別機能紹介

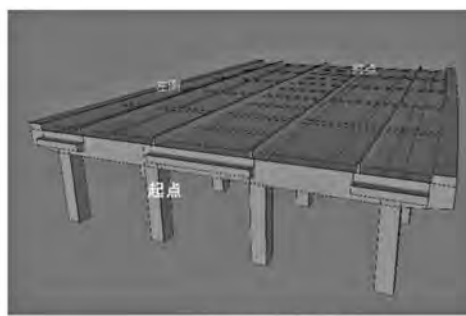
2015 年から試行も含めて運用されてきたが、その間、システム操作性・変状状態可視化・データ入出力・描画速度向上などといった様々な点での改良を実施し



図—7 3D モデルデータの作成方法割合

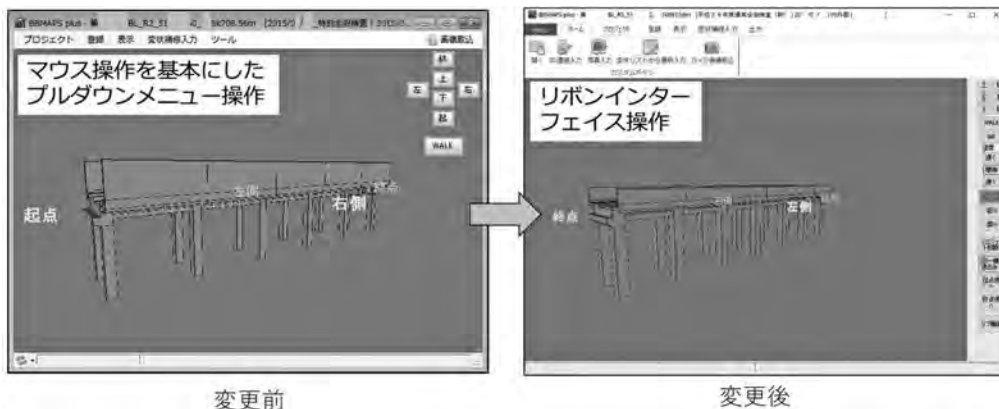


4径間連続エクストラードスド箱桁橋



5径間高架橋

図—8 汎用 3DCAD 利用により作成した橋梁 3D モデルの例



図—9 操作性を考慮したユーザインターフェイスの改良

た。そのうち、主なものについて紹介する。

(a) ユーザインターフェイスの改良

当初はマウス操作を前提にプルダウンメニューを適用していたが、タッチペン入力操作が簡単に行えるリボン風の操作画面に変更し、現場作業の操作性を向上させた（図—9）。

(b) 現場作業の効率化を実現した手書きメモ入力

外業作業において、変状箇所・変状種別・メモなどの情報を写真上に手書きにより簡単に入力できる機能を実現した（図—10）。この機能により、写真に直接メモ書きができるようになり現場での作業性が向上した。

(c) 変状撮影写真の時系列管理

変状リスト画面より、表示したい変状写真を容易に確認でき、かつ写真を関連付けることで、変状の進行

が3Dモデル上および撮影写真上で時系列に即した管理ができるようにした（図—11）。

(d) ウォークスルー機能による回転・ズーム

従来の視点変更は、3Dモデル内の1点を中心に、3Dモデルを回転・拡大・縮小する機能のみにとどまっていたが、従事者が仮想空間内の線路や箱桁内を実際の目視検査のように移動・確認できるように閲覧機能を変更した。これは、実際に現場で従事者が構造物に沿って徒歩で順次構造物を検査していくのと同じ流れであり、現場状況とBBMAPS内の過去検査データとの比較を、容易に連続して行えるようになり、使い勝手は向上した。

なお、この機能をウォークスルー機能と呼んでいる。

4. 現場利用

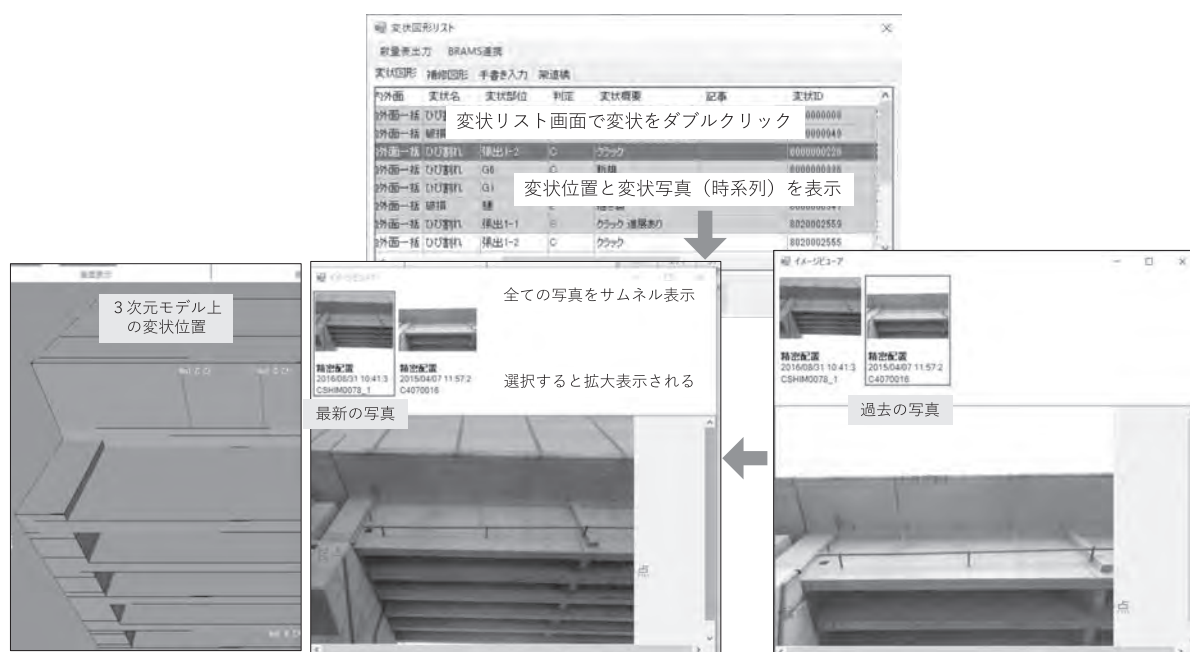
(1) 現場での運用状況

2015年3月開業の北陸新幹線の検査業務において試行的に本システムを導入し、実際の検査において利用することを通してシステムの性能評価を実施した。2018年より本格的に運用しており、現在までに多くの関係者の意見を反映した様々な改良が重ねられ、有効に活用されている。

全延長約125kmのうち約65%がコンクリート高架橋・橋梁であり、2年間で全ての高架橋・橋梁を網羅する頻度で検査を行っているため、検査の効率化・省力化を進めることは効果が大きい。このシステムは開業と同時に導入されたため、建設から間もない時期か



図—10 手書きメモ入力機能による現場作業の効率化



図—11 変状写真の時系列表示

らの構造物の状態を捕捉し続けることができているという点でも有用である。

(2) 本システムを使用した業務の流れ（現場作業前の準備～報告書作成）

現場作業前には、従来より橋梁の保守管理に利用しているシステムから検査計画情報を本システムへ出力し、その日の検査対象橋梁のデータをタブレット端末へ出力する。

現場では、3Dモデル上にある変状図形や前回検査時の写真と現地を見比べながら、新規変状の有無や既存変状の進行度合いを確認している。また、全景写真や既存の変状の写真を撮影し、構造物に対する撮影方向や変状の詳細を記録していく。

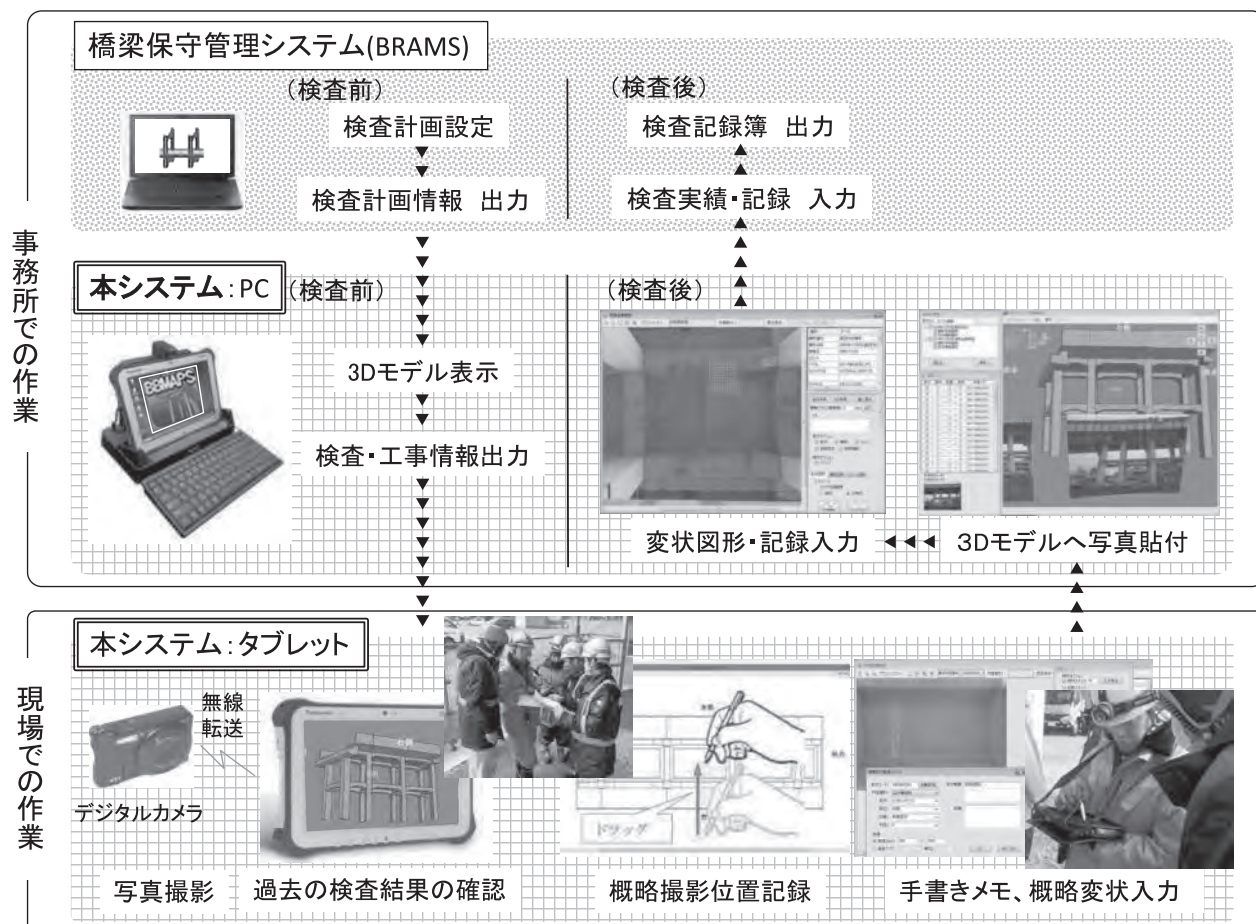
現場作業後、事務所では、写真や変状図形の3Dモデルへの貼付や変状の詳細情報入力を行い、橋梁の保守管理に利用しているシステムへデータを戻して反映させ、検査記録簿を完成させている（図—12）。

(3) 導入効果

従来の紙資料を用いた橋梁検査では、日ごとに検査

対象箇所の過去の検査記録簿、構造物の展開図、過去検査の写真等を印刷したうえで現場に持参している。そのため検査時の準備作業が多だけでなく、現地においても必要な情報を資料から探して確認するのに時間を要していた。さらに、雨や強風の日には紙の破損や飛散のおそれもあるなど扱いにくいものとなっていた。本システム導入後は、タブレット端末で様々なデータを閲覧できるだけでなく、検査記録の入力ができる野帳としても使用できるので、紙を使うことによる多くの課題が解決された。また、写真の帳票への貼り付けや写真データのフォルダ整理など、検査後の事務所で作業が軽減されており、検査から報告書完成までに要する日数が概ね従来の約半分の期間になっている。

従来使用していた構造物の展開図は二次元で見づらく、起終点や左右を勘違いした変状位置の記録ミス等を起こさないよう注意力を要していたが、3Dモデルは視覚的にわかり易く、勘違い等のミスが起こりにくいことから、従事者の負担も軽減されている。また写真上の変状等に沿って3Dモデル上に変状を作図できるため、作業者の熟練度等によらず品質のばらつきが少ない検査記録簿が誰でも作成できるようになった。



図—12 使用機器と作業の流れ

さらに、橋梁検査は、線路内側は夜間、線路外側は昼間というようにそれぞれ別日に行っているが、一つの3Dモデルに各々の検査記録や写真が集約されているので、一方の検査時にもう一方の検査記録等を確認ができ、線路内側で見つけたクラックが線路外側まで貫通していないか等、線路内側と線路外側を関連付けて変状を評価するということが従来以上になされるようになってきている。

5. おわりに

本システムは2015年より試行も含めて運用を開始し、改善を加えながら継続的に利用しているものである。利用する中で顕在化した課題に対して順次改善を加えることで、利用しやすいものへとブラッシュアップされてきている。将来的にインフラの維持管理に従事する働き手の減少が見込まれ、従来手法による構造物の維持管理が困難になることが予想される中、一つの具体策を示すことができたことを認識している。今後も本システムの精度や使いやすさを向上させることを通じて、持続可能な鉄道の維持管理を実現できるよう努めていきたい。

J C M A

《参考文献》

- 1) 「鉄道インフラの健康診断と将来のメンテナンスに向けた提言」, 令和元年度会長特別委員会 インフラメンテナンス(鉄道)特別委員会((公社)土木学会), 2020年6月
- 2) 「令和4年版高齢社会白書」, 内閣府, 2022年8月
- 3) 「i-Construction 2.0」, 国土交通省, 2024年4月

〔筆者紹介〕



伊井 宏樹 (いい ひろき)
西日本旅客鉄道(株)
金沢支社 金沢土木技術センター
施設管理係



中嶋 俊輔 (なかじま しゅんすけ)
ジェイアール西日本コンサルタンツ(株)
ITシステムデザイン部 フィールドG
係長



内田 修 (うちだ おさむ)
アジア航測(株)
社会インフラマネジメント事業部 鉄道事業推進部
鉄道防災・DX推進室
フェロー 学術博士(土木工学)

人工衛星を使った橋梁の変位分析と異常検知

木下耕介・久村孝寛

人工衛星によるリモートセンシングを使った橋梁の変位分析を異常検知に応用する事例を紹介する。さまざまな人工衛星があるなかで、「電波による観測」「定期かつ広域観測」という特徴をもつ Sentinel-1 衛星データを使って、以前に崩落事象が発生した水管橋の変位を事象発生日から過去に振り返って分析し、重大損傷につながる異常な変位を事象発生の数か月前の時点で検知できることを示す。Sentinel-1 衛星の地上分解能 $5 \times 20 \text{ m}$ は他衛星に比べて優れるとは言えないが、本稿で示す内容は、分析方法しだいで橋梁の異常な変位を人工衛星で検知できる可能性があることを示すものである。

キーワード：橋梁、維持管理、人工衛星、SAR、変位分析、異常検知

1. はじめに

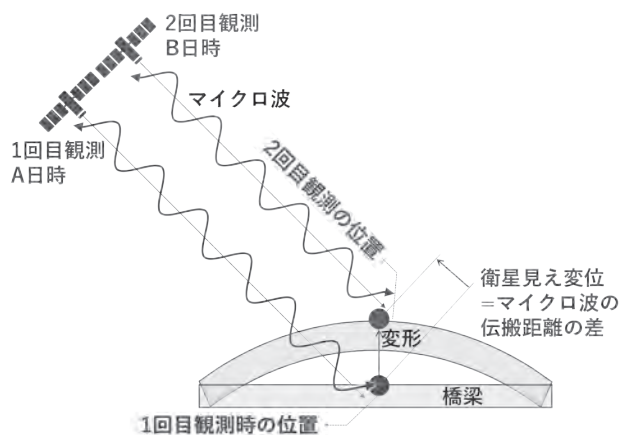
リモートセンシングを使った橋梁変位分析を紹介する。この技術は、人工衛星によって宇宙から橋をモニタリングし、ミリメートル単位で長期的な変位挙動をとらえる。現地にセンサを設置することなく、広域で多数の構造物をリモートから分析できる、過去に振り返って分析できる、といった特徴をもつ。本稿では、本技術の概要と分析事例を紹介する。

橋梁の維持管理の基本は5年に1回行われる近接目視を基本とする定期点検である。平成26年から開始され、現在は3巡目の定期点検が行われている。道路橋においては近接目視による点検が進む中で、令和6年度からは水管橋についても5年に1回の頻度で近接目視を基本とする定期点検が義務化された¹⁾。2021年に発生した2件の崩落事故がきっかけである。全国には72万を超える橋梁があり、これら全てが近接目視による点検対象であるが、担当する土木技術者や専門家が不足しており、財政的な課題も存在する。こうした状況において、近接目視を基本とする点検を効率化する、あるいは補完する低コストな新技術が求められている。

そうした新技術のひとつの候補が衛星合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar ; SAR)を使ったリモートセンシングである。衛星SARはマイクロ波を地上に照射し、その反射波を画像化する。得られたSAR画像を分析することによって、地表面の変位や変化を知ることができる。マイクロ波は雲を透過するため、

昼夜問わず観測が可能であるが、SAR画像は光学画像ほど明瞭な画像にはならず、判読には高度な分析技術が必要とする。これまで衛星SARの観測対象は地盤・火山活動・氷山など地球スケールの自然環境であったが、人工構造物では反射波を得やすいという特徴を活かして構造物を対象とする応用研究が近年は増加している^{2)~4)}。定期点検の間に進行する橋梁の変状をみつける、過去に振り返って橋梁の変状を分析する、といった応用が考えられる。まず衛星SARを橋梁に応用する際の課題について説明し、課題解決に向けた著者らの取り組みを紹介する。

衛星SARは、地上からの高度700km程度の低軌道を周回する人工衛星である。地球を1周するのにかかる時間はおよそ1時間半であり、約2週間かけて再び元の位置に戻る。衛星SARの観測結果は複素数の画素で構成された画像である。複素数の1画素は地上の数m四方の領域から得られる平均化された反射波を表す。複素数画素の振幅は地表面からの反射波の強さを表し、複素数画素の位相は反射波のタイミングを表す。同じ地域を複数時期にわたって観測し、SAR画像の対応する画素間の位相差分を算出することで、ふたつの時期の間で生じる地表と衛星の間の距離の変化を算出することができる(図—1)。位相差分の計算には、安定した反射波が得られる画素を使う。位相差による距離の変化は、厳密には位相周回成分 $2\pi N$ を含む可能性があるものの、一般的には $-\pi \sim +\pi$ [rad]の範囲で表され、地表が衛星から遠ざかると正の値を、近づくとき負の値をそれぞれとる。位相差 ϕ



図一 衛星 SAR で変位を計算する原理

[rad]は、マイクロ波の波長 λ [mm]を使って、変位 $d = \lambda \phi / 4\pi$ [mm]へ変換できる。波長 λ は、31 mm (Xバンド)、56 mm (Cバンド)、24 cm (Lバンド)など衛星によって異なる値をとる。変位分析の精度の観点では1画素あたりの分解能が細かいXバンド衛星が望ましいが、観測は有料の注文形式になり、画像あたりのカバレッジが狭くなる傾向がある。一方、Cバンド衛星である Sentinel-1 衛星は原理的に変位分析精度で劣るものの広いカバレッジで広域を定期的にまんべんなく観測するという特徴があり、さらに衛星データ利活用のため無償公開されており、長期にわたってモニタリングする用途に向いている。本研究では、「定期かつ広域観測」という特徴を持つ Sentinel-1 衛星に注目して検討する。

2. 衛星 SAR による橋梁変位分析

橋梁の変位の分析において、多数の衛星データを使える場合には、温度などの因子を使って変位をモデル化して分析する手法が適している⁵⁾。公称値によると、温度1℃の上昇で、1メートルの長さのコンクリートは 10×10^{-6} メートルだけ、鋼は 12×10^{-6} メートルだけ、それぞれ伸びる。温度を因子とするモデル化は、橋梁という長大な構造物で発生する微小な変位を説明するのに適している。定期的に観測される多数の衛星画像を使うことで変位モデル化が可能になり、それによって雑音の影響を低減することができる。構造物の SAR 画像から得られる変位のモデル化においては、下記の成分の和で衛星見え変位を表す。

1. 温度1℃あたり変位 k と基準となる観測に対する温度差の積
2. 時間比例して単調増加あるいは減少する単位時間あたり変位 v と基準観測時刻からの経過時間の積

3. 高さの誤差 h による見かけの変位
4. その他の成分（外乱や雑音）

このモデル化において k 、 v 、 h が未知数であり、求めたいものである。これらは、その他の雑音成分を位相情報として最小化することによって得られる。これはモデルの当てはまり具合を最大化する、ということである。温度を因子とするモデル化においては、部材温度を用いるのが適切であるが通常は入手困難であるため、容易に入手可能な最寄りの気象台で観測される気温で代用する。Sentinel-1 衛星の日本上空での観測時間帯に併せて（早朝5～6時もしくは夕方5～6時）、最低気温もしくは平均気温を使う。

3. 変位成分による異常検知

モデル化によって得られる変位成分のうち、温度1℃あたり変位 k 、単位時間あたり変位 v 、が橋の変形に関係する。理想的な健全な橋においては、温度1℃あたり変位 k は構造物の熱膨張係数に比例する値をもち、単位時間あたり変位 v はゼロになる、と考えられる。何らかの損傷や異常がある橋においては、 k や v が理想から外れた値をもつと考えられる。外れ値を見つけるための閾値を適切に設定することによって異常検知が可能になると考える。本稿では、時間に比例する変位成分を表す v に注目して、事例をもとにした分析により、異常な変位を検知することを試みる。変位成分 v の空間的なバラツキを低減するために v を平滑化する。この計算を対象期間をずらしながら行う。そして、複数のスパンの平滑化 v を比較し、異常な変位が発生していると考えられる特定スパンの平滑化 v が他スパンから乖離するかどうか評価する。他スパンからの乖離度合いとして各スパンの平滑化 v の中央値からの差分絶対値を用いる。平均値でなく中央値を使うことで、外れ値の影響を低減した全スパンの平滑化 v の傾向を表す値を求める。中央値との差分絶対値を各スパン間で比較することで乖離度合いを評価する。

4. 事例分析

水管橋に生じる異常な垂れ下がりを対象として上述の異常検知手法を試し事例分析する。分析対象の水管橋は連続7スパンで構成されるもので、2021年10月3日に中央スパンが崩落した。崩落に至るまでには異常な垂れ下がりが発生していたと考えられる。この水管橋を対象にして異常検知手法を試す。水管橋の詳細

を表―1に示す。表―2に示す衛星データを使って水管橋の変位分析を行い、対象時期をずらしながら単位時間あたり変位 v を算出する。2020年10月から2021年9月までの1年間における単位時間あたり変位 v の計算結果を図―2に示す。同図において、単位時間あたり変位 v の観測値はばらついているものの、それらを空間方向に移動平均して平滑化した v の値はスパン4と他スパンで異なる傾向をもつことがわかる。この分析期間の直後2021年10月3日にスパン4が崩落するが、その直前の1年間における単位時間あたり変位 v は異常な垂れ下がり进行を意味する分析

表―1 分析対象の水管橋の諸元

構造形式	ランガー桁および2スパン連続桁
支間構成	全長 550 m ランガー桁 53.7 m×1, 59.3 m×6 2スパン連続桁 35 m+31.5 m×1 27 m+35 m×1
水道本管	直径 0.9 m×2 本, 中心間隔 3 m

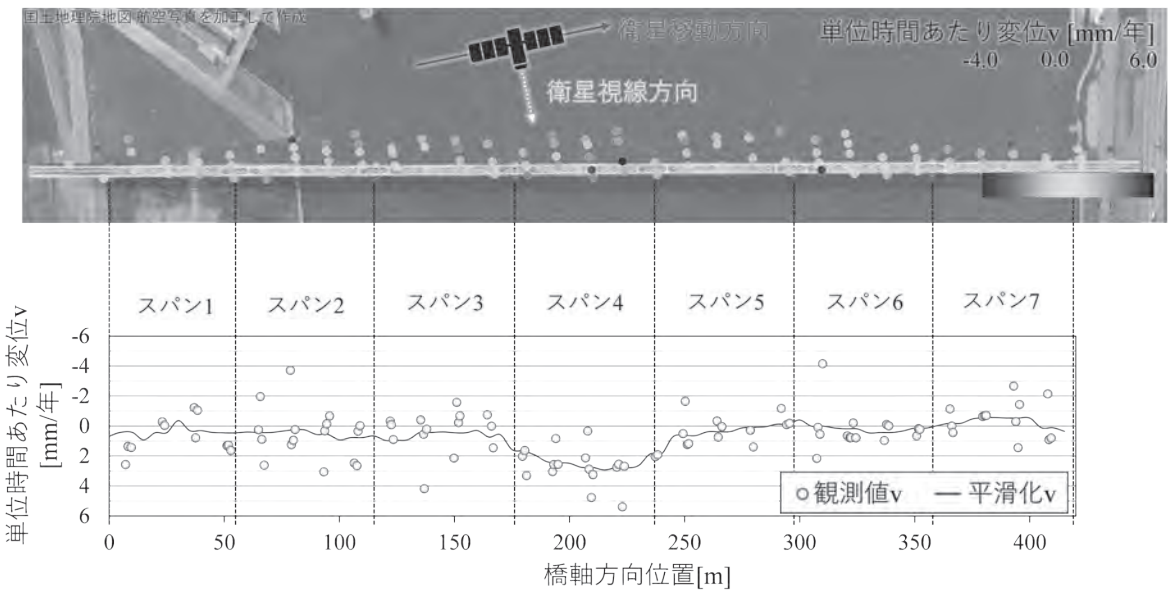
表―2 衛星データ諸元

衛星	欧州宇宙機関 Sentine-1B
軌道	北行軌道 (南→北)
入射角	37.2 度
波長	56 mm (Cバンド)
地上分解能	5 × 20 m
観測周期	同一地域を12日に1回の頻度で観測
観測データ	2017年1月～2021年9月に対象の水管橋を含む地域を観測した合計137シーンを使用

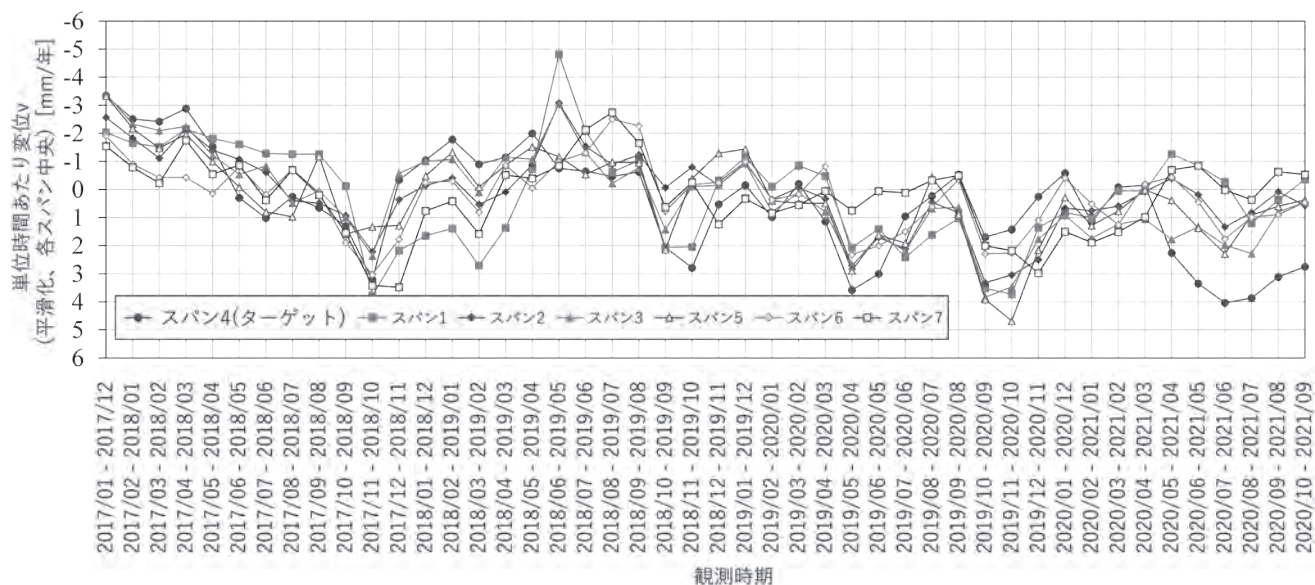
結果と言える。つづいて、この結果を客観的に異常と判断できるかどうか、どの時期まで遡って異常と判断できるか、を分析する。

