

一般社団法人
日本建設機械施工協会誌（Journal of JCMA）

2021

建設機械施工



Vol.73 No.4 April 2021（通巻854号）

特集 インフラ点検・検査 管理システム



ドローンを使用した赤外線撮影における、タイル浮きAI判定技術の開発

巻頭言 建設施工DXへの点検・検査・管理システムのあり方についての考察

技術報文

- UAVとSfMを活用した橋梁3次元モデル作成手順の紹介
- ドローン撮影画像を用いた簡易な路面ひび割れ測定技術の開発
- 飛行船型の水路トンネル調査ロボットの開発
- NEXCO中日本・東京支社管内のリニューアルプロジェクトの概要 他

行政情報

- インフラメンテナンス新技術・体制等導入推進委員会の取り組み
- 下水道施設管理の省力化・低コスト化に向けた新技術の開発

交流の広場

- 土木・建設現場における物流ドローン活用から空飛ぶクルマへ
- 高齢社員の更なる活躍を推進する会社をめざして

一般社団法人 日本建設機械施工協会

KOBELCO

掘削サイクル
タイムアップ
8%
従来機とのHモードでの比較



新型13t特設サイト

Performance **X** Design

それは未来に挑むための 次世代のパフォーマンス。

サイクルタイムを8%向上させた掘削性やNETISに新規登録された先進技術。
快適性、操作性を高めたインテリアデザイン。
数々の技術を磨き上げ、進化を遂げたSK135SRの誕生です。

NETIS登録
省工率技術搭載型バックホウ
登録番号: KT-200147-A
イーグルアイビューステム
登録番号: KT-200085-A

2020年燃費基準達成建設機械 ★ ★ ★
国土交通省 燃費基準達成建設機械認定制度
SK125SR-7は申請予定。



SK135SR
SK125SR SK130SR+

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

関係部署にも回覧をお願いします

橋梁架設工事及び設計積算業務の必携書

橋梁架設工事の積算

令和2年度版

∞∞∞ 改定・発刊のご案内 ∞∞∞

一般社団法人 日本建設機械施工協会

謹啓、時下益々ご清祥のこととお喜び申し上げます。

平素は当協会の事業推進について、格別のご支援・ご協力を賜り厚く御礼申し上げます。

さて、このたび国土交通省の土木工事積算基準が改正され、令和2年4月以降の工事費の積算に適用されることに伴い、また近年の橋梁架設工事の状況、実績等を勘案し、当協会では「橋梁架設工事の積算 令和2年度版」を発刊することと致しました。

なお前年度版同様、橋梁の補修・補強工事の積算に際し、その適用範囲や積算手順をわかりやすく解説した「橋梁補修補強工事積算の手引き 令和2年度版」を別冊（セット）で発刊致します。

つきましては、橋梁架設工事の設計積算業務に携わる関係各位には是非ご利用いただきたくご案内申し上げます。 敬具

◆内容

令和2年度版の構成項目は以下のとおりです。

- 〈本編〉 第1章 積算の体系
- 第2章 鋼橋編
- 第3章 PC橋編
- 第4章 橋梁補修
- 第5章 橋梁架設用仮設備機械等損料算定表
- 〈別冊〉 橋梁補修補強工事 積算の手引き
(補修・補強工事積算の適用範囲・手順の解説)

◆改訂内容

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

1. 鋼橋編
 - ・架設用仮設備機械複合損料の改定
 - ・現場溶接用ストロングバック切断歩掛の策定
 - ・トラベラクレーン、ケーブルクレーンによる合成床版架設工歩掛の策定
2. PC橋編
 - ・架設機械複合損料、支保工賃料の改訂
 - ・PC橋片持架設工、架設支保工工法、外ケーブルPCケーブル工の供用日数改訂
 - ・架設支保工工法の支保工数量適用範囲の改訂
3. 橋梁補修編
 - ・二段足場（橋脚回り足場用）歩掛の策定
 - ・チェーン盛り替え工（裏面吸音板用）歩掛の改定
 - ・鉛、PCB別に必要な環境対策資機材と衛生保護具を確認できる表に変更および単価の改定（湿式剥離剤工法）
 - ・排水管撤去工、仮排水設備工歩掛の策定

別冊「橋梁補修補強工事 積算の手引き」

- ・本編改定内容を反映



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

●定価

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

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

●発刊 令和2年5月20日

関係部署にも御回覧をお願いします。

大口径・大深度の削孔工法の設計積算に欠かせない必携書

大口径岩盤削孔工法の積算

令和2年度版

∞∞∞ 改訂・発刊のご案内 ∞∞∞

令和2年5月 一般社団法人 日本建設機械施工協会

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

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

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

◆ 内容

令和2年度版の構成項目は以下のとおりです。

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

◆ 改訂内容

令和元年度版からの主な改訂事項は以下のとおりです。

国土交通省土木工事標準積算の改正に伴う改訂

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

● A4判／約230頁（カラー写真入り）

● 価格

一般価格：本体6,000円＋消費税

会員価格：本体5,100円＋消費税

※ 送料は一般・会員とも

沖縄県以外 700円

沖縄県 450円（但し県内に限る）

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

● 発刊 令和2年5月15日



令和2年度版 建設機械等損料表

■発売日：令和2年5月15日

■体裁：A4判 モノクロ 約480ページ

■本体価格(税別・送料別)

一般価格 8,000円 会員価格 6,800円

■内容

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



■参考

近日発売予定の「よくわかる建設機械と損料2020」も併せてご活用ください。

(特長)

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

一般社団法人 日本建設機械施工協会

2019年版 日本建設機械要覧 電子書籍(PDF)版 発売通知

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

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

是非とも活用いただきたく、お願い申し上げます。

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

発売時期

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

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

Webサイト 要覧クラブ

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

また、同じ要覧クラブ上で新機種情報も閲覧およびダウンロードできます。



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

2019年版 日本建設機械要覧

発売のご案内

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

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



発刊日

平成31年3月

体裁

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

価格（消費税10%含む）

一般価格 53,900円（本体49,000円）

会員価格 45,100円（本体41,000円）

（注）送料は1冊900円（複数冊の場合別途）

特典

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

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

2019年版 内容

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

論文投稿のご案内

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

当協会ホームページ <http://www.jcmanet.or.jp>

★投稿対象

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

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

★部門

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

★投稿資格

原稿の投稿者は個人とし、会員資格の有無は問いません。

★原稿の受付

随時受け付けます。

★公表の方法

当協会機関誌へ掲載します。

★機関誌への掲載は有料です。

★その他：優秀な論文の表彰を予定しています。

★連絡先

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 (機械振興会館)

日本建設機械施工協会 研究調査部 論文担当

E-mail : ronbun@jcmanet.or.jp

TEL : 03 - 3433 - 1501

FAX : 03 - 3432 - 0289

◆ 日本建設機械施工協会『個人会員』のご案内

会費：年間 9,000円(不課税)

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

★個人会員の特典

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

この機会に是非ご入会下さい!!

◆一般社団法人 日本建設機械施工協会について

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

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

一般社団法人 日本建設機械施工協会とは…

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

■会員構成

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

■主な事業活動

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

■主な出版図書

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

その他、日本建設機械施工協会の活動内容はホームページでもご覧いただけます！

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

※お申し込みには次頁の申込用紙をお使いください。

【お問い合わせ・申込書の送付先】

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

一般社団法人 日本建設機械施工協会 会長 殿

下記のとおり、日本建設機械施工協会 個人会員に入会します。

令和 年 月 日

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

【会費について】年間 9,000円(不課税)

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

【その他ご入会に際しての留意事項】

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

【個人情報の取扱について】

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

一般社団法人日本建設機械施工協会 発行図書一覧表 (令和3年4月現在) 消費税10%

No.	発行年月	図 書 名	一般価格 (税込)	会員価格 (税込)	送料
1	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	700
2	R2年 5月	よくわかる建設機械と損料 2020	6,600	5,610	700
3	R2年 5月	橋梁架設工事の積算 令和2年度版	11,000	9,350	900
4	R2年 5月	大口径岩盤削孔工法の積算 令和2年度版	6,600	5,610	700
5	R2年 5月	令和2年度版 建設機械等損料表	8,800	7,480	700
6	R元年 9月	大口径岩盤削孔工法の積算 令和元年度版	6,600	5,610	700
7	R元年 6月	日本建設機械要覧 2019年電子書籍 (PDF) 版	66,000	55,000	-
8	R元年 6月	建設機械スペック一覧表 2019年電子書籍 (PDF) 版	60,500	49,500	-
9	R元年 5月	橋梁架設工事の積算 令和元年度版*	11,000	9,350	250
10	R元年 5月	令和元年度版 建設機械等損料表	8,800	7,480	700
11	H31年 3月	日本建設機械要覧 2019年版	53,900	45,100	900
12	H30年 8月	消融雪設備点検・整備ハンドブック	13,200	11,000	700
13	H30年 5月	よくわかる建設機械と損料 2018	6,600	5,610	700
14	H29年 4月	ICTを活用した建設技術 (情報化施工)	1,320	1,100	700
15	H28年 9月	道路除雪オペレータの手引	3,850	3,080	700
16	H26年 3月	情報化施工デジタルガイドブック 【DVD版】	2,200	1,980	700
17	H25年 6月	機械除草安全作業の手引き	990	880	250
18	H23年 4月	建設機械施工ハンドブック (改訂4版)	6,600	5,604	700
19	H22年 9月	アスファルトフィニッシャの変遷	3,300		700
20	H22年 9月	アスファルトフィニッシャの変遷 【CD】	3,300		250
21	H22年 7月	情報化施工の実務	2,200	1,885	700
22	H21年 11月	情報化施工ガイドブック 2009	2,420	2,200	700
23	H20年 6月	写真でたどる建設機械 200年	3,080	2,608	700
24	H19年 12月	除雪機械技術ハンドブック	3,143		700
25	H18年 2月	建設機械施工安全技術指針・指針本文とその解説	3,520	2,933	700
26	H17年 9月	建設機械ポケットブック (除雪機械編)	1,048		250
27	H16年 12月	2005「除雪・防雪ハンドブック」(除雪編)*	5,238		250
28	H15年 7月	道路管理施設等設計指針(案) 道路管理施設等設計要領(案)**	3,520		250
29	H15年 7月	建設施工における地球温暖化対策の手引き	1,650	1,540	700
30	H15年 6月	道路機械設備 遠隔操作監視技術マニュアル(案)	1,980		700
31	H15年 6月	機械設備点検整備共通仕様書(案)・機械設備点検整備特記仕様書作成要領(案)	1,980		700
32	H15年 6月	地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル	550		250
33	H13年 2月	建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック (第3版)	6,600	6,160	700
34	H12年 3月	移動式クレーン、杭打機等の支持地盤養生マニュアル (第2版)	2,724	2,410	700
35	H11年 10月	機械工事施工ハンドブック 平成11年度版	8,360		700
36	H11年 5月	建設機械化の50年	4,400		700
37	H11年 4月	建設機械図鑑	2,750		700
38	H10年 3月	大型建設機械の分解輸送マニュアル*	3,960	3,520	250
39	H9年 5月	建設機械用語集	2,200	1,980	700
40	H6年 8月	ジオスペースの開発と建設機械	8,382	7,857	700
41	H6年 4月	建設作業振動対策マニュアル	6,286	5,657	700
42	H3年 4月	最近の軟弱地盤工法と施工例	10,266	9,742	700
43	S63年 3月	新編 防雪工学ハンドブック 【POD版】	11,000	9,900	700
44	S60年 1月	建設工事に伴う濁水対策ハンドブック*	6,600		250
45		建設機械履歴簿	419		250
46	毎月 25日	建設機械施工	880	792	700
			定期購読料 年12冊 9,408円(税・送料込)		

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

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

インフラ点検・検査・ 管理システム

特集

巻頭言

4 建設施工 DX への点検・検査・管理システムのあり方についての考察

大西 有三 京都大学名誉教授、ドローン測量教育研究機構 代表理事

行政情報

5 インフラメンテナンス新技術・体制等導入推進委員会の取り組み 新技術導入による自治体のインフラ維持管理効率化

宇都宮 悠 国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課 インフラ情報・環境企画室 係長

11 下水道施設管理の省力化・低コスト化に向けた新技術の開発 B-DASH プロジェクト (下水道革新的技術実証事業)

村岡 正季 国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部 下水道企画課

特集・
技術報文

19 UAV と SfM を活用した橋梁 3 次元モデル作成手順の紹介 中景撮影の導入による、部材単位での 3 次元化

服部 達也 元：国立研究開発法人土木研究所 技術推進本部 先端技術チーム 主任研究員

現：国土交通省 関東地方整備局 関東技術事務所 建設専門官

下川 光治 元：国立研究開発法人土木研究所 技術推進本部 先端技術チーム 交流研究員

現：アジア航測㈱ 先端技術研究所 主任技師

藤井 優 鳥取県 県土整備部 技術企画課 参事

25 鋼橋の疲労き裂に関する近接目視点検教育システムの開発 効率的に点検技術の向上を図る点検訓練シミュレータ

日名 誠太 首都高速道路㈱ 保全・交通部 点検・補修推進室 保全技術課 係員

30 UAV を用いた橋梁点検 3D デジタル納品の普及を目指して

加藤 直也 ㈱デンソー まちづくりシステム開発部 UAV ソリューション事業推進室 担当部長

光田 徹治 ㈱デンソー まちづくりシステム開発部 UAV ソリューション事業推進室 室長

35 測量から ICT ショベルまで兼用できる汎用性の高い現場管理システム ワンマン施工・管理システム「杭ナビショベル」

杉本 明 ㈱トブコンポジショニングアジア 営業サポート部 プロフェッショナルサポート課 シニアエキスパート

平岡 茂樹 ㈱トブコンポジショニングアジア 営業サポート部 プロフェッショナルサポート課 スペシャリスト

43 ドローン撮影画像を用いた簡易な路面ひび割れ測定技術の開発

其田 直樹 ㈱ NIPPO 総合技術部 ICT 推進グループ 係長

相田 尚 ㈱ NIPPO 総合技術部 生産開発センター センター長

高幣 玲児 ㈱ビー・ナレッジ・デザイン 代表取締役

48 屋内自律飛行ドローンによる床コンクリートひび割れ検査システム

高井 茂光 西松建設㈱ 技術研究所 上席研究員

山城 健生 ㈱自律制御システム研究所 事業推進ユニット・カスタマーリレーション

荒井 利典 ㈱ムサシ

54 ドローンを使用した赤外線撮影における、タイル浮き AI 判定技術の開発 スマートタイルセイバー

菊池 亮人 ㈱竹中工務店 東京本店 技術部 課長

59 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

原田 耕司 西松建設㈱ 技術研究所 主席研究員

64 MR デバイスを活用した水路トンネルの調査・点検手法と維持管理業務の効率化

水路トンネル調査・点検ナビゲーションシステムの開発と適用

大津 慎一 三井住友建設㈱ 技術本部 建設情報技術部

	69	データ利活用型の現場管理システムの開発 T-iDigital Field	太田 兵庫 大成建設㈱ 技術センター 生産技術開発部 スマート技術開発室 ダム・地盤チーム 課長代理 片山 三郎 大成建設㈱ 技術センター 生産技術開発部 スマート技術開発室 ダム・地盤チーム チームリーダー 石井 喬之 大成建設㈱ 技術センター 生産技術開発部 スマート技術開発室 ダム・地盤チーム
	74	橋梁床版の急速取替と継手検査システムの開発 コッター床版工法	髯谷 亮太 ㈱熊谷組 土木事業本部 橋梁イノベーション事業部 事業部長 竹下 嘉人 ㈱熊谷組 土木事業本部 ICT推進室
	80	NEXCO 中日本・東京支社管内のリニューアルプロジェクトの概要	金田 暎 中日本高速道路㈱ 東京支社 保全・サービス事業部 構造技術課 課長代理 藤本 貴正 中日本高速道路㈱ 東京支社 保全・サービス事業部 構造技術課 係長 梅澤 祥太 中日本高速道路㈱ 東京支社 保全・サービス事業部 構造技術課 係長
交流のひろば	88	土木・建設現場における物流ドローン活用から空飛ぶクルマへ SkyDrive が描く未来	佐藤 剛裕 ㈱SkyDrive カーゴドローン部 部長補佐 根本 拓弥 ㈱SkyDrive カーゴドローン部 チーフエンジニア
	93	高年齢社員の更なる活躍を推進する会社をめざして 高年齢者から若年者まで多角的な職場改善を実行	磯上 武章 ㈱忠武建基 取締役会長
ずいそう	98	書道の魅力	井内 大貴 コベルコ建機㈱ 技術開発本部
	100	未来にはばたけ我らタック (社内合宿発表)	瀧川 信二 ㈱タック 代表取締役社長
	103	70年以上前,私の田舎では,電気自動車は既に実用化されていた	古川 恒雄 ㈱イノアック住環境 技術顧問
部会報告	105	中部電力(株)「清内路(発)新設工事の内 土木・建築本工事」見学会 報告	機械部会 トンネル機械技術委員会
統計	110	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
	111	行事一覧 (2021年2月)	
	114	編集後記 (上田・新井)	

◇表紙写真説明◇

ドローンを使用した赤外線撮影における, タイル浮き AI 判定技術の開発

写真提供: ㈱竹中工務店

2020年6月頃, 都内高層建物(高さ約120m)の外壁調査(試験段階の調査目的)において, ドローンを使用した赤外線撮影におけるタイル浮き調査を実施した。独自開発アルゴリズムにより, 熱画像からタイル1枚1枚に対し自動的に浮き判定する技術を開発し, 人的負担の低減, 判断基準の定式化, 出力結果の厳密化を図ることができた。

