

一般社団法人
日本建設機械施工協会誌 (Journal of JCMA)

2023

建設機械施工



Vol.75 No.6 June 2023 (通巻880号)

特集 維持管理・長寿命化・ リニューアル



都市部交差点直上でのPC橋梁撤去技術

巻頭言 想定外

特集技術報文

- 都市部交差点直上でのPC橋梁撤去技術
- 斜張橋の多機能型斜材点検ロボットの開発
- 高所作業車型トンネル点検システムによる打音検査と近接目視の機械化
- 通航状況で水路トンネル内部の変状を調査する無人調査ロボット
- 下水道管路内水位のモニタリング技術の開発
- 自律飛行型ドローンによる火力発電所煙突内部点検の効率化
- ラバーコーン・矢印板自動設置・回収車両 他

行政情報

- 持続可能なインフラメンテナンスの実現に向けて

交流のひろば

- 「全自動ドローンシステム」の活用拡大へ向けた検討

すいそう

- 趣味は良き哉
- 山を想う

一般社団法人 日本建設機械施工協会

KOBELCO

Performance  Design

新型 ミニ

SK45SR SK55SR

ミニショベルがモデルチェンジ

2023年4月順次登場

特設サイトは
こちら

iNDr+E



コベルコ建機株式会社

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

www.kobelco-kenki.co.jp

◆ 日本建設機械施工協会『個人会員』のご案内

会費：年間 9,000円(不課税)

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

★個人会員の特典

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

この機会に是非ご入会下さい!!

◆一般社団法人 日本建設機械施工協会について

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

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

一般社団法人 日本建設機械施工協会とは…

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

■会員構成

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

■主な事業活動

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

■主な出版図書

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

その他、日本建設機械施工協会の活動内容はホームページでもご覧いただけます！

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

※お申し込みには次頁の申込用紙をお使いください。

【お問い合わせ・申込書の送付先】

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

一般社団法人 日本建設機械施工協会 会長 殿

下記のとおり、日本建設機械施工協会 個人会員に入会します。

令和 年 月 日

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

【会費について】年間 9,000円(不課税)

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

【その他ご入会に際しての留意事項】

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

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

【個人情報の取扱について】

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

論文投稿のご案内

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

当協会ホームページ <http://www.jcmanet.or.jp>

★投稿対象

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

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

★部門

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

★投稿資格

原稿の投稿者は個人とし、会員資格の有無は問いません。

★原稿の受付

随時受け付けます。

★公表の方法

当協会機関誌へ掲載します。

★機関誌への掲載は有料です。

★その他：優秀な論文の表彰を予定しています。

★連絡先

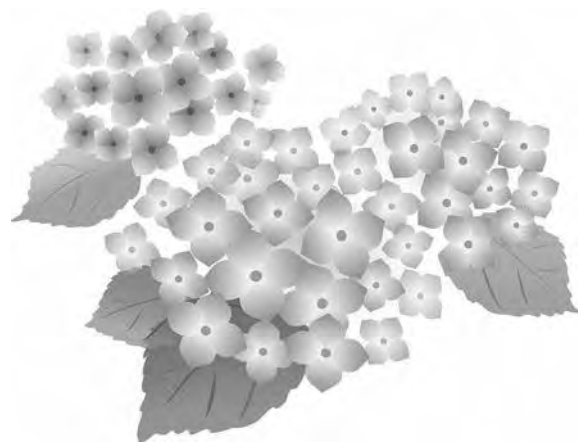
〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 (機械振興会館)

日本建設機械施工協会 研究調査部 論文担当

E-mail : ronbun@jcmanet.or.jp

TEL : 03 - 3433 - 1501

FAX : 03 - 3432 - 0289



(一社) 日本建設機械施工協会 発行図書一覧表 (令和 5 年 6 月現在)

消費税 10%

No.	発行年月	図 書 名	一般価格 (税込)	会員価格 (税込)	本部 送料
1	R5 年 5 月	橋梁架設工事の積算 令和 5 年度版	12,100	10,285	990
2	R5 年 5 月	令和 5 年度版 建設機械等損料表	9,680	8,228	770
3	R4 年 10 月	道路除雪施工の手引 (第 16 版 2022 改訂)	4,950	3,960	770
4	R4 年 5 月	大口径岩盤削孔工法の積算 令和 4 年度版	6,600	5,610	770
5	R4 年 5 月	よくわかる建設機械と損料 2022	6,600	5,610	770
6	R4 年 5 月	橋梁架設工事の積算 令和 4 年度版	11,000	9,350	990
7	R4 年 4 月	令和 4 年度版 建設機械等損料表	8,800	7,480	770
8	R4 年 3 月	日本建設機械要覧 2022 年版	53,900	45,100	990
9	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
10	H30 年 8 月	消融雪設備点検・整備ハンドブック	13,200	11,000	770
11	H29 年 4 月	ICT を活用した建設技術 (情報化施工)	1,320	1,122	770
12	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
13	H25 年 6 月	機械除草安全作業の手引き	990	880	770
14	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
15	H22 年 9 月	アスファルトフィニッシャの変遷	3,300	2,970	770
16	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
17	H22 年 7 月	情報化施工の実務	2,200	1,870	770
18	H21 年 11 月	情報化施工ガイドブック 2009	2,420	2,178	770
19	H20 年 6 月	写真でたどる建設機械 200 年	3,080	2,618	770
20	H19 年 12 月	除雪機械技術ハンドブック	3,300	2,970	770
21	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
22	H17 年 9 月	建設機械ポケットブック (除雪機械編)	1,100	990	770
23	H16 年 12 月	除雪・防雪ハンドブック (除雪編) 【CD-R】	5,500	4,950	770
24	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
25	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
26	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
27	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
28	H15 年 6 月	地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル	550	495	770
29	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
30	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
31	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
32	H11 年 5 月	建設機械化の 50 年	4,400	3,960	770
33	H11 年 4 月	建設機械図鑑	2,750	2,475	770
34	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
35	H9 年 5 月	建設機械用語集	2,200	1,980	770
36	H6 年 8 月	ジオスペースの開発と建設機械	8,470	7,623	770
37	H6 年 4 月	建設作業振動対策マニュアル	6,380	5,742	770
38	H3 年 4 月	最近の軟弱地盤工法と施工例	10,450	9,405	770
39	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
40		建設機械履歴簿	440	396	770
41	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

維持管理・長寿命化・リニューアル

巻頭言

4 想定外

内田 裕市 岐阜大学工学部 社会基盤工学科 教授

行政情報

5 持続可能なインフラメンテナンスの実現に向けて

地域インフラ群再生戦略マネジメントの推進

中村 憲明 国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課 企画第一係長

特集技術報文

11 コンクリート床版内部の状態把握に向けた 新たな微破壊調査方法

渡邊 晋也 (一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第二部 副主幹
内田 美生 (一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第二部 技術主幹
谷倉 泉 (一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 技師長

18 超高耐久床版による床版取替工事

蓼野第二橋(下り線)床版取替工事

岡野 雅 三井住友建設(株) 土木本部橋梁構造設計部 主任
福田 泰樹 西日本高速道路(株) 技術本部 技術環境部 構造技術課 主任
木寺 久幸 三井住友建設(株) 広島支店地頭分 PC 作業所 作業所長・監理技術者

24 「床版クールカット工法」により床版撤去作業の 生産性を 20% 向上

高島 英一 清水建設(株) 土木総本部 土木技術本部 橋梁統括部 主席エンジニア
吉浦 伸明 清水建設(株) 土木総本部 土木技術本部 橋梁統括部 主査

28 橋梁リニューアル統合管理システムの開発

日暮 一正 (株)大林組 土木本部 先端技術推進室

34 都市部交差点直上での PC 橋梁撤去技術

阪神高速 14 号松原線 喜連瓜破高架橋架け替え工事

島田 哲治 大成建設(株) 喜連瓜破橋大規模更新工事作業所 作業所長

39 斜張橋の多機能型斜材点検ロボットの開発

コロコロチェッカー[®]

原田 耕司 西松建設(株) 技術研究所 主席研究員

44 高所作業車型トンネル点検システムによる打音検査と 近接目視の機械化

一般道路トンネルにおける iTOREL 高所作業車型の機能紹介

井上 大輔 東急建設(株) 技術研究所 メカトログループ 主任研究員
中村 聡 東急建設(株) 技術研究所 メカトログループ グループリーダー

51 トンネル覆工を安全かつ高速で更新する トンネル更新工法の開発

LCR-Speed 工法 (Lining Concrete Renewal - Speed Method)

杉田 崇 鉄建建設(株) 札幌支店 ニッ森トンネル作業所 所長
宇田 誠 鉄建建設(株) 土木本部 副本部長 工事担当
西脇 敬一 鉄建建設(株) 建設技術総合センター 研究開発センター 材料グループ

57 光ファイバセンサを用いたインフラ維持管理

今井 道男 鹿島建設(株) 技術研究所 先端・メカトロニクスグループ 主席研究員
曾我部直樹 鹿島建設(株) 技術研究所 土木構造グループ グループ長
新井 崇裕 鹿島建設(株) 土木管理本部 土木技術部 リニューアルグループ グループ長

63 通水状況で水路トンネル内部の変状を調査する 無人調査ロボット

森 充広 (国研) 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門 施設工学研究領域 研究領域長
中山 宣洋 日本工営(株) 大阪支店 流域水管理部 課長
高岩 庸博 (株)ウォールナット 企画営業グループ グループ長

	69	ダム貯水池 3D マッピング技術 遊漁用魚群探知機のダム貯水池堆砂状況調査への適用 長田 実也 中央開発㈱ 理事・技師長
	74	下水道管路内水位のモニタリング技術の開発 メイン機器とバックアップ機器を併用した効率的な水位モニタリング 山口 治 ㈱奥村組 東日本支社リニューアル工事業部 工事所支援グループ グループ長 南雲 裕樹 ㈱奥村組 東日本支社 名古屋支店土木第1部 澤 裕俊 ㈱奥村組 東日本支社リニューアル工事業部
	78	自律飛行型ドローンによる火力発電所煙突内部点検の効率化 森井 祐介 関西電力㈱ 土木建築室 保全技術グループ
	83	「ドラレコ×AI」を活用した空港滑走路面の調査及び点検 空港に導入、そして道路への展開 池田 直隆 ㈱南紀白浜エアポート オペレーションユニット長
	88	ラバーコーン・矢印板自動設置・回収車両 ロボコーン・ロボアロー 中尾 和広 西日本高速道路メンテナンス九州㈱ 工務技術本部 技術開発部長 貞野 昌則 新明工業㈱ 自動車事業本部 副本部長
交流のひろば	94	「全自動ドローンシステム」の活用拡大へ向けた検討 ダム施設点検にて災害を想定した被災・復旧等の経過撮影を無人化 上原 広行 ㈱フジタ 土木本部 土木エンジニアリングセンター 機械部
ずいそう	98	趣味は良き哉 谷倉 泉 (一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 技師長
	101	山を想う -山に抱かれて- 山口 是治 建装工業㈱ 東北支店 顧問
CMI 報告	106	はく落発生抑制等に資するトンネル覆工技術を対象とした 新技術導入促進の取り組み 鈴木 健之 (一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所
	112	新機種紹介 機関誌編集委員会
統計	113	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
	114	行事一覧 (2023年4月)
	118	編集後記 (松本(清)・松本(政))

◇表紙写真説明◇

都市部交差点直上での PC 橋梁撤去技術

写真提供：阪神高速道路㈱

阪神高速 14 号松原線 喜連瓜破高架橋は、1980 年に供用した全長 154 m の PC3 径間有ヒンジラーメン箱桁橋である。2022 年 6 月より本格着手した本橋の架け替え工事は、解体対象範囲の橋桁上に架設された仮設桁に装備された橋桁解体搬送装置を用いて撤去することで、橋の下を通る一般道路の交通を妨げることなく、本橋撤去に係るほとんどの工程が空中で完結できることを特徴としている。

巻頭言

想定外

内田裕市



個人的な話で恐縮だが、阪神・淡路大震災の直後、とある先輩に対して「この被災は‘想定外’でしたね」と軽い気持ちで話しかけたところ、「技術者が安易に‘想定外’と言ってはいかん」と強く言い返されたことがこの歳になっても記憶から消えない。‘想定外’は決して技術者の免罪符になりえないということである。

現在、高速道路会社による大規模更新・修繕事業が大だ的に進められておりその総事業費はNEXCO3社だけでも5兆円を超えるとのことである。これに国、自治体が管理するインフラ施設の維持管理を考えると、まさに気の遠くなるような費用が必要となる。

このような状況に対して、維持管理を怠ってきた付けであると言われることもあるが、最大の理由はハード、ソフトとも技術力が不足していたことだと私は考えている。もちろん、建設当時から疑問や不安を持っていた賢明な研究者、技術者がいたかもしれないが、今から考えれば日本全体としては明らかに未熟であったと思う。当時、荷重作用がこれほどまでに増えるとは想定できなかった。疲労によって床版がこれほどまでに劣化するとは思わなかったし、凍結防止剤、水がこんなに悪さをするとは思わなかった。さらにアル骨は日本にはないと思われていた。施工不良についても将来、こんなに大きな問題になるとは思わなかった。それらがすべて時間とともに顕在化し、今日の状態に至っている。しかし、これらを‘想定外’で済ませてはならず、技術が未熟であったことを謙虚に認めるしかないと思うのである。

構造物はその時の示方書や規基準にしたがって設計、施工が行われるが、ややもすると書いてあるとおりにしていればよいものができると思っている技術者が少なからずいるのではないかと思う。しかし、いずれの規基準もこれまでに何度も改訂されてきている訳で、最新の規基準ですら発展途上というのが正しい認識であろう。したがって、現行の規基準を満たすことは最低限のことであり、「将来にわたってよい構造物」ができ

ることを保証するものではないことを認識しておく必要がある。想定していないこと、認識されていないことが起きることは歴史が証明している。想定外のことを想定するというのは矛盾していて不可能なことのように思えるが、技術者は少なくとも想定外があることを認識するとともに、今の技術レベルを正しく認識し、常に技術を向上させていかなければならぬし、造られた構造物を将来にわたって見守っていかなければならぬ。

ところで、我が国では、長く続く経済低迷と今後も確実に進む少子化・人口減の問題から「生産性向上」という言葉がスローガンのように使われている。「生産性」には様々な定義があるが、多くの人は「物的生産性」、すなわち「少人数・短時間で生産すること」と捉え、コストを下げることを「生産性向上」であると考えているように思える。しかし、コストを下げてこれに応じて「価格」も引き下げられれば、さらに価格競争が進み、業界全体は疲弊するだけである。ここはやはり、高いお金を払ってでも買いたいと思われるような「よいもの」（付加価値の高いもの）を作ることが必要であろう。欠けたリンゴのマークの付いた製品は、たとえ高くても買いたいと思う人がたくさんいて、その会社は世界でも超優良企業とされている。社会基盤施設を個人が購入する大量生産される製品と同じように扱うことはできないが、建設技術はまだ未熟で、のびしろは大きい。コスト削減、労力削減も重要ではあるが、官民含め業界全体が技術を向上させることが重要で、よりよいものをつくって行こうとする意識、行動がなければ業界の魅力もなくなり、若者も集まらなくなる。

最後に、想定外はネガティブなことばかりではない。乗用車は空を飛び、トラックは自動運転のコンボイで一定の走行レーンだけを走るようになれば、道路橋の床版は不要になり、床版劣化の問題は解消されるかもしれない。

——うちだ ゆういち 岐阜大学工学部 社会基盤工学科 教授——

行政情報

持続可能なインフラメンテナンスの実現に向けて 地域インフラ群再生戦略マネジメントの推進

中村 憲明

インフラの老朽化が加速度的に進行する中、我が国における「安全・安心の確保」、「持続可能な地域社会の形成」、「経済成長の実現」の基盤となるインフラの維持管理・更新を計画的に進め、持続可能なインフラメンテナンスを実現することが極めて重要である。「社会資本メンテナンス元年」から10年目を迎えた2022年には、社会資本整備審議会・交通政策審議会技術分科会技術部会において、これまでの取組のレビュー及び、今後のメンテナンスのあり方についてとりまとめられ、提言として公表された。本稿では、本提言の内容と関連する国土交通省におけるインフラ老朽化対策について主な取組を紹介する。

キーワード：インフラ老朽化、インフラメンテナンス、予防保全、包括的民間委託、新技術導入

1. はじめに

インフラは、我が国における「安全・安心の確保」、「持続可能な地域社会の形成」、「経済成長の実現」の基盤となるものである。今後、建設から50年以上経過するインフラの割合が加速度的に増加する見込みである中、時代を越えて役割を果たし続け、中長期的に我が国の生活や社会経済活動の礎とし続けるため、インフラの維持管理・更新を計画的に進め、持続可能なインフラメンテナンスを実現することが極めて重要である。

国土交通省では、2012年12月に発生した中央自動車道笹子トンネルの天井板崩落事故を契機に、2013年を「社会資本メンテナンス元年」と位置付け、メンテナンスサイクルの確立に始まり、産学官民が一丸となってメンテナンスに取り組むインフラメンテナンス国民会議の設立など、様々な取組を行ってきた（図-1）。

2014年には「国土交通省インフラ長寿命化計画（行動計画）」（2014～2020年度）を策定し、これに基づき、インフラの老朽化対策に係る取組を推進してきた。また、当該計画は2021年6月に、「予防保全」への本格転換や新技術の活用、インフラの集約・再編の取組等を盛り込んだ内容に改定（2021～2025年度）したところである。

そして、「社会資本メンテナンス元年」から10年目を迎えた2022年には、社会資本整備審議会・交通政策審議会技術分科会技術部会において、これまでの老

朽化対策の進捗状況や地方公共団体の動向等を把握して、これまでの取組のレビューを行うとともに、今後のメンテナンスのあり方についてとりまとめられ、提言として公表された。

本稿では、国土交通省がこれまで行ってきた主な取組を交えつつ、インフラメンテナンスの現況と見通しについて説明するとともに、先日公表された今後のインフラメンテナンスのあり方に関する提言『総力戦で取り組むべき次世代の「地域インフラ群再生戦略マネジメント」～インフラメンテナンス第2フェーズへ～』の内容を紹介する。

①メンテナンスサイクルの確立	・予防保全の効果の推計 ・点検が一巡し早期に措置すべき施設の全体像の把握 ・個別施設計画を概ね策定 等
②施設の集約・再編等	・ガイドライン・マニュアルの整備 ・集約・再編の財政支援 等
③多様な契約方法の導入	・地域維持型契約方式 ・包括的民間委託の導入支援 等
④技術の継承・育成	・資格制度の構築 ・研修による人材育成 等
⑤新技術の活用	・インフラメンテナンス国民会議 ・新技術活用促進に向けた手引き 等
⑥データの活用	・各分野でのデータベース整備 ・国土交通データプラットフォーム 等
⑦国民の理解と協力	・インフラメンテナンス大賞 等

図-1 これまでの10年間の取組

2. インフラメンテナンスの現況と見通し

(1) 地方公共団体の抱える諸課題

我が国のインフラの現況としては、高度成長期以降に整備された道路橋、トンネル、河川、下水道、港湾等について、建設後50年以上経過する施設の割合が加速度的に増加している状況にある。

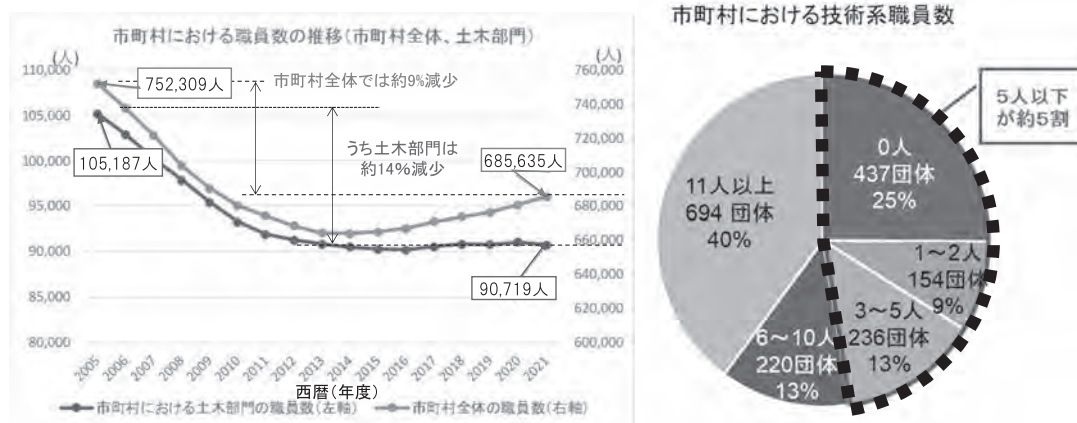
そのような中で多くのインフラを維持管理している地方公共団体、とりわけ、小規模な市町村などに目を向けると、これまでの取組で施設の点検が一巡し、施設の現況が把握できた一方で、土木職員の減少や十分な予算確保が困難といった課題が存在する。例えば、市町村における土木部門の職員数の減少割合は約

14%であり、市町村全体の職員数の減少割合よりも大きく、技術系職員が5人以下の市町村が全体の半分を占めている状況である(図-2)。さらに、市町村の土木費は、ピーク時の1993年の約11.5兆円から、2011年度までの間で約半分の6兆円に減少しており、その後もほぼ横ばいの状況が続いている(図-3)。

このような中で、措置が必要な施設数に対して、講ずべき補修・修繕が追い付いておらず、依然として事後保全段階にある施設が多数存在している(表-1)。

(2) 予防保全への転換の必要性

2018年11月、国土交通省は、経済財政諮問会議のワーキンググループにおいて、所管する分野のインフ



(地方公共団体定員管理調査結果より国土交通省作成)

図-2 市町村における職員数の推移

表-1 各分野における早期または緊急に対策が必要な施設数

分野 ^{*2}	点検対象施設数 ^{*3}	うち 要対策施設数
道路	橋梁	723,705 施設 (R4.3.31) / 61,407 施設 (R4.3.31)
	トンネル	11,032 施設 (R4.3.31) / 3,873 施設 (R4.3.31)
	道路附属物等	41,548 施設 (R4.3.31) / 5,565 施設 (R4.3.31)
河川 ^{*4}	堤防: 約 14,500 km 樋門・樋管, 水門, 堰: 約 8,600 施設 (R5.3.31)	堤防: 約 4,900 km 樋門・樋管, 水門, 堰: 約 2,300 施設 (R5.3.31)
砂防	砂防設備: 約 83,000 基 地すべり・急傾斜: 約 37,000 区域 (R2.3.31)	砂防設備: 約 3,000 基 地すべり・急傾斜: 約 6,000 区域 (R2.3.31)
海岸(海岸堤防等)	5,588 km (R4.3.31)	707 km (R4.3.31)
下水道(管路施設)	3,257 km (R4.3.31)	22 km (R4.3.31)
港湾	62,202 施設 (R3.3.31)	5,448 施設 (R3.3.31)
空港(土木施設 ^{*5})	80 空港 (R3.3.31)	9 空港 (R3.3.31)
航路標識	2,400 施設 (R2.3.31)	294 施設 (R2.3.31)
公園	87,933 施設 (R3.3.31)	24,204 施設 (R3.3.31)
公営住宅	2,162,484 戸 (H31.3.31)	1,150,506 戸 (H31.3.31)
官庁施設	8,727 施設 (R4.3.31)	904 件 ^{*6} (R4.8.19)

※1: 各施設数は括弧内の時点の数字

※2: 要緊急対策施設がない分野は除く

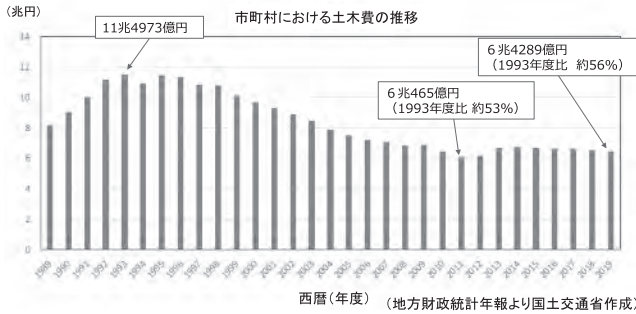
※3: 点検対象施設数には点検未了のものも含む

※4: 点検対象施設数, 要緊急対策施設数は直轄施設のみ

※5: 空港土木施設(幹線排水, 共同溝, 地下道, 橋梁, 護岸)

※6: 老朽を理由とした修繕計画のうち, 緊急を要すると判定された計画の件数

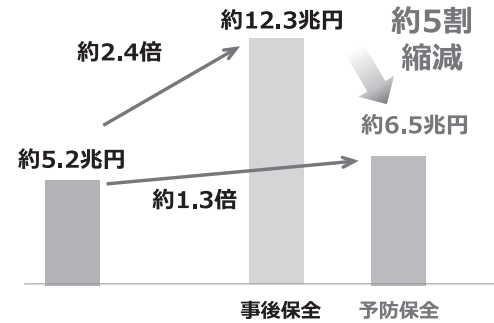
(国土交通省調べ)



図一 3 市町村の土木費の推移

ラについて、30年後までの維持管理・更新費の推計結果を示した。インフラの維持管理・更新について、不具合が生じてから対策を講じる「事後保全」から、不具合が生じる前に対策を講じる「予防保全」へ移行することにより、30年後の維持管理・更新費が約5割削減される見込みとなった(図一4)。この結果からも明らかとなり、今後、予防保全への転換を進めることにより費用の縮減・平準化を図り、持続的・効率的なインフラメンテナンスを推進することが必要である。

30年後(2048年度)の見通し



図一 4 「予防保全」の推計と「事後保全」の試算との比較 (長寿命化等による効率化の効果)

(3) 予防保全への転換の状況

点検を法定化し、施設点検が一巡したことで、インフラの老朽化の状況の全体像が把握できた。例えば、道路橋については、2014年から各道路管理者へ、5年に1回の頻度で点検を実施することが義務づけられており、2021年度末時点で措置が必要な施設(いわゆる「事後保全」段階にある施設)は61,407橋であった。

そのうちの多くは、地方公共団体が管理しており、未だ約45,000橋の措置が完了していない状況で(図一5)、予防保全に本格的に転換するには、まずはこれらに対する措置を早期に講じる必要がある。

また、毎年約7,000橋の措置が完了するものの、新

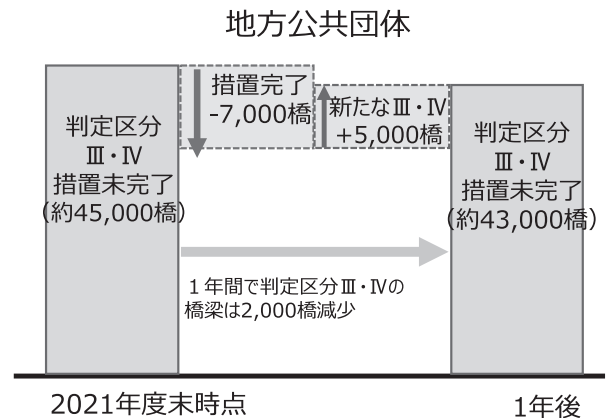
管理者 (点検数)	措置が必要な 施設数 (Ⅲ・Ⅳ判定)	(2021年度末時点)	
		着手済み	うち完了
全体 (722,176)	61,407	25,642 (42%)	10,763 (18%)
国土交通省 (37,867)	3,857	2,072 (54%)	470 (12%)
高速道路会社 (23,507)	2,878	1,248 (43%)	615 (21%)
地方公共団体 (660,802)	54,672	22,322 (41%)	9,678 (18%)

地方公共団体では未だ修繕等が必要な約45,000橋の措置が完了していない。
(54,672 - 9,678 = 44,994)

図一 5 修繕等措置状況

たに事後保全段階に移行する橋梁が約5,000橋発生するため、1年間で約2,000橋しか措置が完了しない。従って、これまでの予算水準では予防保全への移行までに約20年かかるという状況である(図一6)。

このように、インフラ老朽化対策は「待ったなし」の課題であり、2020年12月11日に閣議決定された「防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策」に基づき、予防保全型インフラメンテナンスへの転換に向けて、早期対応が必要な施設への集中的な老朽化対策を実施している。



図一 6 道路橋に対する措置の状況

3. 「地域インフラ群再生戦略マネジメント」の推進

(1) 「地域インフラ群再生戦略マネジメント」とは 地方公共団体における財政面・体制面の課題を踏まえ、国土交通大臣の諮問機関である社会資本整備審議会・交通政策審議会技術分科会の技術部会に設置された社会資本メンテナンス戦略小委員会において、これまでの老朽化対策の進捗状況や地方公共団体の動向等を把握して、これまでの取組のレビューを行うとともに

に、今後のメンテナンスのあり方に関して議論を重ね、提言『総力戦で取り組むべき次世代の「地域インフラ群再生戦略マネジメント」～インフラメンテナンス第2フェーズへ～』がとりまとめられ、2022年12月2日に技術部会長及び社会資本メンテナンス戦略小委員長から国土交通大臣へ提言が手交され、公表された。

提言では、これから取り組むべき施策の方針として、市区町村における財政面・体制面の課題を踏まえ、「地域インフラ群再生戦略マネジメント」（以下、戦略マネジメント）という考え方が示され、その推進が求められている。具体的には、地域特性や地方公共団体間の機能的なつながりなどを踏まえて複数市区町村を基本とした対象エリアを設定し、個別施設のメンテナンスだけでなく、複数・多分野の施設を「群」としてまとめて捉えた上で、地域の将来像に基づき将来的に必要な機能を検討し、個別インフラ施設の維持、補修・修繕、更新、集約・再編、新設等を適切に実施していく、地方のインフラメンテナンスのあり方を大きく変革する考え方である。

具体的には、計画策定プロセス及び実施プロセスに分けて取組を進めていくこととしている。

<計画策定プロセス> (図-7)

- ①市区町村の既存の行政区域に拘らない「地域」を設定し、その「地域」内に存在する複数・多分野のインフラを「群」としてまとめて捉える。

- ②地域の将来像に基づき、インフラ「群」の将来的に必要な機能（維持すべき機能／新たに加えるべき機能／役割を果たした機能）を検討。

- ③必要な機能を踏まえ、個別施設の修繕、更新、集約・再編等に関する計画を策定。

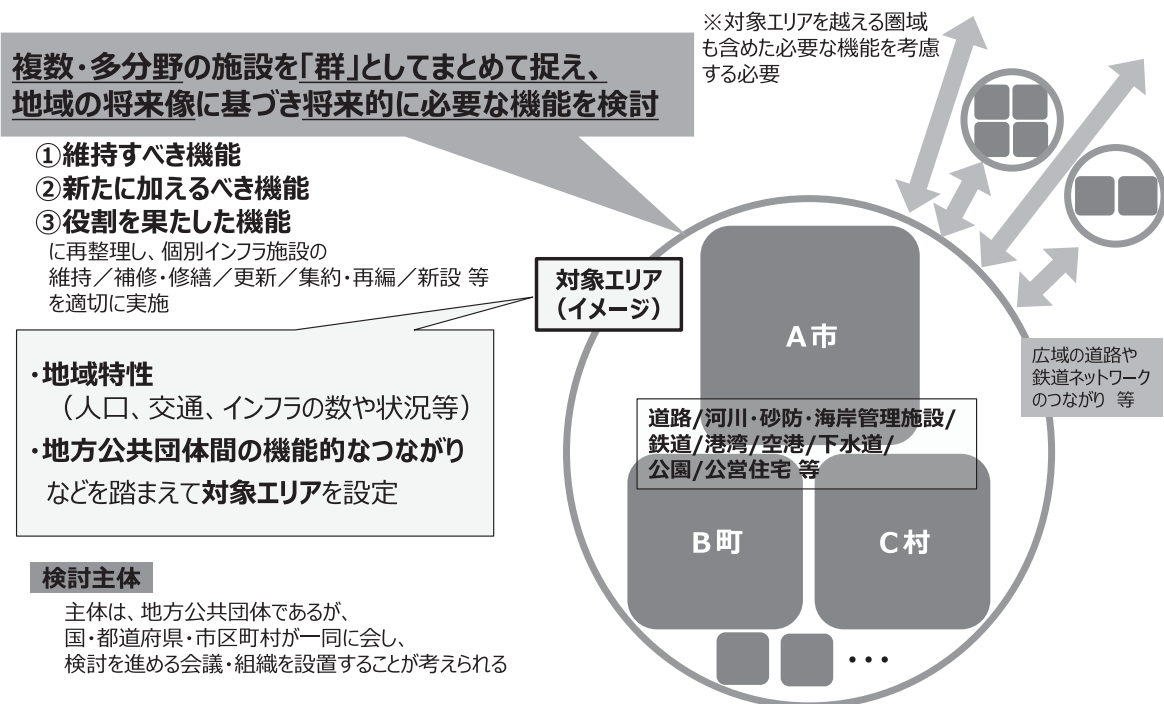
<実施プロセス> (図-8)

- ①業務を難易度、求められる能力等に応じて類型化。
- ②一定の技術力が必要な点検、修繕等は、複数・広域・多分野の業務の包括化により技術力を有する事業者を含む事業者連携により対応。
- ③日常的な維持管理等は、必要に応じ、JV等を活用しつつ、地域の実情に精通し、現場へのアクセス性に優れた地元事業者により対応。

この「戦略マネジメント」の考え方に基づく取組を推進することで、事業者及び市区町村がそれぞれ機能的、空間的及び時間的にマネジメントの統合を図り、持続可能なインフラメンテナンスを実現するものであり、多様な主体による「総力戦」での実施体制を構築した上で、計画的に取組を進める必要がある。今後はモデル地域での検討等を行いながら「戦略マネジメント」の普及に向けた取組を進めていきたい。

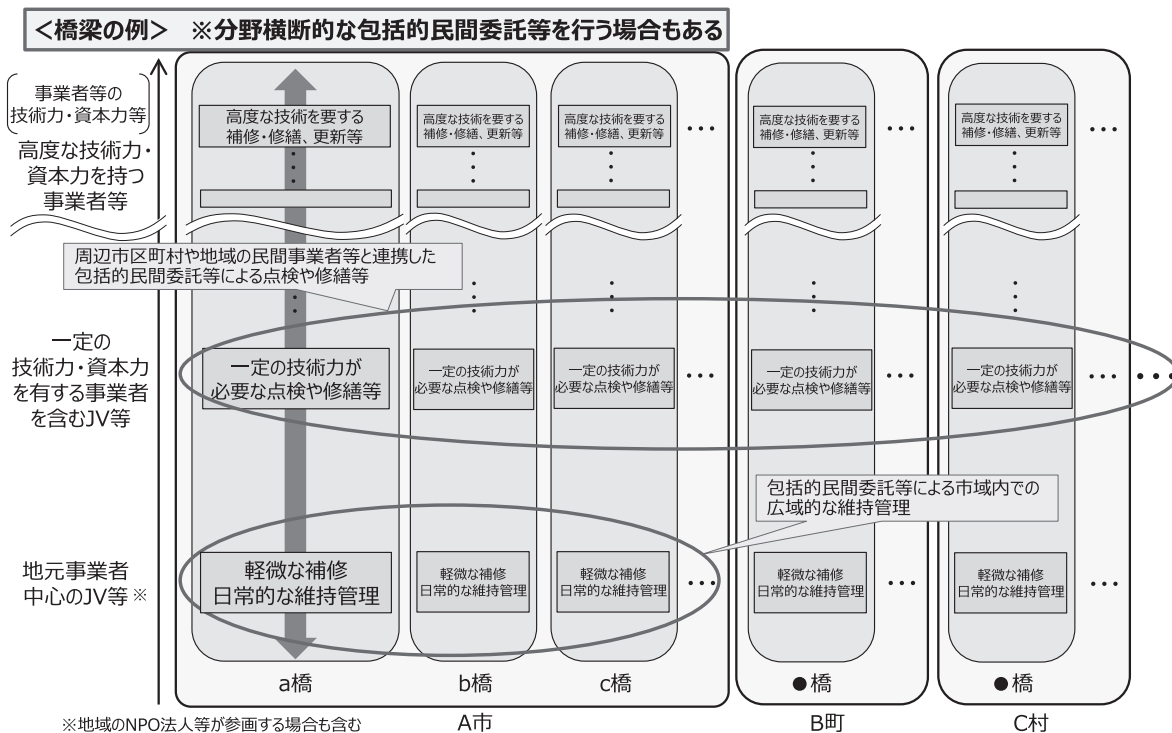
(2) 包括的民間委託の導入促進に向けて

インフラメンテナンスの高度化・効率化を図るため、国土交通省では地方公共団体における民間活力の活用手段として、特に包括的民間委託に着目してい



※例えば、規模の大きな市や、単一の地方公共団体からなる離島など、単一の市区町村で検討を進めることが適切な場合も考えられ、それぞれの地域の実情に応じて個別に判断

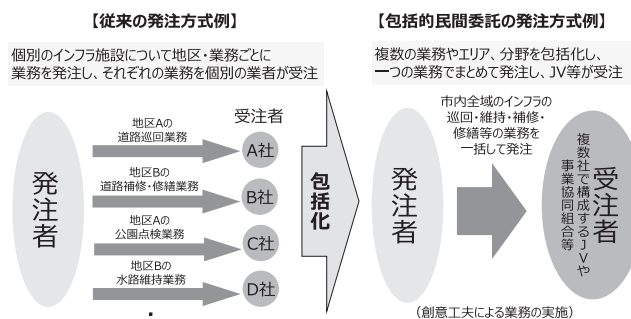
図-7 地域インフラ群再生戦略マネジメントの推進イメージ<計画策定プロセス>



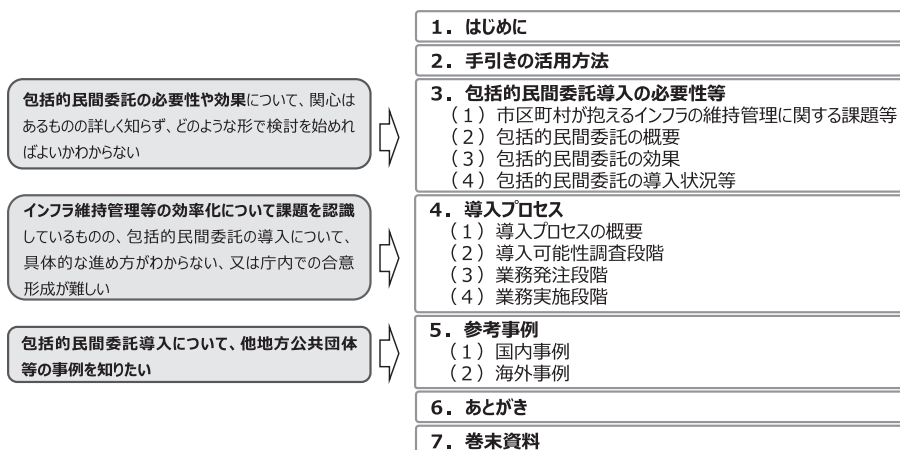
図一八 地域インフラ群再生戦略マネジメントの推進イメージ (案) <実施プロセス>

る。この方式は受託した民間事業者が創意工夫やノウハウの活用により効率的・効果的に業務を実施できるよう、巡回・維持など複数の業務や道路・公園など複数の施設をまとめて、地元建設会社等で組織する共同企業体 (JV) や事業協同組合などに委託する方式である (図一九)。現状、この方式は下水道分野以外では比較的導入事例が少なく、導入による効果が地方公共団体に十分に理解されていない現状がある。そのため、国土交通省ではモデルとなる地方公共団体への導入支援等を通じ、導入促進方策の検討を実施し、検討成果や先行事例を参考にしつつ、2023年3月に、「インフラメンテナンスにおける包括的民間委託導入の手引き」を取りまとめた (図一〇)。

今後、「戦略マネジメント」を推進していく上で、実施プロセスの体制として包括的民間委託の導入をより一層推進して参りたい。



図一九 包括的民間委託の概要



図一〇 包括的民間委託導入の手引きの構成

(3) 新技術の導入促進に向けて

国土交通省ではこれまで、インフラメンテナンス分野において、新技術の導入により作業の省人化・効率化を図ることが可能であることから新技術の導入促進に向けた取組を行ってきた。一方で新技術の導入にあたっては導入コストや内部調整段階での技術の有効性の判断等が課題となっている。特に新技術の活用の不慣れな小規模地方公共団体等にとっては、新技術の導入のノウハウが不足していると考えられる。そこで、2018年度から「官民研究投資拡大プログラム(PRISM)」を活用し、地方公共団体におけるモデルケースの実施を通じて、「インフラ維持管理における新技術導入の手引き(案) Ver0.1」を作成、2021年3月に公表したところである(図—11)。

また、新技術の活用を促進すべく、2021年度から、コスト縮減や省力化の見込まれる新技術等を活用する

事業に対して、補助金の優先支援の対象とするなど、財政的インセンティブの仕組みを導入している。

「戦略マネジメント」の取組を進めるにあたって、新技術の導入はインフラメンテナンスを高度化する重要な取組であり、引き続き導入を促進して参りたい。

4. おわりに

今後、提言を踏まえ、インフラメンテナンスに関わるあらゆる主体と連携して、10年前の笹子トンネル天井板崩落事故を受けて関係者が共有した危機感と緊張感を保ちながら、具体的かつ計画的に取組を展開していかなければならない。国土交通省としても決意を新たに、地方公共団体など関係者と連携して取組を進めていくことで、予防保全型インフラメンテナンスへの本格転換を図って参りたい。

J C M A

《参考文献》

社会資本メンテナンス戦略小委員会 HP
https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s201_menntenannsu01.html

【筆者紹介】

中村 憲明 (なかむら のりあき)
 国土交通省
 総合政策局 公共事業企画調整課
 企画第一係長



図—11 インフラ維持管理における新技術導入の手引き(案) Ver0.1

コンクリート床版内部の状態把握に向けた 新たな微破壊調査方法

渡 邊 晋 也・内 田 美 生・谷 倉 泉

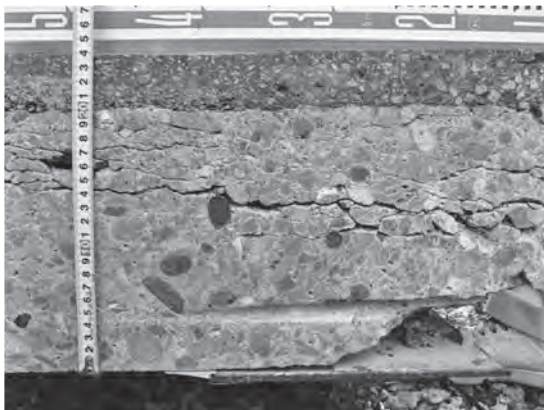
本稿は、コンクリート床版内部の状態把握に向けて確実に評価が可能な微破壊調査手法に着目し検討した① Single i 工法と② MDT 工法の概要について紹介するものである。本稿で紹介する微破壊調査手法は、コンクリート構造物へのダメージを最小限にした調査手法であり、コンクリート構造物の「点」における内部状態を的確に把握する技術である。一方で、これまでに一般的に行われている非破壊調査手法は、コンクリート構造物の「面」での評価を想定した技術であるが、コンクリートの不均一性から、得られたデータの解釈が難しいといった課題がある。そこで、非破壊・微破壊調査手法の両者を組み合わせることで、コンクリート構造物を多角的視点から総合的に診断することを目指して開発を進めている。

キーワード：コンクリート床版，内部調査，水平ひび割れ，微破壊調査

1. はじめに

近年、コンクリート床版内部の微細なひび割れは、床版の土砂化やアスファルトコンクリート舗装へのポットホール発生に起因すると考えられている。これまでコンクリート床版内部のひび割れは、鉄筋の腐食により発生すると考えられていたが、近年の調査では、鉄筋腐食起因のひび割れでは説明ができない写真—1のような微細な水平ひび割れが確認されている。これらの微細な水平ひび割れは、アルカリ骨材反応のようなコンクリート材料劣化によるひび割れや、寒冷地で生じる凍結融解作用による劣化の可能性が近年の研究で解明されてきている。

非破壊調査手法によるコンクリート床版の劣化・損傷調査方法として電磁波レーダを用いた方法がある。



写真—1 RC床版内部に発生した水平ひび割れ

電磁波レーダは、マイクロ波帯の電磁波がコンクリート中を一定速度で直進し、異なる媒体が接する境界面で反射する性質を利用している。コンクリート内部においては、鉄筋や空洞などの位置を特定することが可能な技術である。近年、コンクリート床版の取替判断の指標にも使用されてきている。

その一方で、電磁波レーダでは幅の小さなひび割れを直接検知することは難しいことが近年の研究で明らかとなってきている。このため、コンクリート床版の損傷をコンクリート中の「水」や「鉄筋の反射波の強度」で評価することが一般的となってきている。しかしながら、コンクリート床版には1994年ごろから防水工が設置され、コンクリート床版内部の「水」を調査するには、事前に水を散布するなどの対策が必要となったり、防水層が健全な場合、調査ができない可能性があるといった課題も挙げられている。また、鉄筋の反射強度についても、施工時のかぶり誤差等があることも、コンクリート床版内部のひび割れを推定することを難しくしている一要因である。

そこで筆者らは、ひび割れを直接視認することで、明確な結果を得ることが重要と考え、直接コンクリート内部を視認し、ひび割れの有無を確認する手法に着目した微破壊調査手法の確立に向けた検討を行ってきた。本手法はコアの採取などの削孔が伴うが、コンクリート床版に与える損傷をできる限り小さくすることに配慮して、なるべく小さな径で削孔することを開発目標とするとともに、現場で結果が直ぐに把握できる

ことを目標とした。

本微破壊調査手法は、コンクリート床版のいわば「点」での調査であり、電磁波レーダ法などの「面」での調査とは異なることから、筆者らは両調査手法を組み合わせることで、お互いの特徴を活かした調査技術として高い相補性を有していると考えている。

本報告では、コンクリート内部の微破壊調査手法として検討した2つの調査手法① single i 工法（NETIS：HK-150004-VE 令和4年度国土交通省推奨技術）と② Micro Destructive Test 工法（以下、MDT 工法と称す）について紹介する。

2. 微破壊調査手法の概要

(1) Single i 工法

Single i 工法は、コンクリート構造物に損傷をなるべく与えず、調査結果も現場で確認できる微破壊検査方法である。試験の作業フローを図-1に示す。本微破壊試験法は、水循環式ドリルを用いて、対象箇所にφ5mmの削孔をした後、浸透性の極めて高い特殊樹脂を一般的な注射器で注入する。特殊樹脂の硬化に要する時間は約20分程度であり、その間は静置する。樹脂硬化後、同一箇所にφ9mmで削孔した孔に、小径の工業用内視鏡（ファイバースコープ）を挿入して、孔壁を観察・記録する。コンクリート床版に開けた穴径は最大φ9mmとなり、コンクリート構造物に与えるダメージはほとんどないと考えられる。調査方法のイメージを図-2に示す。床版内部の状況を現場ですぐに視認できることから、速やかに補修・補強方法の検討に移行できる。さらに、報告書には、工業用内視鏡で得られた動画を写真-2に示すような柱状図に変換し、ひび割れ位置や変状位置などをわかりやすく示すことが可能である。

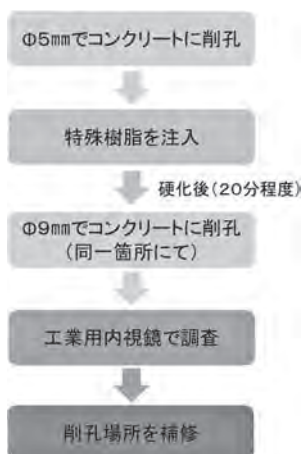
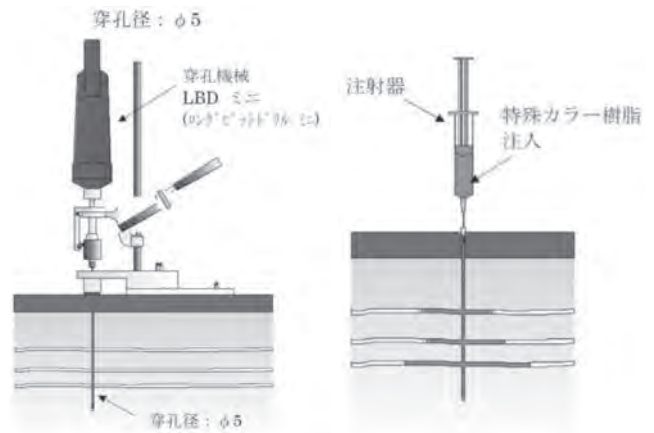
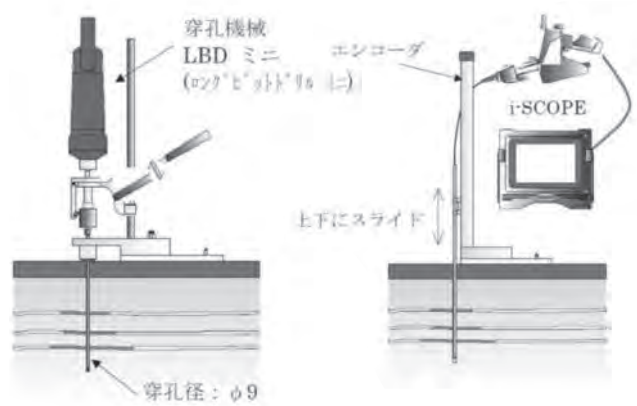


図-1 微破壊試験法のフロー



1) φ5mmでの削孔 2) 特殊樹脂の注入



3) 再度φ9mmで削孔 4) 内視鏡観察

図-2 調査のイメージ

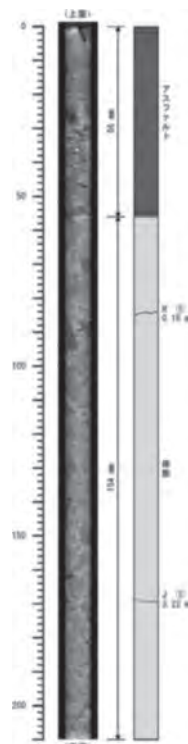


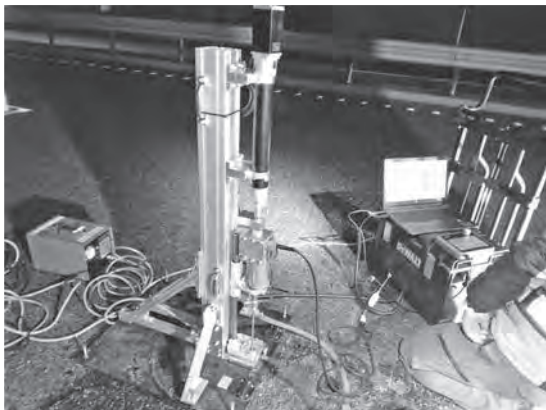
写真-2 コンクリート床版内部を柱状図で示した例

(2) MDT 工法

MDT 工法は、Single i 工法の簡易版として開発した。Single i 工法は幅が 0.05 mm 以上のひび割れを確認することが可能な工法であるのに対して、MDT 工法はさらに大きなひび割れ (0.5 mm 以上) の検知をターゲットにしている。細かなひび割れの検知精度は低くなるが、測定速度を上げることで、1 日の調査数を多くすることを開発目標のひとつとしている。また、ひび割れ調査以外にも、コンクリートの土砂化や豆板などの欠陥やコンクリートの硬さをグレーディングできるようにしている。MDT 工法の実施状況を写真—3 に示す。MDT 工法は、 $\phi 8.5$ mm のダイヤモンドビットを用いて、削孔時の荷重が一定になるように、ロボットシリンダーにより削孔荷重を制御している。ここでは、削孔時の削孔速度、ドリル回転数、ドリル消費電力量をサンプリング速度 10 Hz で取得し、それらとの関係からコンクリート内部の状態を把握するものである。また、削孔した孔壁を工業用内視鏡 (ファイバースコープ) を用いて観察することで、得られたデータとの比較をすることも可能となる。現在は、工業用内視鏡を用いて、最終的な診断を目視で行っているが、これまでのデータを教師データとして活用することで、AI による診断が可能となるよう開発を進めている。

3. 各微破壊調査手法で得られるコンクリート内部状況

Single i 工法および MDT 工法で得られたコンクリート床版の調査事例について紹介する。Single i 工法は積雪寒冷地で供用された撤去床版を用いて調査した結果を、MDT 工法は模擬ひび割れ試験体を作製し調査した結果を示す。



写真—3 MDT 工法の実施状況

(1) Single i 工法

寒冷地に設置されていた橋梁床版で、橋梁の架橋年次は昭和 40 年であり、供用開始から本調査の実施までに 46 年間供用されていた床版である。床版上面の一部では砂利化、切断面からは微細なひび割れを有することが確認できている床版である。微細なひび割れを写真—4 に示す。写真中の矢印は、微細ひび割れを示す。

(a) 調査概要

調査は、アスファルトがある床版上面と、床版下面からの 2 方向から実施した。調査は、図—1 に示した微破壊試験法のフローに準拠している。

(b) 調査結果

①床版上面からの調査結果

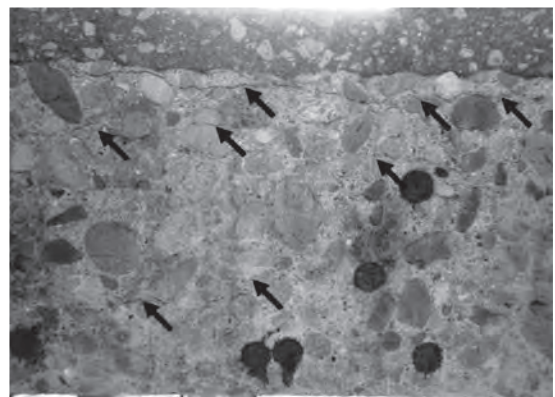
本調査での支障となりうると思われるアスファルトコンクリートが残存している場合であったが、調査の結果、削孔には特に問題もなく、コンクリートと同様にアスファルトコンクリートも削孔することができた。また、特殊樹脂についても、注入漏れなどは無く、コンクリート内部の微細な水平ひび割れに充填できていることが確認できた。工業用内視鏡で観察したコンクリート内部の微細な水平ひび割れ状況を写真—5 に示す。コンクリート内部に多数の水平ひび割れが確認されている。

②床版下面からの調査結果

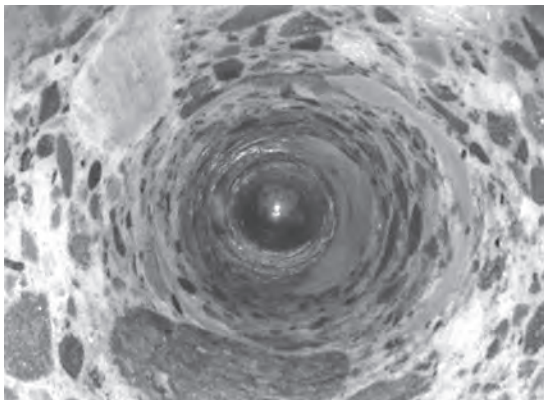
床版下方からの調査では特殊樹脂が注入できるかどうか懸念された。調査の結果、ひび割れには特殊樹脂が注入され、ひび割れを観察することが可能であったことから、上面から実施する場合と同様の結果が得られることが確認された。

③撤去床版のまとめ

本試験では、現場を模擬した方法で床版上面および床版下面からのコンクリート内部の微破壊調査を行った結果、両者ともに調査が行えることが確認できた。



写真—4 微細ひび割れの状況



写真一五 撤去床版内部に発生している水平ひび割れ

また、コンクリート内部に発生していたひび割れ幅は写真一五に示すように0.11 mm～0.92 mmであった。

(c) まとめ

従来のコア採取による調査方法と比べ、本研究で提案した微破壊試験方法の方が、構造物に与える影響を極めて小さくできることや、調査結果が得られるまでの時間を短縮することができたことから、効率の良い調査を実施することが可能となった。

(2) MDT 工法

MDT 工法の検討では、人工的に模擬ひび割れを導入した試験体により検討を行った。その結果を以下に述べる。

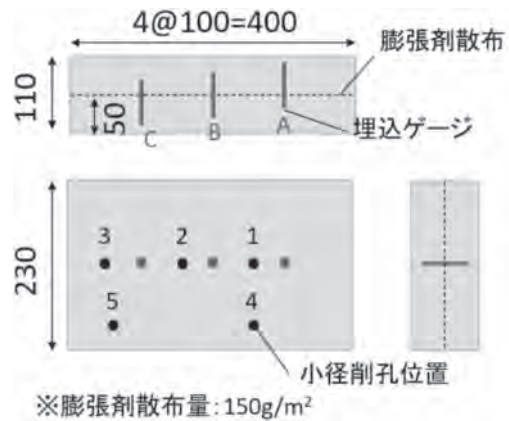
(a) 試験体概要

RC 床版の水平ひび割れを模擬した試験体を製作し、MDT 工法による微破壊調査を実施した。試験体概要を図一三に示す。試験体は、幅 230 mm × 長さ 400 mm × 厚さ 110 mm の無筋コンクリートであり、コンクリートを高さ 50 mm まで打設し、その上面に膨張剤を散布後、さらに高さ 110 mm までコンクリートを打設したものである。打設完了後、想定される水平ひび割れに直交するようにあらかじめ設置した埋込ゲージのひずみ量の経時変化を確認して、水平ひび割れ発生状況を観察した。試験体における水平ひび割れの発生状況を図一四に示す。水平ひび割れは、図一四 a) のように試験体の 4 側面から確認できており、最終的には試験体の MDT 工法調査終了後、試験体を切断して水平ひび割れが生じていることを確認した。

(b) 調査概要

MDT 工法では、図一五に示すような小径削孔測定機を用いた。削孔は、水循環式ドリルを用いており、147 N の押付け力でコンクリートを削孔している。また、切削速度は、最大でも 4 mm/s になるように行っている。ドリル径はφ8.5 mm と小径であり、RC 床版

に与える影響は小さい。削孔深さは、試験体を貫通させないように 105 mm 程度とした。その後、孔内を工業用内視鏡により、エンコーダを用いて深さ方向の位置も計測しながら、孔内撮影を実施した。小径削孔に

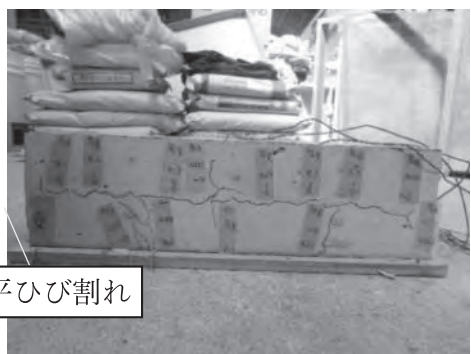


a) 試験体寸法

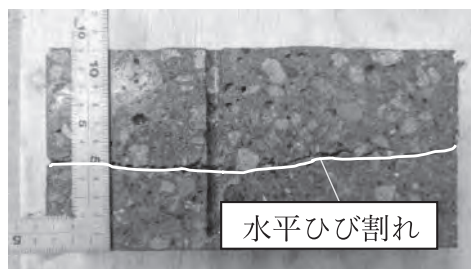


b) 試験体 (削孔後)

図一三 試験体概要

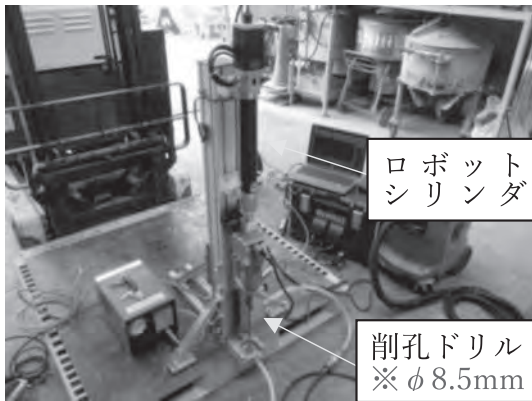


a) 試験体側面のひび割れ状況

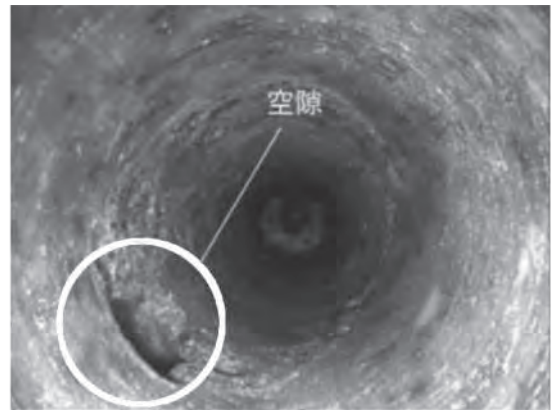


b) 試験体切断面

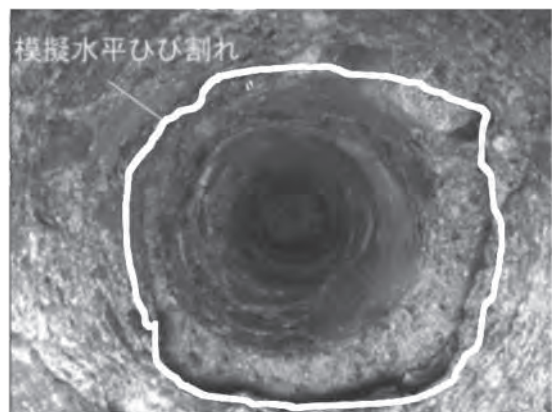
図一四 水平ひび割れ発生状況



図一五 小径削孔測定機



a) 空隙



b) 水平ひび割れ

図一七 孔内の状況

よる調査時期は、試験体に埋設したモールドゲージによるひずみが安定したことを確認してから実施した。図一六に打設から測定したモールドゲージの結果を示す。このように、コンクリート内部でもひび割れが生じていることがわかる。