対象時期の開始時期を2017年1月から2020年10月まで1か月ごとずらしながら図―2と同様の計算を行って平滑化 v を算出し、各スパンの中央部の平滑化 v を抽出して図―3に示す。同図によると、理想とは異なり、各スパン中央から抽出された単位時間あたり変位 v (平滑化) はゼロでない値をもち、各スパンの時系列の挙動は互いに類似している。この全体的な時系列挙動は、水管橋を分析する際に設定される基準観測点の変位成分と雑音成分によるものと考えられる。各対象期間ごとに各スパンの v のバラツキは3 mm～5 mm程度である。崩落直前の2021年9月を含む対象期間から遡って見ていくと、つまり図―3右から左へ時間を遡って見ていくと、2021年5月以降においてスパン4の v は他スパンと異なる傾向をもつことがわかる。他の対象期間において、例えば2018年6月～2019年5月におけるスパン1、あるいは2019年6月～2020年5月におけるスパン7、は他スパンから外れていると見なせるが、いずれもその期間だけであり、その前後の期間は外れ傾向を示していない。

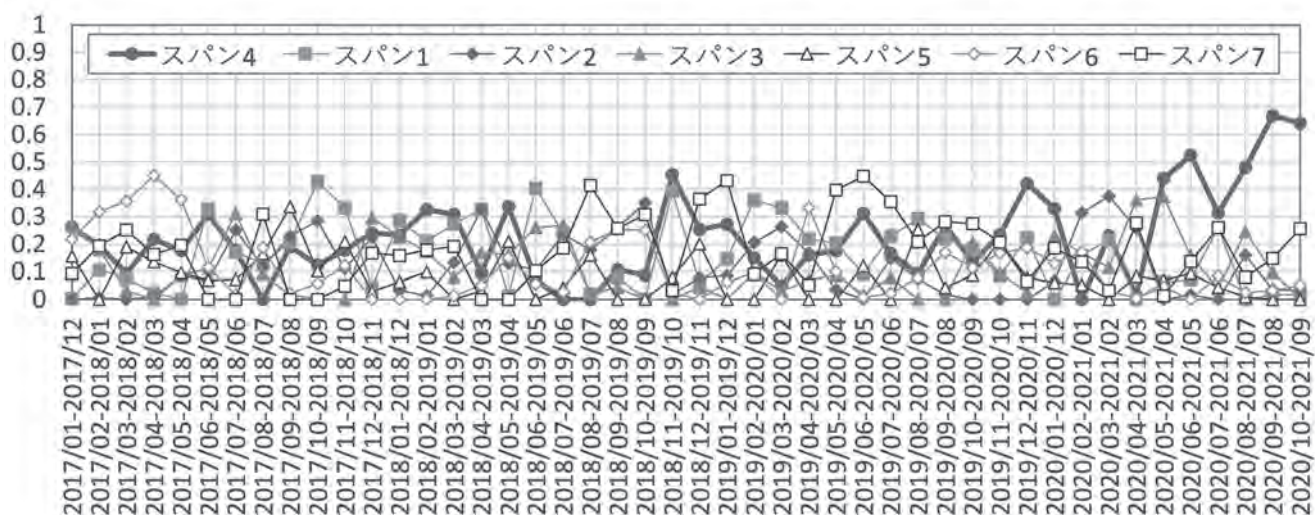
つづいて乖離の度合いを定量的に評価する。各スパンの中央部の平滑化 v に対して(図―3に示した値)、スパン1～7の平滑化 v の中央値を対象期間1年間分ごとに求め、その中央値からの差分絶対値を計算し、さらに全スパンの中央値差分絶対値和に占める各



図―2 対象の水管橋の単位時間あたり変位 v
対象期間：2020年10月～2021年9月

図—3 対象の水管橋の単位時間あたり変位 v

対象期間：2017年1月～2021年9月で1か月ごとに1年間分の衛星データで計算した結果を時系列に並べた。

図—4 各スパンの単位時間あたり変位 v から算出された構成比

横軸は対象期間、縦軸は構成比を表す。

対象期間：2017年1月～2021年9月で1か月ごとに1年間分の衛星データで計算した結果を時系列に並べた。

構成比：各1年間各スパン中央の単位時間あたり変位 v の平滑化値について、スパン1～7の平滑化 v の中央値からの差分絶対値を計算し、さらに全スパンの中央値差分絶対値和に占める各スパンの中央値差分絶対値の割合を計算したもの。

スパンの中央値差分絶対値の割合（構成比）を算出して図—4に示す。この構成比を使って、対象期間ごとに計算された各スパンの v が他スパンの v からどのくらい乖離しているかを0から1の値で表す。全スパンの v が同様の挙動を示すなら構成比はスパン数分の1付近にランダムに分布すると考えられる。特定スパンの v が他とは異なる挙動を示す場合には特定スパンの構成比だけが大きくなると考えられる。図—4によると、2021年5月にスパン4の v の構成比は0.5

を超え、続く6月には低下するものの、その後は再び増加して0.5を超えている。それ以前と比較して、この乖離現象は際立っており、スパン4の v の挙動の異常性を示すと考える。スパン4については、少なくとも崩落から5か月前に遡って他スパンとは異なる挙動が得られるため、異常な変位を2021年5月以降において検知できたと言える。

この水管橋に対する分析結果を筆者らの過去の報告⁴⁾と比較する（表—3）。表—3によると、異常な変位

表—3 同じ水管橋に対する分析結果の比較

文献	4)	本稿
衛星	COSMO-SkyMed X バンド	Sentinel-1 C バンド
シーン数	14 シーン	137 シーン
分析量	衛星見え変位の 時系列値 [mm]	衛星見え変位の単位 時間あたり変位 [mm/年]
異常検知	崩落の1年前から 異常な変位が発生 したと判定	崩落の5か月前か ら異常な変位が発 生したと判定

を過去に振り返って検知できるかという観点では、細かい分解能の COSMO-SkyMed 衛星が優れる。その点で Sentinel-1 衛星は劣るものの、5 か月前に遡った時点で異常変位を検知できている。分解能は劣るものの、Sentinel-1 衛星でも水管橋の異常な変位を分析できることがわかった。

5. おわりに

人工衛星によるリモートセンシングを使った橋梁変位分析について事例を使って紹介した。「定期かつ広域観測」という特徴をもつ Sentinel-1 衛星データを使って水管橋の変位を分析し、異常な変位を検知できる可能性があることを示した。Sentinel-1 衛星は X バンド衛星に比べて分解能が粗く劣るものの、分析方法しだいで、異常な変位を検知できることがわかった。実用に向けては変位分析の精度評価が求められる。

謝 辞

本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造 プログラム (SIP) 第3期「スマートインフラマネジメントシステムの構築」JPJ012187 (研究推進法人: 土木研究所) によって実施されました。

J C M A

《参考文献》

- 1) 厚生労働省 医薬・生活衛生局水道課, 水道施設の点検を含む維持・修繕の実施に関するガイドライン, 令和5年3月, <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/001075799.pdf> (2024年6月22日閲覧)
- 2) S. Selvakumaran, Z. Sadeghi, M. Collings, C. Rossi, T. Wright, and A. Hooper, "Comparison of in situ and inter-ferometric synthetic aperture radar monitoring to assess bridge thermal expansion," Proceeding of the Institution of Civil Engineers - Smart Infrastructure and Construction, 2022, 175, 2, 73-91, doi: 10.1680/jsmic.21.00008.
- 3) Q. Huang, O. Monserrat, M. Crosetto, B. Crippa, Y. Wang, J. Jiang and Y. Ding, "Displacement Monitoring and Health Evaluation of Two Bridges Using Sentinel-1 SAR Images," Remote Sens., 2018, 10, 1714, doi: 10.3390/rs10111714.
- 4) 木下耕介ほか, 衛星 SAR 画像を活用した橋梁の異常変位検知～和歌山県六十谷水管橋を事例として～, AI・データサイエンス論文集, 3巻 J2 号, p. 586-593, 2022.
- 5) O. Monserrat, M. Crosetto, M. Cuevas and B. Crippa, "The Thermal Expansion Component of Persistent Scatterer Interferometry Observations," IEEE Geosci. and Remote Sens. Lett., 2011, 8, 5, 864-868, doi: 10.1109/LGRS.2011.2119463.

【筆者紹介】



木下 耕介 (きのした こうすけ)
日本電気㈱
ビジュアルインテリジェンス研究所
研究員



久村 孝寛 (くむら たかひろ)
日本電気㈱
ビジュアルインテリジェンス研究所
主幹研究員

ドローン空撮で 100 メートル先の微小変形計測 老朽化したインフラ構造物の効率的な維持管理に貢献

李 志 遠

橋梁の健全性評価において、たわみ計測は非常に重要である。本稿では、開発した位相情報を用いた高精度な画像ぶれ補正技術と、ドローンを用いた空撮技術による橋梁たわみ計測方法を紹介する。このドローン空撮による計測技術をドゥルックバンド橋のたわみ検査に適用した結果、ドローン空撮による計測は従来のドップラー変位計の測定とよく一致した結果が得られた。この画像計測手法は、河川、山間部、渓谷を通過する橋梁のたわみ計測にも応用できるため、今後さらに多くの橋梁構造物への検査活用が期待される。

キーワード：ドローン空撮、変位計測、サンプリングモアレ法、位相解析、画像ぶれ補正、ドゥルックバンド橋

1. はじめに

社会インフラの老朽化に伴い、保守点検の必要性や維持修繕費の増大が顕在化している。特に、交通インフラの一つである橋梁の健全性を評価するためには、たわみ計測が急務となっている。従来のリング式変位計やレーザ変位計などのセンサは、設置費用や計測時間の観点から、現場への適用が必ずしも容易ではない。近年開発されたサンプリングモアレ法¹⁾による変位計測技術は、橋梁のたわみ計測を簡便にした。この技術は、構造物に貼付した規則模様（格子マーカー）をカメラで撮影することで、構造物の微小なたわみを測定できる手法である。サンプリングモアレ法では、マーカーの格子ピッチの1/1000(1/100 画素に相当する)となるサブミリオーダーのたわみ量まで解析でき、高精度かつ簡易な手法として注目されている^{2), 3)}。

しかし、この手法には従来、画像ぶれを抑えるためにカメラを三脚に固定する必要があった⁴⁾。このため、海洋や河川、山間部、渓谷などに架かる橋梁では、撮影可能な場所を確保することが困難であった。そこで、ドローンを用いた空撮技術が注目されている。ドローンを利用することで、これまでアクセスが困難だった場所でも撮影が可能になり、橋梁のたわみ計測の適用範囲が大幅に広がる。この技術を用いることで、より多くの橋梁構造物の健全性を効率的に評価できるようになると期待されている。

本稿では、著者が最近開発したドローン空撮における橋梁のたわみ測定技術を紹介する^{5), 6)}。同技術を長

さ110 mのドゥルックバンド形式のコンクリート橋に適用し、8トンの試験車両による通過試験を実施した結果、従来の変位計とよく一致したたわみ量を得ることができた⁷⁾。

2. サンプリングモアレ法による変位計測の原理

(1) サンプリングモアレ法による微小変位計測

サンプリングモアレ法¹⁾とは、1枚の格子画像を撮影し、その画像に対してサンプリングの開始点を変えながら一定の間引き（ダウンサンプリング）を行うことで複数の位相シフトされたモアレ縞画像を生成し、これらの画像からモアレ縞の位相分布を求める手法である。この方法により、高精度な位相解析が可能になる。実験では、構造物の表面に格子を貼り付け、その格子のピッチ間隔がCCDカメラの4画素以上になるように調整して変形前後の画像を撮影する。撮影した格子画像に対して、格子ピッチに近いピッチ間隔でダウンサンプリング（間引き処理）を行い、輝度補間の画像処理を施すことで、モアレ縞を生成することができる。

サンプリングモアレ法では、拡大現象であるモアレ縞を利用し、位相シフト法による位相解析を行うため、使用する格子ピッチの1/1000の微小変位量を検出することができる。また、この方法では画素ごとに同じ画像処理を行えるため、解析速度が速いのが特徴である。詳しい原理については、文献^{1) ~ 3)}を参照し

ていただきたい。

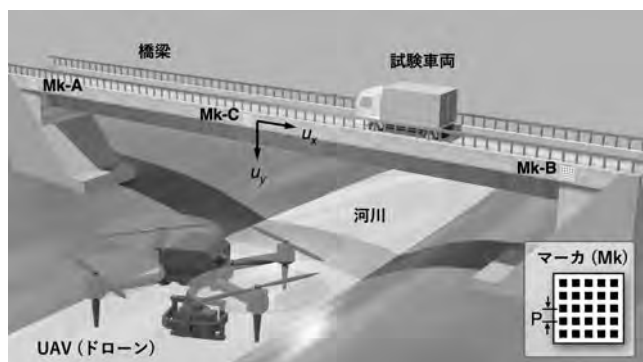
(2) ドローン空撮の画像ぶれ補正の原理

変位分布を高精度で測定するサンプリングモアレ法を活用し、ドローンによる橋梁のたわみ計測を実現する新しい方法を開発した。図—1にこの技術の概要を示し、図—2に画像ぶれ補正によるたわみ計測の原理図を示している。まず、一定のピッチを持つ模様をマーカとして、橋の中央部 (Mk-C) および左右の橋脚部 (Mk-A と Mk-B) にあらかじめ設置する。次に、ドローンを使用して遠方からこれらの格子マーカを全て含むように、試験車両通過時の動画を撮影する。撮影した動画から、まず2つの基準マーカの中心座標のずれをピクセル精度で検出し、1回目の画像ぶれを補正する。次に、1回目の補正画像に対して、サンプリングモアレ法を用いて位相変化からサブピクセルの精度で画像のぶれを再度補正する。その後、各マーカの時系列の変位量を解析し、最終的に両端の2つの基準マーカに対する中央マーカの相対変位をたわみ値として測定する。

この新技術により、橋梁のたわみを高精度かつ効率的に計測できるようになる。ドローン空撮を利用することで、従来の計測方法では困難だった河川や山間部、渓谷を通過する橋梁でも、簡単にたわみを計測できる。

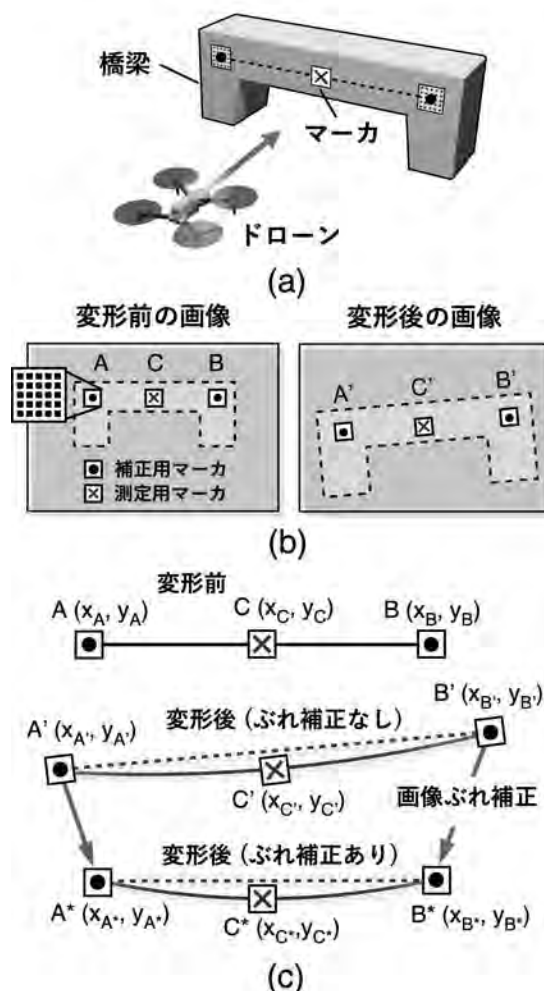
3. 現場適用

図—3に示すとおり京都府が管理するドルックバンド橋(3径間ドルックバンド形式, 1959年架設, 橋長110m)を対象に、ドローン空撮によるたわみ計測実験を行った。この実験では、図—4(a)に示すように、橋の中央桁(66m長)の両端の橋台部と中央に、それぞれ2つの基準マーカ (Mk-A と Mk-B) と測定マーカ (Mk-C) を設置した。本実験では、8

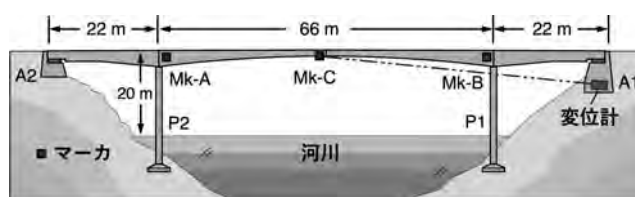


図—1 ドローン空撮による橋のたわみ計測の概要図

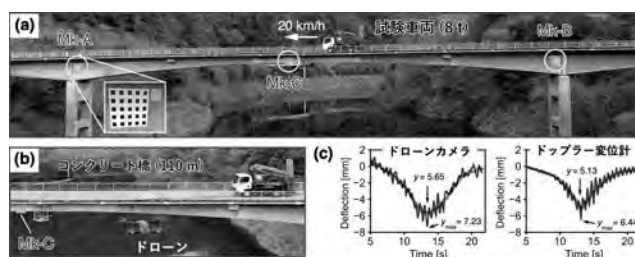
トンの試験車両が橋梁を 20 km/h で通過する過程を、従来のドップラー変位計とドローン (Autel Robotics



図—2 画像ぶれ補正によるたわみ計測の原理図
(a: ドローン空撮の光学系, b: 変形前後の撮影画像, c: 変形後の画像ぶれ補正)



図—3 対象橋 (110m のドルックバンド橋)



図—4 ドルックバンド橋のたわみ計測結果
(a: 対象橋の写真, b: ドローン空撮の実験の様子, c: ドローンカメラによる測定結果 (左) とドップラー変位計による測定結果 (右))

製 EVO-II Pro) 空撮による 6K 動画で記録した。図—4 (b) には、ドローン空撮の実験の様子が示されている。ドローンは橋から約 85 m の距離に位置し、ホバリングしながら動画撮影を行った。撮影された動画を解析し、その結果を図—4 (c) の左側のグラフに示す。図—4 (c) の右側のグラフは、従来のドップラー変位計で測定した結果である。試験車両が橋の中央を通過した際には、6.4 mm の最大たわみが測定された。両手法による測定結果は概ね一致し、本開発手法の有効性が確認された。

さらに、計測の再現性を確認するために、それぞれ 85 m および 100 m の距離でたわみを測定した。図—5 (a) と図—5 (b) にはそれぞれの距離での撮影画像を示し、図—5 (c) と図—5 (d) には解析結果が示されている。85 m の距離では、マーカー格子のピッチが 12.3 ~ 13.6 画素であったが、100 m の距離では、9.9 ~ 10.1 画素であった。100 m でもたわみを計測できたが、遠距離撮影では空気の揺らぎや天候の影響を受けやすいことに留意する必要がある。この結果は、ドローンを使用した長距離でのたわみ計測は一定の精度を保てることが示されたが、環境条件を考慮した対策も重要である。

ドローンを用いたたわみ計測の大きな利点は、アクセスが制限されにくいため、最適な撮影場所から変位画像を記録できることである。これにより、河川や山間部、溪谷などのアクセスが難しい場所でも、高精度

なたわみ計測が可能になり、今後のインフラ点検がより効率的かつ高信頼性で行えると期待される。

4. おわりに

著者が最近開発したドローンを使った橋梁のたわみ計測技術を、ドゥルックバンド橋で実証した。この技術では、橋の中央部と左右の橋脚にそれぞれ測定マーカーと 2 つの基準マーカーを設置し、ドローンがこれらのマーカーの画像を撮影するだけで、橋梁のたわみを計測できる。実証実験は、京都府のドゥルックバンド橋で行われ、ドローンによる計測結果が従来のドップラー変位計の結果とよく一致した。この成果により、ドローン空撮を利用したこの技術が橋梁たわみ計測において有効であることが確認された。このドローン空撮による画像計測手法は、河川や山間部、溪谷などアクセスが困難な場所に架かる橋梁のたわみ計測に適用できるため、今後、さらに多くの橋梁の検査で活用され、インフラ点検の効率化と精度向上が期待される。

JCMA

《参考文献》

- 1) S. Ri, M. Fujigaki, Y. Morimoto: Sampling Moiré Method for Accurate Small Deformation Distribution Measurement, *Experimental Mechanics*, Vol.50, No. 4, pp.501-508, 2010.
- 2) 李志遠・津田浩：変形分布計測によるインフラ構造物診断技術の開発、非破壊検査。Vol.63, pp.515-521, 2014.
- 3) 李志遠・津田浩・時崎高志：インフラ構造物維持管理をするため低コストな変形分布計測技術の開発、検査技術, Vol.20, pp.14-18, 2015.
- 4) 早坂洋平・成田朋憲・李志遠：橋梁の変位量計測へのサンプリングモアレ法の適用性検証, 第 71 回年次学術講演会, CS7-029, pp.57-58, 土木学会, 2016.
- 5) 李志遠・叶嘉星・遠山暢之・王慶華・山本哲也・小椋紀彦・寺岡毅・塩谷智基：サンプリングモアレ法を利用したドローン空撮による橋梁のたわみ計測の開発, 第 77 回年次学術講演会, CS9-26, 土木学会, 2022.
- 6) S. Ri, J. Ye, N. Toyama, N. Ogura: Drone-based Displacement Measurement of Infrastructures Utilizing Phase Information, *Nature Communications*, Vol.15, 395, 2024.
- 7) 李志遠・叶嘉星・夏鵬・遠山暢之・小椋紀彦・野上翔平・横山勇気・服部篤史・塩谷智基：ドローン空撮によるドゥルックバンド橋のたわみ計測, 第 78 回年次学術講演会, CS9-05, 土木学会, 2023.

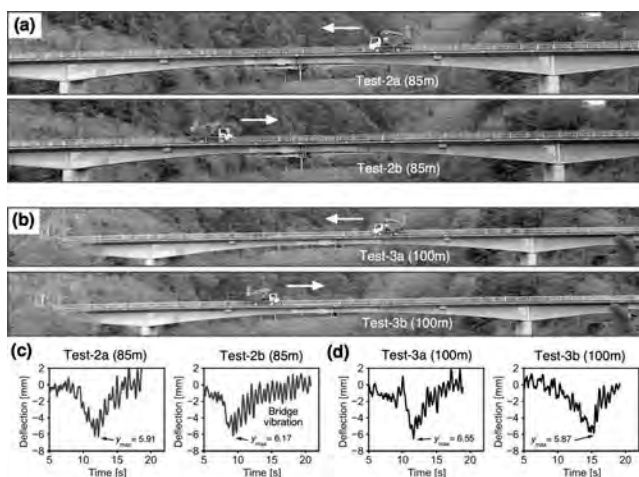
〔筆者紹介〕

李 志遠 (り しえん)

(国研) 産業技術総合研究所

分析計測標準研究部門 非破壊計測研究グループ

上級主任研究員



図—5 開発手法の再現性の確認実験結果

(a: 85 m の距離で撮影した画像, b: 100 m の距離で撮影した画像, c: 85 m の距離で撮影した場合のたわみ測定結果, d: 100 m の距離で撮影した場合のたわみ測定結果)

FRP 部材を用いた劣化した RC 床版の延命化工法

『FS グリッド (FRP サポートグリッド)』による床版補強

山 崎 敏 宏・中 村 一 史・花 村 光 一

現在、劣化した RC 床版の更新工事が実施され、耐久性に優れた PC 床版に順次取り替える工事が進められている。しかし、床版取替工事には長期にわたる交通規制が必要となり、交通渋滞による社会的影響は少なくない。そこで、軽量の FRP を用いた部材で床版を下面からサポートすることによって、床版の延命化を図る工法を開発した。本工法で床版の延命化を図ることにより、長期にわたる交通規制が不要となり、工事に要する費用も抑えることができる。また、CO₂ 排出量は、床版取替工事に比べて約半分となるため、カーボンニュートラルを目指す社会にも貢献することができる。ここでは、FRP 部材による床版補強『FS グリッド』の製品化に至るまでの開発経過を報告する。

キーワード：道路橋、床版、延命化、交通規制、FRP、CO₂ 削減

1. はじめに

我が国で本格的な道路整備が始まってから半世紀以上、道路は日本の経済成長を支えてきた。一方で、大型車両の増加や厳しい環境下での老朽化などによって、橋梁の損傷が加速度的に増加している。特に、車両を直接支持する床版は、当初想定していなかった変状や損傷が現れるようになった。例えば、1970 年代には鋼橋における RC 床版の押し抜きせん断破壊による損傷が、高速道路をはじめ主要な橋梁にも散見されるようになり、RC 床版の厚さと鉄筋量の不足が原因とされた。これを踏まえ、現在では大型車両の混入率に応じた設計荷重の割増しや床版厚の確保などによって、RC 床版の耐久性向上に着目するようになっていく。しかしながら、旧設計基準で建設された RC 床版の劣化は現在でも進行しており、利用者の安全性が損なわれている。そのような現状から、高速道路や国道といった主要道路において、RC 床版の取替工事が実施されている。

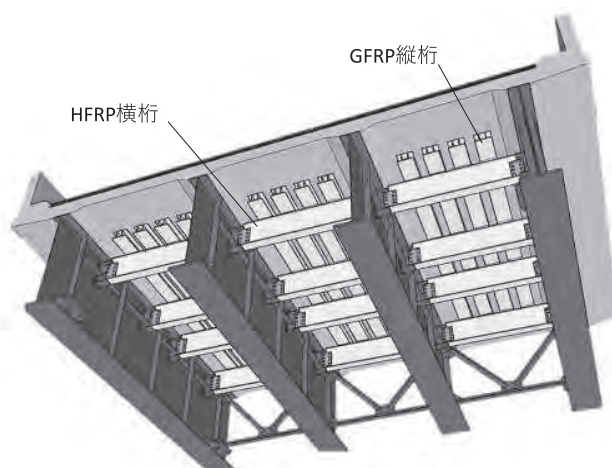
床版取替工事では、交通規制を伴い社会的損失が生じ、路線によっては迂回路が確保できないため、部分的な断面補修など応急的な処置しか対応できないケースもある。また、床版取替工事費用の増加により、床版取替工事の予算確保も困難となってきている。

以前より、長期間の交通規制が不要で、確実に RC 床版を補強する工法として、アンダーデッキパネル工法 (IS パネル) がある。しかし、鋼材で構成されて

いることから単位面積当たりの重量が大きくなり、補強効果は高いものの、上部構造・下部構造に耐荷力の余裕が必要となる。そこで、軽量で耐久性、耐食性にも優れる繊維強化プラスチック (Fiber Reinforced Plastic, 以下、FRP) を用いた RC 床版の延命を可能とする『FS グリッド (FRP サポートグリッド)』(以下、本工法) の開発を行うに至った。本稿では、この本工法の概要、開発において実施した各種試験について報告する。

2. 本工法の構造

本工法は、床版下面に補強材を設置するアンダーデッキパネル工法である。本工法の概略図を図一 1 に



図一 1 本工法概略図



図一 2 引抜成形概念図

示す。補強材となる縦桁と横桁は、引抜成形（図一 2）によって作製された FRP 部材であり、材質はガラス繊維強化プラスチック（以下、GFRP）、ガラス繊維と炭素繊維を複合したハイブリッド FRP（以下、HFRP）の 2 種類を使用する。引抜成形のため、同一断面の連続成形および複雑断面・閉断面の成形が可能となり、量産性が高い部材である。いずれもエポキシ樹脂をマトリックスとした。

本工法は、ダブルウェブ断面の縦桁と I 形断面の横桁を格子状に配置し、床版下面から既設床版を支える構造である。

主要な構成部材を以下に示す。

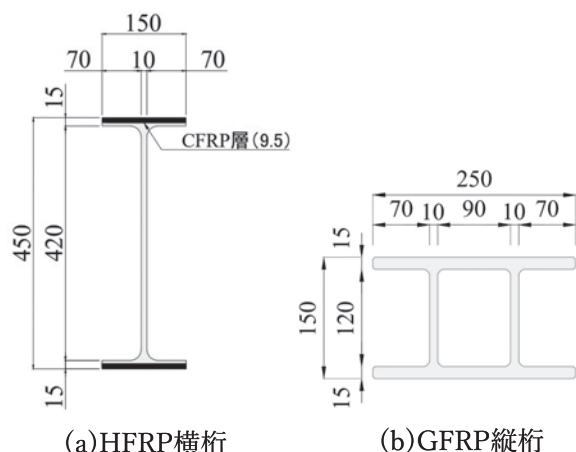
- ① I 形断面の横桁（HFRP 製フランジ：150×15 mm、GFRP 製ウェブ：420×10 mm、全高 450 mm）
- ② ダブルウェブ構造の縦桁（GFRP 製、高さ 150 mm、幅 250 mm、フランジ厚 15 mm、ウェブ厚 10 mm）
- ③ 鋼製ブラケット（SM400、横桁取付仕口）