2021年(令和3年)4月号PR目次
【ア】朝日音響㈱……………後付1
【カ】コスモ石油ルブリカンツ㈱…後付4
コベルコ建機㈱……………表紙2

【サ】サイテックジャパン㈱……………表紙4
【タ】デンヨー㈱……………後付7
㈱トプコンソキアポジショニング
ジャパン……………後付8

大和機工㈱……………表紙3
【マ】マルマテクニカ㈱……………後付6
三笠産業㈱……………後付5

㈱三井三池製作所……………表紙3
【ヤ】吉永機械㈱……………後付2

巻頭言

建設施工 DX への点検・検査・管理システムのあり方についての考察

大西 有三



新型コロナウイルスの影響で WEB 会議などのデジタルツールが急速に普及したことから、人々はデジタル技術が不可欠だとの認識を深め、DX (Digital Transformation) に基づく業務の更なる効率化や働き方の抜本的な見直しが必要なことに気づきつつある。建設施工における点検・検査・管理システムでも建設 DX は不可避と考えられるが、ここでは個別技術の最近の動向については本紙の個々の報文に譲り、全体の流れの「あり方」についての考察を行う。

さて DX とは「IT の活用を通じて、ビジネスモデルや組織を変革し、価値提供の方法を抜本的に変えること」とされているが、IT 化すればいいと思われがちである。「IT 化」と「DX」の違いは、前者が業務効率化などを「目的」としてデジタル化を進めるのに対し、後者はそれを「手段」として変革を進めると捉えられている。

建設分野においてもデータとデジタル技術を活用して業務そのものや組織、プロセス、働き方等を改革する動きがある。「アナログ産業」の代名詞として語られてきた建設産業では、IT の活用や多様な働き方の導入が製造業などに比べると進んでおらず、建設業の付加価値労働生産性はこの 20 年変わらず、全産業に比べてほぼ 70% 程度で低迷している。こうした状況を受けて、国交省が 2015 年に打ち出した「i-Construction」と呼ぶ施策を基にして、公共・土木の分野で急速にデジタル化を進めつつある。

「i-Construction」は、建設生産・管理システム全体を 3 次元デジタルデータで繋いで、ICT や BIM/CIM, AI などの新技術、新材料、新工法などを積極的に活用することによって生産性の向上を目指すものである。関連する技術には、IoT, ICT, ドローン, レーザー, AI (人工知能), ロボット, 5G, ブロックチェーン, RPA などがある。

建築分野では、すでに企画や設計・施工の各段階で BIM に踏み込んでいる。3 次元 BIM モデルを活用して、構造部材やコンクリート内の鉄筋部材が別の部材と干渉していないか検証したり、工事着手前にコンピューター上で工程計画を練ったりと、様々な面で活用され

ている。すなわち、以前から製造業で活用されてきた「フロントローディング」や「コンカレント エンジニアリング」といったプロジェクトの進め方を建設産業に取り入れ、生産性を高めている。国土交通省は 2019 年 6 月に「建築 BIM 推進会議」を設置し、建物の設計や施工、維持管理などの各段階で一貫して BIM を活用する際の標準的なワークフロー、データの受け渡しルール、メリットなどを整理している。

土木分野では「i-Construction」施策を打ち出してから、測量から調査、設計、施工、検査、維持管理・更新に至るあらゆるプロセスで ICT を活用するため、BIM/CIM をその基盤として生産性を高めようとしてきた。しかし、現状は段階ごとの利用にとどまり、データ利用の「一気通貫」がなされていない状況にとどまっている。

インフラへの「i-Construction」適用では、あらゆる工程でのデータの 3 次元化処理が中心となっており、ドローンによる 3 次元情報の取得は、省力化・安全性の向上に役立つとされている。しかし、3 次元点群データを構築し、空間図形を作成しただけでは肝心の座標が抜けているために、時系列での比較など重要な処理の精度が悪くなる。測量から検査、維持管理に至るあらゆる段階で、共通基準となる公共座標系が入っていないければ、データの「一気通貫」利用もおぼつかない。

一方、効率化のためにインフラ維持管理の省力化をはじめ、施工管理の効率化や高度化などに AI の活用が期待されている。点検・検査・管理の各段階で大量のデータが得られるが、AI が効力を発揮するのは、ある領域をカバーする良質のビッグデータがあることが前提である。建設関連分野におけるビッグデータの存在は極めて少ない上に、業界内でデータを集積する共通システムが出来上がっておらず、組織間でバラバラ、またあったとしても整理されていない。今後生産性向上に向けて、AI 処理に対応出来る点検・検査・管理データの収集・蓄積が求められる。

— おおにし ゆうぞう

京都大学名誉教授、ドローン測量教育研究機構 代表理事—

行政情報

インフラメンテナンス新技術・体制等導入推進委員会の取り組み 新技術導入による自治体のインフラ維持管理効率化

宇都宮 悠

自治体では様々な制約条件の中でインフラメンテナンスを行う必要があり、効率的に行うため生産性を向上させる「新技術」の導入が求められている。しかしながら、新技術の導入に向けては様々な課題がある。本取り組みでは、その課題を解決するためにモデル自治体において現場試行を実施し、新技術導入の手引き（案）を作成する。本稿では、インフラメンテナンス新技術・体制等導入推進委員会やモデル自治体で実施する現場試行 WG（ワーキンググループ）の取り組み内容について紹介する。

キーワード：インフラメンテナンス、点検の効率化、新技術導入、自治体、官民マッチング

1. はじめに

自治体では、限られた予算や人員で多くの施設のメンテナンスを行う必要があり、効率的に行うため生産性を向上させる「新技術」の導入が求められている。国土交通省では、「インフラメンテナンス国民会議」（2020年12月14日時点：会員数2,143者。以下、「国民会議」という）において、自治体のニーズ・企業のシーズ技術のマッチングによる現場試行・導入に取り組んでおり、国民会議を通じて紹介された技術の社会実装数は着実に増加している（2020年3月時点：8技術、73件）。しかしながら、新技術の導入に向けては課題があり、主に「自治体側でのニーズ抽出上の課題」、「ニーズとシーズのマッチング上の課題」、「自治体内部の合意形成上の課題」の3つが考えられる（表—1）。技術導入の支援を実施することを目的に、「インフラメンテナンス新技術・体制等導入推進委員会」（※敬称略 委員長：岩波光保（東京工業大学 教授）、委員：

植野芳彦（富山市 政策参与）、福田敬大（国土技術政策総合研究所 部長）、吉田典明（インフラメンテナンス国民会議 実行委員・企画部会幹事）。以下、「導入推進委員会」という）を設置した。

2. インフラメンテナンス新技術・体制等導入推進委員会

導入推進委員会の取り組みは、内閣府の「官民研究投資拡大プログラム（PRISM）」において実施している。

導入推進委員会では、全国の取り組みを効率化するため、全国に広く展開できる複数自治体に共通するニーズ・シーズのマッチングにおける課題を整理して、現場試行を行い、新技術の導入を推進する仕組みを検討して、「新技術導入の手引き（案）」を作成する（表—2）。

国民会議における既存の取り組みが自然発生的な

表—1 自治体における新技術導入に向けた課題

①自治体側でのニーズ抽出上の課題

自治体の課題把握が漠然としており、解決策のイメージがないため、自治体側でニーズの抽出が適切にできていない場合がある。

②ニーズとシーズのマッチング上の課題

国民会議が主体となったマッチングでは、マッチングの場に技術的なコーディネーターを行う者が不在のため、自治体の漠然としたニーズに対して適切なシーズの組み合わせがなされていない場合がある。

③自治体内部の合意形成上の課題

自治体内に従来の技術と比較しながら、わかりやすく新技術のメリットを説明できる者が不在の場合があり、自治体内部の合意形成が図りにくい。

マッチングであるのに対して、導入推進委員会のモデル自治体における現場試行では、ニーズ・シーズのマッチングのコーディネート、現場試行、自治体内部の合意形成に支援をすることで、自治体の新技術導入を加速化するものである（図-1）。

3. 現場試行 WG（ワーキンググループ）

令和2年度は、本取り組みの第2サイクルに該当する。第2サイクルの実施体制・実施内容を図-2に示す。本取り組みでは、導入推進委員会に加えて、現場試行

表-2 インフラメンテナンス新技術・体制等導入推進委員会の役割

- ①複数自治体の共通課題から技術のテーマを選定
 - ・自治体が有する課題の抽出
 - ・技術のテーマの選定方法
- ②モデル自治体で現場試行を実施し、新技術を導入する手法を検討
 - ・ニーズとシーズのマッチング方法
- ③全国的に活用できる「新技術導入の手引き（案）」をとりまとめ
 - ・自治体における新技術導入方法
 - ・全国横断的な新技術の展開方法 等

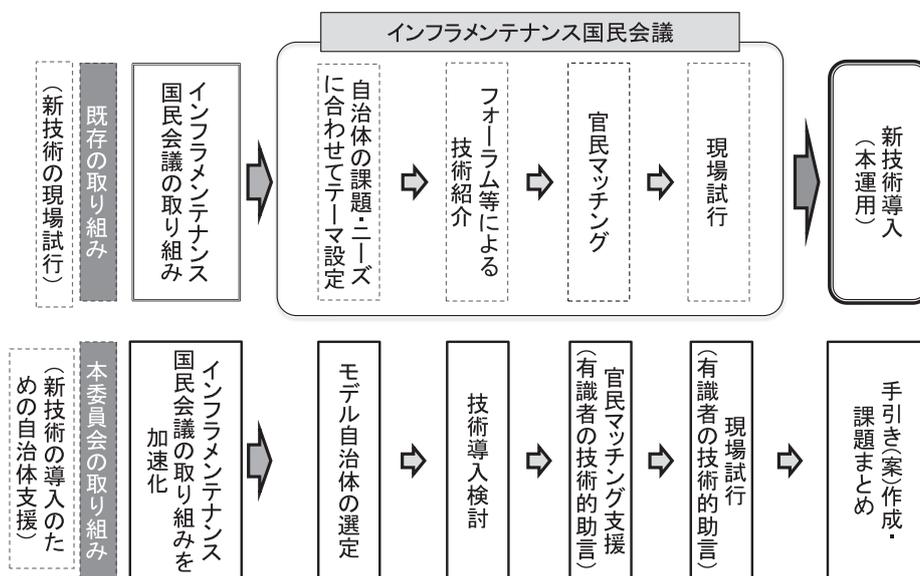


図-1 インフラメンテナンス新技術・体制等導入推進委員会の役割

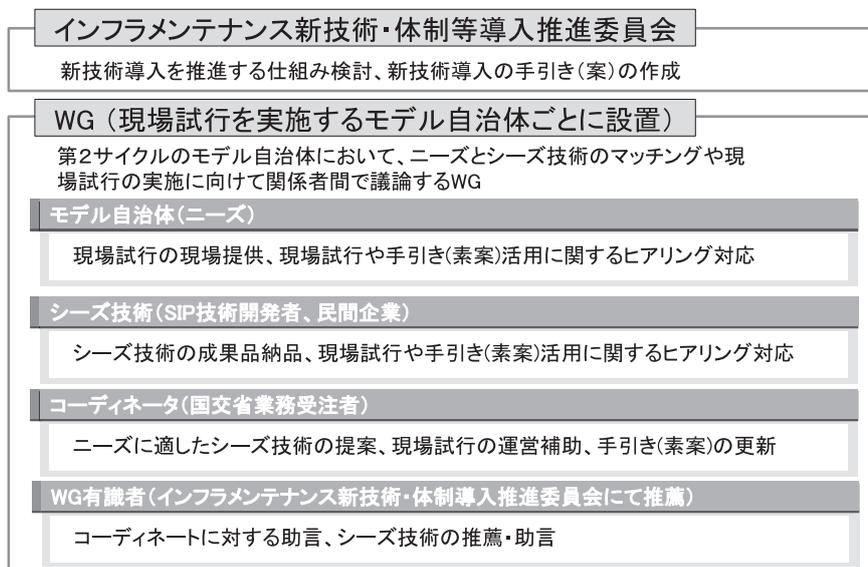


図-2 第2サイクルの実施体制・実施内容

を実施するモデル自治体ごとに現場試行 WG を設置する。現場試行 WG では、第 2 サイクルのモデル自治体において、ニーズとシーズのマッチングや現場試行の実施に向けて関係者間で議論する。また第 2 サイクルのモデル自治体では、第 1 サイクルで作成した「新技術導入の手引き（素案）」を、現場試行期間を通じて活用していただき、内容の改善点について検討を行う（表—3）。

4. モデル自治体の選定

現場試行を実施する上で、新技術の導入意向があり、現場試行の実施が可能な市町村をモデル自治体と

して公募した。モデル自治体の募集概要および選定の考え方を表—4、5 に示す。

募集の結果、「静岡県・静岡市」および「山梨県北杜市」の 2 自治体から応募があった。応募内容を表—5 のモデル自治体選定の考え方に当てはめ、同 2 自治体をモデル自治体として選定した（図—3）。応募内容を図—4 に示す。

なお、モデル自治体における WG の有識者として、「静岡県・静岡市」では、（※敬称略）今井龍一（法政大学 教授）、今泉文寿（静岡大学 教授）、竹内渉（東京大学 教授）、「山梨県北杜市」では、今井龍一（法政大学 教授）、齊藤成彦（山梨大学 教授）、前川亮太（土

表—3 現場試行 WG の役割

<p>①現場試行の実施計画</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自治体ニーズとシーズ技術者のマッチング報告 ・現場試行の実施計画について検討 等 <p>②現場試行の結果報告と評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・現場試行の結果報告 ・シーズ技術の現場実装に対する評価 等 <p>③「新技術導入の手引き（素案）」の改善点について検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・現場試行を踏まえ、「新技術導入の手引き（素案）」に反映すべき事項について検討

表—4 モデル自治体の募集概要

<p>①募集内容</p> <ul style="list-style-type: none"> ・インフラメンテナンスの効率化に向け新技術の導入を検討する現場 <p>②応募主体</p> <ul style="list-style-type: none"> ・インフラメンテナンスに悩み・課題を抱える市町村 <p>③支援内容</p> <ul style="list-style-type: none"> ・地方自治体（ニーズ）と技術開発企業（シーズ）のマッチング ・現場試行の運営支援 ・現場試行結果を踏まえた自治体内部の合意形成支援 ・WG の運営支援（プレゼン資料の作成支援、第三者的な観点からのコメント、議事録作成など） <p>④募集要件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・SIP インフラで開発された技術（以下、「SIP 技術」という）等の新技術を活用して現場試行を行い、インフラ維持管理に関する課題の解決を目指す市町村（施設管理者）あるいはそれらで構成される団体。複数市町村等による応募の場合は、都道府県が含まれても構わない。

表—5 モデル自治体選定の考え方

<p>①応募自治体が共有可能な課題</p> <p>新技術の導入にあたって、応募自治体の多くが共有し、参考とすることができる課題であること。</p> <p>②マッチングの実現性</p> <p>新技術の導入を推進する仕組みを検討するにあたって、有効なニーズ・シーズマッチングの形成が期待できる課題であること。</p> <p>③社会実装の有効性</p> <p>新技術導入による当該課題の解決が、社会的に大きな影響（効果）を与えるものであること。</p> <p>④広域的な導入の展開</p> <p>新技術の導入について、特に単独での検討が難しい小規模自治体などを含めた広域的自治体横断的な導入の展開が期待できる課題であること。</p>

静岡県・静岡市 基礎の洗掘・地すべりの変位を広域的に把握する技術			
①共有可能な課題	②マッチングの実現性	③社会実装の有効性	④広域的な導入の展開
<ul style="list-style-type: none"> 洗掘・地すべり等、多くの市町村で普遍的と考えられる課題である。 	<ul style="list-style-type: none"> 新技術に求める要件(機能)を具体的に提示しており、WGによる有効なニーズ・シーズマッチングが期待できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 自然災害が激甚化する中で、急流河川での下部工洗掘や地すべりなど、災害対応としての変位把握の重要性は高い。 同市は過年度点群データの活用方法についても検討しており、点群データの取得から活用に至る総合的な効果が期待できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 災害に脆弱な箇所における自治体横断的(垂直・水平連携)な検討が期待できる。
山梨県北杜市 市道全体の舗装の損傷を、安価・高速に点検する技術			
①共有可能な課題	②マッチングの実現性	③社会実装の有効性	④広域的な導入の展開
<ul style="list-style-type: none"> 舗装の損傷(わだち等)は、多くの市町村で普遍的と考えられる課題である。 	<ul style="list-style-type: none"> 新技術に求める要件および想定対象箇所を具体的に提示しており、WGによる有効なニーズ・シーズマッチングが期待できる。 	<ul style="list-style-type: none"> 多くの市町村で維持補修の予算が限られており、保有する舗装全体を点検することは難しい。 予算内で早く調査・解析・対策できる技術を実装したい市町村は多い。 	<ul style="list-style-type: none"> 多くの市町村の施設管理・財政状況等は同様の状況であることから、自治体横断的(垂直・水平連携)な検討が期待できる。

図-3 モデル自治体の選定

自治体名	対象分野	対象	課題・悩みの詳細	技術に求める要件
静岡県・静岡市	道路・河川	<ul style="list-style-type: none"> 道路構造物(河川上の橋梁、地すべり地帯のトンネル・舗装) 橋脚周辺等の局所的な河床変動 	<ul style="list-style-type: none"> 急流河川では頻繁に流路が変わるため河床が安定せず、河川内に設置された橋梁の基礎の洗掘、移動・沈下が発生。 地すべり地帯に設置されている橋梁、トンネル、舗装は、地すべり等の地盤変状に伴う損傷が発生。 突発的に発生し構造物に甚大な被害を与えるが、予防保全的な対策は困難。 	<ul style="list-style-type: none"> 広域・短時間・移動計測・遠隔操作などの技術要素を含む地盤や構造物の観測技術。 ① 山間地の河川を横過する橋梁について、河床変動と橋脚基礎の状況が把握できる技術 ② 山間地の地すべり地帯の橋梁、トンネル、舗装等について、構造物と周辺地盤の変状を広域的に把握できる技術
山梨県北杜市	道路	<ul style="list-style-type: none"> 道路舗装 	<ul style="list-style-type: none"> 近年の大型車両の交通量の増加により、わだち掘れや亀甲状のクラックが多数発生。 予算に制限があることから、全市道の調査・解析・対策の検討は困難。 	<ul style="list-style-type: none"> 走行・空撮・その他の方法による舗装面の劣化・損傷状況の調査および解析。 地方自治体でも導入可能なコスト。(成果が得られる範囲内)

図-4 応募内容

木研究所 主任研究員)を推薦し、WGの議論に対する技術的な助言をいただく。

5. 現場試行

2モデル自治体において、それぞれの応募内容に沿って現場試行を実施する。現場試行で用いられる新技術の概要を以下に記す。

- (1) 山梨県北杜市「市道全体の舗装の損傷を安価・高速に点検する技術」
市道全体の舗装の損傷を安価・高速に点検する技術

として、スマートフォンによる路面性状把握システム¹⁾を用いる。本技術は、スマートフォンなどの小型機器を車両のダッシュボード等に搭載して走行すると、スマートフォンの加速度センサーによって路面の平坦性(IRI)を計測することができる。さらにAIを用いた画像診断による路面変状解析と組み合わせることで、要修繕箇所を把握することが可能となる(図-5)。

- (2) 静岡県・静岡市「地すべり地帯の道路構造物と周辺地盤の変状を広域的に把握する技術」
地すべり地帯の道路構造物と周辺地盤の変状を広域的に把握するため、計測範囲をトンネル内外に分けて



図一五 スマートフォンによる路面性状把握システム¹⁾を編集

橋梁モニタリング

経年変位 [mm/年]
-25 0 +24

COSMO-SkyMed Product © ASI(2011-2016), All Rights Reserved. Distributed by e-GEOS.