(c) 調査結果

工業用内視鏡の撮影した代表的な損傷および欠陥の画像を図一七に示す。図から空隙や水平ひび割れを確認することができる。また、画像計測によりひび割れ幅を計測した結果を表一に示す。各孔内の水平ひび割れ幅は、0.78 mm～1.88 mmであった。

次に削孔速度の計測結果を図一八および図一九に示す。削孔速度が約2 mm/sより小さい箇所では、粗骨材等空隙が少ない健全部であり、削孔速度が2 mm/s以上の、特に急激に削孔速度が上昇している箇所では、空隙あるいはひび割れが生じていた。すべての削孔箇所の水平ひび割れ位置で削孔速度が急上昇している箇所が確認できており、水平ひび割れを検知することができることがわかる。削孔箇所1, 2, 3では膨張剤散布位置よりも5 mm程度深い位置で水平ひび割れが生じている結果であったが、これは図一四b)でも確認できる通り骨材とマトリックスの界面で水平ひび割れが生じており、膨張剤散布位置から水

表一 水平ひび割れ幅

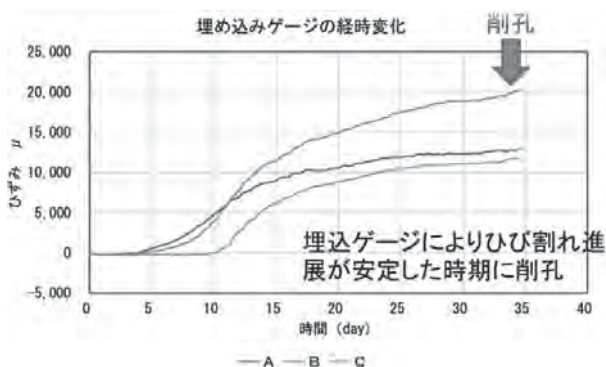
削孔箇所	1	2	3	4	5
ひび割れ幅 (mm)	1.36	1.79	1.22	0.78	1.88

平ひび割れ位置が上下に変動しているためである。また、削孔箇所2と削孔箇所3では、水平ひび割れ幅に0.57 mmの差があるが、削孔速度との関係は不明瞭であった。削孔箇所4については、深さ15 mm～75 mmの範囲では、削孔速度が大きい、空隙を多く含むコンクリートであった。削孔箇所によらず、水平ひび割れ箇所と空隙箇所の削孔速度には大きな差は見られず、明確に判別することができなかった。これらの結果から、削孔速度でコンクリートの健全部と損傷・欠陥部の判定が可能であり、RC床版のコンクリートの劣化度を評価できる可能性が示唆された。

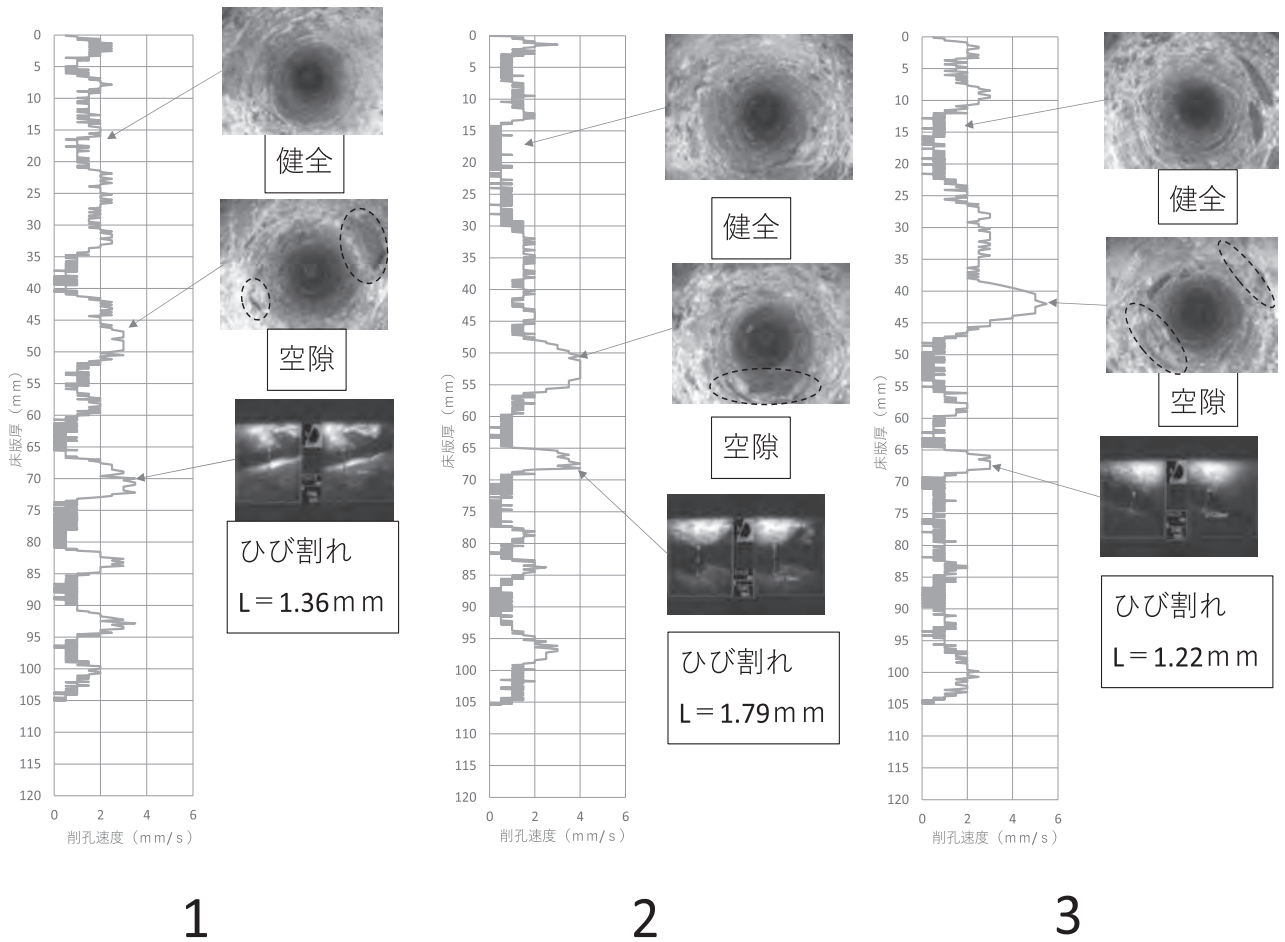
(d) まとめ

下記に模擬試験体のMDT工法を適用し調査結果より得られた知見を述べる。

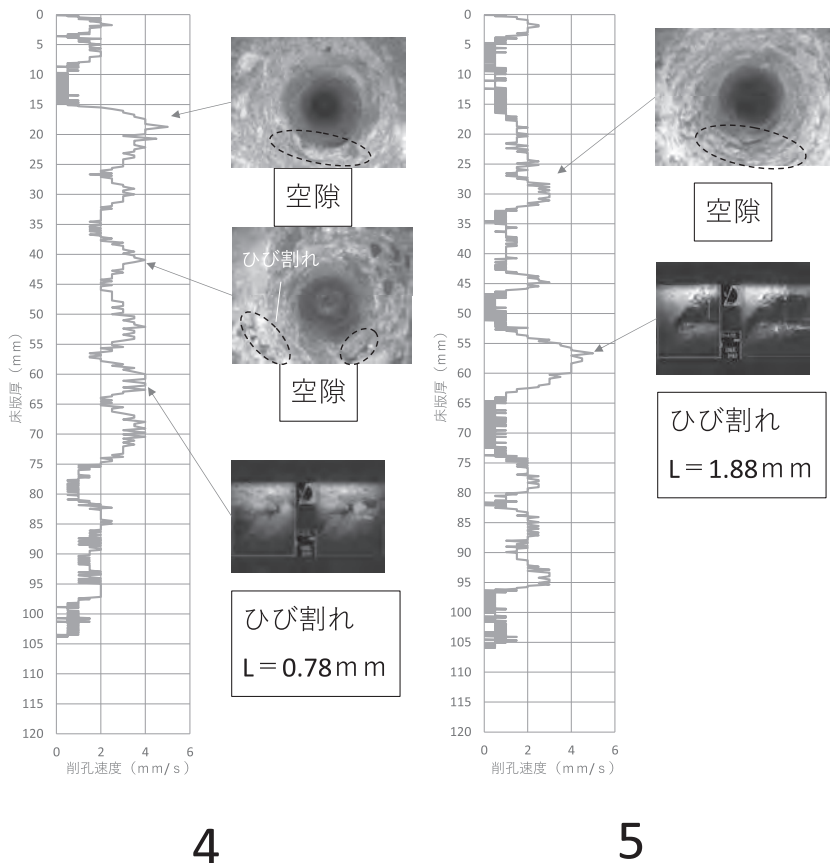
- ①削孔速度から水平ひび割れを検知することが可能であった。また、空隙が生じている箇所でも削孔速度が急上昇しており、空隙部も検知できることがわ



図一六 埋込ゲージにおけるひずみの経時変化



図一八 削孔速度および孔内の状況 (削孔箇所 1, 2, 3)



図一九 削孔速度および孔内の状況 (削孔箇所 4, 5)

かった。

- ②空隙のような欠陥部と水平ひび割れのような損傷部で削孔速度に明確な差がなく、判別は難しい。しかしながら、削孔速度により、孔内の健全部と損傷・欠陥部を判別することが可能であり、RC床版のコンクリートの劣化度を評価できる可能性を示した。

4. 今後の展開

コンクリート内部の状態把握技術について、超音波や弾性波などの非破壊技術で把握する調査手法は多数提案されているが、コンクリートの品質は均一ではなく、得られたデータの解釈が難しい事例も多々ある。そこで、当研究所では直接内部を見て診断するほうが的確に診断できると考え、微破壊調査手法について提案し、検討してきた。本報告では、微破壊照査手法として、①Single i 工法と②MDT 工法について説明を行ったが、これら調査手法には、まだ改良の余地がある。今後、本文でも触れているように、AIによる診断を行うことで、よりの確にコンクリートを診断することが可能となると考えている。

一方で、両手法ともコンクリート構造物の「点」における状態を把握しているが、従来から提案されている「面」での評価手法である非破壊検査技術の向上にも期待したい。非破壊と微破壊を組み合わせることで、的確なコンクリート構造物の維持管理・診断につながると考えている。最後に本稿は既報の論文に加筆・修正をしたものであることを付記するとともに、本報

告がコンクリート構造物の維持管理・診断の高度化につながる一助となることを願っている。

JICMA

《参考文献》

- 1) 渡邊晋也, 佐藤智, 平田康夫, 谷倉泉: コンクリート内部に発生した微細ひび割れの微破壊試験方法, 平成 26 年度秋季講演大会講演概要集, pp.119-122, 2014
- 2) 渡邊晋也, 佐藤孝司, 角間恒, 谷倉泉: 積雪寒冷地における RC 床版の非破壊・微破壊調査事例, 第九回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.69-72, 2016
- 3) 菊地新平, 渡邊晋也, 内田美生, 谷倉泉: 小径削孔時の削孔速度変化を用いたコンクリート床版内部の水平ひび割れ検知技術, 第 12 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.95-98, 2022

【筆者紹介】



渡邊 晋也 (わたなべ しんや)
(一社) 日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所 研究第二部
副主幹



内田 美生 (うちだ よしお)
(一社) 日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所 研究第二部
技術主幹



谷倉 泉 (たにくら いずみ)
(一社) 日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所
技師長

超高耐久床版による床版取替工事

蓼野第二橋（下り線）床版取替工事

岡野 雅・福田 泰樹・木寺 久幸

超高耐久床版は、高強度繊維補強コンクリートを適用したリップ付き床版構造をアラミド FRP ロッドによるプレストレス力のみで補強したプレキャスト PC 床版である。すなわち、コンクリート構造の補強材である鉄筋や PC 鋼材などの腐食の可能性がある金属製材料を排除している。本構造の開発は 2017 年に着手され、輪荷重走行試験によって床版の疲労耐久性を照査するとともに、各種構造実験や実証橋建設によって耐荷性能や構造安全性を検証してきた。そして、中国自動車道蓼野第二橋（下り線）の床版取替工事においてはじめて超高耐久床版が実装された。本稿では、超高耐久床版の開発プロセスや実橋適用における技術的課題に対する施策について報告する。

キーワード：床版取替工事、プレキャスト PC 床版、高強度繊維補強コンクリート、アラミド FRP ロッド、プレストレス

1. はじめに

日本の高速道路では、高度経済成長期以降に急速に整備された道路橋の劣化が深刻な問題となっており、補修補強や架け替え、床版取替工事などに伴う補修・更新費が増大している。特に沿岸部での潮風や山岳地における凍結防止剤散布による塩害で鋼材腐食が顕在化しており、構造的な性能低下やコンクリート片の剥落などの第三者被害が生じた事例が報告されている。一方で、少子高齢化に伴い、技術者不足も深刻化している中で激甚化・頻発化する自然災害に対する被害の最小化や迅速な機能回復のためには効率的かつ戦略的な維持管理が必要不可欠である。そのため、道路橋床版をより耐久性に富んだ構造とし、維持管理の負担を低減させることが有効と考えられる。

このような社会背景を鑑み、鉄筋や PC 鋼材などの金属製材料を使用しないことで腐食劣化の可能性を抜本的に解決した超高耐久床版を開発し、2021 年に蓼野第二橋（下り線）において本構造が初めて実用化された。

本稿では、超高耐久床版の実用化にあたって、施工での課題の検討と解決手法を報告する。

2. 超高耐久床版の構造概要

超高耐久床版の構造を図-1 に示す。

超高耐久床版は、ポリビニルアルコール（PVA）

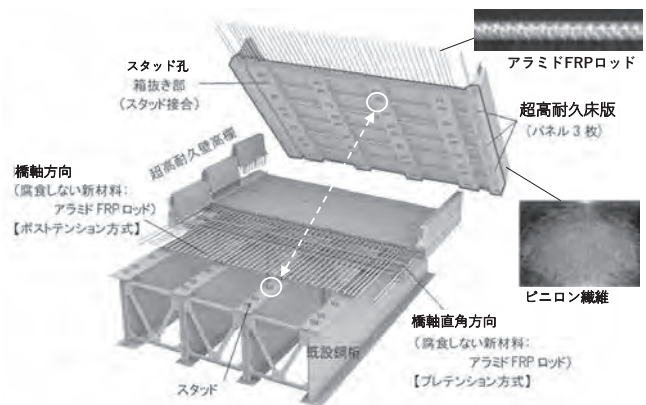


図-1 Dura-Slab 構造概要

短繊維を使用した設計基準強度 80 N/mm^2 の高強度繊維補強コンクリートを用いたリップ付きプレキャスト PC 床版構造で、通常の PC 床版よりも高い引張強度と靱性を付与し、緻密なコンクリート組織によって劣化因子が浸入困難な床版構造を実現した。また、アラミド FRP ロッド（Aramid Fiber Reinforced Polymer, アラミド繊維をビニルエステル樹脂で固めたもの）によるプレストレスを導入することで床版に発生する引張力を制御し（フルプレストレス）、鉄筋や PC 鋼材などの腐食性のある金属製材料を排除した。

床版パネル同士の接合構造について、通常の PC 床版では継手筋を使用した接合構造が主流であり、幅 500 mm 程度の間詰部を必要としている（図-2 (a)）。一方で、超高耐久床版では超低収縮・超高強度型モル

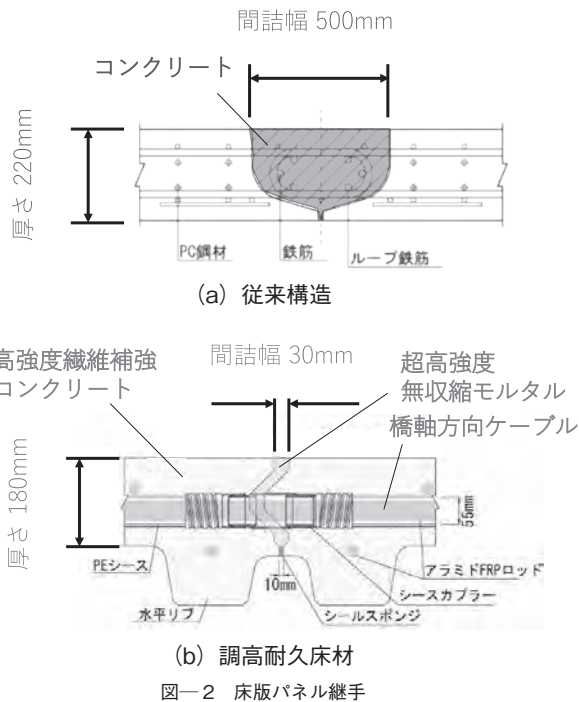


図-2 床版パネル継手

タルと橋軸方向に配置したアラミド FRP ロッドによるプレストレスで一体化を図っている (図-2 (b))。プレストレスによる接合のため、継手筋が不要であることから間詰部の幅が 30 mm 程度に最小化され、施工工程の短縮と高耐久な床版構造を実現している。

超高耐久床版の鋼桁との接合は汎用的なスタッドを使用しているが、従来構造で採用される床版の上下面を貫通するスタッド孔 (図-3 (a)) を適用せず、床版パネルの下面に箱抜き孔を設け、架設前に鋼桁に溶植したスタッドを箱抜き内に収め、無収縮モルタルで接合する施工法を考案し、適用した (図-3 (b))。この構造により、上面に開口を設けない高耐久な床版

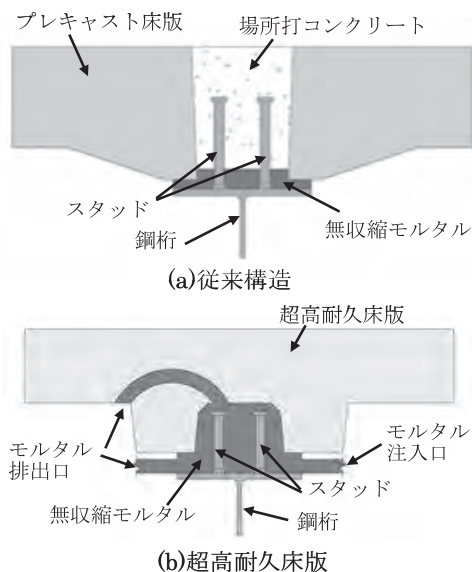


図-3 床版-鋼桁接合構造

を実現し、床版内部や鋼桁へ劣化因子が浸入する経路を排除した。

また、橋梁付属物である壁高欄には床版パネルと同様の高強度繊維補強コンクリートを適用し、ガラス繊維製 FRP ロッドを補強材として用いる超高耐久壁高欄を採用することで、主要部材の完全非鉄化を実現した。

3. 超高耐久床版の開発

(1) 床板本体の耐疲労性

道路橋床版は重交通による疲労損傷が懸念される。超高耐久床版は水平リブを設けることで剛性を高めているが、補強鉄筋や PC 鋼材を一切配置せず、高強度繊維補強コンクリートとアラミド FRP ロッドによるプレストレスのみで補強されているため、疲労に対する抵抗機構が通常の PC 床版とは異なる。そこで、実物大試験体の輪荷重走行試験により、疲労耐久性を検討した (写真-1) ¹⁾。

載荷方法は鉄輪による 1 軸載荷とし、床版パネルの支間中央部を橋軸方向に往復走行をさせた。載荷荷重は日本で最も重交通な路線である東名高速道路における供用年数 100 年以上相当を考慮し、200 kN×20 万回および 250 kN×10 万回とした。また、載荷荷重を段階的に増加させて 450 kN まで輪荷重走行試験を行い、さらなる疲労耐久性を検証した。

試験の結果、供用年数 100 年相当の載荷では残留変位や目開きは発生せず、さらに 450 kN での輪荷重走行試験の結果、鉛直変位は試験体の床版厚 180 mm に対して 0.2 mm 程度であったことから剛性の低下率が非常に小さいことが確認された。更に、試験終了時点の 450 kN の載荷荷重での床版パネル間詰部の目開きは 0.1 mm であり、これは除荷後に閉じたことから、床版の復元力が高いことが明らかになった。また、試験終了後に床版パネル間詰部の上面で水張り試験を実



写真-1 輪荷重走行試験

施したが、水漏れは一切確認されなかった。

これらより、超高耐久床版が十分な耐疲労性を有していることを確認した。

(2) 鋼桁接合構造の耐荷性能

通常のPC床版ではスタッド孔の周りに補強鉄筋が設置されているが、超高耐久床版の場合は内部鋼材を一切排除することを原則としているため、スタッド孔の周りに補強鉄筋を配置することが出来ない。したがって、超高耐久床版と鋼桁の接合部の性能について通常のPC床版の接合部と比較し、照査した²⁾。

本試験では、図-4に示す接合構造を模擬した試験体を使用した。床版パネルを模擬したコンクリートブロックを固定し鋼桁に荷重を載荷し耐荷性能を確認した。超高耐久床版は床版下面に箱抜きを設けたスタッド孔へ無収縮モルタルを注入して一体化する施工法であるため、実際と同一条件で試験体を製作し無収縮モルタルの充填性の影響についても試験で確認した。

試験の結果、超高耐久床版は通常のPC床版の接合構造の定着耐力の1.3倍程度の性能を保有していることが確認できた。また、終局時には、せん断力によるスタッドの破断が発生したが、コンクリート本体部は破壊されなかった。

以上から、超高耐久床版の接合構造は通常のPC床版の接合構造と同等以上の耐荷性能を保有しているといえる。

(3) 実証橋の建設

超高耐久床版による床版取替工事は通常のPC床版と製作および架設の方法が異なるため、支間長10m、幅員6mの実証橋を、コンクリート2次製品を製造する工場の敷地内に建設し、製作から架設までの一連の施工性を確認した。また、実証橋を建設した工場にて約3ヶ月間供用し、供用前後における車両載荷試験によって設計応答値と対比し、構造全体の安全

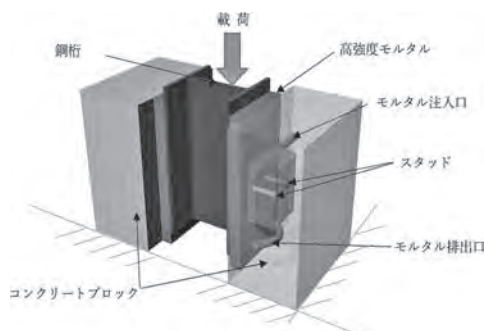


図-4 鋼桁接合構造試験体



写真-2 車両載荷試験

性について検証した(写真-2)³⁾。

製作ではコンクリートの自己収縮やプレストレスの導入による弾性短縮に伴う鋼製型枠の拘束の影響を考慮した型枠構造を検討し、その対策を確認した。床版パネルの架設作業では、橋軸方向のアラミドFRPロッドを配置するPEシース接続のための引寄せ手順やスタッド孔の施工性を確認した。床版パネルの支持は、プラスチック製のシムプレートで床版パネルと鋼桁に設置し、複数の板厚材料を組み合わせることで支持高さを調整する手順を確立した。なお、本実証橋の架設を通じて確認された課題やその対策案は実橋設計における構造細目や床版製作・施工管理にフィードバックできた。

車両載荷試験では供用前後ともに設計応答値が得られたことから、本構造の全体安全性が確認できた。これらの開発の取り組みにより、超高耐久床版の実用化を判断した。

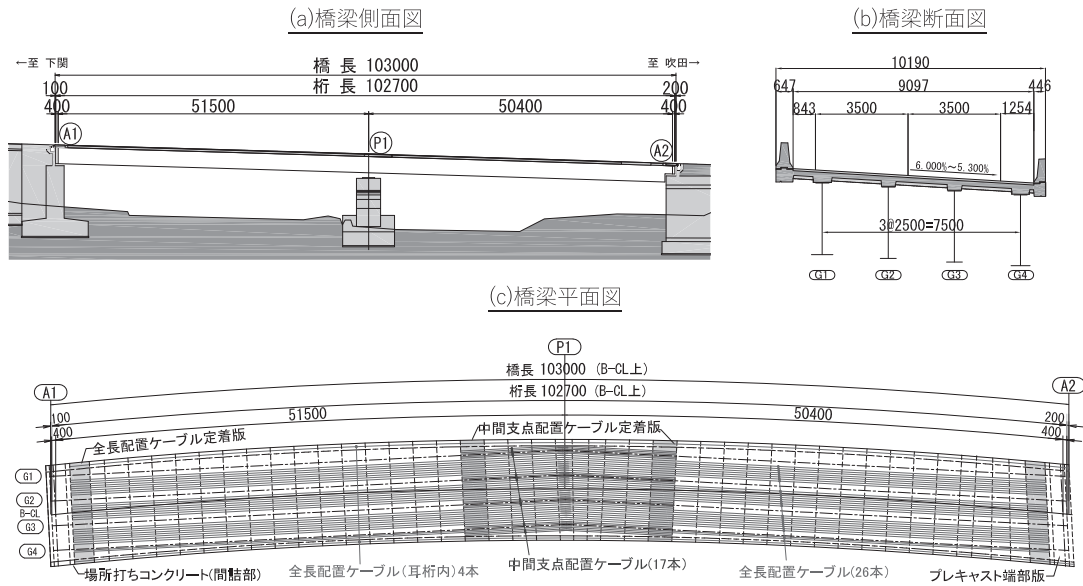
4. 超高耐久床版の実装

(1) 蓼野第二橋(下り線)への適用

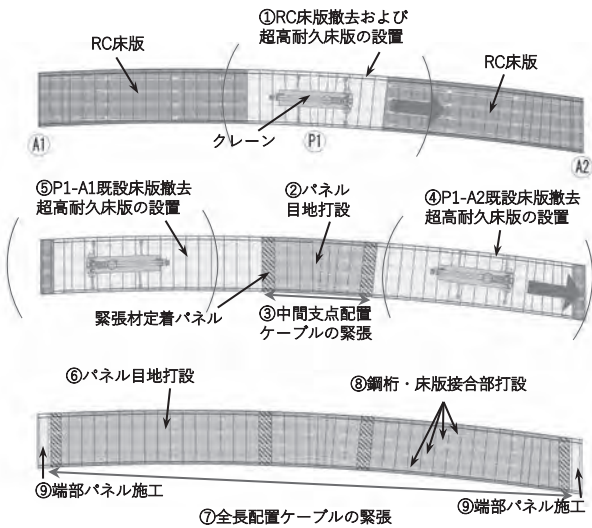
開発した超高耐久床版は中国自動車道の六日市IC～鹿野IC間に位置する橋長103m、幅員10.2mの鋼2径間非合成鈹桁橋である蓼野第二橋(下り線)への適用が決定した(図-5)。本区間は、凍結防止剤の累積散布量が1,000t/km以上の区間であり、凍結防止剤の影響によって床版内部の鉄筋腐食によるコンクリートの剥離、漏水や土砂化が確認されていた。床版劣化の抜本的な対策として、また厳しい腐食環境下における将来的な耐久性照査のために、本橋梁の床版取替工事において超高耐久床版が適用されるに至った。

(2) 蓼野第二橋(下り線)の施工計画

本橋では施工難易度の高い床版下面でのアラミドFRPロッドの緊張作業を回避し、経済的かつ効率的に負曲げ区間となる中間支点部を補強するため、図-5(c)に示す緊張材配置とし、施工計画を立案した(図



図一五 蓼野第二橋下り線一般図



図一六 蓼野第二橋（下り線）施工手順

一六)。本橋では、中間支点部の約 20 m 区間（1 次ケーブル）と全長部の約 100 m 区間（2 次ケーブル）とに分割して橋軸方向のアラミド FRP ロッドを配置しているため、中間支点部から床版取替に着手する計画とした。

全体施工計画における詳細手順は以下のとおりである。

- ①中間支点部の既設 RC 床版の撤去および超高耐久床版の架設
- ②床版パネル間の間詰モルタル打設（中間支点部）
- ③中間支点部 1 次ケーブルの挿入，緊張定着
- ④既設 RC 床版の撤去および超高耐久床版の架設（P1-A2）
- ⑤既設 RC 床版の撤去および超高耐久床版の架設（A1-P1）

- ⑥床版パネル間の間詰モルタル打設（全長部）
- ⑦橋梁全長の 2 次ケーブルの挿入，緊張定着
- ⑧床版と鋼桁とのモルタル接合
- ⑨端部版設置，端部間詰部コンクリート打設

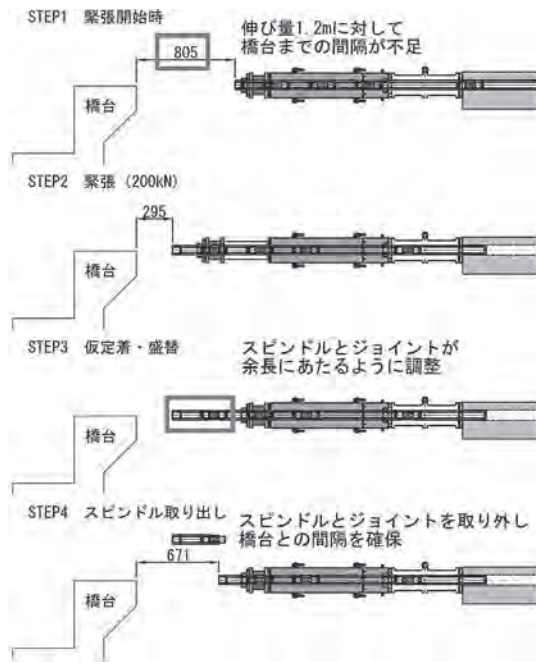
5. 超高耐久床版の実用化における技術的課題と対策

超高耐久床版の施工計画を立案するにあたり，新たな技術的課題の抽出と対策を講じた。各課題に対する施策について，以下に概説する。

(1) 長さ 100 m のアラミド FRP ロッドの実物大試験施工

橋梁全長に配置する 2 次ケーブルの延長は約 100 m におよぶ。しかし，アラミド FRP ロッドの緊張工について，30 m 以上の施工実績は過去にないため，PE シースを埋め込んだコンクリートブロックを連結させることで本橋の構造を模擬した 100 m の試験体を製作し，全長配置ケーブルの試験施工を実施した。

アラミド FRP ロッドは鋼材よりヤング係数が小さく，緊張時の伸び量が大きくなることから後方との離隔が限られた緊張空間では作業が困難である。そこで，本橋では，アラミド FRP ロッドをモルタル定着した鋼製定着具に長さ方向に分割可能な同径のスピンドルを接続し，これらをジャッキで緊張するシステムを採用した（図一七）。これにより，盛替え時（STEP3）緊張作業に不要なスピンドルを取り外せる（STEP4）ため，狭隘な緊張空間においても作業を可能となった（写真一三）。



図一七 アラミドFRPロッド緊張システム



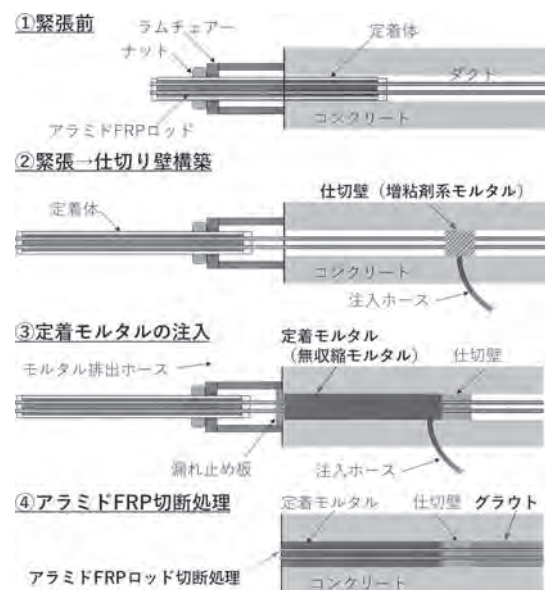
写真一三 アラミドFRPロッド緊張状況

本試験施工の結果、アラミドFRPロッドの展開から挿入、緊張、定着までの一連の作業が円滑に行えることを確認し、実橋における橋軸方向のアラミドFRPロッドの作業手順や摩擦係数など緊張管理に必要なパラメータを策定した。

(2) アラミドFRPロッド定着構造の検討

アラミドFRPロッドの定着は、PC鋼材で用いる鋼製楔などの定着具を使用せず、床版パネルのコンクリート素地製のダクトに無収縮モルタルで付着定着する手法を採用しているため、緊張後に床版内部に金属部品が残留しない。一方で、長さ100mにわたってダクト内に無収縮モルタルを充填することは困難である。そのため、無収縮モルタルの充填する範囲を定着に必要な区間に限定し、それ以外の区間はPCグラウトを充填する方法を考案、採用した。

5. (1) で示した実物大試験施工では、無収縮モルタルとPCグラウトを注入途中で材料を連続的に入れ替えて充填する手法を適用した。しかし、中間部に注入したPCグラウトから無収縮モルタルに置換する際、アラミドFRPロッドの付着定着を阻害するPCグラウトの残留が確認されたことから、この手法の採用は見送った。そこで、本橋ではダクトの中間部に増粘剤系モルタルを先行注入することで仕切り壁を構築し、無収縮モルタルとPCグラウトの注入作業を分離する施工法を採用した(図一八)。これにより、アラミドFRPロッドの確実な付着定着区間を確保するとともに、段階的な施工手順の確立により施工の確実性と定着部の品質を担保した。



図一八 アラミドFRPロッド緊張手順

(3) 床版架設に関する工夫

超高耐久床版では完全非鉄化と完成後の耐久性向上のため床版パネル上面に開口部を設けない構造を実現することとしている。そこで、床版パネルの小口面に純セラミック製インサートを設置し、吊上げ用プレートをボルトで固定し架設する方法を考案、採用した(図一九)。

実橋では、実証橋と異なり8箇所床版パネルを吊上げ支持し、縦横断勾配に対応させながら架設を行う(写真一四)。そのため、架設時に過大な局所応力が床版に作用しないように4基の滑車を用いて、各支持点が均等な張力となるように配慮した。本吊上げ方法は、事前に実物大モデルの床版架設実験を行い、引張荷重計を用いて各張力を計測し、計算値に概ね一致することを確認した。

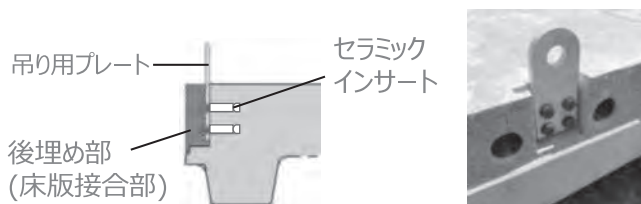


図-9 吊上げ治具



写真-4 床版吊上げ

6. おわりに

腐食劣化の要因となる鋼材を使用しない超高耐久床版を蓼野第二橋(下り線)において初めて実用化した。超高耐久床版の構造により、従来の耐久性に関する概念を抜本的に覆し、飛躍的な長寿命化の実現が期待される。

超高耐久床版は通常の PC 床版よりも長期にわたって将来の大規模な補修補強や取替工事が不要である。そのため、維持管理における人的および経済的負荷を低減するとともに、補修工事に伴う CO₂ 排出量を削減できる。したがって超高耐久床版は社会的側面、経済的側面および環境的側面において従来技術より優位性が高くサステナブルな構造であるといえる。

最後に、Dura-Slab の開発から蓼野第二橋の完成まで多くのご指導、ご協力を頂いた関係者の皆様に深く感謝の意を申し上げます。



《参考文献》

- 1) 福田雅人, 芦塚憲一郎, 狩野武, 三加崇: 超高耐久床版の疲労耐久性に関する実験的検討, 第 26 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, pp555-558, 2017.10
- 2) ランコス チャミラ クマラ, 狩野武, 和田圭仙, 藤井雄介: Experimental study on ultrahigh durable slab to girder joint in steel plate girder bridges, 第 29 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, pp347-350 (英語), 2020.10
- 3) 松尾祐典, 和田圭仙, 狩野武, ランコス チャミラ 超高耐久床版超高耐久床版の実用化に向けた実証橋の建設, 第 30 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, pp643-646, 2021.10

【筆者紹介】



岡野 雅 (おかの まさし)
三井住友建設(株)
土木本部橋梁構造設計部
主任



福田 泰樹 (ふくだ たいき)
西日本高速道路(株)
技術本部 技術環境部 構造技術課
主任



木寺 久幸 (きでら ひさゆき)
三井住友建設(株)
広島支店地頭分 PC 作業所
作業所長・監理技術者

「床版クールカット工法」により床版撤去作業の生産性を20%向上

高島 英一・吉浦 伸明

既設高速道路の大規模更新工事における合成桁のコンクリート床版取替工事の生産性向上を目的として、「床版クールカット工法」を開発した。本工法は、ユニット型のワイヤーソー切断装置「基礎躯体クールカット」を用いることで、コンクリート床板と鋼桁の接合部を、床版上から橋軸直角方向に水平切断することが可能となる。

桁間床版の先行撤去が省略可能で、ユニット型切断装置の効果と合わせ、約20%の生産性向上効果が見込める。

本稿では、開発にあたり検証を行った「床版クールカット工法」の概要と、現場での実装について詳述する。

キーワード：道路橋床版、床版更新工事、合成桁床版切断、生産性向上、床版クールカット工法

1. はじめに

高度成長期に整備された高速道路は、経時的な劣化に加え大型車両の増加及び凍結防止剤の散布等により、インフラの老朽化が懸念されている。このため、床版取替や桁補強を主体とする更新工事が進められている。

鋼桁とコンクリート床版が一体化した合成桁の床版取替工事では、既設コンクリート床版撤去に要する時間が全体の約3割を占める。工事全体の生産性向上には、この作業の効率化が不可欠である。

合成桁における従来の床版撤去プロセスは以下の4つの作業STEPで構成される。STEP①：桁間のコンクリート床版を垂直に切断して先行撤去、STEP②：桁上に残るコンクリート床版をワイヤーソーで水平切断、STEP③：桁上コンクリート床版を撤去、STEP④：桁上に残ったコンクリートをウォータージェットで撤去（図-1）。STEP②ではワイヤーソーの緩みに起因する桁の損傷を防ぐため、桁上面から50mm程度コンクリートを残して切断する必要があった。

撤去プロセスの作業効率を高めるための課題として、「切断作業時間の短縮」「桁上残コンクリート除去量の削減」「切断装置の分解組立時間短縮」「作業ステップの削減」が挙げられる。

また、床版補強や道路拡幅を目的に設置された増設桁上の床版や、多様なハンチ形状を有する床版を切断

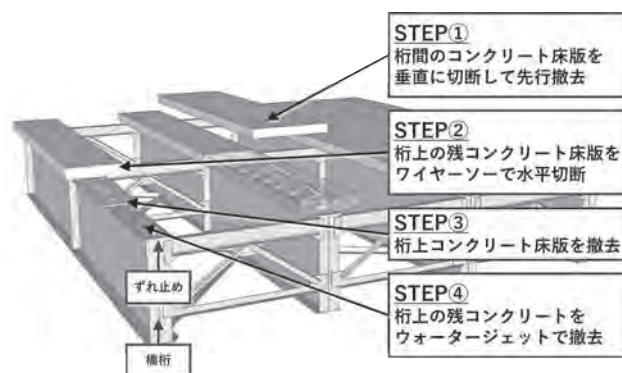


図-1 従来の床版撤去の手順

する場合もあり、これら現場条件に応じた切断工法を開発する必要があった¹⁾。

本稿では、撤去プロセス作業効率向上を実現し、かつ様々な現場条件に適用可能な、「床版クールカット工法」の開発事例について、切断工法の開発概要と実証実験結果を示し、技術的特徴を紹介する。

2. 開発概要

合成桁における床版撤去工事の効率化のため、「切断速度の向上による作業時間短縮」、「切断精度向上による残コンクリート厚の低減」、「切断装置のユニット化による分解組立時間短縮」、さらに「桁間床版の撤去作業の削減もしくは不要とすることによる作業STEPの低減」を開発目標として設定した。

本工法の開発には建築工事で施工実績のあった、水平・鉛直切断の双方に対応できるユニット型のワイヤーソー切断装置「基礎躯体クールカット」を使用した。

本装置を用いて、床版切断方法の開発・検証を行い、床版ブロックを橋軸直角方向に水平切断する技術を確立した。切断技術を確立したのち、現場実装に向けて湿式・乾式切断工法の適用など実証実験を行った。

3. 本工法の特徴

(1) 使用機材

本工法で用いる装置の概要について説明する。建築工事で実績のある、水平・鉛直切断の双方に対応できるユニット型のワイヤーソー切断装置「基礎躯体クールカット」(写真-1)を使用する。

装置はユニット化されており、ダイヤモンドワイヤーの露出部分や駆動プリー部はすべてカバーで覆われている。機体重量は約1.6tであり、切断作業毎にクレーンで簡単に移動することができる。クールカット装置の諸元(表-1)を以下に示す。

(2) 施工方法

本工法の施工方法について説明する。施工フローを(図-2)示す。

- ・床版の撤去幅は、10tトラックによる切断ブロック



写真-1 基礎躯体クールカット装置

表-1 クールカット装置諸元

No.	項目	諸元	備考
1	切断可能幅	1,300 mm ~ 2,000 mm	
2	最大水平切断長	3,800 mm	
3	水平切断時最大深さ	約 967 mm	
4	外観寸法 (高さ×幅×奥行)	H2,378 mm×W2,290 mm ×D2,077 mm	運搬時
5	質量	1,600 kg	
6	電源	3相 200 V	

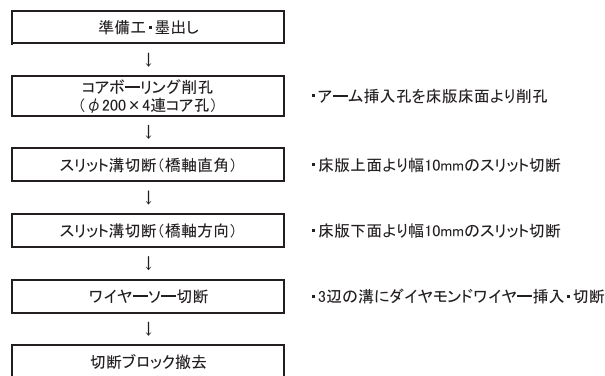


図-2 施工フロー

搬出を考慮して、2 m 以下に設定する。

- ・可動式アームを挿入するコア孔は、事前にコアボーリングマシン(φ200 mm 削孔)を用いて、4連コア孔を削孔する。削孔間隔は橋軸直角方向の床版切断幅に合わせて、2 m 間隔とする。
- ・ダイヤモンドワイヤーを挿入する橋軸直角方向のスリット(幅10 mm)を、床版上面よりロードカッターで切断する。
- ・ダイヤモンドワイヤーを挿入する橋軸方向のスリット(幅10 mm)を、床版下面よりディスクグラインダーで切断する。下面からのスリット深さは、30 mm 程度とする。
- ・対象ブロックの外周3辺に設けたスリットの底部にワイヤーソーを落とし込んだ後、残る1辺に配置した切断装置側にワイヤーを横引きすることで、コンクリート床版と鋼桁の接合面上部を鋼桁側から水平切断する(図-3, 写真-2)。

4. 実証実験

(1) 切断作業の実証実験

実験・実装ステップは、STEP1: 要素実験 (①横

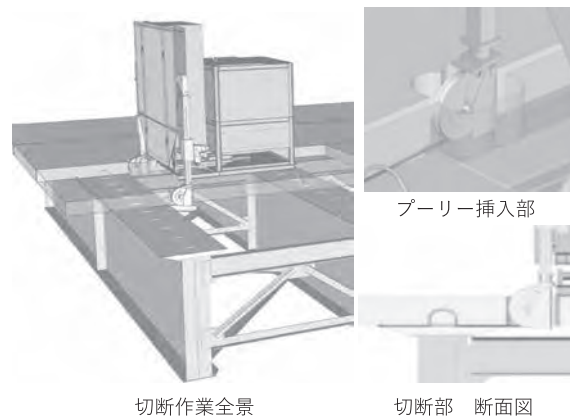


図-3 床版クールカット工法 概要図



写真一2 床版下面スリット部（幅 10 mm，深さ 30 mm）とダイヤモンドワイヤー



写真一4 切り下げ切断箇所 断面状況

引き切断工法の実現性確認), STEP2:性能確認実験
実験(以下:②~⑤の実現性確認), STEP3:現場実
装の3STEPとした。

切断作業の実証実験では,実在する合成桁構造の既
存橋梁と同じずれ止め(ジベル筋)とハンチ形状の供
試体を製作して,切断実験を行った。実験は複数のジ
ベル配置で検証した。

確認項目は,①横引き切断確認(切断方法・切断幅),
②切断速度(従来工法との比較),③切断精度(目標
切断高さとの誤差)(写真一3),④切り下げ精度(円
弧状の切断面による切り下げ可否)(写真一4)⑤安
全性確認(スリット内に納めたワイヤーの露出状況確
認)とした。

上記①~⑤については,湿式・乾式の両工法で確認
した。

実験の結果,それぞれの項目で,必要な要素技術と
施工性,安全性を確認できた(表一2)。

また,撤去工程も従来技術と比較して,約20%の
生産性向上を図ることができた。湿式方式,乾式方式
ともに同程度の切断速度を確保でき,現場条件に応じ
た切断方法の選択が可能となった。



写真一3 切断完了後の供試体切断面

表一2 実証実験項目と確認結果

No.	実証実験 確認項目	実証実験結果	備考
①	横引き切断確認	切断可能幅	
②	切断速度・撤去作業	従来工法比20%向上	
③	切断精度	±10mm以内	写真一3
④	切り下げ精度	確認孔により精度確保	写真一4
⑤	安全性確認	ワイヤー露出無し	

(2) 乾式切断の特徴

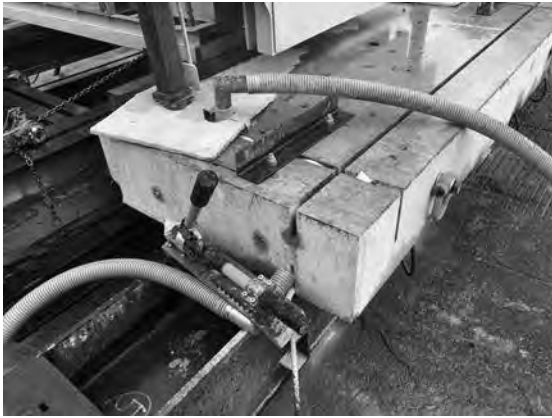
床版クールカット工法では,乾式切断が可能であり
集塵方法に特徴があるので詳述する。

切断作業では,アーム挿入用のコア孔と,ダイヤ
モンドワイヤー用のスリットを設けるため,粉塵飛散を
防止するのが容易である。

乾式切断時の機材配置(電気集塵器2台)を示す(写
真一5)。養生方法は,アーム挿入用のコア孔に簡易
な蓋(写真一6)を設けて,電気集塵器のノズルを差
し込んでおく。スリット部にはダイヤモンドワイヤー
を挿入した後に,パッキン材(ウエス等)を挿入する
ことで,切断作業中の粉塵は,すべて「ワイヤー引き
側」のコア孔(写真一7)に集められる。電気集塵器
で常時吸引しておくことで,容易に乾式切断をほぼ無
粉塵の状態で作業できる。



写真一5 乾式切断 機材配置と切断作業状況



写真一六 コア孔 吸引状況



写真一七 コア孔 粉塵堆積状況

5. 現場実装

現場実装は「(改)都心環状線(日本橋区間)呉服橋・江戸橋出入口撤去工事(首都高速道路(株)発注)」に試行的に適用した。

施工方法は乾式切断方式とし、床版の切断面積は 5m^2 (切断幅 2.5m 、切断距離 2m)とした。乾式切断では、プーリーを挿入したコア孔に蓋を設け、スリット部にウエスを挿入しておくことで、より効率的に集塵しながら作業し、事前の実証実験で想定した切断速度、切断精度を達成した(写真一8)。



写真一八 床版クールカット工法 現場実装

6. 本工法の技術的特徴

本工法の主な技術的特徴を以下に示す。

- ・桁間床版の先行撤去不要により、床版切断撤去作業を従来工法より20%削減。
- ・橋軸直角方向に鋼桁幅分のみ切断するため、ワイヤーの弛みが減少し切断精度が向上。
- ・水平切断の高精度化で切断ラインを桁の上端から約 20mm に設定可能。
- ・桁上から床版の水平切断が可能のため、桁間床版の先行撤去や仮受け支保工が必要。
- ・装置はユニット化されているため、切断作業や装置移設作業の時間短縮により生産性が向上。
- ・湿式切断、乾式切断の両工法が選択可能で、乾式ではコア孔を用いた集塵が可能。
- ・装置はユニット化したカバーで覆われており、周囲の安全性が向上。

7. おわりに

合成桁における床版撤去プロセスの効率化のため、様々な現場条件に適用可能な切断工法を開発し、その適用性と効果を確認した。今後は、開発した工法の現場適用による改善を進め、更なる省人化省力化技術の導入を図ることで、床版更新工事の生産性向上に貢献する所存である。

本工法の現場実証に当たっては、首都高速道路(株)更新・建設局 日本橋工事事務所の皆様にご協力とご指導を頂きました。関係各位に深く謝意を示します。

JICMA

【参考文献】

- 1) 尾田ら：合成桁床版切断の高速化技術に関する実物大実証実験の報告，土木学会第77回年次学術講演会講演概要集，VI-581，2022

【筆者紹介】

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
主席エンジニア



吉浦 伸明(よしうら のぶあき)
清水建設
土木総本部 土木技術本部 橋梁統括部
主査



橋梁リニューアル統合管理システムの開発

日 暮 一 正

国内の主要な高速道路は供用開始から50年以上を経た現在、老朽化とともに長い期間厳しい使用環境に暴露されたことで床版などに変状が顕在化してきており、これまでの部分的な補修の繰り返しのみでは十分に対応できないため、抜本的な大規模更新が必要となっている。限られた工期の中でいかに既存の交通量を確保しながら更新作業を行うかが課題となっている。今回、床版取替工事における全体工程の短縮および品質向上に向けて、調査・設計、床版製作、施工各プロセスの統合管理システムを開発したので、その概要について報告する。

キーワード：リニューアル、大規模更新、床版取替え、生産性向上、DX

1. はじめに

通常行われている床版取替工事（写真—1）の全体プロセスは「調査・設計」「床版製作」「現場施工」「維持管理」の4つに分類される。

これらプロセスの課題として、プロセス毎にデータがバラバラに存在しておりデータの受け渡しが非効率であることや、調査・設計から床版製作の遅延が生じると施工の着手が遅れリニューアル事業が遅延すること、現場施工の期間延長により規制期間が長くなり渋滞や事故リスクが増大すること、維持管理時に必要なデータ取得が困難であり適切な補修計画の策定・実施が困難とることが挙げられる。

一方、他の業界では設計データから施工を含めて、データの一气通貫による統合管理が既に行われており、各工程を立ち上げるためのデータの起こしが不要

となる他、システムが人間の作業をサポートする、自動化する、全体工程を短縮する手法が既にとられている。

今回はこのデータの一气通貫による管理をメインとしてシステム開発を行い、工期短縮、品質向上のためのアプローチを行った。

2. 橋梁リニューアル統合管理システム概要

開発した橋梁リニューアル統合管理システム OBRIS (Obayashi Bridge Renewal Integrated System) は、床版取替工事におけるプロセスを「調査・設計 (-Design)」、「床版製作 (-Production)」、「施工 (-Construction)」の3つのサブシステムにカテゴライズした（表—1）。

また、OBRISの3つのシステムは、設計や施工に関するデジタルデータおよび3次元モデルを次のシステムに引き継いで一气通貫で利用することを可能としたことで、データの生成過程において、重複作業をな



写真—1 床版取替工事の事例

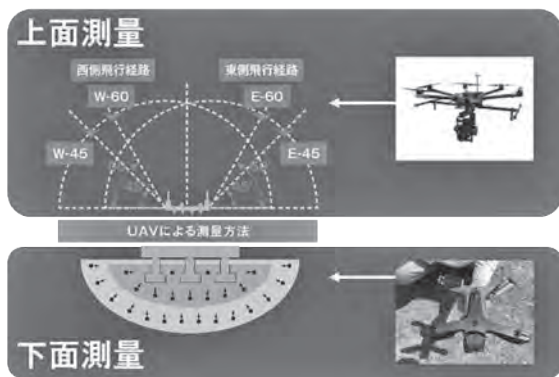
表—1 OBRIS 全体概要

橋梁リニューアル統合管理システム OBRIS (Obayashi Bridge Renewal Integrated System)	
OBRIS-D (Design) 調査・設計統合システム	<ul style="list-style-type: none"> ・3D測量から得られたデータを自動でCIM化 ・設計時に反映すべき情報を入力して一元管理 ・自動割付機能により設計を最適化
OBRIS-P (Production) 製作統合システム	<ul style="list-style-type: none"> ・Pca部材製作時の品質記録を一元管理 ・製作監視機能と品質管理データにより品質低下を防止 ・部材の製作出来形を反映した出来形シミュレーションにより施工時の不具合発生を防止
OBRIS-C (Construction) 施工統合システム	<ul style="list-style-type: none"> ・「設置座標データ一覧」を活用して設置作業を効率化 ・設置誤差を反映した修正シミュレーションを行い、設置座標データを日々修正して、翌日以降の施工に活用する ・出来形や現場品質管理データを確認、記録する

くして生産性を向上させるとともに、設計・施工における不具合の未然防止・品質の向上に寄与することを目的としたシステム体系である。

(1) 調査・設計システム (OBRIS-D)

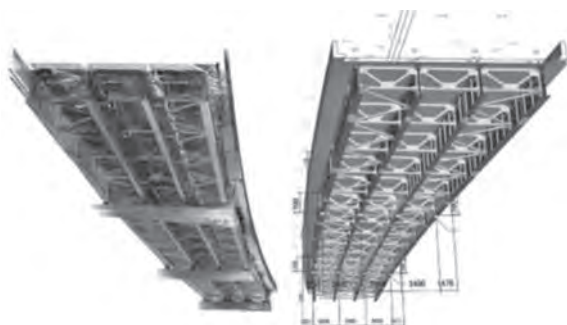
既設橋梁の現況を3次元レーザースキャナやUAV(図一1)にて点群データを取得(図一2)し、既設鋼桁の3次元モデルを精緻に作成する(図一3)。また床版および鋼桁の線形データをもとに、新設床版、壁高欄、既設床版割付けを自動処理可能な「床版割付けBIM/CIMシステム」を用いて床版の設計を行う。従来、割付け図の作成は、CADオペレータが手作業で主構造との取り合いを確認しながら、形状パターン数が最小となる割付けとなるよう、トライアンドエラーを



図一1 撮影に使用した UAV



図一2 橋梁上下面をレーザースキャナにて計測



図一3 点群データと3次元モデル

繰り返して作成するために多大な時間を要していた。この従来作業を今回の開発システムにより自動化した。

(2) 床版製作システム (OBRIS-P)

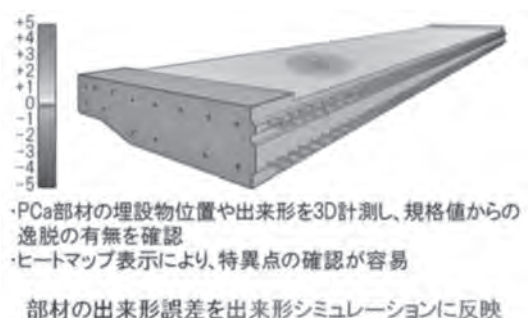
決定した割付けプランの設計データをもとに床版製作の形状寸法を自動計算し、製作図(3次元モデル)を作成する。遠隔で床版製作の作業状況を見ながら品質記録データを確認するなど製作工程を監視・指導することで所定の品質を確保する(図一4)。製作済みのプレキャスト床版を3次元レーザースキャナで計測し(写真一2)、解析ソフトウェアで設計時の3次元モデルと比較しヒートマップ表示させて合否判定を行う(図一5)。床版出来形の誤差をパソコン上で事前にシミュレーションすることで、現地設置時の誤差を早期に確認し対策することを可能とした。



図一4 床版製作工場の監視システム



写真一2 製作した床版の計測状況



図一5 3次元モデルによるヒートマップ表示

部材の出来形誤差を出来形シミュレーションに反映

(3) 施工システム (OBRIS-C)

現地設置時のシミュレーション結果の目標座標データと施工済床版の出来形座標データを重ね合わせ、バーチャルとリアルデータを日々照合しながら施工管理に反映させることを可能とした(図-6)。また、日々の進捗をBIM/CIMクラウドに属性情報として反映させることで、進捗確認と翌日以降の作業打合せをインターネット上で実施することが容易となり、手戻りのない確実な工程の進捗管理に貢献できる。

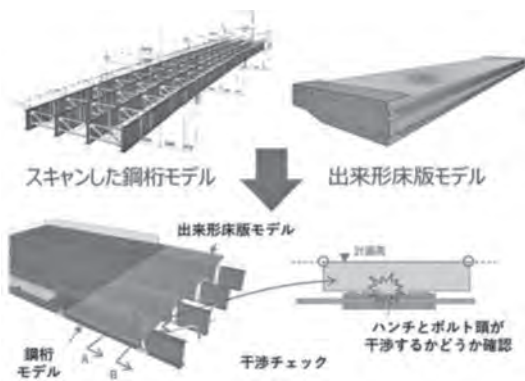


図-6 3次元モデルを用いた干渉チェック

3. 床版割付け BIM/CIM システムの概要

調査・設計フェーズ (OBRIS-D) で利用するシステム体系のうち、新設床版、壁高欄、既設床版割付け、ハンチ形状設計、3次元モデル作成を行うシステムの作業手順を以降に示す。

(1) 線形座標の読み込み

まず既設橋の路面と鋼桁、および新設床版の線形ラインを線形計算ソフトで計算し、座標をシステムに読み込む。読み込んだ線形座標はプレビュー画面(図-7)に平面図が表示され、既設橋梁全体の骨組みを確認することができる。次に、既設床版の切断時と新設床版の設置時の干渉チェックのために、主桁の上フランジ断面、継手位置、添接板サイズ、対傾構などの情報をを入力する。

(2) 割付けルールのパラメータ設定

床版の割付けを自動で計算するためのパラメータを入力し割付けルールを作成する(図-8)。設定可能なパラメータは、新設床版の標準寸法、最大・最小寸法、主桁との角度、端部パネルの後打ち幅、間詰めと中間支点上との必要離隔、などである。これらの組合せを複数登録できるようにした。