図一 3 に HFRP 横桁と GFRP 縦桁の断面形状を示す。

アンダーデッキパネル工法で FRP 部材を適用した事例はなく、以下の 3 つの課題を設定し、解析や実験によって検証を行った。

- ① FRP 部材と鋼部材との適切な接合方法の確立
- ② FRP 部材の断面性能の把握
- ③ 疲労耐久性能の把握

床版からの荷重は、本工法を介して確実に上部主構造に伝達させることが重要となるため、ここでは、



図一 3 主要部材断面図

FRP 部材と鋼部材との適切な接合方法の確立を中心に報告する。

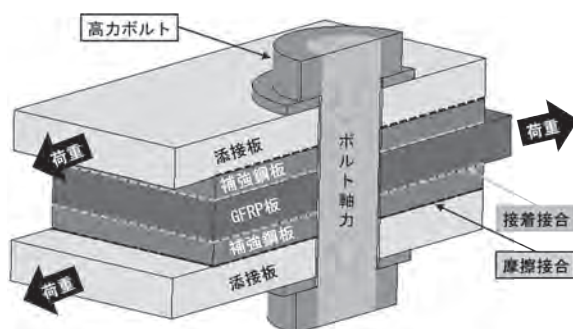
3. 接合方法および接合構造の検討

(1) 接合方法の決定

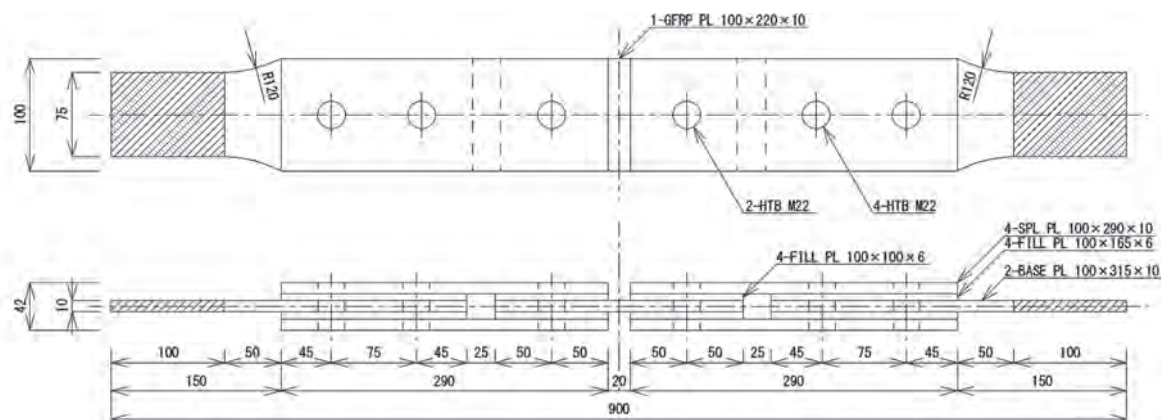
土木構造物用 FRP 部材の接合方法には、せん断支圧接合を用いることが多い。しかしながら、本構造は道路橋設計に用いる自動車荷重（以下、活荷重）を考慮する必要がある。鋼材に比べ材料強度が相対的に小さい FRP 材料の場合、支圧強度やせん断強度を満足させるために部材厚が過大となる。そこで、FRP 板と鋼板の接合部の継手耐力を向上させる方法として、鋼板接着で補強された FRP 板と鋼添接板による接合方法（図一 4）を考案した。この接合に用いるボルトとして、普通ボルトに比べ、継手耐力の向上と現場での施工性の効率化を図ることのできる高力ボルトを採用した。高力ボルトによる接合方式には、摩擦接合もしくは支圧接合があり、どちらの接合方式を採用するかを選定を行うべく引張すべり試験を実施¹⁾した。

図一 5 に継手供試体の概要図の一例を、表一 1 に実験シリーズと供試体名をそれぞれ示す。本実験では、摩擦接合と支圧接合の比較だけでなく、ボルト列数、補強鋼板厚の違いによる影響も確認したが、ここでは、摩擦接合と支圧接合の結果について報告する。

図一 6 に荷重とストローク変位の関係を示す。支圧接合の R1-BA と、摩擦接合の R1-FA の初期はく離荷重を比較すると、ほぼ同程度であるといえた。破壊形式は R1-BA では支圧破壊が支配的で、R1-FA では接着破壊となること、R1-BA の破壊荷重は、R1-FA より若干増加することがわかる。両者の破壊形式は、支圧破壊と接着破壊で異なるものの、荷重－変位関係はほぼ同じであり、それらの差異はわずかであるといえた。施工的な観点からみると、支圧接合では、施工時にボルトをハンマーで打ち込む必要があり施工性が



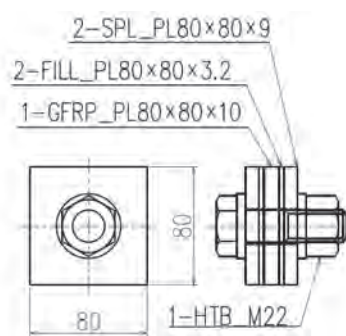
図一 4 鋼板接着による GFRP 継手補強の概念図



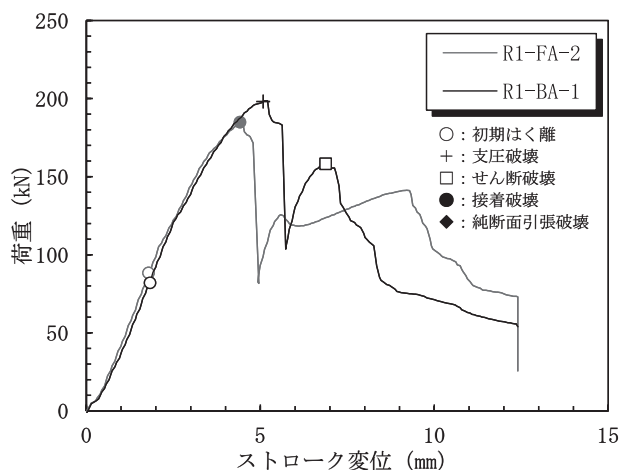
図—5 GFRP 継手供試体の概要図（一例）

表—1 実験シリーズと供試体名

供試体名	接合方法	ボルト 列数	補強鋼板の 厚さ (mm)	試験数
R1-NB	支圧	1	なし	3
R1-FA	摩擦	1	6.0	3
R1-BA	支圧	1	6.0	3
R2-FA	摩擦	2	6.0	3
R2-BA	支圧	2	6.0	3
R1-FA3.2	摩擦	1	3.2	3



図—7 リラクセーション試験供試体図



図—6 荷重とストローク変位の関係

悪い。また、摩擦接合の場合、ボルト径に対しボルト孔径に若干の余裕を持たせることができ、多少の誤差吸収が可能である。このため、施工性に有利である高力ボルトによる摩擦接合を採用した。

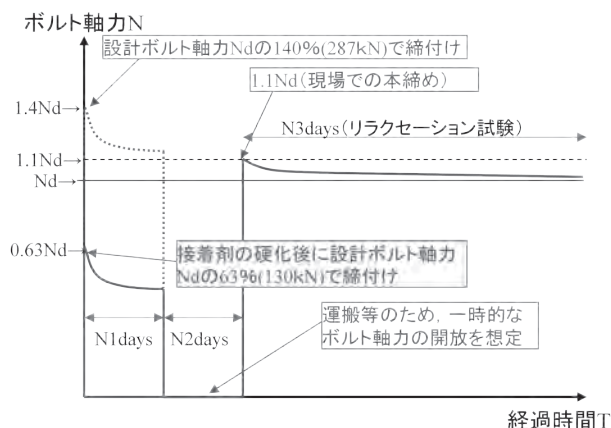
(2) FRP 部材におけるクリープ変形の影響

補強鋼板を接着した FRP 部材を鋼添接板で挟み込み、高力ボルトで締め付けると、FRP 板と接着層にクリープ変形が生じ、ボルト軸力の低下が懸念され

る。ボルト軸力が低下すると、摩擦力が低下し、接合部の耐荷力が落ちることとなる。そこで、補強鋼板が接着された GFRP 板と鋼添接板の高力ボルト接合を模擬した試験片を用いて、高力ボルトの軸力を長期間計測し、リラクセーション特性を把握した²⁾。

図—7 に供試体図を示す。寸法は 80 mm×80 mm として、前述の HFRP 桁のウェブに適用する、GFRP 板 (t=10 mm) を用いた。

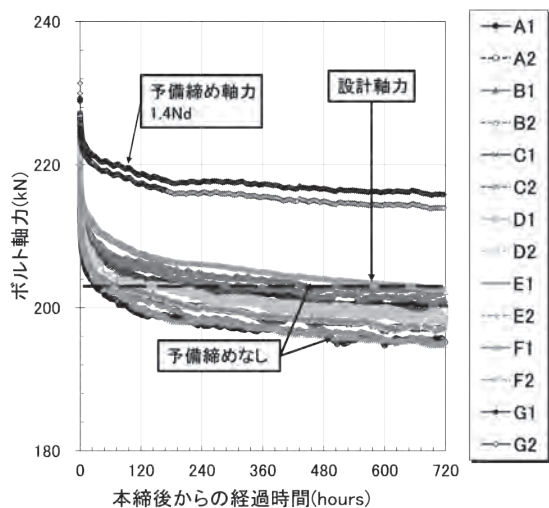
図—8 および表—2 に工場内での製作と現地施工の工程で想定する施工期間と実験シリーズをそれぞれ示す。工場内で FRP 材を製作するとき、接着時の軸力管理を行い、予荷重によりクリープ変形を促進させる（以下、予備締め）。現地での現場接合時には一旦、予荷重を開放した後、本締め（摩擦接合）を実施するシナリオである。予荷重は設計軸力 (Nd) に対して 0.63 Nd (130 kN)、本締めは 1.1 Nd (226 kN) で実施した。新たに追加した摩擦接合のシナリオ F では、接着する補強鋼板を用いない摩擦接合時のリラクセーション挙動を把握するために、予備締めを行わず、ボルト軸力 1.1 Nd (226 kN) の本締めを実施した。シナリオ G では、予備締め軸力の影響を明らかにするため、工場で実施する管理軸力を 1.4 Nd (287 kN) として、クリープ現象を促進させる養生期間 (N1) を 3 日間と



図—8 ボルト軸力の導入・解放のタイムスケジュール

表—2 リラクセーション試験条件と検討ケース

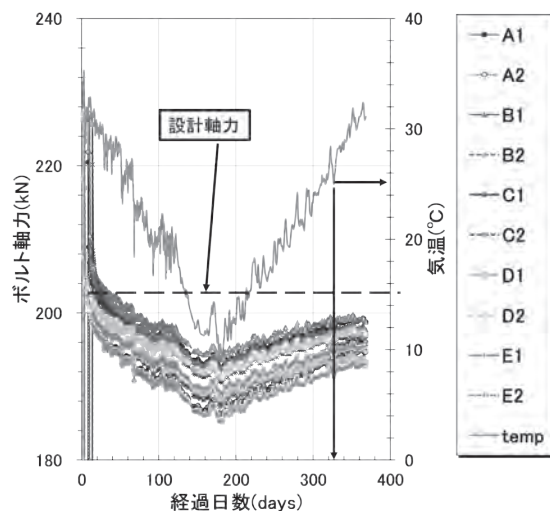
ケース	鋼板 接着	導入予 備軸力	日数			試験 体数	試験 片名	開始時期
			N1	N2	N3			
A	あり	0.63 Nd	1	7	継続	2	A1, A2	2022/7
B	あり	0.63 Nd	3	7	継続	2	B1, B2	2022/7
C	あり	0.63 Nd	7	7	継続	2	C1, C2	2022/7
D	あり	0.63 Nd	1	1	継続	2	D1, D2	2022/7
E	あり	0.63 Nd	3	1	継続	2	E1, E2	2022/7
F	なし		0	0	継続	2	F1, F2	2023/6
G	なし	1.4 Nd	3	0	継続	2	G1, G2	2023/6



図—9 ボルト軸力の経時変化（初期720時間）

した。予備締めボルト軸力を解放後、直ちにボルト軸力 1.1 Nd (226 kN) の本締めを実施した。

図—9 に本締め後のボルト軸力の経時変化 (720 時間) を示す。すべてのシナリオケースに対して、本締め後 1 時間以内に急激なボルト軸力の低下が発生することが確認された。予備締めボルト軸力を 0.63 Nd で実施したシナリオ A ~ E と予備締めを実施していないシナリオ F を比較すると本締め後の軸力の低下挙



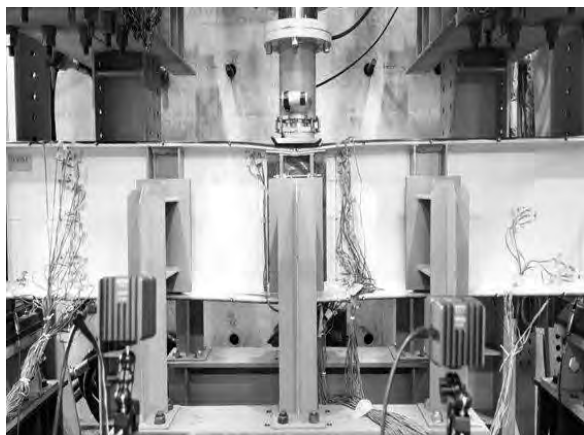
図—10 ボルト軸力の経時変化（1 年間）

動に大きな差異は確認されなかった。シナリオ A ~ F において、720 時間 (1 ヶ月) の経過後のボルト軸力は、194 ~ 202 kN であり、設計軸力 (1.0 Nd, 205 kN) をやや下回る結果であった。本締め軸力 (1.1 Nd) より高いボルト軸力で予備締めを行ったシナリオ G のケースでは 720 時間後のボルト軸力は約 215 kN であり、設計値 (205 kN) 以上の軸力を保持できることが確認された。本結果より工場で実施する予荷重管理は、本締めを行うボルト軸力より高く設定することで、クリープ現象を効果的に促進させることが可能であり、効率的なシナリオが構築できる可能性が示唆された。

図—10 に 1 年間のボルト軸力の経時変化を示す。ボルトの軸力は気温とともに徐々に低下する傾向が観察されたが、外気温が上昇に転じた 184 日目 (4382 時間) 以降再びボルト軸力が増加することが確認され、ボルト軸力は外気温の影響を受けることがわかる。1 年間を通じての計測ではいずれのシナリオでも 90% 以上の導入軸力を保持しており、最小となるボルト軸力は 90.5% であった。温度変化の影響も考慮し、長期的には 20% 程度のボルト軸力の低下を考慮した接続部の設計が必要と考えられる。

(3) 接合部の評価

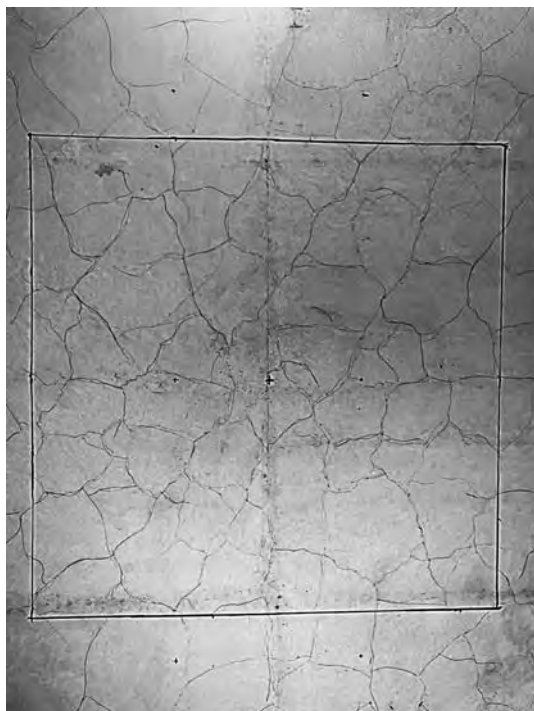
前節において、FRP 部材の接合に関する基本的性能を把握し、鋼板接着で補強された FRP 板の鋼添接板による高力ボルト摩擦接合での可能性を見出した。しかしながら、GFRP 部材に鋼板を接着した状態で高力ボルト摩擦接合とした接合方法を検討した事例はないことから、鋼板接着による FRP 板の接合部の補強方法³⁾を、FRP 桁と鋼桁との接合部への適用性を明らかにすることを目的として、実物大の HFRP 桁ウェ



写真—2 曲げ載荷試験状況（横桁）



写真—3 輪荷重走行試験状況



写真—4 本工法設置前の床版下面（ひび割れ密度 9 m/m²）

では、ひび割れ密度が 9 m/m^2 を超える状態(写真—4)まで床版を損傷させたにもかかわらず延命効果を発揮することが確認できた。

5. おわりに

劣化した RC 床版の延命化を可能とするため、FRP 部材を用いた床版補強工法「FS グリッド」を開発した。本工法を採用することにより、交通規制を最小限に抑えながら床版の延命化を図ることができるだけでなく、床版取替工事に比べ CO_2 排出量を約半分に抑えることができ、カーボンニュートラルに向けた取り組みにも寄与することができる。この技術が普及することで、公共事業費の削減や社会インフラの有効活用に寄与できれば幸いである。本研究は、東京都立大学、(株)栗本鐵工所、パシフィックコンサルタンツ(株)、(株)IHI インフラ建設による共同研究として実施された。また、検討にあたり松井繁之大阪大学名誉教授には、貴重なご意見をいただいた。ここに記して謝意を表します。

JCM/A

《参考文献》

- 1) 小野寺涼, 中村一史, 小林拳祐, 花村光一, 新倉利之, 銅板接着で補強された GFRP 板の高力ボルト継手に関する引張試験, 土木学会論文集, Vol.79, No.14, 22-14006, 2023.
- 2) 山崎敏宏, 小林拳祐, 小野寺諒, 中村一史, 栗津和弘, 新倉利之, 補強銅板を接着した GFRP 板と銅板の高力ボルト接合部のリラクゼーション試験, 土木学会全国大会第 78 回年次学術講演概要会, CS6-11, 2023.9.
- 3) 複合構造委員会編, FRP 部材の接合および鋼と FRP の接着接合に関する先端技術, 土木学会, 複合構造レポート 09, 2013.

【筆者紹介】

山崎 敏宏（やまざき としひろ）
(株) IHI インフラ建設
鋼保全技術部
担当部長



中村 一史（なかむら ひとし）
東京都立大学大学院
都市環境科学研究科 都市基盤環境学域
准教授



花村 光一（はなむら こういち）
(株) 栗本鐵工所
コンボジットプロジェクト室



橋梁 3 次元モデルを活用した設計施工における VR 技術の適用

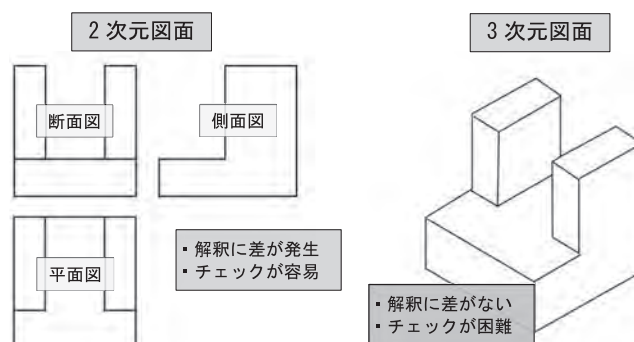
保 田 敬 一・菅 功 人

2023 年度より国土交通省の設計業務・工事に BIM/CIM 活用が原則適用¹⁾ となり、さらに 2024 年 4 月に「i-Construction2 ～建設現場のオートメーション化～」²⁾ が設定され、2040 年度までに生産性を 1.5 倍向上させる新たな目標が共有された。実現に向け AI や ICT 技術、BIM/CIM 活用を含め DX（デジタル・トランスフォーメーション）による生産性向上の取り組みが建設業界をあげて進められている。本稿では鋼橋と PC 橋の橋梁上部工を対象とした 3 次元モデリングシステム開発やデータ連携の取り組み、また橋梁 3 次元モデルを活用した施工シミュレーションシステムについて紹介する。

キーワード：橋梁、BIM/CIM、シミュレーション技術、モデリング技術、VR

1. はじめに

橋梁上部工は、交差条件や周辺条件などにより線形が決定し、縦断・横断勾配が変化するため、路面形状に追従する主構造や付属物が複雑な構造物となる場合が多い。特に鋼橋は薄肉部材の集合体で部品点数が多く専用工場で作材を製造するなど、土工やトンネル、ダムなどの土木構造物とは異なる複雑さがある。また PC 橋は 3 次元方向に変化する PC 鋼材が複雑で、3 次元モデリングの難易度が高い。一般的には 3 次元 CAD の操作を一定期間トレーニングした専門の CAD オペレーターが、橋梁の設計計算書や 2 次元図面を読み取りながら、3 次元 CAD ソフトウェアで、座標・寸法、角度などを詳細に指定しモデリングを行っている。これまで平面・断面・側面の 3 方向から見た 3 面図で構成される 2 次元図面は、人が頭の中でそれらを 3 次元に組み立てる情報として描かれているため、設計意図や計算書との突合せチェックが比較的容易である。一方で 3 次元モデルは 1 つ 1 つのコマンド操作の積み重ねの上で作成されるため、2 次元図面のように完成後に一括チェックすることが難しい（図—1）。3 次元モデルから切り出し図面を作成し寸法線を入れてチェックする方法もあるが、多大な労力が必要となる。そこで専用オペレーターの熟練度に頼らずに、設計計算時の数値情報を専用の GUI 画面に連携・入力するだけで、詳細度 300 ～ 400 の高精度な橋梁 3 次元モデルを汎用 CAD 上に自動作成し、品質チェックも容易な橋梁 BIM/CIM システムを開発した。橋梁 3 次



図—1 2次元図面と3次元図面の違い

元モデルを活用した施工シミュレーション技術と合わせて紹介する。

2. 橋梁 BIM/CIM システム

(1) 鋼橋 CIM システム CIM-GIRDER

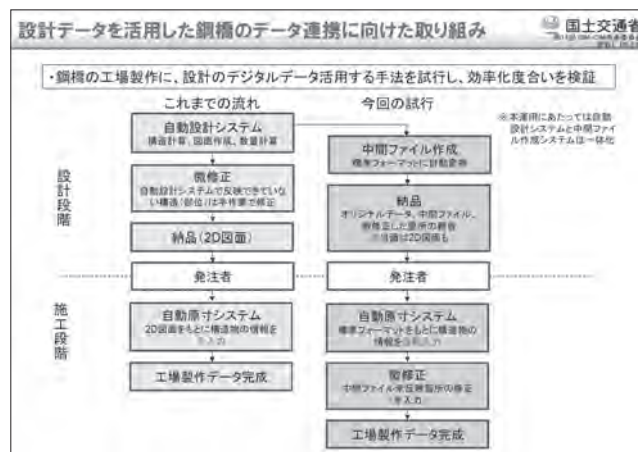
CIM-GIRDER（図—2）は鋼桁橋と鋼箱桁橋向けの専用システムであり、モデル詳細度は 300 ～ 400 に対応し、付属物は検査路、排水装置、添架物、落橋防止装置の入出力が可能である。設計情報の数値入力により、3 次元モデルと 3 次元寸法線、断面図、BIM/CIM 設計照査シート、鋼材数量の出力が可能である。橋台や橋脚に取り付く付属物（検査路、排水装置）と床版・壁高欄の配筋モデルは関連ソフトウェアにて対応可能としている。またオプション機能として「自動干渉チェック機能」がある。これは 3 次元モデル作成後に部材どうしの衝突や近接箇所を自動で検出して、



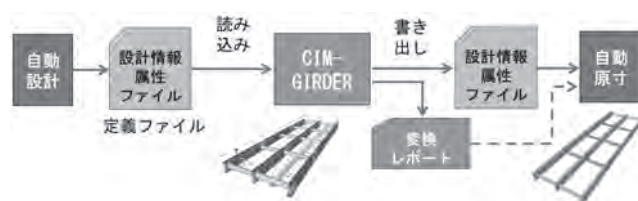
図ー2 鋼橋 CIM システム CIM-GIRDER と自動干渉チェックシステム

レポートに一覧表を出力する機能である。これにより構造上の不具合や矛盾を解消し高品質な設計に貢献できる。

一方で、建設コンサルタントが作成した BIM/CIM モデルは鋼橋メーカーの後工程に直接連動できない課題があり、発注時の設計図面から、工場製作のために自動原寸システムで設計図面の数値情報を再度手入力していた。この課題解決に向けて 2023 年 4 月、鋼橋における設計段階と施工段階のデータ連携を推進するために、国土交通省の立会のもと、(一社)建設コンサルタンツ協会および(一社)日本橋梁建設協会との間で「橋梁技術のデータ連携実装に向けた共同宣言」³⁾が公表された。具体的には(一社)日本橋梁建設協会が設計側の「自動設計システム」から施工側の「自動原寸システム」へのデータ連携を目指したファイル交換フォーマット「設計属性情報ファイル」を策定して、それぞれのシステムに入出力機能の実装が進められることとなった(図ー3)。この取り組みを受けて CIM-



図ー3 鋼橋のデータ連携に向けた取り組み(出典:国土交通省)

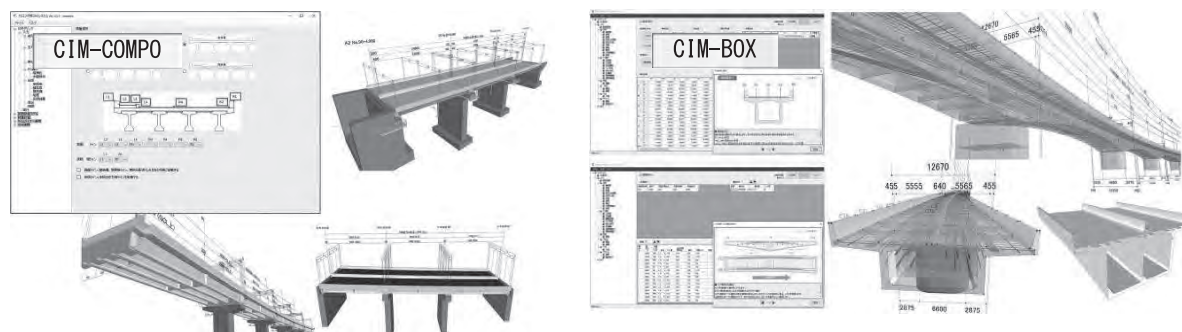


図ー4 CIM-GIRDER を介した鋼橋のデータ連携フロー図

GIRDER に設計属性情報ファイルの入出力機能の実装に着手し、データ連携の効果検証を進めている。2024 年度に鈑桁橋、2025 年度に箱桁橋に対応する計画としている。このデータ連携が社会実装されると、設計・施工分離発注においても「i-Construction2」の目標のひとつである、「後工程で同じデータを 2 度入力しない」ことが鋼橋にて実現可能となる(図ー4)。

(2) PC 橋 CIM システム CIM-COMPO, CIM-BOX

PC 橋 CIM システム(図ー5)は、工場製作によるプレキャスト桁向けの PC 桁橋 CIM システム「CIM-COMPO」と、場所打ち施工の PC 箱桁橋 CIM システム「CIM-BOX」からなる。プレキャスト部材はコンポ橋、プレテン・ポステン T 桁橋、床版橋に対応している。箱桁橋は張り出し施工と支保工施工に対応し、1 室～4 室まで適用可能で斜めウェブにも適用で