2014-2015 年度：実証実験に参画
・画像解析結果と現地調査との比較検証を実施（水準測量&近接目視）

全長：950m 橋脚数：75 昭和35年供用

- 橋梁の時系列変位を正しく検出
- 変位と気温/地震との相関解析による異常部位の検出
- 近接目視における着目点の抽出

～インフラ点検における近接目視
点検前のスクリーニングに有効～

図一六 衛星 SAR¹⁾を編集

2つの技術を用いる。

トンネル外の構造物及び構造物周辺の地すべり等の変状に対しては、衛星 SAR¹⁾を用いる。本技術は、衛星からの SAR（合成開口レーダ）によって、現地への機材設置や交通規制を伴うことなく、計測点の変位を広範囲・高密度かつ高精度で計測することができる。今回の現場試行では、対象としているトンネルを中心にその周辺地盤の変位を計測する（図一六）。

またトンネル内の変状に対しては、レーザー打音計測システム¹⁾を用いる。本技術は、10m程度までの遠距離から1秒間に最大50回のレーザーによる打音計測をすることができる。今回の現場試行では、対象としているトンネル内部の変状を計測する（図一七）。

6. 進捗状況と今後の予定

2020年10月9日（金）に令和2年度1回目の導入推進委員会を開催し、第2サイクルの実施体制や実施計画、モデル自治体の選定、WG有識者の推薦等について議論した。また、2020年12月1日（火）に北杜市WG、2020年12月23日（水）に静岡県・静岡市

レーザー打音計測システム
ハイパワーレーザーのテクノロジーを導入
50回/秒の打音検査が可能 (STOP&GO 計測)
覆工コンクリート内部のうき等の欠陥
(深さ 50 mm 以下, 距離 10 m 以下 # 評価中)



中型4tトラックに搭載

図一七 レーザー打音計測システム¹⁾を編集

WGをそれぞれ開催し、ニーズ・シーズマッチングや現場試行の実施計画について議論した。これらの議論を踏まえて、今後、各モデル自治体における現場試行の実施や第2回現場試行WGの開催を経て、2回目の導入推進委員会にて、「新技術導入の手引き（案）」を取りまとめる予定である。

7. おわりに

本取り組みにおいては、委員の皆様、WG有識者の皆様、モデル自治体やシーズ技術提供企業、コーディネータ等の皆様にご協力をいただいています。この場をお借りして感謝を申し上げますとともに、引き続きのご協力をお願いいたします。

JCMA

《参考文献》

- 1) SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術 編集委員会, 「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術 インフラ技術総覧」, 2019年1月24日.

【筆者紹介】

宇都宮 悠 (うつのみや ゆう)
国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課
インフラ情報・環境企画室
係長



行政情報

下水道施設管理の省力化・低コスト化に向けた新技術の開発 B-DASH プロジェクト（下水道革新的技術実証事業）

村岡正季

平成 27 年に下水道法の改正が行われ、下水道管理者に対して下水道施設の適切な維持修繕が義務付けられた。しかしながら、下水道施設の維持管理情報が適切に集積、分析されておらず、ストックマネジメントに有効活用されていない実態もある。そこで国土交通省では、下水道革新的技術実証事業 (B-DASH プロジェクト) を活用して下水道施設の維持修繕やストックマネジメントに資する新技術の開発を行ってきた。本稿ではこれらの技術の普及を促進し、施設の点検・調査から計画・設計、修繕・改築が一連となったマネジメントサイクルの確立により、効率的な下水道施設管理が実現することを目指した活動を紹介する。

キーワード：下水道、新技術、B-DASH プロジェクト、施設管理、ストックマネジメント

1. 下水道事業の現状と課題

(1) 下水道の普及と 10 年概成

下水道、集落排水施設、浄化槽等による汚水処理人口普及率は、令和元年度末時点で全国平均 91.7% に達した。その内訳は、下水道が 79.7%、農業集落排水等が 2.6%、浄化槽が 9.3%、コミュニティ・プラントが 0.2% となっている。しかしながら、未だに全国で約 1,050 万人が汚水処理施設を利用できない状況であり、特に人口 5 万人未満の市町村における汚水処理人口普及率は 81.1% と、その整備水準の地域間格差は顕著となっている。

一方で、国土交通省、農林水産省、環境省の 3 省は、汚水処理施設の未整備区域について、平成 38 年度末を目途に汚水処理の概成を目指すとした「10 年概成」を掲げている。各汚水処理施設の経済比較を基本としつつ、地域特性や地域住民の意向、人口減少等の社会情勢の変化を考慮して処理区域を再設定し、低コスト技術や官民連携手法を活用するなど、汚水処理人口普及率 95% を目安とした概成に向けて取り組んでいるところである。

(2) 下水道事業が抱える課題

近年の下水道事業は、人・モノ・カネという経営資源を取り巻く環境が厳しさを増しており、いかに下水道事業を持続可能なものとしていくかが大命題となっている。さらに、頻発する集中豪雨による浸水や雨天時浸入水への対応、経営効率化に向けた広域化・共同

化の推進、施設の省エネ化や資源・エネルギーの有効利用による地球温暖化対策と循環型社会の構築など、下水道は重要な社会インフラとしての使命や責務を担う一方で様々な課題を抱えている。

(a) 下水道職員の減少（人）

近年の社会問題にもなっている人口減少や高齢化は、下水道事業にとっても大きな懸念材料である。日本の人口は 2060 年にはピーク時の 7 割程度まで減少すると言われているが、下水道に携わる職員数の減少も著しく、平成 9 年をピークに現在は約 6 割の水準にまで縮小している。さらに近年は、地方公務員の減少を上回るスピードで下水道担当職員が減ってきており、全国の約半数の市町村においては下水道担当職員が 5 人以下という脆弱な執行体制で、今後ますます高度化、複雑化することが予想される下水道行政に対応していかなければならない。

(b) 下水道施設の老朽化（モノ）

下水道施設は、下水を滞りなく流下させる管路施設、地形等に合わせて下水を揚水するポンプ場施設、集められた下水を処理する処理施設で構成される。これらの施設の老朽化が進んでいることから、地震などの災害に対する安全性や機能の確保についても喫緊の課題となっている。一般に地中埋設されている下水道管渠かんきょの総延長は、令和元年度末現在、日本全国で約 48 万 km にまで増加した。その内、標準的な耐用年数とされる 50 年を経過した管渠は約 2.2 万 km に達し、さらに 10 年後には 7.6 万 km、20 年後には 17 万 km と、老朽化の進行は加速度的に進むと予測している。管路施

設の老朽化は、道路の陥没事故という形でその実態が顕在化することが多く、令和元年度は約 2,900 件発生している。そのほとんどはごく小規模な陥没であるが、時に交通傷害や汚水流出に発展するような事故が発生することもある。

処理場やポンプ場施設は、各々の機能に応じた土木・建築施設の中に、例えばポンプや送風機、監視装置等の様々な機械・電気設備が配置されている。全国で約 2,200 箇所ある下水処理場の内、機械・電気設備の一般的な耐用年数である 15 年を経過しているところが 8 割以上に上る。これらの設備は、一般に湿度や臭気濃度の高い劣悪な環境で使用され、劣化の進行が早くなることがあるため、計画的な点検・調査と修繕・改築が必要となる。

(c) 使用料収入の減少 (カネ)

近年の下水道事業の経営状況は、全体としては改善傾向にあるものの、特に中小規模の地方公共団体では未だ厳しい状況にある。下水道施設の適切な維持管理に要する財源が必要となる中、下水道経営を下支えする使用料収入は、今後の人口減少等を背景に漸減する傾向が予想されている。維持管理費を使用料で賄うことのできない(経費回収率の低い)地方公共団体も多くあり、特に人口規模が小さく、下水道の供用開始から間もない団体にあっては、経営状況はより厳しいものとなっている。各下水道管理者においては、自らの収支構造を把握し、使用料が事業の持続に対して必要な水準にないと判断された場合は、下水道使用料の値上げを含めた経営改善策の検討を行うことが急務である。

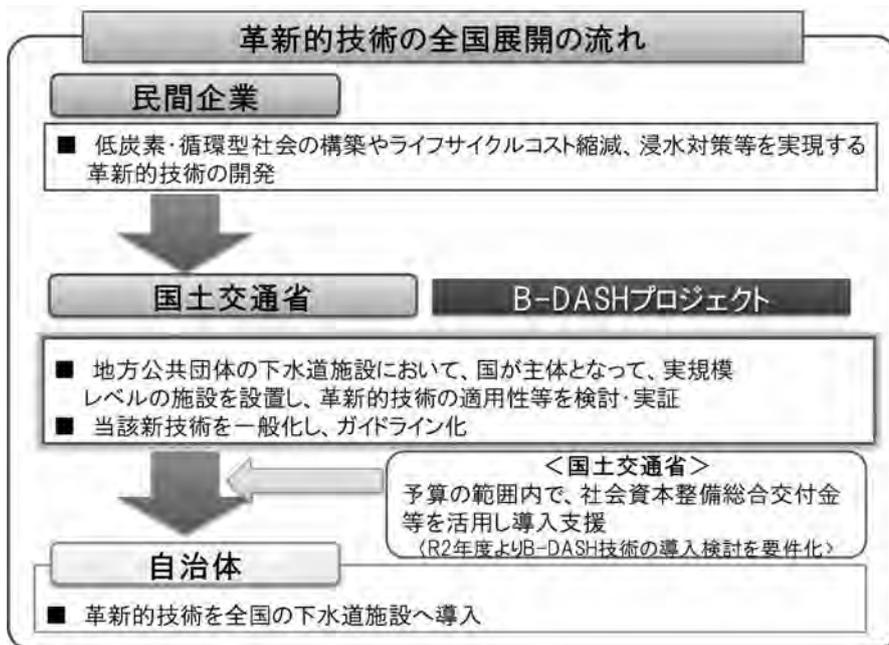
2. B-DASH プロジェクトの目的とこれまでの取組

(1) B-DASH の概要と技術開発スキーム (図一1)

下水道経営を取り巻く課題解決に向けて、より一層の業務・作業の効率化が求められる。そのひとつとして新技術の導入が極めて重要であるが、社会インフラとして信頼性の高い下水道を維持するという観点から、下水道事業者は実績の少ない新技術の採用に対して慎重になるため、有効な新技術の普及が速やかに進まないことがある。そこで、国が主体となって技術的な検証とガイドライン作成を行い、新技術の全国展開を図っていくことを目的として、平成 23 年度より「下水道革新的技術実証事業 (B-DASH プロジェクト)」を実施してきた。

B-DASH プロジェクトは、実規模レベルの施設を建設して実証試験を行う「実規模実証」と、実規模レベルの前段階にある技術を対象として、パイロット実験規模で導入効果を含めた普及可能性の検討や技術性能の確認等を行う「FS 調査 (平成 29 年度に「予備調査」から改称)」に分類される。

また、若手研究者に対して、研究段階にある技術の開発を支援する「GAIA プロジェクト」も平成 26 年度より実施しており、全国の大学等有する先端技術や地域産業に貢献する多様な技術に対して支援してきた。さらに平成 29 年度には、B-DASH プロジェクトと GAIA プロジェクトの中間に位置する技術開発支援として、開発段階にある技術を対象とした「下水道応用研究」を新たに立ち上げた。



図一1 B-DASH プロジェクトのスキーム

これらの整備により、国土交通省の技術開発は、B-DASH（実規模，FS）を中心に応用研究やGAIAを活用し、研究段階から実証まで効果的かつ戦略的に実施しているところである。

(2) これまでの実証事業

国土交通省では、「新下水道ビジョン（平成26年7月）」で示された長期ビジョンや中期目標の達成に向け、これに必要な技術開発の方向性や目標を設定した「下水道技術ビジョン」を平成27年12月に取りまとめ、公表している。下水道技術ビジョンには、技術目標の達成に至るまでのロードマップが示されており、この中でも特に重点化して実施すべき課題を、「ロードマップ重点課題」として平成28年7月に選定・公表した。ロードマップ重点課題は地方公共団体のニーズや社会情勢を踏まえて定期的にフォローアップされ、B-DASH等の各プロジェクトはこれに沿ったテーマ設定と技術公募を行っている。

B-DASHの実規模実証では、これまでに48技術を採択し（令和2年度採択分を含む）、28のガイドラインを策定・公表してきた（図-2）。これらの技術については、各研究体の不断の努力により下水道事業の現場に順次導入され、令和2年5月時点の採用実績は

10技術113件となっている。しかしながらB-DASHの実証技術は、民間事業者が有する機材を用いた管路点検技術から、下水道管理者による構想や計画の変更を要する汚泥エネルギー化技術まで幅広く、実装には技術ごとに時間差がある。そこで、実証技術の更なる普及拡大に向けて、下水処理場ごとに適用可能な技術を一覧にしたB-DASH技術適用表や、実証技術を採用した場合にその効果を簡易的に算出できる導入効果算定ツール、各技術の発注仕様書や採用事例の紹介資料を国土交通省ホームページに掲載している。さらに、現行のガイドラインの見直しに着手することとしており、実証事業後の自主研究成果等を用いて実証根拠の上積みを行ったり、技術の適用範囲や経済性等をより明確に示したりすることにより、今まで以上に地方公共団体が安心して新技術を導入できるようになると期待している。

3. B-DASHプロジェクトによる下水道施設管理技術の開発

平成27年に下水道法の改正が行われ、下水道管理者に対して下水道施設の適切な維持修繕が義務付けられた。これは、管路施設において計画的な点検、調査

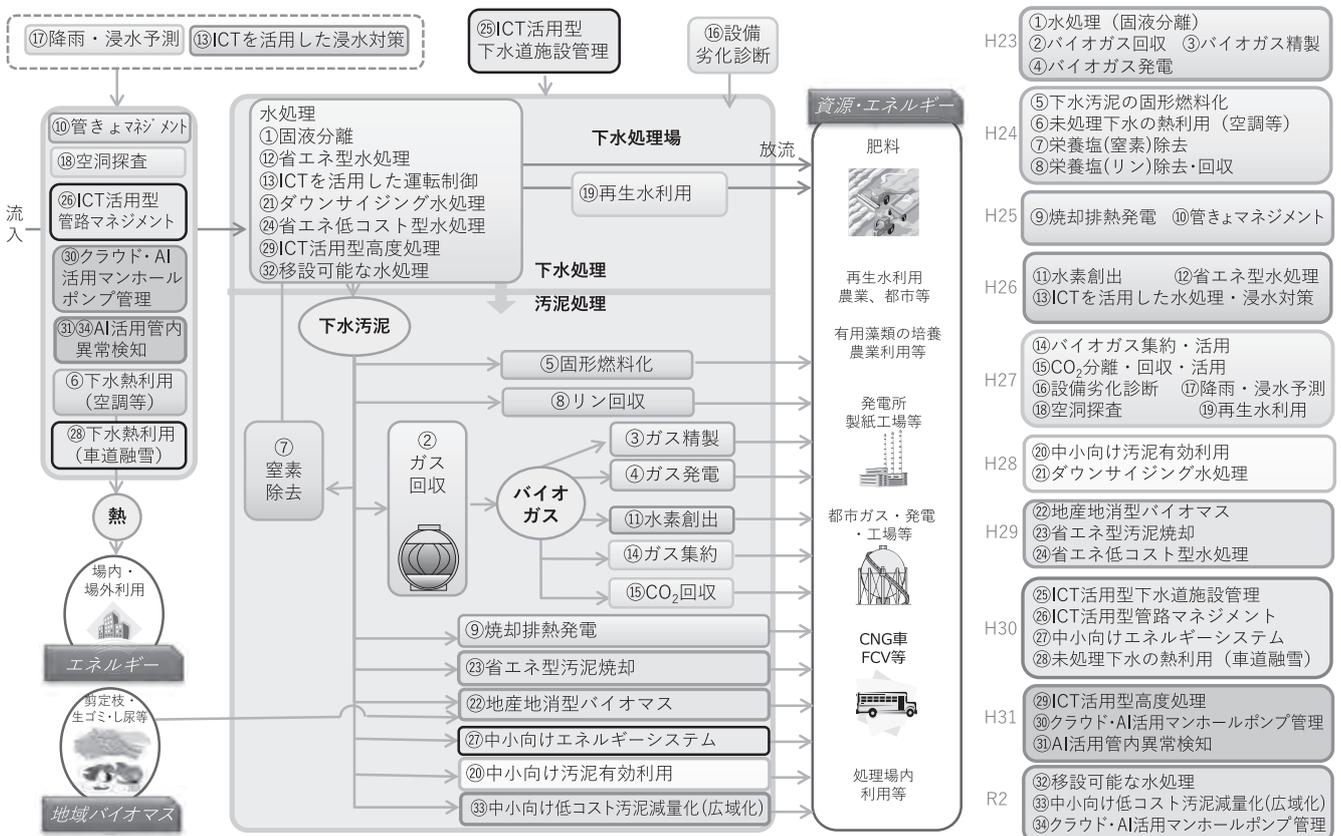


図-2 B-DASHプロジェクト採択テーマ一覧

の実施率が低かったこと、そのために下水道管路に起因する道路陥没事故が頻発していたこと、さらには処理施設の老朽化に伴う処理機能の低下や事故の発生が危惧されたこと等が背景となっている。他方、下水道施設の日常の維持管理情報が適切に集積、分析されおらず、修繕や改築計画の策定に有効活用されていない実態もある。維持管理情報が集約、管理されていないことから、ストックマネジメント計画を策定しようとする際に改めて大掛かりな調査や資料の搜索が必要となっている。