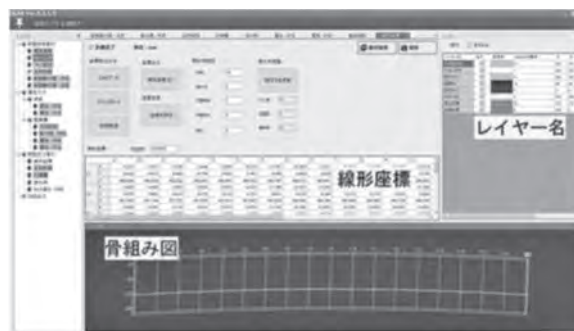


図-7 線形座標読込画面

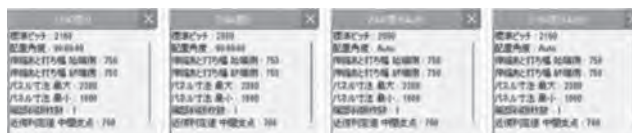


図-8 割付けルール作成画面

(3) 新設床版割付け図の自動作成

事前に登録した割付けルールを指定して実行すると、線形座標をもとにシステムが自動で割付け寸法表を作成し、プレビュー画面に割付け図を表示する。割付け図はマウスで拡大・縮小が可能で、寸法表の間詰めをクリックするとプレビュー画面にその位置をハイライト表示する。新たな割付け案を実行すると、新規タブに計算結果が表示され、タブの切り替えで割付け図を比べる(図-9, 10)。

自動処理が難しい細部箇所は寸法表を簡単に調整できるように、床版目地の削除・移動、台形パネルの割付け計算などの編集コマンドを実装した。割付け図は汎用CADに出力して検討資料として活用できる。標準版・異形版の枚数、製作・運搬・施工性などを関係者にて協議し、総合的に最適な割付けプランを決定する。

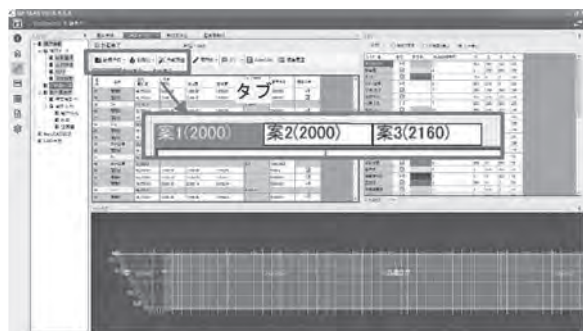
(4) 壁高欄割付け、既設床版割付けの自動作成

新設床版割付けの決定案に対して、プレキャスト壁高欄の割付け(図-11)と、既設床版の割付け、新設床版と壁高欄の属性入力を行う。

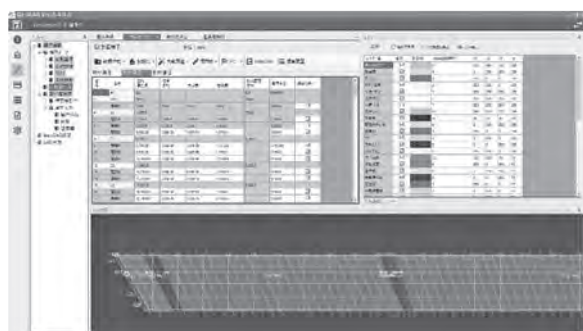
既設床版の割付けは、標準・最大・最小幅、上フランジ添接板や対傾構、排水柵、間詰めとの必要離隔などのパラメータをルール登録することで、新設床版の



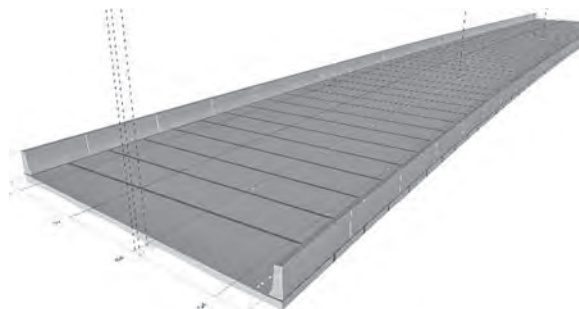
図-9 割付け図決定フロー



図一 10 新設床版の割付けプレビュー画面



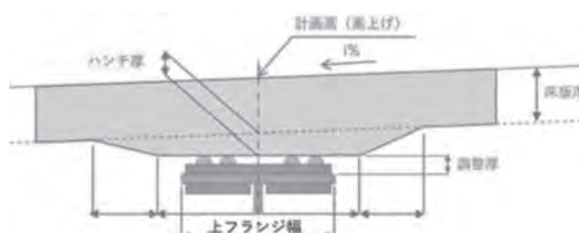
図一 12 既設床版カット割り入力画面



図一 13 床版・壁高欄の 3次元モデル



図一 11 壁高欄割付け入力画面



図一 14 ハンチ形状決定機能

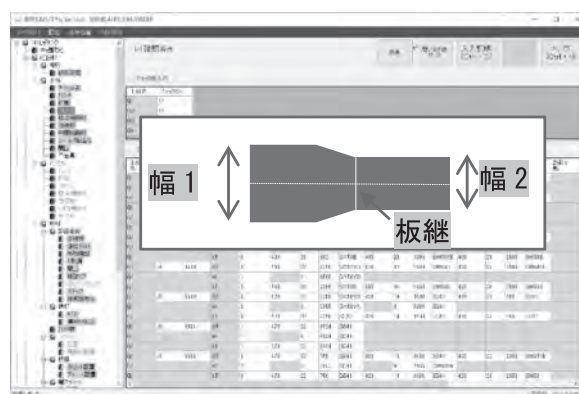
割付けと同様に自動計算する機能を実装した (図一 12)。新設床版と壁高欄，既設床版割付けは 3次元モデルに出力することができる (図一 13)。

(5) 3次元モデル上でのハンチ形状自動設計

新設床版の平面上でのプランニングが完成した後，個別にハンチ形状を設定する。本システムでは床版の水平からの角度を考慮して，自動でハンチ形状をプランニングする機能を開発した(図一 14)。これにより，各床版の詳細設計に関する大幅な設計工数短縮が可能となる。

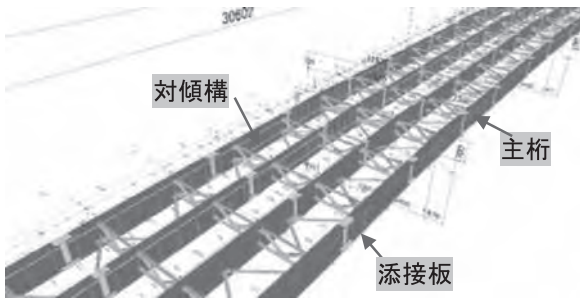
(6) BIM/CIM 統合モデルの作成

既設橋の鋼桁 3次元モデルは，数値入力により BIM/CIM モデルが作成可能な鋼橋 CIM システムで作成する。今回，既設橋に多い主桁断面の板継変化に対応できるように鋼橋 CIM システムの機能を拡張した (図一 15)。



図一 15 鋼橋 CIM システムの主桁断面入

これにより既設橋梁の床版と鋼桁 (図一 16) および新設床版と壁高欄の 3次元モデルを統合でき，BIM/CIM を活用した設計照査，施工シミュレーションを実施し，迅速な合意形成が可能となった。



図一 16 既設鋼桁の3次元モデル

4. 現場への適用

本システムは、施工中の床版取替工事の現場で検証を行った。なお、検証にあたっては、工期の関係から、今回は現在施工中の現場へシステムごとに適用を行った内容について報告する。

(1) 調査・設計統合システム (OBRIS-D)

(a) UAV を用いた現況測量

既設橋の計測においては、従来であれば、橋面上部では交通規制後によるスキャナでの計測、橋面下部では足場を設置した後、鋼製のスケールで各所を確認、計測するのが一般的であるが、当該システムを用いた方法によると、足場を建設する前に UAV を用いた計測が可能となり、交通を止めることなく橋面上部・下部の正確な計測が可能となった。図一 17 は、既設橋 1 径間約 65 m 程度の橋梁下面、上下線往復合計約 130 m を 1 日 8 時間以内にてスキャナを用いて計測した図である。計測当日は橋梁上面の交通規制を行うことなく実施できた。実際に計測したデータと各所比較し、± 5 mm 以内の精度であった。

点群データ取得後、CIM モデル作成と同時に設計部門にデータ供与可能となることから、施工直前での主桁寸法（特に上フランジの幅と高さ）が正確に伝わり、詳細設計の二度手間を防ぐことができた。さらに、隅々まで点群データを取得することで、付設物に関する情報を入手出来ることから、既設床版切断時に避けてカットラインを引くことが出来るなどのメリット

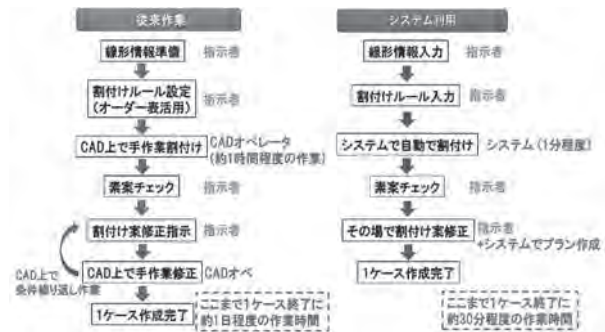


図一 17 既設橋梁計測点群データ

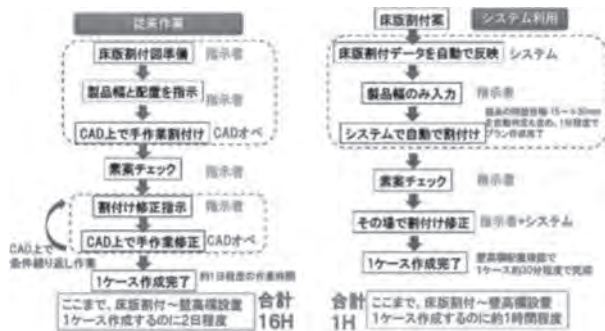
も享受できた。また、現場と設計部門間においては専用のクラウドサービスにてデータ共有が可能のため、常に最新のデータに関する情報を得ることができた。

(b) 床版割付け BIM/CIM システム

当該システムを用いて、床版割付けにおける従来作業との比較を行ったところ、1 ケース当たりには要する工数が、約 1 日 (8 時間) から 30 分程度となった。また、壁高欄についても自動で配置が可能であることから、壁高欄自動配置システムを用いることで、1 ケース約 16 時間の工数がわずか 1 時間で作成ができた (図一 18, 19)。さらに、断面部分におけるハンチ厚の自動設計機能を用いることで、床版 1 枚あたりに 1 時間程度要していた設計、CAD 製作作業が 5 分程度で終えた。本システムを業務に適用することで、設計工数が大幅に短縮されたことを確認できた。



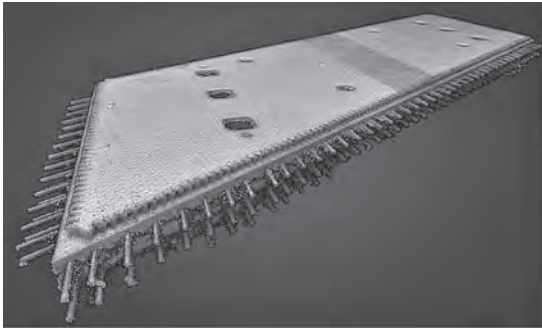
図一 18 床版割付け業務フロー



図一 19 壁高欄割付け業務フロー

(2) 床版製作統合システム (OBRIS-P)

床版製作工場の連携については、プレキャスト工場における計測手法により、全ての設計、製作工程でデジタル化できないケースも確認された。特にスキャナの精度や撮影モード、撮影位置や構台の高さによってはデータの欠損を伴うため、様々なケースを考慮して撮影を行い、3次元点群データ化を行った。図一 20 は、構台高さ 1.2 m、市販レーザー スキャナを用いて High Mode で新設床版を 6 箇所から計測して得られた点群データ図である。鋼尺との実寸精度も ± 2 mm 以内で



図一 20 新設床版出来形計測状況

あり、正確な3次元形状を取得することができた。

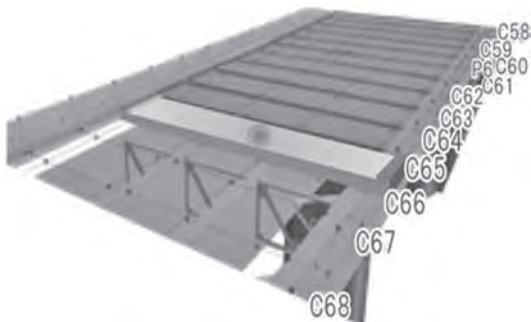
(3) 施工統合システム (OBRIS-C)

施工においては、工場で製作された床版の出来形計測データを現場へクラウドを通じて施工前に情報共有出来たことで、設計とは若干異なる床版の出来形誤差を考慮した設置方法について、現場にて事前に確認、検討することが可能となった。これにより、床版設置における四隅の目標設置座標を検討することが可能となり、現場の設置に掛かるタイムロスや施工箇所全体の上質な線形確保がクラウド上で可能となった (図一 21, 22)。

一方、床版設置に要する計画値と日々のデータ入力との連携により作業効率が向上したが、現場にて日々発生するデータのメンテナンス要員確保、システム利用に関する教育の必要性など、今回開発したシステムの運用に向けた課題も確認できた。



図一 21 クラウド上での一覧表示



図一 22 床版設置位置確認

5. おわりに

今回開発したシステムは、現地調査としての点群データ取得から BIM/CIM データ作成、既設桁と新設床版の調整、床版製作、施工時での利用、測量やメンテナンスデータ保管など、すべての工程においてデジタルデータと3次元モデルの活用が可能なフローを目指した (図一 23)。BIM/CIM データが設計時のみの活用に留まらず、床版製作、出来形管理、施工シミュレーションなど様々なフェーズに連携できることは、今後の DX を中心とした業務改善活動において重要となる。一方で開発システムが現場にとって属人化しないように、誰にでも使いやすいインターフェースとするなどの工夫も必要である。

これまでの2次元図面を中心とした熟練技術者のノウハウによる設計・施工の作業フローから BIM/CIM を活用したデジタルデータで DX を実現し、高速道路の大規模更新事業の生産性・品質向上に取り組んでいく所存である。



図一 23 OBRIS を用いた業務フロー遷移図

J C M A

【筆者紹介】

日暮 一正 (ひぐれ かずまさ)
 榊大林組
 土木本部 先端技術推進室



都市部交差点直上での PC 橋梁撤去技術

阪神高速 14 号松原線 喜連瓜破高架橋架け替え工事

島田 哲治

阪神高速 14 号松原線 喜連瓜破高架橋は、ディビダークカンチレバー（張り出し）工法により建設され、1980 年に供用した全長 154 m の PC3 径間有ヒンジラーメン箱桁橋である。2022 年 6 月より本格着手した本橋の架け替え工事は、解体対象範囲の橋桁上に架設された仮設桁に装備された橋桁解体搬送装置を用いて撤去することで、橋の下を通る一般道路の交通を妨げることなく、本橋撤去に係るほとんどの工程が空中で完結できることを特徴としている。

キーワード：橋梁更新工事、高速道路通行止め、仮設桁、PC 橋梁撤去設備

1. はじめに

阪神高速 14 号松原線 喜連瓜破高架橋は、ディビダークカンチレバー（張り出し）工法により建設され、1980 年に供用した全長 154 m の PC3 径間有ヒンジラーメン箱桁橋である（写真-1、図-1）。



写真-1 架け替え前の喜連瓜破高架橋

本橋は供用 5 年後には中央ヒンジ部の垂れ下がりが顕在化し、2003 年に下面から外ケーブルとストラットで押し上げる補強がなされたものの、より長期の健全性と耐久性を確保するために高速道路リニューアルプロジェクトの一環として架け替えが決定し、2022 年 6 月に本格着工した。

大阪市内都市部の厳しい施工条件下で、一般交通や近隣住民、周辺施設への影響を最小限に抑える施工方法を採用して、約 3 年間に亘り高速道路の通行止めを行い、既設橋梁の解体から鋼製橋脚・鋼桁への更新工事を実施する。

本稿では、この前例のない大規模な架け替え工事の内、既設橋梁の解体方法について報告する。

2. 工事概要

更新する橋梁直下にあたる瓜破交差点は、国道 309 号（長居公園通り）と内環状線国道の重交通交差点で

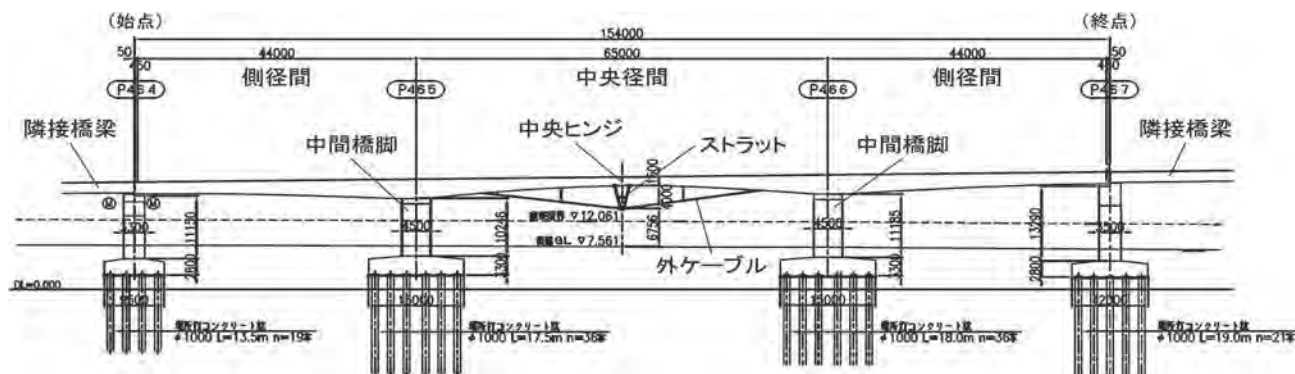
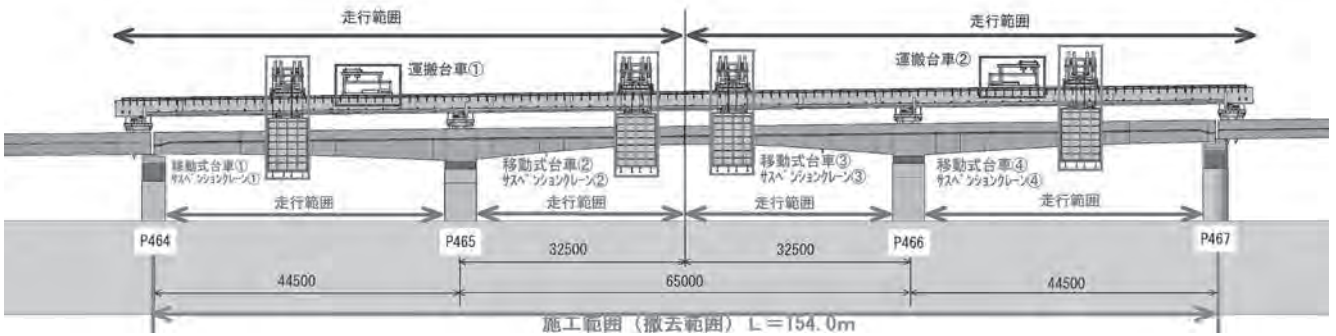


図-1 喜連瓜破高架橋（側面図）



図一2 撤去設備概要図 (本施工システムについては特許出願中)

あり、交差点付近の沿道には大型商業施設やマンション等の住居が密集し、地下鉄谷町線喜連瓜破駅が近いことから、歩行者・自転車の交通量も非常に多い。そのため、現場直下の街路においては、交通影響を低減するため全工程を通じて車線を占有する固定規制は設置せず、交通規制は夜間のみで施工を行う必要があった。

3. 施工システム（撤去設備）の概要

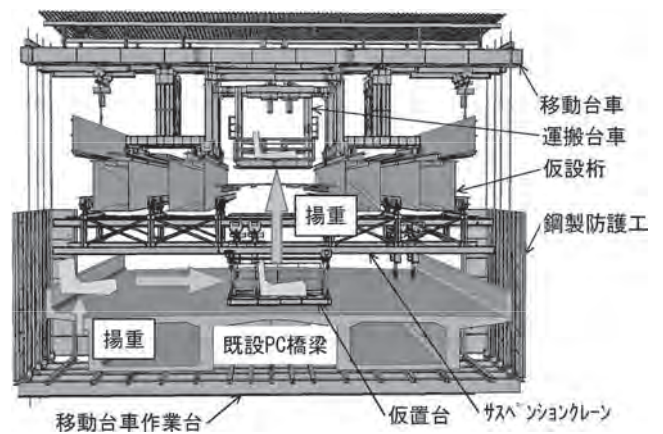
このような施工条件に対処すべく、解体対象範囲の橋桁上に仮設桁を設け、その仮設桁に既設橋梁を解体・搬送する装置を配備する施工システムを用いることで、橋の下を通る一般道路の交通を妨げることなく、本橋撤去に係るほとんどの工程が空中で完結することを可能とした。本施工システムは、「仮設桁」「移動台車」「サスペンションクレーン」「運搬台車」で構成される (図一2, 3)。

各解体設備の詳細計画を行う基本コンセプトとして、①撤去方法は解体時の排水を最小限に抑え、騒音にも配慮して乾式ワイヤーソーにて行う。②撤去ブロックの切断規模は、切断や運搬等の施工性と既設橋梁の耐力照査の結果を考慮する。これにより縦断方向切断長を1.75m、断面を上り線下り線ともに各8分割に決定した (図一4)。

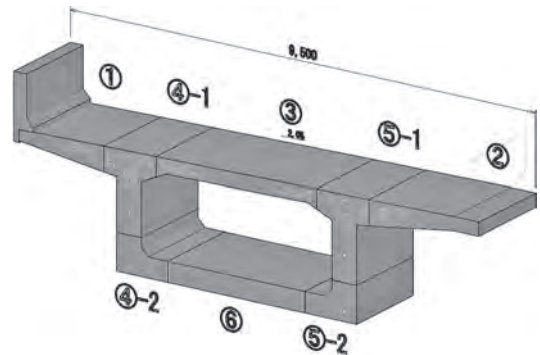
(1) 仮設桁

仮設桁は移動作業車や運搬台車等のあらゆる撤去用設備が取り付く重要な部材であり、4本の箱桁から構成される全長165m、総重量1,286tの鋼桁である。仮設桁は最終的に橋脚位置に別途構築した4基の脚上ベント (仮設支承) で支持する (図一5, 写真一2)。

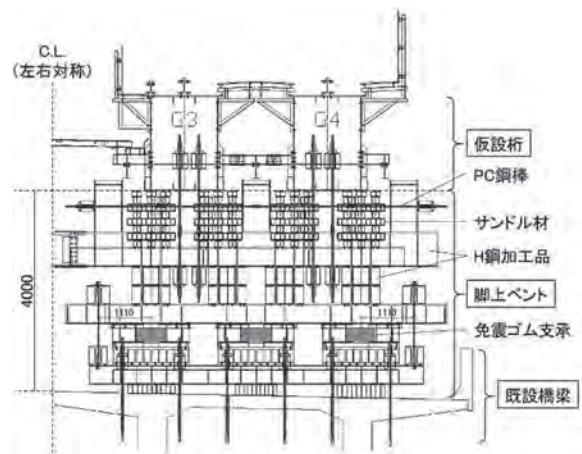
4本の箱桁は、作業スペース・撤去材搬出スペース・脚上ベント寸法等を考慮して配置し、仮設桁付属物としては、撤去設備移動用のレール、作業員の移動に必



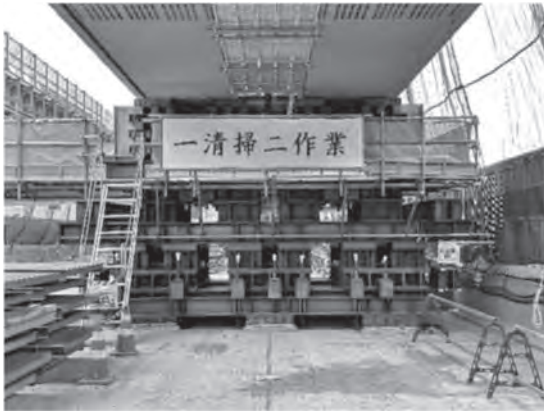
図一3 撤去設備概要図



図一4 撤去ブロック分割概要図



図一5 仮設桁と脚上ベント (断面図)



写真一2 脚上ベント (免震ゴム支承は特許出願中)



写真一4 移動台車下部作業台置

要な作業床，排水対策の防護床を装備した。

仮設桁と脚上ベント，脚上ベントと既設橋梁は，それぞれPC鋼棒により緊結し，脚上ベントには暴風・地震対策として免震ゴム支承を使用した。

(2) 移動台車

移動台車は，既設桁撤去作業時の作業床，飛来落下防止及び作業の騒音対策と目隠しのための設備であり，この中で撤去作業を実施した。

移動台車は，仮設桁上のレール上に走行装置と上部フレーム，既設橋梁の下部に下段作業台とそれを繋ぐ吊材としてPC鋼棒から構成される(写真一3, 4)。

下部作業台の防護壁は，柱にH200を使用し山形鋼とエキスパンドメタルによる養生柵で構成し，その上に防音シートを設置した。

(3) サスペンションクレーン

サスペンションクレーンは，既設桁をワイヤーソーで切断する際の撤去ブロックの仮吊，切断後のブロック搬出のための揚重移動設備と仮置き台から構成される(写真一5, 6)。

全ての撤去ブロック(8t/BL未満)の揚重は，4t



写真一5 サスペンションクレーン



写真一6 撤去ブロック仮吊切断状況



写真一3 移動台車上部フレーム及び走行装置

電動チェーンブロック4本を使用して4点吊りとしている。万が一，片利きした場合でも十分に対応できる能力を備えている。また，全電動チェーンブロックにロードセルが装備されており，伝送装置によりタブレットで荷重の分担状況や総荷重を把握できるようにして，撤去ブロック形状の変化にも容易に適切な荷重バランスに調整できるように，荷重の見える化を行い安全性の向上を図った。

(4) 運搬台車

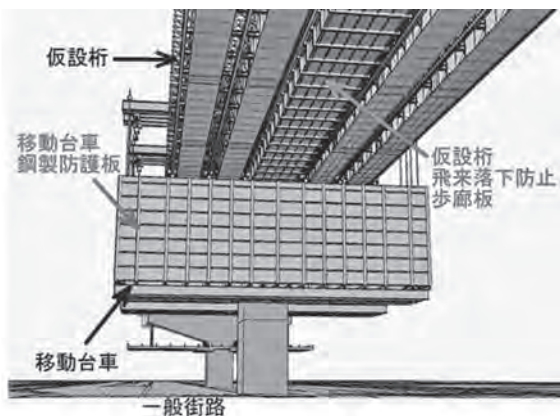
運搬台車は、サスペンションクレーン仮置き台に仮置きした撤去ブロックを、場外へ搬出するトラック積込場所まで安全に運搬する。

運搬台車は、撤去ブロックをサスペンションクレーン仮置き台から運搬台車仮置き台へ受け渡すための揚重移動設備と仮設桁上のレール上を走行するための走行装置からなる（写真一七）。

既設橋梁の一連の撤去が終わったスパンは、図一六に示すように仮設桁間のスペースに排水勾配も考慮した歩廊板を設置することで、架け替え区間の下方を通



写真一七 運搬台車



図一六 飛来落下防止対策

る一般車両や歩行者への飛来落下防止対策を行った。

4. 計測・モニタリングシステム

本工事の課題として、40年以上前に建設され、これまでに補修・補強を重ねてきた本橋梁を撤去するにあたり、施工に伴う変位の予測解析値と実挙動に大きな差異がないかを確認し、既設構造物の崩壊・倒壊という重大なトラブルを起こさないよう慎重に工事を進める必要がある。

また、これまでに前例がない大規模な撤去工事であることから如何に正確に現状把握を行い、それを分析して判断へと導くことが重要となる。

そこで、本撤去にあたり必要な計測対象を、撤去対象部分の箱桁の三次元変位およびひずみ、橋脚の傾斜変位と沈下量として、変位計測機器を配置した。

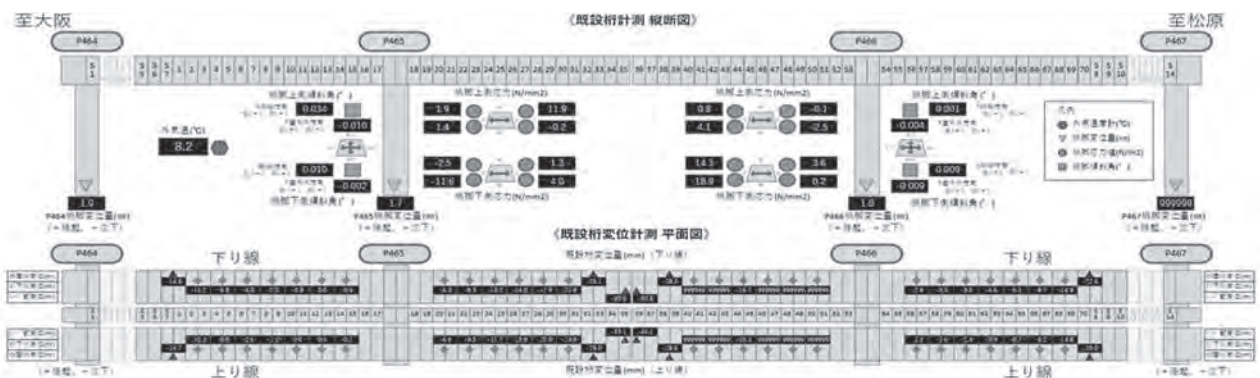
計測管理値は、撤去開始前に行った既設橋梁調査結果を反映して解析した撤去ステップ毎の予測値を管理基準値とし、管理値の設定と管理値毎の対応を事前に決めて施工を行った。計測値は、リアルタイムに把握できるようにモニタリングシステムを介してモバイル端末で、いつでもどこからでもチェックできるようにした（図一七）。

また、現場の状況をクラウド録画でいつでもどこでも把握できるように固定式・移動式カメラを施工場所へ複数配置した。これにより、複数人が一度に情報を共有できるようにして遠隔地からの指揮・指導を可能とした。

5. 既設橋梁の撤去

本工事は2022年6月1日、高速道路本線（阪神高速14号松原線 喜連瓜破～三宅JCT間）の終日通行止め開始後に本格着工した。

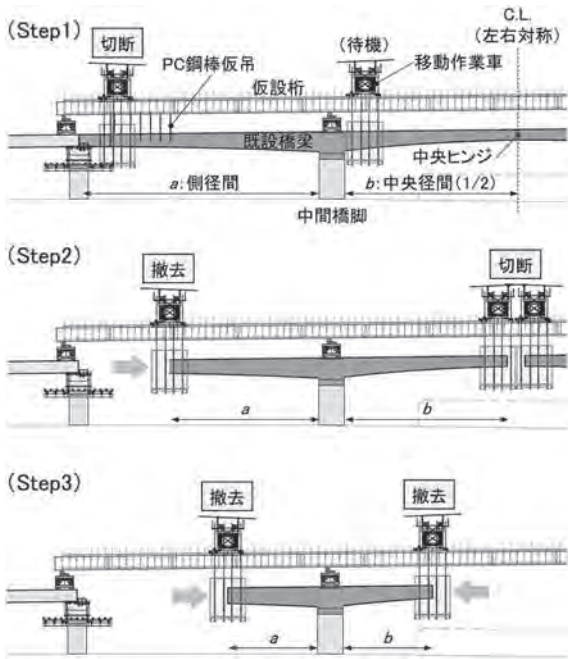
架け替えのために必要な範囲の舗装及び中央分離帯



図一七 計測モニタリングシステム

の撤去から仮設桁の構築，撤去設備の組立を行い，2023年1月11日より既設橋梁（橋桁部分）の撤去を開始した。

撤去は，**図一8**に示すように，既設構造物の特徴を生かし，建設時の逆の手順で行った。Step1として側径間支保工部の撤去，Step2として中央併合（ヒンジ）部の撤去を行い，Step3でカンチレバー架設（張り出し施工）区間を2基の移動台車で同時に中間橋脚に向かって撤去を行った。



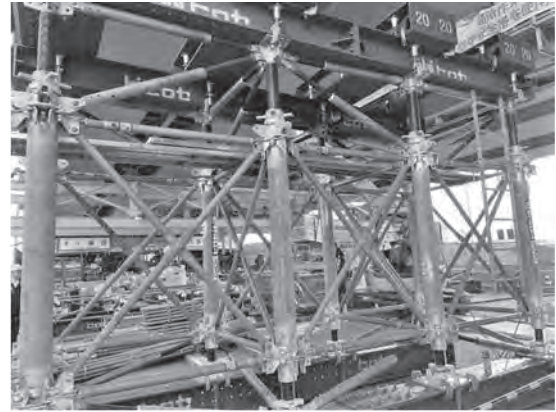
図一8 既設橋梁撤去ステップ

側径間支保工部（Step1）はRC構造として，ブロック切断時の重量相当分を仮設桁よりPC鋼棒で吊下げ補助工法を採用した。また，初期切断完了時には，既設橋梁に残存している応力により切断面を挟んだ両躯体の動きを制限する必要があり，その変位を抑制する繋ぎ材を設置した。

中央ヒンジ部（Step2）は，ゲレンク沓・ゴム支承及び支承固定PC鋼棒により閉合されているが，側径間支保工部の初期切断と同様に，残存するPC張力により縁切り完了時に切断面の両端がずれて施工上不安定な状態になる懸念があったため，橋面と仮設桁間に支保工を設置することで変位を抑制して安全に施工を行うことができた（**写真一8**）。

6. おわりに

本工事は，高速道路下の一般街路を供用した状態で橋梁を架け替えるという前例のない工事であるとともに



写真一8 中央ヒンジ部施工状況

に，採用する施工システム（撤去設備）も初の試みとなる。都市部交差点直上という現場条件により，その難易度は非常に高いものとなっている。しかしながら，各種の工夫により課題へ対応しているところであり，今後も創意工夫を積み重ね，安全第一で完工に向かって受発注者ともに取り組んでいいるところである。



JCMMA

《参考文献》

- 1) 藤原 勝也他：阪神高速喜連瓜破高架橋の架け替え検討，土木学会第77回年次学術講演会，2022/9/16 IV -999
- 2) 藤本 大輔他：高速道路リニューアル工事における周辺地域に配慮した既設PC橋梁の解体計画，土木学会第77回年次学術講演会，2022/9/16 IV -1000

【筆者紹介】

島田 哲治（しまだ てつじ）
大成建設㈱
喜連瓜破橋大規模更新工事作業所 作業所長



斜張橋の多機能型斜材点検ロボットの開発

コロコロチェッカー[®]

原 田 耕 司

斜張橋の維持管理を行う上で重要なポイントは、斜材の点検・保全である。斜張橋の斜材は、保護管、定着部、斜ケーブル（PC 鋼材）、制振装置および充填材で構成されている。これらの点検に関しては、斜材が高所に位置する部分が多い等の理由から、合理的な点検技術の開発が進んでいなかった。例えば、斜材の保護管の点検では、高所作業車等を用いた目視点検が実施されているが、従来の点検方法では点検員の落下の危険や、点検精度等に課題があった。そこで、斜張橋斜材の保護管、定着部および斜ケーブル（張力）等を点検できる多機能型斜材点検ロボット「コロコロチェッカー[®]」を開発した。

キーワード：橋梁，斜張橋，維持管理，斜材，点検ロボット，多機能

1. はじめに

斜張橋は、人道橋から長大橋まで数多くの橋梁に採用され、道路橋だけでも約310橋が架橋されている¹⁾。斜張橋の特長としては、斜材の配置範囲を広くとることにより長支間化ができることであり、本州四国連絡橋の多々羅大橋は、中央支間長が890 mと国内第7位の支間長となっている。

斜張橋は吊橋と並び道路ネットワークを形成する重要なインフラ構造物であり、その保全を怠れば道路ネットワークの分断に繋がり時間的、経済的損失が膨大なものとなる。斜張橋の維持管理を行う上で重要なポイントは、斜材の点検・保全である。例えば、斜材の構成材である斜ケーブル（PC 鋼材）の腐食が進行すると落橋の危険性が生ずる。

斜材は、保護管、定着部、斜ケーブル、制振装置および充填材で構成されており、斜材の各部材に関する変状としては、表1のようなものが挙げられる²⁾。これらの点検に関しては、斜材が高所に位置する部分

が多い等の理由から、合理的な点検技術の開発が進んでいないのが現状である。例えば、斜材の保護管の点検では、高所作業車等を用いた目視点検が実施されているが、従来の点検方法では、点検員の落下の危険や、点検精度等に課題があった。

そこで、斜張橋斜材の保護管、定着部および斜ケーブル（張力）等を一つの装置で効率的に点検できる多機能型斜材点検ロボット「コロコロチェッカー[®]」（以下、本ロボットと呼ぶ）を開発した。

2. 本ロボットの概要

本ロボットは、写真1に示す昇降装置を有する基本ユニットと水分測定ユニットで構成されている。基本ユニットと水分測定ユニットは連結されており、水分測定を実施しない場合は基本ユニットのみで点検を行う。

表1 斜材の変状および点検方法

部材	変状	点検方法
保護管	損傷・変形・変色	目視
定着部	損傷・変形・腐食・水分の侵入	目視
斜ケーブル（PC 鋼材）	張力の減少・振動	強制振動法および磁歪センサ等
制振装置	損傷・変形・さび等	目視
充填材	充填材の漏出	目視等

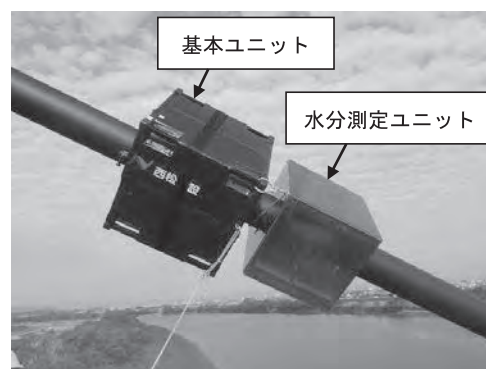


写真1 多機能型斜材点検ロボット全景

基本ユニットの仕様を表一2に示す。基本ユニットの外形寸法は500×500×500mm、質量は30kgであり、2人で斜材への設置が可能な仕様となっている。基本ユニットの内部には、リチウムイオン電池、モーターおよび駆動輪が搭載されており、最大6m/minで走行できる。地上から、昇降、停止等の操作を無線で行い、操作用の無線の通信距離は300m以上となっている。

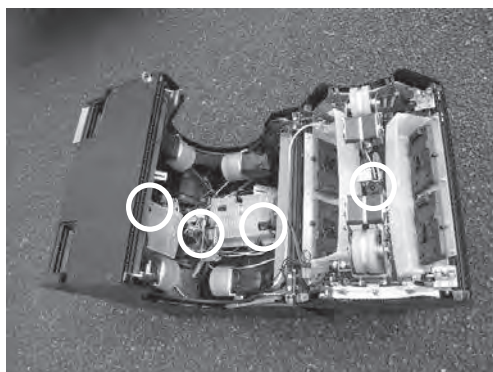
表一2 基本ユニットの仕様

項目	仕様
外形寸法	500×500×500mm
質量	30kg
走行速度	最大6m/min (斜材傾斜角40°)
昇降性能	最大傾斜角65°
走行路面	段差5mm以下
対応斜材直径	φ90~φ230mm
稼働時間	2時間以上
無線通信	最大到達距離300m以上
撮影機器	フルHDカメラ4台 1,920×1,080画素
バッテリー	リチウムイオンバッテリー (4個)
使用温度	0~40℃
使用湿度	85%以下

本ロボットでは、保護管および定着部の点検、保護管内部の水分測定、斜ケーブルの張力点検を行うことができる。以下にそれぞれの概要を述べる。

(1) 保護管および定着部の目視点検

本ロボットの基本ユニットの内部には、写真一2に示すフルハイビジョンカメラ4台を搭載しており、保護管の全周・全延長を撮影できる。また、主塔定着部点検用に、基本ユニット前面には写真一3に示すように外部カメラを3台搭載できる。なお、分析作業時間およびコスト削減の目的から、内部カメラで撮影した画像より、保護管の損傷を自動で抽出できる自動損傷検出ソフトも開発している。



写真一2 内部カメラ (○印)



写真一3 外部カメラ (○印)

(2) 保護管内部の水分測定

(a) 概要

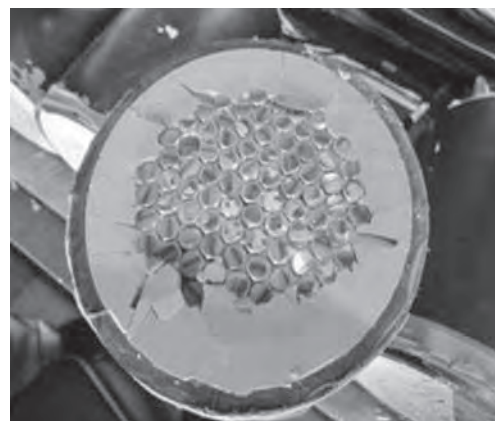
保護管内部の水分の有無は、斜ケーブルの腐食に関係するため、斜張橋を維持管理する上で重要な情報となる。そこで本ロボットでは、非破壊で保護管内部の水分を連続的に測定できる仕様となっている。

(b) 水分測定技術

水分測定技術としては、表一3に示す2つの技術がある。この2つの技術に関して、写真一4に示す模擬斜材で実験を行い、どちらの技術が斜材の水分測定に適しているか検討を行った。その結果、マイクロ

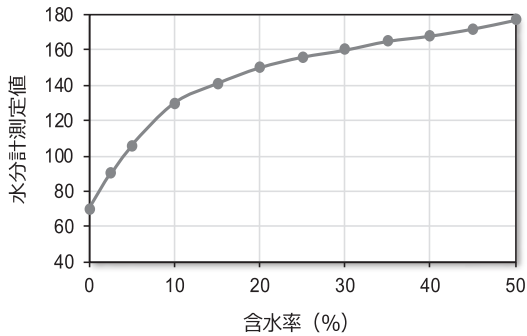
表一3 非破壊で水分量を測定する技術

種類	発信周波数	概要
マイクロ波式	1.0 GHz	水分によるマイクロ波の波長の減衰率を計測して、水分値に置き換え表示する。
電気容量式	100 kHz ~ 20 MHz	測定物に電流を流して、その電気容量の変化を水分値に置き換え表示する。



写真一4 模擬斜材

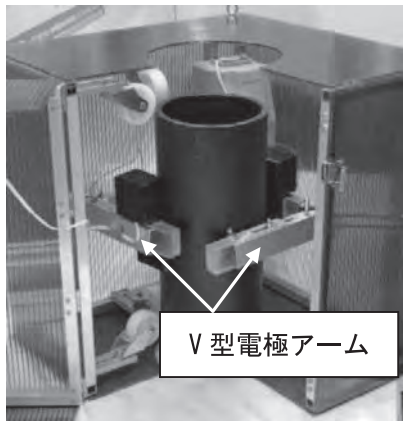
波式は、保護管内部の水分と水分計測定値に相関が見られなかったが、電気容量式については、**図一1**に示すように水分（含水率）と水分計測定値に高い相関があることが分かった。以上より、本ロボットでは、電気容量式を採用することとした。



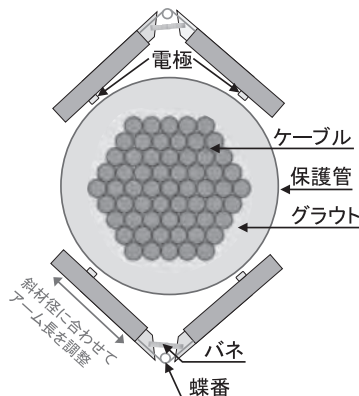
図一1 電気容量式の試験結果

(c) 水分測定ユニットの概要

水分測定ユニットは、**写真一1**に示すように基本ユニットに牽引されて斜材保護管をガイドとして移動しながら水分量を測定する。水分測定ユニットには、電気容量式水分計の2つの電極が斜材に常に密着するよう**写真一5**および**図一2**に示すような構造のV型



写真一5 V型電極アーム



図一2 V型電極アームの模式図

電極アームを採用している。V型電極アームは、アーム長を伸縮させて電極位置を調整することで、直径85～220mmの斜材に適用が可能である。水分計測定値は、水分以外に斜ケーブルの保護管内での位置の影響を大きく受け、変動することが考えられる。このため、V型電極アームは、**図一2**に示すように斜材を挟んで上下に2台配置しており、斜ケーブル位置の偏りに対して測定精度を確保することができるようにしている。

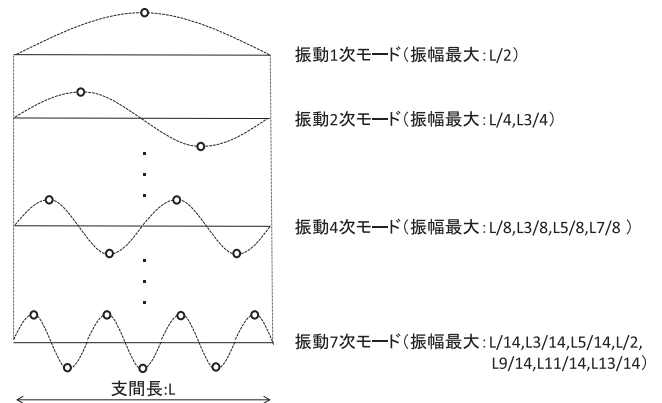
(3) 斜ケーブル（張力）点検

斜張橋の維持管理において斜ケーブルの張力管理は重要な点検項目の一つである。これまでの斜ケーブルの張力測定（従来法）では、斜材の端部に加速度計を取り付け、**写真一6**のように強制的に人力で斜材を加振して斜材の加速度を求め張力を推定していた。従来法では、加速度計を取り付ける場所が点検員によりセットできる橋面上付近となることから、一般に振動（加速度）が小さいため精度の高い測定結果が得られない場合があった。

基本ユニット内部には加速度計が搭載されており、斜材の任意の位置での加速度を測定できる。すなわ



写真一6 加振状況例



図一3 加速度測定ポイント（図中○印）

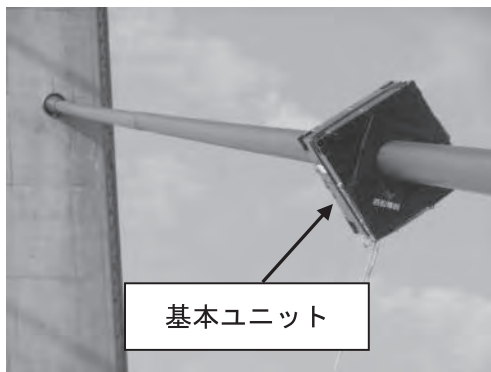
ち、**図—3**のように振幅が最も大きくなる斜材の振動モードの腹の位置に本ロボットを停止させることで高い精度での加速度の測定が可能となる。また、斜材長が長いものでは、人力加振無しでも常時振動で加速度計測を行うことができる。

3. 橋梁での点検事例

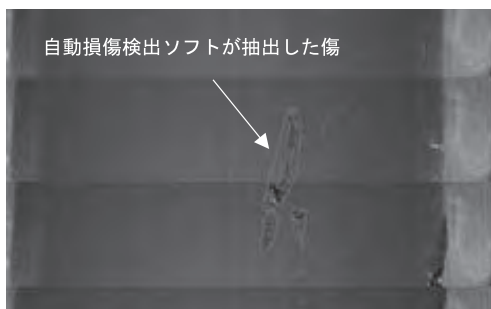
本ロボットは、これまでに6橋の点検実績がある(2023年4月時点)。ここでは、その一例を紹介する。

(1) 保護管および定着部点検

写真—7に本ロボットでの点検状況を示す。本ロボットによって斜材の全周・全延長の画像を取得し、その画像データを自動損傷検出ソフトで分析した結果の一例を**写真—8**に示す。自動損傷検出ソフトを用いることで、データ分析の効率化を図れるとともに、従来の点検方法では見落としがちな小さな損傷まで抽出することができる。さらに、自動損傷検出ソフトでは、損傷の大きさや位置情報を含めて斜材全体の損傷図(展開図)を作図することもできる。また、定着部の撮影例を**写真—9**に示す。なお、点検により、本橋梁の保護管および定着部には問題となる損傷がないことを確認した。



写真—7 点検状況



写真—8 分析結果例



写真—9 主塔側定着部の状況

(2) 保護管内部の水分点検

斜材下端部のグラウト注入孔のグラウトキャップが浮き上がった箇所があり、注入孔との隙間から雨水等が侵入する可能性があったため保護管内の水分の状況を測定した。水分測定は、注入孔無しの斜材1本と、注入孔有りの斜材2本について実施した。なお、注入孔有りの斜材に関しては、注入孔の上側(主塔側)と下側(橋面側)で測定を実施し、注入孔隙間からの雨水侵入の有無を確認した。

水分測定の結果は、**表—4**に示すように注入孔の下側も含め全ての測定位置において水分がないと判定され、本橋梁の斜材に関して保護管内部は健全な状態であることを確認した。

表—4 水分測定の結果

斜材 No.	測定位置	水分判定		備考
		上面	下面	
1	—	無	無	グラウト注入孔無し
2	注入孔上側	無	無	グラウト注入孔有り
	注入孔下側	無	無	
3	注入孔上側	無	無	
	注入孔下側	無	無	

(3) 斜ケーブル(張力)点検

張力点検では、L/2点、L/4点、L/8点の3箇所です本ロボットを停止して、常時振動で5分程度の加速度データを取得し張力を求めた。なお、比較のために橋面付近に加速度計を設置してロープにより人力加振を行う従来法も実施した。従来法では人力加振で約5分の加速度データを取得した。

図—4には、本ロボットで得られた加速度データをFFT解析した一例を示す。**表—5**には2つの方法で求められた張力を示す。本ロボットで求めた張力は、従来法とほぼ同じ値となっており、従来法に代わる技術として適用できることが分かった。なお、本橋梁に関しては、張力の減少はなく、健全な状態であることを確認した。

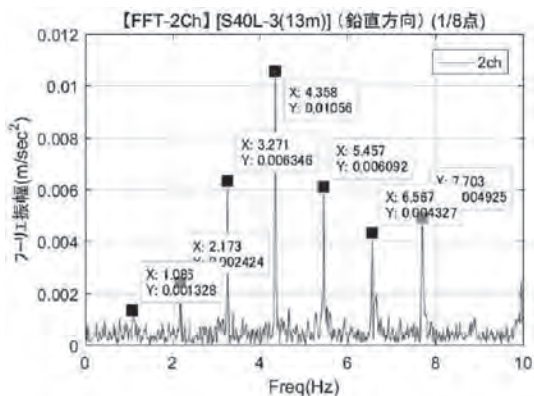


図-4 FFT解析の一例

表-5 張力推定結果

張力 (kN)		比率
①従来法	②多機能型点検ロボット	(②/①)
5,252	5,053	0.96

4. おわりに

以下にまとめを示す。

- ①斜張橋斜材の保護管の損傷、水分測定および張力を1台で点検できる、多機能型斜材点検ロボット「コロコロチェッカー[®]」を開発した。
- ②高所作業車等による従来の点検方法と比較し、本ロボットによる保護管の損傷の点検精度は高く、また、自動損傷検出ソフトを用いることによりデータ分析

の効率化が図れる。

- ③水分および張力測定の実橋梁での適用性は高く、張力測定では従来法と同等の結果であった。

当社では、本ロボット以外にも、水路トンネルを自律飛行で点検できるロボット「トンネルマンボウ[®]」³⁾等も開発しており、社会資本の点検業務の省人化・効率化を目指して、さらなる開発を進める予定である。

謝辞

張力測定においてご協力頂きました大日本コンサルタント(株)の平山博氏、実橋梁での測定にご尽力頂きました第一復建(株)の園田耕平氏に対して、感謝の意を表します。



《参考文献》

- 1) 国土交通省道路局：道路統計年報，2019
- 2) (社)プレストレストコンクリート技術協会：PC斜張橋・エクストラード橋維持管理指針，2012
- 3) 原田耕司：飛行船型の水路トンネル調査ロボットの開発「トンネルマンボウ」，建設機械施工，pp.59-63，Vol.73，No.4，2021

【筆者紹介】

原田 耕司 (はらだ こうじ)
西松建設(株)
技術研究所 主席研究員



高所作業車型トンネル点検システムによる 打音検査と近接目視の機械化

一般道路トンネルにおける iTOREL 高所作業車型の機能紹介

井上大輔・中村 聡

本システムはこれまで人が行っていたトンネル点検に代わり、覆工コンクリートのひび割れとうきを自動検出することで点検から帳票作成までの作業効率を向上させることを目的とする。自動車などの通行を妨げずに点検できる「ガントリー型」に加え、その8倍以上のスピードで点検可能な「高所作業車型」を開発した。打音検査と近接目視を機械化するにあたり、AIで自動判定を行う打音検査ユニットと、光切断法を使ったひび割れ検出ユニットを搭載した。同時に覆工背面空洞を探索するために電磁波レーダの搭載も可能となった。

キーワード：道路トンネル，維持管理，定期点検，地方自治体，交通規制，高所作業

1. はじめに

道路トンネル点検は原則としてトンネル全面を近接目視する必要がある。点検作業者は上向き姿勢を伴う長時間の高所作業を行っており負担が大きい。この作業は打音検査をはじめとして人の技量に頼るところが多く、検査結果のばらつきや技術者不足も懸念されている。このような課題に寄与する新技術の導入が進められている¹⁾。

著者らはロボット技術、音響解析技術、画像処理技術を組み合わせたトンネル点検システム iTOREL 高所作業車型（以下、本システムという）²⁾を開発した。2018年に開発した道路の通行を妨げずに点検できる「ガントリー型³⁾」に加え、2021年にはガントリー型の8倍以上のスピードで点検可能な「高所作業車型⁴⁾」を



写真-1 本システムの外観

開発した（写真-1）。また覆工背面空洞を探索するために電磁波レーダの搭載も可能となった。本システムを用いることで、交通規制および高所作業の時間を減らし、点検から帳票作成までの作業効率を向上できる。本稿では本システムの機器構成と操作方法を説明した後、実際の道路トンネルで取得した点検データの事例を紹介する。

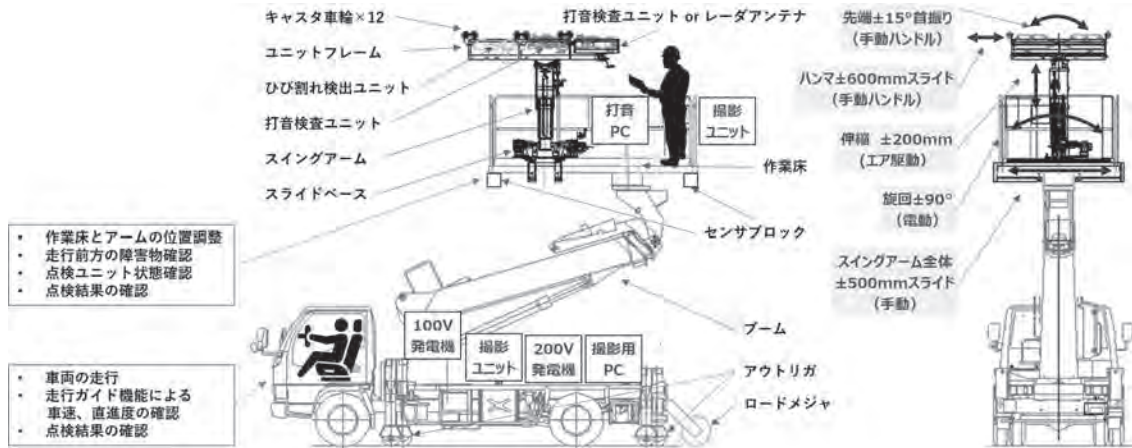
2. システム構成

(1) 全体構成

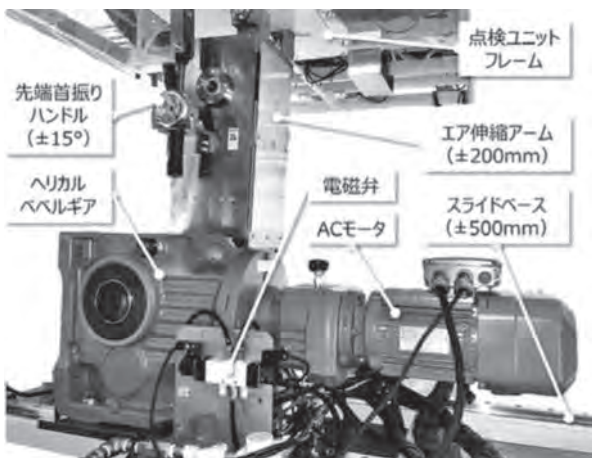
本システムの機器構成を図-1に示す。旋回と伸縮の機能をもつスイングアームを高所作業車の作業床上に搭載し、その先端に取り付けられたユニットフレームをトンネルに押し当てて道路方向に走行しながら点検作業を行う。走行速度は最大時速2kmであり、1回の点検幅は搭載する点検ユニットの構成に応じて0.3mから1.2mまでの範囲で変更できる。主な構成要素について以下に説明する。

(2) スイングアーム

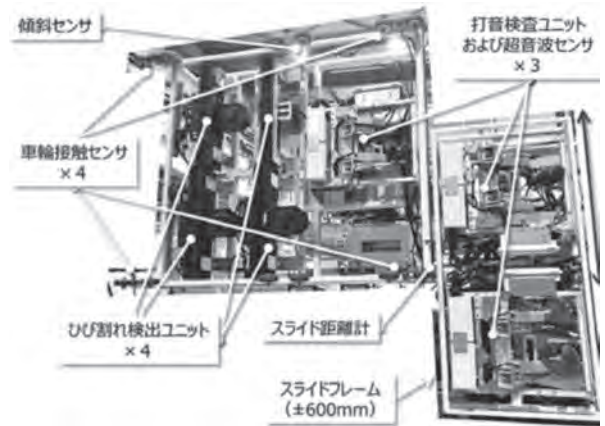
外観を写真-2に示す。最大200kgのユニットフレームを先端に搭載し、トンネル覆工コンクリートに対する位置、角度、離隔を調整する。旋回、伸縮、先端首振り、全体スライドの4自由度を持つ。旋回はACモータ、伸縮はエアシリンダ、それ以外は手動で調整する。スライドベースを介して高所作業車の作業床上に固定され、各種搭載機器の自重や反力を支える。



図一 本システムの機器構成



写真一 2 スイングアームの外観



写真一 3 大型ユニットフレームの外観

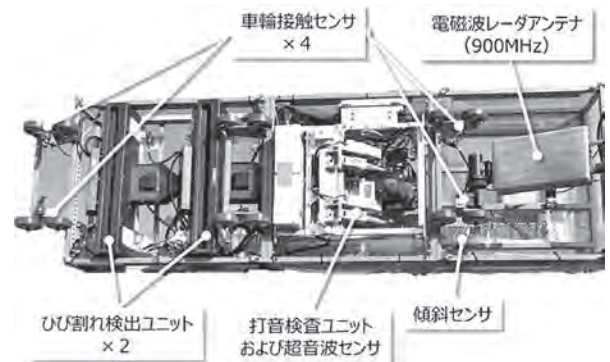
アームには傾斜計とレーザ距離計が備えられ、ユニットフレームの位置姿勢が算出される。

(3) ユニットフレーム

スイングアームの先端に装着され、点検箇所位置決めされる。打音検査ユニットやひび割れ検出ユニットを一定間隔で固定するために用いる。複数のキャスタ車輪と接触検知スイッチによってトンネル覆工との離隔を一定以上に保つ。各ユニットの点検位置は傾斜計により算出する。搭載するユニットに合わせてカスタマイズでき、現在は大型と小型の2種類を用意している。

大型の方は3台までの打音検査ユニットと4台までの光切断ユニットを搭載でき、点検幅1.2mで1,000 m²/h以上の高速点検が行える(写真一3)。打音検査ユニットのスライド機構を備え、設備近傍0.2mまで打音検査できる。スライド位置はレーザ距離計により算出する。

小型の方は点検幅が0.3mであり、点検速度は大型の1/4となるが、その代わりに電磁波レーダアンテナ



写真一 4 小型ユニットフレームの外観

の同時搭載が可能である(写真一4)。また小断面のトンネルや、照明等の坑内設備およびケーブルの多いトンネルに適する。

(4) 打音検査ユニット

写真一5に示すように、従来点検で人が用いる点検ハンマと同じ物を搭載する。劣駆動関節と揺動スライダクランク機構を組み合わせて打撃時の腕のしなりを再現し、人に極めて近い打音を取得する⁵⁾。打面との離隔を調整するステッピングモータを備え、超音波