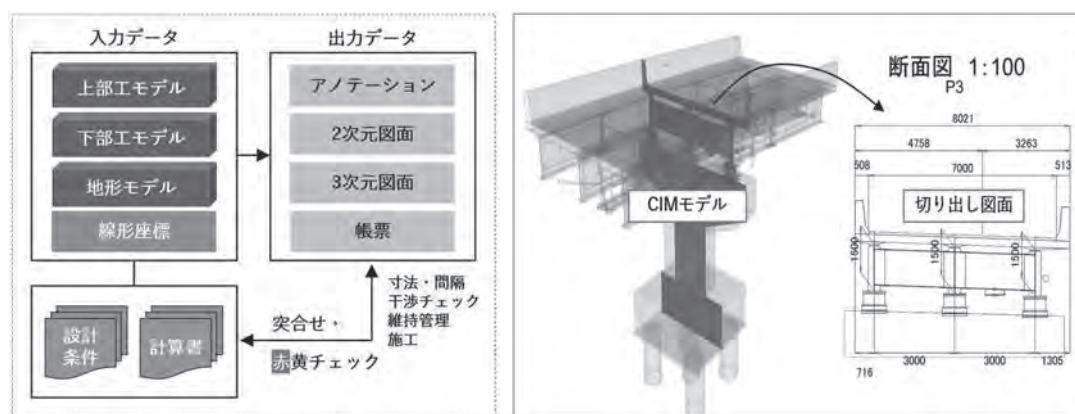


図ー5 PC 橋 CIM システム CIM-COMPO, CIM-BOX

きる。両システムともに躯体（主桁、横桁）、PC 鋼材、支承、橋面工、排水柵の 3 次元モデルを作成可能である。鉄筋の入出力は未対応となっている。また両システムは TS 測量器（トータルステーション）や ICT 機器へのデータ出力連携を実装しており、現場の生産性向上にも寄与する。

（3）橋梁 BIM/CIM モデル照査システム CIM-CHECKER

CIM-CHECKER（図—6）は、橋梁の 3 次元モデルから各種 2 次元図面を自動変換するシステムである。3 次元モデルを後工程の自動原寸システムや出来形管理に活用するにはその「確からしさ」が重要となる。3 次元モデルは従来の 2 次元図面と異なり第三者がチェックする場合、3 次元モデルと設計図書の照合作業に多大な労力を要するため、その時間短縮が課題となっていた。CIM-CHECKER を活用することで第三者が作成した橋梁 BIM/CIM モデルを短時間で照査することが可能となる。利用シーンは自社で作成した 3 次元モデルのチェックや、施工者が建設コンサルタントより提供された 3 次元モデルの「確からしさ」をチェックする場面を想定している。



図—6 橋梁 BIM/CIM モデル照査システム CIM-CHECKER

3. 橋梁 3 次元モデルを用いた VR 技術の活用

次に橋梁 3 次元モデルの活用事例を述べる。3 次元モデルは干渉チェックや数量算出など設計フェーズでの活用や、施工上の課題を可視化して関係者間の合意形成において効果を発揮する。ここでは橋梁の 3 次元モデルを活用して施工上の課題解決を支援するシステムを紹介する。

（1）橋梁架設シミュレーションシステム Sim-BRANE

Sim-BRANE は、予め登録されたクレーンモデルをワンクリックで計画位置に配置し、操作パネルのスライダーを左右に動かすだけで、クレーンブームの起伏・旋回・伸縮の基本動作が可能な橋梁架設シミュレーションシステムである。地組みした橋梁部材を吊り上げて旋回し架設が完了するまでの一連のキーフレーム登録・編集機能、定格荷重の安全率やアウトリガー反力（JIS D 6301）の算出、シミュレーション結果の Excel シート出力機能を実装している。これにより、吊荷の過負荷や地盤の支持力不足によるクレーンの転倒リスクを可視化し、より安全な施工計画の作成を支援できる。また、吊荷位置とクレーンの動作情報はすべて座標値で管理しているため、実際の施工現場での



図—7 橋梁架設シミュレーションシステム Sim-BRANE

機材誘導や吊荷監視システムとの連携を実現している。Sim-BRANE の画面イメージと BIM/CIM 共有クラウド「KOLC+ (コルクプラス)」との連携イメージを図—7 に示す。ウェブブラウザで 3 次元モデルを共有できる KOLC+ は工事関係者間の情報共有や工程管理の効率化に貢献している。

(2) メタバース橋梁施工シミュレーションシステム MEBRIS

VR とは Virtual Reality (バーチャル・リアリティー) の略で、グラフィック処理技術の向上により圧倒的な没入感が得られる特徴がある。コンシューマー向け製品がリリースされた 2016 年ごろから建設業界での活用が進んだ。従前は高価な VR 向けのハイスペックパソコンが必要であったが、近年はパソコン不要で可搬性の優れたヘッドセットがリリースされている。

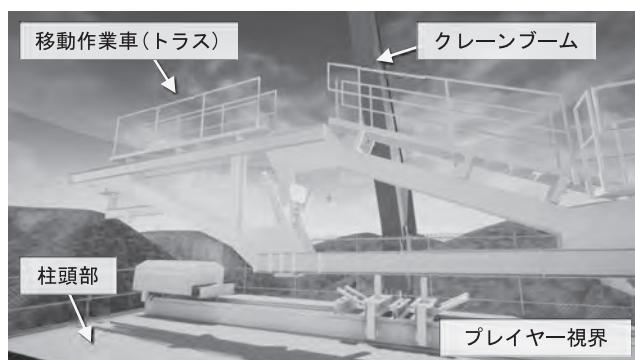
鋼構造の工場製作において、部材が密集した狭隘部の溶接施工には入念な事前検討が行われる。従来は発泡スチロールで実寸大のモックアップを作成して、施工前に「溶接部が目視可能であるか?」「溶接姿勢がとれるか?」などの施工性を検証していた。その代替手法として、狭隘部の 3 次元モデルを VR データに変換して、仮想空間で溶接施工シミュレーションを行える MEBRIS (メブリス) を開発した (図—8)。頭部に装着したヘッドセットや身体に装着したトラッカーセンサーと 3 次元モデルが干渉した場合は、警告音でプレイヤーに知らせる機能がある。離れた地域にいる職員同士がインターネット経由で VR 空間上に集合し、「作業員アバター」の姿勢を操作して施工検討が可能な機能も実装している。これにより地理的要因に

よらず熟練技術者と若手技術者が VR 空間上で指導・学習することができるようになった。また VR 空間でアバターに作業させることで、より客観的に施工性の良し悪しを確認することが可能となった。

PC 箱桁橋の張り出し施工の場合、柱頭部に移動作業車のトラスを設置する工程があり、その手順を VR にて学習することができる (図—9)。過去、トラス固定用アンカーの定着が不十分で作業員が墜落する重大災害があった。本システムは、トラス設置時の重要な作業手順を、遠隔地にいる職員とともに学習することで、施工品質の向上、安全管理の高度化を図ることが可能な技術である。

(3) 橋梁工事 VR 安全教育システム

建設業における労働災害で高い比率を占めるのが、玉掛作業、クレーン、高所作業などによる、はさまれ・まき込まれ、墜落・転落、転倒などである。橋梁工事 VR 安全教育システムは、VR 空間に橋梁工事の状況を再現して、高い臨場感と没入感のなかで、プレイヤー



図—9 VR による移動作業車組立の手順学習



図—8 メタバース橋梁施工シミュレーションシステム MEBRIS

が実際に災害を体感することで、実現場での危険予知レベルの向上、安全意識の向上に役立てることを目指したシステムである（写真—1）。

VR コンテンツは、橋梁部材の製作工場と施工現場に分かれている。それぞれのコンテンツからランダムにシーンを選択しプレイに進む。労働災害シーンは、①玉掛け作業時に吊り荷の地切り後に部材が偏心して挟まれる、②玉掛け作業時に吊り荷がほどけて足元に落下する、③クレーン合図時に気をとられ足元の養生パネルを踏んで落下、④高所作業時にホースを治す際に足を滑らせて箱桁から落下、⑤箱桁内の狭所作業時に足を滑らせて落下、⑥足場上で下を覗き込んでいたら足を滑らせて地面に墜落、⑦木製足場板の番線が破断して安全ネットを突き破り地面に墜落、⑧安全帯をつけて桁上を歩行中に隙間から落ちて宙吊り状態に、⑨梯子を昇っているときに足を滑らせ背中から足場上に転倒、⑩雨天時に枠組み足場の階段を下りる時に足を滑らせて転倒、などがある。過去実際に発生した労働災害を参考に、不安全行動時に起こりえる災害をプレイヤーがVRで体験する。また、ある状況下において、プレイヤーが選択可能な行動を複数提示するクイズ形式コンテンツを実装している。マンネリ化しやすい安全教育に正解・不正解のゲーム性を取り入れたことで、ベテラン技能労働者と若手とのコミュニケーション活性化に効果を発揮している。

（4）MR 技術による現場施工の生産性向上

MR とは Mixed Reality（ミックスド・リアリティ）の略で、現実世界に仮想モデルを同一空間上に映し出す技術である。2017 年、マイクロソフトから頭部装着型の MR デバイス「HoloLens」が登場した。このデバイスは Windows10 で動く CPU を搭載しているホログラフィックコンピュータで、デプスセンサーという赤外線を利用し、装着者の作業位置や視野の向きをリアルタイムに割り出せる特長がある。2019 年にリリースされた後継機「HoloLens2」は視野が広くなり、建設業でも専用アプリが増えて活用が進んだ。

橋梁施工では、この MR デバイスを装着し目の前のガラスに投影された 3 次元図面を見ながら鉄筋を配置していく作業に活用した事例がある。従来は設計図面から鉄筋ピッチを読み取って底板にマーキング作業を行ってから配筋作業をする必要があった。MR デバイスを用いることで設計図面の寸法を読み取ることが不要となり、設計図面に一致した配筋作業を支援することができた。2024 年にはヘッドセットとコンピュータが分離したサングラス型のヘッドセット「Magic Leap 2」がマジックリープ社よりリリースされた。コンピュータ部を空調服で冷却しながら利用することで、夏場の炎天下での連続作業性の向上が期待される（写真—2）。

このように、施工される橋梁のうち 8～9 割を占める桁橋については、専用システムにより詳細設計、



写真—1 現場事務所での橋梁工事 VR 安全教育システムの体験事例



写真—2 MR 技術を用いた配筋作業と新型デバイス

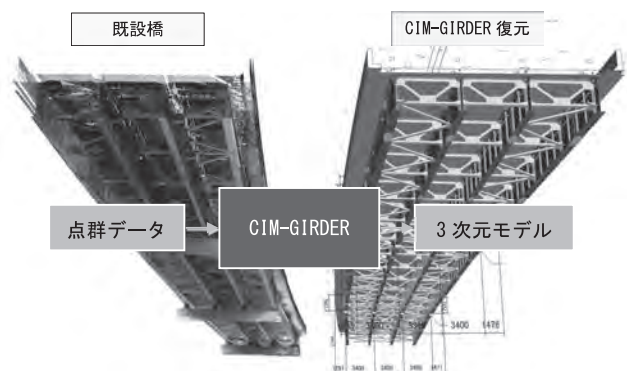
BIM/CIM モデリング、施工シミュレーション、施工管理などのワークフローに BIM/CIM 活用の標準化が進んでいる。また高速道路のリニューアル工事においても、既設橋の鋼桁や PC 桁の復元設計において、現場の測量結果をもとに現況に一致した線形座標を算出し橋梁 BIM/CIM システムに入力することで、床版更新の計画・設計・施工に活用できるシステムになっている（図—10）。

4. おわりに

橋梁 BIM/CIM システムの開発事例、VR や MR 技術を活用した最新の施工シミュレーションシステムや安全教育、生産性向上の取組みを紹介した。将来の担い手世代に魅力的な建設業を残していくためには、現

役世代の経験値をパラメータとして残して自動化し、技術者はシステムが提示した複数案からの決定・高度な判断、安全管理に十分な時間を割くことが重要と考える（図—11）。システムが計算結果だけでなく計算過程もアウトプットすることでブラックボックス化しない工夫や、企業努力による健全な競争領域と標準化のための協調領域を定義していくことも求められる。3次元モデルとデータ連携による生産性向上、災害のない安全な職場環境、新しいワークフローの実現のために、微力ながら引き続き精進していく所存である。最後に本稿で紹介したシステム開発でご協力いただいた、(株)IHI インフラ建設、(株)駒井ハルテック、宮地エンジニアリング(株)、瀧上工業(株)、川田工業(株)、(株)大林組（順不同、敬称略）に、誌面をお借りして御礼申し上げます。

J C M A



図—10 高速道路リニューアル工事における橋梁 BIM/CIM システムの適用

《参考文献》

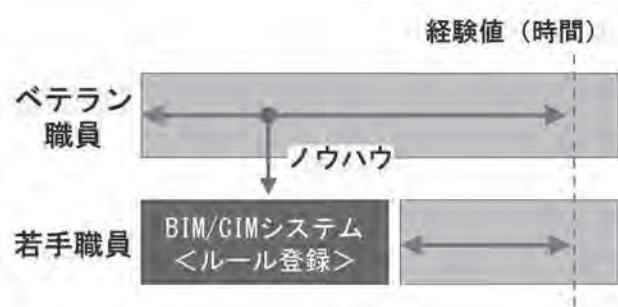
- 1) 国土交通省 第9回 BIM/CIM 推進委員会「令和5年度 BIM/CIM 原則適用について」<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001510002.pdf> 2023年1月19日
- 2) 国土交通省「i-Construction 2.0」を策定しました～建設現場のオートメーション化による生産性向上（省人化）～https://www.mlit.go.jp/report/press/kanbo08_hh_001085.html 2024年4月16日
- 3) (一社)日本橋梁建設協会「橋梁技術のデータ連携実装に向けた共同宣言」に署名しました <https://www.jasbc.or.jp/news/10011/> 2023年4月18日

〔筆者紹介〕

保田 敬一（やすだ けいいち）
オフィスケイワン(株)
代表取締役



菅 功人（すが いさと）
オフィスケイワン(株)
技術開発部 技術グループ
サブリーダー



図—11 技術伝承のイメージ図



建設機械の遠隔制御に適用する 無線通信品質向上への取り組み

玉 木 剛・清 水 秀 晃・児 玉 有 康

労働人口の減少に対し、生産効率向上が必要で、近年、建設機械の自動化・遠隔制御の検証が多くなされている。建設機械の様に、移動する機器を遠隔制御するには、無線通信が必須となり、低遅延性と安定した通信品質が求められている。日立国際電気では、ローカル 5G をはじめとして様々な自営無線網を提供しており、無線通信の品質向上に取り組んでいる。本記事ではローカル 5G を活用した低遅延映像伝送、高信頼通信の取り組みについて紹介する。

キーワード：遠隔制御、低遅延映像伝送、高信頼通信、ローカル 5G

1. はじめに

少子高齢化による生産労働人口の減少に伴い、建設分野では i-Construction^{※1} による現場の生産性向上が急務であり建設機械の自動運転や遠隔制御の必要性が高まっている。第 5 世代移動通信（以下 5G）の特長である高信頼・低遅延特性が自動運転や遠隔制御に有望で、様々な実証実験が行われている。本文では、遠隔制御に関して複数の無線機を用いて高信頼性と低遅延を両立する当社の取り組みを紹介し、今後の展望を示す。

2. ローカル 5G ソリューションと建設機械の遠隔制御

当社では、図-1 に示すように自営網（プライベート LTE^{※2}/ローカル 5G）と映像解析 AI/IoT ソリューションをシステム設計／構築から保守・運用サービスまでワンストップで提供している。様々な業種のお客様が活用する様々なアプリケーションに対して最適なシステム構成を選択するのが難しくなっている。そこで、お客様が活用するアプリケーションに対して個々のシステム・プロダクトを意識することなく、複数の無線システムを柔軟に最適に使いこなすためのプラットフォームを提供している。

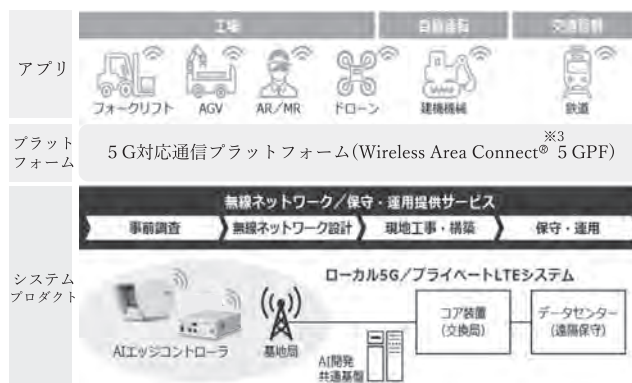


図-1 ローカル 5G ソリューション概要

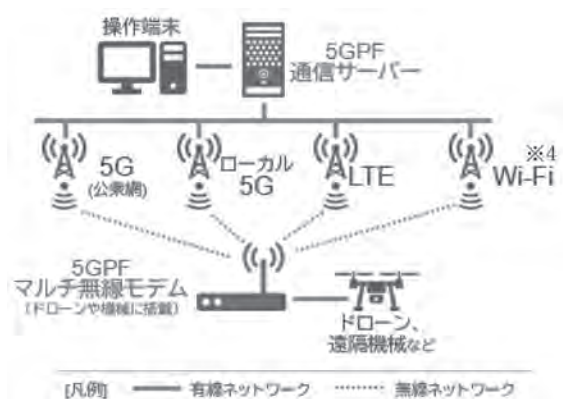


図-2 高信頼通信概要

このプラットフォームの機能の一つとして、図-2 に示すような高信頼通信機能がある。

※1 i-Construction は、国土交通省国土技術政策総合研究所長の商標または登録商標です。

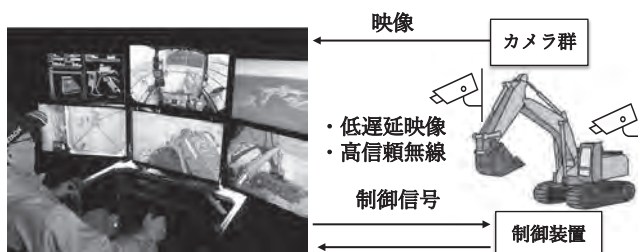
※2 LTE は、欧州電気通信標準協会（ETSI）の商標または登録商標です。

※3 Wireless Area Connect は、(株)日立国際電気の登録商標です。

※4 Wi-Fi は、Wi-Fi Alliance の商標または登録商標です。

当社の高信頼通信機能では、複数の無線システムを利用し、通信の冗長度を高めることでパケットエラーを低減し、低遅延かつ高信頼を実現する。

この高信頼通信機能によって、建設機械を低遅延かつ安定した無線通信品質で遠隔制御を行うことができる。遠隔制御ソリューションの概要を図—3に示す。



図—3 建設機械遠隔制御ソリューション（日立建機ホームページより引用）

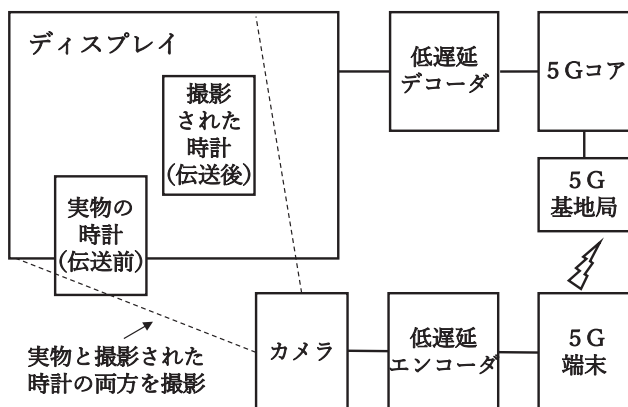
3. 低遅延映像伝送と高信頼通信

図—3に示した建設機械遠隔制御ソリューションに必要となる低遅延映像伝送と高信頼通信機能について、当社の5Gラボにて検証を行った。

低遅延映像伝送では、カメラで映像を撮影した時間から遠隔操作者が映像を見るまでの時間の差（E2E遅延時間：End to End）を100 msec～200 msec程度に抑える必要がある。5Gを用いた映像伝送実験におけるE2E遅延時間の測定方法を図—4に示す。

実物の時計をカメラで撮影し、撮影された時計の映像を5Gシステムで伝送した後にディスプレイに表示する。実物の時計と撮影された時計の時間差でE2E遅延時間を測定する。図—5に示すようにE2E遅延時間は120 msecで、遠隔制御に適用可能である。

次に高信頼通信機能について説明する。高精細映像を高品質に伝送し、建設機械の遠隔操作の制御信号を



図—4 映像のE2E遅延時間測定方法

高信頼に伝送する必要がある。高信頼伝送では誤り訂正や再送制御が知られているが、TCPプロトコルではパケットロスネットワークの輻輳と捉えて再送制御が働き、大きな遅延時間になってしまう課題がある。これに対して、伝送経路を複数にした経路冗長によって高信頼通信を行えば、再送制御をする頻度が減り、低遅延と高信頼を同時に実現することができる。この様子を図—6に示す。

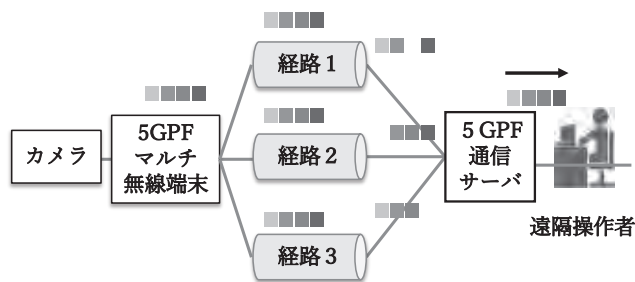
各経路でパケットロスが発生しても経路冗長により全体のパケットロスを低減することができる。

複数経路による映像伝送の高信頼化について当社

遅延：120msec 実物（映像伝送前） 映像伝送後



図—5 映像のE2E遅延時間測定結果



図—6 複数経路による高信頼化



単一経路：映像乱れ有り 複数経路：映像乱れ無し

図—7 複数経路による高信頼映像伝送

(5G ラボ) での実験の様子を図—7に示す。無線 LAN の受信電力が弱くなる地点において無線 LAN 単一経路では映像が乱れるが、同じ地点で無線 LAN と 5G を用いた複数経路を活用すると映像は乱れない。逆に 5G の信号が弱い地点で、5G 単一経路では映像が乱れるが、5G と無線 LAN の複数経路では映像が乱れないことを確認した。

4. 建設機械遠隔制御に向けた高信頼通信の検証実験

大型ショベルの様な移動する建設機械を遠隔制御するための通信手段として無線通信が不可欠であるが、建設機械の動作に伴い、建設機械の機体の影響で電波遮蔽が発生し、遠隔制御に支障がでることがある。

この問題を軽減するため、当社の高信頼通信機能を大型ショベルに適用する。

本検証は日立建機浦幌試験場に協力いただき実施した。

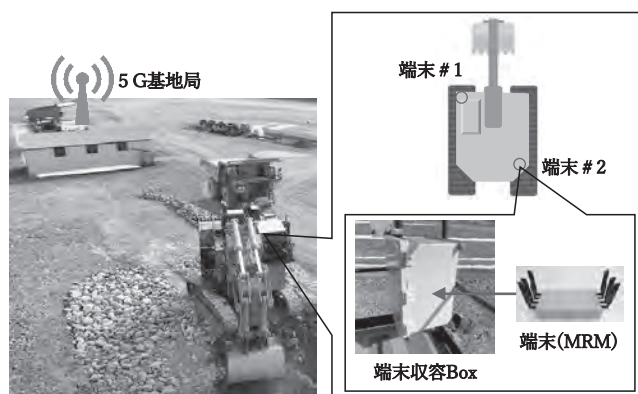
高信頼通信機能をショベルの遠隔制御に適用する方法を図—8に示す。

本実験の基地局・端末の設置について図—9に示す。大型ショベルの対角となる位置にマルチ無線端末 (MRM: Multiple Radio Modem) を2台取り付けた。

ショベルの旋回に伴い、端末が機体の影となる様子



図—8 高信頼通信の建機適用



図—9 基地局・端末設置状況（日立建機浦幌試験場での試験状況）

について図—10で説明する。

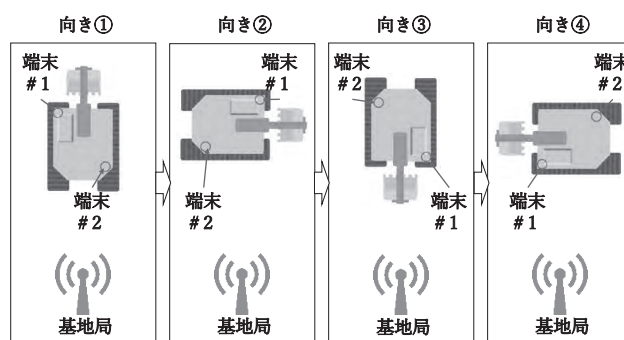
図—10の向き②の場合、端末#1がショベルの影になって、基地局からの見通しがとれなくなり、受信電力が弱くなる。対角となる場所に2台の端末を設置することで、端末#1が機体の影にかくれても、端末#2が機体の影でなくなるため、経路冗長によって高信頼通信を実現することができる。

大型ショベルを旋回した各状態で電波の受信電力を計測した結果を図—11に示す。

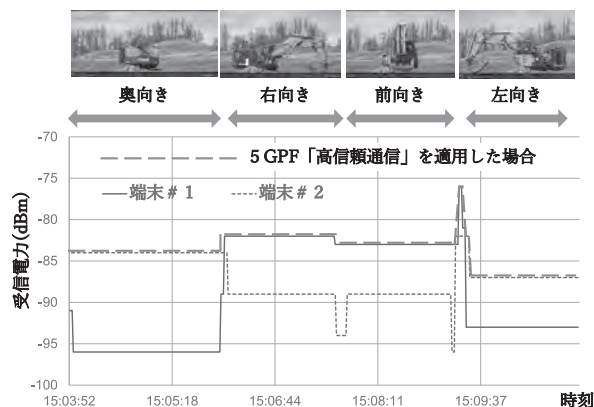
大型ショベルの旋回状態によって、端末#1、端末#2共に受信電力の最大値と最小値で20 dB程度の差が発生した。

図—11に示すように、端末#2の受信電力が弱い状況では、端末#1の受信電力がよい状況であるため、受信電力が良好な方を選択することによって、10 dB程度改善することができる。これにより1つの基地局で広いエリアをカバーすることが可能になる。

当社の高信頼通信機能を適用して、複数の無線端末を建設機械に実装して冗長構成をとることにより、安定した無線通信品質で遠隔制御を実現することができる。



図—10 ショベル旋回と端末の位置関係



図—11 大型ショベル旋回時の受信電力

5. おわりに

当社は、自営網（プライベート LTE／ローカル 5G）と映像解析 AI/IoT ソリューションをシステム設計／構築から保守・運用サービスまでワンストップで提供している。

お客様が活用するアプリケーションが個々のシステム・プロダクトを意識することなく、複数の無線システムを柔軟に最適に使いこなすためのプラットフォームを提供している。

本稿では、建設機械の遠隔制御ソリューション向けに必要な低遅延映像伝送と、高信頼通信機能について、当社の 5G ラボでの実験結果を示し、また建設機械にマルチ無線端末（MRM）を搭載した実験結果を示した。経路冗長による高信頼通信によって安定した無線通信品質で建設機械の遠隔制御を実現できる見通しを得た。

今後、実際の遠隔制御アプリケーションを用いて検証する予定である。

この遠隔制御ソリューションは、工場における搬送用移動体（AMR、フォークリフト）や、港湾・空港

における搬送用移動体、物流倉庫における搬送用移動体、車両基地における列車等、様々な業界向けに展開していく予定である。

図 12 に 5GPF の概要説明図を示す。本稿では、高信頼通信機能（信頼性を高めるマルチ無線接続機能）を中心に説明した。その他にも、見やすくする運用管理機能、使いやすくするアプリケーション連携機能を備えている。今後、幅広いソリューションに展開していく予定である。

J C M A

《参考文献》

・(株)日立国際電気：5G/AI ソリューション HP
https://www.hitachi-kokusai.co.jp/products/solutions/5G_LTE/index.html

【筆者紹介】

玉木 剛（たまき つよし）

(株)日立国際電気
 研究開発本部
 主管技師長（工学博士）



清水 秀晃（しみず ひであき）

(株)日立国際電気
 ソリューション統括本部 DX 本部
 主任技師



児玉 有康（こだま ゆうこう）

(株)日立国際電気
 ソリューション統括本部 DX 本部
 プロジェクトマネージャー



図 12 5G 対応通信プラットフォーム概要

ずいそう

試みるという名前の競技

佐藤 信一郎



1. オートバイトライアルという競技

今回、私がのめり込んでいる趣味であるオートバイトライアルという競技について乱文雑文ではありますが、書かせていただきます。

元来は、オートバイの耐久性を試験するため、公道や悪路を走破する性能を試験＝トライアルするためのものでした。これがオートバイの性能が向上していくに従い、走破する地形がより難度の高いものになり、それに対してライダーのテクニックが求められるようになり…と先鋭化をしていき、ついにはライダーの性能をトライアルする競技へとなっていました。