そこで国土交通省では、B-DASHプロジェクトを活用して下水道施設の維持修繕やストックマネジメントに資する新技術の開発を行ってきた。これらの技術の普及により、施設の点検・調査から計画・設計、修繕・改築が一連となったマネジメントサイクルが確立し、効率的な下水道施設管理が実現することを目指している。

(1) 管路管理技術

管路施設の点検・調査は、その頻度は数年から十数年に1回程度であるが、総延長約48万kmに対しては計画的かつ効率的に実施していく必要がある。また、昨今では管路の老朽化に加えて、分流式下水道における雨天時浸入水も施設管理の重要な課題となっている。国土交通省は、膨大な管路ストックの効率的かつ効果的な点検・調査に向けて、これまで以下の5技術の実証を行ってきた。

(a) 高度な画像認識技術を活用した効率的な管路マネジメントシステム技術 (図-3)

日本電気(株)・日本下水道事業団・船橋市で構成された研究体により実証された技術で、高度な画像認識による管渠内異常箇所の自動検出と、内蔵電源・軽量ケーブルによる長距離調査を実現する画像認識型カメラを用いたスクリーニング調査技術である。画像認識技術では、画像取得と機械学習による不具合検出アルゴリズムにより、管内の異常箇所を自動的に判別し検出することができる。具体的には、予め収集した管内の異常・正常箇所の画像を教師データとし、機械学習により検出ソフトウェアの動作を調整する。この検出ソフトウェアは画像を入力とし欠陥のカテゴリ(クラック・腐食等)を出力とするものであり、例えば模様連続性(例:クラックと継手の違い)や模様の荒さ(例:汚れと木根の違い)といった画像の特徴を機械学習により自動的に選別することで、出力されるカテゴリの精度が高くなる。



図-3 画像認識型カメラ

(b) 管口カメラ点検と展開広角カメラ調査及びプロファイリング技術を用いた効率的管渠マネジメントシステム (図-4)

管清工業(株)・(株)日水コン・八王子市で構成された共同研究体により実証された技術で、伸縮可能な操作棒の先にカメラとライトを取り付けた管口カメラで異常の有無を点検(スクリーニング)した後、異常箇所を展開広角カメラにより詳細な調査・診断を行うものである。管口カメラは、管内走行を行うことなく地上部のマンホールから操作するため、作業員がマンホールや管内に立ち入る必要がなく、酸欠や落下等の事故の恐れが少ないという安全面の利点がある。また、機器はコンパクトで可搬性に優れ、操作も容易であるため、従来型TVカメラ調査と比べると日進量は約4倍、調査コストは約5分の1程度である。展開広角カメラは、画角190度の広角レンズを搭載した自走式TVカメラ機器であり、走行しながら管内の展開画像を作成するとともに、展開画像を見ながら異常の程度の診断を実施できることから、直視型TVカメラに比べて日進量は約1.5倍、10%程度のコスト低減となる。

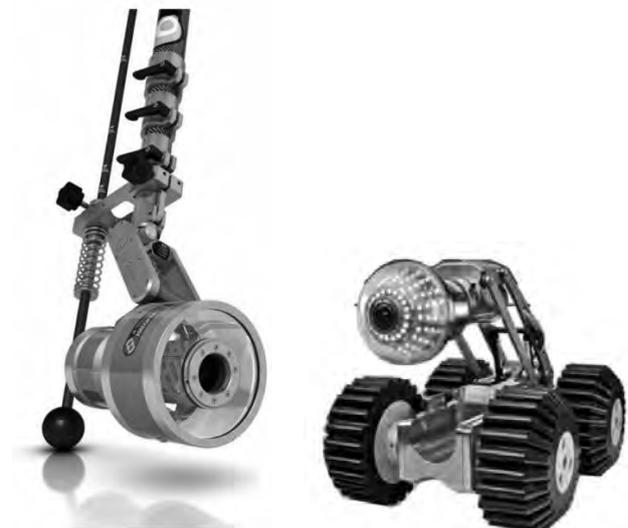
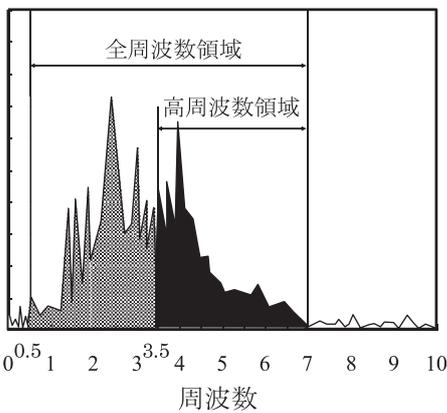


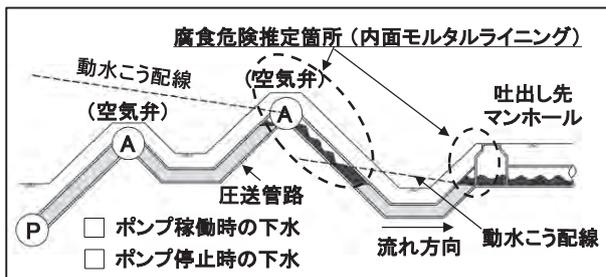
図-4 管口カメラ及び展開広角カメラ

(c) 広角カメラ調査と衝撃弾性波検査法による効率的な管渠マネジメントシステム (図一5)

河内長野市、大阪狭山市を実証フィールドに、積水化学工業(株)、(一財)都市技術センター及び両市の共同研究体の実証した技術で、展開広角カメラ調査後に衝撃弾性波検査法を行うものである。展開広角カメラによるスクリーニング調査は、無停止走行により管渠内の撮影画像を取得可能で、短時間で広範囲の調査が可能である。側視を行うことなく管渠内周面全面を詳細に記録することができるため、500 m/日以上での調査日進量を実現した。衝撃弾性波検査法による詳細調査は、管体を内側から軽く叩く事により発生する弾性波の周波数から管の耐荷力を推定するため、非破壊かつ非開削で管体の耐荷力を定量的に計測可能で、最適な改築



図一5 衝撃弾性波検査ロボットと計測周波数分布の例



図一6 机上スクリーニング手法と圧送管内カメラ調査

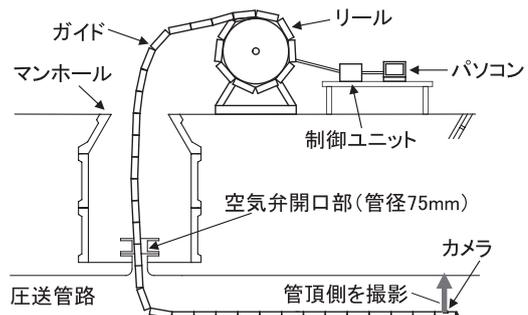
工法の選定が可能となる。本技術では、スクリーニング調査と詳細調査を組み合わせることで、効率的な改築計画の策定を可能とし、本技術を用いる事で管路調査の日数とコストを概ね半減させることができる。

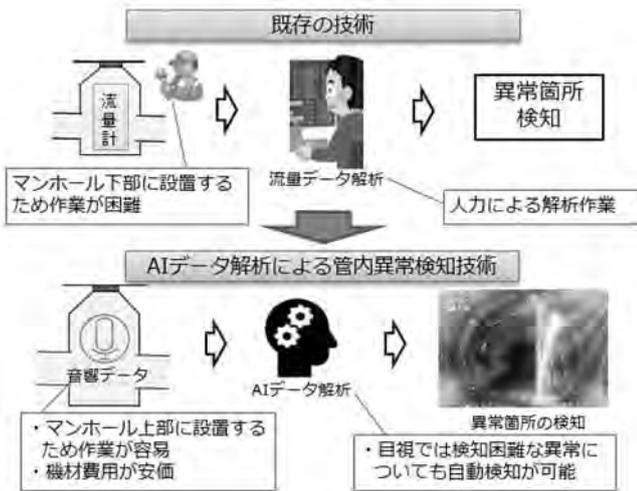
(d) 下水圧送管路における硫化水素腐食箇所の効率的な調査・診断技術 (図一6)

(株)クボタにより実証された本技術は、これまで確立された点検・調査技術の無かった圧送管路を対象に、硫酸腐食の危険箇所を効率的に抽出する机上スクリーニング手法と、抽出された箇所を対象に硫酸腐食の程度を診断・評価する管内カメラ調査技術で構成される。机上スクリーニングでは、圧送区間において腐食の発生が危惧される箇所を、管路内に気相部が存在するか、新鮮な空気の入りがあるか、耐食性の乏しい内面防食方法の管材を使用しているか、の3条件から抽出する。モルタルライニング管が使用されている区間で、管路の位置(高さ)が動水こう配より高いか低いかで評価し、動水こう配より高い位置の管路は、ポンプ稼働時にも非満流(気相部)と判断する。机上スクリーニングで腐食危険推定箇所と判断された箇所を対象に、専用の調査機器を空気弁設置箇所の開口部(管径75mm)から挿入して管内を撮影し、腐食状況を直接確認して劣化度を診断・評価する技術である。

(e) AIによる音響データを用いた雨天時浸入水検知技術 (図一7)

(株)建設技術研究所・(国研)産業技術総合研究所・郡山市・つくば市・名古屋市・神戸市・熊本市の共同研究体で実証された本技術は、市販のボイスレコーダによる音響調査と、機械学習を用いたAI解析の2つの要素技術で構成される。音響調査では、雨天時浸入水の発生が予想される区域・箇所に集音装置を設置して、雨天日を含む約1か月間の管路内の流水音を連続的に観測する。続くAI解析では、晴天時の「正常」を規定して、雨天時に規定を外れるデータを「異常」と定義することにより雨天時浸入水の発生区域や箇所を検知する。マンホール内の音響データから200を超





図一七 音響データとAIを用いた管内異常検知のイメージ

える記述統計量を用いて晴天時パターンとなるAI特徴量を抽出し、この晴天時パターンを教師データとして、雨天時の異常データを判定して雨天時浸入水を検知する。従来技術では、観測機器が高価で機器設置や撤去に時間を要するが、本技術は安価な調査機器とマンホール内の作業を伴わないことが特徴で、従来技術と同程度の予算規模であれば、多地点での調査を効率的に実施することが可能である。

(2) 処理場管理技術

耐用年数が比較的短く、改築周期の早い処理施設やポンプ場施設は、老朽化の進行に伴い適切な維持管理に必要な経費も増加している。また、維持管理を支えてきた技術者の減少に歯止めがかからず、脆弱な管理

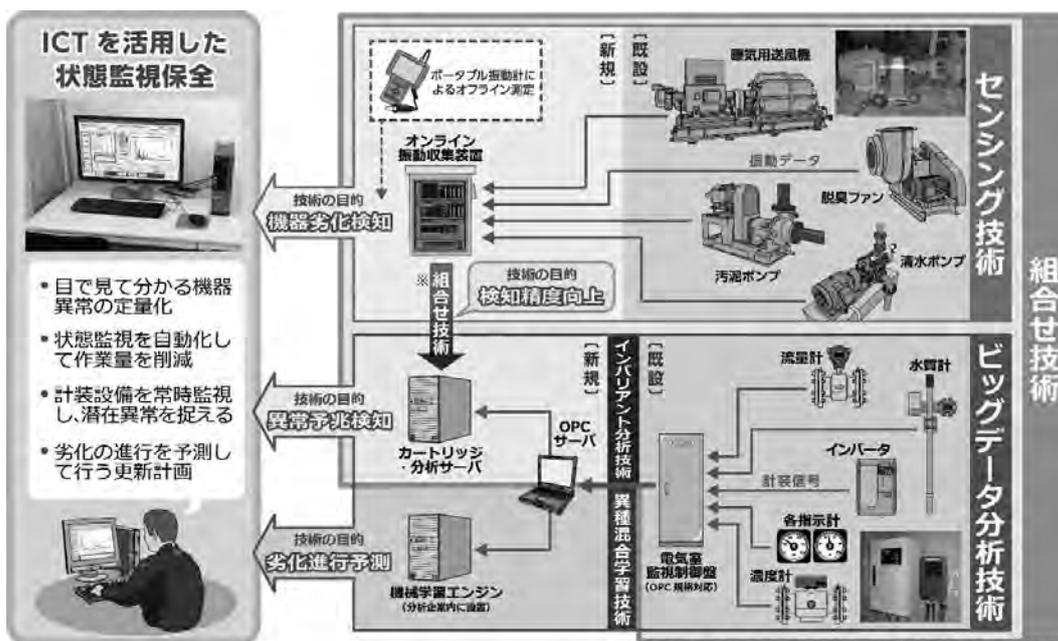
体制や技術力の継承が課題となっている。そこで国土交通省では、下水道施設のストックマネジメントの効率的な運用に向けて、技術者に依存しない新たな維持管理手法3技術を実証してきた。

(a) ICTを活用した下水道施設の劣化状況把握・診断技術 (図一8)

(株)ウォーターエージェンシー・日本電気(株)・旭化成エンジニアリング(株)・日本下水道事業団・守谷市・日高市の共同研究体が実証した本技術は、センシング技術およびビッグデータ分析技術を活用した状態監視保全を導入することで、突発故障の未然防止に加え、修繕・更新周期の延伸による維持管理コストの縮減及びストックマネジメントの効率的な実施を目的としている。センシング技術は、下水処理場で採用が多い回転機器に振動センサーを設置してオンラインによる振動測定を行い、管理基準値を設けて機器劣化傾向の管理を行うものである。ビッグデータ分析技術では、中央操作室のCRTやグラフィックパネル等に表示する計測信号やプロセス信号をデータサーバに集約して、異常予兆検知や機器性能劣化の予測を行う。これらの技術により、技術者の五感に頼らない管理が実現されるため、人が気づきにくい僅かな変化や過去に経験のない未知の異常を早い段階で発見することが可能となり、重要機器の突発的な故障や、人の操作ミス等を早期に発見することが期待される。

(b) ICTを活用する劣化診断技術および設備点検技術 (図一9)

watering(株)と仙台市の共同研究体により実証された本



※組合せ技術はセンシング技術とビッグデータ分析技術の組合せのみ

図一八 センシングとビッグデータ分析による状態監視保全

技術は、振動法による設備診断データから、機械設備の劣化を簡易診断するもので、設備の稼働状態を24時間モニタリングするセンサーモニタリングシステムと、施設現場での点検データを入力するタブレット点検システムで構成される。これらの要素技術から収集したデータを、ストックマネジメント情報としてクラウドサーバに集約・蓄積し、設備の劣化診断と劣化予測を行うものである。センサーモニタリングシステムで収集した振動速度値データは、対象設備が停止中又はメンテナンス作業中等の非定常データや、他号機運転時にその振動の影響も受ける。そこで、センサーモニタリングシステムで収集した対象設備の電流値に基づく稼働判定により、停止中や発停止直後の不要デー

タを除去し、対象設備単独稼働時のデータを抽出している。下水処理場の主要設備である汚水ポンプと曝気ブロウにセンサーノードを設置し、1日1回のタブレット点検を実施するものとする、施設規模によらず5年程度で経費回収が可能である。

(c) クラウドを活用し維持管理を起点とした継続的なストックマネジメント実現システム (図-10)

メタウォーター・池田市・恵那市共同研究体は、一元管理された維持管理データを利用して健全度を算出するとともに、日常の維持管理作業がストックマネジメント計画策定に活かせるシステムを実証した。本技術は、クラウド型の設備台帳システムを中心に、維持管理データをタブレット端末等で効率的に収集して設備に関連付けて整理するデータ一元収集整理システム、収集・整理されたデータを用いて健全度評価を行うリアルタイム評価可視化システム、過去の運転データや修繕履歴等を用いて運転性能自体の変化をモデル化する性能劣化シミュレーション、の3要素技術で構成される。立場の異なる技術者の所見をデータ化することで、客観性を保ちつつ状態劣化を見逃さないシステムとし、逐次登録されたデータを用いて定期的に健全度を自動算出することで、設備状態を可視化してストックマネジメント計画の見直しにも利用できる。