センサで得られた離隔距離をもとにフィードバック制御される。ユニット1台につき2本のハンマを備え、ハンマ間隔を200mmピッチに設定すればユニット3台で1.2mの幅を打音検査できる。走行方向も200mmピッチで検査するには車速を20m/min以下とする。打音はガンマイクで収音され、高速フーリエ変換とFuzzy c-meansもしくはAdaBoostによりうきを判定する(図-2)。うきの検出精度はコンクリート試験体を用いた実験によって点検員と同等であることを確認している⁶⁾。

(5) ひび割れ検出ユニット

写真-6にひび割れ検出ユニットの外観を示す。白色LEDスリット照明を用いた光切断法により、1台の産業用カメラで距離画像とカラー画像を取得する。両画像にプロブ解析とガウシアンフィルタを適用

して即座にひび割れを検出する(図-3)。2種類の画像で検出処理を行うことで、一般的なひび割れ検出手法に比べて誤検出を抑えることができる⁷⁾。1台のカメラで両画像を取得しているため、検出結果を画素単位で統合しやすいことも特徴である。撮影後の後処理に数秒の時間を要するため、同じカメラを走行方向に2台並べ、後処理中はもう1台のカメラで交互に撮影することで、走行を止めずに最大30m/minで連続撮影を行う。2台で0.6mの幅を撮影し、4台のカメラで合計1.2mの幅を撮影する。4Kカメラを用いて1画素0.2mmの画質で撮影できる。

(6) 撮影ユニット

ひび割れ検出ユニットで撮影できないトンネル内照明等の設備周辺は、本ユニットを用いて撮影する(図



写真-5 打音検査ユニットの外観

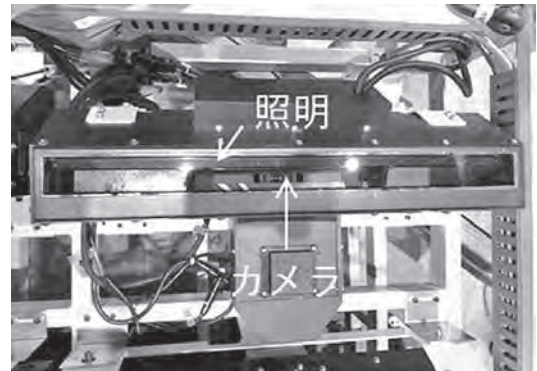


写真-6 ひび割れ検出ユニットの外観

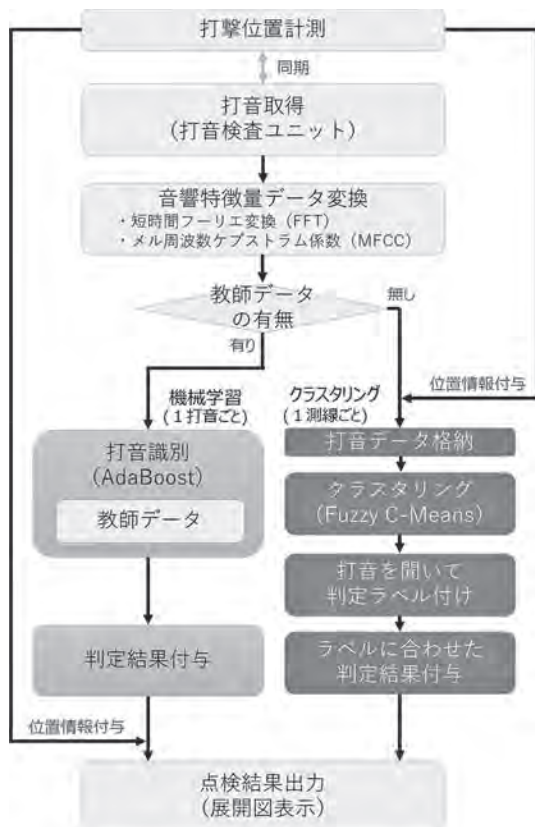


図-2 打音検査ユニットによるうき判定フロー

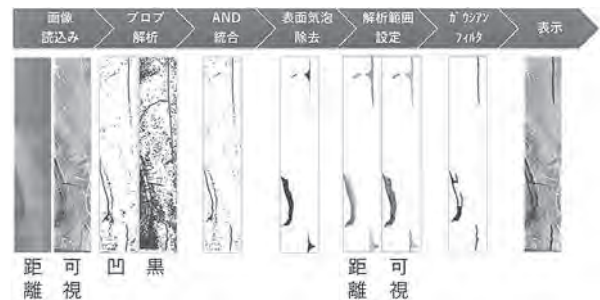


図-3 ひび割れ検出処理フロー

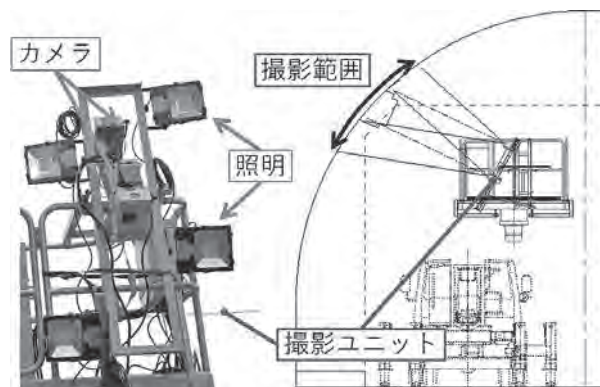


図-4 撮影ユニットの配置と撮影範囲

一4)。TDI (Time Delay Integration) 方式を用いることで、小型の照明でも光切断法と遜色ない画質の可視画像を連続的に取得する。4台のカメラを使って最大40 m/minで撮影できる。カメラにジンバルを追加して未舗装路でも使用できる。

3. システムの操作方法

(1) 操作人員

本システムを用いたトンネル点検の作業フローを図一5に示す。本システムの操作は作業床上操作者、車両運転手、地上指揮者の3人で行う。1人目は作業床の上に乗る、走行停止中の作業床とアームの位置姿勢調整、点検ユニット状態確認、点検開始停止操作を行う。2人目はベース車両の運転席に座り、適切な車速および直進度を維持しながら車両を運転する。3人目は地上から点検前の測線の開始位置指示や点検中の前方障害物確認等、点検作業全体の指揮をとる。

(2) 操作インターフェース

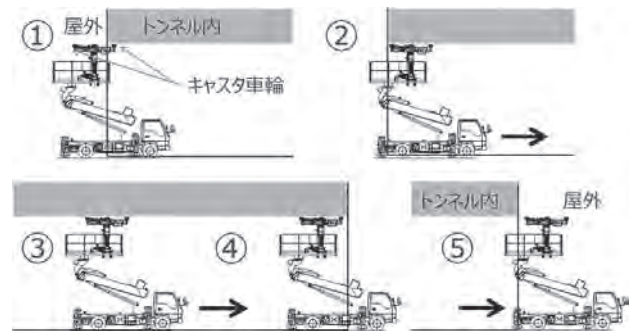
運転手はタブレット端末に表示された走行ガイド(インジケータと速度超過ブザー)を参照しながら運転することで、所定の車速を維持しながらトンネル壁面に沿って直進する。

作業床上操作者は、センサブロックで得られる作業床の位置姿勢をタッチパネル上で参照しながら、高所作業車の作業床の位置や角度、スイングアームのスライド・揺動・伸縮の量、ユニットフレームの位置姿勢、点検ユニットの開始・停止を操作する。

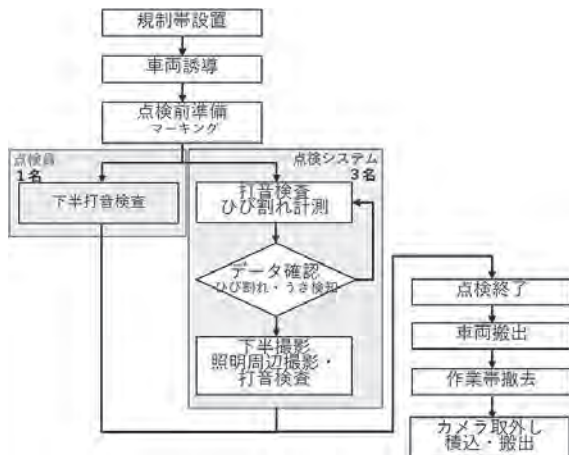
地上指揮者はWi-Fiでタブレット端末とシステムを接続し、点検データを確認する。

(3) 点検操作手順

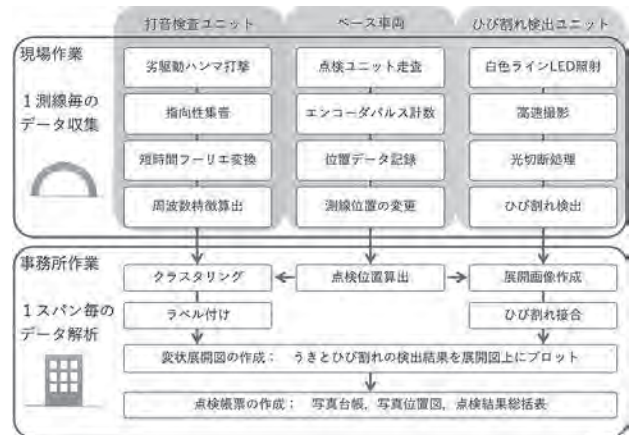
本システムを用いたトンネル点検の模式図を図一6に示す。まず①作業床とアームの位置姿勢を測線に合わせ、車両を徐行させながらトンネル入口に接近し、ユニットフレーム先頭のキャスト車輪がトンネル内に進入した時点で車両を停止させ、ユニットフレームの姿勢を覆工に合わせて微調整する。その後アームを伸ばしてユニットフレームをトンネル覆工に軽く押し当てる。次に②点検開始ボタンを押し、キャスト車輪が全て覆工に接地するまで徐行前進する。③アームを伸ばし続けてユニットフレームを覆工にしっかりと押し付けた状態で、走行ガイド機能を有効にして20 m/min以下で連続走行する。④前方のキャストがトンネル出口から出る直前に車両を停止させ、アームの押し付けを弱める。最後に、⑤ユニットフレーム全体がトンネルを出るまで徐行で前進させ、点検停止ボタンを押し、アームを格納する。以上の手順を測線ごとに繰り返すことで、打音と画像それぞれのデータが位置データに紐づけて収集される。これらのデータを専用ソフトウェアで繋ぎ合せると、トンネル1スパン毎の展開画像および変状展開図が得られる(図一7)。剥落する危険性のあるうきが生じた際には、その場で叩き落とし等の緊急措置を行う。



図一6 点検システム操作手順



図一5 点検作業フロー



図一7 点検データ処理フロー

(4) トンネル内設備近傍での点検操作手順

トンネル用照明やケーブル等の設備近傍ではユニットフレームを押し当てられない範囲がある。この範囲では撮影ユニットによる画像取得を行い、打音検査は人による従来手法で補完する。その手順はまず①車両および作業床を測線の位置に合わせ、点検開始ボタンを押す。②トンネル内に進入したら走行ガイド機能を有効にして40 m/min以下で連続走行する。同時に作業床上では設備近傍を人が打音検査する。③トンネルを出たら点検停止ボタンを押し、得られた画像を確認する。④この画像を専用ソフトウェアで繋ぎ合せると、トンネル1スパン毎の展開画像が得られる。打音検査結果はこの展開画像上に入力する。

4. システムによるデータ取得事例

本システムを用いて得られるデータの例として、実際の道路トンネルで取得したデータを、本システムに搭載した各種点検ユニット毎に紹介する。

(1) 打音検査ユニット

写真一七に示すトンネルで取得した打音検査結果の展開図例を図一八に示す。クラスタリング処理の結果、最も少ない数のクラスタとなった点を異常箇所として中実白丸で、それ以外を正常箇所として中空白丸で示す。ひび割れのチョーク跡周辺に異常箇所が表れている。

このクラスタリング処理に用いられた打音データの例を図一九に示す。上のグラフが打音波形であり、下向き矢印で打撃音のピークを示している。打撃音は高い周波数を含んでおり、他の音よりも音量が大きいことがわかる。下のグラフはスペクトル図であり、打撃音の間に他のピーク音も含まれ、隣り合う打音検査ユニットの打音が混ざっている。判定対象となる打音

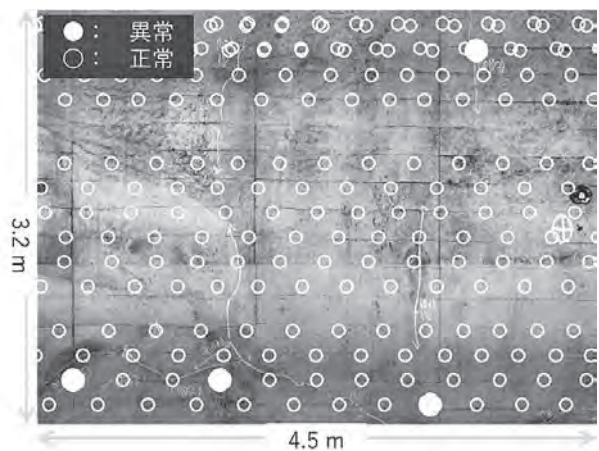


写真一七 道路トンネルでの点検状況

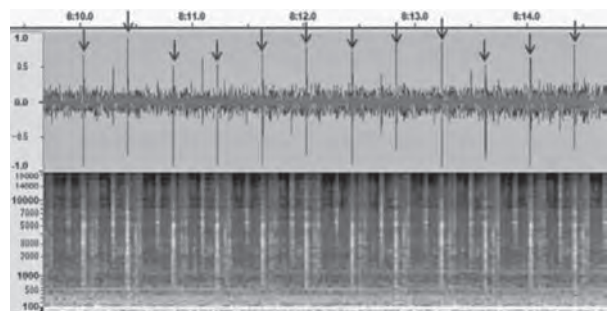
とそれ以外の音のスペクトルの比をとると図一十のようになり、全周波数の平均で13 dB程度であり、判定に問題の無い音質で収録できている。

(2) ひび割れ検出ユニット

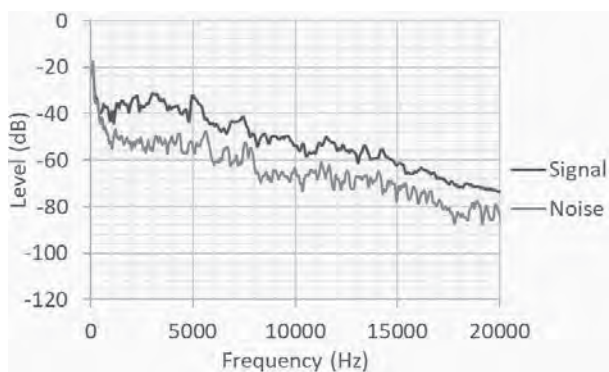
上記と同じトンネルでひび割れ検出ユニットにより撮影された可視画像の例を写真一八に示す。ひび割れのチョーク跡や緑色の苔が発生していることを確認できる。幅0.7 mmのひび割れが2本写っているが、ひび割れ幅は部分的に細い箇所があるため写り方が異なる。細い部分は周囲のひび割れとのつながりを考慮してつなぎ合わせることで検出する。



図一八 本システムによる変状展開図例



図一九 打音の波形とスペクトルの例 (矢印は打撃音のピーク箇所)

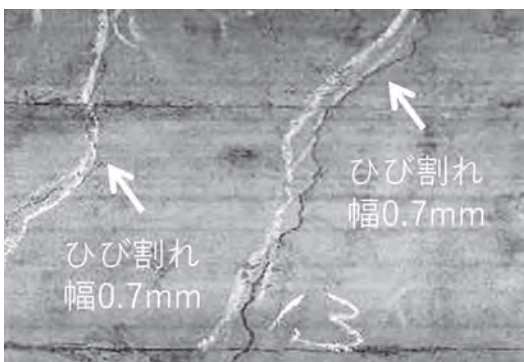


図一十 打撃音ピークとそれ以外のスペクトル比較例

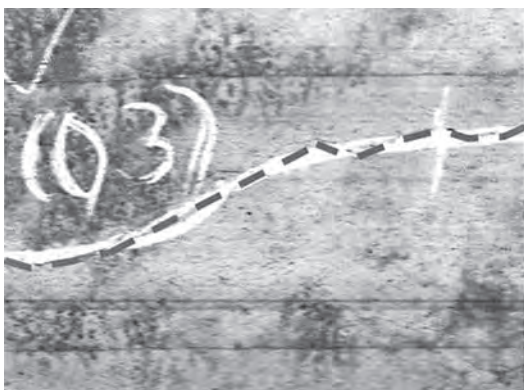
細いひび割れの例として、幅 0.3 mm のひび割れ可視画像を拡大して図一 11 に示す。ひび割れ検出結果を破線で併記している。また同じ範囲の距離画像を図一 12 に示す。ひび割れの奥行きが黒く表れており、可視画像と組み合わせてひび割れと汚れ等を区別して検出できる。

(3) 撮影ユニット

撮影ユニットを用いた撮影状況を写真一 9 に、1 スパンの展開画像例を図一 13 に示す。この画像は 3 往復 6 本の測線画像をつなぎ合わせて作成された。この画像から照明設備やケーブルの取付け状態および



写真一 8 ひび割れ幅 0.7 mm の可視画像例



図一 11 ひび割れ幅 0.3 mm の可視画像とひび割れ検出結果例



図一 12 幅 0.3 mm の距離画像

チョーク跡を確認できる。

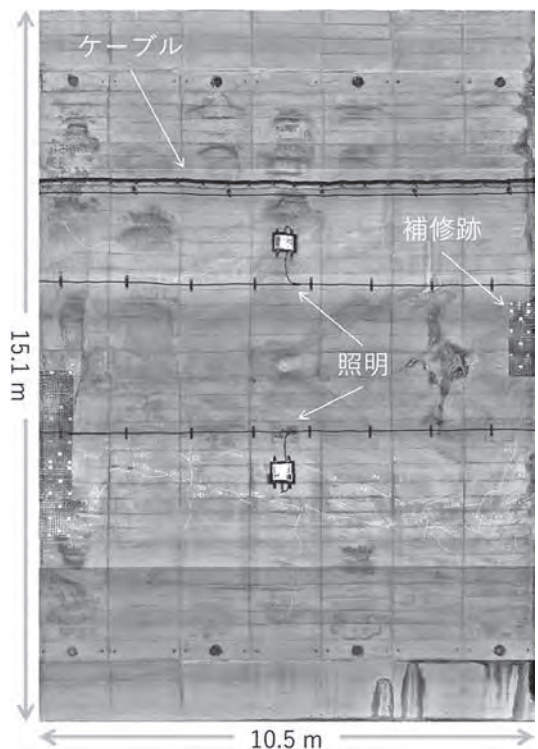
(4) 電磁波レーダユニット

背面空洞が発生しやすいトンネル天端から肩部の 5 測線を、2 m 間隔で取得した。また同時にひび割れ検出を幅 0.6 m、打音検査を幅 0.4 m で行った。そのデータ例を図一 14 に示す。0.2 mm 以上のひび割れを実線で、打音検査で異常なしと判断された箇所を薄いグレーの丸で、打音検査で異常と判定された箇所を濃い丸で示している。

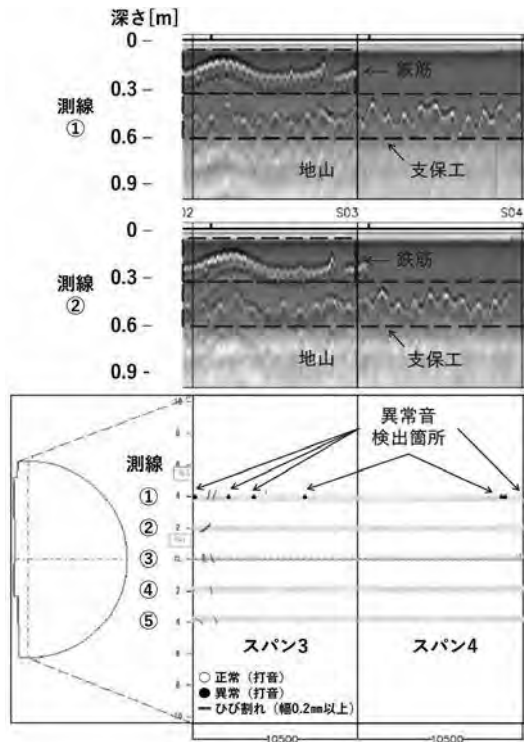
異常音が検出された測線①について取得したレーダ画像例を確認すると、トンネル覆工内部の鉄筋や支保工がはっきりと写っており、その内側の地山にも緩みなどの変状が見られない。また異常音のない測線②の



写真一 9 撮影ユニットによる撮影状況



図一 13 撮影ユニットによる展開画像例



図一 14 レーダ画像と変状図の例

レーダ画像との間に差異は見られない。異常音を人の耳で聴くと清音であったことから、誤検出であったと思われる。

5. おわりに

著者らはトンネル点検システム iTOREL 高所作業車型を開発し、打音検査と近接目視の機械化を試行した。本システムの機器構成と操作方法、および道路トンネルにおけるデータ取得事例を紹介した。各種ユニットから得られたデータを組み合わせて、トンネル点検の機械化・効率化を進めていく。

本システムは内閣府「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」における研究成果をもとに開発された。点検データ取得の一部は土木学会「新技術の地域実装促進に関わる研究助成」において実施された。

J C M A

《参考文献》

- 1) 国土交通省, 点検支援技術性能カタログ, 2023年3月.
- 2) iTOREL, アイトーレル, 登録商標第6200054号, 2019年11月.
- 3) S. Nakamura, A. Yamashita, F. Inoue, D. Inoue, Y. Takahashi, N. Kamimura and T. Ueno, Inspection Test of a Tunnel with the Inspection Vehicle for Tunnel Lining Concrete, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.31, No.6, pp.762-771, 2019/12.
- 4) 井上大輔, 上村暢一, 中村聡, アーム型トンネル覆工打音検査・撮影システムの開発, 東急建設(株)技術研究所報, No.47, pp.53-57, 2022年1月.
- 5) 高橋悠輔, 中村聡, 響きを考慮した劣駆動型打音装置の開発と性能評価, 東急建設(株)技術研究所報, No.42, pp.71-74, 2017年1月.
- 6) 高橋悠輔, 前原聡, 藤井浩光, 山下淳, 人の音に近い打音装置を使った変状検出手法, 日本ロボット学会誌, 38巻, 1号, pp.113-118, 2020年1月.
- 7) D. Inoue, T. Ueno and S. Nakamura, Robotic Inspection Tests of Tunnel Lining Concrete with Crack Light-Section Device on Variable Guide Frame, International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC), pp. 540-545, 2018/7.

【筆者紹介】



井上 大輔 (いのうえ だいすけ)
東急建設(株)
技術研究所 メカトログループ
主任研究員



中村 聡 (なかむら さとる)
東急建設(株)
技術研究所 メカトログループ
グループリーダー

トンネル覆工を安全かつ高速で更新する トンネル更新工法の開発

LCR-Speed 工法 (Lining Concrete Renewal - Speed Method)

杉田 崇・宇田 誠・西脇 敬一

老朽化したトンネルでは、覆工コンクリートの打替え等の更新工事が実施されているが、従来のトンネル更新工法においては、供用しながらの施工は利用者の安全を確保する必要があり、施工費が高い、工期が長いなど多くの課題を抱えている。それらの課題を解決するため、従来のトンネル更新工法に比べコスト縮減や工期短縮を図ることができ、車線規制期間が極めて短くできる施工方法の開発を行った。

本稿では、老朽化した山岳トンネルを安全かつ高速でリニューアルすることを目的として開発した、「LCR-Speed 工法」について紹介する。

キーワード：山岳トンネル、矢板トンネル、覆工コンクリート、老朽化対策、トンネル更新

1. はじめに

矢板工法で建設されたトンネルの中には、老朽化に伴い覆工コンクリートの材質劣化、ひび割れおよび漏水等の変状が多数発生したトンネルや、建設当時と比較し、交通量の増加や大型車の増加等により車線数の増設、建築限界への対応などが必要なトンネル等がある。このようなトンネルでは、迂回路がない場合には一般交通を確保しながら覆工の打替え等の更新工事が実施される場合もあり、今後、同様の対応が必要となるトンネルの増加が見込まれる。

一方、現行のトンネル更新工事においては、施工中における利用者の安全の確保や、合理的な施工方法が確立されておらず、また、施工費が高くなることや、工事期間が長くなるなど、多くの課題を抱えている。

それらの課題を解決するため、従来のトンネル更新工法に比べコスト縮減や工期短縮を図ることができ、車線規制期間が極めて短くできる「LCR-Speed 工法」¹⁾の開発を行った。

2. 工法概要

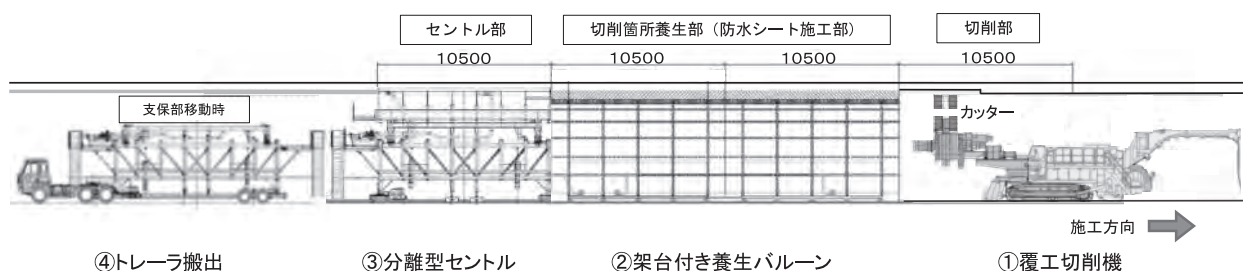
LCR-Speed 工法（以下、「本工法」）を適用する前提条件を以下に示す。

- ・対象とするトンネルを、延長 1,000 m までの矢板工法（巻厚 60 cm 以上）で施工された道路トンネル
- ・更新工事期間中の道路規制は夜間通行止め

(1) 機械設備

本工法は、①専用の覆工切削機、②切削済箇所を防護する架台付き養生バルーン（防水シート施工部含む）、③分離型セントルを組み合わせた工法である（図一1）。

本工法は、老朽化したトンネル覆工コンクリートを 20 cm 程度切削、養生、防水工後に切削箇所に高強度コンクリートを打ち直すことで、安全かつ急速な施工によりトンネル覆工を改築することが可能である。



図一1 本工法 施工概要図

(2) 施工方法

本工法は、自由断面掘削機をベースとした専用の覆工切削機(図一1①)を使用し、カッターを覆工コンクリート面に直角に押し当てて切削を行う。切削は、覆工コンクリート1スパン(10.5m)ずつ行い、切削したコンクリートガラは、バックホウ(0.45m³級)によりダンプトラック(10t)に積み込み坑外へ搬出する。

覆工コンクリート切削終了区間は、架台付き養生バールン(図一1②)により養生を行い、夜間閉鎖開放後の一般車の防護を行う。

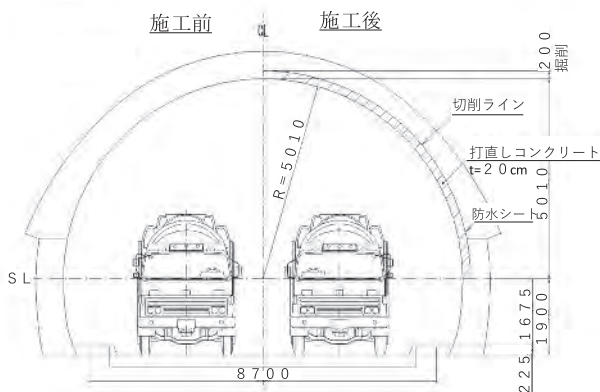
切削箇所に防水シートを設置後、分離型セントル(図一1③)をセットし、コンクリートポンプを使用して打直し覆工コンクリートを打設する。

コンクリートを打設し、所定強度(自重に耐えうる強度)発現後、分離型セントルの型枠部(以下、スキンプレート部と言う)から支保工部(以下、ガントリー部と言う)を取り外し、トレーラにより坑外へ搬出(図一1④)して、一般車の通行開放を行う。

3. 開発項目

本開発で対象とするトンネルは、矢板工法で施工され、覆工コンクリートの打直しが必要な老朽化した道路トンネルを想定する。また、トンネル形状は、2車線断面(内空上半半径5,010mm)、覆工巻厚が60cm以上有るトンネルを想定した(図一2)。このトンネルに対し、覆工コンクリートを20cm程度切削し、硬化促進型の高強度コンクリートを打ち直すことにより、覆工コンクリートを更新する工法の開発を行った。

本開発のねらいは、道路トンネルの覆工コンクリートを効率よく切削できる機械を開発し、これを主とした覆工の更新技術を一連のシステム(トンネル更新工法)として確立することにより、従来のトンネル更新



図一2 検討トンネル断面形状

工事に比べコストの縮減、工期短縮が図られ、車線規制期間が極めて短くできるようにすることである。

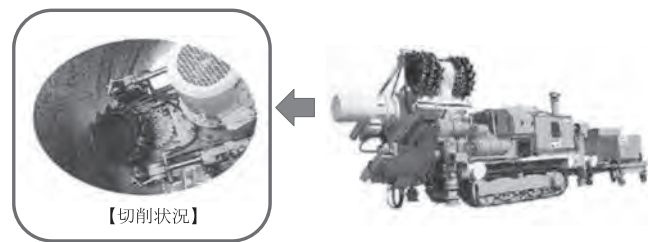
以降、開発項目について説明する。

(1) 覆工切削機

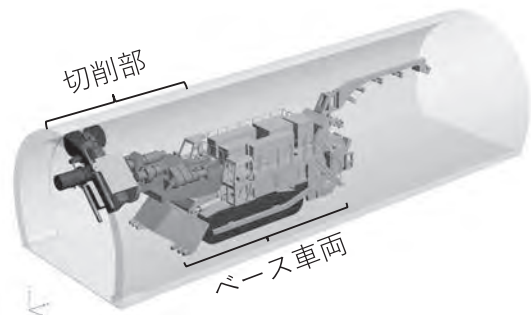
切削機は、2車線道路トンネルの覆工コンクリートを急速かつ高精度に切削でき、施工コストを縮減できることを要求性能とする。

切削機の仕様を以下に示す。

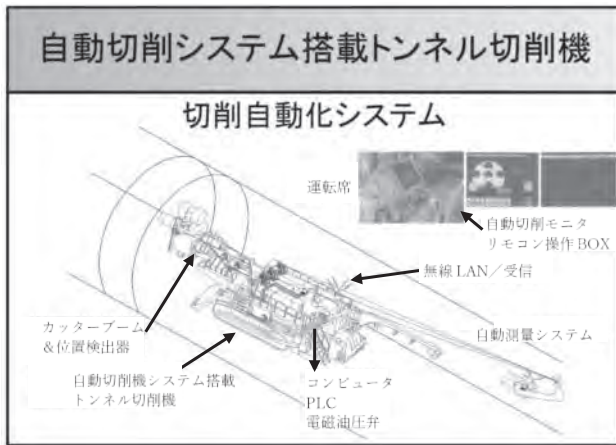
- ・切削部は、覆工コンクリート切削に実績のある水路用覆工コンクリート切削機²⁾をベースとし、覆工断面形状に沿って旋回して切削する構造とする(図一3)
 - ・切削能力10m³/h(覆工コンクリート強度30N/mm², 覆工厚t=20cm切削時)を満足するため、160kWのカッターブームを装着する
 - ・ベース車両は、坑内に設置後、機械の移動なしで側壁~天端まで切削できる寸法として、300kW級の自由断面掘削機(RH-10J)を使用する
 - ・切削の高精度化のため、自動切削システムを搭載する
 - ・切削機は、施工前に坑外仮設ヤードから自走で搬入し、施工後自走にて搬出する
 - ・切削動力の電源は、トラック搭載の発電機(400kVA)で対応し、走行は油圧駆動のモータを使用する
- 今回開発した覆工切削機のイメージ図を図一4、自動切削システム概要図を図一5に示す。



図一3 水路用覆工コンクリート切削機



図一4 覆工切削機 イメージ図



図一五 自動切削システム概要図

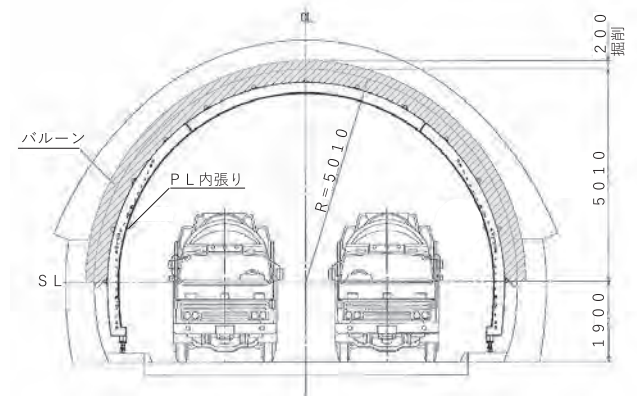
(2) 架台付き養生バルーン

架台付き養生バルーンは、覆工コンクリート切削箇所を一般車が安全に走行でき、また、落石に対しても耐えられる構造を有することを要求性能とする。

架台付き養生バルーンの仕様を以下に示す。

- ・切削した覆工面は、空気送風方式のバルーンにより密着させて養生を行う方式とする (図一六)
- ・架台の形状は、支保部材を極力少なくしたアーチ型とし、アーチ状にバルーンを配置する
- ・架台は、トンネル内を容易に移動ができるレール式とする
- ・架台は、46 cm 角の落石に耐えられる H200 のアーチ部材を使用する

今回開発した架台付き養生バルーンの断面図を図一七に示す。なお、架台付き養生バルーンは、適用するトンネル断面に応じて製作する。



図一七 架台付き養生バルーン断面図

(3) 分離型セントル

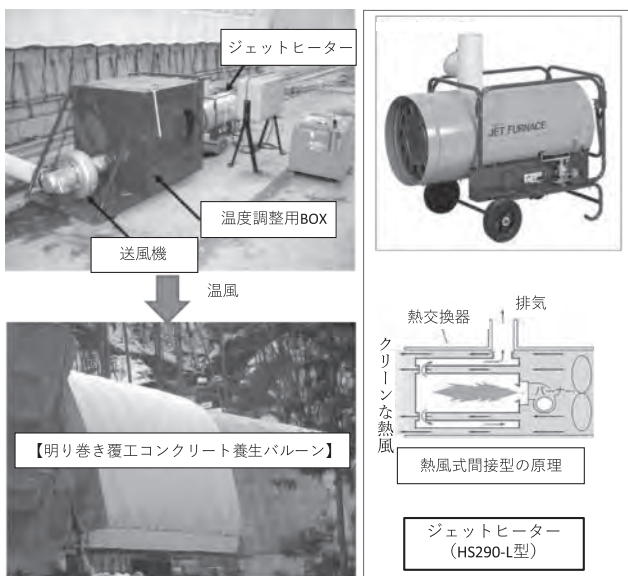
本工法は、夜間通行止めの間、セントルを使用して打直し覆工コンクリートを打設し、昼間にはコンクリートを養生しながら交通を全面開放する。そのためセントルの構造は、ガントリー部を分離して2車線を確保できる分離型セントルとする必要がある。また、存置するスキムプレート部は、若材齢のコンクリートを養生し、かつ、一般車が安全に通行できる構造が必要である。

今回開発する分離型セントルは、覆工コンクリート打設後、一般車が安全に走行でき、繰り返して使用できるように移動性がよく、組立て、取外しが容易で堅固な構造を有することを要求性能とする。このため、分離型セントルは、上記の性能を有し、山岳トンネルの覆工コンクリート構築に施工実績がある、テレスコピック型セントルの構造を採用する (図一八)。

覆工セントルの仕様を以下に示す。

- ・流動性の高いコンクリートを使用するため、セントルは、型枠に側圧として液圧が作用する構造とする
- ・セントルは、スキムプレート部とガントリー部を分離できる構造とする
- ・分離したガントリー部は、トレーラで搬出・搬入ができる構造とする

今回開発した分離型セントルの分離移動状況を図一八に示す。



図一六 架台付き養生バルーン説明図



図一八 テレスコピック型セントルの例³⁾

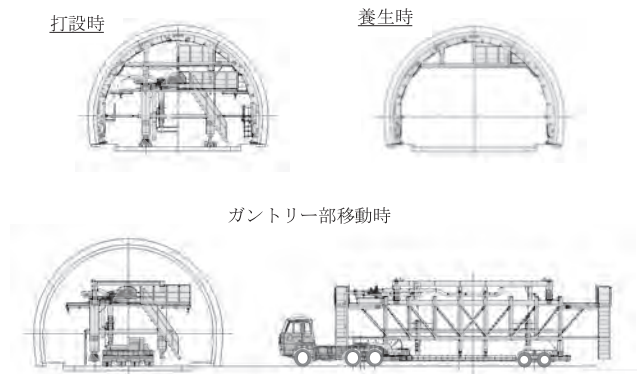


図-9 分離型セントル 分離移動状況

(4) 打直し覆工コンクリート

打直し覆工コンクリートは、打設後、早期に型枠支保工を撤去し、一般交通への影響を最小限とすることを目的に急硬材を混入した硬化促進型高強度コンクリート（以下、急硬コンクリートと言う）の開発を行った。

急硬コンクリートに要求される性能としては、下記

が考えられる。

- ・優れた充填性を有すること
- ・高い強度を有すること
- ・打設後、数時間でトンネルの安全性が担保できる強度（打設後3時間程度で2N/mm²、自重に耐える強度）を有すること
- ・ひび割れ抵抗性が高いこと
- ・長期的に耐久性を有すること
- ・爆裂防止性能を有すること

上記要求性能を満足するための各性能の最初の目標項目、目標値を表-1に示す。なお、設計基準強度は、60N/mm²と設定した。これは、曲げ引張り破壊により構造耐力が決まる場合を除くほとんどの条件下で、急硬コンクリート（設計基準強度60N/mm²、厚さ20cm）の耐力が、既設の覆工コンクリート（設計基準強度18N/mm²、厚さ30cm）を上回るためである。

これらの性能を満足するコンクリートの配合を試し練りや打設実験によって選定を行った。急硬コンクリートの配合例を表-2に示す。当該配合は、実施

表-1 急硬コンクリートの必要性能

必要と想定される性能				目標値
施工時に 求められる性能	① ワークビリティ	①-1 充填性	①-1-1 流動性	打込み時の最小スランブフロー50cm程度（練上がり時のスランブフロー65±10cm程度）
			①-1-2 材料分離抵抗性	分離を生じないこと
		①-2 圧送性	水平20m、鉛直8m程度の圧送が可能であること	
	①-3 凝結特性	打込み完了後3時間程度で2N/mm ² 程度		
② 強度発現性				
硬化後に 求められる性能	① 強度			60N/mm ² （材齢28日）
	② 耐久性	②-1 コンクリートの耐久性	②-1-1 耐凍害性	耐凍害性を有すること
			②-1-2 耐アルカリ骨材反応	アルカリシリカ反応を起こさないこと
	③ ひび割れ抵抗性	③-1 収縮	③-1-1 温度	5～35℃
			③-1-2 乾燥（自己含む）	収縮ひずみ800μ程度以下

表-2 急硬コンクリートの配合例（爆裂防止対策）
（ベースコンクリート）

水 セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	空気量 Air (%)	単位量 (kg/m ³)								
			水 W	セメント C	細骨材 S			粗骨材 G			AE 減水剤 Ad
					S1	S2	計	G1	G2	計	
43.7	48.0	4.5	171	391	577	255	832	454	464	918	2.74

（ベースコン1m³あたりの繊維混入急硬コンクリートの添加量）

水 (遅延剤溶解用) W2	急硬材 fac	遅延剤 Re	高性能 減水剤 SP	繊維 F
15	168	10.07	8.94	1.05

工を想定して、レディーミクストコンクリート工場からベースコンクリート 1m³を納入して、現場でトラックアジテータ車に急硬材他を添加し、急硬コンクリートを製造する場合の配合例を示している。

4. 施工

(1) 施工フロー

本工法は、夜間通行止めを行いながら覆工コンクリートの一部を切削し、繊維混入急硬コンクリートを打ち直して更新する。施工フローを図-10に示す。

(2) 施工サイクル

本工法の施工サイクル例を表-3に示す。覆工 No.1の覆工を切削した後、サイクル1日目（覆工 No.2 ①覆工切削）からの施工ステップを示している。

本工法の施工サイクルタイムを表-4に示す。本工法の月進は 52.5 m を目標としている。

・月進：10.5 m/4 日 × 20 日 = 52.5 m

5. おわりに

現在、本工法を構成する主要機械・設備の設計が終

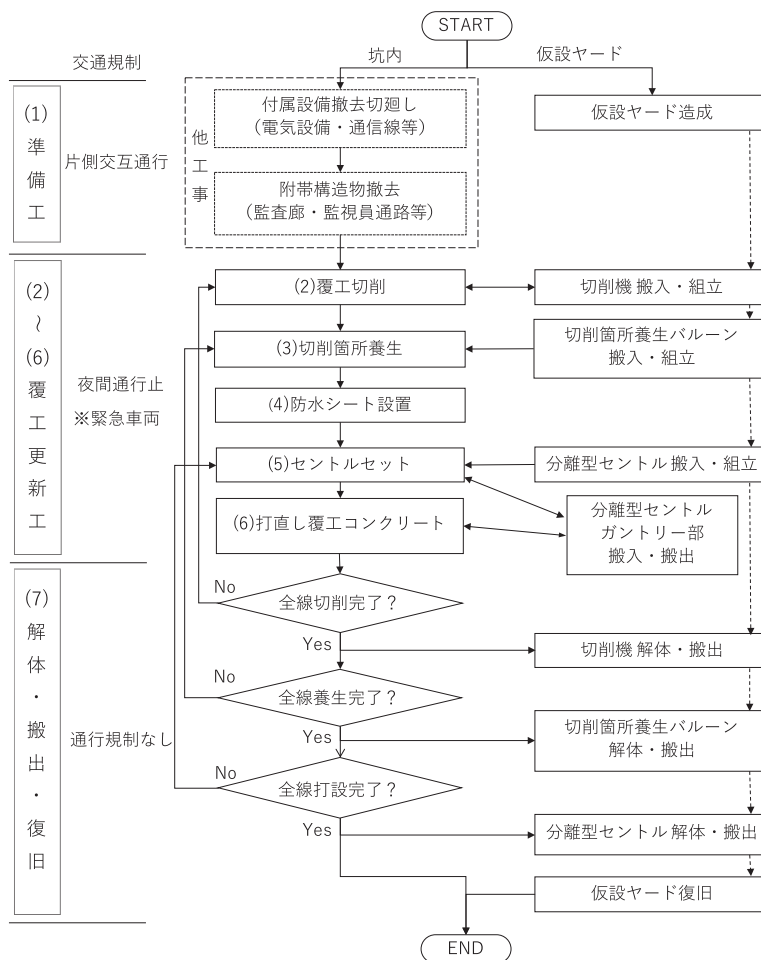


図-10 更新工法施工フロー図

表-3 施工サイクル例 (4日1サイクル)

覆工 No.	1	2	3
サイクル1日目	切削済	①覆工切削	
サイクル2日目	②防水シート	切削済	凡 例 横断方向：作業終了後、養生バルーンを放置するスパン ①～④：当日の作業内容
サイクル3日目	③セメントセット	切削済	
サイクル4日目	④覆工打設	切削済	
サイクル1日目	覆工養生	切削済	

表—4 サイクルタイム

日毎に作業交代:4日で1スパン(10.5m)完了			
サイクル1日目	サイクル2日目	サイクル3日目	サイクル4日目
覆工切削(目標)	防水シート設置(目標)	セントルセット(目標)	打直し覆工コンクリート打設(目標)
・機械移動、セット 60分	・高所作業車搬入 60分	・ガントリー一部搬入 60分	・ガントリー一部搬入 60分
・切削 300分	・防水シート施工 300分	・スキンプレート部と合体 60分	・スキンプレート部と合体 60分
・ずり出し(機械搬出) 60分	・片付け(機械搬出) 60分	・セントルセット 180分	・コンクリート打設 180分
・切削箇所養生 60分	・防水シート区間養生 60分	・妻板設置・打設段取り 120分	・養生 180分
・検査、確認 60分	・検査、確認 60分	・巻厚検査等 60分	・ガントリー一部搬出、片付け 60分
・休憩 60分	・休憩 60分	・ガントリー一部搬出、片付け 60分	・休憩 60分
600分	600分	600分	600分

了し、急硬コンクリートは、打設実験を完了している。今後は、機械・設備の自動化に向けた対応についても開発する予定である。そして、全国のトンネル更新工事へ提案していきたいと考えている。

本稿は、(国研)土木研究所および鉄建建設(株)による共同研究成果を一部報告したものである。また、この開発には、カヤバ(株)、(株)東宏、大栄工機(株)の各社に協力をいただいた。ご指導いただいた関係各位に深く謝意を示します。

J|C|M|A

《参考文献》

- 1) 鉄建建設(株) 宇田誠他、(国研)土木研究所、トンネル改修工法、特許7125056、2022.8.24
- 2) 仲里純勇他：覆工薄肉打ち替えによる急速補修 福地ダム～安波ダム間調整水路トンネル、トンネルと地下、Vol.33, No.4, pp.37-45, 2002
- 3) 岐阜工業(株)ホームページ：https://www.gifukogyo.co.jp

【筆者紹介】



杉田 崇 (すぎた たかし)
鉄建建設(株)
札幌支店 ニッ森トンネル作業所
所長



宇田 誠 (うだ まこと)
鉄建建設(株)
土木本部
副本部長 工事担当



西脇 敬一 (にしわき けいいち)
鉄建建設(株)
建設技術総合センター 研究開発センター
材料グループ

光ファイバセンサを用いたインフラ維持管理

今井道男・曾我部直樹・新井崇裕

光ファイバセンサでは、光ファイバに沿って全長で情報を得ることができるため、従来の電気式センサなど“点”での点検から、“線”での網羅的な監視が可能となる。こうした特長を活かし、実際の構造物における維持管理での実績も増えてきた。本稿では、橋梁における実績として、RC床版の抜け落ち監視・プレストレストコンクリートケーブルの張力管理・ひび割れ検知を、法面における実績として、グラウンドアンカーの張力管理をそれぞれ紹介する。また、近年登場した新たな計測技術の概要と、それによるインフラ維持管理の革新について概観する。

キーワード：光ファイバセンサ、ひずみ測定、モニタリング

1. はじめに

インフラ構造物の高経年化が進み、また維持管理の担い手と予算が不足する中で、膨大な数の構造物の維持管理を実現するために、発展著しいセンシング技術への期待が高い。センサやデジタル技術の革新によれば、特に近接目視に代表される従来技術と比べて、点検作業の効率化が期待できる。例えば、ドローンなどで簡単に網羅的な情報をとらえられれば、重点的に確認すべき箇所を絞るスクリーニング技術として大いに有用である。こうした点検作業の効率化に留まらず、これまで把握できなかった構造状態を見える化できれば、維持管理の高度化などが実現できる。光ファイバ全長にわたって連続で網羅的な情報を得られること、小型軽量で構造物内部へ埋込容易であること、などの特長を有する光ファイバセンサは、維持管理の効率化と高度化を実現できる手段として期待できる。

これまでも筆者らは、光ファイバセンサの特長を活かし、建設分野、特に橋梁への適用を進めてきた¹⁾。本稿では、橋梁に加えて法面など様々な長期での実績が蓄積されてきたことから、その概要を紹介する。また、近年性能が革新的に向上した新たな計測技術について合わせて紹介する。

2. 橋梁での事例

(1) RC床版の抜け落ちモニタリング

本事例は、光ファイバ内を透過する光の量を全長に

わたって計測可能な技術 (Optical Time Domain Reflectometer: OTDR 方式) を利用したものである。交通量の増大や車両の大型化に伴い、鉄筋コンクリート床版に格子状のひび割れが増加、進展し、コンクリート片が剥離したり抜け落ちたりする損傷事例が報告されている。こうした床版抜け落ちの兆候のひとつであるひび割れ段差の発生を、光ファイバ内を透過する光の量の変化 (あるいは損失する光の量の変化) として検知する仕組みである (図-1)。床版下面に光ケーブルを接着剤などで全長固定しておけば、ひび割れ部の段差発生によって、光ファイバに曲げや破断が生じるためである。室内実験において、段差の大きさの増加に応じて、光の損失が増えることを確認している。曲げや破断による透過量や損失量は、段差の大きさだけでなく設置する光ケーブルの種類に依存するが、ある細径の光ケーブルでは段差 1 mm で光ファイバが切

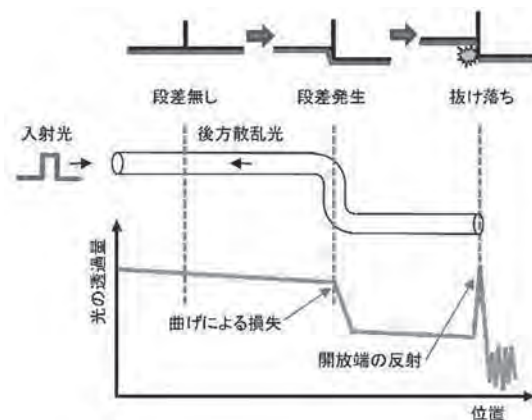


図-1 抜け落ちモニタリングのイメージ

断することを事前に確認している。ターゲットとなるひび割れ段差に応じて光ケーブルを選択することで、適切な検知感度を有する抜け落ちモニタリングが可能である。

疲労が進んだ鉄筋コンクリート床版に対して、適切な光ケーブルを網羅的に固定してOTDR方式で常時モニタリングを行えば、ひび割れ段差の発生やコンクリート片の落下などをリアルタイムで監視することができ、万が一の場合の迅速な対処が可能な維持管理を行うことができる。実構造物においても3年以上にわたった運用がなされており、リアルタイムでアラートの発報などの機能を現地で確認済みである²⁾。また、光ケーブルの接着固定作業の簡略化、接着品質の安定性向上などのために、光ファイバケーブルが予め組み込まれたテープ型光ファイバが開発されている³⁾。維持管理を効率的に実現するためには、計測技術や評価技術だけでなく、対象構造物と光ファイバを固定させる実装技術が揃い、その手間を削減する必要がある。

(2) PC ケーブル張力管理

本事例は、光ファイバ全長にわたるひずみの分布状態を計測可能な技術 (Brillouin Optical Time Domain Reflectometer : BOTDR 方式) を利用したものである。プレストレストコンクリート (PC) では、コンクリートにあらかじめケーブルなどを用いて圧縮力を加え、荷重を受けた際にコンクリートに引張応力が発生しないよう設計されている。PC 構造物の品質と耐久性を確保するためには、施工時に PC ケーブルへ必要な張力が確実に導入され、供用中の変動が想定以内であることが重要である。筆者らは、光ファイバを PC 鋼より線表面の凹部に収まるように固定した光ファイバ組込み式 PC ケーブルを開発した (図-2)⁴⁾。これにより、PC ケーブル全長でのひずみ分布、またその結果をもとにした張力分布の計測、評価が可能となった。PC ケーブルの外径や表面の性状はこれまで

と同様であり、通常と同様の手順で施工することができる。また、光ファイバの組込みは PC ケーブルの製造工場で行うため、現場における光ファイバの設置作業を大幅に省略できるとともに、張力計測の精度を確保するうえで重要な光ファイバと PC ケーブルの均質な一体化を可能にしている。

実際の PC 箱桁橋の柱頭部を対象に、光ファイバ組込み式 PC ケーブルを適用した。光ファイバ組込み式を含む PC ケーブルを一括して通常と同じ方法でシース内に挿入した後、定着具と緊張ジャッキを設置し、緊張作業および計測を行った (図-3)⁵⁾。緊張終了後、光ファイバを残して PC ケーブルの余長を切断し、グラウトキャップを設置した。なお、維持管理中の再計測を可能とするため、孔加工をしたグラウトキャップに光ファイバを通し、光ファイバ端部を人が立ち入ることができるまで延長して、計測器を接続できるようにした。最終緊張時、定着後、さらに緊張後 26 か月経過後の張力分布を、設計緊張力と併せて図-4に示す。長期的にも張力分布が計測可能で、全

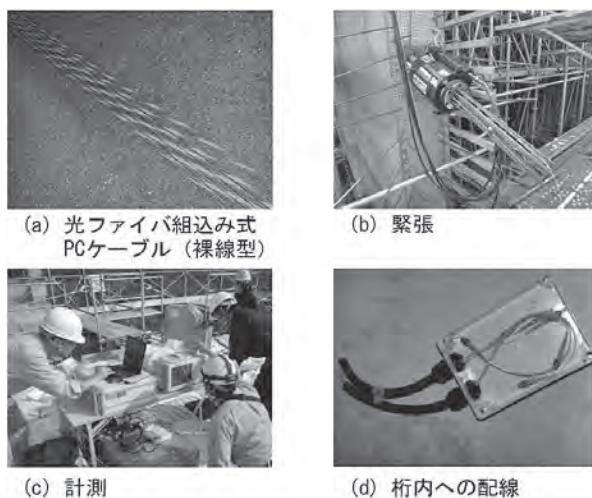


図-3 適用状況

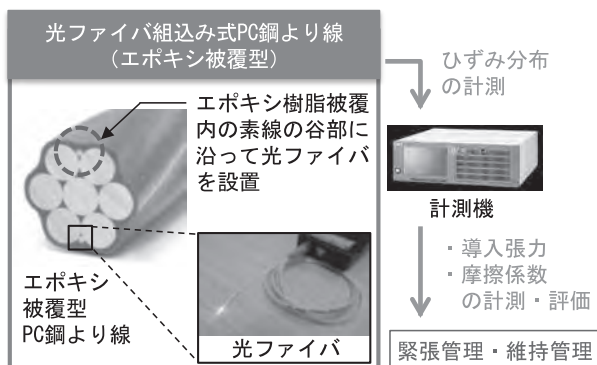


図-2 光ファイバ組込み式 PC ケーブル

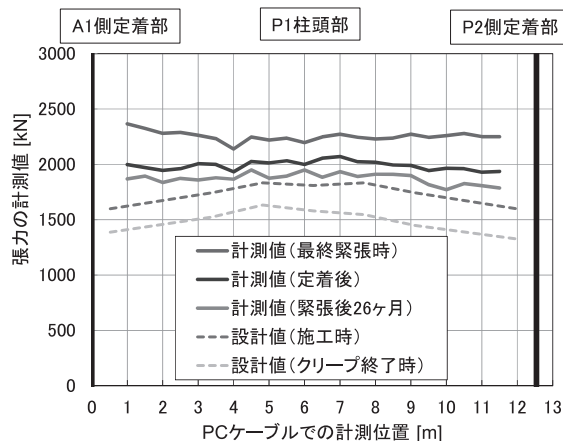


図-4 緊張力分布の測定結果

長にわたって設計緊張力以上の張力が適切に導入、保持されていることが確認できた。また、緊張時には端部から中央部に向かって張力が減少し、定着後は逆に中央部の張力が残存する傾向が確認された。これは、曲げ配置されている PC ケーブルにおける摩擦によるものであり、本計測によってその影響を評価できることが分かった。なお、長さが 190 m の外ケーブルに適用した光ファイバ組込み式 PC ケーブルについても、同様の結果を得ることができている。

従来の PC ケーブルの施工管理では、油圧ポンプの圧力値と PC ケーブルの伸びから導入張力を間接的に評価していたが、緊張後における導入張力の変動計測は想定されておらず、その確認手段はなかった。光ファイバを組込み式 PC ケーブルによれば、全長にわたる張力分布の計測を施工中だけでなく、供用中の維持管理にも活用できる。引き続きデータを蓄積していき、その長期適用性を評価する予定である。

(3) 主桁のひび割れモニタリング

本事例も、光ファイバ全長にわたるひずみの分布状態を計測可能な技術を利用したものである。コンクリート表面に生じるひび割れは、剛性を低下させるだけでなく、劣化因子の侵入経路となることから耐久性を低下させる要因となる。現行の維持管理のための点検作業の多くは、ひび割れ状況やその進展を把握することである。しかし、コンクリートは不均質材料であるうえ、ひび割れの発生機構は複雑で、その発生位置をあらかじめ知ることは困難である。発生位置の分からない現象を検知するためには、近接目視などに頼らざるを得ず、従来の“点”での電気式センサではその発生を捉えることはできない。一方、光ファイバセンサであれば、“線”で網羅的に情報を把握できるため、ひび割れ検知に向いている。

光ファイバが固定されたコンクリートにひび割れが入った場合、ひび割れと交差する光ファイバには無限大のひずみがかかることとなる。しかし、多くの場合、光ファイバの被覆などによってひび割れによる変形は緩和されるため、光ファイバは破断せず、ひび割れ部を極大値とする局所的なひずみ変化が生じる。光ファイバセンサにより、こうしたひずみ変化を捉えることができれば、ひび割れの位置とその幅（開口変位量）をモニタリングできる。既往研究によれば、目視レベル以下の $20\ \mu\text{m}$ 幅のひび割れが生じた場合には、約 300×10^{-6} の局所的な引張ひずみが光ファイバセンサで観測できることがわかっている⁶⁾。

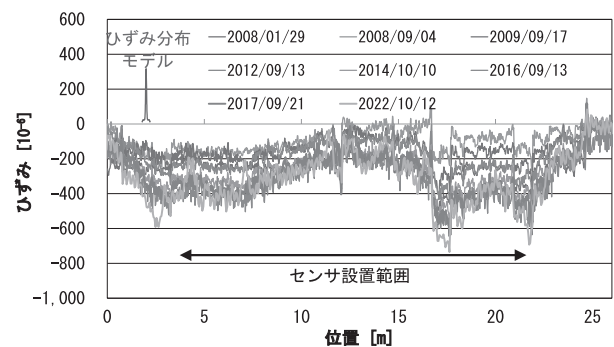
橋長 30.5 m の 3 径間連続 PC ラーメン橋を対象に、

光ファイバセンサによるひび割れモニタリングを実施した（図—5）。本橋は、上部工材料に超高強度繊維補強コンクリートを使用した外ケーブル構造の歩道橋で、全体で 5 分割されたプレキャスト部材を支保工上に設置し、現地で目地部の打設後、PC ケーブルを緊張している。主桁の架設が終了した 2007 年の 8 月に、中央支間（26 m）の主桁下端面に光ファイバをエポキシ樹脂により全面固定（固定長約 24 m）した。なお、光ファイバの端部を延伸して橋脚側面に取り付けた端子箱内に収納し、計測器を接続できるようにした。

供用開始から 15 年間にわたって、定期的に光ファイバセンサでひずみ分布を計測した結果を図—6 に示す。すべての計測は、橋面上に歩行者のいない夜間に実施した。また、主桁の表面温度に応じて温度補正 ($20 \times 10^{-6}/\text{C}$) を行い、主桁の長さ方向に対して温度分布に偏りは無いものと仮定した。併記する $20\ \mu\text{m}$ 幅のひび割れが生じた場合のひずみ分布モデルと比較し、それに相当する局所的ひずみ変化がないことから、少なくとも $20\ \mu\text{m}$ を超える幅のひび割れは生じていないと言える。ひずみ分布が不連続な箇所が 17 m や 21 m 付近に見られるが、これは施工方法がその一因と考えられる。つまり、これらの位置がプレキャスト部材のあいだの間詰め箇所に対応することから、



図—5 ひび割れ検知対象の歩道橋



図—6 計測結果

材料物性のわずかな違いや光ファイバと構造物間の接着力などの差によるものと推察できるが、明確なところは定かではない。継続したモニタリングのなかで、注視していきたい。なお、敷設した光ファイバには剥がれや接着剤のひび割れといった外観上の変化は見られなかった。ひずみ分布計測結果と併せ、実環境下において15年間の耐久性を有することを確認した。

3. 法面での事例

本事例も、光ファイバ全長にわたるひずみの分布状態を計測可能な技術と前述の光ファイバ組込み式PCケーブルを利用して、グラウンドアンカーに適用したものである。グラウンドアンカーのテンドンに適用することで、アンカー体を含めたテンドン全長にわたる張力分布を評価する。テンドンの張力分布は、図-7に示すように地山の変化、外力の作用などによるすべり面の発生や、アンカー体周辺の変状によって変化することが考えられる⁷⁾。これまでは、ロードセルやリフトオフ試験などによって、アンカー頭部での“点”での張力評価だけであった。本技術によればテンドン全長での“線”での張力分布を光ファイバセンサで把握できるため、グラウンドアンカーの健全性を評価するだけでなく、変状が生じた際の要因の特定や対策工の選定、設計にも活用できることとなる。