競技の内容としては、岩や崖のような斜面あるいは沢などを、足を地面に着いたりエンジンが止まったりしないようオートバイで走り抜ける技術を競います。

勝敗の付け方としては、他のオートバイ競技と異なり、周回路を走行して周回数・タイムを競うのではなく、セクションと言われる短く区切られた区間を数回挑戦し、その中で失敗の数（減点）をどれだけ減らせたか？を競います。

そう聞くと非常に高度で難しい競技のように聞こえてしましますが、必ずしもそうではありません。

競技会では、参加者のレベルに応じたクラス分けをし、簡単なクラスは簡単なラインを、難しいクラスは難しいラインを走行します。

例えば初心者クラスは膝下くらいの段差を超えられるかを、上級者のクラスは1m以上の段差を超えられるかを競うというような形です。

そのため、自分の技量がある程度見極めて、無理な走行をしなければそんなに危険なことにはなりにくい競技です。

そこが魅力なのか、ご年配のライダーの方も多く、例えば還暦を超えて全日本にチャレンジされているかたもいらっしゃいます。

とはいえ、割と地味な競技であることも否めず、同じオフロード競技のモトクロスなどと比べても規模が小さいのは残念なところですが…。

2. トライアル競技との出会い

そんな地味な競技をなぜ始めようとしたのかといいますと、元々、オートバイが好きで、大学の頃から乗り続けていて、大学時代は休日があれば日帰り宿泊問わずにツーリングに出かけていました。

オートバイが好きで、大学卒業後オートバイ関連の会社に就職、そこでもツーリング等を楽しんでいました。

リーマンショックなどを受けて業務内容が変わったこと等々なんやかんやあり、現在の会社に転職することになり、それに伴って現在住んでいる土浦に引っ越しをすることになりました。

オートバイにただ乗るだけでなく上手になりたい、競技に参加してみたいと思って参加出来ずじまいだったのですが、環境の変化を好機にやってみることにしました。

そこで単に競技といっても色々ありますが、その中で、趣味として続けるには続けやすいほうがいいだろう、コースが自宅から近い競技がいいだろうということでトライアルという競技を選択しました。

そんなひどい理由だったのですが、すごくハマってしまい、休日があればほぼほぼ練習か試合！というプライベートを過ごしています。

3. はじめてみて

コースを走ってみて、まあ…難しいと思わされました。何しろツーリングしかしていなかったものからウィリーすら満足に出来ない状態でした。ウィリーが出来ないと何が困るかという段差を超えられない。そもそも、車輪のついた乗り物は車輪が地面に接地しているもの！という認識が頭の何処かにあるので段差を登るのも降りるのも怖くて怖くて。

そんな中でも、続けられた理由の一つは、トップライダーの走りのカッコよさです。

家の近くにある件のコースは、全日本大会を開催したこともあるコースだったので、トップライダーも練

習に来ているため、その走りを近くで見る機会がよくあります。

その走りの華麗でかっこいいこと！その走りの1/100でも手に入れたい、かっこよく走りたい、そう思わせてもらえたことが続いた秘訣です。

もう一つは練習仲間に恵まれたことです。前述の競技の特性上、長い周回路ではなく短く区切った区間（セクション）を走行する競技のため、仲間内でお互いの走りを見ることが出来るので仲間内で走りについてあーでもないこーでもないと色々な手法を試みて良かった・悪かったと語り合う。それがすごく楽しい。

4. 地方戦

ただ練習が楽しい、仲間と乗るのが楽しいそれだけでも良かったのですが、仲間内の誘いもあり、公式戦に挑戦する事になりました。

先述のようにお互いで話し合う事が出来る競技なので、そこでも仲間の輪が広がりました。

名前とどんな走りをするかはわかるけど、職業も住んでる場所もわからない。それでも試合の場では挨拶もするし、セクションの攻略についても話し合う。

そんな心地よい距離感の友人？も増えたことと、それと普段走るのとは違うコースを走ることで色々な刺

激を受け、それをホームコースに帰って練習に混ぜ込み、結果を次の公式戦でどう実ったかを試みる。

このサイクルがすごく楽しく、試合の日程に合わせることでプライベートにも張り合いとリズムが生まれ、どんどんのめり込んでいきました。

5. 全日本

のめり込んでいるうちに、地方戦では何とか結果を出して昇格することが出来、2023年から全日本大会に出場する権利を得ることが出来ました。

学生の頃に特に競技というものをやってこなかった身としては全日本と名のつくものに挑戦することが出来るとは夢にも思っていませんでした。

地方戦とはまた違う空気感、コース、難易度、また地方によってはSUGO やもてぎなど、オンロードの競技でも使用するような立派なコースでの試合もあり、緊張はまだすごくありますが、自分がどこまで出来るのか試みると名前のついたトライアルという競技を楽しんでいこうと思っています。

——さとう しんいちろう 日立建機㈱
マイニングビジネスユニット開発統括部ダンブトラック設計部
ダンブトラック開発グループ 技師——

ずいそう

クイズのち人生

柴田 陽二郎



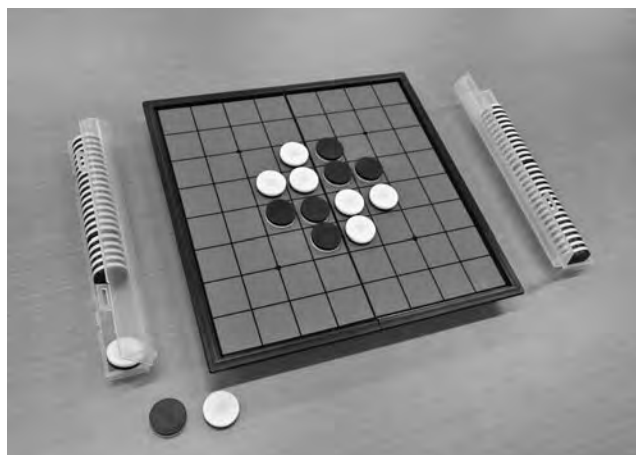
これはやられた！そういうことか！なんてクイズが大好きです。解く方専門ですが、そんなクイズを参考に「こういうのはどうだ！」ってやつが頭に浮かんでしまうと誰かを唸らせたい、そんな欲求が湧いてきます。というわけで以下お付き合いいただけると幸いです。

【問題】

ここにオセロゲームで使用される石のように丸く平たい形状の石があります。色は、まあ白と黒では味気ないので業界的イメージで黄と黒(注意喚起の色か!?)として、黄の裏は黒、黒の裏は黄という配色で余すところなく塗られています。この石 50 個がテーブルの上に載っており、黄と黒のコントラストが何かの注意を促すかのように目に訴えかけてきます。そこに建設機械部の先輩である変わり者 A 主任が現れてこんなことを言ってきました。先輩は両目をつぶったまま、テーブルの上の石をかきまぜたあと、任意の数の石を手前に寄せ集めて一つのグループを作り、そのグループ内の表を向いている黄と黒の数を同数にできると。いつもながらよくそんなくだらないことを考えつくものだなあ…と思いつつもやってもらった。グループの石の数を 10 個、20 個、またそれ以上に何パターンもやってもらったが、A 主任はすべてやってのけた。さて、A 主任はなぜ、目をつぶったまま手前に集めた石の表を向いている黄と黒の数を同じにすることができたのでしょうか？

- ・ A 主任は、自分が行っている作業は見えません。かきまぜる前の状態も見えていません。
- ・ 目をつぶっても触ることで石の数を確認できますが、感触で裏表はわかりません。
- ・ A 主任に誰も協力しません。
- ・ 石が立つような状態にはなりません。石の平たい面が表か裏を向く状態のみです。
- ・ 石を裏返す行為は、何個でも、何回やっても構いません。

おそらく、この問題が解ける人は、直感ですぐわかる人でしょう。そうでなければ、この問題文どおりの順番に、条件に従って、どの時点で何をどうすれば黄と黒が同数になるかを試行錯誤することでしょう。そ



写真—1 おなじみのゲームです

うすればそのうち何か気づくことがあるかもしれません。問題文をよく読むことは大切です。しかしその中には真相から遠ざける意図した情報がまぎれているかもしれません。

情報化が速度を増していく社会で、無数にある選択肢から正しい情報や本当に必要なものを手にすることは、非常に難しくなっているような気がします。提供側（ここでは「メディア」という表記にします）にだまされてはいけません。ウソは大前提としてはダメですが、違和感や誇張が大きくなんとか気づくことができるとしても、なによりやっかいなのは「ウソがない状況でだまされないこと」でしょう。また、この表現がどういうことなのかというところから考える必要があります。

メディアの「だまし方」というと語弊があるので「つたえ方」について申しますと、一つの事象にそれを構成する 10 個の重大な事実があるとして、10 個の事実をすべて伝えれば問題はないのですが、仮に 5 個だけの事実を伝えれば、その 5 個で構成される事象として情報を受け取る各個人が好きなように解釈します。受け取る事実が多いほど事の真相に近づくことができるでしょう。しかし、伝える事実が 3 個でも 5 個でもどれも事実なので「正しい事実を伝えた」と堂々と言えますから、メディアは何ら問題なく意図する方向に導くように、事実の中から都合のいいものを選んで、利害関係のある何かに付度することができます。そして

情報を受け取る我々はメディアの意図する側に寄せられていくわけです。伝えなかった「これは言わないでおこう」という情報には、きわめて重要なものがあります。昨年、世間を騒がせた大手芸能事務所の数十年におよぶ事件は、この手の「つたえ方」のきわみである「何も伝えないでおこう」または、「ちょっとは伝えておこう（紙面の隅に）」という作為によって、その輪郭すら見せてこなかったのかもしれません。

おっと、話がそれてきました。さて、冒頭の問題に戻りますと、これも情報化社会のくだりと同じくいろんな情報が詰め込まれている中で必要な情報をつかむというものです。問題に書いていることはすべて事実として設定しており、そしてこの問題が成立するための条件を示しています。しかし、だまされてはいけません。実は、ある事実について詳細を伝えていません。よって何らかの可能性を残しています。「ある事実」に「詳細」があることすら他の事実でもって意図的に気づかせないように問題を構成していますので、なかなか「正解の存在」が見えないのかもしれません。

正解は申し上げませんが、やはりクイズなのでちゃんとした正解があります。そりゃ当たり前だろと言いたくなると思いますが、「正解がある」という事実は、「問題解決」においては大変重要な要素になります（今回の正解に導くヒントにはなりません）。なぜなら、正解があるという確信をもって問題に取り組むことができ、正解がないことへ疑う労力を生じさせないから

です。人は生きていく過程でいくつもの問題にぶつかり、何が正解なのか、また、正解があるかもわからないまま時間も自身も進んでいきます。これは自分にとって正解だったのか、もっといい選択ができなかったのか、皆さんも問題に直面して考えに考えて乗り越えて（または失敗して）今の自分があるはずです。いまだ問題解決の真ただ中かもしれません。人生に比べたら、すでに答えが用意されている問題なんてたやすいものです。

……なかば強引さを感じつつも、表題のとおり話が「人生」まで辿りつきまして、私の「ずいそう」はこれで終わりとなりますが、ここで終わると頭がもやもやする方がいらっしやると思いますので本当に最後に正解に導くヒントを出します。下のヒントの違和感にピンとくれば、正解はすぐそこです。（クイズ好きの方、また、考えることが好きな方は見ないほうがいいです。）

ヒント

- 問題文にはほぼ正解を表現している箇所があります。
- そのことを勘違いさせる表現はたくさんあります。
- こうした表現が使われている文章の箇所を探ってい
- く点に注目してください。

部 会 報 告

令和6年度第134回建設施工研修会（映画会）開催報告

広報部会

1. はじめに

建設施工研修会は、協会内の広報部会における事業活動の一環として、昭和55年度以来、各種の工事記録や施工法などの紹介を目的にあらゆる建設会社から記録映像を借用し、『最近の機械施工』と題した「映画会」という位置づけで開催を続けております。

現在は「建設施工研修会」と改名し、上映内容の範囲拡大と共に建設会社以外からも多くの映像をご提供いただき、近年において製作された新工法・新機種などに関する映像は「先端技術、環境、安全・安心に配慮した機械・施工・技術等及び新工法」へと多角的な視点から技術を深掘り紹介し、建設の機械施工の進化を追い続けることで134回目を迎えることになりました。

本年も、各支部の協力を得て全国5会場（東京本部：6/19、東北支部：7/8、四国支部：8/29、中部支部：9/21、関西支部：10月下旬）で順次開催が計画され、多くの会員様に有意義な情報共有の場を設けることができ、事務局としては大変感謝しております。

東京本部では6/19に本年も引き続き通常参加者数とZoom配信のハイブリッド開催にいたしました。

多くの方々にお申し込みをいただき、以下にハイブリッド方式による東京本部での開催結果を報告させていただきます（写真—1、2）。

2. 東京会場開催報告

【概 要】

令和6年度 第134回建設施工研修会実績

開 催 日：2024年6月19日（水）

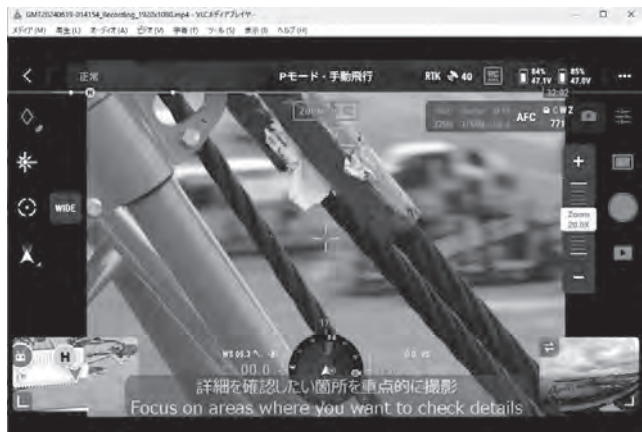
場所・参加方法：機械振興会館 地下3階 研修-2号
会議室（定員60名／120収容部屋）、
Zoom 配信（上限500ライセンス可）

時 間：13：10～16：00

プ ロ グ ラ ム：表—1の通り

聴 講 者 数：通常聴講12名、WEB聴講97ライセンス（1ライセンス複数聴講人員は不明）

映像は、12の会員組織（建設機械メーカー4社から15タイトル、建設会社5社から6タイトル、コンサルタント会社1社から1タイトル、レンタル会社2社から4タイトル）のご協力により、全部で26タイ



写真—1 上映状況



写真—2 会場聴講風景

トルの上映となりました。

又、若干のプログラム入替等、今年は支部によって開催に工夫が見られました。

3. 過去からの傾向

過去の上映実績を辿ると、2022年度はあらゆる業種において「取得データを可視化」する技術開発。2023年度は「可視化データを異業種のプログラムで活用を試みる」ことにフェーズが進み、「人手不足」

という大きな業界課題解決に取り組むべく始まったICT技術の開発・現場導入・点群データの活用、デジタル化技術の促進という『点』と、一見すると対極的な現場技術の「省人技術開発」という『点』の足し算が、機械の自動化・自律化の模索へと拍車がかかったように思えました。そして2024年度は機械自体の「電動化」という新たな要素の掛け算が、これまで困難であった建設機械の回生エネルギー技術にも発展をもたらし、各社が掲げる持続可能な開発（SDGs）対応も可能とする相乗効果をもたらし、予てから建設業

表ー1 第134回建設施工研修会（映画会）プログラム

No.	タ イ ト ル	制作年	上映時間	提供会社
1	切削管理 SYS（デモ・実施工編）ver2	2023年	5分	酒井重工業(株)
2	転圧管理 SYS Compaction Meister（ダイジェスト版）	2023年	4分	酒井重工業(株)
3	緊急ブレーキ装置 Guardman シリーズ（ダイジェスト版）	2023年	3分	酒井重工業(株)
4	自律走行式ローラ 2023 コンセプトムービー	2023年	3分	酒井重工業(株)
5	電動油圧ハンドガイドローラご紹介	2023年	4分	酒井重工業(株)
6	自律走行式ローラ 2023 コンセプトムービー	2023年	3分	酒井重工業(株)
7	K-D2 PLANNER [®] 製品版 お客様インタビュー【西松建設(株)様】	2023年	5分	コベルコ建機(株)
8	K-DIVE [®] ～遠隔操作×自動運転による現場の生産性向上と安全性確保～ 実証実験 2023【コベルコ建機・安藤ハザマ共同研究】	2024年	3分	コベルコ建機(株)
9	ドローンによるクレーン点検	2024年	3分	コベルコ建機(株)
10	安全コンセプト動画（K-EYE シリーズ）	2024年	3分	コベルコ建機(株)
11	ロッドハンドリング装置 驚掴み RHS-2	2023年	6分	鉾研工業(株)
12	マルチドリル KMD 50C 維新黒船	2023年	6分	鉾研工業(株)
13	フル電動「ジャイロプレス工法 [®] 」システム施工	2023年	4分	(株)技研製作所
14	圧入工法における最新 DX 技術紹介	2023年	3分	(株)技研製作所
15	圧入技術の情報発信基地 RED HILL 1967	2023年	3分	(株)技研製作所
16	補修・補強材料のトレーサビリティシステム	2022年	3分	(株)奥村組
17	コンクリート構造物表面の自動研掃システム	2022年	3分	(株)奥村組
18	～ PC・RC 構造物の建設に変革をもたらす統合システム～	2023年	5分	鉄建建設(株)
19	TK Construction Flow 360	2022年	7分	清水建設(株)
20	清水建設 土木分野の DX 分野の取り組み	2023年	10分	五洋建設(株)
21	国内最大の原塩ターミナルを急速施工した 超大型ブロックによる栈橋構築技術	2024年	2分	(株)熊谷組
22	バッテリー機関車向け人物検知 AI カメラ	2023年	7分	(株)レンタルのニッケン
23	次世代墨出しロボット SUMIDAS（スミダス）	2023年	4分	西尾レントオール(株)
24	VOLVO 電動コンパクトホイールローダ L25 ELECTRIC（タイヤショベル）	2023年	4分	西尾レントオール(株)
25	VOLVO 電動ミニバックホウ ECR25 ELECTRIC（油圧ショベル）	2023年	4分	西尾レントオール(株)
26	AI 配筋検査端末「Field Bar [®] 」配筋検査の省力化で建設現場の生産性向上	2022年	15分	福井コンピューター(株)

に携わる人々が、「生産性向上の具現化」を実感できるフェーズに突入したように感じます。

4. 今後について

かつてコロナ禍前に「施工計画」⇒「本施工」⇒「完成検査」⇒「維持修繕」を円滑にする『パッケージ』を構築したいとおっしゃっていた会員様との会話に思

いを馳せたとき、先述の通り業界の垣根を越えた課題解決と発展への『スピード感』は、事務局としては建設業界自体に対し、来年はどんな進歩に立ち会わせてもらえるだろうかと、期待が大きく膨らむばかりです。

[筆者紹介]

松本 寛子（まつもと ひろこ）
（一社）日本建設機械施工協会
業務部



新工法紹介 機関誌編集委員会

03-197	低騒音・低振動・低粉塵型 の新しい目荒らし工法 「ブラストキー工法」	ブラストキー 研究会 飛鳥建設 東亜建設工業
--------	--	---------------------------------

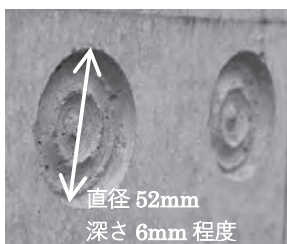
▶ 概 要

近年、持続可能な開発目標（SDGs）やカーボンニュートラル実現に向けた取り組みの一環として、建築分野では建築物の長寿命化や建築ストックの有効活用が重要なテーマとなっている。建築ストックを有効活用するためには、耐震改修や増改築、大規模修繕や大規模な模様替え等を伴うことから、既存部材と新設部材を接合する工事が多く発生する。コンクリート同士の接合には、相互のコンクリートの一体性を高めるために「目荒らし」が多く用いられている。目荒らしの方法は、電動ピックに斫り用のドリルビットを装着して行うチップングと呼ばれる目荒らし（以下、「チップング工法」と称する）が多く用いられる。このチップング工法は、打撃によりコンクリート表面に凹凸を形成させるため、騒音や振動、粉塵を伴うことが多く、さらに打撃による既存部材へのひび割れの増長や損傷等が懸念される。そこで、低騒音・低振動・低粉塵で施工が可能な目荒らしとして「ブラストキー工法」の開発を行った。

ブラストキー工法は、耐震補強の間接接合部の接合面、増し打ち壁補強の既存壁と増し打ち壁の接合面等、コンクリート同士もしくはコンクリートとグラウトの接合面におけるせん断抵抗要素として用いることができる。



写真—1 ブラストキー施工例



写真—2 ブラストキーの形状

ブラストキー工法は、直径 52 mm、深さ 6 mm 程度（直径の約 1/10）の円柱状のシアキー（以下、ブラストキーと言う）を既存躯体と補強部材の接合面に配置する工法である。施工は湿式コアドリルで穿孔する（写真—1、2）。

▶ 特 徴

ブラストキー工法は湿式コアドリルで穿孔するため、既存躯体に打撃を行わないことから、下記の特徴を有する。

- ・低騒音・低振動での施工が可能となり、固体伝搬音を低減することが可能（図—1、2）。
- ・既存部材へのひび割れの増長や損傷等を抑制。
- ・粉塵の発生量はほぼ無し（図—3）。

さらにチップング工法は、施工時の面積や深さを管理することが困難であるが、ブラストキー工法は施工した個数と形状を管理すれば良いため、管理方法が非常に明快である。構造的には、ブラストキー工法の場合、概ねブラストキーの個数に比例してせん断力が增大することから、チップング工法のせん断耐力をブラストキーに置換することで、施工品質は担保される。

▶ 技術評価

- ・（一社）建築研究振興協会 技術（性能）評価取得（BRP-R1803014-0ST）
- ・NPO 耐震総合安全機構 JASO 推奨品・推奨工法認定 No.016
- ・NETIS（新技術活用情報システム）登録 KT-230216-A

▶ 用 途

- ・耐震補強の鉄骨ブレースや制震ブレース等の既存躯体との接合面、増し打ち壁補強工法の既存壁と増し打ち壁の接合面
- ・上記他、コンクリート同士もしくはコンクリートとグラウトの接合面

▶ 実 績

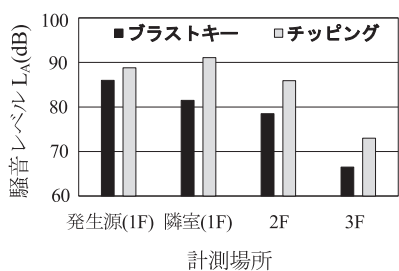
- ・小学校、共同住宅、事務所、官庁施設等 8,765 穴

▶ 問 合 せ 先

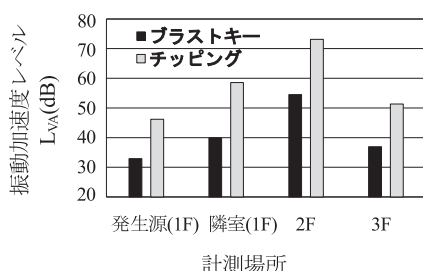
ブラストキー研究会 事務局

〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP 西棟

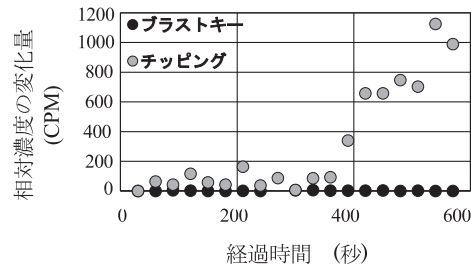
TEL：0120-109-686



図—1 騒音レベル測定結果



図—2 振動加速度レベル測定結果



図—3 施工中の粉塵濃度の変化量

新工法紹介

04-465	ソケット型 AGF 鋼管打設の機械化工法	鹿島建設 古河ロックドリル ケー・エフ・シー トーキンオール
--------	----------------------	---

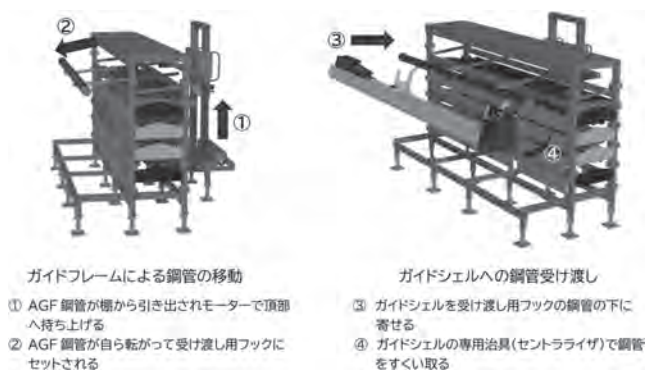
▶ 概要

山岳トンネルでは、トンネル上部の安定性確保や地表面の沈下抑制を目的に、補助工法として AGF 工法を採用するケースが数多くある。AGF 工法における鋼管打設作業は、ドリルジャンボの削岩機アーム（ガイドシエル）に 2 名の作業員が切羽手前の路盤上で鋼管を供給し、別の作業員 2 名が作業足場（バスケット）に搭乗して、切羽上部において鋼管の連結作業を行うが、いずれも手作業であり、作業員の負荷軽減が課題であった。そこで鹿島と 3 社は、鋼管の供給と連結作業を完全機械化できる 2 つの装置を開発し、実施工に適用した。

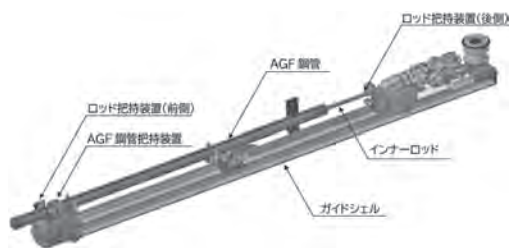
▶ 特徴

①「新型楽ダナ」（特許申請中）

「新型楽ダナ」は、専用のラックにセットされた鋼管を 1 本ずつガイドシエルに供給する装置である。鋼管の供給に必要な人員は作業員 1 名のみであり、予め必要な鋼管を工場出荷時からラックにセットしておくことで、作業員が重量物を現場で持つ必要が無い。さらに、施工場所到着時にはそのままクレーンでラックごと吊り降ろすことが可能なため、材料搬入時間を短縮することが可能となる（図—1 参照）。



図—1 「新型楽ダナ」の概要



図—2 「連結機構付きガイドシエル」の概要

②「連結機構付きガイドシエル」（特許申請中）

「連結機構付きガイドシエル」は、鋼管の前後を把持し押し込む機構を追加することで、ソケット型の鋼管を連結できるようにした装置である。これにより、作業員 2 名が人力で行っていた鋼管の連結作業が不要となるため、作業員を連結誘導者 1 名に減らすことができるとともに、作業員の負荷が軽減され、安全性も向上する（図—2 参照）。

▶ 導入の効果

本装置をみなとみらい 21 線車両留置場建設工事（土木工事）に導入し、機能の確認および検証を行った（写真—1, 2 参照）。その結果、一連の作業を完全に機械化することで、作業員の負荷軽減と安全性の向上に寄与することが確認できた。

▶ 用途

・山岳トンネルの補助工法（AGF 工法）

▶ 実績

・みなとみらい 21 線車両留置場建設工事（土木工事）

▶ 問合せ先

鹿島建設(株) 土木管理本部 土木工務部 トンネルグループ

〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8

TEL : 03-5544-1111 (代)

動画 URL

https://www.kajima.co.jp/tech/c_movies/movies/mountain_tunnel_23002/index.html



写真—1 「新型楽ダナ」から供給の様子



写真—2 「連結機構付きガイドシエル」による打設状況

04-466	トンネル切羽安全監視システム	清水建設
--------	----------------	------

▶ 概 要

山岳トンネル工事の労働災害の多くは、トンネル掘削の最先端である切羽で生じ、重篤災害につながるケースもある。切羽での労働災害防止に向けては、落石・崩落の防止対策を適切に講じるとともに、崩落の予兆を事前に検知する仕組みを構築することが肝要である。

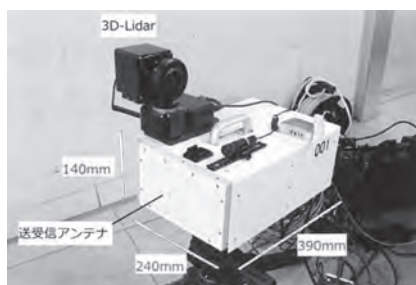
このような背景を踏まえ、当社は、山岳トンネル工事の安全管理の高度化に向けた「トンネル切羽安全監視システム」を開発した。観測データを高速処理できるミリ波振動可視化レーダーを活用し、目視では確認できない切羽の微細な変状を面的かつリアルタイムに捕捉する。本システムを活用することで、従来技術では捕捉するのが困難であった切羽の崩落現象の予兆を適時・的確に捉えられる可能性が高まり、切羽周辺での作業の安全性が飛躍的に高まる効果が期待できる。