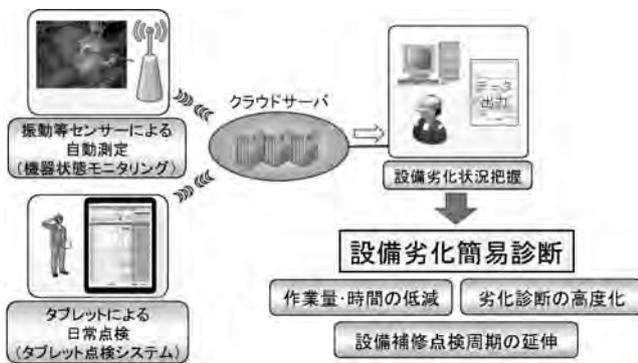


図-9 センサー連続監視とクラウドサーバ集約による劣化診断イメージ

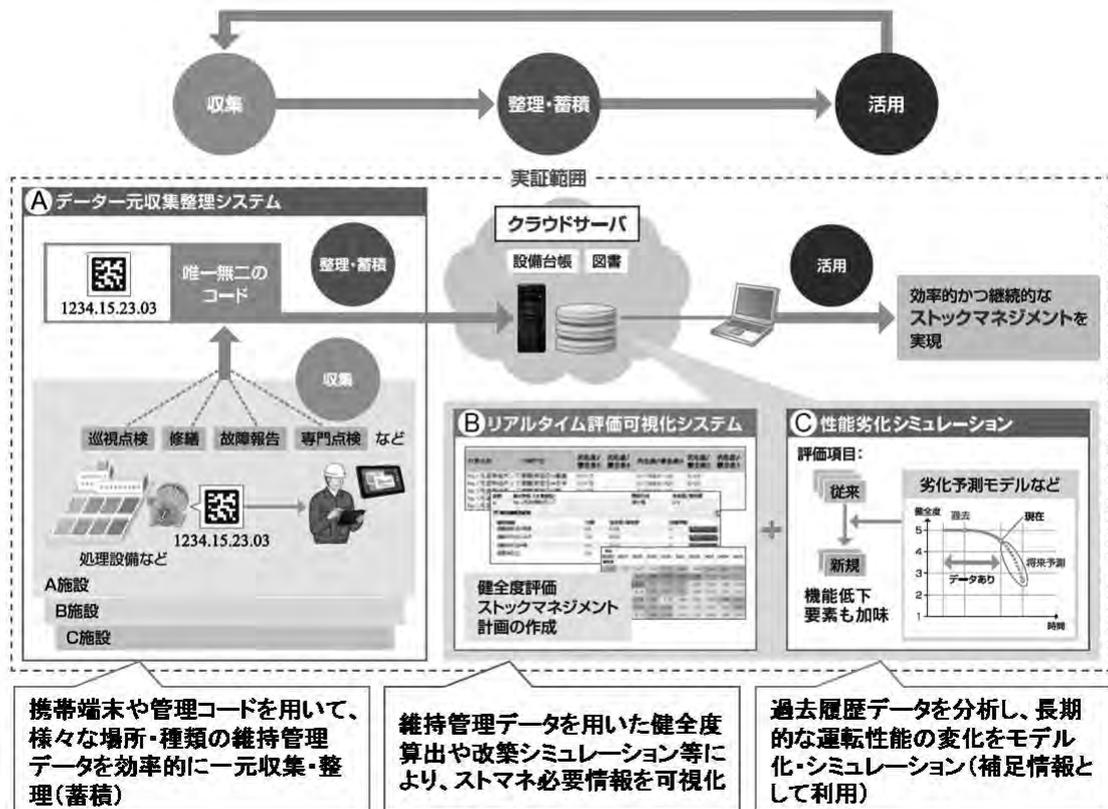


図-10 維持管理を起点としたストックマネジメント支援システム

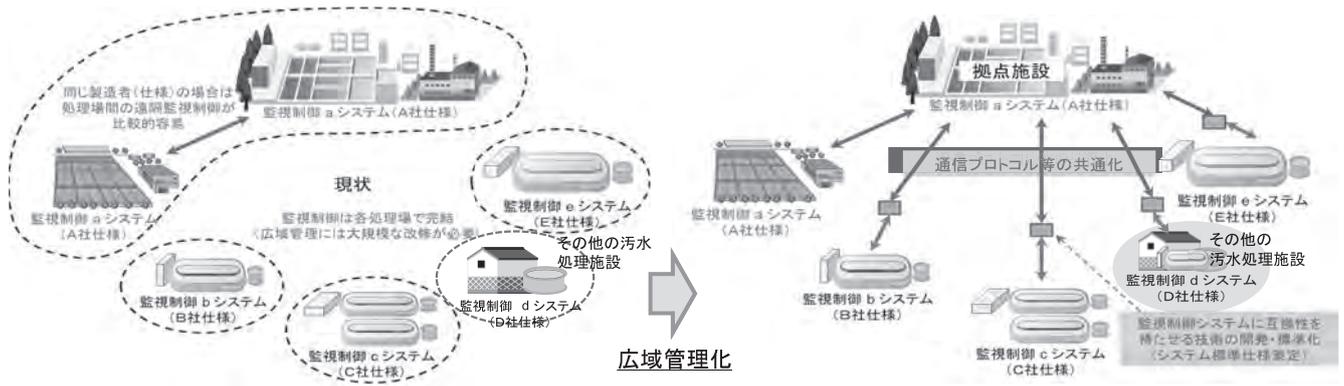


図-11 R3 実証テーマ① ICT を活用した下水道施設広域管理システム

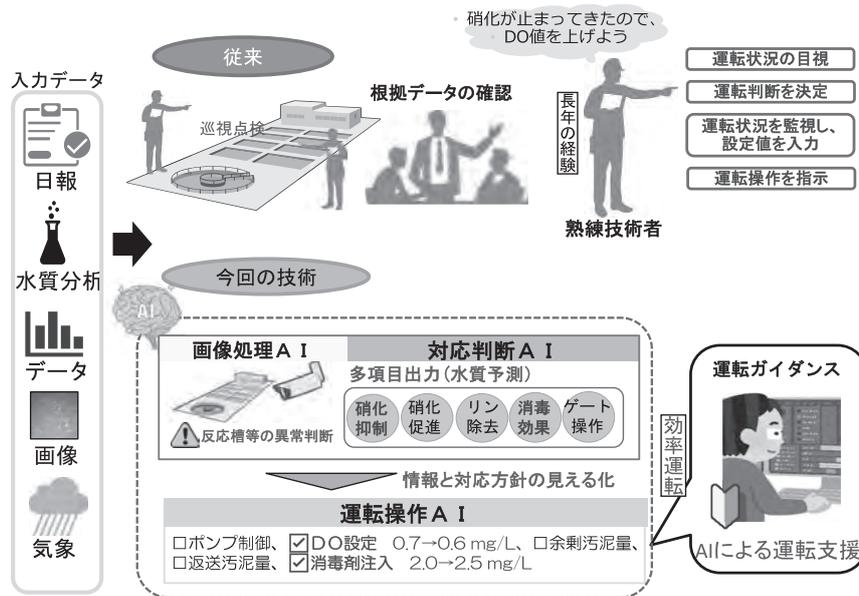


図-12 R3 実証テーマ② AI を活用した水処理運転操作の最適化支援技術

4. B-DASH プロジェクトの今後の展望 (図-11, 12)

冒頭に記述したとおり、人・モノ・カネという課題を抱える中、国土交通省としても様々な取組を推進し、財政的・技術的な支援を行っている。これらの施策を踏まえて、各地方公共団体が効率的な下水道事業を推進することになるが、その際に必要となる技術を整備しておくことも、国が実施すべき支援策の一つと考えている。

一方で、昨年10月に、2050年までに二酸化炭素の排出量を実質ゼロにするカーボンニュートラルの政策目標が掲げられ、12月にはグリーン成長戦略が策定、公表された。また、今年度から来年度にかけて、地球温暖化対策計画や社会資本整備重点計画の改定が予定されている。これらの中に盛り込まれる下水道のCO₂削減に向けては、省エネ機器の導入や制御・運転方法の工夫、下水道バイオマス利用の普及等も重要な要素となる。

国土交通省としては引き続き効果的かつ効率的な

B-DASH プロジェクトを進めるため、下水道施設管理をはじめ、ゼロ・カーボン、広域化・共同化、ICT・AI・ロボット・ビッグデータ等をキーワードに、異分野技術の掘り起こしを含めて重点的かつ戦略的な開発を進める予定である。そのためには、下水道施設の将来像やあるべき姿を国が明確に示し、民間事業者の開発を促進・誘導していくことが重要であると考えている。特に令和3年度に実施予定のICTやAIに関する技術は開発スピードが速く、他分野では既に社会実装されているものもあるため、早期の実証とその後の普及展開を目指し、時間軸を意識した開発を進めてまいりたいと考えている。

JICMA

【筆者紹介】

村岡 正季 (むらおか まさき)
 国土交通省 水管理・国土保全局
 下水道部 下水道企画課



UAV と SfM を活用した 橋梁 3 次元モデル作成手順の紹介

中景撮影の導入による、部材単位での 3 次元化

服部 達也・下川 光治・藤井 優

老朽化する橋梁の維持管理や、点検技術者不足を背景とし、橋梁定期点検への点検支援技術として、UAV 等の点検ロボットの導入が進められている。このため、土木研究所では、「橋梁 3 次元データを活用する橋梁点検手法（3D 点検手法）」を提案しており、江島大橋（鳥取県）にて現場実証を行った。

本稿では、橋梁の 3 次元モデル作成として、部材毎の 3 次元化と座標付与の方法について具体的に紹介する。さらに、橋梁 3D 点検用プロトタイプシステムを用いた損傷確認の実施例やオルソモザイク画像の活用例を示す。

キーワード：橋梁、インフラ点検、点検ロボット、UAV、SfM、3 次元モデル

1. はじめに

日本国内には、72 万橋の道路橋があり、その半数は高度成長期に建設され 40 年以上にわたり供用されている。橋梁点検では、点検技術者の接近が困難な部位への対応として特殊車両の利用や点検作業および報告書作成作業など人・時間・費用を多く必要としている。さらに、少子高齢化等による土木分野の技術者不足もあり、老朽化した橋梁を効率的に維持管理するため、橋梁点検の生産性向上が求められている。

国土交通省では、橋梁定期点検要領¹⁾にて、適切な維持管理に必要な情報を得ることを目的として、5 年に 1 回の定期点検を定めている。橋梁定期点検要領では、「状態の把握は、全ての部材等について近接目視により行うことを基本とする。」「近接目視による」と同等の診断ができると判断した場合には、その他の方法についても近接目視を基本とする範囲と考えてよい。」「近接目視によらないときの状態把握の方法や部位の選定の考え方の妥当性については、後日遡って第三者が検証できるように記録に残すことが必要である。」と記されている。“その他の方法”となる点検ロボットなどの点検支援技術について、「新技術利用のガイドライン（案）」「点検支援技術性能カタログ（案）」に示されている。点検実施者は、橋梁の特徴に応じて、機材（UAV（Unmanned Aerial Vehicle）、懸架型、ポール型等）、記録方法（画像、動画、点群データ）、確認方法（オルソモザイク画像（複数写真を結合した画像）、3 次元モデル）を選択できるようになっ

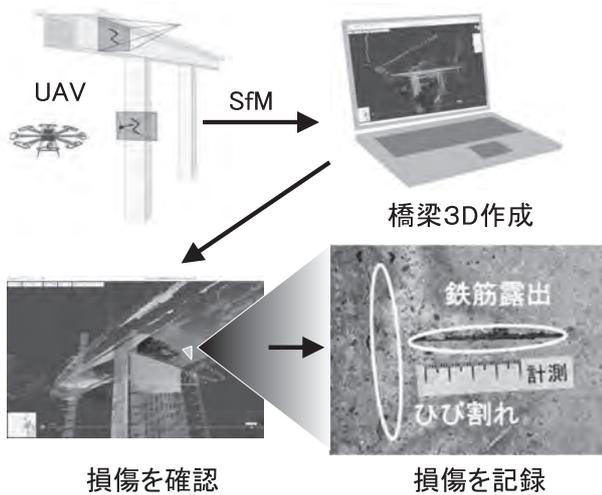
ており、様々な活用が進められている。

大規模な橋梁全体を網羅的に撮影すると撮影枚数が多くなり、写真上の損傷位置の把握に手間と時間を要する（図—1）。そこで、筆者らは、UAV で撮影した写真から 3 次元モデルを作成可能な SfM（Structure from Motion）ソフトウェアで処理すること（以後「SfM 処理」）で、点検写真から撮影位置、撮影方向の自動推定を行い、3 次元モデルから点検写真を選択表示し損傷の確認・記録をする、「橋梁 3 次元データを活用する橋梁点検手法」（以降、「3D 点検手法」）を提案している^{2)~4)}（図—2）。

本稿では、3D 点検手法をハイピア PC 橋である江島大橋の PW2 橋脚付近（鳥取県境港市：高さ 30 m、幅 11.3 m）で実証したので、橋梁の 3 次元モデル作成する方法、プロトタイプシステムやオルソモザイク画像を用いた損傷の確認方法を紹介する。



図—1 大規模橋梁の例：江島大橋



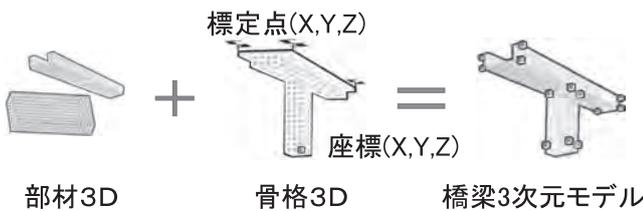
図一2 UAV と SfM を活用した 3D 点検手法

また、本稿は、内閣府「官民研究開発投資拡大プログラム (PRISM)」の成果の一部である。

2. 橋梁 3 次元モデルの作成方法

(1) 作成手順の概要

本稿では、位置情報を有する橋梁全体 3 次元モデルを効率的に作成する方法として、「部材毎 (橋脚や桁など) の 3 次元モデル」 (以後「部材 3D」) を点検写真から作成し、遠方から撮影した写真及び標定点から位置情報を有する、「橋梁の骨格となる 3 次元モデル」 (以後「骨格 3D」) を組み合わせて作成する (図一3)。

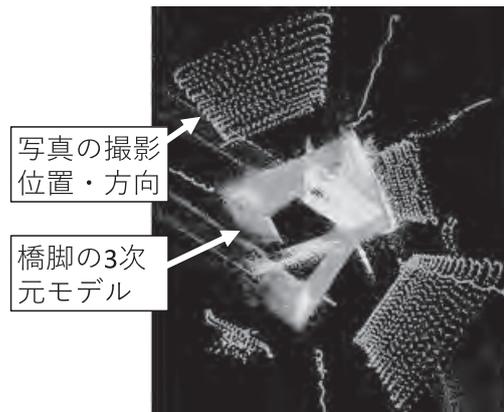


図一3 橋梁 3 次元モデルの作成方法

(2) 橋梁部材 3 次元モデル (部材 3D) の作成

筆者らの提案する 3D 点検手法では、近接目視点検に相当する写真を得るための撮影を「近景撮影」とし、橋梁の側面・下面の各面に対して一定の距離から撮影する。

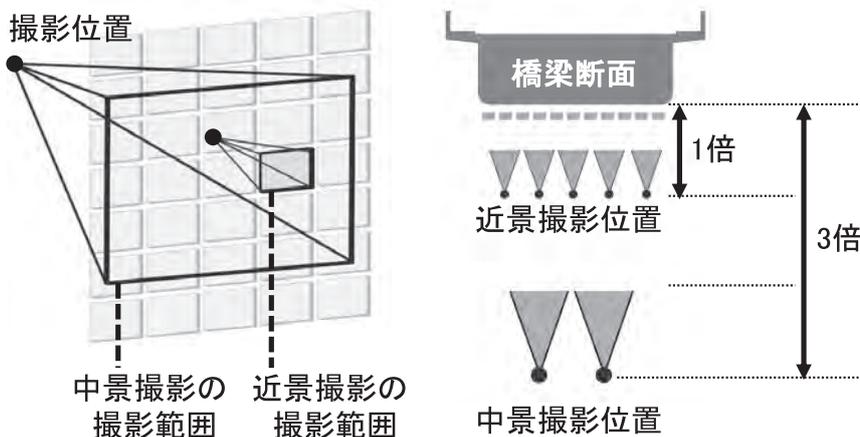
この近景撮影の写真のみで、SfM 処理をした場合、写真間のラップ率の不足や露出変化及び類似部材の誤認識などの影響により、写真の撮影位置や撮影方向の推定等が行えず 3 次元モデルが正しい形状にならない不具合が発生する可能性がある (図一4)。



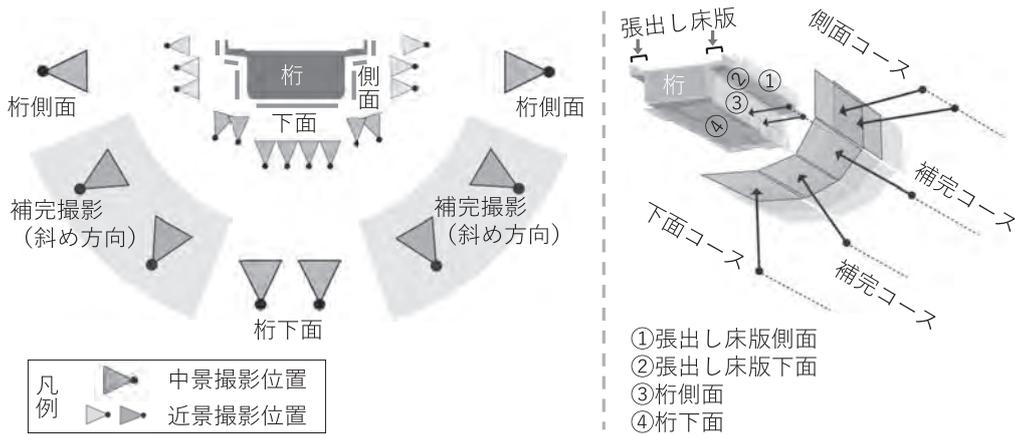
図一4 橋脚 SfM 処理の失敗例

そこで、SfM 処理の不具合解消を目的として、近景撮影よりも広範囲に撮影する「中景撮影」を導入し、撮影距離は、近景撮影の 3 倍とした (図一5)。これは、広い範囲の撮影した写真を加えることで位置推定を行いやすくするものであり、ジグソーパズルを行うときに、完成イラストを見ながらだと迷わなくなることに似ている。