法面補強グラウンドアンカーの一部を対象に、光ファイバ組込み式PCケーブルを適用した（延長：11.5～18.1 m、アンカー体長さ：4.0 m）。施工時には、グラウンドアンカーの緊張・定着終了後、防錆キャッ

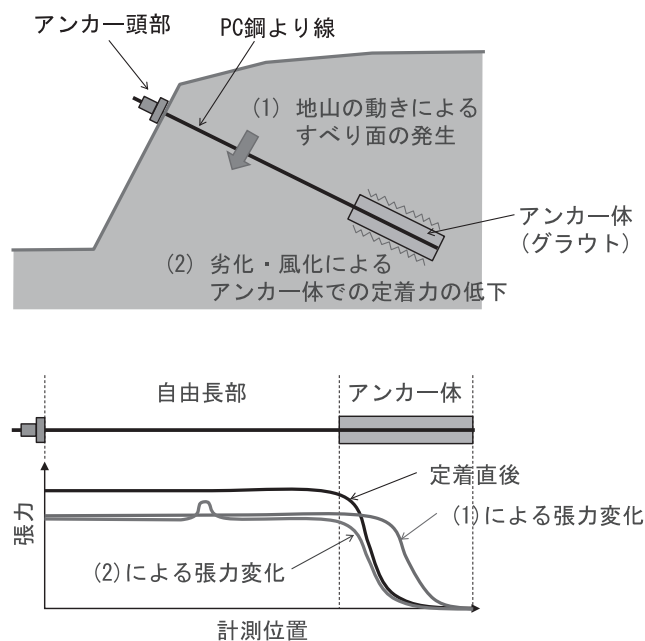


図-7 グラウンドアンカーの変状

プに設けた取出し孔から光ファイバを取り出し、計測器を接続できる場所まで延伸して端子箱内に収納した。ひずみ計測は2017年6～7月に緊張・定着された時点初期値として、施工から半年後（2017年12月）、1年半後（2018年12月）、4年半後（2021年12月）にそれぞれ実施した。テンドンの張力分布計測結果の一例を図-8に示す。なお、同図には、「健全な状態」と判定されるアンカー頭部の引張力の範囲（上限値：設計アンカー力、下限値：定着直後の引張力の80%値）についても併記している。定着直後から4年半経過した時点においても、全長にわたる張力分布を光ファイバで計測できることが確認できた⁸⁾。張力分布の変化については、2017年12月までの約半年の間に自由長部で増減が見られるが、いずれも健全な状態と判定される範囲内であり、2017年12月以降には大きな変動が生じていない。一方、2018年12月の時点でアンカー体部の先端付近の張力分布に若干の変動が見られることから、同部分における定着力が変化している可能性が示唆された。ただし、変動量は小さくアンカー体の範囲内で引張力が地山に伝達されていること、2018年12月以降の3年間では同部分の張力分布に有意な変化が生じていないことから、十分な定着性能が確保されている状況であると判断できる。今後、グラウンドアンカーや補強された斜面の維持管理での活用を目的として、本技術の活用を図っていく。

4. 新たな計測技術

ここまで紹介した光ファイバセンサは、光ファイバ内を光が透過するとき生じる散乱光を利用した技術である。散乱光はすべての箇所が生じることから、入射した光が散乱光として帰還する時間からその場所を、散乱光を分析することでその場所のひずみなどの変化を、それぞれ算出している。図-9に示すよう

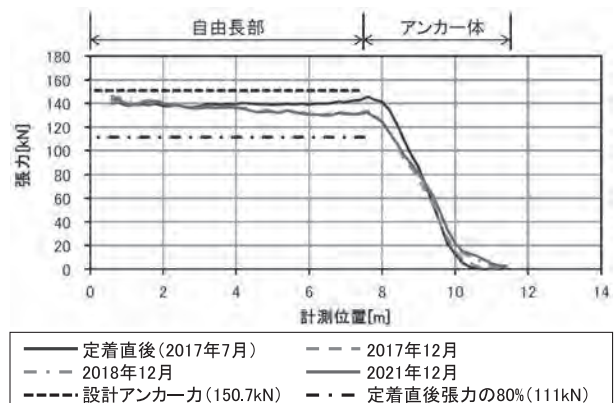


図-8 グラウンドアンカー計測結果

に散乱光にはいくつかの種類があり、そのうちブリルアン散乱光は入射光により発生・伝播する音響波による散乱現象で、入射した光はドップラーシフトを受け音響波の振動数に応じて波長がシフトする。このシフト量が発生位置のひずみに依存することが知られており、光ファイバに沿ってすべての位置でひずみ情報を得られる光ファイバセンサを実現する。本稿でも紹介したように、これまでに建設分野においても多くの適用が試みられてきた。

近年、レイリー散乱と呼ばれる散乱光を用いたひずみ技術の進歩が著しい⁹⁾。これまでは、光の透過損失量などの計測には用いられてきたが、光学部品的高度化（レーザー光源の狭線幅化、受光器の高解像度化など）ならびに信号処理プログラムの進歩によって、ひずみや温度の高性能なセンシング技術として製品化も進んできた。ブリルアン散乱などの従来技術と比べて圧倒的に散乱光の強さが大きいことから、計測時間の短縮が可能となる。また、ひずみなどによる感度が非常に高く、従来技術の数10倍以上の計測精度を有する。コンクリート構造物の表面に張り付けた際に得られた従来技術との精度比較結果を図-10に示す。これまでは、ひび割れなどによる大きなひずみ変化を捉えていたが、これからは、レイリー散乱を用いてひび割れが発生する前の応力集中の段階からその挙動を得られるため、その後の対策を施すことが可能である。このように、光ファイバセンサを用いた維持管理によ

て、これまでとは異なる価値あるデータを提供できる可能性がある。

5. おわりに

維持管理におけるインフラの構造状態を把握する手段として、これまでは近接目視を中心に、また必要に応じて変位計や傾斜計などの電気式のポイント型センサが用いられてきた。それに対して、光ファイバセンサは構造物内部などの見えない箇所を網羅的に見える化することができる。つまり、“点”での点検から、“線”での網羅的な監視が可能となる。実際に供用中のインフラ構造物への光ファイバセンサの適用を通じ、橋梁や法面などで最大15年間にもわたるモニタリングの実績が蓄積されつつある。今後も引き続き、長期実績を蓄積するとともに、維持管理の効率化と高度化に向けた取組みを進める。

また近年、光学技術やコンピュータ技術の進歩に伴い、レイリー散乱光を用いた新しい光ファイバセンサによって、計測精度と速度が大幅に改善された。その結果、これまで以上に早く詳細なインフラ構造物の見える化が実現された。今までの光ファイバセンサでは異状などを“事後検知”していたが、これからは異常の“予兆検知”が当たり前になるかもしれない。

わが国では、通信用光ファイバネットワークが国土を広く網羅している。本稿で紹介したセンシング用光ファイバは、通信用光ファイバと同じ種類のものを使用しているため、両者を直接繋ぐことが可能である。通信用光ファイバケーブルは通常多芯であり、通信で使用していない空き芯は光が透過していないため“ダークファイバ”と呼ばれる。センシング用光ファイバとダークファイバを接続すれば、遠隔から複数のインフラ構造物を高頻度で見守り続けると言ったこれまでにない維持管理のかたちが実現される。特に、遠隔から迅速にインフラ構造物の健全性を判断できることから、震災時などにおけるBCP対策としても寄与できる。光ファイバと言う一本の神経を通すことによって、インフラ構造物の効率的で高度な維持管理を通じて、安全・安心な社会の構築を目指したい。

JICMA

【参考文献】

- 1) 今井道男・早坂洋太：光ファイバセンサによる維持管理のためのモニタリング技術、建設機械施工、70(9)、pp.42-46、2018。
- 2) 植田ら：光ファイバセンサーを用いたRC床版のひび割れモニタリング技術について、令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会、CS9-45、2022。
- 3) 泉ら：光ファイバ組込み式テーブ材によるコンクリート部材のひび割れ幅計測、令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会、CS9-42、2022。

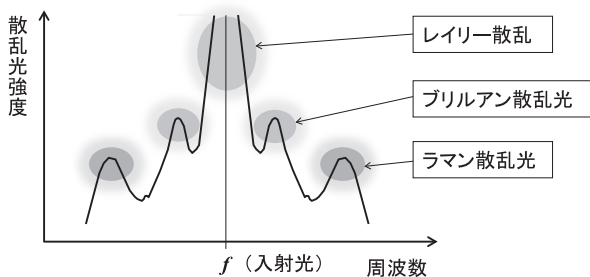


図-9 様々な散乱光

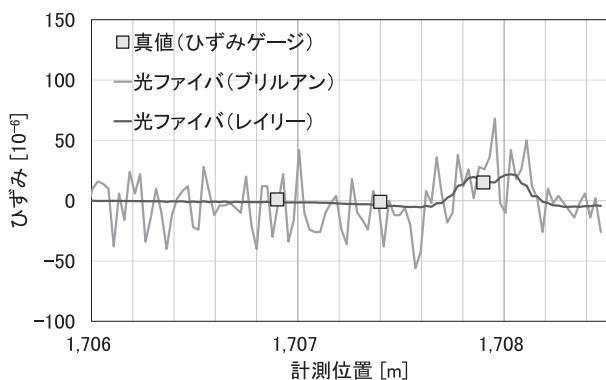


図-10 ひずみ分布計測結果の比較

- 4) 大窪一正・今井道男・中上晋志・早川道洋：エポキシ被覆型光ファイバ組込み式 PC 鋼より線の開発と適用，第 26 回シンポジウム論文集，プレストレストコンクリート工学会，pp.217-222, 2017.
- 5) 大窪一正，今井道男，曾我部直樹，中上晋志，千桐一芳，& 二羽淳一郎．(2020)．緊張管理・維持管理に適用可能な光ファイバを用いた PC 張力分布計測技術の開発．土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造)，76 (1)，41-54.
- 6) 今井道男，一宮利通，露木健一郎，早坂洋太，& 太田伸之．(2019)．光ファイバセンサによる 10 年間の PC 橋梁ひび割れモニタリング．土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)，75 (1)，17-25.
- 7) 大窪一正，今井道男，曾我部直樹，戸邊勇人，中上晋志，早川道洋，& 二羽淳一郎．(2020)．光ファイバを用いた引張り力分布計測技術のグラウンドアンカーへの適用．土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)，76 (1)，126-138.
- 8) 江口健治，大窪一正，曾我部直樹，今井道男，松本健太郎：光ファイバによるグラウンドアンカー tendon の引張り力分布の計測，土木学会全国大会 2022.
- 9) 今井道男，川端淳一，平陽兵，& 永谷英基．(2022)．革新的光ファイバセンサによるインフラモニタリング～高速・高精度な分布型光ファイバ計測のインフラへの活用～．電子情報通信学会技術研究報告；信学技報，121 (332)，17-20.

[筆者紹介]

今井 道男 (いまい みちお)
鹿島建設㈱
技術研究所 先端・メカトロニクスグループ
上席研究員



曾我部 直樹 (そがべ なおき)
鹿島建設㈱
技術研究所 土木構造グループ
グループ長



新井 崇裕 (あらい たかひろ)
鹿島建設㈱
土木管理本部 土木技術部 リニューアルグループ
グループ長



通水状態で水路トンネル内部の変状を調査する 無人調査ロボット

森 充 広・中 山 宣 洋・高 岩 庸 博

本装置は、農業用水に浮かべて水路トンネルを自然流下させることによって、通水状態における水路トンネルの覆工コンクリートの変状を調査する装置である。本体は、3台の高感度 CCD カメラが搭載された透明ドーム部と、制御用 PC やバッテリーが搭載された船体部から構成されている。通水中の水路トンネル上流坑口から本装置を投入し、下流坑口において回収することにより、流下中の水路トンネル内の覆工の映像を動画として SD カードに記録する。4箇所を設置した赤外線距離計によって装置と側壁との距離をモニタリングし、その変化に応じて透明ドーム部をモーターで回転させる制御を行うことにより、高感度 CCD カメラは常に壁面を撮影しつづけることが特徴である。これにより、覆工に正対した映像を撮影することができ、覆工の展開図作成も省力化できる。

キーワード：水路トンネル，機能診断，覆工，ひび割れ

1. はじめに

農林水産省¹⁾によると、食料増産に伴って建設されたダム、水路トンネル、頭首工、用排水機場、コンクリート開水路、パイプラインといった基幹的農業水利施設（受益面積 100 ha 以上）の資産価値は、平成 27 年再建設費ベースで 33 兆円と試算されている。このうち、農業用水を送水する農業用水路の延長は末端水路までを含めると約 40 万 km であり、そのうち、農業用水路トンネルは約 2,000 km にも及んでいる。しかし、近年、これら農業水利施設も耐用年数を迎えるものが増加し、各地で施設の老朽化に伴う突発事故も増加傾向にある。トンネル構造物においては、2006 年の広島県の送水トンネルの崩落事故や、2012 年笹子トンネル崩落事故など、基幹的な社会インフラの老朽化も顕在化してきている。このため、道路トンネルや発電用水路トンネルなどでは、トンネルを定期的に点検することがルール化されている。

これまで、農業用水路トンネルは、土地改良区が日常的な管理を行ってきた。しかし、土地改良区は、農家の組合組織であり、必ずしも専門技術者による点検は実施されてきていなかった。農林水産省では、2007 年から施設の点検に基づき、適時・適切な対策を行うことによってライフサイクルコストの低減を目的とする戦略的な維持管理「ストックマネジメント」を提唱し、国で造成した農業水利施設の点検（機能診断）を

開始した。その結果、農業用水路トンネルにおいても、専門技術者が機能診断を実施する体制が構築されている。

一般に、農業用水路トンネルの点検は、水田が終了し、農業用水の通水が停止する非かんがい期に、人が中に立ち入って行う。農業水利施設の機能保全の手引き「水路トンネル」²⁾に掲載されている点検項目の一例を表 1 に示す。覆工に発生しているひび割れなど、主に目視調査に基づく調査を実施し、地山の特性などをふまえて水路トンネルの健全度を評価することになっている。しかし、農業用水路トンネルの中でも、上水道、工業用水との共同利用施設となっている水路トンネルや、畑地かんがい、地域用水などのために通年通水されている水路トンネルも存在する。こうした断水困難な水路トンネルでは、機能診断を実施することが難しい。しかも、通年通水される水路トンネルであるがゆえに、事故が発生したときのリスクも大きくなる。そこで、通水状態で水路トンネルの覆工コンクリートの状態を一次的に調査する方法として、無人調査ロボットを開発した。

2. 調査装置の概要

(1) 開発コンセプト

農業用水路トンネルの点検項目としては、主に覆工コンクリートに発生するひび割れや、通水性を阻害す

表一 1 構造機能に関する標準的な現地調査項目例

構造	力学的安全性	ひび割れ	ひび割れ最大幅	定量計測
			ひび割れ延長	定量計測
			ひび割れタイプ	タイプ判断
			ひび割れ段差	目視による有無, 定量計測
		変形・歪み	内空断面の変位	目視による有無, 簡易計測
		圧縮強度	圧縮強度 (反発硬度)	簡易計測
	耐久性	材料劣化	浮き	目視による有無, 打音調査
			剥離・剥落・スケーリング	目視による有無, 簡易計測
			ポップアウト	目視による有無
			(析出物) エフロレッセンス	目視による有無
			(析出物) ゲルの滲出	目視による有無
			錆汁	目視による有無
			変色	目視による有無
			摩耗・風化	目視による有無, 簡易計測
			漏水 (痕跡)	目視による有無
			鉄筋露出	目視による有無
	中性化	中性化深さ/中性化残り	ドリル法	
		鉄筋かぶり	設計図書の確認, 定量計測	
	安定性	漏水・涌水 背面土砂吸い出し	漏水, 濁り	目視による有無
		不同沈下	沈下, 蛇行	目視による有無, 簡易計測
上記性能を含む 構造性能	地盤変形	覆工背面の空洞化	打音調査	
		周辺地山の沈下・陥没・ひび割れ	目視による有無	
	継目の損傷	継目の開き	目視による有無, 簡易計測	
		継目の段差	目視による有無, 簡易計測	
		止水板の破断	目視による有無	
		継目からの漏水	目視による有無	
周縁コンクリートの欠損等	目視による有無, 簡易計測			

る摩耗等, 目視による評価が多い。そこで, 開発コンセプトとしては, 覆工の状態を可視画像として記録することとした。開発初期には, 水面下となる覆工の画像撮影も試みたが, 水の濁りがあったり, 堆積物があったりするために覆工状態の記録が困難であった。水路トンネルの主な変状は, 覆工コンクリートのアーチ部に発生する縦断方向のひび割れである。そのため, ひび割れの点検は水面より上の気中部を対象とし, 記録が難しい水面下については, 超音波水深計を設置し, 土砂の堆積状況等を確認することとした。

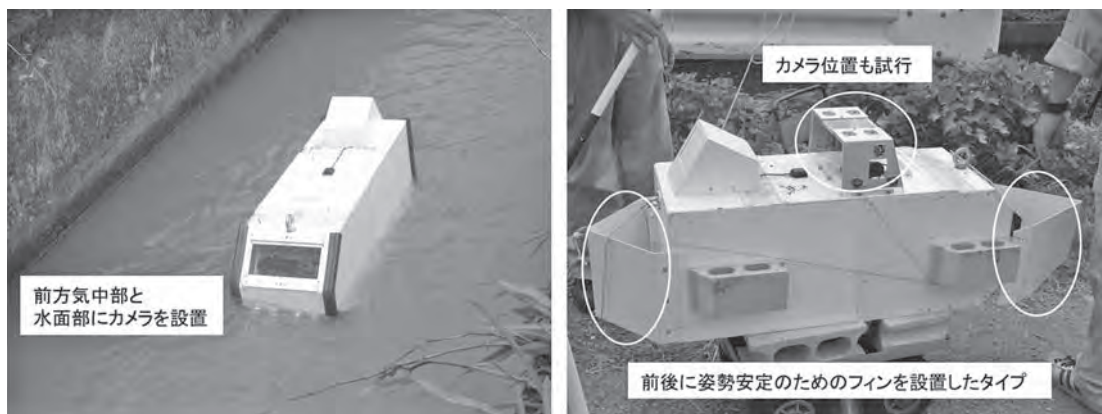
通水中の水路トンネルの調査方法として, ケーブルによって連結されているカメラ付き船体を上下流の坑口から投入し, 人が操作しながらリアルタイムで内部状況を詳細に点検する方法などもアイデアとして考えられた。しかし, 農業用水路トンネルの特徴として, ダムなどの貯水池や, 河川に設置される頭首工直下流から平野部まで農業用水を送水する水路トンネルが多く, 延長が数 km になるものも存在することから, 本

開発では, 農業用水路トンネルをまずは全区間一次診断することを最優先とし, 上流坑口から投入し, 農業用水とともに装置を流下させ, 下流坑口で回収するタイプを選定した。

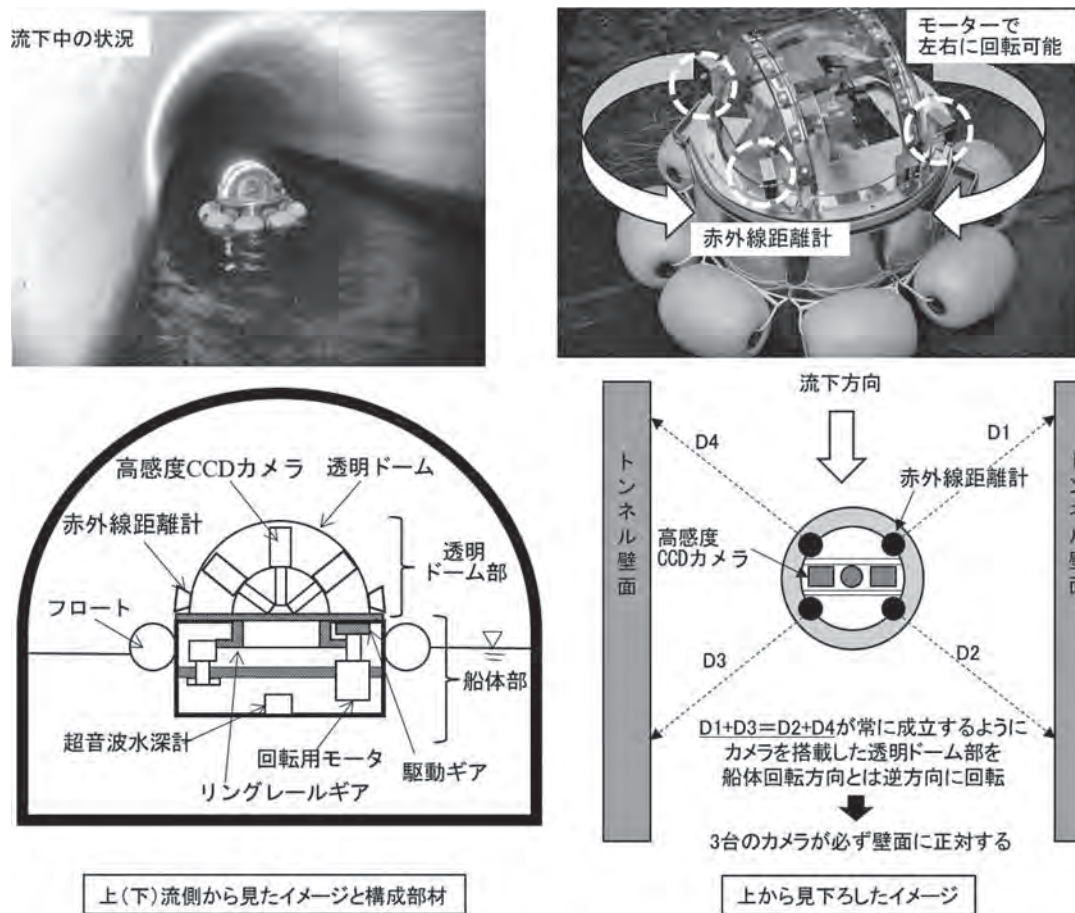
動力で装置を動かす船体では, フィンなどの構造で船体の姿勢を制御することが可能である。しかし, 流れる水に対して動力を持たない船体を投入すると, 水と船体との間の相対速度差がないため, フィンなどの構造的な工作物によって姿勢を制御できず, 船体が回転し, 搭載したカメラで覆工をうまく撮影できないことが分かった。開発当初は, 船体の回転を防止するために試行錯誤したが, どの方法も一長一短があった(図一1)。そこで, 発想を転換し, 「船体の回転を許容するが, カメラは一定方向を向き続ける」という制御を導入することにした。

(2) 調査装置の概要³⁾

調査装置の概要を図一2に示す。本体は直径



図一 1 開発当初のプロトタイプ



図一 2 装置の概要

450 mm，高さ 528 mm，重量約 35 kg であり，農用水路トンネルの覆工の変状を撮影する 3 台の高感度 CCD (Charge Coupled Device) カメラが搭載された透明ドーム部と，制御用 PC やバッテリーなどが搭載された船体部からなる。高感度 CCD カメラは，左右岸の側壁と天端を撮影しつつ，個々のカメラの撮影領域がラップするように角度調整を行うことができる。搭載した高感度 CCD カメラの仕様は表一 2 のとおりである。

船体部には，円形の本体に合わせてリング状のレールギアが設置されており，演算装置に直結している回転用モーターが作動すると，駆動ギアが透明ドーム部を回転させる構造となっている。

透明ドーム部外側には，前方および後方の側壁との距離を測定する赤外線距離計が左右 2 箇所，合計 4 箇所搭載されている。ここで，例えば図一 2 右下の「上から見下ろしたイメージ図」において，船体が反時計回りに回転し始めた場合を想定する。このとき，壁面

表一 高感度 CCD カメラの仕様

撮像素子	1/3 型インターライン転送 CCD 固体撮像素子
有効画素数	768 × 494 (記録画素数 720 × 480)
同期方式	内部同期
走査方式	2:1 インタレース
解像度	570TV 本以上
最低被写体照度	0.0002 lux (F1.4)
S/N	50 dB 以上
固定シャッター	1/60, 1/100, 1/250, 1/500, 1/1,000, 1/2,000, 1/5,000, 1/10,000, 1/100,000 秒
電子アイリス	1/60 ~ 1/100,000 秒
センサーサイズ	4.8 mm × 3.6 mm

までの距離 D2 および D4 は壁面との距離が短くなる。一方、距離 D1 および D3 は、壁面との距離が長くなる。そこで、本装置では、(D1 + D3) の値と、(D2 + D4) の値を 100 ms ごとに比較して、船体がどちらの向きに回転し始めているかを認識し、船体の回転とは逆方向に透明ドーム部を回転させる。回転量は、(D1 + D3) と (D2 + D4) の値の差に応じて回転用モーターへの通電時間を制御する。つまり、この差が大きくなるほど、回転用モーターの作動時間が長くなり、結果的に回転量が大きくなる。このような処理を 100 ms ごとに行うことにより、高感度 CCD カメラは、常に

トンネル内空断面に直交した配置を維持するように制御され、覆工に対して正対した状態で動画を記録することができる。

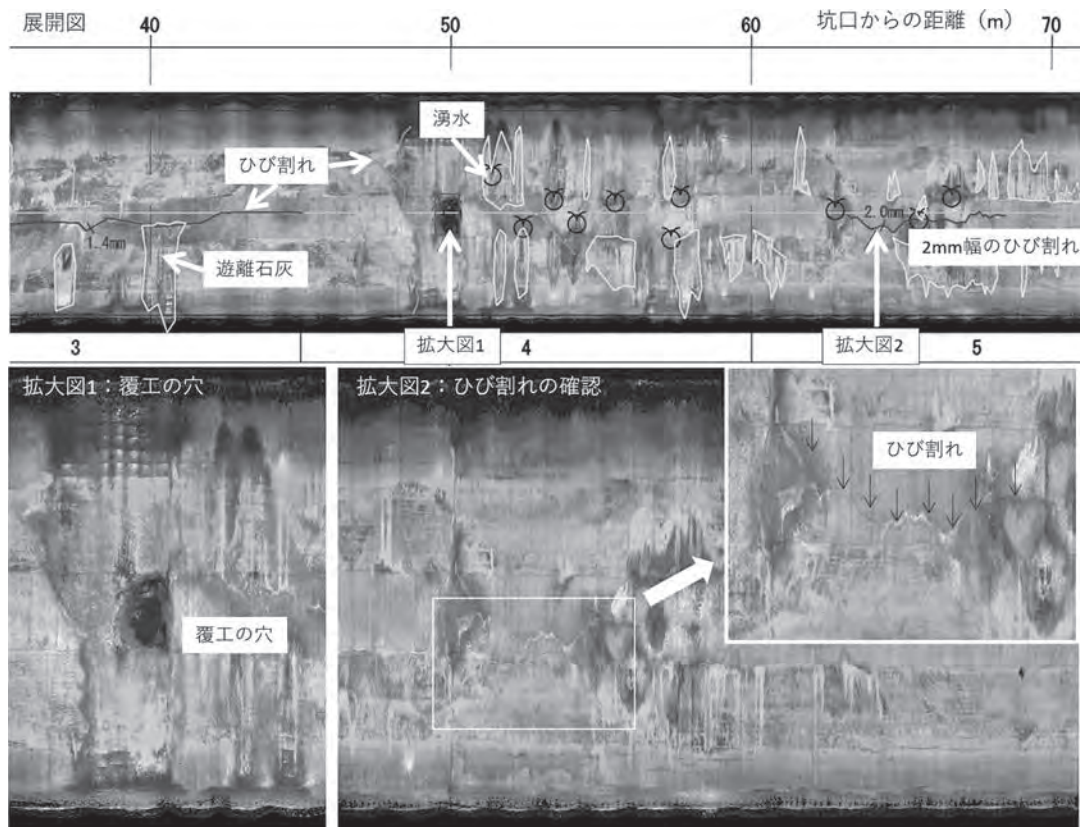
3. 現地調査の事例

(1) 調査地区の概要

農業用水と工業用水が共有されている合計 8 箇所の水路トンネルを対象として、本装置を適用した。水路トンネルの形状は、2R および 3R 標準馬蹄形 (R = 900 ~ 950 mm) であり、その延長は最短 163.88 m、最長 674.56 m、8 箇所の水路トンネルの総延長は 3,586 m であった。なお、詳細については、文献⁴⁾を参考にさせていただきたい。

(2) 調査結果

本装置によって得られた画像から作成した展開図の一例を図一 3 に示す。過去の断水時の目視点検調査により発見されていた大きさ 760 mm × 630 mm × 深さ 580 mm の覆工の穴の存在は、本装置による調査でも十分確認できた (拡大図 1)。ただし、深さの情報は画像だけでは分からなかった。拡大図 2 は、目視点検により幅 2 mm と評価されたひび割れ部分を拡大したものである。拡大図 2 では、幅 2 mm のひび割れの存



図一 3 現地調査において確認された変状展開図とその拡大図

在が十分確認できることが示された。なお、検出できるひび割れ幅は、対象とする水路トンネルの規模と、搭載した高感度 CCD カメラの性能、照明の強さ、装置の移動速度（ほぼ流速に等しい）などによって決まる。試算ではあるが、本装置では、壁面までの距離が 850 mm の場合、水路断面方向の 1 画素あたりの撮影範囲は 1.69 mm である³⁾。また、水路流下方向に関しては、流速による移動速度と高感度 CCD カメラのシャッタースピードの関係により被写体ブレの問題が発生する。これに関しては、壁面までの距離が 1,000 mm の場合、移動速度 1.38 m/s 以上になると被写体ブレによりひび割れの検出精度が落ちる可能性がある。このため、この確認試験以降、LED 照明は約 3 倍に増やして計測を行っている。

(3) 本装置を利用した場合の効果検証

①ひび割れ検出能力

調査に先立ち、あらかじめひび割れをイメージした幅 1 ~ 20 mm の線を描いた疑似クラックシートを上流坑口天端部に貼り付け、どの幅の線まで確認できるかを確認した結果、1 mm 幅の線まで認識することができた。背景とのコントラストが十分にあれば、水路トンネルの断面形状が 2R および 3R 標準馬蹄形 (R = 900 ~ 950 mm) の場合には、1 mm 幅のひび割れを認識することが可能であった。また、過年度に行われた断水中の目視調査によって、「1 mm 未満」との記載があったひび割れについても、遊離石灰や湧水を伴っている場合には、ひび割れと壁面とのコントラストがついて、検出することができた。

②変状検出能力

壁面とのコントラストが大きい遊離石灰や湧水箇所は明瞭に認識することができた。ただし、壁面全体が湿潤し、コントラストが付きにくい状況では、湧水地点を明確に特定することが困難な可能性もある。本装置による調査では、高感度 CCD カメラによる動画が記録されるため、動画をチェックすることによって、湧水の位置などを求めることができる。

③作業効率

水路トンネル 8 箇所を調査した時間と調査延長から、1 時間あたりの平均調査距離を算出した結果、0.98 ~ 4.84 km/h (平均 2.63 km/h) であった。時間は装置の搬入から回収までを考慮したものであり、防護柵の設置時間等の準備時間は含んでいない。作業効率は、水路トンネルの流速にもよるが、従来の目視調査と比較すると、現地における作業効率は大幅に向上し、作業時間を短縮できる。一方で、動画データの解

析作業に時間を要することになるが、本装置では、壁面に正対した動画になっているため、3 台の高感度 CCD カメラの動画から同時間のフレームを抽出し、短冊状に画像合成を行うことにより展開図を作成することができる。距離の情報は、動画に記録されている距離票や、型枠寸法などを参照して入力することにより、距離の補正も可能となる。

(4) 本装置の課題と対応方針

①ひび割れ幅の特定

現地調査において、ひび割れの検出能力をチェックすることができたが、本来であれば、画像からひび割れ幅を特定することが必要になる。現時点では、映像に記録された様々な情報（覆工施工時の板型枠の幅など）から、画素数を数える等により、おおよその幅を算定することができるものの、正確ではない。

②装置の小型化

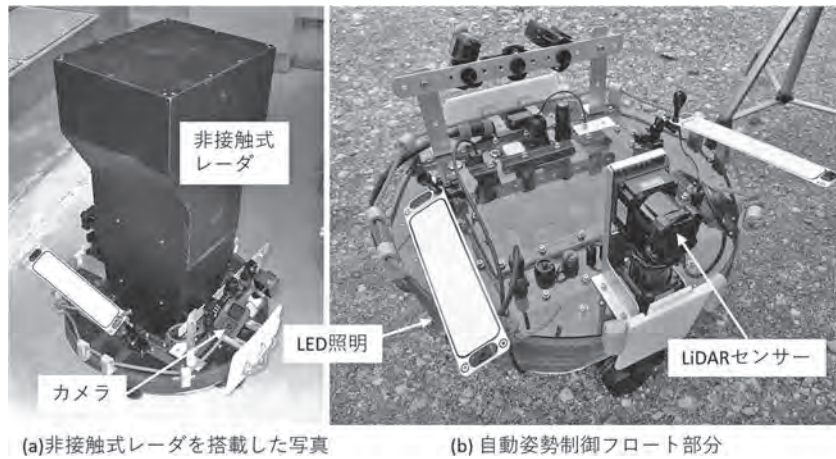
搬入口が狭く、本装置を部分的に解体して搬入し、水路トンネル内で再度組み立てる作業が必要な区間では、作業効率が著しく低下 (0.98 km/h) した。このように、古い水路トンネルでは、坑内にアクセスできる場所も限定される可能性があることから、さらなる小型化が必要である。

③壁面自動追尾機能

現地試験では、水路トンネル (645.54 m) の一部区間において、診断ロボットが約 32 m 区間で自動追尾がうまく作動せず、画像が回転してしまった。この水路トンネルの平均流速は 1.52 m/s 程度であったが、回転した区間は、水路トンネル内部で断面が変化している部分の直前区間であった。このことから、当該区間は断面変化地点で流速が速く、流れが複雑になっていた可能性がある。そのため、自動追尾の制御が追いつかなかったものと推測される。このことから、流速 1.5 m/s 以上もしくは断面変化等の影響で水路トンネル内の流況が複雑に変化している区間では、現状では自動追尾が機能しない可能性があることが示された。

4. 今後の展開

本装置は、一次診断技術として活用することを想定している。データロガー機能を有する簡易的な計測機器、例えばガス検知機などを搭載して流下させることにより、今後、人が入って点検することが可能かどうか、といった判断材料を入手することできる。また、2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震後、重要なライフラインのひとつである水道用水路トンネルの応



図一五 新型装置の概要



図一四 東北地方太平洋沖地震発生後の水道水路トンネル調査

急点検として、断水することなく、本ロボットによる調査を行った（図一四）。このように、地震などの自然災害が発生した直後に、安全性を確認しなければならないものの、人が入って点検することが危険な水路トンネルに対して、応急点検技術としての活用も期待できる。

これまで複数地区において調査を実施し、その都度、様々な課題が発見できた。現在は、これらの課題の解決に向けて、本装置をベースにして、画像だけでなく、覆工背面の空洞分布や断面形状を把握するために、地中レーダやLiDARセンサーを搭載した新型装置（図一五）の開発が進められている⁵⁾。この新型装置では、LiDARセンサーによって得られるトンネルと装置との位置情報にもとづいて、新型装置が常に水路トンネルの中心を流下するように、複数のスラスタにより位置および角度を制御する機能を有している。

農業用水路トンネルを対象として開発してきた技術であるが、上水、工業用水、発電用水等、さまざまな水路トンネルにも適用可能である。近年、様々な分野でデジタル化が進められているので、今後は得られた

データをAR技術などによって三次元的に確認できるような工夫や、画像解析技術と組み合わせたトンネル診断補助機能の開発なども考えられる。

JCM A

《参考文献》

- 1) 農業生産基盤の整備状況について（令和2年3月），<https://www.maff.go.jp/j/nousin/sekkei/totikai/attach/pdf/index-44.pdf>
- 2) 農業水利施設の機能保全の手引き「水路トンネル」，<https://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/sutomane/attach/pdf/kinouhozen-4.pdf>
- 3) 森 充広，森 丈久，渡嘉敷 勝，中矢 哲郎，藤原 鉄朗，齋藤 豊（2012）：通水状態での農業用水路トンネル調査・点検技術の開発，農業農村工学会論文集，278，pp.9-17
- 4) 森 充広，森 丈久，河原 昭，藤原 鉄朗，青木 伸之，財部 伸一，高岩 庸博（2015）：壁面自動追尾型水路トンネル診断ロボットによる調査事例，ARIC 情報，117，pp.12-19
- 5) 中山 宜洋，松田 貞則，工藤 晶子，久保田 直行，武居 直行，藤本 泰成，高橋 文緒，財部 伸一，笠原 翔，高岩 庸博（2023）：DX時代における農業水利施設保全へのロボットの活用，農業農村工学会誌，印刷中

【筆者紹介】

森 充広（もり みつひろ）
（国研）農業・食品産業技術総合研究機構
農村工学研究部門 施設工学研究領域
研究領域長



中山 宜洋（なかやま のぶひろ）
日本工営(株)
大阪支店 流域水管理部
課長



高岩 庸博（たかいわ つねひろ）
（株）ウォールナット
企画営業グループ
グループ長



ダム貯水池 3D マッピング技術

遊漁用魚群探知機のダム貯水池堆砂状況調査への適用

長 田 実 也

市販の遊漁用魚群探知機の音響探査機としての機能に着目し、これを水底地形計測機器として活用すべく、2018年7月以降、10余基の貯水池での実践を経て、2022年、ダム貯水池での堆砂状況調査の新しい手法として確立・実用化した。小型の調査船に魚群探知機を搭載してダム湖上を航行し、GNSSによる測位記録と同期して記録・収集される超音波測深データをもとに、市販ソフトでダム貯水池水底地形図を簡便に作成するというもので、その測深精度は現行の測量手法と同程度で、特殊な機器や技能を使うことなく、より安価に短期間で成果図が得られる。水中の映像資料も同時に得られ、貯水池の土砂管理に不可欠な基礎情報の収集・整備を支援できるだろう。

キーワード：ダム，堆砂，深淺測量，点群データ，DEM，地形図

1. はじめに

貯水池内の堆砂状況把握は管理上の最重要課題の一つである。その調査手法として一般的な深淺測量について国土交通省は、「従来からのシングルビームによる方法だけでなく、マルチビーム等による面的測量が可能な手法の採用が望ましい」としている¹⁾。しかしながら、マルチビーム音響測深は高価な測深システムと高度で専門的な解析が不可欠なことから、広く実施されているわけではない。堆砂状況を面的に把握可能な、より安価な手法が求められている。

筆者は、近年、レジャーフィッシング分野で普及が進んでいる魚群探知機の水中探査機能に着目し、これをダム現場に応用し、新たな堆砂状況把握手法としての適用可能性を現場での実際の計測を通じて確認し、実用化にこぎつけて2022年、国土交通省新技術情報提供システム（NETIS）に登録された²⁾。本稿では、筆者が携わってきた魚群探知機を用いた堆砂状況調査手法（以下、「ソナーマッピング」という）開発の概要と今後の展開について報告する。

2. 魚群探知機の機能と堆砂調査への応用

魚群探知機は、水中に超音波を発射し、その反射波を捉え、分析し可視化する漁労用電子機器であり、操作・表示・記録を行う本体と超音波を送受信する振動子と呼ばれる機器から構成される³⁾。

その本体画面では、図-1に例示するように、水深、水温、水底の地形の音波反射状況、魚の群れといった情報がリアルタイムで水中断面図のように表示される。

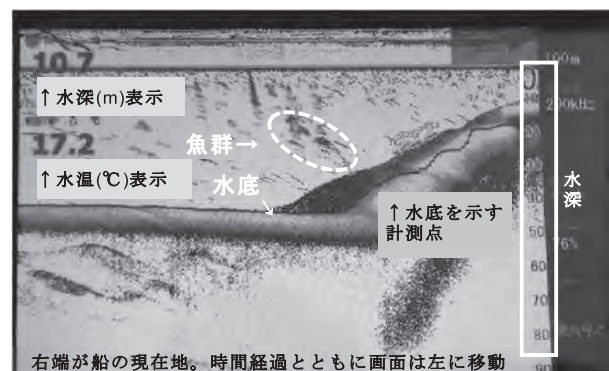


図-1 魚群探知機本体画面のソナー反射画像表示例

振動子には円錐状に低周波（50/83/200 kHz）超音波を発射し反射画像を得る2Dソナー振動子のほか、高周波超音波（455/800 kHz）反射波を使って船進行方向の縦断面図様の画像を表示するダウンスキャンソナー、船の左右舷方向に扇状に超音波（同）を発射し、受信波を連続的に処理して水底の平面図様の画像を表示するサイドスキャンソナーといったイメージング振動子があり、より広範囲で立体的・疑似写真的な水中探知が可能となっている⁴⁾。

魚群探知機にはGNSS受信機による測位機能が標準装備され、測深データと自船の位置情報が合わせて

記録され、水上のナビゲーションシステムとして、レジャーフィッシングの必須アイテムとなっている。

収集データの外部出力が可能な機種が、30万円程度で調達できるようになったのに加え、測点の実測値をもとに、測点間に内挿して水深を補間し、水底全面の地形図を作成できる安価な処理ソフトの公開により、面的な水底地形が把握できるようになったことから、水域の研究者から海底地形情報を収集する有力な計測機器としても扱われるようになり、魚群探知機は、水中レジャーフィッシングとは別の多様な異分野での活用が始まっている⁵⁾。この面的な水中探査機能をダム貯水池現場に応用したのが、ソナーマッピングである。

3. 魚群探知機を用いた水底地形調査の実際

(1) 計測システム

ソナーマッピングの計測には、図-2に示すようなシステムを用いており、通常現地計測に使用している資機材を表-1にあげ、調査船の例を写真-1に示す。

調査船には、貯水池縁辺の浅いところまで計測できるよう、小回りの利く喫水の小さな船が適している。船外機付きゴムボートでも実施可能である。



図-2 ソナーマッピング計測システム・機器構成

表-1 ソナーマッピング計測の資機材・機器類

項目	機種
魚群探知機	HDS Live 16 (Lowrance 社製)
振動子	アクティブイメージング 3in1 ソナー (同上, 周波数: 83/200, 455/800 kHz)
測位アンテナ	RTK-GNSS アンテナ (Dragger 社製部品を自作組み立て)
電源	リチウムイオン電池 DC12V 2個
調査船	アルミボート (乗船定員3名, 全長13ft), 船外機エンジン駆動/エレキモーター
その他	艀装治具 (固定ポール, クランプ等)



写真-1 ソナーマッピング計測調査船の例

(2) 現地計測

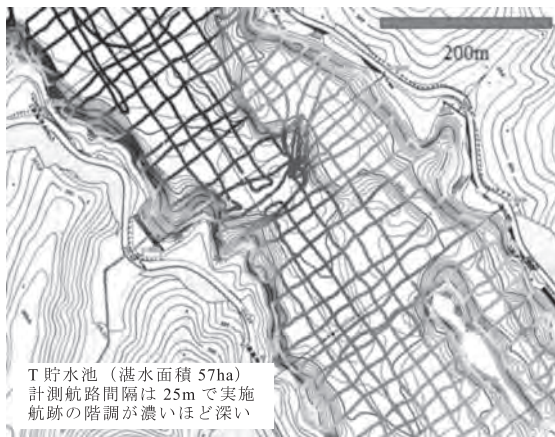
現地計測では、主に2Dソナーで航路直下の水深を取得する。航路は、最低標高地点を捉えるように貯水池横断方向を基本に計画する。従前の深浅測量では、貯水池横断測線の間隔は200m程度以上で実施されていて、限られた断面位置での情報しか得られなかった。これに対しソナーマッピングではGNSSで自船位置の測位をしながら計測できるため、従来の深浅測量に比べて、はるかに多くの断面測線を機動的に計測することができる。現地調査の効率も考慮し、概査段階では横断測線間隔25~50mを目安に、各現場の必要に応じて航路間隔を調整して計画航路として設定している。

航行・計測は、計器操作と操船各1名の2名で担当する。計画航路をトレースするように操船し、測深データを収集する。安定したデータ収集のため、計測中も振動子が鉛直姿勢を維持できるよう、姿勢計測器でモニターしながら、時速5km程度以下で航行している。一日の航行可能距離は20km程度に止まるが、湛水面積100ha程度の貯水池であれば、横断測線を50m間隔として航行・計測した場合、現地計測は2日間ですべて完了できる。

(3) 計測データの取得と処理、成果

魚群探知機は、調査船の直下で毎秒3~4回の超音波の送受信を行って測深し、毎秒10回程度受信するGNSS位置情報と同調させて、本体のメモ리카ードに記録する。4~5時間の航行で従前のシングルビーム音響測深機による深浅測量実績の100倍以上、4~7万点のデータが得られる。2Dソナーの発射する超音波周波数は貯水池両岸斜面の計測誤差を軽減するため、指向角の狭い200kHzを使用している。この周波数でも水深200m程度まで探査可能である⁶⁾。図-3に、現場で計測した航跡例を示した。

魚群や藻などの植生、人工沈埋物等も超音波を反射し、本体画面上で、水底とは容易に区別できる。もし

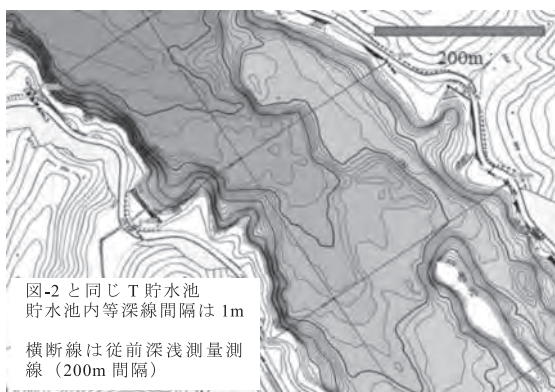


図一3 計測した航跡の例

も魚群探知機がこうした“障害物”の反射を水底と誤認して水深として計測していても、計測箇所は画面で確認できるため、後から水中画像に合わせて手動で適切な水深値として修正・編集できる。また、周波数 200 kHz の超音波は通常の懸濁物質の粒径より波長が長いので、水底の反射波は完全にはさえぎられることなく検知できる。

計測終了後、保存データをパソコンに読み込み、専用のデータ処理ソフト（リーフマスター社製リーフマスター⁷⁾で処理する。航路上での計測データをもとに航路間の内挿補間を行い、貯水池全域の 1 m 格子の水深グリッドデータを作成する。さらにこれから等深線図を出力し、貯水容量を算定する。グリッドデータは別途 GIS ソフトを使って数値標高モデル (DEM) に変換し、水底地形等高線図や任意の位置での断面図に加工することができる。図一4 に等深線図の作成例を示す。

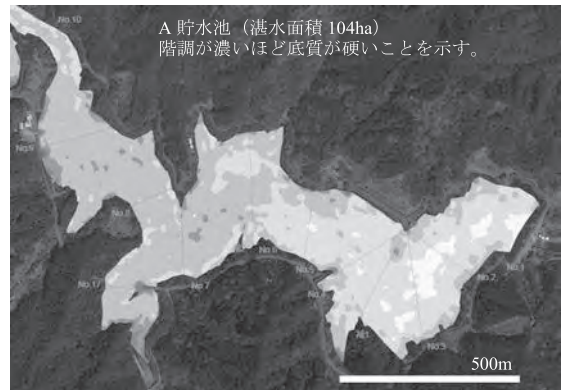
また、リーフマスターには、魚群探知機で記録された水底からの超音波の一次二次反射を解析して、底質の相対的な硬度と粗度の分布図を作成する機能がある。図一5 に、相対的硬度分布図の例を示す。この



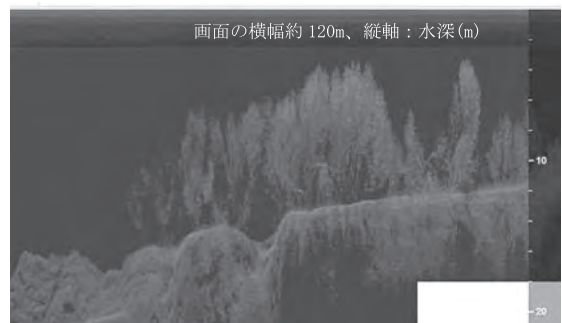
図一4 貯水池の水底地形図 (等深線図の例)

図は堆砂対策の検討段階に必要な堆砂性状調査を企画する際の基礎資料として活用できる。

さらに、3in1 振動子はダウンスキャン、サイドスキャン (455/800 kHz) の機能を使って、水底の地物を映像化できる。貯水池内の地形の変状、底質、巨礫、水没樹 (図一6) や沈木、取水施設 (など水中構造物の現況確認により、適切な貯水池管理を支えることができる。



図一5 底質の相対的硬度分布図の例



図一6 ダウンスキャンソナーによる水没林画像

4. 水底地形調査手法としての評価

(1) 計測水深の精度検証

水中での計測点を特定し視認することはできず、水深の真値が不明なため、測深精度を定量的に評価することは容易ではない。そこで、信頼できる水底標高値が得られていた貯水池においてその標高を真値と仮定し、そこで実施したソナーマッピングによる計測標高との差をもって測深精度を評価した。

(a) UAV 写真測量成果による検証

落水時 (2016 年 12 月) に、高さ方向 4 cm 以内で精度管理された UAV 航測写真測量が行われていた S ダム (湛水面積 92 ha) で 2018 年 7 月、ソナーマッピングによる計測を行った。

測深精度の検証には、測量後の時間経過に伴う土砂流入・堆積の影響や水底地形変化が大きい場所での測位誤差の影響をできるだけ避けるため、河川流入域か

ら離れた堤体寄りの、ほぼ均平なエリア（標高 1203.49 ~ 1204.45 m）を選定した。測量時のオルソ画像を参照しながら河道や窪地の段差がある場所を除外し、図-7 に示すソナーマッピング計測地点（908 点、水深約 17 m）での水底標高値を同一座標地点の UAV 写真測量による DEM 格子の標高値と比較した。ソナーマッピング計測標高から写真測量による標高を引いた値は、0.20 ~ -0.51 m の範囲にあり、平均は -0.10 m、標準偏差 0.10 m だった。

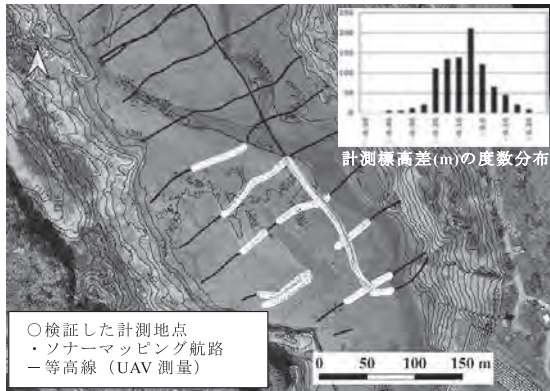


図-7 S ダム比較検証地点と計測標高差の度数分布

(b) ナローマルチビーム測量結果による検証

2019 年 11 月に「河川定期縦横断測量業務 実施要領・同解説」⁸⁾ に沿ってナローマルチビームによる深浅測量が実施されていた A ダム（湛水面積 104 ha）で 2020 年 11 月、ソナーマッピング計測を実施した。ナローマルチビーム測深調査によって確認された水底の標高変動幅が 25 cm 以下の平坦な面（標高 154.25 ~ 154.50 m、満水時水深約 18 m）において、ソナーマッピングによる計測値を同一座標地点のナローマルチビーム測深による DEM 格子の標高値と比較した。比較検証の対象地点を図-8 に示した。ナローマルチビーム測深の水底標高に対して、444 点のソナーマッピング計測標高は +0.11 ~ -0.15 m の範囲、平均は -0.01 m、標準偏差は 0.05 m だった。

このように、ソナーマッピング計測に用いた魚群探知機の測深誤差は、水深 17, 18 m 程度においては、深浅測量に用いられている音響測深機に比して、測深精度が著しく劣ることはないと思われる。

(2) 貯水量算定による精度検証

ソナーマッピング計測では、水底の全面計測は行わず、航路直下の計測値をもとにした推定値で貯水池全域の水深グリッドデータを作成し、貯水容量を算定している。その妥当性を確認するため、前項で測深精度検証を行った貯水池を含め、ソナーマッピング手法によ

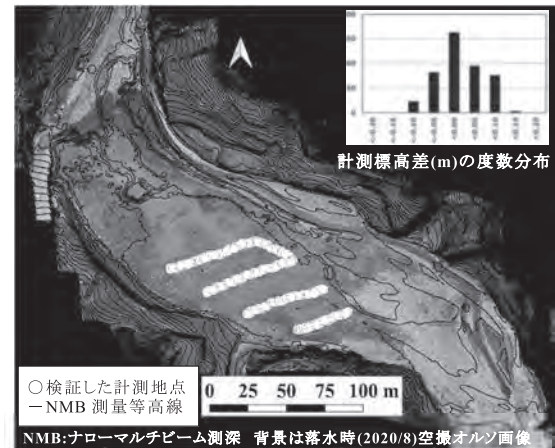


図-8 A ダム比較検証地点と計測標高差の度数分布

て把握した水底地形情報をもとに算定した貯水量を、直近に実施された水底全面測量成果をもとに算定された同一エリアにおける貯水量と比較し、表-2 に示した。

経年の堆砂増加量が不明なため、厳密な評価は難しいものの、精度管理された信頼性の高い測量手法に対して、横断航路間隔 25 ~ 50 m でのソナーマッピング計測により算出した貯水容量は、量比 4% の差異の範囲内で貯水容量を把握できており、土砂管理対応を誤るような差ではない。

表-2 計測手法の違いによる算定水量の比較

貯水池	計測手法	実施時期 年 / 月	算定水量 (千 m ³)	量比 (%)
S ダム	UAV 写真測量	2016/10	2,004	
	ソナーマッピング	2018/7	1,999	99.8
A ダム	ナローマルチビーム測量	2019/11	8,838	
	ソナーマッピング	2020/11	8,680	98.2
Fu ダム	ナローマルチビーム測量	2021/12	3,571	
	ソナーマッピング	2022/11	3,446	96.5
Tu ダム	ナローマルチビーム測量	2022/12	4,536	
	ソナーマッピング	2023/2	4,396	96.9

(3) 調査コスト

湛水面積 1 km²、水深 20 m 程度の貯水池堆砂状況調査を想定し、海洋調査会制定の積算基準⁹⁾を適用すると、マルチビーム測深の人工数は 50.50 人日となる。これに対し、ソナーマッピング手法にかかる人工総数はそれまでの 7 ダムでの実績から 26.0 人日と見積もられる。これに計測機器経費や調査船運転経費等を加えた調査費は、マルチビーム測深で 500 万円程度かかるのに対し、ソナーマッピングでは 110 万円となる。なお、水面幅 150 m、10 測線の深浅測量による堆砂測量調査でも、国土交通省の基準¹⁰⁾によれば、概算で 145 万円程度かかると見積もられ、ソナーマッピング手法が安価である。

5. ソナーマッピングの堆砂状況調査他への適用性

ソナーマッピングでは、貯水池内の水温変化に伴う水中音速度の計測や調査船の動揺に伴う姿勢補正を行うことを省略した測深の生データだけをもとに、航路間の未計測エリアについて内挿推定を行うなど、あいまなどところを内包している。しかしながら、これまで見えなかった貯水池内全域の面的な水底地形図を簡単に出力できて、貯水容量もかなり正確に算定できるほか、取水・放流施設などの構造物現況が映像で把握できるなど、貯水池の可視化ツールとしての活用可能性があることを示してきた。

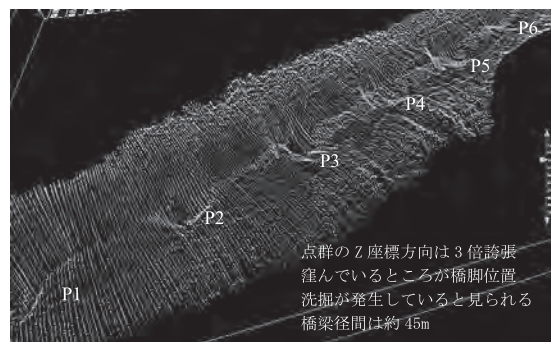
ソナーマッピング手法は安価ながらも、ダム・ため池の堆砂状況把握調査として、実用に耐える成果を提供できる。データの取得から処理、解釈まで、特に熟練を要する工程もなく、容易な手法であるため、今後、定期的あるいは出水イベントに合わせた臨時的貯水池モニタリングが機動的に企画・実施され、観測事実が蓄積していけば、科学的根拠をもった流域の土砂管理が促され、ダム・ため池の機能保全・長寿命化に貢献できるものと考えられる。

ソナーマッピングの水中可視化技術は、ダム貯水池以外にも、調査船の安定した航行が確保できる条件が調べば、河川でも海洋でも、現場のニーズに応えられる情報を収集できる。

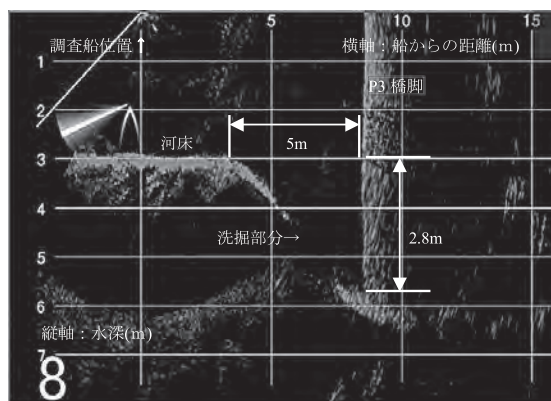
今後の同手法の現場への展開の方向性を示すものとして、橋脚周りの河床地形計測した事例をあげる。図一〇は2023年1月、簡易なマルチビーム機能を持つ3D振動子を用いてK鉄道橋の橋脚の直上下流7～8m地点の横断航路を往復して得た橋梁直下全面の河床上面の水深の点群データをもとに描いた河床地形鳥瞰図であり、図一〇には、水中の超音波反射画像をリアルタイムで投影できるライブソナーで見た橋脚基礎の洗掘現況画像を示した。これまで取得しにくかった水中点群データの取得がソナーマッピングにより可能になり、構造物基礎の地盤状況の可視化が進むことが期待される。

謝辞

本業務の実施にあたっては、農林水産省北陸農政局、同東海農政局、国土交通省関東地方整備局、同九州地方整備局ほか関係機関のご協力をいただき、過年度成果資料の提供をいただいた。ここに記して深く感謝いたします。



図一〇 河床地形の点群データ3D鳥瞰図



図一〇 ライブソナーによるP3橋脚上流端の洗掘規模の判読

JCMA

〈引用文献〉

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：ダム貯水池土砂管理の手引き（案）（2018）
- 2) 国土交通省 新技術情報提供システム 登録番号 QS-220006-A <https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubsearch/details?regNo=QS-220006%20>
- 3) 魚群探知機の仕組み： <https://www.furunostyle.jp/jp/mechanism/page2.html>
- 4) SONAR AND TRANSDUCER BASICS： <https://www.lowrance.com/sonar-basics/>
- 5) 山崎新太郎，原口強，伊藤陽司：レジャー用魚群探知機を利用した水底地形調査 応用地質，54（5），pp.204～208（2013）
- 6) GPS 魚群探知機の基礎知識：（株）ジェイエスピー， <https://www.neonet-marine.com/oyakudati/GPS-ykdt.html>
- 7) ReefMaster： <https://reefmaster.com.au/>
- 8) 河川定期縦横断測量業務 実施要領・同解説：財団法人 日本建設情報センター（1997）
- 9) 海洋調査会：ナローマルチビーム測深による港湾施設点検調査積算基準（案） <https://www.jamsa.or.jp/>
- 10) 国土交通省大臣官房技術調査課：設計業務等標準積算基準書 設計業務等標準積算基準書（参考資料），経済調査会（2020）

〔筆者紹介〕

長田 実也（ながた じつや）
中央開発㈱
理事・技師長



下水道管路内水位のモニタリング技術の開発

メイン機器とバックアップ機器を併用した効率的な水位モニタリング

山口 治・南 雲 裕 樹・澤 裕 俊

下水道管路の維持管理は、管路内水位をリアルタイムにモニタリングすることが有効であるが導入実績は少ない。これまでにモニタリング技術の普及に向けて、実際に運用中の管路で水位モニタリングを試行してきた結果、測定機器と通信の電力消費量の削減、設置・撤去の時間短縮などの課題が挙げられた。そこで、今回モニタリングの要素技術であるセンサ、通信、設置・撤去方法の検討を行い、改善の可能性を得た。リアルタイムモニタリングが可能な既往技術をメイン機器、必要に応じてデータ取得するバックアップ機器の併用により、効率的な水位モニタリングが可能なシステムを考案したので報告する。