▶ 特 徴

システムはレーダーや画像処理システムの研究開発などを手掛けるアルウェットテクノロジー(株)の協力を得て開発した。システムで用いるミリ波振動可視化レーダー（以下、レーダーと記す）は、面的に拡がりを持つ対象に対してミリ波（波長約3.8 mm（周波数78 GHz 帯）の電波）を照射し、対象からの反射波（散乱波）を複数のアンテナアレイで同時に捉えるもので、この受信信号をリアルタイムで合成処理することで対象物の位置や動き（振動）を面的かつ高速で捉えることができる。このレーダーの外観および主要諸元を図—1 および表—1 に示す。

システムは、レーダー本体に加えて、レーダーと切羽との距離および角度を面的に3D 点群の形式で取得する3D-LiDAR、さらにこれらの機器を制御し計測結果を表示するためのタブレット端末で構成されている。

本システムを用いることで、ミリ秒間隔かつ0.1 mm オーダー



図—1 レーダー外観

の高精度で切羽の微細な変位の計測が可能となる。この高速・高精度の計測データから、崩落の予兆を捉える指標として切羽全域の変位、速度をリアルタイムに算出し、各指標の面的分布図を数10 cm メッシュの分解能でモニター上に表示する。

機材のセットに要する時間は5分程度で、計測開始と同時に掘削面の変位情報をモニター上で確認できる。レーダーが建設機械に反射することで生じる計測データの異常値をノイズとして除去する補正機能も備えているため、機材の設置場所の制約が少ない点も特長の一つとなる。

▶ 実証試験結果

当社施工の避難坑を有する山岳トンネル工事現場において、本坑と避難坑を繋ぐ連絡坑の切羽貫通前後の変化を本システムで計測した。掘削作業は避難坑側から本坑に向け油圧ブレイカーによって行われ、レーダーは反対の本坑側切羽の約17 m 後方に設置して計測を行った（図—2）。計測結果の貫通時の切羽の速度分布を図—3 に示す。貫通前後のトンネル掘削面の振動挙動を経時計測した結果、貫通点の周辺で変位や速度が段階的に増大していく様子が確認でき、崩落の予兆を検知するシステムとしての可能性が示された。

今後、本システムに注意報・警報発報機能を組み込み、切羽作業の安全性向上、切羽崩落災害の根絶につなげていく。

▶ 用 途

・山岳トンネル工事での安全管理

▶ 実 績

・国内山岳トンネル工事（システム試験適用）

▶ 問 合 せ 先

清水建設(株) 技術研究所

〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17

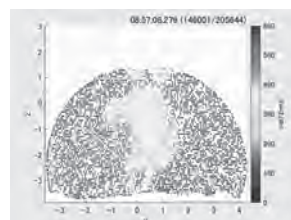
TEL：03-3820-5504（代）

表—1 レーダー主要諸元

使用周波数	78 GHz 帯
計測範囲	± 15°
受信アンテナ全幅	0.11 m (16 素子)
距離分解能	最小 0.038 m
方位分解能	約 2 度
計測間隔	0.001 秒 (1 kHz)



図—2 貫通時切羽状況



図—3 計測結果（速度値）

新工法紹介

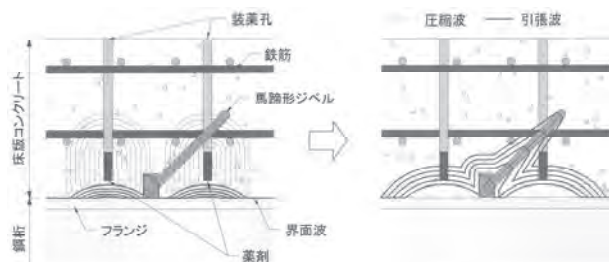
07-364	馬蹄形ジベル式合成桁床版解体のための精密衝撃破砕工法 SMarTD	三井住友建設 ニチゾウテック
--------	-----------------------------------	-------------------

概要

精密衝撃破砕工法 SMarTD は、放電破砕工法 EDICS* の特殊工法で、その特徴は構造物を効率的に解体するために、構造物形状・寸法や配筋等を考慮して、最適な位置への装薬配置設計を実施し、ひび割れ方向や損傷領域を制御して破砕する点にある。今回、馬蹄形ジベル式合成桁床版取替工事に伴う既設床版撤去のため、ジベル周辺のコンクリートを集中的に破砕すべく、図－1 に模式的に示す、以下の3つの効果を同時に発現し得る装薬配置を開発し、実務に供した。

- ①鋼桁フランジ面上を伝播する反射応力波成分（界面波）が、フランジと床版コンクリートの付着を解消し、分離する。
- ②金属部品である馬蹄形ジベル内を伝播する反射応力波は、コンクリート内よりも速く、かつ低減衰で伝播するため、ジベルリングに沿った破砕面を形成する（写真－1 参照）。
- ③深部装薬によるフランジ面上の強い反射応力波が、馬蹄形ジベル周辺のコンクリートを細かく破砕する。

写真－2 に、SMarTD による馬蹄形ジベル式合成桁床版の解体状況を示す。



反射により圧縮応力波が引張応力波に 馬蹄形ジベルを低減衰・高速で伝播

図－1 ジベル周辺の応力波伝播経路図



写真－1 ジベルリングに沿って形成された破砕面



(a) 装薬孔削孔

(b) 薬剤装薬



(c) 床版破砕

(d) 床版分離・解体

写真－2 馬蹄形ジベル式合成桁床版の解体施工状況

*放電破砕工法 EDICS：装薬孔に封入された薬剤に、高圧電流を放電すると、放電によって供給された電子 e^- が薬液内のイオンと反応し、瞬間的に膨大なガスを発生する。その膨張圧を、装薬孔壁で運動エネルギーに変換し、応力波として媒体内を伝播させることで、岩やコンクリートを破砕する工法。音速以下で燃焼する爆燃現象を利用するため、火薬などの爆轟現象と比較してエネルギー放出が緩やかで、環境負荷が相対的に小さい。

特徴

- ・馬蹄形ジベル式合成桁床版を効率的に解体・撤去できる。
- ・簡易な養生で飛散・騒音を制御することが可能で、近接交通に影響を与えない。
- ・削孔水などは全て循環・再利用するため、濁水の環境への流出は生じない。
- ・解体に供するエネルギーを化学反応で賄うため、解体作業に伴う二酸化炭素排出量が他の工法に比較して小さい。

問合せ先

三井住友建設(株) 技術開発本部 技術企画部

〒104-0033 東京都中央区新川 2-27-1

TEL：03-4582-3120

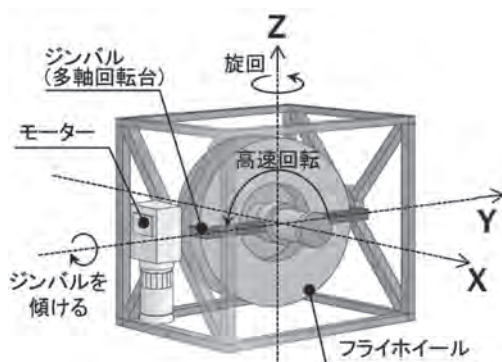
11-127	ハイパージャイアン®	戸田建設 北川鉄工所
--------	------------	---------------

▶ 概 要

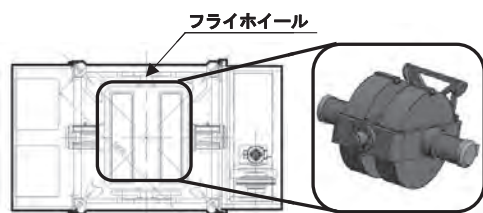
建設工事では鉄骨等の資材をクレーン等の揚重機械により揚重・設置する作業が行われている。一般的な揚重・設置作業では吊荷の制御は介錯ロープにより行うため、強風やクレーンの旋回に伴う慣性力により、吊荷が旋回する事例が多く、安全や作業性の面で課題があった。その課題に対して、本体に内蔵したフライホイールを高速回転することで得られるジャイロ効果を利用して、強風等による力に対して抵抗力を有する受動制御機能と、ジンバルを傾けることで装置本体を望む方向に旋回させる能動制御機能を有する吊荷旋回制御装置「ジャイアン®」を用いて解決してきた（図—1）。

こうした中、高速道路の大規模更新事業などにおいて、プレキャスト床版などの長尺で重量のある吊荷に対応可能な制御能力を有する吊荷制御装置が求められていた。

このような背景を踏まえ、戸田建設と北川鉄工所はフライホイールの大型化や回転数の引き上げによらず、2枚のフライホイールを並列使用するという新たな機構を考案し、コンパクトでありながらこれらの大型吊荷に対応した制御能力を有する「ハイパージャイアン®」を開発し、作業の効率化とともに安全性の向上を実現した（図—2）。



図—1 ジャイアン® 構造概略図



図—2 ハイパージャイアン® 構造図

▶ 特 徴

「ハイパージャイアン®」は、以下の特徴を有する（写真—1）。

①大型吊荷に対応した制御能力

これまでの制御能力 $75 \text{ t} \cdot \text{m}^2$ に対して約 3.3 倍に相当する $250 \text{ t} \cdot \text{m}^2$ の制御能力を有し、プレキャスト床版や桁などの大型吊荷に対応。

②消費電力の低減

従来のコンバーターを用いた出力形式から、組電池を採用したことで、7.50 kW から 6.85 kW まで消費電力を低減し、約 9% の省エネを実現。

③本体の軽量・小型化

組電池の採用によりバッテリー占有体積を約 20% 低減し、バッテリーの約 120 kg 軽量化を達成。あわせて本体の材質やフライホイールの構造などを変更したことで本体の軽量・小型化を実現。

④遠隔操作

手持ちの遠隔無線操作スイッチで約 100 m の範囲から遠隔操作可能。

▶ 用 途

・床版取替工事他、重量物の吊荷作業全般

▶ 実 績

・道央自動車道 夕張川橋（上り線）床版取替工事
・道央自動車道 ママチ川橋床版取替工事

▶ 問 合 せ 先

戸田建設(株) 技術プロジェクト部

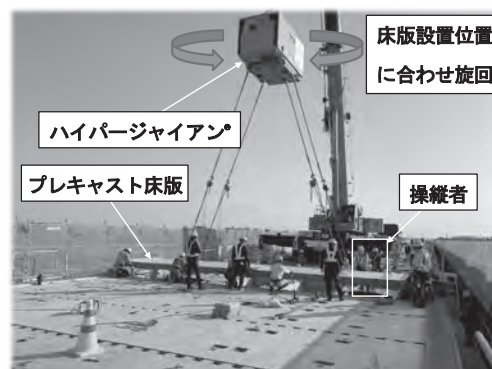
〒104-0032 東京都中央区八丁堀 2-8-5

TEL：090-2354-6257

北川鉄工所(株) EG 営業課

〒111-0041 東京都台東区元浅草 2-6-6

TEL：03-3844-7108



写真—1 ハイパージャイアン® 使用状況

新機種紹介 機関誌編集委員会

▶ 〈03〉 積込機械

23-〈03〉-02	日立建機 ホイールローダ ZW330-6, ZW550-6	2023.9.29 発売
------------	-------------------------------------	-----------------

砕石業や採石業のような、比重が大きな扱い物を大量に運搬することが求められる業種に適するサイズのホイールローダとして、新型モデル ZW330-6 および ZW550-6 の 2 機種を発売した。過給から燃料噴射、燃焼に至るまで低燃費を追求した新型クリーンディーゼルエンジンを搭載し、オフロード法（2014 年排出ガス規制）の基準に適合している。

従来モデルの 5B シリーズから搭載している「アクティブエンジンコントロール」の改良により、発進加速、掘削、アプローチ動作に加えて登坂走行状態を検知し、エンジン回転数を最適に制御することで燃費性能を改善した。さらに無操作状態で設定時間を経過すると、エンジンが自動停止するエンジンアイドリングストップをオプションとして用意し、無駄なアイドリング時間を短縮することで燃料消費を防ぐことが可能である。

ZW330-6 は、エンジンとトランスミッションを直結し動力を機体にダイレクトに伝える「ロックアップトルクコンバータ」を標準装備することで登坂走行時（5%勾配）の最高速度を最大で 40% 向上^{*1}している。ZW550-6 はエンジンレスポンスの改善により作業量が約 22% 向上^{*2}している。

排出ガスの後処理装置には PM 除去フィルタレスの「尿素 SCR システム^{*3}」を採用したことで、定期的な PM 除去フィルタの清掃や交換などのメンテナンスが不要となり、長期的なメンテナンスコストやメンテナンス中のダウンタイムの低減を実現した。

また、定期的にクーリングファンを逆回転させ、ラジエータについたほこりなどを吹き飛ばす「自動逆転クーリングファン」により、ラジエータの汚れを軽減しクーリング性能の継続を図っている。リヤグリルカバーは開口面積が広い横開き式カバーを採用し、エアブローによる清掃が容易に行うことができる。

運転室は、広くゆとりのある快適なキャブ空間とし、ガラス接合部分のピラーレス化によってほぼ全周が見渡せる「ワイドパノラマキャブ」の採用のほか、吸排気パイプの位置を見直すことで後方視界を向上させ、より安全性を高めた。

その他、前後進レバーが中立位置でないとエンジンの始動ができない「ニュートラルエンジンスタート」、エンジン停止時の「オートパーキングブレーキ」、作業機ロックレバーなどの誤操作を防止する機能、転倒や落下物からオペレータを守る「ROPS/FOPS キャブ」や緊急脱出用のハンマ、シートベルト未装着警報など、オペレータの安全を確保する装置を備えている。

表—1 主な仕様

	ZW330-6	ZW550-6
標準バケット容量 (m ³)	4.6	6.1
運転質量 (kg)	26,060	46,490
エンジン		
名称	CUMMINS QSL9	いすゞ 6WG1
最大出力 (kW/min ⁻¹)	231/1,600	382/1,800
グロス		
全長 (バケット地上時) (mm)	9,155	11,320
全高 (バケット地上時) (mm)	3,530	4,190
全幅		
車体 (mm)	2,930	3,570
バケット (mm)	3,170	3,770
ダンピングクリアランス (mm)	3,245	3,290
ダンピングリーチ (mm)	1,360	2,000
標準小売価格 (万円)	6,155	9,767.5



写真—1 日立建機 ZW330-6 (標準装備)



写真—2 日立建機 ZW550-6 (標準装備)

* 1：従来機種の ZW330-5B との比較。

* 2：従来機種の ZW550-5B との比較。

* 3：窒素酸化物 (NOx) を浄化する後処理技術のこと。エンジンの排出ガスは、連結パイプ内で噴射された尿素水 (アンモニア) と混合し、無害な水と窒素に分解する。

問合せ先：日立建機㈱ ブランド・コミュニケーション本部
広報・IR 部 広報グループ

〒 110-0015 東京都台東区東上野二丁目 16 番 1 号

主要建設資材価格の動向

1. はじめに

国内での建材需要は、首都圏を中心とする再開発、関西の万博関連工事、半導体施設工事などが今後も見込まれ、公共工事ではリニア中央新幹線などの鉄道工事、防衛施設関連工事や防災・減災に資する事業執行など全体的に堅調に推移している。

資材価格については、ロシアのウクライナ侵攻の長期化や為替の円安傾向の継続、加えて中東情勢の不安定さなどが資源価格の高止まりを続ける要因となっており、輸入資源を原材料とする資材価格は高水準での取引が続いている。さらには、「2024年問題」への対応から運搬コストや時間外労働時間規制に係るコスト上昇分を資材価格に転嫁する動きも強まっている。

建設資材価格の動向について、一般財団法人 経済調査会発行の「月刊 積算資料」の2024年6月調査結果を用いて考察した。

表一は、建設資材28資材の東京地区（大口価格）の価格推移である。前年同月比で生コンクリート、ストレートアスファルト、

電線・ケーブルが大幅に上伸し、建築用木材（正角材）やコンクリート型枠用合板は下落した。資材毎にばらつきはあるものの、資材価格が大幅に下落する要素に乏しく、足元では総じてじり高基調での推移が続いている。

2. 主要建設資材価格の動向

主要建設資材の価格動向（2024年6月調べ、東京地区・大口価格）は以下のとおり。

(1) ガソリン（スタンド渡し）

価格は、レギュラーでℓ当たり156円（消費税抜き）どころと前月比変わらず。足元の補助金を含めた元売り卸価格に変動は見られず、相場は横ばいで推移した。政府補助金が終了時期を定めずに延長されている中、6月中の制度終了はないとみる販売業者が大勢を占め、市場は様子見ムードが強まっている。目先、横ばい推移の見通し。

表一 主要建設資材価格推移（東京地区・大口価格）

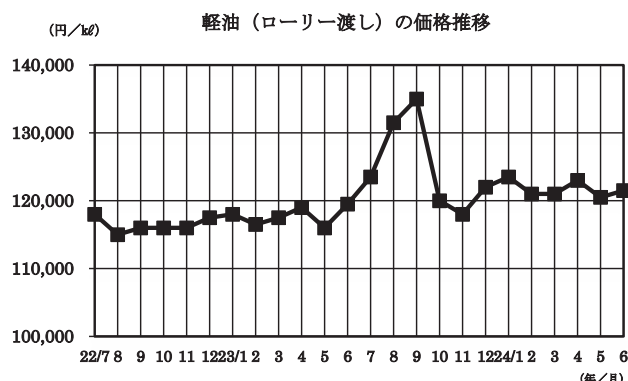
円（消費税抜き）

資材名	規格	単位	2023年 6月調べ	2023年 9月調べ	2023年 12月調べ	2024年 3月調べ	2024年 6月調べ	変動 (前年同月比)
灯油	スタンド渡し 18ℓ缶	缶	1,836	1,944	1,872	1,890	1,908	+72円 (+3.9%)
A重油	一般 ローリー	kℓ	86,500	102,000	89,000	88,000	88,500	+2,000円 (+2.3%)
ガソリン（石油諸税込）	レギュラー スタンド渡し	ℓ	149	168	156	154	156	+7円 (+4.7%)
軽油（石油諸税込）	ローリー渡し	kℓ	119,500	135,000	122,000	121,000	121,500	+2,000円 (+1.7%)
異形棒鋼	SD295 D16	t	118,000	114,000	114,000	114,000	114,000	-4,000円 (-3.4%)
H形鋼（細幅）	SS400 200×100×5.5×8mm	t	123,000	121,000	120,000	120,000	123,000	
H形鋼（広幅）	SS400 300×300×10×15mm	t	123,000	121,000	120,000	120,000	123,000	
普通鋼板（厚板）	無規格 16～25mm 3×6フィート	t	145,000	141,000	138,000	138,000	143,000	-2,000円 (-1.4%)
セメント	普通ポルトランド バラ	t	15,800	15,800	15,800	15,800	15,800	
コンクリート用砕石	20～5mm	m ³	5,100	5,100	5,100	5,100	5,100	
コンクリート用砂	細目 洗い	m ³	5,150	5,250	5,400	5,400	5,400	+250円 (+4.9%)
クラッシュラン	40～0mm	m ³	4,900	4,900	4,900	4,900	4,900	
再生クラッシュラン	40～0mm	m ³	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	
生コンクリート	強度21 スランプ18cm 20(25)mm	m ³	18,200	19,900	19,900	19,900	20,900	+2,700円 (+14.8%)
アスファルト混合物	密粒度13mm	t	11,800	11,500	11,500	11,500	11,500	-300円 (-2.5%)
再生加熱アスファルト混合物	再生密粒度13mm	t	9,800	9,500	9,500	9,500	9,500	-300円 (-3.1%)
ストレートアスファルト	針入度60～80 ローリー	t	96,000	108,000	113,000	105,000	117,000	+21,000円 (+21.9%)
PHCパイプ	A種 350×60mm×10m	本	37,000	37,000	37,000	37,000	37,000	
ヒューム管	外圧管 B形1種 呼び径300mm	本	11,300	12,500	12,500	12,500	12,500	+1,200円 (+10.6%)
鉄筋コンクリートU形	300B 300×300×600mm	個	1,720	1,920	1,920	1,920	1,920	+200円 (+11.6%)
コンクリート積みブロック	滑面 250×400×350mm	個	640	640	640	640	640	
正角材 杉 (KD)	3.0m×10.5×10.5cm 特1等	m ³	85,000	80,000	78,000	79,000	75,000	-10,000円 (-11.8%)
平角材 米松 (KD)	4.0m×10.5, 12×15～24cm 特1等	m ³	89,000	89,000	94,000	94,000	92,000	+3,000円 (+3.4%)
コンクリート型枠用合板	無塗装品 ラワン 12×900×1,800mm	枚	1,950	1,870	1,870	1,870	1,820	-130円 (-6.7%)
電線・ケーブル	CV 600V 3心 38mm ²	m	1,746	1,785	1,812	1,890	2,228	+482円 (+27.6%)
鉄スクラップ	ヘビー H2	t	40,000	41,000	41,500	43,500	42,500	+2,500円 (+6.3%)
ガス管	白管 ねじなし 25A	本	2,860	2,860	2,860	2,860	2,860	
塩化ビニル管	一般管 (VP) 50mm	本	1,640	1,640	1,640	1,640	1,640	

出典：（一財）経済調査会『月刊 積算資料』（注）毎月10日までに得られた調査結果

統計

(2) 軽油（ローリー）



価格は、kl当たり12万1,500円どころと前月比1,000円の伸。5月中旬に仕入れ価格が値上がりしたことを受けて、流通業者は価格転嫁を進めた。OPECプラスが自主減産の段階的縮小を発表し、需給緩和が進むとの見方から、足元では原油相場が下落したものの、補助金が市場価格の値動きを抑制するとみる販売業者が多い。目先、横ばい推移の公算が大きい。

(3) 異形棒鋼

建築工事の大型物件は需要の端境期が長期化し、中小物件や土木向けも荷動きは閑散としている。人手不足による工事の延期等も相次いでおり、市場は停滞ムードが漂う。

価格は、SD295・D16でt当たり11万4,000円どころと前月比横ばい。価格交渉は平行線をたどっているが、メーカー各社の値上げを受けて、安値は徐々に払しょくされている。

着工案件が少ないため、先行手配を控える需要者側は様子見姿勢を崩していない。一方、メーカー側は輸送費や人件費等の製造コストが上昇しているため、強気の姿勢で価格交渉に臨む構え。流通各社も上昇する仕入れコストに相場が追いついていないとして、価格の引き上げを目指す意向。先行き、じり高で推移する公算が大きい。

(4) H形鋼

連休明け以降、人手不足や設計変更等により工期延伸していた物件を中心に材料手配が進み、荷動きはやや持ち直しをみせている。

価格は、200×100でt当たり12万3,000円どころと前月比3,000円上伸。需要低迷を背景に、相場は昨年10月以来、踊り場状態が続いていた。ここに来て、仕入れ価格や輸送費・人件費などの流通経費高騰分の値上げが一部浸透した。

コスト増に苦しむ流通業者は、値上げ未達分に対し、引き続き強い売り腰を保つ構え。需要者側は抵抗を示しつつも、流通業者に一定の理解を示しており、目先、強含み推移する公算が大きい。

(5) セメント

セメント協会まとめによる4月の東京地区セメント販売量は、前年同月比3.4%増で21万7,226tとなった。全国における2023年度

の販売量が5年連続で前年度を下回るなど、長期的な需要の減少傾向に歯止めがかからないものの、東京地区の荷動きは、再開発工事の本格化などを背景に比較的堅調に推移している。

価格は、普通ポルトランド・バラで前月比横ばいのt当たり1万5,800円どころ。5月に、大手セメントメーカーが輸送費や設備修繕費、人件費等のコスト上昇を背景に2025年4月出荷分から2,000円以上の値上げを打ち出した。値上げの実施が来年度であるため、現時点で本格的な交渉はなく価格は横ばいで推移しているが、需要者側は他メーカーも追随するか注視している。先行き、横ばい。

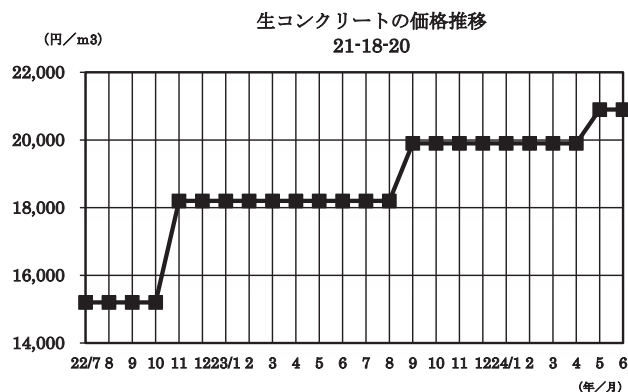
(6) コンクリート用碎石

価格は、20～5mmでm³当たり5,100円と前月比横ばいで推移。

都心部では、再開発事業が旺盛でコンクリート用碎石の需要が堅調に推移する中、足元ではメーカー各社の在庫が減少傾向にある。こうした状況を背景として、販売側は産地の開発による供給体制整備を喫緊の課題とし、開発費用等を販売価格に転嫁すべく価格交渉を進めている。

需要者である生コン工場側は、販売側の主張に一定の理解を示しているものの、セメント価格の再値上げが表明されたことから、碎石価格の引き上げには慎重な姿勢を崩していない。そのため、いまのところ市況全体の上昇には及んでいないものの、新年度物件の一部で値上げの受け入れが進んでいる場面も散見されており、目先、強含みで推移しよう。

(7) 生コンクリート



東京地区生コン協組調べによる5月の出荷量は前年同月比9.0%増の21万5,886m³となり、昨年10月以来、8ヵ月連続で前年を上回った。残業規制など、働き方改革の推進を背景とした工期の長期化が懸念されている中、急激な出荷増は見込めないものの、都市部の再開発事業向けの荷動きが出荷を下支えするとの見方が強い。

価格は、21-18-20でm³当たり前月比横ばいの2万900円どころ。4月から実施した1,000円の値上げが先月までに満額で浸透。価格交渉が一段落して以降も、同協組は強い売り腰を維持している。加えて、価格改定を契約ベースから期間指定型の出荷ベースとする契約形態の見直しについて、引き続き理解を求めている。一方、短期

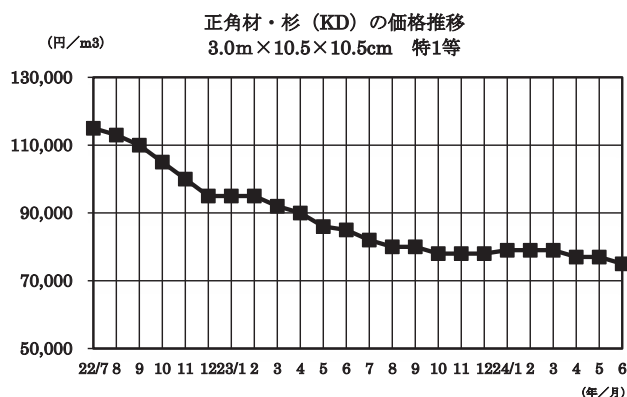
間のうちに値上げを受け入れた需要者側は、契約形態の見直しには慎重な姿勢を崩していない。先行き、横ばい推移の見通し。

(8) アスファルト混合物

4月の都内向け加熱アスファルト混合物の製造量は、12万1,004tと前年同月比2.4%増（東京アスファルト合材協会調べ）。依然として民需は低迷しているものの、自治体の繰り越し工事が多かったことから、出荷量は小幅ながら増加した。

価格は、再生密粒度（13）でt当たり9,500円どころと前月比変わらず。主原料であるストアスの統伸による製造コスト増に加え、骨材業者からの値上げ要請が相次いでいることを理由に販売側の一部が値上げを表明。しかしながら、一部の大手道路会社が設計と異なるアスファルト混合物を使用していた問題をきっかけに、需要者側は販売側の交渉姿勢に不信感を募らせ態度を硬化。価格交渉は難航しており、先行き、横ばい。

(9) 木材 正角材・杉



需要は、例年期待される新築木造住宅向けの荷動きが鈍く、依然として低迷している。つれて、販売側でも売り上げ確保を優先する取引が大勢となった。

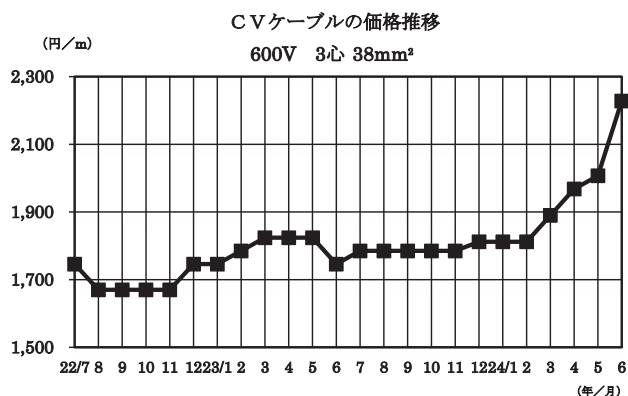
価格は、正角材・杉（KD）3.0m×10.5×10.5cm 特1等でm³当たり7万5,000円と前月比2,000円の下落。先行きも需要面での後押しに乏しく、当面、弱含みで推移する公算が大きい。