桁側面と桁下面のように撮影方向が異なる面を一度に SfM 処理するには、斜め方向から撮影した写真で補完する必要がある。そこで、桁側面中景撮影コース



図一5 中景撮影のイメージ



図一六 中景撮影の撮影方法

表一 使用機材と撮影諸元

UAV 名称	デンソー社製 産業用可変ピッチ UAV
外観	
寸法	幅:1,500 mm 奥行:1,500 mm 高さ:525 mm
総重量	10.0 kg
カメラ	SONY 製 a 6,400 6,000 × 4,000 pixel
レンズ	単焦点レンズ 35 mm(35 mm換算 55 mm)
近景撮影距離	4.5 m
近景撮影画像	撮影幅 3 m × 高さ 2 m (0.5 mm/pixel)
中景撮影距離	13.5 m
中景撮影画像	撮影幅 9 m × 高さ 6 m (1.5 mm/pixel)
補完コース角度	上向き 30 度程度, 上向き 60 度程度

と、桁下面中景撮影コースの間に2コースを追加した。また、橋脚に対しても同様とした(図一六)。

撮影では、中景撮影のパラメータ値を把握するため、撮影距離や撮影角度を複数パターン計画した。撮影機器は、非 GNSS 環境下において計画通りのプログラム飛行が可能なデンソー製 UAV とした。検証した結果、中景撮影距離および補完コース角度のパラメータ値を得た(表一)。

桁の部材 3D の SfM 処理は、「張出し床版側面」から「桁下面」「反対側の張出し床版側面」までの近景撮影の写真と中景撮影の写真を一度の処理で行った。

なお、1 回の SfM 処理で処理可能な写真枚数は、PC スペックにより 1,000 ~ 2,000 枚などの上限がある。そのため、読者皆様が実施する場合には、「張出し床版側面」から「桁側面」までで区切るなど工夫して頂きたい。

(3) 橋梁骨格 3 次元モデル (骨格 3D) の作成

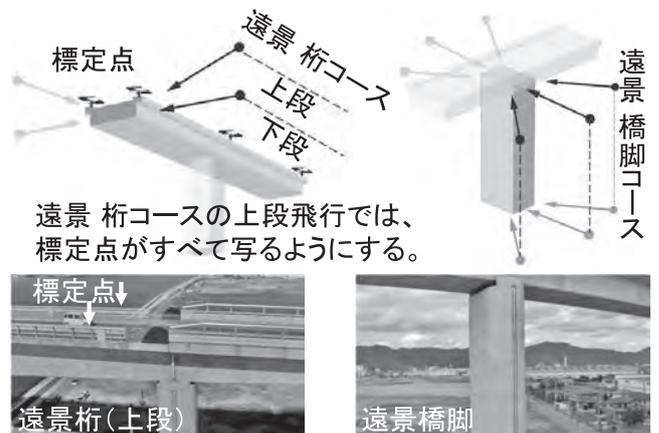
上記の部材 3D は、正しい座標値が設定されていないため、位置や大きさが未確定の状態である。しかし、部材 3D 毎に 4 点以上の標定点測量を現地で行う場合、人手がかかり効率的ではない。そこで、部材 3D へ効率的に座標値を付与するため、骨格 3D 作成方法を考案した。この方法では、少ない標定点から橋梁全体の座標値を算出することができる。

標定点設置場所は、アクセスしやすく GNSS 電波が入りやすい橋梁の路面上(歩道側の手すり等)に設置し、今回の実証では 6 点設置した(図一七)。

標定点を設置後、橋梁全体を遠方から撮影する。こ



図一七 標定点の設置



図一八 遠景撮影のコース図と撮影写真例

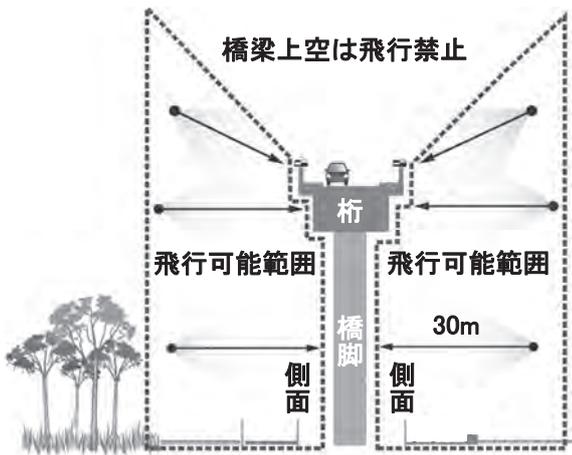


図-9 橋梁周辺の飛行可能範囲の例

の撮影を「遠景撮影」とする(図-8)。撮影コースは、桁に沿って撮影する遠景桁コースと、橋脚を1脚ずつ撮影する遠景橋脚コースがある。遠景桁コースは、上段と下段の2側線の撮影を行い、上段側で撮影した写真には、全ての標定点が写るようにした。遠景撮影の撮影距離は、現地踏査により安全に飛行可能な30m程度(5mm/pixel程度)とした(図-9)。なお、橋梁周辺の飛行可能範囲は、橋梁管理者と協議して決定した。

SfM処理は、上り線側と下り線側で写真の撮影方向が大きく異なるため分けて行った。それぞれの3次元モデルを標定点位置へ移動し統合することで、位置情報を有する骨格3Dが得られた(図-10)。

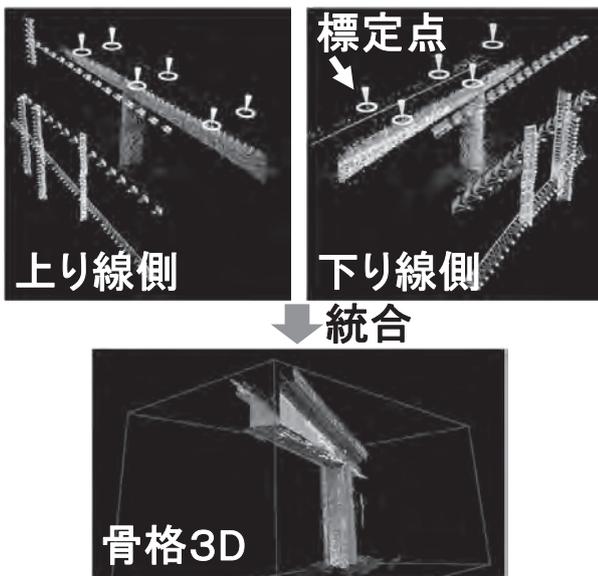


図-10 骨格3Dの作成

(4) 橋梁3次元モデルの作成

骨格3Dから部材3Dへの座標値の付与は、骨格3Dと部材3Dを比較し、形状や色の特徴から同一である

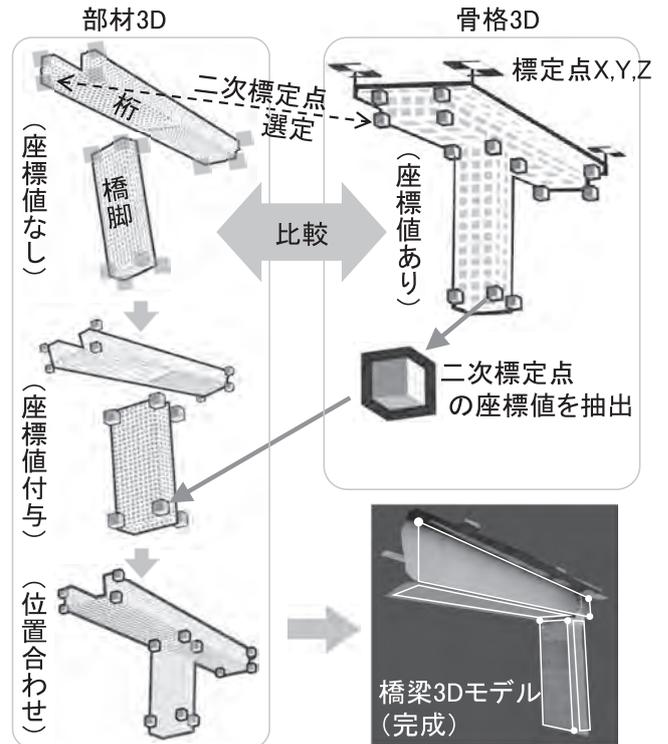


図-11 橋梁3次元モデルの作成

と判断できる箇所を部材3Dの二次標定点として選定した。二次標定点は1つの部材から4点以上を選定する必要がある。次に、骨格3Dから二次標定点の座標値を抽出し、部材3Dへ座標値を付与し、SfMソフトウェアや3次元CAD等で正しい位置へ合わせることで、橋梁3次元モデルが完成した(図-11)。

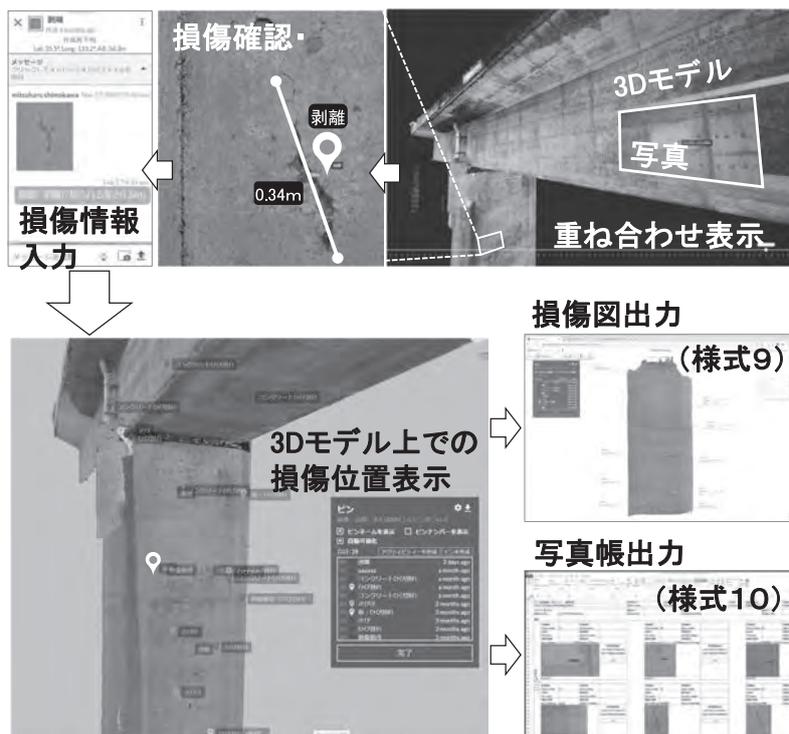
3. 損傷の確認

(1) 3D点検手法用プロトタイプシステム

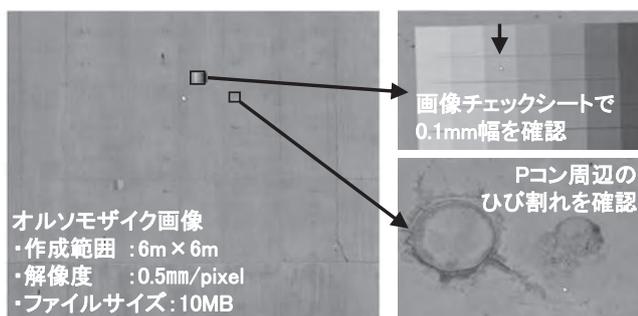
3D点検手法用プロトタイプシステムとして、土木研究所との共同研究にて開発を行っている米国イリノイ大学のReconstructを用いた。Reconstructでは、SfMで作成した3次元モデルと写真を重ね合わせて損傷確認を行い、3次元モデル上のピンへ損傷情報(コメント、画像、計測値)を入力することで、橋梁点検への適用性が高いことを確認した。さらに、損傷図や写真帳へ出力することで、既存の橋梁点検との親和性が高いと考えられる(図-12)。

(2) オルソモザイク画像

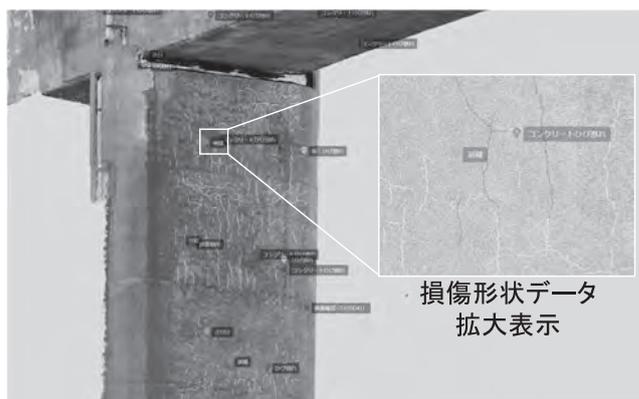
SfMソフトウェアのPIX4Dで0.5mm/pixelの解像度を有するオルソモザイク画像を作成した。オルソモザイク画像は、写真上の像を正射投影し、傾きのない、画像の端部でも歪みがない画像に変換したオルソ画像



図一12 Reconstructの損傷確認方法



図一13 オルソモザイク画像による損傷確認方法



図一14 3次元モデルへの損傷形状データの表示

を、つなぎ目が目立たないよう接合（モザイク）統合した画像である。6m×6mの範囲を接合したオルソモザイク画像の場合には、画面の隅々まで均一の解像度であり、1枚1枚の写真から損傷を確認する場合と比較して容易に損傷を確認でき、面的に広い範囲の点検に有効であることが得られた（図一13）。

CAD等で損傷をトレースすることにより、2次元の損傷形状データが得られる。さらに、入力した損傷形状データは、オルソモザイク画像四隅の3次元座標値を参照することで、3次元空間上の損傷形状データを作ることが可能であり、3次元モデルと重ね合わせることで把握しやすくなる（図一14）。

4. おわりに

本稿では、「橋梁3次元データを活用する橋梁点検手法」(3D点検手法)について、江島大橋を実証現場とし、橋梁の3次元モデル作成方法を紹介した。また、損傷の確認方法として3D点検手法用プロトタイプシステムを用いた実施例やオルソモザイク画像の活用例を示した。今回の実証内容は、「橋梁3次元モデルの構築(検証事例)」として、土木研究所HPで公開している。本稿の具体事例を参考として頂き、読者皆様の3次元モデルへの敷居が低くなることを期待している。

今後は、鋼橋など複雑度の高い橋梁や、他のインフラ施設についての検証を行っていきたい。

謝 辞

橋梁3次元モデル作成や現場実証にあたっては、SIP インフラ地域実装支援鳥取大学チーム（2016年9月～2019年3月）委員長の黒田保氏（鳥取大学大学院工学研究科）、岡田順三氏（境港管理組合）、若原敏裕氏（株大崎総合研究所）、木本啓介氏（株計測リサーチコンサルタント）および加藤直也氏（株デンソー）の諸氏に多大なるご協力を頂いた。また、ReconstructではMani Golparvar氏（イリノイ大学）、福地良彦氏（オートデスク株）の両氏に多大なるご協力を頂いた。ここに深甚の謝意を表す。

J C M A

《参考文献》

- 1) 国土交通省, 橋梁定期点検要領, 2019.3.
- 2) 下川光治, 新田恭士, 二宮建, 田中洋一: 橋梁点検画像の3次元管理に関する考察, 令和元年建設施工と建設機械シンポジウム, pp.177-180, 2019.12.
- 3) 二宮建, 榎本真美, 下川光治, 服部達也, 新田恭士: 橋梁3次元データを活用する橋梁点検手法の提案とプロトタイプを用いた効果検証の報告, 第38回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集, pp.37-51, 2020.12.

- 4) 下川光治, 森川博邦, 服部達也, 榎本真美, 二宮建: UAVを活用した橋梁点検の撮影方法に関する考察, 令和2年建設施工と建設機械シンポジウム, pp.161-166, 2019.12.

【筆者紹介】

服部 達也 (はっとり たつや)
元: 国立研究開発法人土木研究所
技術推進本部 先端技術チーム
主任研究員
現: 国土交通省 関東地方整備局
関東技術事務所
建設専門官



下川 光治 (しもかわ みつはる)
元: 国立研究開発法人土木研究所
技術推進本部 先端技術チーム
交流研究員
現: アジア航測(株)
先端技術研究所
主任技師



藤井 優 (ふじい まさる)
鳥取県
県土整備部 技術企画課
参事



鋼橋の疲労き裂に関する 近接目視点検教育システムの開発

効率的に点検技術の向上を図る点検訓練シミュレータ

日 名 誠 太

道路法施行規則改正により、道路橋の定期点検は、必要な知識及び技能を有する者が5年に1回の頻度で近接目視点検を行うことが義務化された。そのため、インフラの老朽化や生産人口の減少が進む中、点検技術者の効率的な養成が喫緊の社会的要求事項とされている。一方で、鋼橋で発生する損傷の内、疲労き裂は初期段階では非常に微細であることから、点検時に見落とされることも少なくない。本稿ではこれらを補完するため、仮想空間上で効率的に疲労き裂の発生部位と発生要因を学習可能とする点検訓練シミュレータの開発・改良を行ったので、その内容について報告する。

キーワード：鋼橋，点検，疲労き裂，教育，シミュレータ

1. はじめに

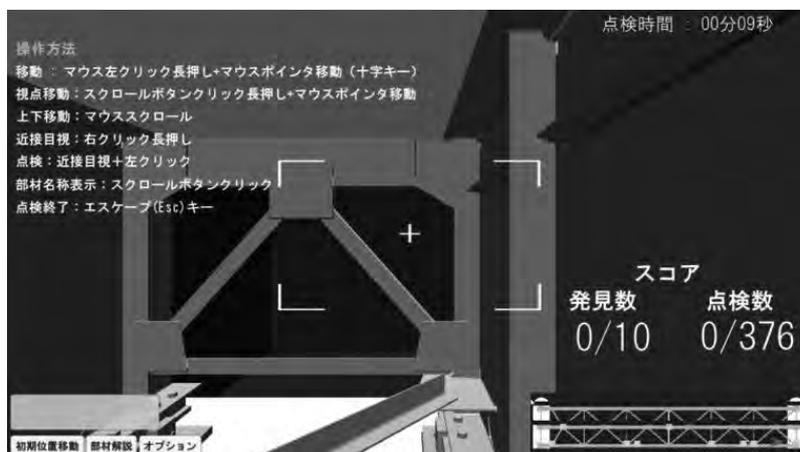
道路法施行規則の一部を改正する省令（平成26年3月31日公布，7月1日施行）により，道路における橋長2.0m以上の橋，高架の点検は近接目視による5年に1度の定期点検が義務づけられた。また定期点検を行う技術者には，道路橋の定期点検を適正に行うために必要な知識及び技能を有することが明記された¹⁾。そのため，点検技術者の効率的な養成が喫緊の社会的要請事項とされている。