キーワード：下水道管路，維持管理，水位モニタリング，ヘテロコア光ファイバ，LoRa 通信

1. はじめに

我が国の下水道は、管路の整備延長が約 49 万 km、布設後 50 年を経過した管路は約 2.5 万 km であり、20 年後には 19 万 km と増加する¹⁾。布設後の経過年数の増加に伴い、管路の機能不全や道路陥没の発生のリスクが高まる。一方、下水道を管理する多くの自治体では、人口減少・下水道使用料減少による維持管理予算の縮小と、維持管理技術者の不足が問題となっている。これらの有効な解決策の一つとして、官民連携事業の活用が進められており、下水道管路の維持管理においては、包括的民間委託の実施件数が増加している。

包括的民間委託の実施のためには、対象インフラの資産価値評価（デューデリジェンス）が必要となるが、管路の点検に多くの時間と費用がかかるために十分に行われていない。また、近年では気候変動の影響により、局所的な集中豪雨の発生回数の増加に伴って内水氾濫が増加している。そのため、維持管理や防災の観点から、管路内の水位などの情報をモニタリングできる体制や技術が求められている。

2. 既往技術の調査と問題点

管路内水位モニタリングができる既往技術として、管路内から無線通信（LTE 通信）でクラウドにデータを転送することで、リアルタイムにモニタリングできる技術（以下、既往技術）が実用化されている。筆

者らは、既往技術を供用中の下水道管路に設置して適用の利点と問題点の抽出を行った。検証の結果、計測期間中に集中豪雨で内水氾濫が発生した際でも水位変化をリアルタイムに確認できた。計測結果は、下水管路の流下能力の評価や今後の管路整備計画に活用できることが利点として挙げられた。

一方で、導入費用が高額となることや、運用に際して、①内水氾濫の把握に必要な計測・通信間隔に設定した場合の電力消費が大きい点、②水位計の設置撤去に時間が掛かり、道路占用時間が長くなる点などの問題点があった²⁾。

3. 補完技術の開発

(1) 新たな水位モニタリングシステムの構築

既往技術は、機器が高額なため広範囲に多数の機器を設置できなかった。そこで、前述の既往技術の問題点の解決および未設置箇所を補完する開発技術（以下、補完技術）の双方を活用した新たな水位モニタリングシステムの構築を目指すこととした。

(2) 要素技術の検討

前述の問題点の解決策として、モニタリング技術を構成する 3 つの要素技術である、(a) センサ技術、(b) 通信技術、(c) 水位計センサの固定治具に着目し、省電力化と低コスト化の検討を行った。

(a) センサ技術

水位センサの電力消費低減と低コスト化を同時に実

現する技術として、ヘテロコア光ファイバ³⁾を用いた水位計(以下、光ファイバ水位計)の適用検討を行った。ヘテロコア光ファイバのセンサは、コア径の異なる部分を意図的に設けて、伝搬光が漏れいする度合を感知することで変状を計測する特許技術である(図-1)。

一般的な水位測定で用いる通電式の棒状水位計との比較を表-1に示す。光ファイバ水位計の特長として、センサ部分での通電を必要としないガラス製であり、耐雷性が高く、硫化水素などの化学的浸食を受けないことから、長期耐久性を有する。消費電力は、従来の棒状水位計と比べて1/8程度²⁾に抑えられ、長期使用が可能となる。

(b) 通信技術

既往技術で使用しているLTE通信は、通信の範囲が広くて速度が速い反面、長期間使用による費用が高く、消費電力が大きい。そこで、LPWA(Low Power Wide Area)の一種であるLoRa通信(LoRa:Long Range)の適用を検討した。LoRa通信を用いた下水

道内部からのデータ取得イメージを図-2に示す。LoRa通信は、消費電力が小さく安価に利用できる反面、通信可能な範囲がLTE通信に比べて狭いうえ、鉄製のマンホール蓋を介したデータ通信ができない可能性があった。そのため、実際のマンホール内部に装置を設置して通信試験を行った。

試験では、運用時のデータ収集効率を考慮して巡視点検車等でデータを取得することを想定し、自動車の一般運行速度での取得が可能か検証した(図-3)。

マンホール内に設置する送信機は、地上の受信機を感知する信号を一定間隔(試験では20秒間隔に設定)で発信し、受信機の存在を感知した時に水位情報を発

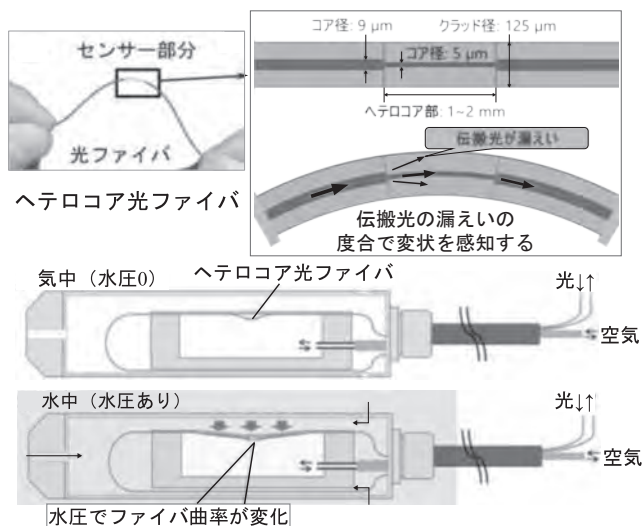


図-1 ヘテロコア光ファイバ水位計概念図

表-1 棒状水位計と光ファイバ水位計の性能比較

機器名称		棒状水位計	光ファイバ水位計
比較項目	消費電力	【大】4W	【小】0.5W
	比較	○	◎(従来比:1/8)
形状自由度		【低】ペン型	【高】フリー
	比較	△	○
耐久性	耐雷性	【無】雷等で破壊	【高】影響なし
	比較	×	○
	耐腐食性	【低】金属線	【有】ガラス線
比較	△	○	
生産体制		汎用品	受注生産
費用	比較	1.0(標準)	1.3

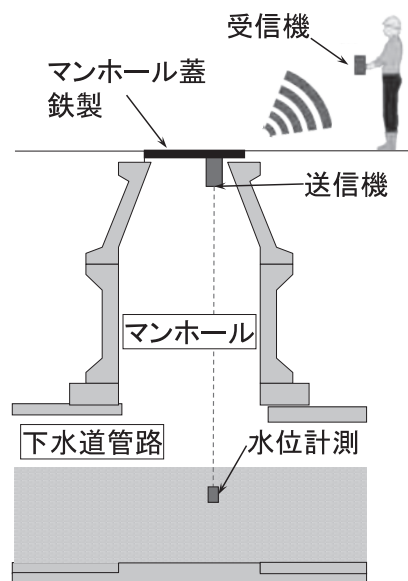


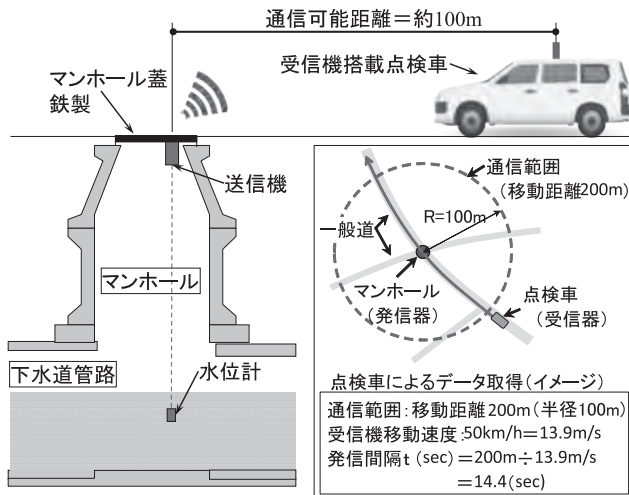
図-2 データ取得イメージ



図-3 データ取得試験状況

信する設定とした。試験の結果、マンホール位置から約 100 m の位置で水位情報が取得できた。

上記の結果から、受信機を搭載した点検車が 50 km/h で走行した場合、送信機の待機状態間隔を 14.4 秒以下に設定することで、走行中に水位情報を取得できることを確認した（図—4）。これにより、道路占用やマンホール蓋の開閉をせずに迅速なデータ取得が可能な方法を構築できた。

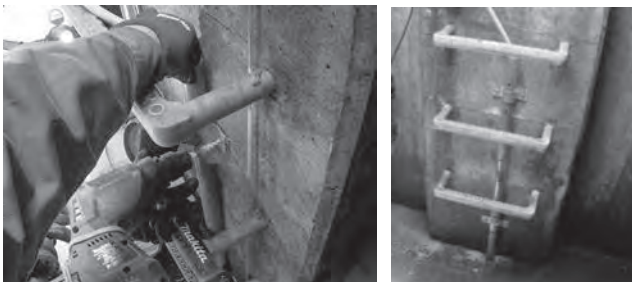


図—4 巡視点検車によるデータ取得試験結果

(c) 水位計センサの固定治具

水位計センサの設置・撤去を行うには、道路占有が必要となるため、地上交通への影響を考慮して迅速な取り付け・取り外しが求められる。これまでは、水位計センサを取り付ける際にマンホールの壁面にハンマードリルで削孔し、アンカーボルトで固定する方法であったため、1箇所への設置に1時間程度を要していた（図—5）。また、一般的には、棒状の水位計を高さ方向（上下）に配置して水位を測定するが、管の内部の常時水位がごく浅い場合も多く、棒状水位計では低水位の計測が困難であった。そこで、形状変更可能な光ファイバ水位計を使用し、取り付け・取り外しが迅速で容易な固定治具の検討を行った。検討にあた

従来手法



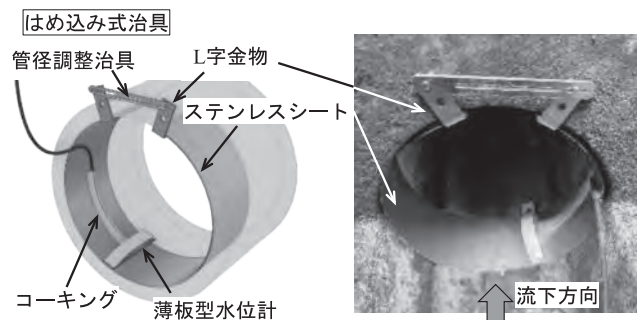
図—5 水位計センサの固定（従来方法）

り、以下の点を考慮した。

- ①固定治具設置のアンカレス化
- ②固定治具と水位計の一体化
- ③流下阻害の回避

検討の結果、マンホールから流下する管路（下流側）の接合部にはめ込む形状を採用し、管底部に光ファイバ水位計を取り付け、流下能力を確保する形状（以下、「はめ込み式治具」）を考案した（図—6）。

はめ込み式治具は、腐食耐性を有する厚さ 0.3 mm のステンレスシートを主材料とした。光ファイバ水位計の形状を薄板型とし、管底部から 10 cm 程度偏芯させた位置に設置したうえで、表面に堆積防止カバーを取り付けることで、流下物の堆積を回避した。試作した固定治具を実際の管路に取り付けたところ、1基あたり 15 分程度の設置時間となり、1/4 の作業時間であった。また、アンカーによる固定が不要となるため、作業性が容易で、撤去後の補修が不要となった。加えて、薄板形状にした光ファイバ水位計が管底部付近にあるため、低水位での正確な測定が可能となった。



図—6 水位計センサの固定治具（はめ込み式治具）

(3) 補完技術の考察

補完技術の費用は、既往技術と比較すると水位計単体では高価となるが、LoRa 通信の使用による通信費の削減、はめ込み式治具の使用による作業時間の短縮（人件費の削減効果）が見込め、総合的に低コスト化が見込める結果となった。今後は光ファイバ水位計の量産化が実現することで更なる価格優位性が見込める。

消費電力は、光ファイバ水位計と LoRa 通信の技術を組み合わせることで、既往技術と比較して大幅に低減できる。消費電力が抑えられたことで、長期使用の実現や、通信回数の増加が可能となる。また、供給電力の小型化や、太陽光・熱電発電などの自然環境を利用した環境発電など代替電力の活用も考えられる。

上記の検証を踏まえて考案した新たな水位モニタリングシステムのイメージを図—7 に示す。既往技術

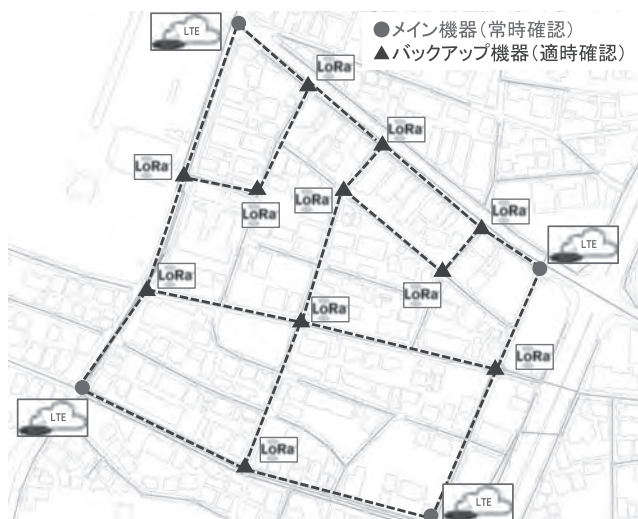


図-7 既往技術と補完技術の運用イメージ

は、確実な通信によるリアルタイム計測の利点を活かし、大まかな面的傾向をリアルタイムに把握するメイン機器として主要な箇所に配置する。これにより、局所的豪雨時および豪雨直後の迅速な対応が可能となる。補完技術は、安価で数多く設置できる利点を活かし、既往技術の線的・面的な欠損部分を補完するバックアップ機器として、メイン機器の間に配置する。データは必要に応じて現地でマンホール蓋を開けずに無線通信で取得する仕組みとし、現場作業の簡略化を図る。取得した記録の解析を行うことで、局所的豪雨の実態把握、対策の立案、整備計画の作成などを行うことができる。

このように、新たなモニタリングシステムでは、メイン機器とバックアップ機器の双方の情報を活用することで、維持管理品質の向上と業務の効率化、コストの抑制を実現できると考える。

謝 辞

今回の調査を実施するにあたり、公共下水道管路を提供して頂いた自治体関係者に対して、この場を借りて感謝の意を表する。

J|C|M|A

《参考文献》

- 1) 国土交通省, 「下水道の維持管理」,
https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000135.html
- 2) 南雲裕樹, 山口治, 下水道管路内水位のモニタリング技術の開発, 奥村組技術研究年報 No.48, pp45-50, 2022年9月
- 3) 渡辺一弘, 松原茂明, 久保田謙, OTDRを用いたヘテロコア型光ファイバセンサ, 計測自動制御学会論文集 35 (1), pp32-37, 1999

【筆者紹介】



山口 治 (やまぐち おさむ)
 ㈱奥村組
 東日本支社リニューアル工事事務所
 工事所支援グループ
 グループ長



南雲 裕樹 (なぐも ゆうき)
 ㈱奥村組
 東日本支社 名古屋支店土木第1部



澤 裕俊 (さわ ひろとし)
 ㈱奥村組
 東日本支社リニューアル工事事務所

自律飛行型ドローンによる火力発電所煙突内部点検の効率化

森井 祐介

従来の火力発電所における煙突内部点検は、煙突内部にゴンドラ足場を設置して、作業員が目視確認などによって実施しているが、このようなゴンドラによる点検では高所作業による労災リスクがあるとともに、相応の費用と時間が必要となる。そこで煙突内部点検に対応する UAV（無人航空機、以下「ドローン」と呼ぶ）を開発し、点検作業の安全性と効率性の向上を同時に達成する点検手法を確立した。

キーワード：ドローン、火力発電所、鋼製煙突、ライニング点検、効率化、安全性向上

1. はじめに

(1) 背景

産業インフラの安全な事業継続など、産業保安の確保は国民・経済にとって不可欠であり、これまで各事業者は、様々な取り組みを進めてきた。近年は産業保安人材の高齢化、設備の高経年化などの環境変化に直面している。この状況に鑑み、スマート保安、すなわちデジタル技術などを活用することで、現場のメンテナンスなどにおいて、安全を確保しつつ自動化したうえで、遠隔による監視・制御を推進し、現場要員の作業を代替していく取り組みの必要性が益々高まっている。

これらを受け、火力発電所の煙突内部点検に自律飛行型ドローンを活用し、効率性と安全性を向上させる新たな点検システムを開発し運用を開始していることから、本稿ではその概要を紹介する。なお、本内容については、国土交通省などが行う第5回インフラメンテナンス大賞において、取り組みが高く評価され、経済産業大臣賞を受賞した。

(2) 煙突内部点検の現状と課題

火力発電所の煙突の大半は鋼製煙突であり、内部は筒身を保護する目的で、主にセメント系のライニング材が吹付施工されている。このライニング材は排出ガスの熱や酸などの要因により劣化し、筒身を保護する性能が低下する可能性があるため定期的に点検を実施している。

煙突内部点検は、大きく分けて現場調査と調査結果評価の2つの工程で構成されている。従来点検の現場調査は、煙突内部にゴンドラ足場を設置して、ゴンド

ラ上で作業員が目視などで状態を確認している。調査結果評価は、現場調査での点検記録や写真に基づき煙突内部の評価を行っている。このような従来のゴンドラによる点検では相応の費用と時間が必要であるとともに、高所作業や重機作業による労災リスクがある。

2. 開発概要

(1) 煙突内部点検システム

従来のゴンドラによる点検では、前述のとおり点検作業の効率性と安全性において課題がある。そこで、現場調査では自律飛行型ドローンを、調査結果評価では画像処理ソフトウェアをそれぞれ活用した煙突内部点検システムを開発・導入することで、煙突内部点検のプロセス全体の効率化を図った（図-1）。

(2) 自律飛行型ドローン

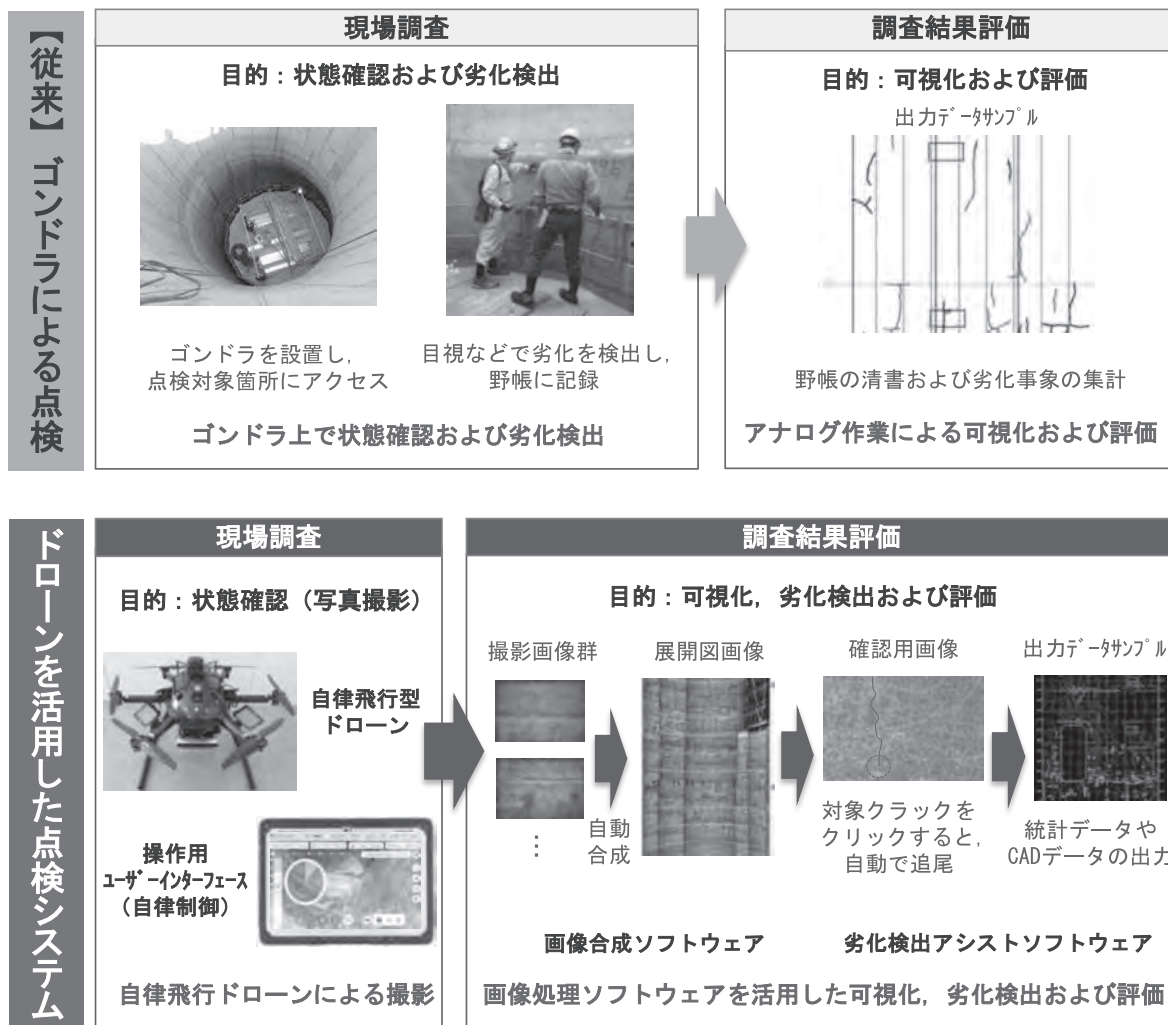
(a) 技術的な課題

煙突内部点検でドローンを活用する場合、煙突内部特有の三つの課題がある。

一点目は煙突内がGPSの届かない閉空間であるため、GPSによる一般的な自己位置推定技術を用いたドローンの制御技術が活用できないこと、二点目は煙突が最大で200m程度の高さを有しており目視でのマニュアル操作が困難であること、三点目は煙突内が一様な景色であり、ドローンが方位を認識できないため、ドローンが撮影した画像の位置特定ができず、点検結果の分析・評価できないことである。

(b) 開発技術

前述の課題を解決するために、後述のセンシング技

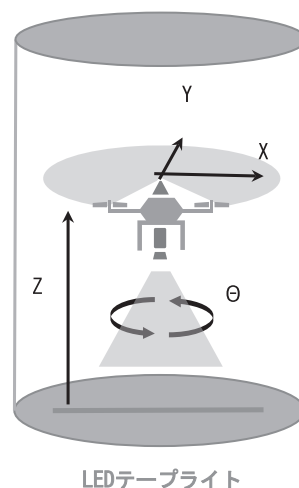


図一 1 ドローンを活用した煙突内部点検システム（従来点検との比較）

術を組合せることで図一 2 に示す水平位置 (X, Y), 高度 (Z), 方位角 (θ) をそれぞれ制御できる独自の自己位置推定技術により、非 GPS 環境下においても安定した自律飛行が可能なドローンを開発した。安定した自律飛行の達成により、撮影した画像の位置特定ができ、点検結果の定量的な分析・評価が可能となる。(特許出願：特願 2020-63862, 特願 2021-60953)

つまり、水平位置 (X, Y) は、光を用いて対象物までの距離を計測する技術である「LiDAR」により全周方向について煙突内壁までの距離を計測することで煙突平面の円中央を保持し、制御する。高度 (Z) は、「気圧センサ」により高度による気圧差を計測することで制御する。方位角 (θ) は、「Visual SLAM」により煙突底部に設置した「LED テープライト」を識別し、テープライトのずれ量 (回転量) を把握することで制御する。

開発したドローンは、長さ 1,117 mm, 幅 1,223 mm, 高さ 654 mm, 重さ 10.6 kg の商用ドローンの機体をベースに、制御用として「Visual SLAM」用のカメ



図一 2 自己位置推定技術概要

ラを 1 台、「LiDAR」を 1 台搭載、点検用として、カメラ 1 台を搭載する (写真一 1)。点検用カメラは、点検の目的に応じて、一眼レフカメラや全天球カメラなどに自由に付け替えることができる。



写真-1 ドローン外観

(c) 点検方法

図-3 にドローンによる点検方法を示す。①ドローンは円中央を保持しながら、一定速度かつ一定の方位角を保ちながら自律飛行で上昇し、煙突内部の周方向のうち一定の範囲を撮影していく。上部までの撮影が完了すると、ドローンは下降する。②ドローンが煙突底部に到達すると、機体を回転させ、異なる範囲（方位角）での撮影を開始する。①、②を繰り返すことにより煙突全周の撮影を行う。なお、上記は一眼レフカメラで撮影する場合であり、全天球カメラの場合は一度の飛行で全周全長の撮影が可能である。

また、煙突内部点検に関するドローンの操作については、専用のユーザーインターフェースを構築している。これにより専門知識がなくても容易にドローンを自律飛行させることができる。

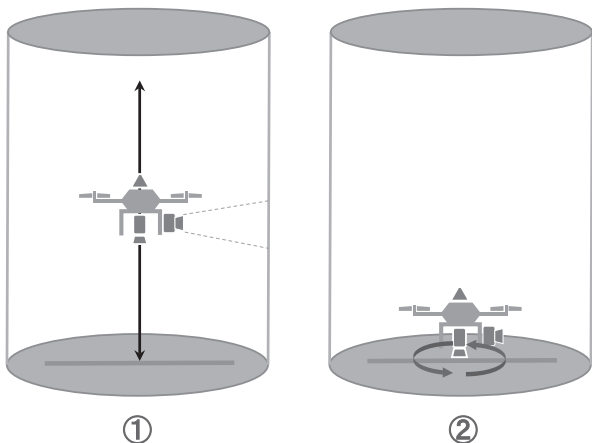


図-3 点検方法

(d) 飛行検証

開発したドローンを用いて表-1 に示すすべての地点にて飛行検証を行い、内径、ライニング、燃料種別を問わず、火力発電所煙突の主要な形状に対して適用可能であることを確認した。また、煙突の構造上点検可能な高さ（最大 185 m）までの安定的な自律飛行ならびに煙突全周全長の画像取得を確認した（写真-2）。

(e) 画像検証

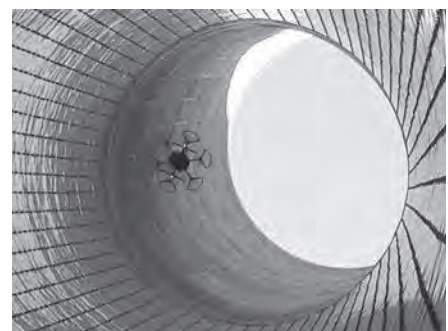
写真-3 に撮影画像から確認することができた不具合の一例を示す。また、従来のゴンドラによる点検では 0.3 mm 幅以上のクラックを目視確認している。そこでドローンに搭載した一眼レフカメラで撮影した画像において、同様のクラックを視認できるか確認を行った。写真-4 に示すとおり、煙突内の壁面にクラックスケールを貼付け、撮影画像の視認性を確認した結

表-1 飛行検証地点一覧

発電所	燃料種別	備考
A 発電所	LNG	・煙突内径：4.65 m ～ 9.0 m ・ライニング種別： セメント系ライニング、 ステンレス内貼
B 発電所	LNG	
C 発電所	重原油	
D 発電所	LNG	
E 発電所	重原油	

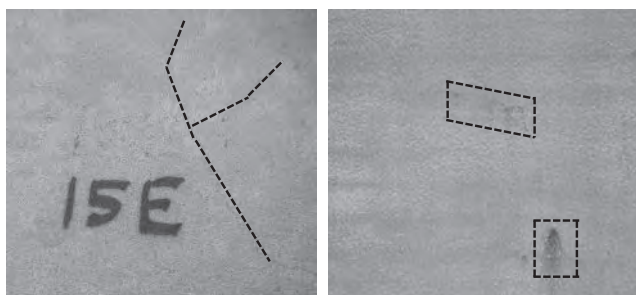


(a) ドローン設置状況



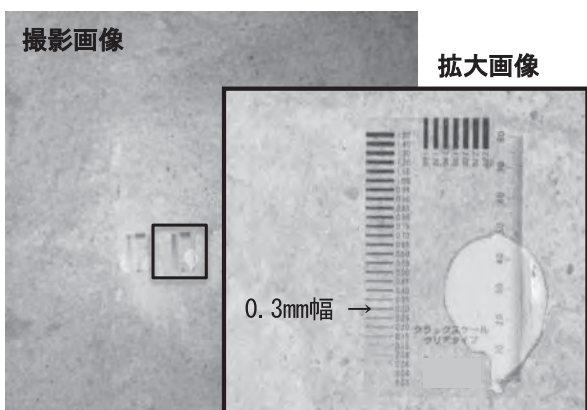
(b) 飛行状況(煙突下部より撮影)

写真-2 飛行検証の状況



(a)クラック (b)さび汁 (c)鉄筋露出 (d)スマット剥がれ

写真—3 確認できた不具合例



写真—4 撮影画像の視認性

果、0.3 mm 幅のクラックは十分に視認できた。すなわち、ドローンを活用した点検が従来のゴンドラによる目視点検と同等の点検品質を確保できることを確認した。

一方で、全天球カメラは、細かなクラックの検出は困難であるが、ライニング材の剥落など、比較的大きな不具合の検知が容易にできる(写真—5)。したがって一度の飛行で内部状況を網羅的に把握できるため、災害発生時などの緊急時においても迅速な点検が可能である。

(3) 画像処理ソフトウェア

一眼レフカメラによる撮影画像データは、高精度な点検が可能である一方で、一枚の画像では撮影箇所の特定が困難である。撮影画像を画像解析技術により自



写真—5 全天球カメラ撮影画像

動で合成し、一枚の展開図としてデータ化し、クラックを自動追尾することで不具合検出をアシストするソフトウェアを構築した(図—1)。これにより、煙突全面を高精度に点検できるとともに、点検報告書の作成時間を大幅に削減することができる。

3. ドローンの活用による効果

自律飛行型ドローンを活用した煙突内部点検システムによる点検は、従来のゴンドラによる目視点検と同等の品質を確保している。また、ドローンだけではなく、ソフトウェアなどの関連システムを構築し、徹底した効率化を進めたことで、従来のゴンドラによる点検と比較し、現場の点検工期が約90%削減(従来手法:10日程度, 当該手法:1日程度)、点検費用が約50%削減できる。加えて、大規模な仮設が不要となることから、重機作業や高所作業による労働災害リスクを大幅に低減できる。つまり、従来の点検水準を維持しつつ、コスト削減と安全性向上の効果を得ることができる。

4. おわりに

開発した自律飛行型ドローンを活用した煙突内部点検システムを用いた火力発電所煙突点検を表—2に示す地点で2021年度より開始している。また、火力発電所のボイラ内部など他の設備への展開も進めている。今後は他事業者の設備への点検サービスに展開し、スマート保安の実現に向けて、開発したドローンを活用した取り組みをさらに加速させていく。なお、

表—2 点検実施地点一覧

発電所	燃料種別	備考
A 発電所	LNG	・煙突内径: 5.75 m ~ 6.1 m ・ライニング種別:
B 発電所	LNG	
C 発電所	重原油	セメント系ライニング

本研究の一部は、経済産業省の産業保安高度化推進事業の助成を受けて実施したものである。ここに感謝の意を表す。

JCMA



[筆者紹介]
森井 祐介 (もりい ゆうすけ)
関西電力㈱
土木建築室 保全技術グループ



「ドラレコ× AI」を活用した空港滑走路面の調査及び点検

空港に導入，そして道路への展開

池田直隆

当社（㈱南紀白浜エアポート）は、2019年4月より和歌山県の南紀白浜空港の運営を開始した民間会社である。安全・安心かつ生産性の高い空港運営を行うため、施設の維持管理にIoTを活用した先進空港を目指している。今回報告する議題は、ドライブレコーダーというOLD技術とAIによるき裂・損傷箇所の自動検知というNEW技術を組み合わせることにより、低廉な価格でより生産性の高い滑走路の点検手法を確立する取組みである。この点検技術を、人材及び資金不足など同様の課題を抱える全国の地方空港へ、そして道路等の他インフラ施設に展開することを目指している。将来的には世界（特に新興国）への空港への展開も視野に入れている。

キーワード：滑走路，アスファルト舗装，DX（デジタルトランスフォーメーション），IoT維持管理，巡回点検，予防保全

1. はじめに

生産年齢人口が減少する中、労働力及び技術力の継続的な確保はインフラ維持管理の共通課題である。特に、資金的に余裕のない地方空港ではその課題は顕著だ。そこで南紀白浜空港では、安全・安心かつ生産性の高い空港運営を行うためDX（デジタルトランスフォーメーション）を積極的に進めており様々な新技術を実証・導入している。

今回報告する議題は、「目視」で実施している滑走路等の日常点検及び巡回点検を、「AIによる自動検知」に置き換える取組みである。具体的には、点検車両（写真－1参照）に市販のドライブレコーダー（以下、ドラレコ）（写真－2参照）を設置、点検（車両走行）時に路面の状況（映像）をドラレコに記録、その画像



写真－1 空港の点検車両



写真－2 ドラレコ設置状況

から学習を重ねたAIがき裂・損傷を検知するものである。

この技術の導入により、飛行機の離着陸に影響を及ぼす損傷の見落としリスクを軽減させるとともに、損傷の進行度合を定量的に把握することができ効率的な予防保全が可能となる。

2. 空港運営の現状・課題

当空港における滑走路の日常点検は、空港運用開始前の限られた時間（約40分）で滑走路全面（延長2,000m、幅45m）の点検が必要である。職員数は十分ではなく1人の職員が目視で実施している。き裂・損傷の見落としは飛行機の安全運航に著しく支障をきたす。そのため、見落としのリスク軽減とともに、職

員にかかる「見落としは許されない」という心理的ストレスを軽減させることが継続的な安全確保には重要である。

また、点検職員一人一人の技術力も十分とは言えず、き裂・損傷を目視で発見出来ても、その緊急性・重要性が即時に判断出来ない可能性もある。滑走路という特殊環境において、経験の積み重ねが重要となっており、配属されたばかりの点検職員にその技術を伝承させるには一定の時間を要する。

更に、き裂・損傷が大きくなってからの事後補修には、早期に発見・補修する予防保全と比較して多大なる費用と時間が掛かる。進行が早いひびのみを選定し（軽度なき裂のうち）優先的に補修したいが、日常の目視点検ではその進行度合を定量的に判断することは困難（というより不可能）である。そのため、軽度なひびを発見した場合、予防保全（優先的に補修）を実施すべきか、或いは経過観察とすべきかと判断基準が明確になっていない。

一方で、滑走路を走行する車両は、（点検車両を除けば）原則は航空機のみであり、航空機の重量は基準で定められている重量を上回ることはない。したがって、道路で発生する過積載の問題はなく、滑走路舗装に基準を超える荷重がかかることは生じない。また、就航する便数が急激に増加する（＝特定の航空路線の需要が急激に伸びる）ことも起こりにくいため、滑走路舗装の損傷は経年劣化によるものが多い。そのため、軽度な損傷を早期に発見し、その進行が早い損傷のみを優先的に補修する予防保全を実施する仕組みを確立出来れば、現在10年程度とされている滑走路舗装の打替え頻度を伸ばすことは十分に可能であり、安全安心を確保した上でライフサイクルコストを縮減することが可能になる。

上記の課題・認識は全国の地方空港の共通である。これらを解決する技術・仕組みを当空港で構築し、その技術を全国の地方空港に、そして世界（特に新興国）展開することを目指している。

3. 当該技術の開発・運用状況

2021年4月より、当該技術を活用した運用を南紀白浜空港で開始している。また、2023年3月時点で、国内の複数空港（地方空港）への導入が成されており、次年度以降もその数は更に増える見込みだ。検知の精度（＝検知可能なひびの幅）は、天候や時間帯により異なるが、2～3mm程度のひびが検知可能となっている（写真－3および写真－4参照）。それ以下のより細かいひびの検知については、ドラレコの（カメラの）スペックや撮影画像の画素数等を高める必要があり、導入コスト（＝販売価格）を高めることに繋がる。しかし、全国の空港（特に資金的に余裕のない地方空港）への導入を考慮すると、導入コストの低廉化は必要条件であり、これ以上の精度は求めないこととしている。現状、職員が車両を運転しながら「目視」で行っている点検よりも精度が向上し、飛行機の離着陸に影響を及ぼす滑走路上のき裂・損傷の見落としのリスクが削減出来れば十分である。

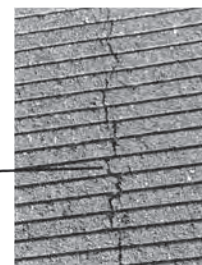
一方で、効率的に予防保全を実施し続けるためには、前述の通りひびの進行度合を定量的にかつ継続的に把握する仕組みが必要である。そこで現在は2～3mm程度と4～5mm程度のひびを別の損傷として検知することで、軽度な損傷が進行した時点で空港管理者が気付ける仕組みを組み込むことを目指している（具体的には、ピクセル数から幅を計測するロジックを開発中）。ひびの進行度合を定量的に把握（写真－5参照）することで、進行が早い損傷のみを優先的に補修する予防保全を実施、その結果としてライフサイクルコストを半減することは十分に可能である。

4. 今後の展開

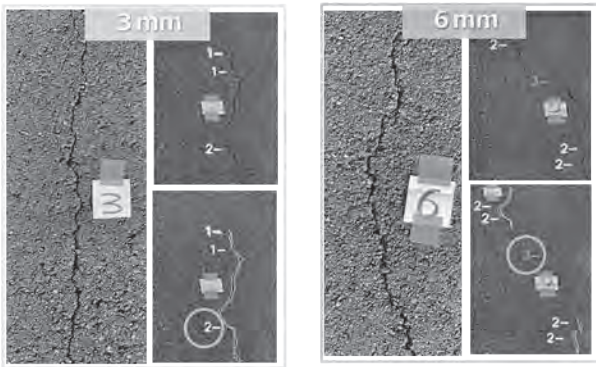
本点検システムは、第5回「インフラメンテナンス大賞」において国土交通大臣賞（メンテナンス実施現場における工夫部門）という大変名誉ある賞をいただ



写真－3 滑走路画像データの認証例（□枠がき裂・損傷の検知箇所）



写真－4 検知したひび割れの拡大図



写真一5 3mmと6mmのひび割れを別のひび割れとして検知

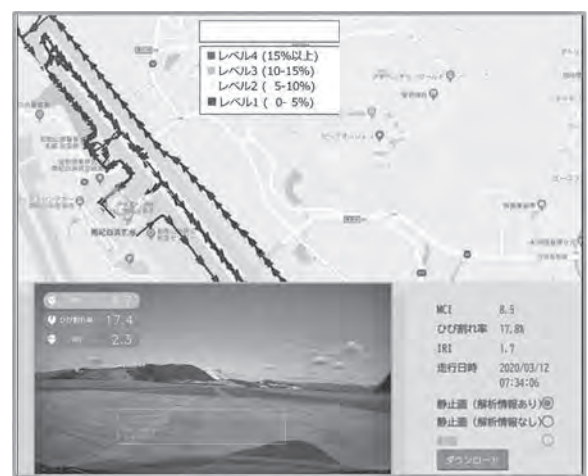
いた(写真一6(上)参照)。ドライブレコーダーという「汎用技術」とAIという「最新技術」を組み合わせた画期的な取り組みであること、本システムを実用化することで空港運用における極めて重要な課題、「航空機の安全運航」に効果のある取り組みであることが評価された。

また、最近では土木学会から「インフラメンテナンスプロジェクト賞」もいただいた(写真一6(下)参照)。これは、インフラメンテナンスにより特に地域のインフラの機能維持・向上に顕著な貢献をなし、地域社会の社会・経済・生活の改善に寄与していることが認められたものである。

本取り組みの実用化により、主に保守点検の人材が限られている地方空港において、空港職員が目視で実施している滑走路の日常点検をドラレコデータの画像

認識による自動点検に置き換えることで、属人性を低減させた点検が可能になった。

現在、当空港で運用している点検システムは複数の空港での導入(および追加開発)検討がなされている。本システムは、ドラレコ及びクラウドサービスがセットで提供される「サービス提供型」のビジネスモデルであり、各空港が機器類を資産保有する必要はない。クラウドサービスはドラレコからのデータ自動取り込みとAIによる分析結果の表示(図一1参照)、分析結果のレポート出力等を含んでいる。またオプションとして、き裂・損傷の補修方針を舗装専門家(例:建設コンサルタント)にリモートで助言を受けられる仕組みも付加されている。

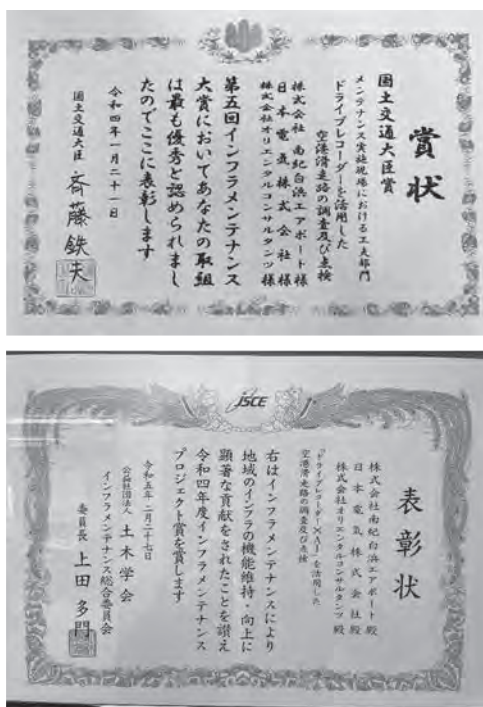


図一1 解析結果の出力イメージ

空港としては、ドラレコが設置された点検車両を走行するだけで良く、属人的な知識・経験に頼らない点検が可能となった。点検職員の要求水準(知識・経験)が下がることで、例えば地元の主婦の方が子供を幼稚園に送迎した後に滑走路点検を行うことも可能である。

今後は、点検車に自動運転を導入(空港滑走路は、車両及び人の飛出し等がないため自動運転車両の導入には非常に適したフィールド)、職員(点検員)は管理事務所でAIの点検結果を監視する仕組みの構築を目指している(図一2参照)。点検車の自動運転化については今年度の実証を開始する予定である。現在、協力事業者および関係各所との協議を進めており、(早ければ)今夏の滑走路での試行走行を予定している。

将来的には、1人の職員(点検員)が「総合オペレーションセンター」(仮称)から複数の空港を同時に監視する仕組み(図一3参照)の構築を目指す。路面にき裂・損傷を発見した際の緊急時の対応体制は別途構築が必要であるが、当技術の確立により生産性の高い空港運営が可能になると考えている。



写真一6 (上) インフラメンテナンス大賞(国土交通大臣賞)
(下) 土木学会 インフラメンテナンスプロジェクト賞

更に、ここ南紀白浜空港では、「ドラレコ×AI」を活用した滑走路面の調査・点検以外にも、「衛星SAR」を活用した路面の動態観測、および「3D-LiDAR」を活用した滑走路上の異物（FOD）検知という技術と組み合わせることで、「2030年の空港維持管理」（図一4参照）と題した未来型の維持管理を目指している。各技術の詳細や開発状況は本稿においては割愛させていただくが、各技術を組み合わせることにより遠隔監視を主にした空港運営が可能になると確信してい

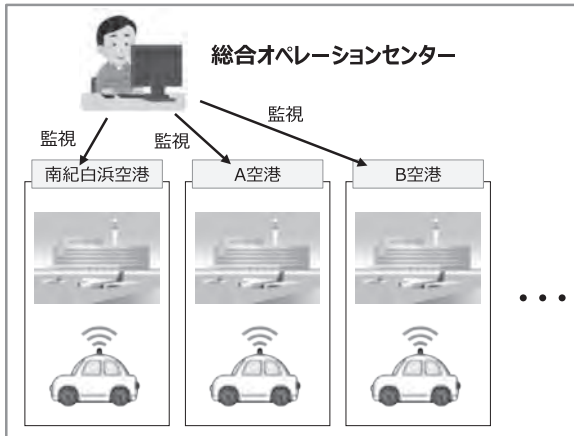
る。今後、2030年に向けて更なる試行錯誤を続けていく所存である。

5. そして道路への展開

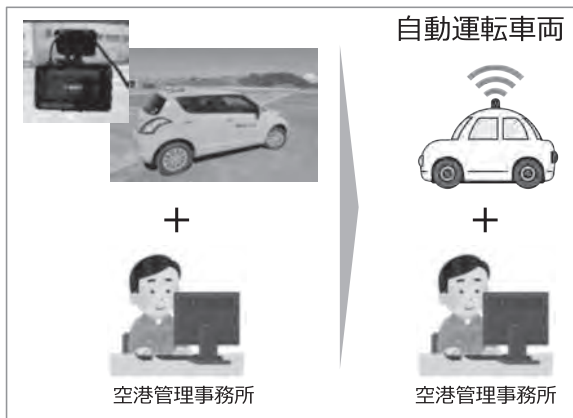
当該技術を一般道路の舗装調査及び点検に展開する実証実験を2022年3月より開始した。具体的には、熊野御坊南海バス(株)が運行する空港リムジンバス（白浜空港～新宮駅間を1日2往復走行）にドラレコを設置し（写真一7および写真一8参照）、バス運行（道路走行）時に路面の状況（映像）をドラレコに記録し、その画像から学習を重ねたAIがき裂・損傷（例：ひび割れ、ポットホール）を自動検知する仕組みである。同時に道路の平坦性（IRI）も計測する。

実証を経てその精度を確認した上で、国や地方公共団体等の道路管理者が点検車で実施している目視点検の一部を「AIによる自動検知」に置き換えることを目指している。老朽化が進む公共インフラの維持管理に必要な労働力及び技術力の継続的な確保は、空港のみならず全てのインフラ事業者の共通課題だ。

一方で、「地方」の路線バスは地元住民及び観光客の移動にとって必要インフラである一方、旅客数が少なく路線の維持が困難となる路線も多く存在する。旅客輸送という路線バス走行の目的に、道路の調査及び



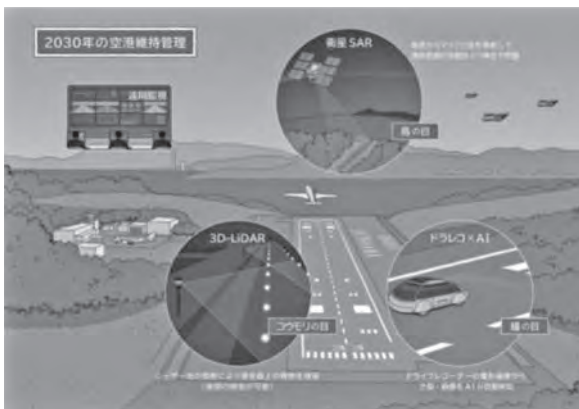
図一2 自動運転車両の導入イメージ



図一3 総合オペレーションセンターの運用イメージ



写真一7 空港リムジンバス



図一4 南紀白浜空港が目指す「2030年の空港維持管理」



写真一8 ドラレコ設置状況

点検という新たな機能を付与することにより、(特に地方の)路線バスの走行に新たな価値を創出するものである。老朽化が進む舗装の維持管理の効率化と路線バスの運行業務の多機能化を同時に実現することにより、地方のインフラ事業者に夢と希望を与える取組みを目指している。

これからの時代は、空港の技術、道路の技術という様なインフラごとに新技術を創出する時代ではない。例えば、空港で創出した技術を基に、廉価なかつ必要十分な費用を投資し道路でも(そして空港でも)実用可能な汎用性の高い技術に磨き上げていくことが真の意味でのイノベーションだと確信している。当空港に

においても、汎用性の高いインフラメンテナンス技術を複数の協力事業者と一緒に継続的に構築していく所存である。

JICMA

【筆者紹介】

池田 直隆 (いけだ なおたか)
(株)南紀白浜エアポート
オペレーションユニット長



ラバーコーン・矢印板自動設置・回収車両

ロボコーン・ロボアロー

中尾和広・貞野昌則

高速道路の維持管理において、車線規制は必要不可欠なものである。しかしその実態は作業員が荷台に乗ったまま人力でラバーコーンを設置・回収しており、非常に危険であること。また重労働である。

このため機械化が望まれており、ラバーコーン・矢印板の自動設置・回収車両を開発、活用している。

本稿では開発経緯と導入後の効果検証、課題並びに今後の展開等について報告する。

キーワード：高速道路，維持管理，メンテナンス，交通規制，安全

1. はじめに

ラバーコーン自動設置・回収車両の技術開発の歴史は古く、36年前にさかのぼる。当時、規制作業員の死亡事故が、開発のきっかけと聞き及んでおり、命の尊さは今も昔も変わらない。

昭和62年（1987）JH日本道路公団により研究開発が始まり、3年後には新明工業㈱がオリジナル設計素案を提出。共同開発が始まった。

翌、平成3年（1991）には試作車を制作・検証し、実用試験を開始。平成5年（1993）には商品化され、以降平成12年まで、20台の車両が製造され実践配備がなされている。

主な特徴は次の通り。

- ・安全機能は、立入禁止区域にセンサー等をつけて動作停止、非常停止ボタンを設置、カメラ等で死角の改善を行っている。
- ・専用のラバーコーンに3タイプで下部土台に切り欠きを設けて、確実な設置・回収ができるように工夫している。コーンの重さは、約3.8～4.5kg（ゴム製&樹脂製）
- ・改良最終車両は、路肩規制にも対応できるよう、車幅1,700～1,800mmとしている。

こうして配置した車両であったが、当時の意識として、それぞれの部署で「費用が掛かりすぎる。」「面倒である。」「本当に必要なのか。」といった思いが複雑に絡みあった中で、別途標識を運ぶ車両が必要であり、負担増となることから、普及には至らなかった。

その後のJH日本道路公団の分割民営化とともに、忘れられようとしていたのである。

しかし分割民営化によって生まれたものもある。

高速道路の維持作業を行う、協力会社のグループ化である。こうして生まれた西日本高速道路メンテナンス九州㈱は、その存在意義について「高速道路の交通規制のプロフェッショナルになり、他社をリードしていく。」というものであった。

初代社長は、トラックのパワーゲートに乗って、規制作業しているのを見て、「車が向かってきたらどうやって逃げるんだ？」と聞いた。聞いた。

答えようもなく、当時下関で生き残っていた16号車の改良版を制作すべく、新明工業㈱に連絡し「ロボコーン（以下、ラバーコーン自動設置・回収車両という）の独自開発が始まった。

開発の経緯・履歴

- 1987 JH日本道路公団 研究開発着手
- 1990 新明工業㈱…素案作成
- 1991 試作機制作 評価実証⇒実用化に目途
- 1992 実用試験開始（JH名古屋管理事務所）
- 1993 正式商品車1号車稼働開始
- 1998 16号車納入（JH下関管理事務所）
- 2000 までに20号車まで納入
- 2005 JH日本道路公団分割民営化
- 2006 西日本高速道路メンテナンス九州㈱設立
- 2009 ラバーコーン自動設置・回収車両研究開発再開
- 2010 自社試作車両制作（サブエンジン継承）
- 2013 ハイウェイテクノフェア2013にて
中型ラバーコーン自動設置・回収車両発表
- 2015 小型ラバーコーン自動設置・回収車両誕生

- 2016 ロボアロー（以下、矢印板自動設置・回収車両という）開発開始
- 2018 矢印板自動設置・回収車両誕生
- 2021 矢印板自動設置・回収車両標識拡大
- 2022 ラバーコーン自動設置・回収車両
新型小型車誕生
- 2024 ラバーコーン自動設置・回収車両
回収時自動運転機能（予定）

2. 人力規制の実態と問題点

ここで改めて交通規制の実態と問題点について整理する。

(1) 交通規制作業

交通規制のうち最も代表的な走行車線規制の標準例を図一に示す。

交通規制作業は大きく3つのパートに分けられる。

最初に予告標識の設置を行う。基本的に1.5 km手前から順次、標識の立標作業を行い、注意喚起及び車線移行を促す。立標作業は路肩のガードレール等を利用して設置していく。

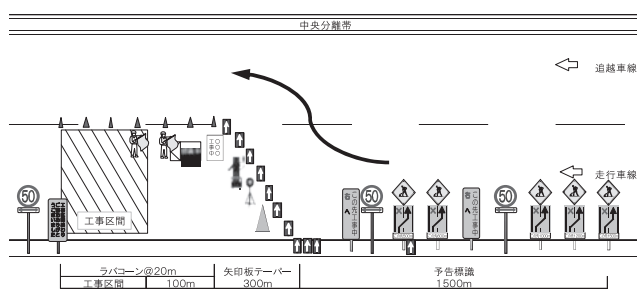
二番目は規制のテーパー部分に矢印板を設置していく作業である。この部分はもっとも危険な箇所であり、人力で走行車両に留意しながら矢印板を設置していく。その後、ジャンボコーンやLEDライト、バルーン式誘導標識器や標識車を配置し、注意喚起を行う。

三番目としてセンターライン寄りにラバーコーンを20 m間隔で設置する。車線分離を行うと同時に、作業スペースを確保していく作業となる。

今回の機械化では、ラバーコーン自動設置・回収車両が立標とラバーコーンの設置を担当。矢印板自動設置・回収車両が矢印板その他と標識車としての機能を受け持つこととなる。

(2) 人力規制の問題点

人力規制を行う場合の作業方法は、高速道路上にて



図一 規制標識図

一般車両が走行する中、荷台上に2～3名が乗車し、規制材の設置・回収作業を行っている。また規制作業者は、荷台上から半身を乗り出したり、車体後部作業用ステップ、パワーゲート等を使用し、車両最後部にて手作業を行っている（図一2）。

設置作業においては白線を目印とし、20 m間隔で設置するため、一般走行車両を常に注視することができない状態にある。また回収作業も同様に一般車両を常に注視することができない。

前述から次のような重大事故の危険が潜んでいる。

- ①荷台上での転倒及び墜落の危険性
- ②設置用ステップ、ゲートからの墜落の危険性
- ③一般走行車両不注意による事故の危険性

また次のような労働環境での重労働となっている。

- ①コーン重量4.5 kgの設置・回収連続作業による疲労
 - ②無理な態勢での連続作業による疲労の増大
 - ③悪環境（排ガス、悪天候）での作業による体調悪化
- その他、運転手を含め3～5名による作業で多人数作業となっている。



図一2 ラバーコーン設置・回収作業

3. 開発の狙いとテーマ

このような実態を踏まえ、開発の狙いとしては、

- ①運転手1名による設置・回収作業の実現
- ②荷台作業員0名（全自動化）により省力化と安全を確保する

開発テーマとしては2点、

テーマ1：現車両機構をベースに、

- ①規制標識を16枚程度搭載できるようにする。
- ②ラバーコーンの自動セット数を規制延長4 kmまで対応する。

テーマ2：新たな技術開発としての目標を、

- ①設置速度15 km/h、回収10 km/h
- ②規制標識は16枚搭載したうえで、路上で作業員に鉛直方向で手渡しできる仕組み
- ③衝突緩衝装置を装備する（現在まで未達成）

に設定し、開発を進めた。

平成22年（2010）、このようなテーマで開発された

自社試作車については、標識を16枚搭載し昇降装置を付けたものの、自動セット数は2km、設置速度は10 km/h、回収8 km/hと目標達成には至らなかった。それでも平成29年まで稼働し、ついには役目を終えた(図-3)。



図-3 自社開発ラバーコーン自動設置・回収車両試作車

4. 第二世代車両

試作車については、基本的な機構を前身の車両をベースとしており、ラバーコーンを掴むアームの動力をサイドPTO+サブエンジンで対応していた。

目標達成のための更なる性能アップについては基本的な機構の見直しが必要となり、現行のエンジン出力によるフライホイールPTOに変更した。

この変更により、性能アップが図られ、標識18本搭載、設置速度は15 km/h、回収10 km/hと目標達成。ラバーコーンは300本(約6 km分)積み込むことが可能となった。こうして平成25年のハイウェイテクノフェアでデビューした(図-4)。



図-4 中型ラバーコーン自動設置・回収車両

5. 矢印板の自動設置・回収車両の開発

交通規制の起点部に矢印板を斜めに設置・回収していくための車両の開発はラバーコーン自動設置・回収車両の開発がひと段落した平成28年(2016)から始



図-5 矢印板自動設置・回収車両と専用矢印板

まった。構想から細かな仕様を定め、2年後には商品化されている(図-5)。

開発のポイントは3点

- ①矢印板を設置・回収していく機構の開発
- ②矢印板を検知・認識する仕組み
- ③上記を踏まえた特注矢印板そのものの開発

いろいろな案を検討した中で、まず矢印板を設置・回収するためのアームが入るようにスリットを入れた。

ストックコンベアからアームで移動させ、設置と収納時に180度回転させる方法とした。

矢印板を検知・認識する仕組みは、レーザーセンサーを用いた。地上10 cmの位置に水平にレーザーを飛ばして、車両後方幅2 m×長さ3 m範囲内を解析し、そのスリット寸法・間隔と合致するものを矢印板と認識させた。それ以外は障害物として人物ととらえ、緊急停止させる安全装置として活用した。

矢印板の脚については、かさばらず収納しやすいこと、設置時に風等で倒れたりしないよう重量を持たせた(約15 kg)。

令和2年には、標識の大きさを1,280×680(単色)から1,280×1,280(3色)と標準タイプに変更し、大きくなった標識の昇降装置を新たに追加した。

6. 交通規制の機械化手順

ラバーコーン自動設置・回収車両および矢印板自動設置・回収車両による交通規制の機械化の方法について述べる。

まず車両基地で始業点検を行い基地を出発。縦走にて最初の規制標識設置地点まで移動し、路肩に停車。矢印板自動設置・回収車両が盾になる形で、ラバーコーン自動設置・回収車両の標識収納装置を起し、人力にて標識をガードレールに固定する。

この作業を順次、所定の場所で行っていく(図-6)。

標識を立て終わり、規制先端まで来たら、一旦矢印



図一六 立標作業の違い

板自動設置・回収車両にバトンタッチする。

実はこの矢印板を設置する作業が一番危険である。

予告標識ですべての車が車線移行してくれるわけではなく、矢印板を見て初めて回避行動する車も少なくない。このため、旗振りの規制作業員が手前路肩で手旗を振りながら、矢印板自動設置・回収車両にて順次矢印板を置いていく（図一七）。斜めになる部分は、車内でモニターを見ながらずらして設置していく。最終的には向きやずれを規制作業員が微修正する必要があるものの、すでに矢印板が設置されている状況なので安全性は高まっていると言える。

その後、ジャンボコーンやLEDライト、バルーン式誘導指示器をセットし、矢印板自動設置・回収車両を標識車としてその場に配置する。

その後は再度ラバーコーン自動設置・回収車両の順番である。

センターライン寄りにラバーコーンを20m間隔で設置し、最終地点で工事区間完了と速度規制の終わりの標識を設置し規制作業の完了となる（図一八）。



図一七 矢印板設置作業の違い



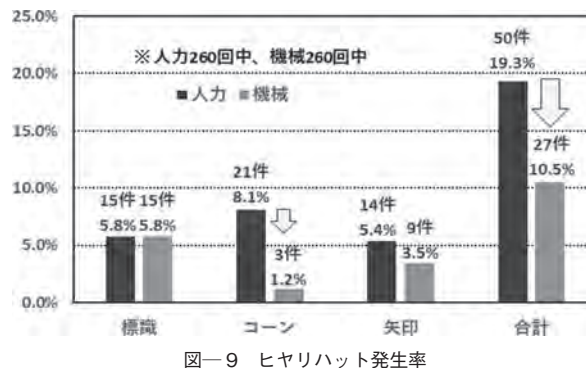
図一八 ラバーコーン設置の違い

7. ラバーコーン自動設置・回収車両の有効性

令和2年度において、車両導入に伴う有効性について検証しているで紹介する。

(1) 安全面での有効性

まず人力作業と機械作業でのヒヤリハットの比較調査を行った。人力、機械ともに260回規制をかけた際のヒヤリハット回数を比較した（図一九）。



その結果、人力では50回、機械では27回と減少し、1/5から1/10に半減した。

人力の場合の内容は、コーン設置時、バランスを崩し荷台より落下しそうになった。長距離の設置及び回収の際、疲労により腕に力が入らずコーンを落としそうになった。ということで、人身事故につながる内容であった。一方機械の場合の内容は、コーンや矢印板設置時、一般車に追突・接触されそうになった。という内容であり、物損で収まる可能性が高くなり、規制作業員の安全性確保の観点としては有効である。