(10) コンクリート型枠用合板

躯体工事の需要期だが、需要者側は小口当用買いに終始しており、荷動きは全般的に低調。

価格は、無塗装品ラワン12×900×1,800mmで枚当たり1,820円と前月比変わらず。産地側では、原木不足に加え、減産に伴う需給調整から安値には応じていない。販売側では実需が乏しいことから売り腰を強められず、先行き、横ばいの見通し。

(11) 電線・ケーブル



国内電気銅建値は、5月平均でt当たり164万円台と前月比約16万円急騰。2カ月連続で10万円超の上昇を示した。

一方、日本電線工業会の電線受注出荷速報によると、建設・電販向けの4月推定出荷量は約2万6,600tと前年同月比約8.0%増。依然として市場にややタイト感が残る中、販売側は銅価上昇分に加えて、輸送費や副資材費等のコスト増を販価に転嫁すべく売り腰を強めた。需要者側は銅価下落の気配が見えないことから値上げの一部を受け入れる動きが広まった。

価格は、CVケーブル600V3心38mm²でm当たり2,228円と前月比約11.0%の大幅上伸となった。販売側は引き続きコスト未転嫁分の獲得に注力する姿勢だが、足元の銅価が不安定に推移する中での交渉は平行線をたどるとみられる。目先、横ばい。

(12) ガス管

価格は、白管ねじなし25Aで本当たり2,860円と前月比変わらず。流通各社は、メーカーが打ち出した人件費および運搬コスト増を理由とした値上げ分を販売価格に転嫁すべく、徐々に売り腰を強めており、極端な安値は払しょくされてきている。現状、荷動きは精彩を欠き需給にひっ迫感が見られないことから全体の市況を押し上げるまでには至っていないものの、先行き、強含みで推移しよう。

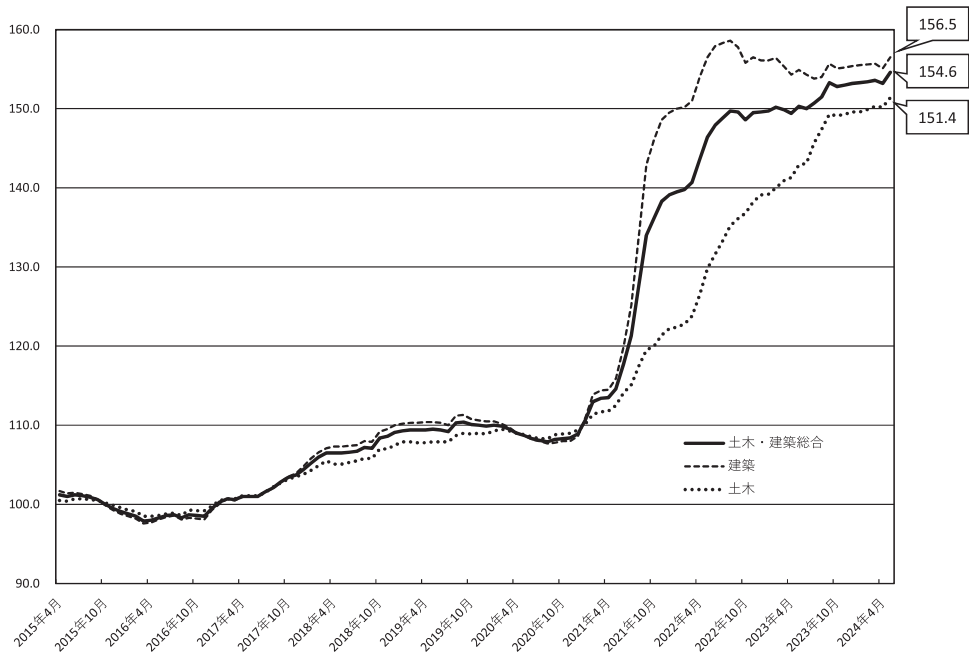
※各資材の価格推移の出典は、『月刊 積算資料』。

3. おわりに

図一1は、建設工事で使用される資材について、その価格変動を捉えることを目的とした「建設資材価格指数（全国主要10都市）5月調べ」である。建設資材需要原単位の対象資材を勘案し、建築資材25品目と土木資材24品目を選択している。

建築の指数は156.5（前月比+1.4、前年同月比+1.6）で、過去最高だった2022年8月調査の158.6からはやや下落しているものの、依然として高い水準を維持している。また、土木の指数は、151.4（前月比+1.2、前年同月比+8.5）と2015年以降の最高値を示している。

統計



図―1 建設資材価格指数（全国主要 10 都市）

（一財）経済調査会「建築・土木総合指数」より作成。2015 年度平均＝100 とした指数。
詳細は、（一財）経済調査会 HP 参照（<https://www.zai-keicho.or.jp/service/build/price/>）。

表―2 建設資材価格指数の対象資材

①建築資材品目

資 材	品 目
01. セメント	1 セメント
02. 生コンクリート	2 生コンクリート
03. コンクリート二次製品	3 コンクリート管類
	4 コンクリートボール・パイル
	5 コンクリート緑石・側溝
	6 建築用空洞ブロック
	7 インターロッキングブロック
04. 骨材	8 砂
	9 砕石
05. 瀝青材	10 防水工事用アスファルト
06. 再生アスファルト混合物	11 再生アスファルト混合物
07. 普通鋼鋼材	12 H 形鋼
	13 その他形鋼（除く H 形鋼）
	14 鋼矢板
	15 棒鋼
	16 構造用鋼管（含むコラム）
08. 仮設材	17 仮設材（H 形鋼）
	18 仮設材（鋼矢板）
	19 仮設材（その他）
09. その他鋼材	20 その他鋼材
	21 特殊鋼鋼材
10. 木材	22 製材（木造のみ）
	23 合板（厚 6 mm 未満）
	24 合板（厚 6 mm 以上）
	25 損料対象材（合板）

②土木資材品目

資 材	品 目
01. セメント	1 セメント
02. 生コンクリート	2 生コンクリート
03. コンクリート二次製品	3 コンクリート管類
	4 コンクリートボール・パイル
	5 道路用等コンクリート製品
	6 土木コンクリートブロック
	7 インターロッキングブロック
04. 骨材	8 その他のコンクリート二次製品
	9 砂
05. 瀝青材	10 砕石
	11 ストレートアスファルト
06. 再生アスファルト混合物	12 再生アスファルト混合物
07. 普通鋼鋼材	13 H 形鋼
	14 その他形鋼（除く H 形鋼）
	15 鋼矢板
	16 棒鋼
	17 厚中板
	18 鋼管杭・鋼管矢板
	19 構造用鋼管（含むコラム）
	20 その他鋼材
08. 仮設材	21 仮設材（H 形鋼）
	22 仮設材（鋼矢板）
	23 仮設材（その他）
09. 特殊鋼鋼材	24 特殊鋼鋼材

こうした両指数の影響を受け、土木・建築総合指数は154.6（前月比＋1.4、前年同月比＋4.3）と過去最高を更新した。5月調査では全国的に普通鋼鋼材や瀝青材価格の上昇が指数の上昇要因となった。また、東京と名古屋では生コンクリートが上伸。いずれも生コン協組の値上げが市場に浸透したものだが、値上げ理由のひとつに骨材価格の上昇があげられており、原材料のコストの価格転嫁が依

然として続いている状況がうかがえる。

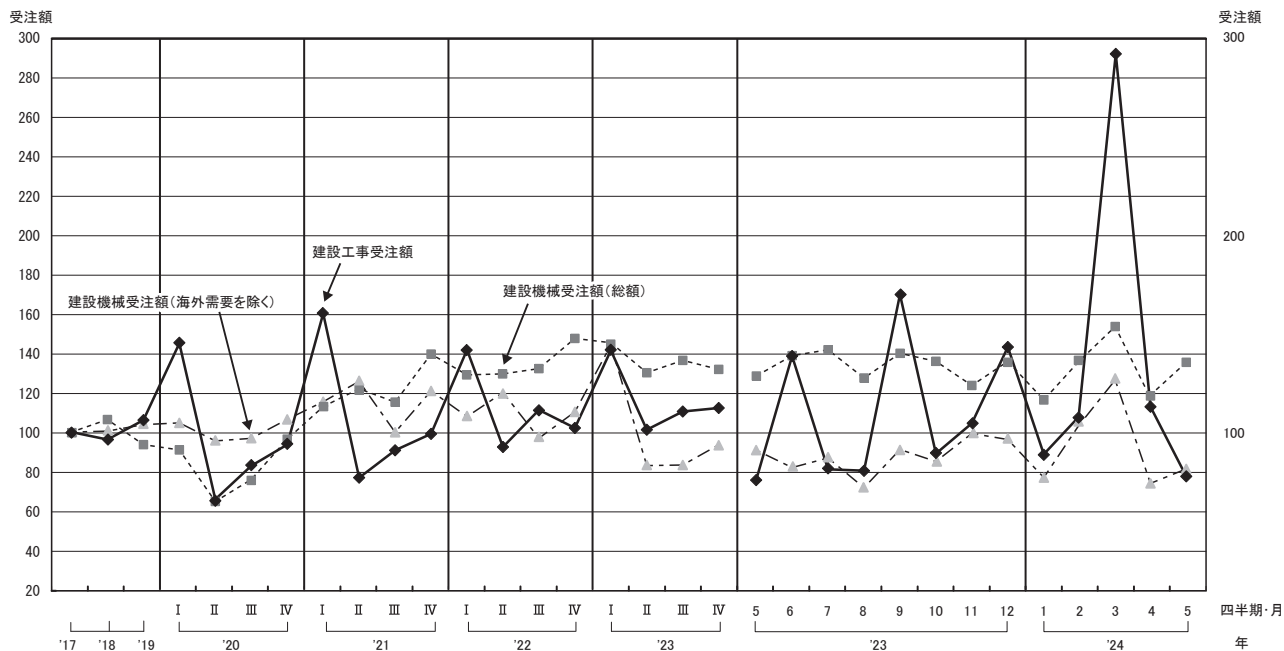
生コンやコンクリート二次製品については、セメントも次年度に向けて値上げが打ち出されるなど、原材料の先高感強い。そのため、今後も販売側のコスト転嫁は続くともみられ、指数も引き続きじり高推移の公算が大きい。

（文責：坂）

統計 機関誌編集委員会

建設工事受注額・建設機械受注額の推移

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



建設工事受注動態統計調査（大手50社）

(単位：億円)

年 月	総 計	受 注 者 別						工 事 種 類 別		未消化 工事高	施工高	
		民 間			官 公 庁	そ の 他	海 外	建 築	土 木			
		計	製 造 業	非製造業								
2017 年	147,828	101,211	20,519	80,690	36,650	5,183	4,787	99,312	48,514	165,446	137,220	
2018 年	142,169	100,716	24,513	76,207	30,632	8,561	5,799	95,252	46,914	166,043	141,691	
2019 年	156,917	114,317	24,063	90,253	29,957	5,319	7,308	109,091	47,829	171,724	150,510	
2020 年	143,170	97,457	19,848	77,610	35,447	5,225	4,175	91,725	51,443	171,740	141,261	
2021 年	157,839	111,240	22,528	88,713	38,056	4,671	3,874	106,034	51,806	192,900	137,853	
2022 年	165,482	119,900	33,041	86,862	33,436	5,252	6,898	114,984	50,496	207,841	130,901	
2023 年	172,094	121,790	31,098	90,690	40,060	5,360	4,883	117,929	54,164	217,576	161,186	
5 月	9,304	6,854	1,807	5,047	1,772	345	332	6,125	3,179	214,435	10,569	
6 月	17,100	12,062	2,801	9,260	3,457	506	1,075	11,401	5,699	215,220	16,006	
7 月	9,973	5,877	1,269	4,607	3,360	429	308	5,401	4,572	214,911	9,995	
8 月	9,888	7,470	2,331	5,138	1,930	343	146	7,132	2,756	212,974	12,201	
9 月	20,973	15,485	2,622	12,863	4,341	643	504	15,905	5,068	216,368	17,673	
10 月	10,962	8,266	2,603	5,663	2,197	420	79	8,081	2,881	217,263	11,029	
11 月	12,872	9,824	2,094	7,730	2,032	385	631	9,359	3,513	218,161	12,726	
12 月	17,660	12,721	6,000	6,721	4,097	379	463	13,002	4,658	217,576	17,838	
2024 年	1 月	10,931	7,371	1,467	5,904	2,871	391	298	7,657	3,273	218,177	10,491
	2 月	13,237	8,390	2,925	5,465	4,001	365	481	7,965	5,273	219,504	12,360
	3 月	36,119	22,688	4,005	18,682	10,808	486	2,137	21,526	14,593	231,850	21,578
	4 月	13,894	10,066	2,641	7,425	3,122	443	263	9,326	4,568	233,782	10,214
	5 月	9,497	6,682	2,500	4,182	1,846	474	495	6,087	3,410	—	—

建設機械受注実績

(単位：億円)

年 月	17 年	18 年	19 年	20 年	21 年	22 年	23 年	23 年 5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	24 年 1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
総 額	21,535	22,923	20,151	17,646	26,393	29,024	29,315	2,308	2,494	2,549	2,289	2,516	2,442	2,221	2,442	2,089	2,451	2,767	2,115	2,434
海 外 需 要	14,912	16,267	13,277	10,966	18,737	21,816	22,627	1,807	2,042	2,070	1,894	2,013	1,973	1,673	1,911	1,665	1,869	2,066	1,712	1,989
海外需要を除く	6,623	6,656	6,874	6,680	7,656	7,208	6,688	501	452	479	395	503	469	548	531	424	582	701	403	445

(注) 2017～2019年は年平均で、2020～2023年は四半期ごとの平均値で図示した。

2023年5月以降は月ごとの値を図示した。

出典：国土交通省建設工事受注動態統計調査

内閣府経済社会総合研究所機械受注統計調査

行事一覧

(2024年6月1～31日)

機械部会



■基礎工事用機械技術委員会見学会 住友重機械建機クレーン(株)名古屋工場の見学

月 日：6月5日(水)

参加者：越田健委員長ほか15名

見学内容：クローラクレーン、基礎機械の生産工場の見学とクレーン起立外観検査 C-SAI のデモンストレーションの見学

■トンネル機械技術委員会 通信機器、設備に関する調査WG

月 日：6月10日(月)(会議室, Web 併行開催)

出席者：浅沼廉樹リーダほか18名

議題：①WG名称の決定とリーダ選出 ②調査活動の進め方について議論 ③スケジュールの確認

■トンネル機械技術委員会 脱炭素の取組に関する調査WG

月 日：6月13日(木)(会議室, Web 併行開催)

出席者：椎橋孝一郎リーダほか14名

議題：①WG名称の決定とリーダ選出 ②調査活動の進め方について議論 ③スケジュールの確認

■除雪機械技術委員会・ドーザ分科会

月 日：6月17日(月)(Web 会議)

出席者：加藤昭一郎リーダほか5名

議題：除雪ドーザの1人乗り化(省人化)の検討についての議論：①省人化の必要性について：札幌市の取り組み紹介 ②各社様の現状確認：2人乗りドーザの販売割合 ③除雪ドーザが現状1manへ移行できない理由/懸念等についての調査方法について(アンケートの方法, アンケートの質問事項等) ④今後の進め方, スケジュール等について

■トンネル機械技術委員会・幹事会

月 日：6月18日(火)(会議室, Web 併行開催)

出席者：浅沼廉樹委員長ほか9名

議題：①第1回WG活動の報告 ②見学会候補地についての討議：釧路コールマイン(株)と旧太平洋炭礦炭鉱展示館見学会(7/18開催)の概要説明, 他見学会候補地について議論 ③技術講演会について実施時期, 講演者選定に関する議論 ④日本建設機械要覧2025

改訂の対応について

■油脂技術委員会

月 日：6月19日(水)(会議室, Web 併行開催)

出席者：石川広二委員長ほか23名

議題：①燃料エンジン油関係：カーボンニュートラル燃料の動向に関する報告 ②高粘度指数作動油関係：高粘度指数作動油規格の書面審議内容の確認 ③規格普及促進関係：JAMA Lube Oil Seminar 2024 総括, オンファイル状況の報告 ④JCMASの改正について：進捗状況の報告 ⑤その他：油脂技術委員会の運営体制と役割分担について, ホームページ更新について, 次回委員会(見学会, 出張委員会)の概要説明

■コンクリート機械技術委員会見学会

兵神装備(株)滋賀事業所見学

月 日：6月21日(金)

参加者：籠谷武委員長ほか9名

見学内容：取扱い製品のモノポンプの生産工場, および製品ショールーム「プロダクトスクエア」の見学

■除雪機械技術委員会

月 日：6月24日(月)(会議室, Web 併行開催)

出席者：白樫純委員長ほか21名

議題：①国交省から除雪に関する状況報告：国土交通省における自動化除雪機械配備状況の説明, 建仕・購入仕様書ひな形の改訂について ②除雪機械の特殊仕様の標準化検討についての議論 ③自動化, 情報化対応関連, 他技術についての情報共有：技術プレゼン「自動運転関連技術紹介」 ④ドーザ分科会の活動状況の報告 ⑤国内次期排出ガス規制に関する情報共有 ⑥日本建設機械要覧2025改訂の対応について

■情報化機器技術委員会 見学会

(株)アイデア・サポートICT建機の見学

月 日：6月27日(木)

参加者：白塚敬三委員長ほか6名

見学内容：ICT施工に関してICT技術の活用などについての情報収集とICT建機実機の見学

標準部会



■ISO/TC 82/JWG 1 ロックドリルリグ 国際WG会議 (ハイブリッド)

月 日：6月3日(月), 4日(火)

出席者：スウェーデンElster コンビナー(Epiroc)ほか, 全7名(対面), Web 経由で正田明平(JCMA 事務局)ほか全4名

場所：フランクフルトVDMA 事務所およびWeb上(Zoom)

議題：①ISO/CD18758 ロックドリルリグの安全要求のCDコメント審議 ②ISO/DIS 22932-5 ドリルとプラスチックの用語のCDコメント審議 ③次回会合予定：9月5日(バーチャル), 11月5～6日(スウェーデン・ストックホルム)

■JIS A 8341-2 機能安全(第2部) 第6回原案作成分科会

月 日：6月5日(水) 午前

出席者：田中昌也主査(コマツ)ほか10名

場所：Web上(Zoom)

議題：①JIS原案の審議(意見シート第3部)

■ISO/TC 195/SC 3/WG 1 穿孔及び基礎工事用機械—用語及び商業仕様 国際バーチャルWG会議

月 日：6月12日(水) 夜

出席者：小倉公彦(JCMA 事務局)ほか7名

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：①DIS 11886 コメント審議(続き)・静油圧杭打引抜機の説明図に関する日本コメントの説明 ②次回会合予定：9月20日(バーチャル)

■ISO/TC 127/SC 1/WG 6 ISO 11152 予備業務 エネルギー消費試験法 国際WG会議 (ハイブリッド)

月 日：6月12日(水)～14日(金)

出席者：米国Crowell コンビナー, 正田明平プロジェクトリーダー(JCMA 事務局)ほか, 全10名(対面), Web 経由で海外より全5名

場所：機械振興会館会議室及びWeb上(ISO Zoom)

議題：①第1部：一般, 第2部：油圧ショベルのWG意見聴取コメント審議 ②第3部：ホイールローダの模擬試験サイクル審議 ③今後の予定：第1, 2部：新規業務提案提出, 第3部：10月7～9日会合(米国・ミルウォーキー)

■ISO/TC 127/SC 3/JWG 16 ISO/PWI 23870 走行式機械—予備業務 高速相互接続 国際WG会議 (ハイブリッド)

月 日：6月17日(月)～19日(水)

出席者：米国Kittle コンビナー, 庄司裕之委員(コマツ)ほか, 全30名(対面), Web 経由で全25名

場所：機械振興会館会議室およびWeb上(ISO Zoom)

議題：①TC 23/SC 19(農業エレクトロニクス)主導で制定中のISO 24482

(サイバーセキュリティ) 活動へ、ISO/TC 127/SC 3 がジョイント参加する方針を確認 ②プラグアンドプレイ要件審議 ③第3部、第4部、第5部規格名称修正 ④第1部、第2部進捗審議 ⑤次回会合予定: 11月12～14日(ドイツ・フランクフルト)

■ISO/TC 127/SC 2/WG 24 ISO 19014 制御系の機能安全 規格群 改正・予備業務 ISO 6135「意図した機能の安全」国際 WG 会議 (ハイブリッド)

月 日: 6月24日(月)～28日(金)
出席者: 英国 Camsell コンビナー(CEA) 松井貴聖委員(コマツ) ほか、全13名(対面)、Web 経由で全6名
場 所: シドニー・オーストラリア規格協会および Web 上 (Zoom)

議 題: ① Part1, 2, 4 の DIS 投票コメント審議 ②今後会合予定: 7月22～26日(東京・機械振興会館)、9月23～27日(ドイツ・マンハイム)、11月18～22日(米国・サンディエゴ)

■ISO/TC 195/SC 2/WG 2 路面清掃車 国際バーチャル WG 会議

月 日: 6月25日(火) 夜
出席者: 和田悟知委員(豊和工業(株)) ほか11名
場 所: Web 上 (CEN Zoom)
議 題: ① PWI 25256 (旧 24149) 路面清掃車-性能試験方法の検討 ② NP 25333 路面清掃車-環境効率-エネルギー消費試験方法の要求事項 ③次回会合予定 (9月10日ハイブリッド@鄭州, 10月7, 8日バーチャル)

■ISO/TC 195/SC 3/WG 2 穿孔及び基礎工用機械-安全 国際バーチャル WG 会議

月 日: 6月28日(金) 夜
出席者: 山本卓也委員(株技研製作所) ほか15名
場 所: Web 上 (ISO Zoom)
議 題: ① WD 20770-6.2 コメント審議(続き)・静油圧杭打引抜機のクランプ力・安全係数 Ad Hoc グループ-日本コメントの説明 ②次回会合予定 (11月頃バーチャル)

建設業部会



■クレーン安全情報 WG

月 日: 6月11日(火)
出席者: 猪又勝美主査ほか12名
議 題: ①クレーンの最新動向ヒアリング(5社)のまとめ方について ②『災害ゼロに向けて』2025年度改訂に向けた準備 ③事故事例発表 ④その他

■機電交流企画 WG

月 日: 6月20日(木)
出席者: 篠宮政幸主査ほか8名(内 Web 参加者2名)
議 題: ①令和6年度(2024年)第24回機電技術者意見交換会の準備について ②令和6年度 若手現場見学会の開催月調整 ③その他

■三役会

月 日: 6月28日(金)
参加者: 坂下誠部会長ほか3名
議 題: ①5/28開催: 建設業 ICT 安全 WG 報告 ②6/11開催: クレーン安全情報 WG 報告 ③6/20開催: 機電交流企画 WG 報告 ④その他

レンタル業部会



■コンプライアンス分科会

月 日: 6月4日(火)(Web 会議併用)
出席者: 間庭分科会長ほか10名
議 題: ①部会長・分科会長挨拶 ②「お客様の安全技術情報の集約と現状のまとめの検討」について ③各社からの報告事項・情報交換

■レンタル業部会

月 日: 6月6日(木)(Web 会議併用)
出席者: 飛山部会長ほか15名
議 題: ①部会長挨拶 ②コンプライアンス分科会活動報告 ③R6年度現場見学会について 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: 6月5日(水)
出席者: 中野正則委員長ほか30名
議 題: ①令和6年9月号(第895号)計画の審議・検討 ②令和6年10月号(第896号)素案の審議・検討 ③令和6年11月号(第897号)編集方針の審議・検討 ④令和6年6月号～令和6年7月号(第892～894号)進捗状況報告・確認 ⑤令和7年特集テーマ案及び900号記念特集について ※通常委員会及び Zoom にて実施

■新工法調査分科会

月 日: 6月12日(水)
出席者: 石坂仁分科会長ほか2名
議 題: ①新工法情報の持ち寄り検討 ②新工法紹介データまとめ ③その他

支部行事一覧

北海道支部



■インフラ DX・ICT 施工推進連絡会事務局会議

月 日: 6月3日(月)
場 所: 北海道支部会議室
出席者: 谷崎敏彦座長ほか9名
議 題: ①インフラ DX・ICT 施工推進連絡会(7月2日開催)の議事次第等

■第1回施工技術検定委員会

月 日: 6月6日(木)
場 所: TKP 札幌カンファレンスセンター 7B 会議室
出席者: 加藤信二総括試験監督者ほか20名
議 題: ①建設機械施工管理技術検定(第一次検定等)の実施要領と監督要領の打合せ

■建設技術担い手育成プロジェクト(札幌工業高校出前授業)

月 日: 6月12日(水)
場 所: 札幌工業高校
受講者: 土木科2年生52名
内 容: (札幌地区測量設計協会と共催)
①建設 ICT の概要(座学) ②3次元レーザスキャナーの解説(実機デモ) ③ICT 建設機械映像・建設 ICT 施工例(座学) ④建設 VR 体験(実習)
講師等: 鈴木勇治プロジェクトリーダー ほか

■建設機械施工管理技術検定(第一次検定等)

月 日: 6月16日(日)
場 所: 1級: 札幌市(北海道経済センター) 2級: 北広島市(星槎道都大学)
受検者: 1級(一次検定)273名、(二次検定(筆記))40名 2級(一次検定)701名(延829名)、(二次検定(筆記))91名

■建設技術担い手育成プロジェクト(苫小牧工業高等専門学校出前授業(座学))

月 日: 6月21日(金)
場 所: 苫小牧工業高等専門学校
受講者: 創造工学科(都市・環境系)4年生40名
内 容: ①ICT を活用した建設技術(座学) ②地上型レーザスキャナ計測(座学及び実機デモ) ③ICT 施工事例(座学)
講師等: 鈴木勇治プロジェクトリーダー ほか

■令和6年度除雪機械技術講習会(第1回)

月 日:6月27日(木)

場 所:旭川市(道北経済センター)

受講者:202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

■建設技術担い手育成プロジェクト(苫小牧工業高等専門学校出前授業(実習))

月 日:6月28日(金)

場 所:苫小牧工業高等専門学校

受講者:創造工学科(都市・環境系)4年生40名

内 容:①3次元レーザスキャナー(モバイル)を利用した計測 ②ICT建設機械を使用した遠隔操作 ③建設VR ④UAV計測
講師等:鈴木勇治プロジェクトリーダーほか

東 北 支 部



■EE東北'24

月 日:6月5日(水),6日(木)

場 所:仙台市 夢メッセみやぎ

来場者:17,100人

内 容:出展者:378社,出展技術:958技術,新技術プレゼンテーション:54題

■橋梁架設・大口径岩盤削孔の施工技術と積算,及び建設機械等損料講習会

月 日:6月10日(月)

場 所:仙台市 フォレスト仙台

受講者:43名

内 容:①大口径岩盤削孔の施工技術と積算 ②建設機械等損料の積算 ③鋼橋架設の施工技術と積算 ④PC橋架設の施工技術と積算

■令和6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XR体験,遠隔臨場体験ほか(講師:東北地方整備局・JCM 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(講師:JCM 東北支部)

①1回目

場 所:東北技術事務所 研修棟

月 日:6月13日(木)

受講者:20名

②2回目

場 所:東北技術事務所 研修棟

月 日:6月27日(木)

受講者:19名

■令和6年度建設機械施工管理技術検定試験

日 時:6月16日(日)

場 所:滝沢市 岩手産業文化センター

受検者:

1級:第一次検定278名,第二次検定(筆記)41名

2級:第一次検定 共通724名,第1種86名,第2種627名,第3種26名,第4種66名,第5種11名,第6種12名

2級:第二次検定125名

■第15回東北復興DX・i-Construction連絡調整会議(対面・Web)

月 日:6月21日(金)

出席者:宮本健也東北地方整備局企画部長ほか62名

内 容:①東北地方整備局からの情報提供 ②関係機関におけるDX・i-Construction取組状況等 ③既約の変更 ④意見交換

北 陸 支 部



■建設機械整備技術委員会 計画打合せ

月 日:6月7日(金)

場 所:北陸支部事務局

出席者:水澤委員長ほか3名

内 容:①整備標準作業工数表(除雪機械編)の改訂の必要性等について ②その他今年度の活動方針について

■「建設技術報告会」第1回実行委員会

月 日:6月10日(月)