鋼橋における主な劣化損傷は腐食と疲労である。特に疲労き裂は過度に進展すると部材を破断し，最悪の場合，落橋・倒壊に繋がる可能性のある非常に危険な損傷であることから，初期の段階で発見し，適切な措置を行うことが橋梁の安全性を確保する上で重要であ

る。しかし，初期の疲労き裂は非常に微細であり，点検時に見落とされることも少なくない。一方で，疲労き裂が発生しやすい部位や発生要因については，既往の研究等で大部分が明らかにされており，それらを理解していれば重大損傷に繋がるような損傷の見落としを削減することが可能であると言える。

現状の点検技術者の教育は，テキストによる座学と現場実習に大別される。テキストによる座学は比較的容易に実施できるが，板組みや溶接方法といった構造詳細や点検の対象となる構造物の構造特性等を十分に理解することは難しい。一方で現場実習は実構造物を見ることができるものの，現場の準備や安全性の確保に労力を要することや実習できる人数に制限がある。

これらテキストによる座学と現場実習のメリット・デメリットを補完し，疲労き裂の発生部位と発生要因



図一 近接目視点検教育システム（点検訓練シミュレータ）

を机上で効率的に学習可能とすることを目的として、鋼橋の疲労き裂に関する近接目視点検教育システムの開発を行っている²⁾。開発当初のシステムには、①シミュレータの操作が難しい、②対象の構造や点検箇所が少ない、③利用者のレベルに合わせた学習ができない、④疲労き裂についての学習機能が少ないといった課題がある。本稿では、既存のシステムを基に、構造物の点検を行うための知識、技術を仮想空間上でより効率よく習得できることを目的に開発・改良を行った近接目視点検教育システム(図一1)について報告する。

2. 点検教育システムの開発

(1) 開発システム

本システムの開発には、3Dゲーム開発ソフトのUnityを使用している。Unityはゲーム開発ソフトであるが、近年では医療分野における人体解剖アプリ、防災分野における津波体験アプリなど様々な分野で活用されている。

また、Unityは外部ツールとの連携に優れており、3Dモデリングソフトで作成した3DモデルをUnityにインポートすることが可能である。本システムでは、近接目視点検の対象となる橋梁の3Dモデルを3DモデリングソフトのsketchUpで作成し、Unityにインポートした。

更に、UnityにはAssetと呼ばれるゲーム開発を行

うためのリソースがUnity Technology社が公式に運営している専用のWebストア上で公開されており、Assetを活用することにより開発の労力を大幅に削減している。本システムでは、利用者が操作する点検技術者の基本コンポーネントにAssetを活用し、全体の制御はC#プログラムで行った。

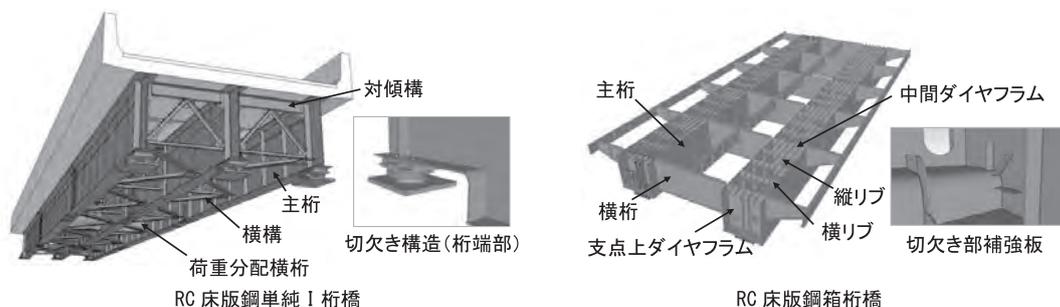
(2) モデル化した橋梁と疲労損傷

点検対象の橋梁は、鋼橋の一般的な形式の一つであるRC床版鋼単純I桁橋(以下、鋼I桁という)とRC床版鋼箱桁橋(以下、鋼箱桁という)の2構造である。作成した橋梁モデルを図一2に示す。

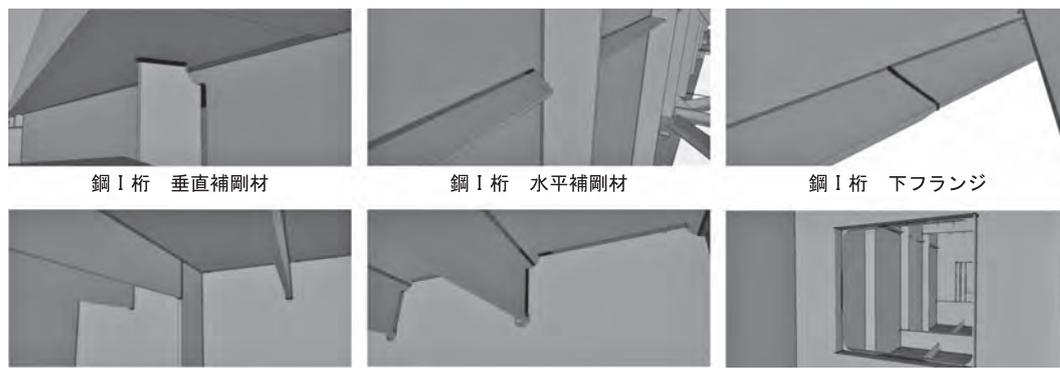
鋼I桁は、対傾構、横構があり、支間中央には荷重分配横桁を配置している。また、片方の主桁には主桁端部を切欠いた構造を設けている。

鋼箱桁は、ダイヤフラム、横リブがあり、縦リブには板継ぎ溶接部を設けている。また、鋼I桁と同様に、片方の主桁端部を切欠いた構造を設けており、切欠き部には補強板を配置している。

一般に、鋼橋の点検では疲労き裂の発生位置となる溶接ビード上に発生した塗膜割れを近接目視で確認するため、橋梁内のすべての溶接ビードをモデル化しており、鋼I桁で376箇所、鋼箱桁で1,603箇所をモデル化した。モデル化した溶接ビードの一例を図一3に示す。また、点検対象となる疲労き裂は鋼I桁で47種類、鋼箱桁で53種類を対象とした(表一)。



図一2 橋梁モデル



図一3 溶接ビードのモデル化

表一 対象とした疲労き裂の発生部位

(a) 鋼I桁			(b) 鋼箱桁		
部位1	部位2	疲労き裂種別数	部位1	部位2	疲労き裂種別数
主桁	垂直補剛材	6	主桁	垂直補剛材	3
	水平補剛材	1		水平補剛材	1
	下フランジ	1		縦リブ	2
	切欠き部	1		横リブ	6
横桁	垂直補剛材横桁取合部 (外桁半せん断継手)	6		中間ダイヤフラム	6
	上フランジ	1		支点上ダイヤフラム	6
	下フランジ	1	切欠き部	1	
	上ウェブギャップ板	6	ダイヤフラム	支点上垂直補剛材	3
	下ウェブギャップ板	6		水平補剛材	3
対傾構	上支材・下支材・ガセットプレート	6		縦リブ	6
横構	垂直補剛材 (内桁側対傾構取合部)	6	マンホール	1	
	横構	下横構ガセットプレート	3	横リブ	垂直補剛材
支承	下横構ガセットプレート	2	フランジ		6
			ベースプレート	1	縦リブ
合計		47	縦リブ	板継ぎ部	1
				切欠き部	1
			合計		53

3. 点検教育システムの機能

Unity で開発した本システムは、Windows や Mac, Linux など複数の OS 上でスタンドアロンとして実行することが可能であり (図-4), ①バーチャルリアリティ (VR) を活用した橋梁内のウォークスルーによる疑似体験, ②橋梁内の近接目視点検, ③疲労き裂のランク判定入力と正答確認, ④疲労き裂の発生部位や発生原因の学習, ⑤点検箇所数と損傷発見数のスコア評価を基本機能としている。以下に, 図-5 に示す本システムを用いた近接目視点検体験の流れについて概説する。



図-4 パソコン版動作イメージ



図-5 近接目視点検教育システムの主な機能

(1) スタートメニュー

利用者は点検を実施する構造物の選択、点検部位の選択、損傷発生箇所の着色有無等の設定を行う。本システムでは、点検初心者・点検実務者など、利用者のレベルに合わせた点検体験を可能とすることを目的に、点検対象箇所のガイド表示（溶接線の着色有無）の選択や部材の破断に及ぶような点検時に見落とすことの許されない危険なき裂の発生部位³⁾（以下、重点部位という）のみに絞り込んだ点検、学習も可能とした。

(2) 点検シミュレーション

開発当初のシステムでは、橋梁モデル内の点検箇所の内、疲労き裂の位置を10箇所に固定して設定したため、継続的な学習を行うことが困難であった。本改良においては、点検システム起動時に疲労き裂の発生位置を毎回ランダムで設定するよう改良し、継続的な学習を可能とした。なお、重点部位の学習機能（危険なき裂の見落とし判定）として、疲労き裂10箇所のうち、危険なき裂を1箇所以上出現させるよう改良を行った。

また、本システムは近接目視点検体験に加えて、鋼橋で発生する疲労き裂の発生位置や発生要因など、鋼橋の点検を行う上で必要不可欠な基礎知識の習得を目的に、橋梁内の部材をクリックすることで部材名称や部材構成の解説スライドを表示し、基礎知識の習得をサポートする機能を持たせた。

(3) 損傷ランク判定

近接目視点検で疲労き裂を発見すると、損傷ランク判定画面が表示される。損傷ランク判定画面では、当該箇所の損傷情報や損傷写真を数種類の中からランダムに表示する。損傷情報と損傷写真は都市内高速道路の点検で実際に報告されているものを使用している。利用者は、損傷情報（部位、き裂長、母材進展有無等）や損傷写真（塗膜状況、き裂状態）から判断して疲労き裂のクラック記号と損傷ランクの入力を行い、正答と比較することによって学習効果を上げるものである。また、クラック記号図や損傷の解説を表示して、クラック記号や損傷の発生部位詳細、発生要因を学習することもできる。

(4) 点検結果の確認

点検結果画面では、点検時間、点検箇所数、損傷発見数のほか、損傷発見の有無にかかわらず全ての損傷箇所が一覧表示され、ランク判定画面で利用者が入力したクラック記号、損傷ランク、および正答や損傷写真が確認でき、点検結果をPDFに出力することも可能である。

4. ヘッドマウントディスプレイを用いた点検訓練システムの開発

本システムは利用者のパソコン等で簡単に体験することが可能であることから、今後の発展性として、全国的高速道路管理者や地方公共団体等の橋梁点検技術者を対象とした点検講習会や勉強会等での活用が見込まれる。そのため、本システムをより多くの利用者に興味を持ってもらい、体験してもらうための工夫として、ヘッドマウントディスプレイ（以下、HMDという）を用いた点検訓練システムを開発した。

HMD版のシステム開発で使用したHMDを図一6に、その仕様を表一2に示す。HMD版のシステム開発は、従来のパソコン版システムのUnityプログラム、およびsketchUpで作成した橋梁モデル（鋼I桁）をベースとして、HMD固有機能である入力操作と画面インターフェースを修正した。入力操作は、HMDに付属しているモーションコントローラ（左手用、右手用）を使用する。パソコン版のキーボードとマウスの操作方法を踏襲し、モーションコントローラの操作方法を実装した。また、利用者が操作するモーションコントローラをHMD内の3D空間に投影し、モーションコントローラから伸びるレーザーポインタを点検箇



図一6 使用したヘッドマウントディスプレイ

表一2 ヘッドマウントディスプレイの仕様

プラットフォーム	Windows Mixed Reality
解像度	2880 × 1440
リフレッシュノート	60 Hz/90 Hz
視野 (FOV)	100°
IPD (瞳孔間距離)	54 mm ~ 69 mm
トラッキングセンサ	ジャイロスコープ, 磁力計, 加速度計, 近接センサ
質量	840 g
付属品	モーションコントローラ×2, ヘッドフォン

所に合わせて点検操作が行えるように実装した。

利用者に表示する点検箇所数，損傷発見数，点検時間等の基本情報，および損傷ランク判定画面，点検結果画面等の2Dで表現する情報は，3D空間上に表示している。

5. 導入効果の検証

改良した本システムの有用性を把握するため，本システムを用いた説明会および各種イベント等において，アンケート調査を行った。アンケートの調査対象は高速道路の建設・管理等に従事する技術者，計87名である。アンケート調査項目は表-3に示す9項目とし，全ての調査項目について5件法で実施した。アンケート結果を図-7に示す。

全体を通して「そう思う」，「ややそう思う」が約70%で肯定的な回答であった。特に，「Q2：構造物（鋼製部材や部材名称）の学習」，「Q5：点検初心者向け

表-3 アンケート調査項目

Q1 操作は使いやすい。
Q2 構造物(構成部材や部材名称等)の学習として効果がある。
Q3 疲労損傷の発生部位や発生原因の学習として効果がある。
Q4 クラック記号やランク判定の学習として効果がある。
Q5 点検初心者向けに効果がある。
Q6 点検実務者向けに効果がある。
Q7 繰り返しの継続学習に効果がある。
Q8 自己のスキルアップとして効果がある。
Q9 点検訓練シミュレータを今後も使用していきたい。

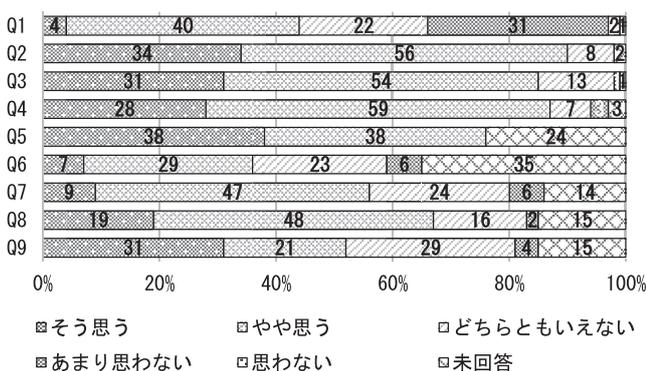


図-7 アンケート結果

の学習」については，非常に効果的であるとの回答が大多数であった。一方で，「Q1：操作の使いやすさ」については，「あまりそう思わない」，「思わない」が約30%と否定的な回答であり，「慣れるまでが難しい」，「操作性がよければまた使いたい」との意見が多く，更なる改善の余地があることがうかがえた。

6. おわりに

本稿では，鋼橋の疲労き裂の発生部位と発生要因を机上で効率的に学習可能とすることを目的に開発・改良した近接目視点検教育システムについて報告した。また，本システムを用いた講習会等を行い，アンケート調査結果により，本システムの有用性を示した。今後は，操作性の改善を行うとともに，鋼床版，鋼橋脚，PC・RC橋などを対象に機能を拡張し，より多くの点検技術者が活用可能となり，点検技術の向上，効率化に寄与していきたい。

謝辞

最後になりますが本システムの開発は，首都高速道路(株)と東京都市大学，首都高技術(株)，(一財)首都高速道路技術センターとの共同研究「都市基盤施設の再生工学 首都高における点検・診断技術の開発・高度化」の一環として行われたものである。東京都市大学，首都高技術(株)，(一財)首都高速道路技術センターの関係各位に誌面を借りて謝意を表します。

JCMA

《参考文献》

- 1) 国土交通省：道路の維持修繕に関する省令・告示の制定について（道路法施行規則の一部改訂等），2014。
- 2) 横山薫，田井政行，小西拓洋，三木千壽：鋼橋の疲労損傷に関する近接目視点検教育ソフトの開発，土木学会論文集H（教育），Vol.73，No.1，67-75，2017。
- 3) 国土交通省道路局 国道・防災課 監修，鋼橋疲労対策技術検討会編：実務者のための鋼橋疲労対策資料，2012.3。

【筆者紹介】

日名 誠太（ひな せいた）
 首都高速道路(株)
 保全・交通部 点検・補修推進室 保全技術課
 係員



UAV を用いた橋梁点検

3D デジタル納品の普及を目指して

加藤 直也・光田 徹治

インフラ点検のロボット化は、点検作業をロボットが代替／支援することに留まらず、データの扱いや報告形態のデジタル化をもたらすと考える。そして、データ活用は点検の前後工程との連携によって時間的・空間的に用途と価値を拡大していく。本稿では、点検サービスの事例と課題、そして将来の期待を述べる。

キーワード：橋梁点検, UAV, 3次元モデル, オルソモザイク, 点検 AI

1. はじめに

働く人の減少と高齢化は社会課題であり、作業代替／支援ロボットの開発と導入が進んでいる。また、昨今の DX 化の流れや AI 技術の進歩を見ると、精緻な 3D デジタルデータを活用した構造解析や時間差解析を可能とし、点検士の損傷診断に示唆 AI の活用が進むと期待されている。

i-Construction や国土交通データプラットフォームの構想が国土交通省から示され、電子納品へと舵は切られた。本稿では異分野から土木点検の新技术開発に挑んできた者として考えを述べる。

2. 開発と事業化の経緯

2015 年に UAV を用いた橋梁点検ロボットの開発に着手し、2017 年からは SIP の技術開発実証に参加、2019 年からは土木研究所や先端建設技術センターの実証に参加して開発技術の適合を進めた。そして

2019 年の秋には橋梁点検サービスをスタートさせた。

3. 橋梁点検システム

橋梁の歪み・ズレを検知するマクロ点検とひび割れ検知などのミクロ点検を実施し、隣接部材や内部鉄筋との関係性が重要な損傷を構造解析し、損傷進行を時間差解析するために、SfM (Structure from Motion) 技術を用いた 3 次元モデルやオルソモザイクのための撮影技術と画像技術を開発してきた (図-1)。また、運用にあたっては、高精度な位置制御性を有する自動飛行システムを用い、安全かつ効率的な空撮業務をマニュアル化しており、機体・空撮チーム・画像処理を一気通貫で開発している。