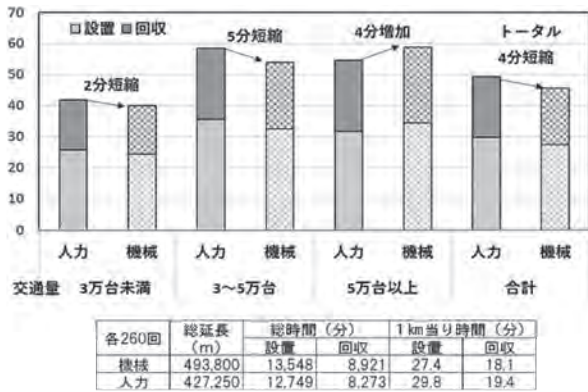
(2) 負担軽減の有効性

次に負担軽減になっているかの検証であるが、規制作業員さんは「人力のほうが早い。」と言い、実際にそんな色があるのかどうか検証した。

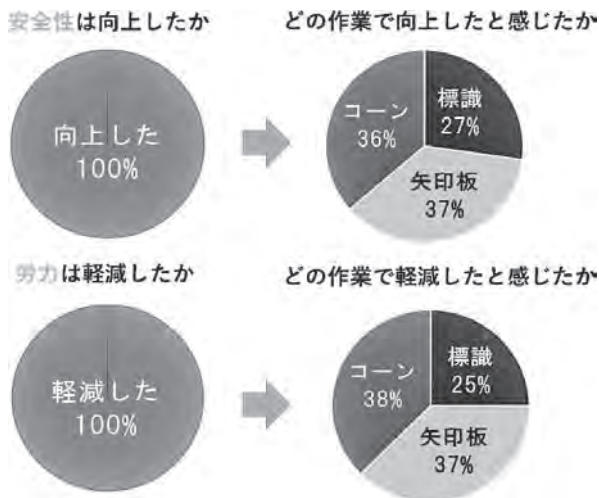
前述の各260回分の規制総延長と、トータルの時間から、1km当たりの規制設置回収時間を算出し比較した（図一十）。

その結果、交通量が5万台/日以下は時間短縮効果があり、5万台以上の場合やや増加傾向であったが、これは、コーンの転倒やずれなどが生じないよう、少し慎重に作業を行ったためと思慮され、慣れればそんな色ないレベルで設置可能と思われる。また合計での時間を比較すると短縮されており、人力と同等以上と言える。

なお、二世世代ラバーコーン自動設置・回収車両の基



図一10 規制1km 当たり設置回収時間 (分)



図一11 規制作業員アンケート

本性能として設置速度は 15 km/h、回収 10 km/h と目標達成。と謳っているものの、物理的な動作的には可能であるが、コーン設置時のずれや転倒等を考慮すると、実作業速度の限界は 12 ~ 13 km/h であると思慮される。

また負担・疲労軽減の有効性については、実際に従事した規制作業員さんにアンケート調査を行った。

全員が「安全性が向上した。」「労力が軽減した。」と回答。内訳的には、ラバーコーン、矢印板、標識とほぼ3等分され、標識は少し低い結果となっているが、これは、標識の上げ下げに少し時間を要するためであると思われる (図一11)。

8. 機械化の課題及び今後の展開

安全面及び負担軽減の有効性については認められるものの、導入後に様々な課題も見つかった。

(1) 導入後の課題

まず導入時に、「操作方法がわかりづらい。トラブ

ル時の対処方法がわからない。」というものである。

納車時に一通りの手順について説明しているものの、慣れや経験が必要である。特に実際に作業される規制作業員さんが現地に対応できず、「故障が多い。」の声も多かった。現在では現地講習会やその後のLINEでのやり取りなどで対応している。

そのほか機器・機構についても数々の不具合等が発生したが、改良に改良を加え12項目にも及ぶ改善を行っている (内容割愛)。

また導入当初は故障時の修理に時間がかかる。との指摘があった。導入初期には、想定外のトラブルもあり、部品の調達が遅れていたが、故障頻度の高い部品は、在庫を確保することにより、修理期間の短縮を図っている。

なお、ラバーコーン自動設置・回収車両はリース提供しているが、その契約の中で、3ヶ月ごとに定期点検を行うようにしている。その際に動作確認、回転軸のグリスアップを行うことで故障件数は少なくなってきており、現時点では0.5件/台年と、1年に1回・台あるかないかの頻度となっている。

(2) 専用自発光デリネーターの開発

夜間規制やトンネル内規制の場合、自発光デリネーターをラバーコーン頭部にセットする。

人力の場合には、荷台上でその都度デリネーターの電源を入れてセットしたうえで、手渡して設置する。

この作業の為、規制作業員が一人多く荷台に上がる必要が生じ危険性もアップしている。

またラバーコーン自動設置・回収車両で設置する場合、ラバーコーンを設置したのちに、別途デリネーターをセットしていかなければならず、活用が制限されていた。このため専用自発光デリネーターを開発し、現在試行運用中である。

なお、設置・回収時に自動でスイッチ ON/OFF する機能や、転倒警報機能も付加している (図一12)。



図一12 専用自発光デリネーター & 受信機

(3) ラバーコーン回収時の自動運転化 (開発中)

ラバーコーン自動設置・回収車両による回収時の運転操作は、長時間集中力を保つ必要があること。また急な降雨時や夕暮れ時のヘッドライトによる逆光など

で見にくい場合がある。

これらを解消するため、RGBカメラと赤外線カメラの画像をAIにより、センターラインとラバーコーンを認識させ、自動的にラバーコーンを追尾し、自動運転させることを開発中である。

試作段階では時速10kmで1.5mのブレまでは追従可能となっている（図—13）。

令和5年度に試験車両の制作・検証を行い、令和6年度以降、実装する予定である。



図—13 AI認識試験

9. おわりに

土木建設業界での課題は人手不足であり、高齢化が進んでいる。高齢の職人が今後10年で大量に引退する一方、若手の入職者が極端に少ない状況にある。

若手の働き方の意識や価値観の変化、ICT化やDXが叫ばれるなか、交通規制の機械化はなくてはならないものである。

だれでも安全に規制作業ができ、死傷者を出さない交通規制作業を目指して、さらなる開発を進める。

JCMA

【筆者紹介】

中尾 和広（なかお かずひろ）
西日本高速道路メンテナンス九州㈱
工務技術本部
技術開発部長



貞野 昌則（さだの まさのり）
新明工業㈱
自動車事業本部
副本部長





「全自動ドローンシステム」の活用拡大へ向けた検討 ダム施設点検にて災害を想定した被災・復旧等の経過撮影を無人化

上原 広行

近年ドローンの防災分野への活用が進んでおり、災害発生時の被災状況把握が可能な技術が必要である。また、大規模災害時など同時多発的に災害が発生した場合には同時に複数箇所の状況把握が求められ、他の災害対応業務との兼ね合いからドローンを操縦する人員確保が十分にできず、結果として状況把握に多くの時間を要することが想定されるため、ドローン運転の省人化技術が求められる。

当社では、建設現場での安全巡視や測定の無人化・省人化技術として全自動ドローンシステムを開発し、防災技術としても展開を進めている。

この度、現場ニーズと企業の技術シーズをマッチングさせる取り組みとして行われた国土交通省中国地方整備局の公募において、出雲河川事務所のニーズ（遠隔かつ自動で航空制御し任意の範囲の映像情報等を取得することが出来る技術）に対し「全自動ドローンシステム」を提案し、志津見ダムにおいて災害時を想定した被災および復旧状況などの経過撮影を無人化の現場試行を実施した。

本稿では、現場試行の内容と導入効果、今後の展望について報告する。

キーワード：ドローン、全自動、点検・巡視、写真測量、省人化

1. はじめに

「全自動ドローンシステム」は、自動離着陸、自動充電、開閉式ハッチなどを備えたドローン基地と、建設現場で活用中の遠隔臨場ドローンの技術を組み合わせたシステムで、オペレータの介在なしに目視外飛行（レベル3）を可能とし、カメラのリアルタイム映像をWebブラウザで複数拠点から同時共有できる技術である。その用途は、工事の進捗管理や安全巡視をはじめ、空撮写真を利用した現場の3Dモデルの作成、建設現場の出来高管理などで、現場オペレータの介在なしに省人化を図るために開発された技術である。

防災分野への展開として、災害発生時の被災状況把握が考えられる。ドローンは構造物と適切な距離を確保しながら安全に自律飛行するため、無人でのインフラ施設などの被災状況確認が可能となる。

本システムでは、ドローン操縦・映像伝送などの通信を4GLTE回線で行うことで、幅広いエリアを経過撮影できる。収集した写真データと位置情報を組み合わせ、AIと連動した対象物検出で変状比較も可能である。志津見ダムで行った現場試行では、災害時の現場状況把握を想定した写真測量や、上流左岸コンクリート法枠法面の災害を想定した経過撮影の無人化を

検証した。

本稿では、現場試行の内容と導入効果、今後の展望について報告する。

2. システム概要

本システムは、自動離着陸、自動充電、開閉式ハッチなどを備えたドローン基地と、当社の建設現場での安全巡視ノウハウや、簡易にドローン測量が可能な「デイリードローン[®]（2018年2月発表の簡易ドローン測量技術）」、標定点を設置せず高精度な出来形計測が可能な「斜め往復撮影ドローン（2020年12月発表のドローン測量手法）」の技術から構成されている（図-1）¹⁾。指定時刻に基地からドローンが自動的に離陸し、事前に指定したルートを通り、測量と安全巡視を実施後、自動で着陸し、充電をする機能を搭載している（図-2）。

(1) ドローン基地

ドローン基地には、風速・気温・相対湿度・雨量・気圧を測る機器が搭載され、飛行中に風速など設定条件の閾値を超えた場合、自動で基地へ戻る機能を備えている。

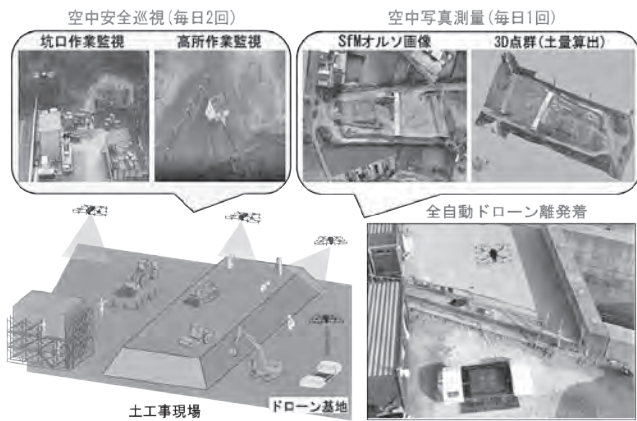


図-1 全自動ドローンシステム

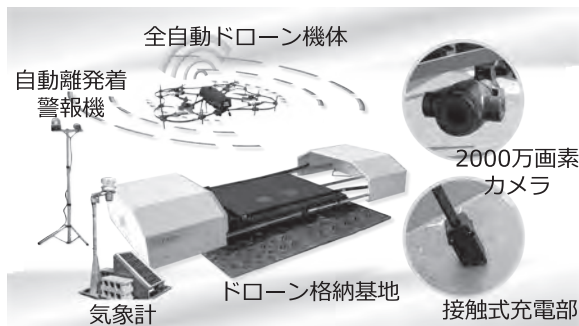


図-2 全自動ドローンシステム構成図

また、ドローンが離発着する際には自動離発着警報機により回転灯とブザーで周知を行い、外部監視カメラでドローンの離発着状況や飛行状況を常に監視することができる。このような補助機器の対応により、過酷な建設現場においても安全・安心なシステムである。

そして、機体の着陸精度については、ドローン基地に着陸誘導のための赤外線センサーを設置し、機体がドローン基地の上空に来た際に、基地より放射された赤外線を検出し、そこから得た情報をもとにドローンを高精度に着陸誘導している。

機体充電については、機体脚部とドローン基地の金属面（写真-1）が接触することで充電を開始する。充電時間は1時間で満充電（40分で80%）である。



写真-1 ドローン基地充電部

(2) 建設現場導入時の成果

本システムを建設現場に導入し、安全巡視と測量の無人化を検証した時の成果を以下に示す。

- ①ドローン飛行の操縦者と補助者（2名）が不要で100%省人化
- ②現場の出来高測量と安全巡視業務の時短で効率が50%アップ
- ③自動写真測量で出来高測量業務時間を従来の1/4に短縮
- ④日々の出来高を土量推移で把握でき、工事原価を適正管理
- ⑤空撮により、日々の施工進捗が可視化されるため、施工計画の変更にも即時対応可能

3. 災害時を想定した現場試行

(1) 現場試行の概要

今回の試行は、本システムを用いて、志津見ダム上流左岸法枠法面が災害により被災したとの想定で、動態観測、被災状況撮影の無人化ほか、現場状況把握の省人化の可能性について取り組んだ。

～試行現場（写真-2）～

- ・ 試行場所：志津見ダム
島根県飯石郡飯南町角井
- ・ ダム諸元：堤頂長 266 m、堤高 81 m
重力式コンクリートダム



下流側より



上流側より

写真-2 志津見ダム 全景

(2) 試行内容

(a) ダムの点検・巡視

ダムにおける災害時を想定した被災および復旧状況などの経過撮影をするため、ダム堤体とその周囲の飛行ルートを作成した(図-3)。

飛行ルートとしては、管理事務所近傍に設置したドローン基地から上昇し、左岸山側の点検⇒ダム左岸法枠⇒ダム堤体上流側⇒ダム右岸法枠⇒ダム下流側⇒ダム左岸側道路橋脚⇒堤体全体を撮影しながらドローン基地へ帰還するもので、飛行時間は10分程度である。

映像は、4GLTE回線を経由して、ドローンが取得したデータをリアルタイムにクラウドサーバーにアップロードし、専用WEBページで飛行回ごとの映像情報として、定点撮影での経過比較を確認した(図-4参照)。

ドローン搭載14倍ズームカメラ(1,200万画素)によって、詳細部の確認(写真-3参照)や、クラウドを介してのリアルタイムでモニタリングができることを確認した(写真-4)。

今回の飛行場所において、山岳部で携帯電波網のネット回線速度が低速度気味(DW10~20Mbps, UP5~10Mbps)のため、映像配信としてコマ切れになる現象が所々生じたので、安定した映像配信にはネットワークの確保が必要である。

(b) 写真測量の成果

飛行の都度データをPCに取り込む作業が不要で、

クラウドへの自動アップロードした映像データを活用して、現地のオルソ画像、3Dモデルを即時に出力できる(図-5, 6)。

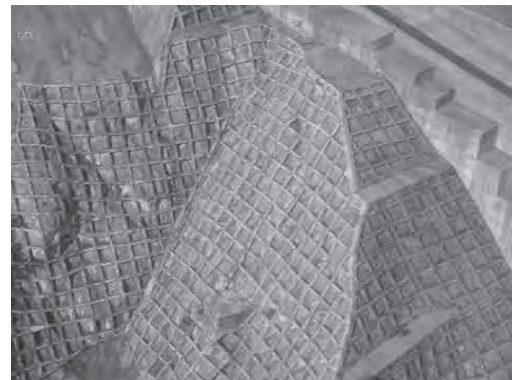
(3) 試行結果

本システムの試行結果について、以下に示す。

- ①ダム堤体上流左岸コンクリート法枠法面での災害を想定した定点撮影、および経過撮影の無人化を検証した。写真-3に、法枠法面の撮影結果を示す。



全景

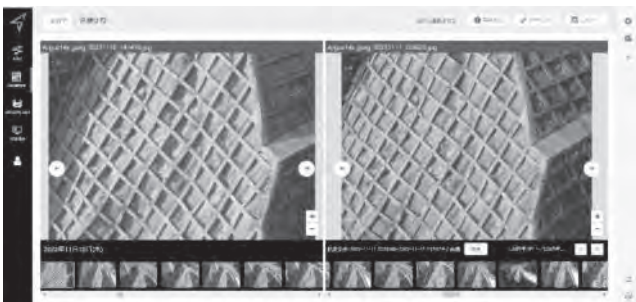


近景

写真-3 左岸法枠



図-3 飛行ルート設定



撮影日: 11/10と11/11

図-4 変状比較画面



写真-4 リアルタイム監視状況



図一五 オルソ画像（堤体全体）



図一六 3D モデル（堤体全体）

②ダム堤体を含む構造物の管理点検を想定したドローン測量による写真撮影の無人化を検証した。図一五、六に、写真測量結果を示す。

③ドローンの操作、補助に携わる人員2名が不要となり省人化を実現した。

写真一五に、ドローン基地からの操作・補助員なし離陸状況を示す。

本検証では、有人による飛行を行ったが、事前に航空法の手続きを行っていれば、目視外飛行（レベル3）の運用も可能である。

4. おわりに

本稿では、これまで建設現場で活用してきた全自動



写真一五 ドローン基地からの操作・補助員なし離陸状況

ドローンシステムを、災害を想定したダム施設点検の経過撮影無人化へ展開し、その試行結果について報告した。

現場試行を通して、大規模災害発生時に本システムを導入した場合、次の4点の効果が得られる。

①ドローンの自動飛行・自動離着陸における省人化

災害発生直後など人員の確保が難しいと想定される段階において、ドローンが自動で飛び立ち被災状況確認を行う。ドローン飛行について、構造物と適切な離隔距離を確保しながら安全に自動飛行し、インフラ施設などの被災状況点検を実施。従来は、ドローン操作者による目視飛行にて被災地の経過撮影や点検を実施していたが、本技術を用いることで操作ミスによる事故が無くなり安全かつ省人化を実現。また、自動充電可能なドローン基地の装備で、1日4～5回の操作者無し自動飛行が可能。

②ドローンの撮影に関する無人化

あらかじめ設定した飛行ルートにより定点撮影・時間帯を変えて経過撮影が可能。また、ドローン測量による写真撮影の無人化が実現。

③リアルタイムに被災地の映像共有

ドローンが取得した映像と写真は、LTE ネットワークを経由しクラウドサーバーにアップロードされ、専用 WEB ページでリアルタイムに閲覧可能なため、関係者間での被災状況の把握が可能。

④AIによる対象物検出で変状比較

収集した写真データと位置情報を組合せて、AIと連動した対象物検出で変状比較が可能。

今後の課題として、ネットワークの確保、飛行ルートの事前設定、目視外飛行（レベル3）の運用手続きの迅速化、ドローン基地の小型化、システムの屋内適用、被災レベル自動判定などの開発が必要である。そのため、今後も建設現場での施工管理（測量・安全巡視）で得られたノウハウを蓄積し、ハード・ソフト両面の進化発展を図る所存である。

JICMA

【参考文献】

- 1) 上原広行：「全自動ドローン」で測量と安全巡視を無人化，日本工業出版，建設機械，p43，2022年11月号

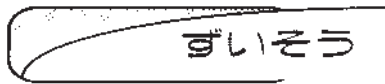
【筆者紹介】

上原 広行（うえはら ひろゆき）

（株）フジタ

土木本部 土木エンジニアリングセンター 機械部





趣味は良き哉

谷 倉 泉



1. 釣り部 OB 会

「アッ、来たっ！」

石に腰掛け、朝食のオニギリを頬張りながら振り返ると、恩師の竿がしなっている。かすかに朝霧が残る中、サラサラと透き通った水が流れる溪流の川面でイワナが躍っている。

人里離れた秘境の宿から林道沿いをさらに車で1時間、宿の主人に運転をお願いして入渓したのはイヌワシが舞う大河の源流部である。携帯電話はもちろん繋がらず、冬には数メートルの雪が積もる豪雪地帯である。



写真-1 源流でイワナを手にする先生

「喜寿となる歳でもイワナが釣れたよ！」

先生の弾む声と笑顔が私の心配を吹き飛ばした（写真-1）。

「大丈夫、安心して釣れますよ！」この溪に誘った者としてホッと胸を撫でおろす。先生は毎年、源流部への挑戦は諦め、常宿の脇を流れる沢で竿を出しては小ヤマメと戯れていた。しかし、昨年のOB会で「皆と上流に出掛けてイワナを釣りたい。」とつぶやいていた。

私も還暦を過ぎ、無理は出来ない歳だと自覚しているが、ここは隅々まで知るホームグラウンドである。今年は互いに手を取り合って溪流を渡河し、C&R（キャッチアンドリリース）を繰り返しながら型の良いイワナ数匹をキープできた。イワナはタッパに準備した味噌にまぶせば数日は傷まない。先生は帰ってからのお酒が楽しみだと至極ご満悦であった。

せせらぎの水音が心地よく耳に響く中、周りを見渡せばブナ林の深緑が連なる稜線の先に青空が広がっている。あちこちから小鳥のさえずりが聞こえてくる。溪流沿いの1メートルほどの高さのフジバカマの先には薄いピンク色の花が咲き、その蜜に誘われてアサギマダラが舞っている。水素イオンに包まれ何とも気持ち良く、空気も美味しい。溪流釣りの解放感と醍醐味が凝集されたひとときである（写真-2）。

毎年、大学の溪流釣り部OB会がこの秘境の宿で開催されてきた。先生は私が創設した釣り部の顧問である。それからもう40年。部のモットーは、一人で出掛けない、危険だと感じれば勇気を出して引き返す、20センチ以下のイワナは放流する、ゴミは持ち帰る、の四つである。その後大きなトラブルもなく、今でも共に溪を歩いた10数名が集まる。それぞれ2～3名のグループに分かれてルアー、フライ、餌釣りを楽しむのである。

夜の会食では皆が持ち寄ったお土産や地方の銘酒、玄人はだしの自作のタモなどの大物賞の品々が並ぶ。

「みんな元気だったね、乾杯！」

先生の発声を合図にその日の話に花が咲く。そして解散前には必ず昔の思い出話が掘り起こされる。皆が学生時代にタイムスリップしてしまい、笑い声が宿にあふれる。先生はもちろん、今はそれぞれが様々な分野の専門家の集まりであり、たまに困ったときには頼りになる存在でもある。

私が宿の主人と初めて出会ったのは、私が20代前半の頃である。当時、主人は新婚ホヤホヤであったが、



写真-2 気持ちの良い早朝の溪流

今は大勢の孫に囲まれている。しかし、残念なことに体力的な面から来年には宿を閉めるらしい。夕食後、宿のおかみさんも加わり当時の思い出を語り合う。

「昔が懐かしいねえ。今まで良く続いたねえ！」

ご主人はその頃を思い出し、しみじみと懐かしんでいる。好きな趣味は全く苦にならないもので、私は継続しただけなのであるが。

釣り好きの私は、学生時代に山岳溪流の専門書が目に入り、イワナの存在を知った。非常に敏感で釣るのが難しく、大きいものは50 cmを超えと言う。そこで単身この秘境に乗り込み、帰りに偶然立ち寄ったのがこの湖畔の宿だった。夫婦で経営する宿は釣り具や食料品販売に加えて食事もでき、休憩や情報収集には持って来いであった。当時はイワナも豊富で、私はたちまち溪流釣りの虜となったのである。

現在、この地には数件の宿があり、それぞれが数棟のロッジで構成されている（写真—3）。中心部には総檜造りの共同温泉が構えており、その2階には大きく視界の開けた露天風呂が広がる。食後は、皆で風呂に漬かって満天の星空を眺めながら来年のOB会に思いを馳せた。



写真—3 秘境のロッジ

2. 社会人釣り会「青山雑魚の会」

いま、私の手元には「イワナ 秘境の追跡」（三樹書房）という本がある。カバーの上に巻かれた帯には、「釣歴50年の著者がイワナ釣りの技術や楽しさを語り、読者を深山幽谷に誘う興味あふれる書」とある。

この書は「青山雑魚の会」の会員であるN氏が1995年に上梓したものであり、読んでいて飽きない傑作だ。N氏によると、「この本は図書館では趣味の棚には無く、随筆のコーナーに鎮座している。」とのこと。皆に報告した際、少しはにかみつつもどこか誇らし気であった（写真—4）。



写真—4 N氏出版の「イワナ 秘境の追跡」

私が社会人となってこの会に誘われたのは、たまたま釣り会の会長を職場から駅まで送迎する機会があり、その際得意げに釣りの話をしたからではないかと勝手に思っている。入会時の会員は10名に満たず、私が最年少であった。当初は準備、段取り担当であったが、そのうち釣り計画も立てて道案内もするようになった。年に1~2回、南アルプス、奥志賀、黒部、奥只見、松枝岐などの溪流に泊りで出掛けた。振り返ってみると欠席者がいた記憶がなく、まさに釣りキチの集まりだったのかも知れない。会ではお互いを通称で呼び合うと言う約束事があり、私は名前のおりセン（泉）ちゃんと呼ばれた。私も全員をさん付けで呼ばせてもらった。前述の書には私もセンちゃんとして登場している。

渓での昼飯時、持ち寄った材料をそれぞれが手際よく調理する。皆私よりもかなり年配だが、手慣れた様子で楽しげである。広げたテーブルの上には、作り立てのソーメン、天婦羅、バタートースト、野菜サラダ、ケンチン汁、オニギリなどが並ぶ。焚火の脇では、釣れたてのイワナの串焼きの香りが空腹感を増幅させている。皆、箸を片手に至福の時である。

食後はそれぞれ水彩画を描く者、鳥や蝶を観察する者、写真を撮る者、中には尺八を吹く者までいる。山深い大自然の中で得られる非日常感や解放感は、人を



写真—5 溪の恵みを手に

引き付け、疲れを癒す溪流の大きな魅力である。同じ趣味仲間と溪流の恩恵にあずかることに感謝する（写真—5）。

昼も夜も楽しい語らひは続き、あちこちを歩いた昔の釣り談義は何度同じ話を聞いたことかと思いつつ顔には笑みがこぼれる。「釣りの話をするときは両手を縛っておけ」、ロシアの諺が頭をよぎる。釣り好きの作家、開高健もたびたび自戒していた。

親睦も深まり、会員諸氏の所属先などを知ったのは入会后10年以上が経ってからのことである。思えば、

本当に能天気だったのかも知れない。それ以降は沖（船）釣りにも出掛けるようになり、互いに気軽に会う機会も増えて趣味の恩恵を感じている。今では雲上の釣り人となった方もいるが、竿仕舞いをした方にもたまに会って教えを乞うこともある。釣りと言う趣味を通して長年築いてきた関係は掛け替えのないものであり、それぞれの人生を彩ってくれる。

—たにくら いずみ（一社）日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所 技師長—





山を想う - 山に抱かれて -



山口 是治

1. はじめに

数えでは、来年「古希」を迎える齢となった。自分では、「まだまだ若い」と強く思う様にしているが、姿見をみるとガッカリしてしまう。

そんな中、今回のこの寄稿を機会に、どうしようもない外見に一喜一憂するのではなく、内面、しいては自分の歩んできた人生を振り返ってみることにした。

生来の「好奇心旺盛、かつ、しつこい」性格のため、勉強や仕事をはじめ、自分の身に起こったことや強制的にやらざるを得なくなったこと、やりたいことなどに対し、いつもポジティブに接してきた。そのため次から次へと抱え込んでしまい、以下に示す様に煩雑で、これにその都度の仕事の内容などを組み込むと收拾がつかなくなってしまう。

- 学 業：小学校 (2)・中学校 (2)・高校・高専
高校1年卒業。家庭の事情で大学には行っていない。
- 仕事①：常勤
旧建設省 (東北・関東)、国交省 (東北・関東)、環境省 (東北・本省)
- 仕事②：非常勤・短期
旧環境庁 (公園)、旧文部省 (体育)、農水省 (東北)
- 仕事③：嘱託・委嘱
山岳救助隊員 (宮城・山形)、山岳指導員 (宮城・山形)、国体競技役員 (宮城・山形・福島 山岳・カヌー・サッカー)、インターハイ競技役員 (宮城 山岳)、旧 TOHO (株)、建装工業(株) 全て本職。
- 仕事④：アルバイト
新聞配達、農業、山菜採り、挿絵 (細密画)
- 趣 味：生きている証し
登山・トレッキング、山菜採り、サイクリング、絵画、釣り、スポーツ観戦、音楽鑑賞、読書、農業、囲碁、将棋、自然との戯れ (花・鳥・散歩含む)
- その他：継続している公の団体 ファンクラブ

日本自然保護協会会員、日本野鳥の会特別会員、フォレスト友の会会員

読者のみなさんも「アレ?」とか「エッ!」となったのがあると思う。

まず学業の項で「高校1年卒業」は、今から50年以上前の国立の実業高校にあった制度で、私の場合は「国立仙台電波高校」だったが、法令で定められた「1年過程」があり、人事院規則でも定められた国家資格 (国際資格) を取得すると、下位の資格では高卒、中位の資格で短大卒、上位の資格で大卒と認められた。

当時は国立の実業高校があって、商船高校が富山など5か所、電波高校が仙台など3か所にあった。普通課程の高校は現在でも残っている。

次に仕事の項で、嘱託は今お世話になっている弊社と弊社の前にお世話になった会社。委嘱は、救助隊員や競技役員だが、ボランティアではなく、全て人事院が認めてくれ本業として扱われた。旧建設省の人事当局に「職務専念義務違反の恐れあり」として懲戒処分寸前までいったが、人事院の裁定で全て本業と認められたもの。プロなので報酬あり。

挿絵は、植物などを細密画として描き、1号200円~300円で引き取ってもらい生活費の一部にしていた。

趣味の項の釣りは、スポーツ新聞社が主催する釣り大会などで、優勝はないが何度か入賞している。船の免許もあるし、船そのものを保有したこともある。

農業は、家庭菜園ではなく、幼い時から家族の食い扶持だった。現在は宮城蔵王の中腹に畑として約2.6haの土地で大根など野菜や花を育てている。収穫物は売買していない。

その他の項の自然保護協会や野鳥の会は言うに及ばずだと思う。フォレストは日本テレビ系のコーラスグループで、全員が著名な音大を優秀な成績で卒業した皆さん。

以上の項目とともに、現在の実生活では障害者3名 (妻・2人の息子) の介護もある。

現在は、仕事として弊社東北支店の顧問、JCMA東北支部広報部会員と、自治会において大規模盛土や大規模擁壁問題などの自治体対応を行っている。

今回の寄稿にあたって、みなさんに何をお伝えするか悩んだけど、小学校入学前から自分に大きく係わり、その後も現在まで、人生観や生活そのものに大きな影響を与え続けてくれている山関係と、さらに人事院から本業（プロ）と認められた「山岳救助隊隊員」関係を中心にお伝えしてはどうかと考えた。

特に、スポーツクライミングが東京オリンピックの正式種目となったことや、また、「山ガール」などの語がトレンド・キーワードになるなど、さらにはTVなどにおいても、百名山や三百名山に係わる登山番組が連続しており、結構な登山ブームが到来していることを考慮すると丁度良い機会ではと思う。

読者の皆様の中にも、また、会員各社の皆様の中にも山に親しまれておられる方が沢山おられるのではないだろうか。

特筆すべきものはあまりないが、私の人格形成や人生に大きな影響を頂戴してきた山や植物などとの係わりについて振り返り、山への想いを述べてみようと思う。

2. 自然・山へのめり込む

【第1のポイント：幼い頃からの米作り、野菜作り、果樹作りや山菜採り】

小学校入学前の6歳の時、父が失踪した。自前で多少の田畑があったので、残された祖母・母・子供6人の家族は何とか食べることは出来たが、現金収入が途絶えてしまったので、一気に生活が苦しくなり生活保護世帯になってしまった。生活費を稼ぐため、母が日雇い、子供達は、新聞配達や近所の農家の手伝いなど。祖母と私（小学校入学前～中学卒業まで）の二人で、僅かながら米、野菜、桃などを栽培し、食べる分以外を農協に卸し、また、春先から初夏にかけては山菜採り（ワラビ、ゼンマイ、フキ、ミズ、シドケ、ワサビ etc.）などを行い、農協の選果場などに持って行って引き取ってもらった。

この頃は、コシアブラやタラノメなどは、食していたが売り物ではなかった。

この山菜採りは、最初の頃は、祖母と一緒にだったり、近所のお年寄りのみなさんと一緒にいたりしていたが、小学校3年の頃からはほとんど一人で山に入り、1回当たり10kgとか15kgを採って、高く引き取ってくれた八百屋さんなどに直接卸す様になった。

不思議なことに、辛いと思ったことは一度もなく、山の中に幼い子供が1人で入って怖いと思ったこともない。草花や鳥や虫などは、大好きと言うよりも友達のような感覚だった。

家庭環境が最悪でも、また、学校へもろくに行けなくとも、今風のイジメは一切なく、先生や友達が訪ねて来てくれて、勉強を教えてもらったりしていた。

【第2のポイント：山形県主催のジュニアリーダーキャンプに選抜】

当時の山形県知事が掲げた県の政策に、将来の地域リーダーの育成を目標とした「ジュニアリーダーキャンプ」制度というのがあり、小学校5年の時に選抜され、このキャンプで初めて、本格的な登山やキャンプなどを経験した。実際のカリキュラムは、技術的には初歩的なものだったが、自然との係わり方、登山技術、野営技術などを学んだ。ボーイスカウトなどの活動を経験していれば当然かもしれないが、私にとって団体での野外活動は初めての経験で、見るもの、やることなすことが全て新鮮で感動の連続だったことを覚えている。

【第3のポイント：15歳での自立・独立？】

家にお金がなかったので、6人兄弟のうち私以外の5人は、定時制高校、大学は法政大学などの二部（夜学）へ。自分だけが高校以上（高校と高専）で全日制に入らせて貰った。

この様な家庭の状況から、家から学費を出して貰えないため、高校受験の時に中学の担任の先生が見つけて下さったのが、国立の高校（普通課程では旧東京教育大学（現筑波大学）の附属高校があり、実業高校は先に述べた通り商船と電波があった）に入ることだった。

今でもそうなのか分からないが、当時の国立の学校の良いところは、第1に学寮が充実していること。学校の敷地内に寮があり、三食付き、二部屋貸与（寝室（ベッド、ロッカーあり）、勉強部屋（机、本棚等あり））。第2に学業成績が影響するが授業料免除制度、潤沢な奨学金制度（育英会、業界、学校独自、地域、その他）などが整備されているので、経済的に困窮していても、優秀な学生は、アルバイトなどしなくとも学業を全うできる様になっていた。

食事も、住むところも、学費も心配ないことから、私の様な子供にはピッタシだった。

必死だったこともあってか、入学でき、また、国の制度通り「1年で卒業」が出来た。人事院や旧文部省からも言われたが、「16歳で社会人になっていれば」、今と違う人生もあったかもしれない。

山形の片田舎から15歳の子供が一人で都会に出てきて、お金の困らない生活を初めて経験し、また、意

志が弱いこともあってか、知らず知らずに色んな遊びも覚えていった。遊びまわっていた割には、かなり成績が良く、授業料免除になったし、半端でない奨学金（一般的な若手サラリーマンの月給より多かった）も頂いて経済的な心配がまるで無くなっていたこともあり、すぐに社会に出る考えなど全く無くなってしまっていた。

このあと高専に入り直し、ここでもかなり成績が良く、授業料免除やほとんどの奨学金も継続できたため、やりたい放題だった。

この頃から「青葉城恋歌」のSさん達と音楽にのめり込んだり、ポイント2で述べた登山も、ほぼ毎週、奨学金をつぎ込んで北海道から九州までの高山低山関係なく登っていた。

奨学金が無くなると山でアルバイトし、金が出来るとまた山へ行くの繰り返しだった。

時代が良かったのか、先生や友達が良かったのか、全てが良かったんだと思う。

高校、高専時代では、山、音楽以外でも、カヌー（スラローム、ワイルドウォーター）を覚え、自転車（三陸縦断やヒルクライム etc.）を覚え、また、高専は学生数が少ないこともあって、山岳競技以外の、陸上競技、サッカー競技、カヌー競技、バドミントン競技などの大会に、掛け持ちの形で引っ張り込まれた。

結果、その後も長く付き合えた競技が、山岳は当然として、サッカーやカヌーだった。

現役としては、40代半ばで引退し、現在は座学や講習会やシンポジウムなどの講師で呼ばれたりしている。

今続けているのは、三競技のうち山関係だけで、現在は趣味の範疇になっている。

山や自然に係わる公の団体の日本自然保護協会の会員・日本野鳥の会の特別会員は継続しており、身体が動かなくなっても頭がはっきりしているうちは続けたと思っている。

3. 職場とのあつれき

先にも述べた様に、山岳救助隊員になった時は、旧建設省（現国交省）の人事当局から「職務専念義務違反の恐れあり」で懲戒処分寸前となり、人事院から「建設省の業務も、山岳救助隊員の業務も、国体等の役員業務もすべて本業と認める」と裁定され一安心したことを覚えている。

この結果、報酬も頂ける様になり、モチベーションは上がるし、用具代や遠征代にもなるので大分助かった。この時、認められていなかったら、人生が大分変

わったかもしれない。

人事院からは「プロ」として認められたものの、人事当局からは目を付けられ、人事異動では、単身赴任で遠いところへの異動が多くなっていった。

例えば、宮城国体の競技役員の際は、宮城県とは遠く離れた千葉県の房総半島にある旧佐原市（現香取市）に配置されていた関東地建の事務所だった。

皮肉なことに、この時、サッカーで、千葉県の地域リーグで優勝している。

後日、自分の人事記録カードを確認させてもらったが、救助活動などで何度かあった警察からの表彰や感謝状なども含め、他機関での活動等は、人事記録カードへの記録など一切行われていなかった。ある意味で正解とは思いますが、なんか寂しい気がした。

4. 独身時代の山

山への接し方は、最初が生活費の足しにするための山菜採りから始まり、その後の初めての登山、勝手気ままな山行と移行していく。独身時代は、全て単独山行のみであった。

イジメなど一切なかったが、生活環境から子供なりのうっくつしたものがあつたのかな。

山上でテン張りし、満天の星に包まれた時の安らぎ、火傷しそうな熱いコーヒーをフウフウいいながら飲むときの至福の一時、大好きな草花に出会えた時の幸福感。…など。

自己満足と言われるかもしれないが、クライミングの時は、狙った岩壁を、イメージしたルート通りに切り切った時の達成感は最高、何物にも代えがたい気持ちになった。

ただ単独登攀なので、ボルダリングなどと違い、降りてくる時がかなり危険で大変。

自分なりに安全登山を心がけていたつもりだけど、岩壁のクライミングもほとんどがフリークライミングなどであったため、ちょっとでも手足を滑らせたら一発で死亡に繋がるなど、実際は危険そのものであった。

今考えると、小学生の段階から1人で山に山菜採りに行ったり、その後の冬山も、岩登りも、沢登りも全て単独行は、絶対止めるべきで、無茶・無謀としか言いようがない。

5. 扶養家族が出来て

21歳で社会人になって、23歳で結婚し子供ができたが、それまで1番の理解者と思っていた妻から「山

岳会など正式な団体に加入しなければ離婚。単独で山に行ったら離婚」と迫られ、しぶしぶ日本山岳協会（東京オリンピックでスポーツクライミングが正式種目になって、現在は日本山岳・スポーツクライミング協会に改称）傘下の宮城県山岳連盟所属の白峰会と、同じく山形県山岳連盟所属の西川山岳会に正式加入した。

白峰会は、宮城県白石市にあり、メンバーの中に山岳連盟の技術委員会の役員や宮城県山岳遭難対策協議会救助隊の副隊長など素晴らしいメンバーがおられた。

この白峰会で、自己流だった登山技術やクライミング技術を学び直せし、気の合う山仲間が沢山でき、必然的に山岳救助隊員にもなっていった。

また、国体やインターハイの競技役員に任命されたのもこの頃である。

西川山岳会は、山形県西村山郡西川町大井沢、朝日連峰の麓にある。北には夏スキーで有名な月山があり、四季を通じて山に親しむことが出来る環境にあった。

大井沢のみなさんは「旧マタギ」の末裔が多く、現在でも猟師を兼ねている方が多くおり、山岳会の会員にも沢山おられた。登山やクライミングでは前衛的な方が多かった。

クマの肉を初めて食べたりしたのも、この西川山岳会であった。

公の組織に入って活動し、他の方を指導したり、競技でジャッジしたりする様になると、また、遭難した方の捜索や救助を行うと、嫌が上でも自分を高めざるを得なく、また、いや応なく人の生き様に大きく関わるのが必然となってくる。このジレンマ…。

いずれにしても、私の山との係わり方は、独身時代と子供ができてからはガラッと変わってしまい、当初は自分でも戸惑ってしまうことが多かった。

6. 山に包まれて

運命論者ではないが、家庭・生活環境が劣悪でも、すぐ傍に田畑があり、山があったお陰で家族は飢えずに済んだし、生活費を稼ぐことも出来た。

また、辛いことや泣きたいことがあっても、山に行けば、山に抱かれ・包まれ、草花と接し、鳥と戯れることが出来れば、心が癒され、辛いことや泣きたいことが雲散霧消し、人生の道を外さずに歩んで来れたのだと思う。

若い時に、望外な奨学金を受給し、未成年ながら、かなりの現金を持っていたので、賭け事、異性や酒などの誘惑があった。

そちらへよろめいてもおかしくなかったのに、結局、

山や自然やスポーツの道に進んでいったのは、山や自然との絆などが、導いてくれたのではないだろうかと思っている。

もう一つ、小学校から山菜採りや単独山行をやっていて、その後も危険なフリークライミングや山岳救助隊員をやっていたのに大きな事故やケガが一度もない。

実際は、小学校4年だか5年の時に山菜採りに行って、沢で足を切る怪我をしている。

この時は、おばあちゃん達に教えてもらっていた止血法などで対応した。

また、救助隊員の時に冬山で捜索中に雪庇を踏み抜き、相棒の警官とともに滑落し、二重遭難事故を起こしている。

この時は40m～50m落ちて、相棒が自分のピッケルで額を切る大怪我をしてしまったが、こちらは無傷だった。また、雪庇を踏み抜いたのに雪崩が発生しなかったのも不思議であった。

これら以外でも、登山中に目の前のハイ松に雷が落ちたり、雨量観測所の調査中にクマに追いかけられたり、山上でテン張りビバーク中にテントが飛ばされたりなど、遭難や大事故になりそうな経験をかなり積んでいるが、身体に傷を負ったのが小学生の時の足を切った1回だけだった。山に感謝。

よく山の仲間や先生、友達から「山が守ってくれているのでは」と言われてきた。

7. 山岳遭難に思う

日本では、毎年3,000件前後の遭難事故が発生する。それらの事故で350名前後の死亡者も出てしまう。(令和1年警察庁データを基に、数値だけはまるめ処理)

目的別：登山・ハイキングで約70%，スキー登山・スキーで約5%，山菜・タケノコ採りで約15%，観光で約5%。

年齢別：60歳代～80歳代で約50%，40歳代～50歳代で約30%。

30歳代約10%，20歳代以下約10%。

原因別：道迷い約40%，滑落約20%，転倒約15%，病気約10%，疲労約10%。

死亡者：約80%が40歳以上。

遭難の多い都道府県は、①長野県、②北海道、③東京都、④山梨県、⑤神奈川県。

データ・数字の捉え方は、それぞれの立場、登山など山関係の知見、行為の技術力などによって異なるのは当然として、私自身のイメージと大きく違ったのが

山菜採りでの遭難が意外と少ないことで、もっと大きな割合になると思っていた。

私も含めて山に入る時に注意すべきは、次のとおりで、特効薬はないと思う。

- 肝に銘じることは、年寄りでも若くとも、自分の体力などを過信しない。
- 高山でも低山でも里山でも、登山でもハイキングでも、絶対無理をしないこと。
- 持病などがあつたら主治医の先生によく相談して。
- 登山届を必ず出す。家族・友人に行き先を話す。ルート変更は必ず連絡する。
- 悔しいかもしれないが、山菜採りなどで自分の秘密の山は持たないこと。

東京都がトップファイブに入っていて、驚いた方が多いと思うが、東京都には奥多摩などもあり、また、雲取山など2,000 m級の高山もある。

それなのに簡単なハイキング感覚で登られる方が多いからだと思う。パンプスで登ろうとした女性に遭遇したこともあった。

参考だが、日本の最高峰は富士山で4,000 mもない。世界には8,000 m級のヒマラヤ山脈や4,000 m級のヨーロッパアルプスなどがある。

しかし、世界で遭難死者数の一番多い山は、日本の谷川岳なのである。

不思議に思われるかもしれないが、谷川岳の遭難死者数は、ヒマラヤにあるエベレストをはじめ8,000 m級の14の山より圧倒的に多い約800名。

14座の総計でも約650名。

また、死者数は別として、一度に100名を超える大量遭難した山は、世界でも珍しいが、全て東北にある。

ご存じの八甲田山は、旧日本陸軍青森歩兵第5連隊の210名遭難（死亡199名）。

一般にはあまり知られていないが蔵王山では、旧制仙台2中（現仙台2高）の155名（死亡9名）、吾妻山では、福島女子師範学校の145名（死亡4名）の大量遭難事件があった。

ただし、大正時代に発生した蔵王山と吾妻山の遭難は、参加者全員を遭難したとカウントするかどうかの問題はあるが。東北の山は深い。

詳しい顛末は割愛するが、蔵王山の場合、八甲田と似ているのが、総責任者が退役軍人であったこと、登山経験者が一人もいなかったとか、せっかくの案内人を途中で返しているなどなど、あまりにも山を軽く見た、無謀、人災と言っても過言ではないかもしれない。

吾妻山の場合、蔵王山と真逆で、引率者はベテランの登山家。さらに集団登山である事を考慮して案内人まで雇い、事前に測候所へ山の天候等も確認している。

唯一の疑義点は、距離は多少長くなるが、起伏が少なくゆったりしたコースを選択せず、距離は短い起伏の激しい、きつい直登コースを選択していること。

結果は、天候急変が直接の原因ではあるが、どちらも大量遭難で死亡者を出してしまった。

元々の無謀無茶はもつての外としか言えないが、山では準備万端と思われても、ちょっとした判断の違いで大きな事故に繋がることもある。

私の場合、日本の山が中心で、いわゆる百名山・二百名山はその頂きに登らせてもらい三百名山も残り少なくなっている。外国の山は東南アジアの山のみである。

でも、それでその山々を征服したことにはならず、その山の厳しさも優しさも分かったことにはならないと思っている。その山の一瞬を覗いただけに過ぎないと思う。

結局、「征服した」などと言うのは人間の傲慢であつて、その山の懐に10年住んでみて初めて友達になって、30年位住んでみてやっと家族になって行く様なものではないだろうか。

8. おわりに

読者の皆様や会員の皆様にも謝らないといけないのが、最初の構想では写真をふんだんに使う予定でしたが、昨年、家のリフォームをやった際にアルバム、写真、ネガ、SDカードなど1式を紛失してしまい使用できなかったことです。

元々、手掛けてきました遭難事件の場合、遭難された方のご遺族などにご迷惑をお掛けできないので、特定できる様な写真など資料は一切使えないのですが、救助隊の捜索中のもの、訓練中のものなどでもインパクトがあるのでお見せしたかったのです。

国体やインターハイの競技中の写真なども良いものがありましたし、花や鳥の写真にも良いものが沢山ありました。

申し訳ないです。心よりお詫び申し上げます。

機会がありましたら、みなさんと山、植物、鳥等についてデスカッションしたいです。有難うございました。

はく落発生抑制等に資するトンネル覆工技術を対象とした 新技術導入促進の取り組み

鈴木 健之

道路トンネルでは覆工の老朽化に伴って生じるはく落により通行車両が損傷する等の利用者被害の発生が懸念される。さらに、はく落が発生した場合には、利用者被害の恐れだけではなく、通行止めを伴う緊急点検および応急措置を実施することとなり、一般交通への影響が懸念される。この対策として、トンネル新設時にはく落抑制対策を実施することにより、はく落による被害防止と定期点検時の打音検査、たたき落とし作業の軽減が期待される。

本報文では、「はく落発生抑制等に資するトンネル覆工技術」の導入を促進するためのガイドライン案の作成経緯とその内容について取りまとめた。

キーワード：道路トンネル，維持管理，利用者被害防止，点検作業の省力化，はく落抑制技術

1. はじめに

現在、国内では、約 1.1 万施設の道路トンネルを供用している¹⁾。トンネルを始めとする各種インフラを安全に供用し続けるためには、点検や補修などの一連の維持管理作業を適切に行うことが重要となる。道路トンネルの維持管理に関する要領類としては、「道路トンネル定期点検要領」²⁾があり、同要領には、トンネルに発生する変状として、ひび割れ、うき、はく離、漏水などがあり、5年に1回の頻度で定期点検を行うことが基本であると明記されている。

一方、トンネルの構造的な特徴に目を向けると、トンネルは橋梁などの他のインフラ構造物とは異なり、利用者の周囲に構造体が存在している。このため、トンネルの構造安定性に影響しないような微小なはく落や少量の漏水などであっても、通行車両の損傷などのいわゆる利用者被害を招く可能性がある。このように、トンネルでは、構造安定性のみではなく、利用者被害の観点における維持管理も重要となる。

以上のような背景のもと、国土交通省では道路トンネルの覆工コンクリートからはく落に対し、はく落の発生抑制等に資する新技術を公募し、技術の検証を実施した上で、その結果を公表し、新技術のさらなる活用の促進を図ることとしている。

2. 道路トンネルにおけるはく落の実態

(1) うき・はく離、はく落の概要

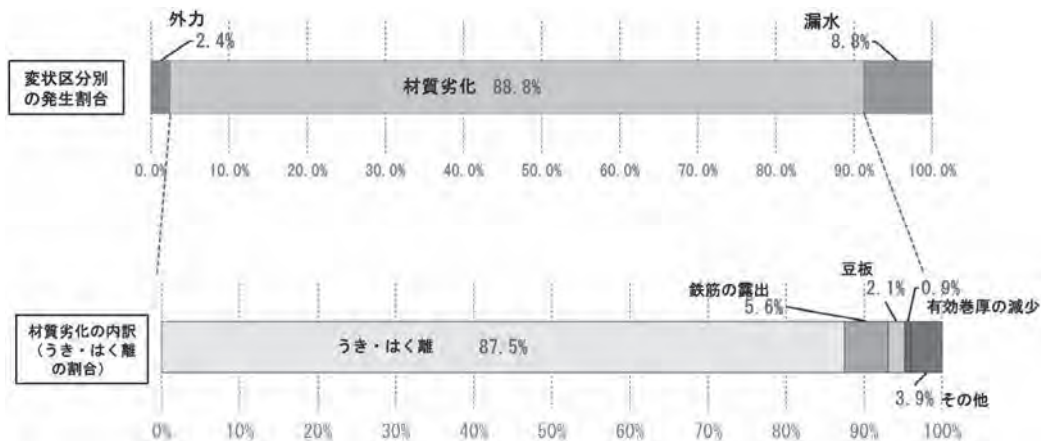
トンネルには、ひび割れ、うき・はく離、漏水等、種々の変状が発生する。これらのトンネルの変状は発生原因により、外力、材質劣化、漏水に区分される²⁾。

トンネルに発生する変状のうち約 90%が材質劣化によるものであるとの報告がある³⁾。また同報告によると、図—1³⁾に示すように、材質劣化を原因とする変状のうち、はく落の要因となる「うき・はく離」が約 90%を占めることが示されている。

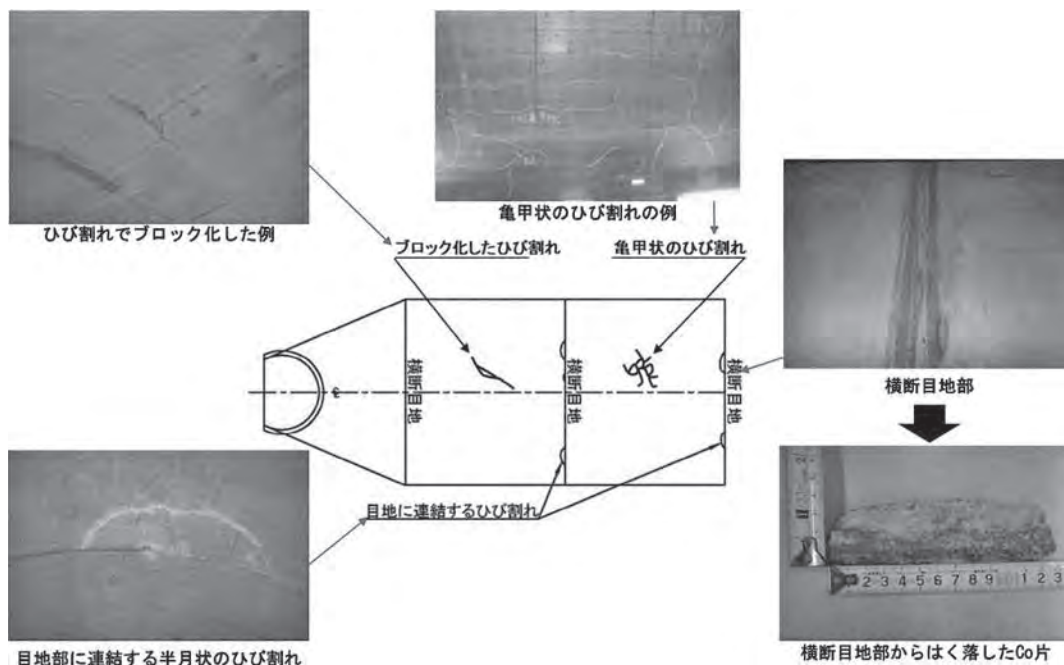
トンネルの覆工コンクリートに発生するうき・はく離は、図—2³⁾に示すようにコンクリートの乾燥収縮および温度伸縮、あるいは外力によるひび割れがブロック化すること等によって生じる。

(2) はく落の発生状況

表—1³⁾は、国が管理する道路トンネルにおけるはく落の発生状況を一覧表に整理したものである。同表によると、平成 25 年から令和元年の間、10 件程度のはく落の発生が認められる。覆工コンクリートのはく落片の規模は、写真—1³⁾に示されるように数 cm 程度の大きさであり、供用中の道路トンネルでこのようなはく落片がトンネル上方から落下すると、トンネルを通行する人や車両などの利用者に被害を及ぼすこととなる。



※平成26年～平成30年の定期点検結果（国管理）をもとに作成
 ※変状等の健全性の診断においてⅢおよびⅣと判定された変状を対象
 図一 1 トンネルの変状区分と変状種類の関係（文献³⁾に一部加筆）



図二 2 うき・はく離ならびにはく落の一例³⁾

(3) はく落対策の現状

はく落の発生を抑制するための一般的な方法として、はく落の発生につながるうき・はく離を事前に把握し、はく落が懸念される場合は該当するうき・はく離を事前にたたき落とすという手法がとられている。うき・はく離の把握は、5年周期で行われる定期点検において、人力での打音検査によるのが一般的である。トンネル坑内での打音検査は上向き作業となる部分が多く、苦渋作業を伴うこととなる。また、はく落が生じた箇所については、内面補強工などによる補修工事を行うことがあるが、補修工事を行う場合には車線規制が必要となることが多い。

我が国では、今後、本格的な少子高齢化社会を迎えるため、人力によるたたき落とし作業の低減など、一

連の維持管理作業の省力化や効率化がより一層求められるものと考えられる。

3. 新技術導入促進の取り組み

(1) 新技術導入促進の概要

国土交通省道路局では、令和元年12月に開催された「道路技術懇談会（座長：久田真東北大学大学院教授）」において、道路分野における新技術導入促進方針（案）が示され、良い技術は活用するとの方針のもと、異業種・他分野技術や新材料など、これまで必ずしも活用が十分でなかった分野も含めて導入を促進していくこととされた。また、令和2年4月に開催された道路技術懇談会において、道路局より令和2年度

表一 1 はく落の発生状況を一覧³⁾

発生年度	発生状況	規模	人的・物損被害の有無	推定原因
H25	矢板工法のトンネルで天井アーチ部（張り出し部）からCo片が落下	手のひらサイズ	無	雨水の浸透による部分的なコンクリートの劣化
H25	矢板工法のトンネルで天井アーチ部からCo片が落下	長さ5cm×幅5cm	有 (車両/物損)	たたき落としにより除去できなかった部分の乾燥収縮
H25	矢板工法のトンネルで側壁部水平打継ぎ目から目地モルタルが落下	長さ100cm×幅15cm	無	水平打継ぎ目での乾燥収縮
H26	矢板工法のトンネルで側壁部水平目地目地部から覆工Coが落下	長さ約200cm×幅11cm	無	降雨による地下水水位の上昇に伴い、水圧増加によって覆工コンクリートを押し出し
H26	NATMのトンネルでアーチ目地部からCo片が落下	長さ11cm×幅17cm	無	施工時の目地部の処理の不備による可能性
H26	矢板工法のトンネルで天井アーチ部からCo片が落下	長さ約2cm×幅約2cm	有 (車両/物損)	漏水による目地部のコンクリート劣化
H27	矢板工法のトンネルで側壁の補修材（PCL版）の根固めモルタルが落下	長さ20cm×幅10cm	無	補修材（PCL版）支持版の腐食
H31（R1）	矢板工法のトンネルでアーチ部からCo片が落下の疑い（利用者からの申出）	不明	有 (車両/物損)	不明（Co片が落下した箇所を特定することは出来なかった）
H31（R1）	矢板工法のトンネルでアーチ部からCo片が落下の疑い（利用者からの申出）	不明	有 (車両/物損)	不明（Co片が落下した箇所を特定することは出来なかった）
H31（R1）	NATMのトンネルで横断目地部からCo片が落下	長さ13cm×幅3cm	無	施工時の目地部の処理の不備による可能性



写真一 1 覆工コンクリートのはく落片の一例³⁾

新技術導入促進計画（案）が提示され、有識者等による議論を経て、「道路分野における新技術導入促進方針」⁴⁾ならびに「令和2年度 新技術導入促進計画」⁵⁾が公表された。新技術導入促進計画⁵⁾には、導入促進の対象となる技術分野と導入促進機関の関係が示されている。ここでいう導入促進機関とは、国土交通省と連携して新技術の活用に必要な技術基準類の検討や技術の実証を行うための第三者機関³⁾のことであり、本取り組みの対象となるトンネル分野では、当協会が指定されている。

(2) はく落発生抑制等に資する新技術の導入促進

現行の覆工コンクリートのはく落発生抑制対策は、車線規制下でのうき等の点検と補修工事が中心となっており、トンネル覆工のはく落に起因する点検や補修などの一連の維持管理作業を省力化するための一つとして、はく落の発生を抑制するためのトンネル覆工技術が考えられる。

そのため、国土交通省では、トンネル覆工のはく落の発生を抑制する技術について新技術の導入促進に取り組んでいる。

4. 対象技術の分類

はく落発生抑制等に資する新技術の導入促進では、対象となる技術を公募し、選定された技術に対して性能確認方法により技術の実証を行うこととなっている。今回、応募された技術は、表一 2 に示す2分類4細目に分類される。本報文で対象とするはく落発生抑制等に資するトンネル覆工技術については、「はく落の発生を抑制」する効果が期待される技術のうち、覆工コンクリート施工時もしくは覆工コンクリート施工直後に施工する技術を対象とすることとした。ここで、

表一 2 対象技術

分類	細目	技術概要
材料の添加技術	繊維補強	コンクリートへ繊維を添加することで、繊維の架橋効果（コンクリートのひび割れ部において、繊維がコンクリートを繋ぎ止める効果）によりコンクリートのはく落を抑制する。
材料の塗布、貼付け技術	表面シート埋込	コンクリート表面に繊維シートを埋設することで、コンクリートのはく落を抑制する。
	繊維シート+接着剤	繊維シートを樹脂等の接着剤によりコンクリート表面へ貼り付けることで、コンクリートのはく落を抑制する。
	表面被覆樹脂	コンクリート表面を樹脂によって被覆することで、コンクリートのはく落を抑制する。

はく落の発生を抑制する効果が期待される技術とは、うき・はく離が生じて直ちに覆工コンクリート片はく落（落下）しない技術を指す。

5. 要求性能と性能確認方法

新技術導入促進の取り組みでは、対象となる新技術に対して、以下の項目を明示することが求められている³⁾。

- ①新技術の要求性能
- ②新技術の性能確認方法

以下に、はく落発生抑制等に資するトンネル覆工技術に対する要求性能と性能確認方法について述べる。

(1) 要求性能

本対象技術の要求性能は、以下の観点から設定することとした。

- ①トンネル覆工への影響に関する確認
- ②はく落発生抑制等に資するトンネル覆工技術の要求性能

①は、現行の基準^{6),7)}により建設される覆工に対し、新技術を利用することで覆工に求められる性能を低下させることがないかを確認することを目的としたものである。②は、はく離したコンクリート塊に対するはく落抵抗性を対象としたもので、はく落発生抑制等に対する性能評価を目的としたものである。表—3に覆工への影響確認・はく落発生抑制等の要求性能評価の項目一覧を示す。

(2) 要求性能の確認・評価方法

上述の要求性能を確認・評価するための方法を検討し、新技術の性能確認・評価方法として設定した。要求性能の確認・評価方法は、「トンネル覆工への影響

に関する確認」と「はく落発生抑制等に資するトンネル覆工技術の要求性能評価」のそれぞれについて設け、その確認方法および結果の読み方を表—4に示す。なお、「はく落発生抑制性能」は、技術の分類によって、表—5に示すようにその確認方法が異なるため、それぞれ別の試験ではく落発生抑制性能を確認する。

6. ガイドライン（案）の作成

はく落抑制技術の導入促進するために、ガイドライン（案）を作成することとした。ガイドライン（案）には、表—4に示したはく落発生抑制性能や耐久性の各種項目以外にも施工方法、経済性などの評価の解釈方法を取りまとめ公表することとした。これにより、各トンネル現場で適したはく落抑制技術の選定、あるいは類似技術を比較するための参考資料として利用することができる。

7. おわりに

今後は、ガイドラインの活用等により、新技術の活用が促進されることが期待される。

謝 辞

本取り組みでは、はく落発生抑制等に資する技術の性能確認項目、試験方法、試験結果等について検討する「はく落発生抑制等トンネル覆工技術の導入促進に関する技術検討委員会（委員長：砂金伸治東京都立大学教授）」を設置し、要求性能や要求性能の確認・評価方法等について審議いただいた。ここに記して委員長ならびに委員各位へ謝意を表す。

表—3 覆工への影響確認・はく落発生抑制等の要求性能評価の項目

影響確認項目／要求性能評価項目		繊維補強	表面シート埋込	繊維シート+接着剤	表面被覆樹脂
要求性能評価項目	はく落発生抑制性能	○			
	曲げ靱性試験 押し抜き試験		○	○	○
影響確認項目	耐荷性（コンクリートの圧縮強度）	○			
	耐荷性（コンクリートの引張強度）	○			
	品質性（コンクリートのスランプ試験）	○			
	品質性（レディーミクストコンクリート）	○			
	付着性			○	○
	耐久性			○	○
	耐火性		○	○	○
視認性			○	○	

表一 4 覆工への影響確認・はく落発生抑制等の要求性能評価の確認方法

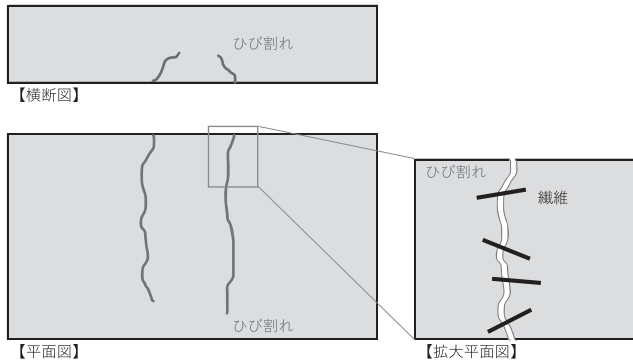
項目	分類	目的	技術細目	確認方法	結果の読み方
① 要求性能 評価項目	はく落発生 の抑制性能	ひび割れの進行抑制, はく落の抵抗性	繊維補強	曲げじん性試験	曲げじん性係数が大きいほどひび割れが進行しにくく、うき・はく離の進行やはく落の発生抑制効果を期待できる。
			表面シート埋込, 繊維シート+接着剤, 表面被覆樹脂	押抜き強度試験	押抜き最大荷重が大きい技術は、より重量の大きいはく落塊の落下の抑止が期待できる。
② 影響確認 項目	構造	覆工コンクリートの 強度低下がないこと	繊維補強	覆工コンクリートの 圧縮強度	圧縮強度は、覆工コンクリートの設計基準強度以上であることが求められる。
				覆工コンクリートの 引張強度	圧縮強度の設計基準強度から推定される引張強度以上であることが求められる。
		覆工に使用するコン クリートの品質を有 すること		スランプ値・空気量・ 塩化物含有量の各試験	試験項目の所定の基準値を満たすことで、覆工コンクリートに使用するコンクリートの品質を満たしていると判断できる。
		材料（シートや樹脂） がコンクリートのはく 落抵抗性（引張強度） よりも大きいこと		繊維シート+接着剤, 表面被覆樹脂	付着強さ試験
	維持管理	材料（シートや樹脂） を施工した場合の覆 工表面の視認性	繊維シート+接着剤, 表面被覆樹脂	視認性試験（覆工に 生じた変色, 漏水, ひび割れの確認）	覆工表面の変状の視認性の影響度合いを確認できる。
		覆工表面のうき・はく 離, はく落が生じた場 合の材料（シートや樹 脂）の変色等の有無		視認性試験（シート や樹脂の変形, 変色 の確認もしくは直接 目視の可否）	覆工表面のうき・はく離, はく落が生じた場合の材料（シートや樹脂）の変色等の発生状況が確認できる。材料（シートや樹脂）の変色等が認められれば、覆工表面にうき・はく離, はく落等の変状の発生が想定される。
		火災時に延焼しない こと		耐火性試験	自己消火性（大気中で熱源が無くなった際に自ら消火する性質）を有する技術であれば、火災の発生時の延焼の危険性は低いと判断できる。
	耐久性	技術の劣化要因	繊維シート+接着剤, 表面被覆樹脂	劣化要因のヒアリング	該当する劣化要因が存在すると想定される現場で対象技術を使用する際には留意する必要がある。該当する劣化要因は、第4章「技術の性能一覧表」に記載する。
		技術および付着面の 耐アルカリ性		耐アルカリ性試験実 施の有無のヒアリング	各技術が実施した試験法・試験結果を第4章「技術の性能一覧表」に記載する。材料の選定等の参考となる。（耐久性についてはリクワイアメントの設定が困難であるため、各技術が実施した試験を「技術の性能一覧表」に掲載している）
		技術および付着面耐 候性		耐候性試験実施の有 無のヒアリング	
		技術および付着面の 温冷繰り返し耐性		温冷繰り返し試験実 施の有無のヒアリング	
	想定耐久年数			想定耐久年数の確認	更新サイクルやライフサイクルコストの検討の参考となる。

表一5 はく落抵抗性の技術区分によるはく落抵抗性の確認方法（試験方法）

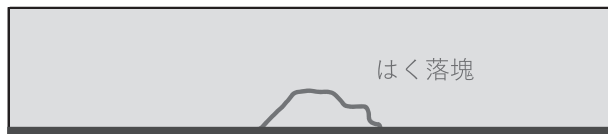
技術区分	技術概要	確認方法
繊維補強	ひび割れが発生しても繊維の架橋効果*により、はく落（ひび割れが進展）しにくい技術（図一3 参照）	曲げじん性試験
表面シート埋込 繊維シート+接着剤 表面被覆樹脂	はく落が生じてても即座に落下することを抑制することが可能な技術（図一4 参照）	押抜き強度試験

*架橋効果とはひび割れの始点と終点に引張りに抵抗できる部材（繊維）があることでひび割れの進展を抑制できる効果のことを示す。

JCMA



図一3 架橋効果によるはく落抑制効果



繊維シート+接着剤や表面被覆樹脂等

図一4 繊維シート+接着剤や表面被覆樹脂等によるはく落抑制効果

《参考文献》

- 1) 国土交通省 道路局：道路メンテナンス年報, 2020.9.
- 2) 国土交通省 道路局：道路トンネル定期点検要領, 2019.2.
- 3) 国土交通省：第2回 道路技術懇談会 配付資料, <https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/dourogijutsu/doc02.html>, 2021.6.22 閲覧
- 4) 国土交通省 道路局：道路分野における新技術導入促進方針, 2020.4.
- 5) 国土交通省：令和2年度 新技術導入促進計画, https://www.mlit.go.jp/report/press/road01_hh_001316.html, 2021.6.22 閲覧
- 6) 国土交通省：道路トンネル技術基準, 1989.5.
- 7) 日本道路協会：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説, 2003.12.