場 所:北陸技術事務所 1F大会議室

出席者:支部普及部会 樋口委員

内 容:①「建設技術報告会」実行委員会規約について ②令和6年度「建設技術報告会」実施計画(案)について ③令和6年度「建設技術報告会」予算(案)について

■路面消・融雪施設設計要項改訂 打合せ

月 日:6月14日(金)

場 所:北陸地方整備局 5F企画部打合せ室

出席者:姫野施工企画課長ほか8名

内 容:①これまでの改訂経緯について ②改訂方針,改定内容について ③改訂体制,スケジュールについて

■建設機械施工管理技術検定試験

月 日:6月16日(日)

場 所:朱鷺メッセ 新潟コンベンションセンター

受検者:

1級第一次検定:269名

1級第二次検定(筆記):20名

2級第一次検定:共通:590名(第1種:68名,第2種:513名,第3種:18名,第4種:50名,第5種:10名,第6種:1名)

2級第二次検定(筆記):94名

■北陸地方整備局 第1回新技術活用評価会議

月 日:6月19日(水)

場 所:北陸地方整備局 4F共用会議室

出席者:支部施工技術部会 星野部会長

内 容:①事後評価3技術 ②有用な技術の選定

■令和6年度第1回普及部会

月 日:6月26日(水)

場 所:興和ビル 10F大会議室

出席者:本間普及部会長ほか13名

内 容:①除雪機械安全施工技術講習会について ②ニイガタ除雪の達人選手権 ③建設技術報告会について ④現場見学会について ⑤親睦行事の実施について

中 部 支 部



■広報部会

月 日:6月11日(火)

出席者:濱地仁ほか6名

議 題:令和5年度の部会活動及び「中部支部ニュース」第42号について

■建設ICT出前授業

場 所:駿府学園(静岡県静岡市)

月 日:6月12日(水)

参加者:少年院在住者15名

講 師:(株)シーティーエス甲信営業部長 中山俊彦氏

■建設機械施工管理技術検定学科試験

月 日:6月16日(日)

場 所:愛知学院大学日進キャンパス

受験者:1級330名,2級685名

■建設ICT出前授業

月 日:6月18日(火)

場 所:中部インフラDXセンター(中部技術事務所構内)

受講者:名城大学 学生32名,院生・教授等5名 合計37名

講 師:(株)シーティーエス甲信営業部長 中山俊彦氏

■建設機械整備技能検定実技試験

月 日:6月25日(火)~28日(金)

場 所:愛知県小牧市ポリテクセンター 中部

受験者:1級36名,2級121名

関西支部



■「緊急災害応急対策業務に関する協定書」に基づく操作訓練講習会

月 日：6月3日（月）

場 所：近畿地方整備局近畿技術事務所

議 題：①災害対策用機械による応急復旧活動について ②災害対策用機械操作訓練 ③無人化施工機械操作訓練

■令和6年度建設機械施工管理技術検定試験監督者打合せ

月 日：6月10日（月）

場 所：関西支部

議 題：①試験監督要領について ②その他留意事項

■令和6年度建設機械施工管理技術検定試験

月 日：6月16日（日）

場 所：摂南大学寝屋川キャンパス

受検者：1級（一次407名，二次（筆記）43名），2級（一次（共通）798名，一次（種別）1種49名，2種708名，3種5名，4種54名，5種7名，6種20名，二次（筆記）145名）

■建設用電気設備特別専門委員会（第497回）

日 時：6月26日（水）

場 所：中央電気倶楽部 会議室

議 題：①JEM-TR236（建設工事も400V級電気設備施工指針）改正案審議 ②意見交換会 ③その他

中国支部



■令和6年度建設機械施工管理技術検定試験 試験監督者事前打合せ

月 日：6月4日（火）、6日（木）、7日（金）

場 所：広島市内

出席者：合計31名

内 容：実施要領・監督要領についての打合せ

■第1回広報部会

月 日：6月5日（水）

場 所：Web会議

出席者：藤原浩幸部会長ほか6名

議 題：広報誌（CMnavi）67号の編集と68号の編成について

■令和6年度建設機械施工管理技術検定試験 第一次検定・第二次検定（筆記）

月 日：6月16日（日）

場 所：広島工業大学

受検者：1級：第一次検定137名，第二

次検定（筆記）16名

2級：第一次検定337名，第二次検定（筆記）66名

四国支部



■共催事業「ドローン操作訓練」

月 日：6月4日（火）

場 所：国営讃岐まんのう公園（多目的広場）

共催者：（一社）建設コンサルタンツ協会 四国支部，（一社）四国クリエイト協会，（一社）日本建設機械施工協会 四国支部，（一社）日本補償コンサルタント協会 四国支部，（株）建設マネジメント 四国

参加者：共催団体から8社65名，ドローン6機

内 容：公園休園日を利用して，災害発生時に迅速に対応するため，各社所有のドローンを用いて訓練を実施

■ジオスペシャルフェア2024

月 日：6月4日（火）

場 所：サンメッセ香川（高松市）

参加者：200名

主催者：JCMA 四国支部，（株）ニコトリンブル

協 賛：四国測機販売（株），（株）TSC

内 容：①四国地方整備局におけるi-Constructionの取組について ②人手不足・属人化からの脱却！AI技術活用の可能性とTrimble Solution ③DX推進の第一歩！データ共有ツールの活用で省力化

■建設業土木応援セミナー in 高知

月 日：6月11日（火）

場 所：高知市立自由民権記念館（高知市）

参加者：72名

主催者：JCMA 四国支部

協 賛：西尾レントオール（株），ワイエメネス，CRAFTCOM（株）

内 容：①ICT施工の現状 ②ICT・CIM 誰も話さない失敗と成功事例 ③3Dモデルを使った施工計画

■建設業土木応援セミナー in 松山

月 日：6月12日（水）

場 所：愛媛県生涯学習センター（松山市）

参加者：53名

主催者：JCMA 四国支部

協 賛：西尾レントオール（株），ワイエメ

ネス，CRAFTCOM（株）

内 容：①ICT施工の現状 ②ICT・CIM 誰も話さない失敗と成功事例 ③3Dモデルを使った施工計画

■令和6年度建設機械施工管理技術検定 一次検定・二次検定【筆記】試験

月 日：6月16日（日）

場 所：英明高等学校（高松市）

受検者：1級：197名，2級：514名 計711名

■次世代現場体験（ICT施工講習会）

月 日：6月25日（火）

場 所：建設クリエイティブビル（高松市）

参加者：10名

主催者：JCMA 四国支部

協 賛：西尾レントオール（株），（株）建設システム

内 容：①ICT活用の現状について ②三次元設計演習 ③三次元施工管理実習

九州支部



■令和6年度i-con施工による九州支部生産性向上推進会議幹事会

月 日：6月10日（月）

場 所：リファレンス駅東ビル

出席者：鈴木i-con推進会議会幹事長ほか14名

議 題：①令和6年度i-con技術講習会の計画について ②自治体：ICT施工技術講習会等研修会について ③JCMA：i-con講師認定試験について ④その他

■令和6年度建設機械施工管理技術検定試験

月 日：6月16日（日）

場 所：1級（福岡市）福岡ファッションビル，2級（北九州市）豊国学園高等学校

■企画委員会

月 日：6月18日（火）

場 所：宝ビル1106会議室

出席者：原尻企画委員長ほか9名

議 題：①令和6年度九州支部主要行事予定について ②令和6年度JCMA九州支部災害対策支援支部登録について ③令和6年度i-con施工に係る九州支部生産性向上推進会議幹事会の報告 ④令和6年度建設機械施工管理技術検定試験について ⑤「第2回JCMA技術講習会」の開催について ⑥R6懸案事項の検討

編集後記

梅雨が明けると同時に猛暑の観測が全国で報告される日々です。夏の休暇を利用して山や海へ出かける方もあるかと思いますが、移動の際には車でも鉄道でも橋は無くしてはならない存在です。今月の特集はその「橋梁」です。

巻頭言では、橋梁火災について研究をされている大山教授のインフラに対する災害時の対応や将来への心構えについてのお話がありました。行政情報でも、道路構造物の定期点検が義務化されて10年が経過し、これまでの取り組みをもとに定期点検要領の改訂により技術的評価と、耐久性に着目した特定事象に関する技術的評価がなされるようになりました。また、能登半島地震では過去の経験より技術基準の整備と改良が重ねられ橋梁のみならず多くの道路構造物の甚大な被害を防ぐことができたとのことで技術の大切さを実感いたします。技術報文は橋梁の設計では気仙沼湾の斜張橋の建設・設計コンセプトや各部の設計についてあまり馴染みのない分野を知ることができました。橋梁の建設では高速道路橋として日本最長の吉野川サンライズ大橋の架設と首都高速1号線の高速大師橋の一括架け替えのどちらも橋梁ならではのスケールの大きさを感じます。橋梁の架け替えでは震災により被災した南阿蘇鉄道の第一白川橋梁を旧来の景観を損なわず復旧させた復興事例です。橋梁の建設

機械に目を向けると、自動測量マキングロボット及び支承交換の技術、重量物運搬用のドローンでの資材輸送技術、フォークリフトを利用した床版設置機械など省人化や効率向上を目指した技術を取り上げました。橋梁の点検では壁面や天井を自由に走行し点検作業を行えるユニークなロボットで人力に頼る点検を代替える技術です。橋梁の維持管理では3Dモデルを利用した橋梁の検査システムによる保守管理の負担軽減や人工衛星を用いたグローバルな橋梁の変位分析の可能性やドローン空撮によるアクセス困難な場所でも対応できるたわみ計測技術などです。橋は経年劣化により品質低下が進行していても、容易に供用を停止することが困難であり、また地震や自然災害による損傷などまさに巻頭言でも述べられている維持管理と点検保守の重要性は大きいと言えます。橋梁の補強ではFRP部材を用いた床版補強で劣化したRC床版の延命化を可能とする製品の開発です。最後に橋梁のDX関係では橋梁BIM/CIMシステムの開発、VRやMR技術を活用した施工シミュレーションシステムや安全教育などの事例を紹介して頂きました。交流のひろばでは、建機の遠隔制御に必要な不可欠なソリューションを今話題のローカル5Gで検証され今後は広く普及していくものと感じられました。

最後に、ご執筆頂いた皆様にはご多忙中にもかかわらず当誌に執筆頂き感謝とともに御礼申し上げます。
(宮川・花川)

機関誌編集委員会

編集顧問

今岡 亮司	加納研之助
後藤 勇	新開 節治
関 克己	高田 邦彦
田中 康之	田中 康順
中岡 智信	渡邊 和夫
見波 潔	

編集委員長

中野 正則	日本ファブテック(株)
-------	-------------

編集委員

吉田 真人	国土交通省
大津 太郎	農林水産省
内海 友介	(独)鉄道・運輸機構
岡本 直樹	(一社)日本機械土工協会
河原 圭司	鹿島建設(株)
赤坂 茂	大成建設(株)
藤井 攻	清水建設(株)
桐山 茂雄	(株)大林組
出口 明	(株)竹中工務店
宮川 克己	(株)熊谷組
松本 清志	(株)奥村組
京免 継彦	佐藤工業(株)
平田 惣一	鉄建建設(株)
副島 幸也	(株)安藤・間
松澤 享	五洋建設(株)
那須野陽平	東亜建設工業(株)
佐藤 裕	日本国土開発(株)
丑久保吾郎	(株)NIPPO
室谷 泰輔	コマツ
山本 茂太	キャタピラー・ジャパン
花川 和吉	日立建機(株)
丹治 雅人	コベルコ建機(株)
漆戸 秀行	住友建機(株)
大竹 博文	(株)加藤製作所
田島 良一	古河ロックドリル(株)
鈴木 健之	施工技術総合研究所

事務局

(一社)日本建設機械施工協会

9月号「安全対策・労働災害防止特集」予告

・建設施工の自動化 ・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 ・機能共鳴分析手法を用いた建設工事のリスクアセスメント ・移動式クレーンにおける敷板へのアウトリガー偏心設置の危険性 ・クローラークレーン後部旋回範囲への立入禁止バーの開発 ・LiDARを用いた高所作業車の挟まれ警報装置開発 ・水中捨石マウンドの施工精度向上及び生産性向上に向けた取り組み ・AIを用いた船舶検知システム「AI-KEN」・全自動鋼製支保工建込みシステムの開発 ・山岳トンネル用の自動ズリ積み機の改良 ・環境配慮型閉鎖解体工法テコレップ Light システム ・「自動運転ローラ」の現場活用 ・アンカー自動削孔装置の開発および現場適用 ・ニューマチックケーソンの自動化施工 ・除雪作業のメンタルヘルスと働き方改革

【年間定期購読ご希望の方】

- ①書店でのお申し込みが可能です。お近くの書店へお問い合わせください。
②協会本部へのお申し込みは「年間定期購読申込書」に必要事項をご記入のうえFAXをお送りください。
詳しくはHPをご覧ください。

年間定期購読料(12冊) 10,032円(税・送料込)

建設機械施工

第76巻第8号(2024年8月号)(通巻894号)

Vol.76 No.8 August 2024

2024(令和6)年8月20日印刷

2024(令和6)年8月25日発行(毎月1回25日発行)

編集兼発行人 金井道夫

印刷所 日本印刷株式会社

発行所 本部 一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番8号 機械振興会館内

電話 (03) 3433-1501; Fax (03) 3432-0289; <https://jcmanet.or.jp/>

施工技術総合研究所 〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154

電話 (0545) 35-0212

北海道支 部 〒060-0003 札幌市中央区北三条西2-8

電話 (011) 231-4428

東北支 部 〒980-0014 仙台市青葉区本町 3-4-18

電話 (022) 222-3915

北陸支 部 〒950-0965 新潟市中央区新光町 6-1

電話 (025) 280-0128

中部支 部 〒460-0002 名古屋市中区丸の内 3-17-10

電話 (052) 962-2394

関西支 部 〒540-0012 大阪市中央区谷町 2-7-4

電話 (06) 6941-8845

中国支 部 〒730-0013 広島市中区八丁堀 12-22

電話 (082) 221-6841

四国支 部 〒760-0066 高松市福岡町 3-11-22

電話 (087) 821-8074

九州支 部 〒812-0013 福岡市博多区博多駅東 2-4-30

電話 (092) 436-3322

本誌上への
の広告は



有限会社 サンタナ アートワークスまでお申し込み、お問い合わせ下さい。

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-21-5 井手口ビル4F TEL: 03-3664-0118 FAX: 03-3664-0138

E-mail: san-mich@zam.att.ne.jp 担当: 田中

OUR COMPETENCE, YOUR INNOVATION.

bauma CHINA, Shanghai, SNIEC
November 26-29, 2024



**Register Now to Get
Free Admission**

Before 15th November 2024

→ [bauma-china.com/en/
trade-fair/tickets/](https://bauma-china.com/en/trade-fair/tickets/)

International Trade Fair for Construction Machinery,
Building Material Machines, Mining Machines and
Construction Vehicles.

www.bauma-china.com

bauma CHINA

杭打工事用

パイルキーパー

海上・河川等での杭打ち作業用、
パイル保持装置

石狩湾新港洋上風力発電事業工事向け
パイルキーパー

仕 様

杭 径 最大 ϕ 2500mm

杭重量 最大 90ton

開 閉 油圧駆動

前後スライド範囲 $\pm$ 900mm 油圧駆動

左右スライド範囲 $\pm$ 1000mm 油圧駆動

実績多数

海上工事、陸上工事、岸壁護岸工事、海上空港、
ダム湖再生工事、導枠治具、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

本誌に掲載されている広告のお問い合わせ、
資料の請求はメール、FAX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:

所 属:

会社名(校名):

資料送付先:

電 話:

FAX:

E-mail:

広告掲載 メーカー名	製品名

FAX
送信先

サンタナアートワークス
建設機械施工係

FAX

03-3664-0138

精密さとパワーで建設の現場を支える。

発電機・溶接機・コンプレッサは抜群の性能を誇るデンヨー製品で!



発電機

図書館内並の低騒音を実現!
静音発電機マーリエ



DCA-25MZ

50Hz-7m
43dB

溶接機

最大溶接電流500A&インバータ制御
炭酸ガスエンジン溶接機



DCW-500LSE

溶接電流 500A
(炭酸ガス/カウジン/手溶接)

交流電源
三相 25 kVA

コンプレッサ

アフタクーラ/アフタウォーマ内蔵
電子制御で低燃費&低騒音



DIS-670LS-D



本社：〒103-8566 東京都中央区日本橋堀留町2-8-5
TEL: 03(6861)1122 FAX: 03(6861)1182
ホームページ: <http://www.denyo.co.jp/>

札幌営業所 011(862)1221 東京支店 03(6861)1122 大阪支店 06(6448)7131
東北営業所第1課 019(647)4611 横浜営業所 045(774)0321 広島営業所 082(278)3350
東北営業所第2課 022(254)7311 静岡営業所 054(261)3259 高松営業所 087(874)3301
信越営業所 025(268)0791 名古屋営業所 052(856)7222 九州営業所 092(935)0700
北関東営業所 027(360)4570 金沢営業所 076(269)1231

Mikasa 

<http://www.mikasas.com>

街づくりを支える、信頼の三笠品質。



転圧センサー

バイプロコンパクター

MVH-308DSC-PAS

NETIS No. TH.120015-VE

タンピングランマー

MT-55H



MVC-F60HS

NETIS No.TH.100006-VE



MRH-601DS

低騒音指定番号5097



FX-40G/FU-162A



MCD-318HS-SGK

低騒音指定番号6190

三笠産業株式会社

MIKASA SANGYO CO., LTD. TOKYO, JAPAN

本社 〒101-0064 東京都千代田区神田猿樂町1-4-3 TEL: 03-3292-1411 (代)

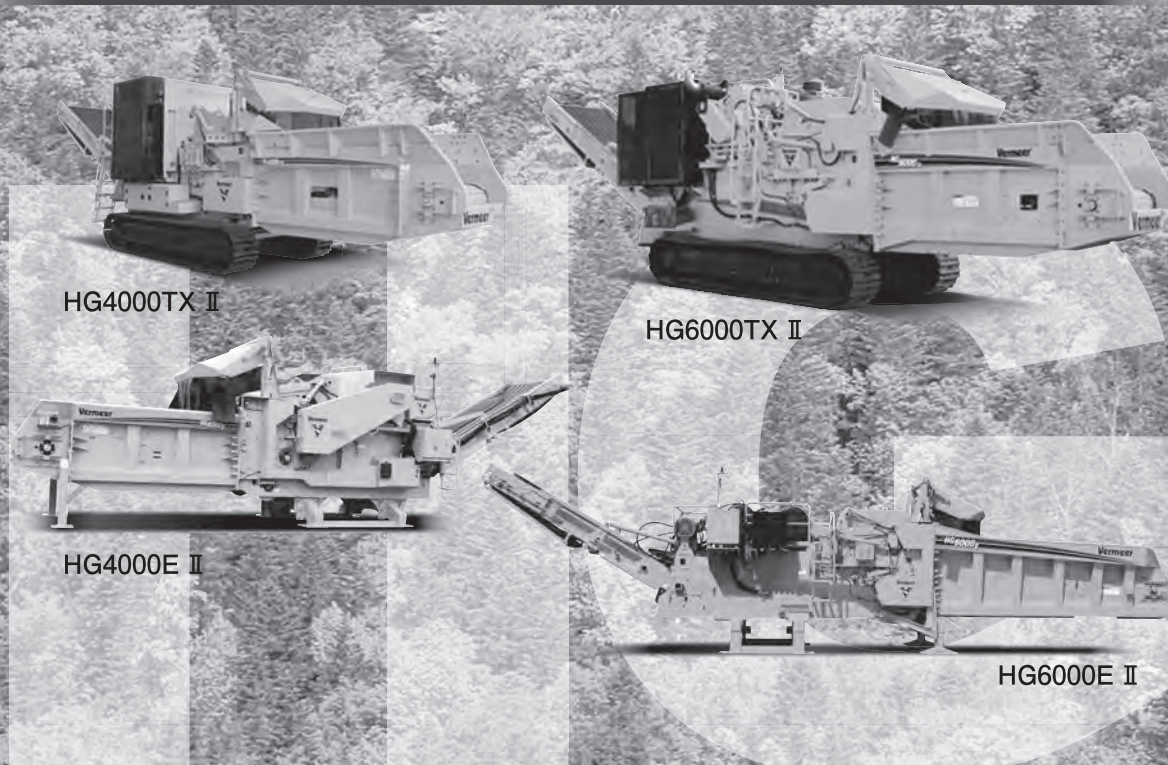
大阪支店 TEL:06-6745-9631
札幌営業所 TEL:011-892-6920
仙台営業所 TEL:022-238-1521
新潟出張所 TEL:090-4066-0661

北関東営業所 TEL:0276-74-6452
長野出張所 TEL:080-1013-9542
中部営業所 TEL:052-504-3434
金沢出張所 TEL:080-1013-9538

中国営業所 TEL:082-875-8561
四国出張所 TEL:087-868-5111
九州営業所 TEL:092-431-5523
南九州出張所 TEL:080-1013-9547

沖縄出張所 TEL:080-1013-9328

マルマテクニカのホリゾントルグラインダー



1台の破碎機でピンチップも切削チップも生産できる!用途別に選べる2タイプ。



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

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

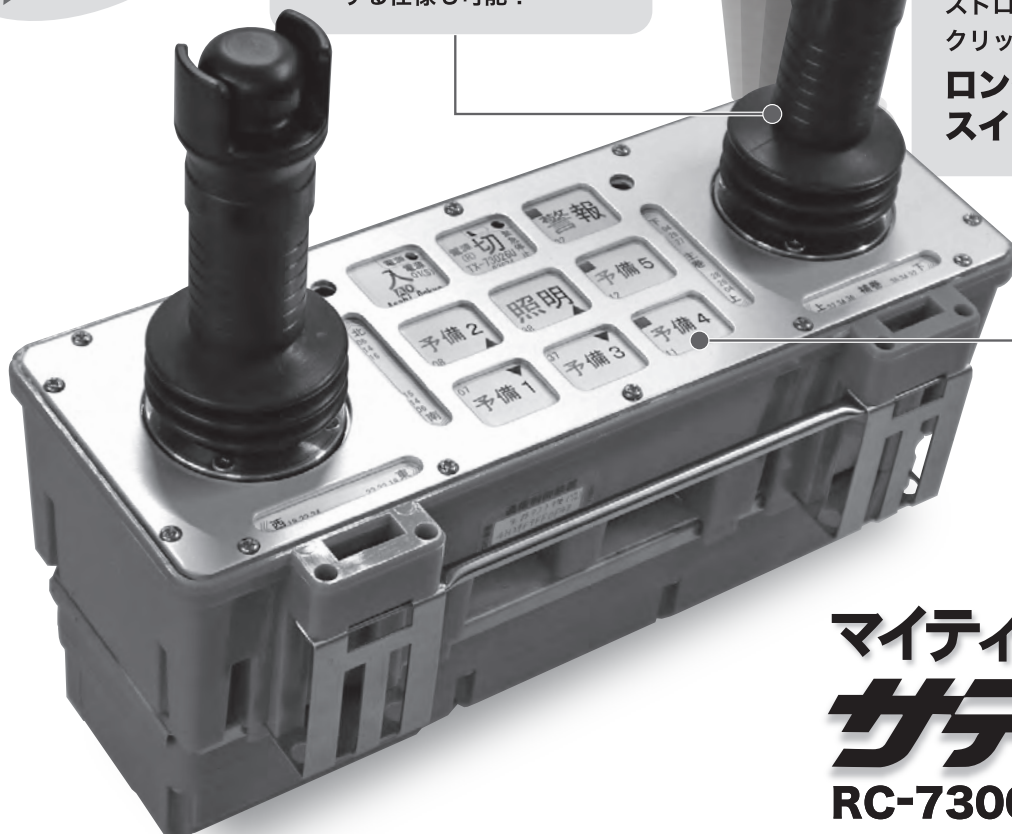
New!

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!

**ロングストローク型
スイッチ** を標準採用



マイティ 429MHz帯・1.2GHz帯
特定小電力モデル対応
サテラ
RC-73000U/G シリーズ

スリムケーブルレス 5800シリーズ 好評発売中!

双方向データケーブルレス

《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/>

無線化工事のことならフルライン、フルオーダー体制の弊社に今すぐご相談下さい。また、ホームページでも詳しく紹介していますのでご覧下さい。

朝日音響 検索

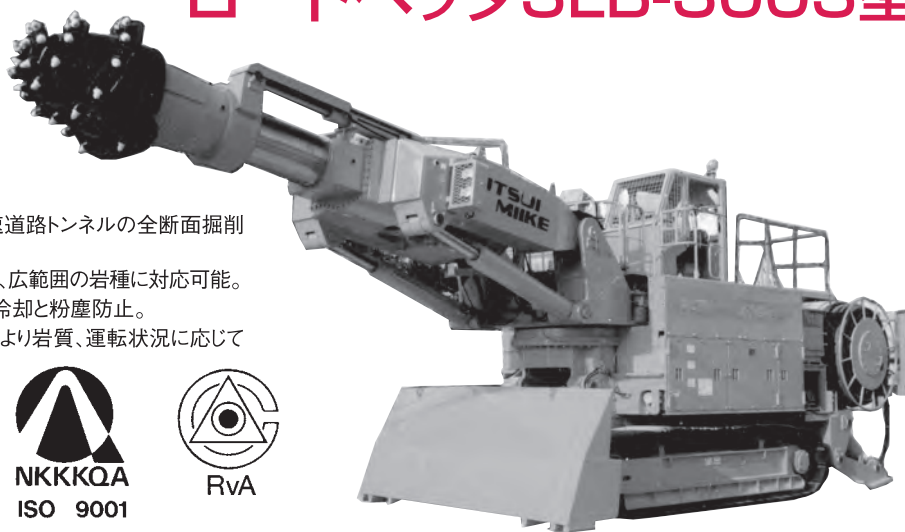


安全・高能率な掘削を実現!

全断面对応中硬岩用トンネル掘進機 ロードヘッダSLB-300S型

特長

1. 最大8.8mの掘削高さで、新幹線、高速道路トンネルの全断面掘削が可能。
2. 300kW:2速切換型電動機の採用により、広範囲の岩種に対応可能。
3. ピック先端に高圧水を散水させ、ピック冷却と粉塵防止。
4. モード切換式パワーコントロール装置により岩質、運転状況に応じて作動設定の変更が可能。
5. 運転操作が優れ、全操作がリモートコントロールで運転可能。
6. ケーブルリール装置により、電源ケーブルの取扱いが容易で移動が迅速。



製造・販売・レンタル及びメンテナンス

 株式会社 三井三池製作所

本店/〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館
TEL.03-3270-2005 FAX.03-3245-0203

<http://www.mitsumiike.co.jp>

E-mail : sanki@mitsumiike.co.jp

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

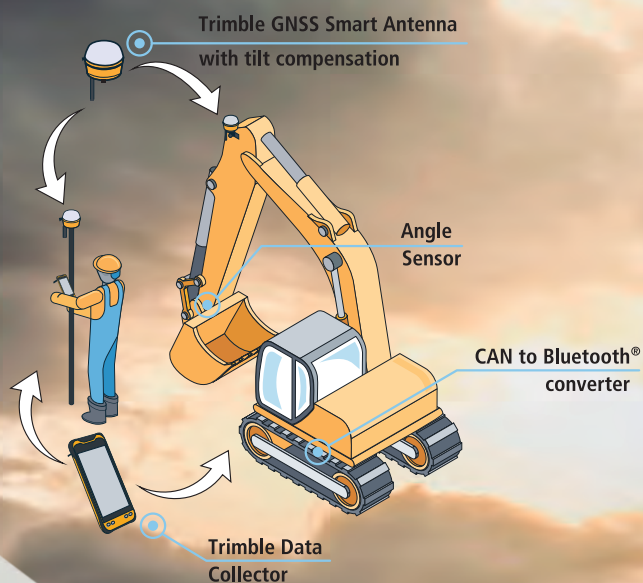
用途
インバータ制御機器
エンジン制御
油空圧比例制御

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

Trimble Siteworks
Machine Guidance **新発売**

Two-in-One



 **Trimble**
Authorized Dealer

 **SITECH**

SITECH-JAPAN.COM

サイテックジャパン株式会社 info@sitechjp.com
東京都大田区南蒲田2-16-2 テクノポート大樹生命ビル
TEL: 03-5710-2594 FAX: 03-5710-2731

雑誌 03435-8



4910034350841
00800

「建設機械施工」

定価 八八〇円 (本体八〇〇円 + 税10%)