【筆者紹介】

鈴木 健之（すずき たけゆき）
（一社）日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所

新機種紹介 機関誌編集委員会

▶ 〈02〉 掘削機械

21-〈02〉-21	コマツ 油圧ショベル PC170LC-11	'21.11 発売 新機種
------------	---------------------------------	------------------

当該機は^{※1}、2014年基準をクリアした自社開発の新たなクリーンエンジンを搭載し、他クラスの最新モデルで採用している環境対応・経済性（燃費）・ICT・安全性を向上させ織り込むことで従来機^{※2}より高性能・高機能・低燃費・低騒音を高いレベルで実現した17トンクラスの油圧ショベルのモデルチェンジ機。

エンジンと油圧システムの可変マッチング制御、メインバルブ・油圧回路のロス低減、高効率油圧ポンプや高効率作動油に加え、新たに採用したファンクラッチ制御や任意に設定したアイドル時間で自動的にエンジンを停止できるオートアイドルストップにより、機械ポテンシャルを最大限に引き出しながら燃料消費量は従来機に比べ4%^{※3}低減している。また、AdBlue[®]残量レベルをはじめとしたメンテナンス情報をモニター画面に表示することで、日々の点検整備やメンテナンスの負担軽減に貢献する。さらに装備品も拡充し、安全面では、ロックレバー自動ロック機能やKomVision（機械周囲カメラシステム）を標準装備することでオペレーターの安全で快適な作業をサポートする。

※1 通称、オフロード法という。

※2 PC170LC-10

※3 PC170LC-10比



写真1 油圧ショベル [PC170LC-11]

表-1 主な仕様

項目	単位	PC170LC-11
運転質量/機体質量	kg	17,300
エンジン定格出力 ネット (JIS D0006-1) ^{※4}	kW/min ⁻¹ [PS/rpm]	89.9/2,100 [122/2,100]
バケット容量	m ³	0.65
バケット幅	m	0.966
全長 (輸送時)	m	8.690
全幅	m	2.495
全高 (輸送時)	m	3.110
後端旋回半径	m	2.545

※4 冷却ファン最低回転速度時の値

問合せ先：コマツ サステナビリティ推進本部
コーポレートコミュニケーション部
〒107-8414 東京都港区赤坂 2-3-6

22-〈02〉-06	コマツ 有線式電動油圧ショベル PC138USE-11	'22.8 発売 新機種
------------	---------------------------------------	-----------------

当該機は電動油圧ショベルを連続して長時間使用したいというお客様のニーズに応えることを目的に、これまでコマツが培ってきた技術をベースにエンジン駆動式と同等の作業性能を発揮しつつ“排出ガスゼロ”や騒音・排熱の大幅低減を実現している。また国内導入した有線式電動油圧ショベルとしては、2021年7月発売の「PC78USE-11」に続く、二機種目の展開となる。

駆動源に電気モーターを採用し“排気ガスゼロ”や騒音・排熱・振動の大幅低減を実現することで作業現場の安全性・快適性を向上させるほかオペレーターのストレス軽減に貢献している。また、電気モーターの特性により車両寿命が延長されるとともに燃料補給やエンジン回りで必要とされたメンテナンス作業が不要になるため、車両のランニングコスト削減が可能。そのほか、電源を有線で直接供給するため充電式の電動車と異なりバッテリー残量を気にすることなく長時間連続稼働できるため、特に産廃処理工場など24時間稼働が必要とされる作業現場での生産性向上が期待できる。

コマツは、2020年に電動式ミニショベル「PC30E-5」^{※5}を、2021年には有線式電動油圧ショベル「PC78USE-11」を国内向けに市場導入したほか、他機種の電動化についても外部パートナーとの共同開発を含め推進している。環境負荷の少ない建設機械の実用化を加速させるとともに今後の更なる普及を目指す。

※5 バッテリー駆動式のミニショベル



写真2 有線式電動油圧ショベル [PC138USE-11]

※写真には一部オプションが含まれています

表-2 主な仕様

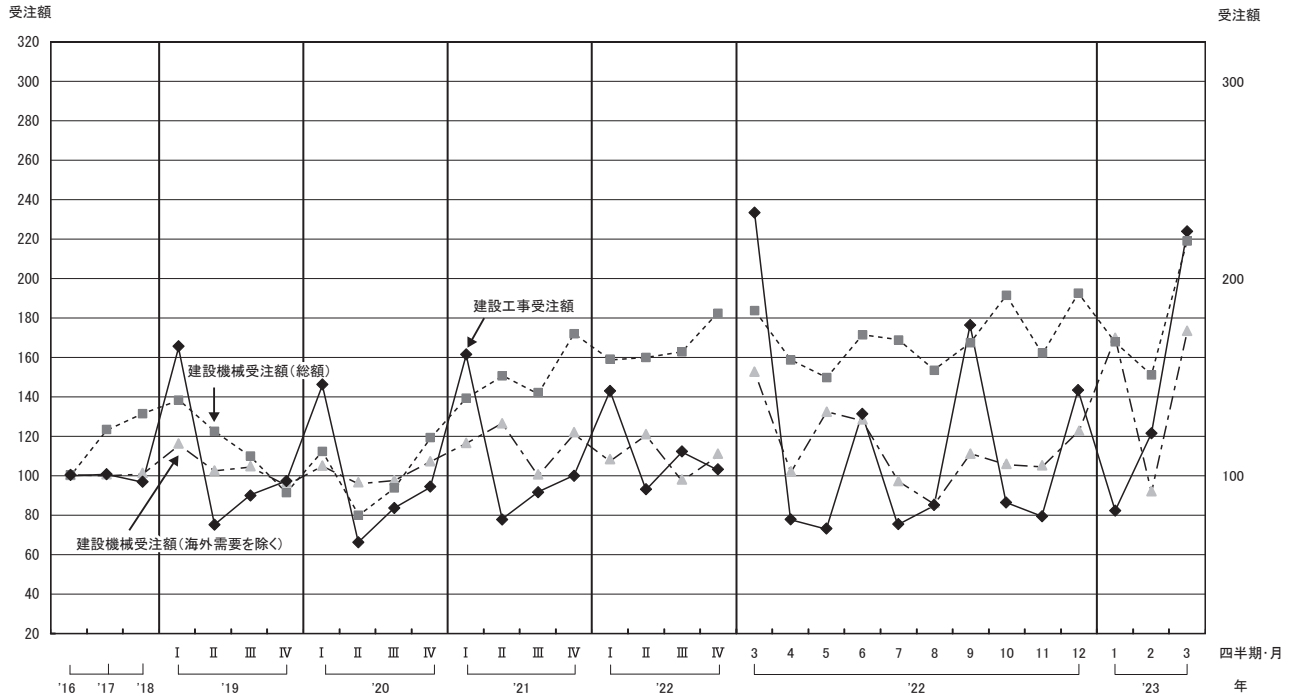
項目	単位	PC138USE-11 有線式電動油圧ショベル
機械質量	kg	13,100 (バケットレス)
定格出力	50 Hz kW/rpm	55/1,480
	60 Hz	55/1,780
モータ名称	-	全閉外扇型三相誘導電動モータ
起動方式	-	スターデルタ起動
モータ駆動電源	V	三相 AC400 V
定格電流	A	125
最大消費電力	kVA	61.25
電源ケーブル	太さ	sq 60
	芯数	4
キュービクル設備の容量	-	150 kVA 以上を確保ください

問合せ先：コマツ サステナビリティ推進本部
コーポレートコミュニケーション部
〒107-8414 東京都港区赤坂 2-3-6

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 2016年平均=100)
 建設機械受注額：建設機械受注統計調査(建設機械企業数24前後) (指数基準 2016年平均=100)



建設工事受注動態統計調査 (大手 50 社)

(単位：億円)

年 月	総 計	受 注 者 別						工 事 種 類 別		未消化 工事高	施工高
		民 間			官 公 庁	そ の 他	海 外	建 築	土 木		
		計	製 造 業	非 製 造 業							
2016年	146,991	99,541	17,618	81,923	38,894	5,247	3,309	98,626	48,366	151,269	134,037
2017年	147,828	101,211	20,519	80,690	36,650	5,183	4,787	99,312	48,514	165,446	137,220
2018年	142,169	100,716	24,513	76,207	30,632	8,561	5,799	95,252	46,914	166,043	141,691
2019年	156,917	114,317	24,063	90,253	29,957	5,319	7,308	109,091	47,829	171,724	150,510
2020年	143,170	97,457	19,848	77,610	35,447	5,225	4,175	91,725	51,443	171,740	141,261
2021年	157,839	111,240	22,528	88,713	38,056	4,671	3,874	106,034	51,806	192,900	137,853
2022年	165,482	119,900	33,041	86,862	33,436	5,252	6,898	114,984	50,496	207,841	130,901
2022年 3月	28,665	21,001	4,095	16,906	6,090	496	1,078	18,978	9,687	202,497	20,607
4月	9,462	6,623	2,182	4,441	2,268	490	81	6,347	3,114	201,690	9,341
5月	8,930	6,695	2,012	4,683	1,038	386	812	6,290	2,640	201,369	8,812
6月	15,741	11,290	3,252	8,038	2,525	465	1,462	11,414	4,327	202,288	14,177
7月	9,176	6,529	2,073	4,456	1,839	348	460	6,310	2,865	202,222	9,335
8月	10,334	8,302	3,261	5,042	1,451	362	220	7,711	2,624	202,166	10,413
9月	21,617	13,586	3,925	9,661	5,298	680	2,052	13,970	7,647	208,186	15,244
10月	10,520	7,331	1,341	5,991	2,426	413	351	7,400	3,120	208,774	9,760
11月	9,636	6,849	1,908	4,941	2,121	385	282	6,736	2,900	206,833	11,819
12月	17,593	14,275	5,184	9,091	3,208	540	-430	13,048	4,544	207,841	16,317
2023年 1月	10,021	6,986	1,556	5,430	2,452	336	248	6,867	3,154	207,251	10,213
2月	14,867	9,285	1,928	7,358	5,010	372	199	9,662	5,204	209,850	12,419
3月	27,481	18,606	4,053	14,553	7,409	674	791	17,187	10,294	-	-

建設機械受注実績

(単位：億円)

年 月	16年	17年	18年	19年	20年	21年	22年	22年 3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	23年 1月	2月	3月
総 額	17,478	21,535	22,923	20,151	17,646	26,393	29,024	2,675	2,310	2,177	2,498	2,457	2,233	2,439	2,790	2,361	2,804	2,445	2,198	3,197
海外需要	10,875	14,912	16,267	13,277	10,966	18,737	21,816	1,834	1,753	1,450	1,791	1,926	1,766	1,832	2,211	1,788	2,130	1,509	1,694	2,246
海外需要を除く	6,603	6,623	6,656	6,874	6,680	7,656	7,208	841	557	727	707	531	467	607	579	573	674	936	504	951

(注) 2016～2018年は年平均で、2019～2022年は四半期ごとの平均値で図示した。
 2022年3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

(2023年4月1～30日)

機械部会



■基礎工専用機械技術委員会

月日：4月12日(水)(会議室での対面開催)

出席者：草刈成直委員長ほか19名

議題：①(株)アカサカテックによる技術プレゼン：「地盤改良システムの紹介」
②各社トピックス：調和工業(株)「パイプロハンマで打設した杭の支持力について」
③今後のスケジュールについて：技術プレゼン、各社トピックスの予定
④6月開催予定の見学会の概要説明

■トラクタ技術委員会

月日：4月14日(金)

出席者：大場元樹委員長ほか7名(Web会議で開催)

議題：①JCMASに基づく「エネルギー消費量試験方法」のISO化：国際会議の進捗状況について情報共有
②革新的建設機械認定制度(仮称)について：「建設施工の地球温暖化防止検討分科会」(2/16(木))の報告
③各社トピックス：コマツ「ホイールローダWA475-10 オプション作業機リンク形式の紹介」

■コンクリート機械技術委員会

月日：4月18日(火)(会議室, Web並行開催)

出席者：筈谷武委員長ほか9名

議題：①前回の議事録確認 ②技術発表：(株)北川鉄工所「ZSTEEL パンチャープラントの紹介」
③見学会計画についての説明 ④コンクリートポンプ車の整備証明制度の改正に関する情報共有

■トンネル機械技術委員会・総会

月日：4月19日(水)(会議室, Web並行開催)

出席者：丸山修委員長ほか会場参加者24名, Web参加者9名

議題：①R4年度活動報告 ②R5年度活動計画の説明：全体計画説明, R5年度WG活動について, 見学会実施計画の説明 ③特別講演「トンネル施工に関する行政の動向について」国土交通省 森川博邦施工企画室長

■機械整備技術委員会

月日：4月28日(金)

出席者：小林一弘委員長ほか5名(会議室, Web並行開催)

議題：①令和4年度の活動成果の確認：「建設機械整備に関する国の認証制度と整備作業に伴う資格」のホームページ掲載状況の報告 ②令和5年度の活動計画に関する討議：電動建機のシステムに関する資料作成について進め方, 建設機械整備技術者および, ICT担当者の雇用状況に関する情報共有, 見学会の候補地について

標準部会



■ISO/TC 127/SC 3 WG 5 施工現場情報交換 ISO/TS 15143-4 施工現場地形データ案文統合特設会議(Web会合)

月日：4月12日(水) 昼(米国では前日夜)

出席者：米国のBOLLWEGプロジェクトリーダー(Deere社)など海外(米国の他, スウェーデン, オーストラリア, フィンランド, ニュージーランドなど)から9名, 日本から山本茂コンビナー(コマツ)など3名

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：ISO/TS 15143-4 案文修正(オーストラリアの専門家J.P.WARLOW氏(トプコン)から説明)・同論議

■ISO/TC 195/SC 2/WG 1 国際バーチャルWG会議

月日：4月17日(月) 夜

出席者：室谷雅之委員(協和機械製作所)ほか10名

場所：Web上(CEN Zoom)

議題：①WD xyz「冬期保守用機器-スノーブロー-用語定義及び分類」コメント審議 ②NP 24150, 24151, 24152 第2次NWIP投票準備 ③次回会合予定(6月26日バーチャル)

■ISO/TC 195/SC 1 委員会

月日：4月18日(火)(予備日：4月10日(月)及び12日(水))

出席者：川上晃一(日工)委員長ほか16名

場所：機械振興会館会議室及びWeb上(ISO Zoom)

議題：①2023年度ISO/TC195委員及びSC1分科委員委嘱 ②SC1/WG4 DIS 19711-2「トラックミキサー-第2部」バーチャルWG会議報告・対応協議 ③SC1/WG8 PWI 5342「コンクリート機械-施工現場情報交換」進捗確認 ④SC1/WG7 AWI 18650-2「コンクリートミキサー-第2部」対応協議 ⑤SC1/WG10 AWI

18651-1「コンクリート内部振動機-第1部」対応協議 ⑥TC 195国際会議(鄭州での対面会合開催) AG1会議報告・対応協議 ⑦その他

■ISO TC 127 WG 17 ISO/PWI 5757 RESS 回生(再充電)可能エネルギー貯蔵システム国際WG会議(対面+Web参加のハイブリッド会合)

月日：4月18日(火)・19日(水) いずれも日本時間では深夜~翌朝

出席者：米国SPOMERコンビナー(斗山Bobcat社)など海外(オーストラリア・中国・フィンランド・フランス・ドイツ・英国・米国・スウェーデン)から計21名が対面又はWeb出席, 日本から正田明平委員(コマツ)など3名がWeb参加

場所：米国ミルウォーキーのAEM(機器製造業者協会)で(日中に)対面会合, 日本からはWeb参加(ISO Zoom)

議題：①開会(ISO行動規範確認, 出席者点呼など) ②案件の進捗状況確認 ③各技術的事項の論議 ④蓄電池駆動機械の追加的なリスク・危険源などの検討 ⑤騒音指令の蓄電池駆動機械への適用の検討 ⑥電気アーク爆発の規格参照の検討 ⑦この分野での他の活動について ⑧閉会(次回7月ロンドンのBSI英国規格協会での会合・その他)

■ISO/TC 127/SC 3/JWG 16 (セキュアな移動体高速通信)国際JWG(ネットワーク構成)特設会議(Web会合)

月日：4月19日(水) 夜

出席者：米国BERGJJK共同コンビナー(AGCO社)・Jessop LUESCHOW幹事(Deere社)など海外(米国の他にドイツ・オーストラリア・イタリア・スウェーデン・インドなど)から20名以上, 日本から山本茂委員(コマツ)など3名出席

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：(機械本体と作業機部分が連結されていて, 両者間の通信にCANに基づくシステムが適用されている分野での, 通信高速化についての)ネットワーク構成に関する論議

■ISO/TC 127/SC 3 WG 5 施工現場情報交換 ISO/TS 15143-4 施工現場地形データ案文統合特設会議(Web会合)

月日：4月21日(金) 昼(米国では前日夜)

出席者：米国のBOLLWEGプロジェクトリーダー(Deere社)など海外(米国の他, スウェーデン, オーストラリア, フィ

ンランドなど)から9名,日本から山本茂コンビナー(コマツ)など3名
場 所:Web上(ISO Zoom)

議 題:ISO/TS 15143-4 案文のサーバー間交信部分の修正の説明・同論議

■ISO/TC 195/AG 1 諮問グループ 国際バーチャル会議

月 日:4月21日(金)夜

出席者:小倉公彦(JCMA 標準部)ほか7名

場 所:Web上(ISO Zoom)

議 題:2023年TC 195 国際会議-最終決定(9月18日~21日バーチャル)

■ISO/TC 195/SC 2/WG 2 国際バーチャルWG会議

月 日:4月24日(月)夜

出席者:和田悟知委員(豊和工業)ほか13名

場 所:Web上(CEN Zoom)

議 題:①ISO/DIS 24147「路面清掃車-用語及び商業仕様」DIS投票コメント審議(続き) ②次回会合予定(9月14日バーチャル(仮))

■ISO/TC 127/SC 4/WG 6 ISO 7334 自動運転の分類 国際WG会議(Web会合)

月 日:4月28日(金)朝(北米時間では前日27日夜)

出席者:米国TAHA コンビナー(Deere社)など海外(米・英・中国)から7名が参加,日本から鈴木邦利委員(コマツ)など3名がWeb参加

場 所:Web上(ISO Zoom)

議 題:①開会(ISO行動規範確認など) ②前回オーランド会議以降の作業その他 ③案文のISOの案文作成システムへの移行可能性含む検討 ④日程確認 ⑤要処事項 ⑥今後の会合(6月にフランクフルトアムマインで,8月21日~23日に東京でハイブリッド会合)

■ISO/TC 127/SC 3 WG 5 施工現場情報交換 ISO/TS 15143-4 施工現場地形データ案文統合特設会議(Web会合)

月 日:4月28日(金)昼(米国では前日夜)

出席者:米国のBOLLWEGプロジェクトリーダー(Deere社)など海外(米国の他,スウェーデン,オーストラリア,フィンランドなど)から7名,日本から山本茂コンビナー(コマツ)など3名

場 所:Web上(ISO Zoom)

議 題:ISO/TS 15143-4 案文文面の変更の説明

製造業部会



■製造業部会 作業燃費検討WG

月 日:4月27日(木)(会議室, Web 並行開催)

出席者:大場元樹主査ほか18名

議 題:GX 建設機械認定制度の創設に関して,認定制度の概要,制度創設のスケジュール等について国土交通省からの説明と意見交換:①WG主査挨拶 ②国土交通省からの説明:・GX建設機械認定制度の概要,スケジュール等,・業界ヒアリングについて(暫定規程から恒久規程への移行時期など) ③意見交換

建設業部会



■機電交流企画WG

月 日:4月13日(木)

出席者:落合博幸主査ほか4名(内Web参加者1名)

議 題:①2023年度WG活動計画(若手見学会,講演会,機電職女性職員企画) ②R06機電技術者意見交換会のオリンピックセンター開催復活について ③その他

■クレーン安全情報WG

月 日:4月19日(水)

出席者:久田英貴主査ほか10名(内Web参加者3名)

議 題:①タダノGR-1000N-1の報告 ②事故事例・特殊現場紹介 ③「移动式クレーン支持盤養生マニュアル」の質問に関する対応について ④その他

■三役会

月 日:4月21日(金)

出席者:洗光範部会長ほか6名(内Web参加者1名)

議 題:①4/13機縁交流企画WG報告 ②4/19クレーン安全情報WG報告 ③5/11開催予定建設業ICT安全WG進行案 ④三役の部会外活動の確認(運営幹事会,シンポジウム実行委員会,研究開発等助成検討委員会,標準化会議,国内標準委員会) ⑤その他(6/21 2023建設施工研修会開催について)

レンタル業部会



■レンタル業部会

会議:コンプライアンス分科会

月 日:4月4日(火)(Web会議併用)

出席者:中村部会長ほか12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プラットフォーム化の検討」の進め方等について ③レンタル業としてのトラック輸送業における運賃について ④各社からの報告事項・情報交換

各種委員会等



■機関誌編集委員会

月 日:4月5日(水)

出席者:中野正則委員長ほか27名

議 題:①令和5年7月号(第881号)計画の審議・検討 ②令和5年8月号(第882号)素案の審議・検討 ③令和5年9月号(第883号)編集方針の審議・検討 ④令和5年4月号~令和5年6月号(第878~880号)進捗状況報告・確認 ※通常委員会及びZoomにて実施

■新工法調査分科会

月 日:4月12日(水)

出席者:石坂仁分科会長ほか4名(内Web参加1名)

議 題:①新工法情報の持ち寄り検討 ②新工法紹介データまとめ ③その他

支部行事一覧

北海道支部



■第1回広報部会広報委員会

月 日:4月11日(火)

場 所:北海道支部会議室

出席者:古賀修也広報委員長ほか3名

内 容:令和5年度建設機械優良運転員・整備員の被表彰候補者の選定等

■第1回企画部会

月 日:4月24日(月)

場 所:札幌市,センチュリーロイヤルホテル

出席者:中山克己企画部会副部会長ほか12名

内 容:①令和4年度事業報告(案) ②令和4年度決算報告(案) ③令和5年度事業計画 ④令和5年度収支予算 ⑤その他(第1回運営委員会及び第12回総会関係)

■支部会計監査

月 日:4月24日(月)

場 所:北海道支部会議室

出席者:熊谷一男支部監査役ほか2名

議 題:令和4年度支部事業及び決算書の監査

■第1回運営委員会

月 日：4月27日(木)

場 所：札幌市、センチュリーロイヤルホテル

出席者：柳屋勝彦支部長ほか24名

内 容：①令和4年度事業報告(案)承認の件について ②令和4年度決算報告(案)承認の件について ③令和5年度事業計画に関する件について ④令和5年度収支予算に関する件について ⑤その他(第12回総会関係、感謝状贈呈者、優良運転者・整備員表彰)

東北支部



■EE東北'23 サテライト会場 出展者会議(第2回)(対面+Web会議)

月 日：4月11日(火)

場 所：東北支部会議室

出席者：鈴木勇治 情報化施工技術委員会委員長ほか4名+ Web参加13名

議 題：①サテライト会場のレイアウトについて ②事務局との協議結果報告 ③敷地外駐車場の確保について ④デモンストレーションについて ⑤キッチンカーについて ⑥備品等について ⑦役割分担について

■第1回広報部会

月 日：4月12日(水)

参加者：浅野公隆 広報部会長ほか7名

内 容：①「支部たより185号」の編集計画について ②原稿執筆依頼について ③表紙写真について ④本部機関誌「建設機械施工」令和6年2月号ずいそう原稿執筆について ⑤その他

■EE東北'23 第2回実行委員会作業部会(Web会議)

月 日：4月18日(火)

出席者：東北技術事務所 澤田敏樹 副所長ほか17名

内 容：①EE東北'23開催概要 ②EE東北'23実施方針(案) ③EE東北'23予算(修正案) ④今後の予定

■EE東北'23 第2回実行委員会(対面+Web会議)

月 日：4月24日(月)

出席者：東北地方整備局 中平善伸 企画部長ほか21名+ Web参加9名

内 容：①EE東北'23開催概要 ②EE東北'23実施方針(案) ③EE東北'23予算(修正案) ④今後の予定

■令和5年度 東北土木技術人材育成協議会 第1回ワーキング

月 日：4月26日(水)

出席者：東北地方整備局 企画部 三浦義

昭 建設情報・施工高度化技術調整官ほか38名

議 題：①令和5年度 基礎技術講習会の方針及び実施計画について ②基礎技術講習会(インフラDX)の実習内容について[説明, 施設見学] ③その他(意見交換)

■令和4年度 支部監査

月 日：4月27日(木)

場 所：東北支部会議室

出席者：浅野博之 支部監査役ほか1名

内 容：令和4年度の事業及び決算の監査全般

北陸支部



■支部事務局意見交換会

月 日：4月17日(月)

場 所：機械振興会館 B3-7 会議室

出席者：堤事務局長

議 題：①各支部の好事例共有 ②地方整備局との意見交換会について ③その他

■令和4年度 北陸支部 支部監査

月 日：4月25日(火)

場 所：興和ビル 10F 小会議室

出席者：樋口智, 二宮康行 支部監査役

議 題：①業務監査(支部業務全般にわたる適正, 適法性の監査) ②会計監査(貸借対照表, 正味財産増減計算書, 財産目録の適正・適法性の監査)

■令和5年度 第1回企画部会

月 日：4月27日(木)

場 所：書面表決

議 題：①令和4年度 業務報告書について ②令和4年度 決算書(貸借対照表, 正味財産計算書)について

■令和5年度 ICT活用講習会事前会議

月 日：4月28日(金)

場 所：北陸支部事務室

議 題：①ICT導入協議会(意見要望, 普及拡大に向けた取組)について ②令和5年度北陸ICT戦略推進委員会の活動方針について ③入門者及び実践者クラス講習会について

中部支部



■令和5年度木曾三川連合水防演習連絡調整会議

月 日：4月21日(金)

場 所：Web会議

参加者：永江豊事務局長

内 容：演習本番に向けての調整会議

■支部会計監査

月 日：4月28日(金)

監査役：中川義治氏, 岡智明氏

内 容：令和4年度業務及び会計監査

関西支部



■建設用電気設備特別専門委員会(第486回)

月 日：4月12日(水)

場 所：中央電気倶楽部 会議室

議 題：①競争法コンプライアンス規定, プライバシーポリシー確認 ②委員会総会 ③JEM-TR236改正審議 ④その他

■支部監査

月 日：4月20日(木)

場 所：関西支部 会議室

出席者：田口定一支部監査役, 神谷敏孝 支部監査役

内 容：令和4年度決算報告及び関係書類に基づく監査の実施

■企画部会

月 日：4月25日(火)

場 所：関西支部

出席者：高橋通夫企画部会員以下3名

議 題：①令和4年度事業報告(案)及び決算報告(案)の件 ②優良建設機械運転員等表彰の件 ③令和5年度本部会長表彰の件 ④会員の推移 ⑤総会後の講演会について ⑥その他

■運営委員会

月 日：4月27日(木)

場 所：大阪キャッスルホテル

出席者：深川良一支部長以下31名

議 題：①令和4年度事業報告(案)及び決算報告(案)の件 ②優良建設機械運転員等表彰の件 ③令和5年度会長表彰について ④支部総会後の講演会について ⑤その他

中国支部



■第1回施工技術部会

月 日：4月11日(火)

場 所：広島市内(Web併用)

出席者：新宅清人部会長ほか7名

議 題：①令和5年度部会事業計画(案)について ②令和5年度部会関連事業の推進と体制について ③その他懸案事項

■第1回部会長会議

月 日：4月18日(火)

場 所：広島YMCA 会議室

出席者：玉田一雄企画部会長ほか10名

議 題：①運営委員会(春季)の議題について ②その他懸案事項

■支部会計監査

月 日：4月21日（金）
場 所：中国支部事務局
出席者：高倉寅喜支部監査役ほか3名
内 容：令和5年度業務及び決算報告について関係書類に基づく監査の実施

■DX・i-Con セミナー 2023

月 日：4月24日（月）
場 所：広島 YMCA 国際文化ホール
参加者：211名
講演内容：①（講演）建設DXに資するICT施工の取組 国土交通省大臣官房技術調査課施工企画室課長補佐 中根亨氏 ②（講演）中国地方の建設現場の生産性向上について 中国地方整備局企画部建設情報・施工高度化技術調整官 樋野義周氏 ③（講演）ICT活用工事の課題と解決のヒント（一社）日本建設機械施工協会施工技術総合研究所 藤島崇氏 ④（講演）施工現場に於けるBIM/CIM全面適用への対応について（一社）日本建設機械施工協会中国支部 高田純氏

■春季運営委員会

月 日：4月25日（火）
場 所：広島 YMCA 会議室
参加者：河合研至支部長ほか21名
議 題：①令和4年度事業報告に関する件 ②令和4年度決算報告に関する件

③令和4年度支部監査に関する件
④令和5年度建設の機械化施工優良技術者表彰について ⑤令和5年度運営委員及び部会幹事について

四 国 支 部



■R4 四国支部会計及び業務監査

月 日：4月24日（月）
場 所：支部事務局
監査者：上林正幸支部監査役及び堀具王支部監査役
内 容：1. 会計監査：①経理事務全般 ②資産・負債・財産・収入及び支出の適正処理について ③財務諸表・財産目録等の適正管理について
2. 業務監査：①会員の入退会処理について ②事業計画・事業報告・予算決算の適正処理について ③その他、職員の法定福利等関係書類の整理について

■R5 第1回（春季）[企画・施工・技術] 合同部会幹事会

月 日：4月25日（火）
場 所：建設クリエイティブビル（高松市）
出席者：泉川企画部会長ほか26名
内 容：①R4事業報告（案）について ②R4決算報告（案）について ③R5事業計画について ④R5予算書につ

いて ⑤R5団体会員、永年勤続役職員、優良建設機械運転員・整備員表彰者について ⑥人事異動等に伴う役員等の変更について

九 州 支 部



■令和5年度 i-Construction 施工による九州支部生産性向上推進会議

月 日：4月24日（月）
場 所：九州支部 会議室
出席者：鈴木勇治幹事長ほか7名
議 題：①i-Construction 講習会運営の課題と方向性について ②令和5年度の推進会議及び講習会の日程等について

■企画委員会

月 日：4月26日（水）
場 所：リファレンス 駅東ビル H-6 会議室
出席者：原尻企画委員長ほか15名
議 題：①第3回運営委員会 議事録について ②災害協定の調査依頼 集約状況について ③第12回通常総会開催について ④令和5年度 i-Construction 施工による九州支部生産性向上推進会議について ⑤令和5年度支部会員情報について ⑥その他

編集後記

新型コロナウイルスの発生から3年余りが経ち、政府は、新型コロナウイルスの感染法上の分類を5月8日から、季節性インフルエンザと同じ「5類」に引き下げました。これにより感染者の外出自粛や医療費の負担、マスク着用の緩和、医療機関への受診など、これまでと対策が大きく変わります。建設業界においても新型コロナウイルスの感染防止のための取組みを継続しながら、今後は徐々に新型コロナ発生前の労働環境に戻りつつあります。

さて、6月号は、「維持管理・長寿命化・リニューアル」がテーマです。我が国のインフラは、高度成長期以降に整備されており、今後、建設から50年以上経過する割合は急速に増加し、老朽化するインフラを戦略的に維持管理・更新することが求められています。また、2012年の笹子トンネルの天井板崩落事故を契機に、2013年を社会資本メンテナンス元年に位置付け、2014年にインフラ長寿命計画を策定し、インフラの老朽化対策に係る取組みを推進してきています。これまでの取組みに加え、予防保全への本格転換や、新技術の活用、インフラの集約・再編などの実現に向けた取組みが官民をあげて行われているところです。

巻頭言は岐阜大学の内田先生に「想定外」と題して寄稿して頂きました。本文中にありますように、構造物はその時の示方書や規基準にしたがって設計、施工が行われていますが、現行の規基準を満たすことは最低限で、将来にわたって構造物を保証するものではないこと、最新の基準ですら発展途上であること、少なくとも想定外もあるという今の技術レベルを正しく認識し、技術の向上やメンテナンスの継続と必要性についてお示し頂きました。

行政情報では、「社会資本メンテナンス元年」から今年で10年目を迎え、これまでの取組みのレビューを行い、持続可能なインフラメンテナンスの実現に向けた、地域インフラ群再生戦略マネジメントに関する提言の内容と今後の取組みについて執筆頂きました。

技術報文は、道路・トンネル、ダム・河川、下水道・水路、橋梁・港湾に分類し、点検診断技術、リニューアル技術、モニタリング技術など、多岐にわたり15編を掲載しています。

今号で紹介させて頂いた様々な最新技術が、日本の社会インフラメンテナンスの一助となれば幸いです。

最後になりましたが、ご多忙中にも関わらず、快く執筆・寄稿して頂きました関係者の皆様にご心より御礼を申し上げます。

(松本(清)・松本(政))

機関誌編集委員会

編集顧問

今岡 亮司	加納研之助
後藤 勇	新開 節治
関 克己	高田 邦彦
田中 康之	田中 康順
中岡 智信	渡邊 和夫
見波 潔	

編集委員長

中野 正則	日本ファブテック(株)
-------	-------------

編集委員

渡邊 賢一	国土交通省
槻瀬 誠	農林水産省
木村 桂一	(独)鉄道・運輸機構
岡本 直樹	(一社)日本機械土工協会
穴井 秀和	鹿島建設(株)
赤坂 茂	大成建設(株)
宇野 昌利	清水建設(株)
加藤 友希	(株)大林組
出口 明	(株)竹中工務店
宮川 克己	(株)熊谷組
松本 清志	(株)奥村組
京免 継彦	佐藤工業(株)
平田 惣一	鉄建建設(株)
副島 幸也	(株)安藤・間
松澤 享	五洋建設(株)
飯田 宏	東亜建設工業(株)
佐藤 裕	日本国土開発(株)
丑久保吾郎	(株)NIPPO
室谷 泰輔	コマツ
山本 茂太	キャタピラー・ジャパン
花川 和吉	日立建機(株)
丹治 雅人	コベルコ建機(株)
漆戸 秀行	住友建機(株)
大竹 博文	(株)加藤製作所
本間 正敏	古河ロックドリル(株)
松本 政徳	施工技術総合研究所

事務局

(一社)日本建設機械施工協会

7月号「建設施工のDX特集」予告

・参事官(イノベーション)の業務紹介 ・舗装工事の品質管理の高度化に資する技術に関する技術公募について ・建設DXを実現する技術、開発体制、プロセス ・屋内外のパーソナルモビリティ自律走行の実現に向けデジタルツインの構築と実証 ・建設施工段階における汎用デジタルツインの構築とその実務利用 ・生産性向上に資するサプライチェーンマネジメントシステム開発 ・山岳トンネルCIM総合管理システムによる現場管理の高度化 ・施工現場の3次元点群データにおける建機の除去と補完技術 ・協調運転制御システム「T-iCraft」を南摩ダム本体建設工事に導入 ・CAT COMMAND コンソールとステーションについて ・建機の遠隔操作 K-DIVE について ・UAV グリーンレーザ計測の建設工事への適用性検証報告 ・AI によるシールド工事の計画・施工の省力化

【年間定期購読ご希望の方】

- ①書店でのお申し込みが可能です。お近くの書店へお問い合わせください。
- ②協会本部へのお申し込みは「年間定期購読申込書」に必要事項をご記入のうえ FAX をお送りください。

詳しくはHPをご覧ください。

年間定期購読料(12冊) 10,032円(税・送料込)

建設機械施工

第75巻第6号(2023年6月号)(通巻880号)

Vol.75 No.6 June 2023

2023(令和5)年6月20日印刷

2023(令和5)年6月25日発行(毎月1回25日発行)

編集兼発行人 金井道夫

印刷所 日本印刷株式会社

発行所 本部 一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番8号 機械振興会館内

電話(03)3433-1501; Fax(03)3432-0289; <http://www.jcmanet.or.jp/>

施工技術総合研究所 〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154

電話(0545)35-0212

北海道支 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

FA機器の最適無線化提案

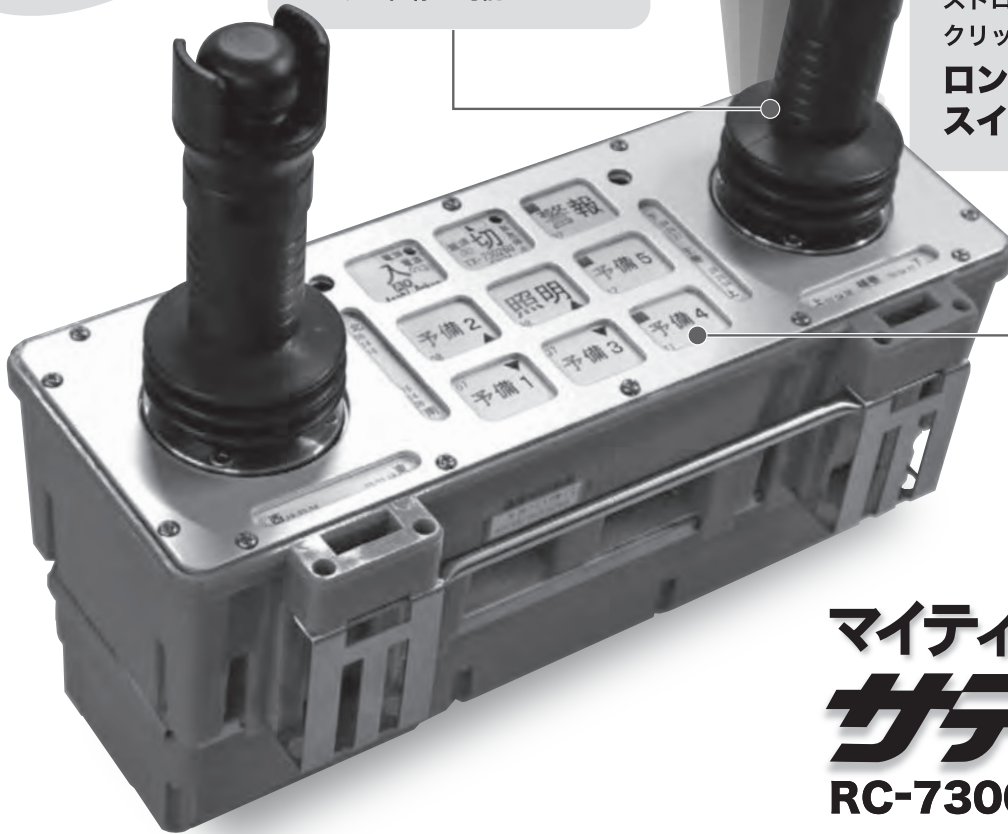
クレーン・搬送台車・建設機械・特殊車両他
産業機械用無線操縦装置

New!

自社開発した
**3ノッチ式
ジョイスティック**
中立位置に自動復帰
する仕様も可能!

自動復帰!

ストロークが深く、
クリックがハッキリ!
**ロングストローク
スイッチ**を標準採用



マイティ 429MHz帯・1.2GHz帯
特定小電力モデル対応
サテラ
RC-73000U/G シリーズ

スリムケーブルレス 5800シリーズ 好評発売中!

双方向データケーブルレス

《TC-1000808S》

**緊急停止
スイッチ** (オプション)

429MHz帯・1.2GHz帯
特定小電力モデル対応

フッシュロック、
ターンリセット型
キノコスイッチ



クレードルタイプ
充電台対応

**2段押3組
標準型**

- ・インバーター制御のクレーンに最適!
- ・クリック感ハッキリのロングストロークスイッチ

**429MHz
1216MHzが
同価格!!**



- ・見えない機械の制御もフィードバック!
- ・双方向制御がこの1セットで対応可能!
- ・新周波数920MHz帯を採用!



常に半歩、先を走る



朝日音響株式会社

〒771-1311 徳島県板野郡上板町引野字東原43-1 (本社工場) FAX.088-694-5544 TEL.088-694-2411
<http://www.asahionkyo.co.jp/>



無線工事のことならフルライン、フルオーダー体制の弊社に今すぐご相談下さい。また、ホームページでも詳しく紹介していますのでご覧下さい。

朝日音響 検索

変革は今ここから始まります。 ボルボ・バッテリー駆動コンパクトライン登場



私たちは、持続可能な世界を実現するための対策を早急にとる必要性があります。

ボルボ建機グループは、皆様の事業発展に貢献する幅広い電動式建設機械製品を提供していきます。

ADD POWER TO YOUR BUSINESS

Now we expand our electric range.



L25エレクトリック

運転質量5.4トン／1.0m³BK／モーター出力駆動系：
22kW／作業装置14kW／リチウムイオンバッテリー／
車載普通充電器／外部急速充電器／連続稼働時間：8時間
(作業内容により異なります。)／騒音レベル86.3dB



ECR25エレクトリック

運転質量：2.7トン／バケット容量：0.092m³／
モーター出力18kW／リチウムイオンバッテリー／
車載普通充電器／外部急速充電器／連続稼働時間：4時間
(作業により異なります。)／騒音レベル：84dB

本製品の詳細情報に関しては、下記へご連絡下さい。

ボルボ建機日本正規ディーラー

山崎マシーナリー株式会社

〒438-0216 静岡県磐田市飛平松216-1
TEL : 0538-66-1215
<https://www.y-machinery.jp>

第一東洋株式会社

〒701-0202 岡山県岡山市南区山田2117-65
TEL : 086-282-0141
<https://daiichi-toyo.co.jp>



V O L V O

GOMACO

Gomaco社の舗装機器は、どんなスリップフォーム工法にも対応します。



Commander III

最も汎用性の高い機種です。一般道路舗装のほか、路盤工事、河川工事、分離帯・縁石などの構造物構築に最適です。



RTP-500

長ブームの砕石・コンクリート搬入機です。このほかにも、ロック・ホッパーなどへの舗装支援機器として、どんなスリップフォーム機械にも対応可能です。



マシンケアテック株式会社

〒361-0056 埼玉県行田市持田1-6-23
TEL:048-555-2881 FAX:048-555-2884
URL: <http://www.machinecaretech.co.jp/>

ダム工事用コンクリート運搬テルハ(クライミング機能付)

重力式コンクリートダム等の新しいコンクリート運搬装置

コスト・安全・環境に配慮した最適な施工が行えます。

- 特長**
- コストパフォーマンスに優れる。
機械重量が比較的軽量で、構造がシンプルなので運搬能力に対して安価である。
 - 安全性に優れる
コンクリートバケットが堤体上空を横切らないので安全性に優れる。
 - 環境に優しい。
河床に設置されるので、ダム天端付近の掘削を少なくできる。
 - 大型機材の運搬も可能
専用吊り具で車両等の大型機材の運搬が可能。



吉永機械株式会社

〒130-0021 東京都墨田区緑4-4-3 TEL. 03-3634-5651
URL <http://www.yoshinaga.co.jp>

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

建設機械施工 広告掲載のご案内

月刊誌 建設機械施工では、建設機械や建設施工に関する論文や最近の技術情報・資料をはじめ、道路、河川、ダム、鉄道、建築等の最新建設報告等を好評掲載しています。

■職業別 購読者

建設機械施工 / 建設機械メーカー / 商社 / 官公庁・学校 / サービス会社 / 研究機関 / 電力・機械等

■掲載広告種目

穿孔機械 / 運搬機械 / 工事用機械 / クレーン / 締固機械 / 舗装機械 / 切削機 / 原動機 / 空気圧縮機 / 積込機械 / 骨材機械 / 計測機 / コンクリート機械等

広告掲載・広告原稿デザイン — お問い合わせ・お申し込み

サンタナアートワークス

広告営業部・田中 san-mich@zam.att.ne.jp

TEL:03-3664-0118 FAX:03-3664-0138

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-21-5 井手口ビル4F



建設機械施工 カタログ資料請求票

本誌に掲載されている広告のお問い合わせ、資料の請求はこの用紙を利用し、ファクシミリなどでお送りください。

※カタログ/資料はメーカーから直送いたします。 ※カタログ送付は原則的に勤務先にお送りいたします。

お名前: _____ 所属: _____

会社名(校名): _____

資料送付先: _____

電話: _____ F A X: _____

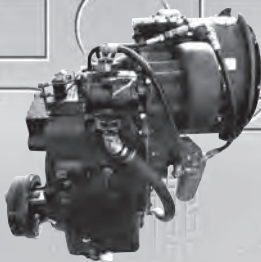
E-mail: _____

	広告掲載号	メーカー名	製品名
①	月号		
②	月号		
③	月号		
④	月号		
⑤	月号		

FAX 送信先: サンタナアートワークス 建設機械施工係 FAX:03-3664-0138

あらゆる建設機械／シールドマシン・・・
油圧機器の整備・再生

各種トランスミッション整備で相談に応じます。



建設機械用ZFトランスミッション

点検・整備は、日本ではマルマのみが対応

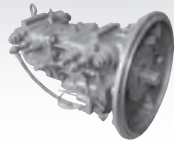


建設機械のあらゆる油圧機器

斜板式ダブルポンプ



斜板式ピストンポンプ



斜軸式ピストンモータ



シールドマシン用油圧機器



シールド用ジャッキ

電動モータ付ピストンポンプ

建機と共に半世紀以上。確かな「信頼」をお届けします！

整備・再生された各Ass'yは、自社独自開発の多機能油圧機器試験機により性能を確認。各テストのデータはデータベースとして保存され、出荷後、マッチング調整や、搬送されてきた同等品の確認テストに活用します。この万全を期した体制がマルマの高い信頼性の由縁です。



MH-R220は従来の油圧ドライブ型油圧機器試験機に比べ、インバータ制御電動モーター駆動、及びエネルギー回生回路の採用により大幅な消費電力量の削減を実現しました。大型油圧ポンプの試験も可能です。



マルマテクニカ株式会社

本社・相模原事業所 営業部 整備油機課

〒252-0331 神奈川県相模原市南区大野台6-2-1

TEL042 (751) 3809 FAX042 (756) 4389

E-mail:yuki@maruma.co.jp

東京工場 〒156-0054

E-mail:tokyo@maruma.co.jp

名古屋事業所 〒485-0037

E-mail:n-service@maruma.co.jp

東京都世田谷区桜丘1-2-22

TEL03 (3429) 2141 FAX03 (3420) 3336

愛知県小牧市小針2-18

TEL0568 (77) 3311 FAX0568 (77) 3719

URL <http://www.maruma.co.jp/>

精密さとパワーで建設の現場を支える。

発電機・溶接機・コンプレッサは抜群の性能を誇るデンヨー製品で!



発電機

図書館内並の低騒音を実現!
静音発電機マーリエ



50Hz-7m
43dB

DCA-25MZ

溶接機

最大溶接電流500A&インバータ制御
炭酸ガスエンジン溶接機



溶接電流 500A
(炭酸ガス/カウジング/手溶接)

交流電源
三相 25 kVA

DCW-500LSE

コンプレッサ

アフタクーラ/アフタウォーマ内蔵
電子制御で低燃費&低騒音



DIS-670LS-D



●技術で明日を築く

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

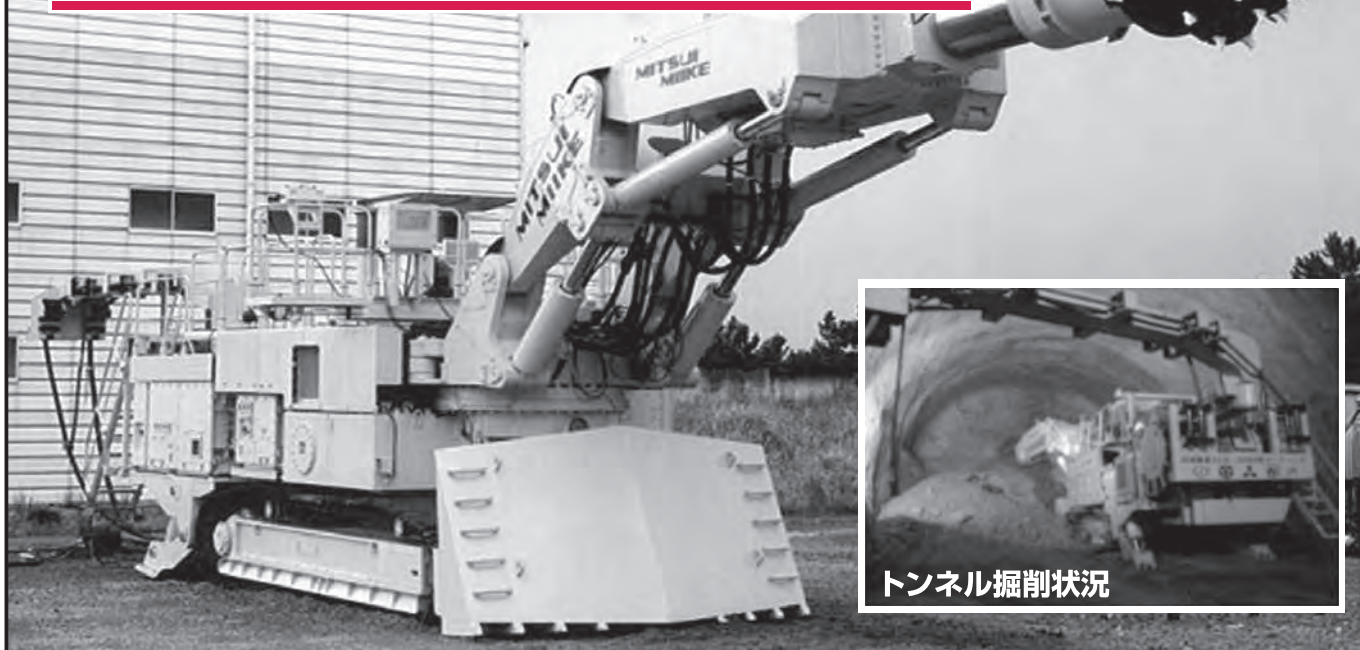
北関東営業所 TEL: 0276-74-6452
長野出張所 TEL: 080-1013-9542
中部営業所 TEL: 052-504-3434
金沢出張所 TEL: 080-1013-9538

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

全断面对应トンネル高速施工掘進機

ロードヘッドSLB-350S



大断面トンネルの高速施工を目指して

特 徴

- 国内最大の350/350kW定出力型2速切換式電動機を搭載しており、軟岩トンネルはもとより、中硬岩トンネルにおいても十分な掘削能力を発揮します。
- 切削部には中折れブームを採用しており、ベンチ長は最大5mまで確保できます。又、中折れブームを取り外しての全断面掘削、及び上半掘削も可能です。
- 中折れブームの取り外し、及び低速掘削を行うことにより、機体安定性と掘削トルクが増加し、中硬岩トンネル掘削時において高い効果を発揮します。(硬岩用ドラム使用)
- 油圧式のスライドデッキを機体両サイドに装備しており、機体幅より各々1mの張り出しが可能であるため、下部掘削時等におけるオペレータの視界が大幅に改善されます。
- ディーゼルエンジンの搭載により、ロードヘッド単独での走行が可能です。^{※1,2}

よって、機体移動に際し配線替えや別途発電機の準備が不要となり、作業時間が短縮されます。

※1 ディーゼルエンジンはオプション仕様となります。

※2 揺寄・コンベヤ仕様の場合、ディーゼルエンジンは搭載されません。



製造・販売・レンタル及びメンテナンス

 株式会社 三井三池製作所

本店/〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館
TEL.03-3270-2005 FAX.03-3245-0203

<http://www.mitsumiike.co.jp>

E-mail : sanki@mitsumiike.co.jp

A WIRTGEN GROUP COMPANY

 **WIRTGEN**



信頼のインテリジェンス

▶ www.wirtgen.com/milling

ヴィルトゲン新型路面切削機はデジタル化された切削システムで作業を効率化し、生産性を向上します。切削品質も最適化され、必要に応じて書面レポートを自動作成するオプションも実現します。経験豊富なユーザー様の情熱に傾聴し、効率的にデザインに取り入れて更なる革新を共に目指します。

ヴィルトゲン・ジャパン株式会社

東京都千代田区神田神保町2-20-6・tel 03-5276-5201・fax 03-5276-5202・www.wirtgen-group.com/japan

雑誌 03435-6



4910034350636
00800

「建設機械施工」

定価 八八〇円 (本体八〇〇円 + 税10%)