(1) 機体

- ① 0.1 mm レベルのひび割れ撮影：橋梁部材に所定距離まで近接
- ② 網羅撮影写真から SfM 処理：所定のラップ率維

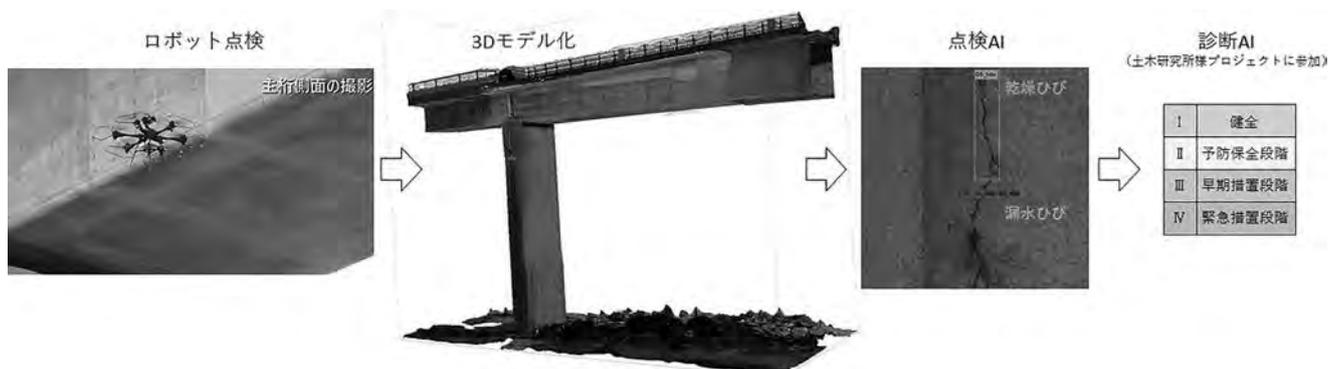
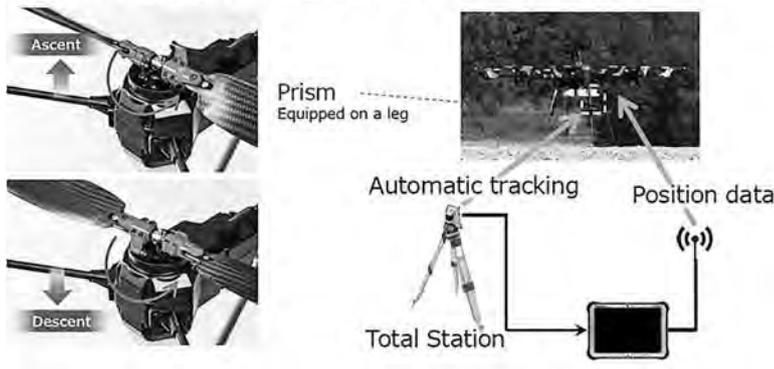
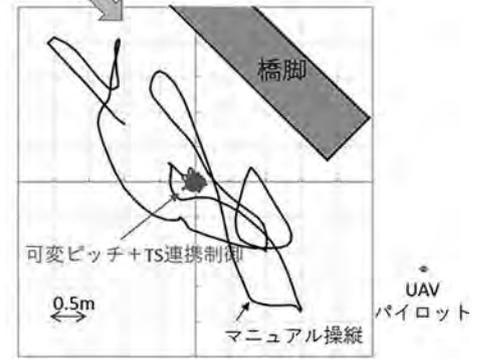


図-1 ロボット点検から 3D モデル化, AI 解析の流れ (構想)

可変ピッチ翼構造 + TS連携自己位置フィードバック制御

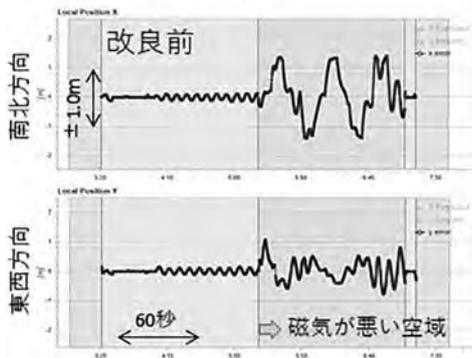


風速10m/sでの橋脚近接での定位性能



図一2 強風、非GPS環境での定位性向上技術とその性能

目標航路とのズレ



図一3 磁気環境が悪化する空域での定位性能

持

③ 高精細な画像合成：被写体との距離、撮影角度、移動座標と移動速度を設定値に制御

①②③を可能にする自動飛行・撮影が必要となる。

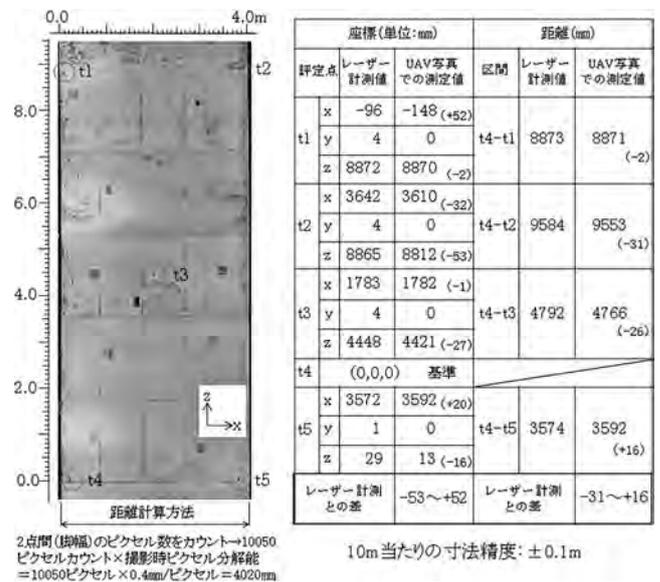
UAVの自動飛行は様々な方法で実用化されているが、橋梁近傍では、風や埃、強力な妨害電波もしくは電波信号系の遮断、微弱な電気信号型センサーへのノイズなどが、自動飛行性能に影響する。機体：XDC02は、橋梁周りの風の乱流、非GPS環境、コンパスエラーに強いシステムとしている（図一2、3）。

(2) 空撮チーム

パイロット、カメラオペレータ、監督で構成される空撮チームを対象として、教育・訓練カリキュラムを作成し、これを修了した社外チームに業務委託している。

(3) 画像処理

3次元モデルの寸法精度は±0.1m@10mで、橋梁の歪み・ズレを検知し、損傷位置を特定できる（図一4）。精細度は、オルソモザイクで元写真を再現し、0.1mmと0.2mmのひび割れ判別が可能である。ま



図一4 オルソモザイクの寸法精度

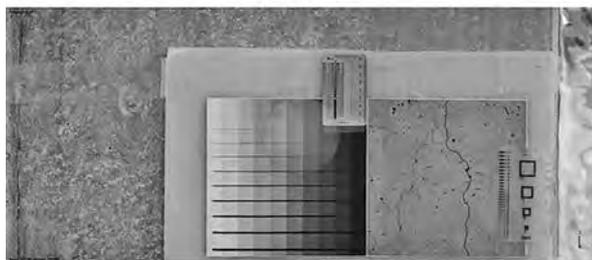
た3Dモデルは、0.1mmのひび割れの存在が確認できるので、全体スクリーニングが可能である（図一5）。

4. 点検サービスの課題

構造物の劣化を解析し適切な予防保全のタイミング



①ひび割れテストピース (ひび幅0.2mm)



②クラックシート (左側一番上の線幅が0.1mm)

図-5 3Dモデルの画像精度

を知るために、3Dモデルを用いて経過観察するのが有効な手段である。なお、2Dアナログ納品に対する変化点として、3Dデジタル納品では診断根拠になる損傷、まだ軽度の損傷、さらには異常がない部位、すなわち全映像が残り、いつでも簡単に見たい部位の状況把握が可能になると言われているが、そのデータ活用法は明確でない。そして点検の価値向上として、全損傷が記録されている3Dデータを後工程の補修で活用する、前工程である検査時から同等のロボット点検・デジタル記録を行ってライフサイクル管理を実現する、などが挙げられているがまだ具体的ではない。この状況においては、3Dモデルは2Dアナログデータの理解支援ツールに留まり、普及が進まない。

そこで、発注側がまだ認識していない3Dモデル技術の見える化・活用体験が、ロボット点検と3Dデジタル納品を普及させる鍵になるのではと考える。また、地方自治体や私企業敷地内の橋梁においては、橋梁や部位の重要度に応じて、点検の目的と方法(どんな損傷を検出するのか)をセグメント化する議論を行うのも、受容性を高める可能性がある。何よりも、発

注者と受注者が現場に集い実証の中で意見を出し合っ、新しい点検方法を具体化し共創していくことが貴重なことである。以下、実証や打ち合わせにおいてシーズ技術を用いて、発注・受注間でユースケースを共有できた事例を紹介する。

事例1 3Dモデルやオルソ画像の写真合成精度への納得性向上

現場では、UAVは設定航路を飛行しているだけで、どんな写真が撮れているのか、が発注者にはわからない。そこで、対象橋梁の3Dモデル画面にそれを構成する写真群を示し、アーチ状の主桁下面に倣うように高度を変えて離隔を一定に保ち、オーバーラップ、サイドラップも一定な撮影が行われたこと、これを拡大していくと個々の写真が同定でき元写真と写真情報(位置座標など)が確認できること、3Dモデルが元写真を再現していること、を発注者にご理解いただけた(図-6)。そして、3Dモデル上で拡大し場所を変えていくことで、図-5の①②のレベルでひび割れ解析が可能であることも経験していただけた。

事例2 時間差解析の模擬体験

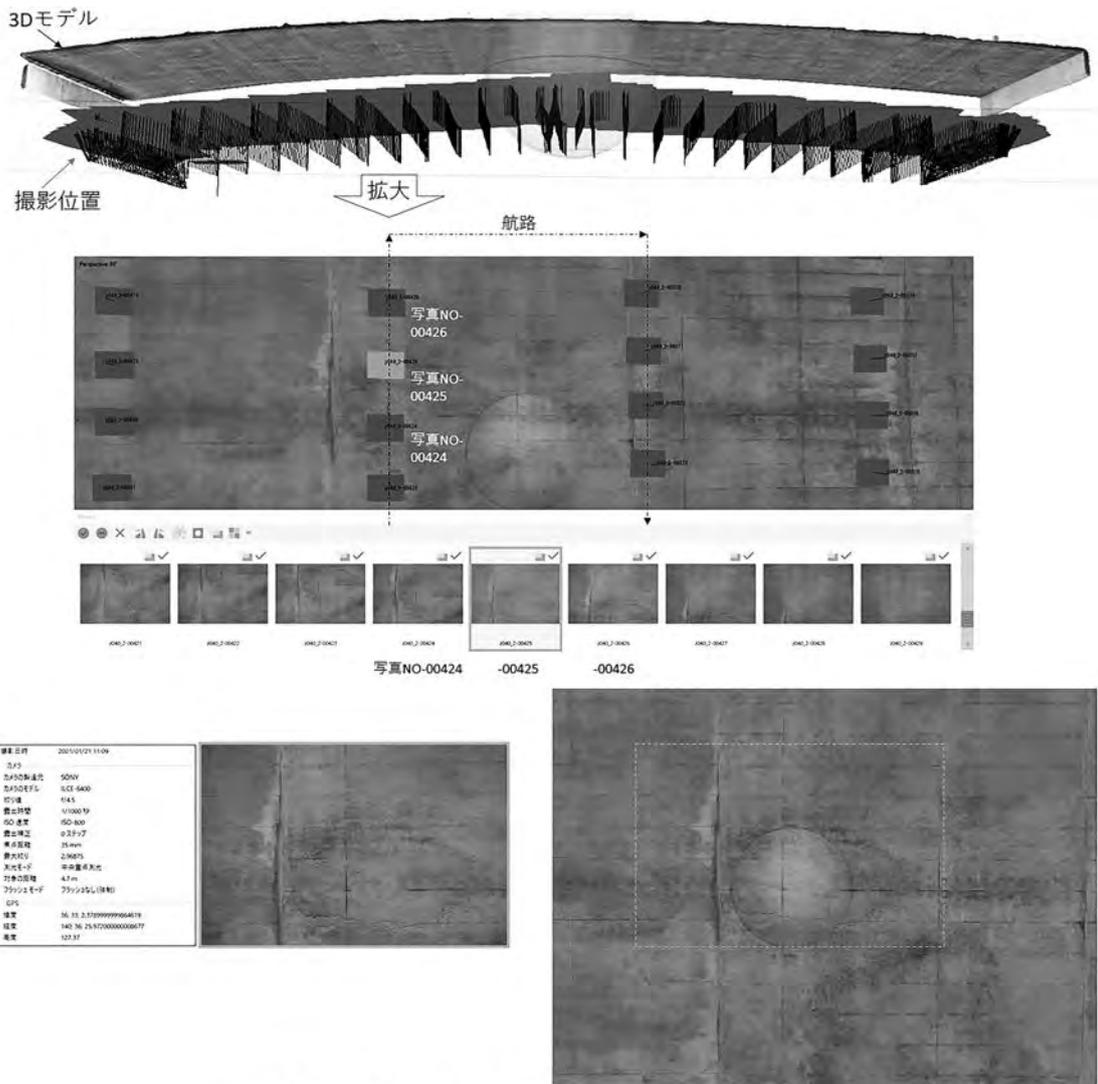
2019年12月と2020年11月に同じ橋梁で実証実験が行われた。3Dモデル画像を比較し、損傷の進行解析についてどの程度のことのできるのか、を模擬体験した。ただし、11か月では顕著に進行した損傷は見つからなかったため、2回目の実証時に発注者が橋脚に貼り付けたクラックシートを進行型損傷と見立てた(図-7)。

事例3 3Dモデルの操作体験

3Dモデルを用いた点検では、画像の均質性と操作スピードが重要である。そこで、福島ロボットテストフィールド試験用橋梁での作成画像を用いて、3Dモデルを操作しオルソ画像でひび割れを採寸する体験をしていただき、事前の理解活動に役立てた。今後はWebサイトや展示会で体験可能にしていき発注者の採否判断の一助としていきたい。

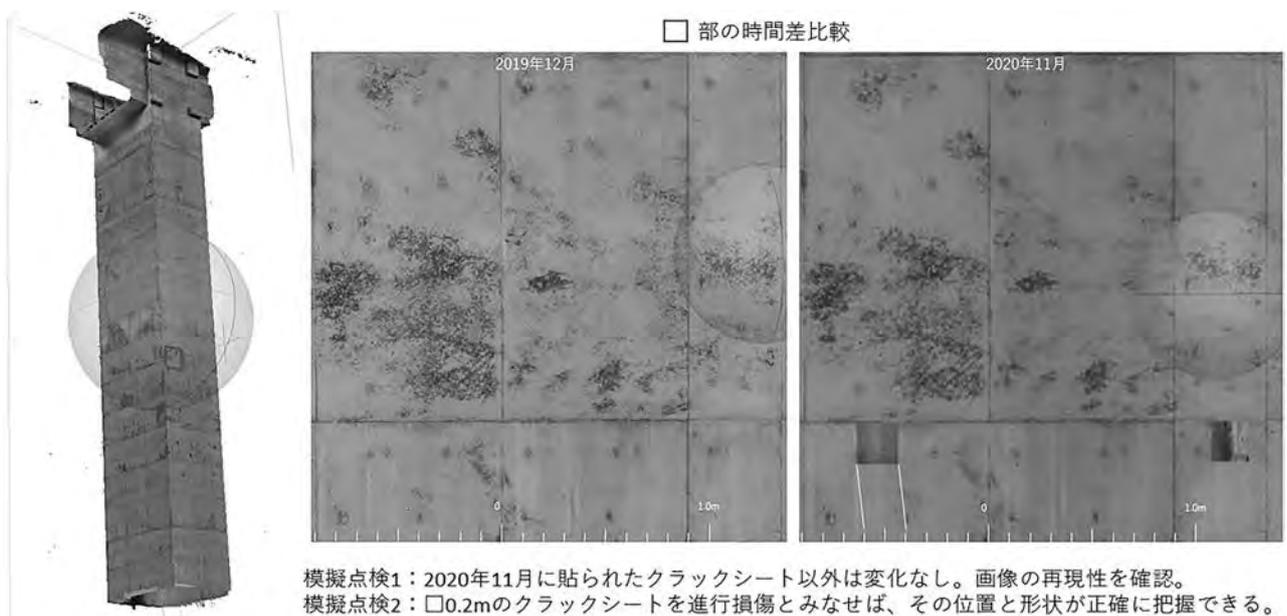
事例4 安全作業アピール

発注者および民間の理解や共感を得るためには、その成果の大きさや利便性に加えて作業安全が重要となる。現在、機体システムについては安全性を含めて認可制が検討されているが、点検作業を行う人についても免許制などを題材に、サービスのあり方として規定・認可される仕組みが期待される。



元写真 (写真NO00425) ↔ 3Dモデル (当該部)

図一六 3Dモデルと3Dモデルを構成する写真群, 元写真と3D画像の比較



□部の時間差比較

模擬点検1: 2020年11月に貼られたクラックシート以外は変化なし。画像の再現性を確認。
 模擬点検2: □0.2mのクラックシートを進行損傷とみなせば、その位置と形状が正確に把握できる。

図一七 時間差解析の模擬体験



図-8 点検チーム育成

作業者としては、機体を操作するパイロットだけでなく、撮影を行うカメラオペレータ、全体の安全監視を行う監督を1チームとして、社内で規定した教育と訓練を行っている（図-8）。

今後は、システム完成度の向上に従ってチーム構成と役割を最適化していく。

5. おわりに

精密な3Dモデルやオルソを作るための、飛行・撮影方法と画像処理の基本的な技術とノウハウは揃った。今後は、空撮から解析までのシステム完成度を向上し、3Dデジタル納品の普及や前後工程を含めての橋梁のライフサイクルコスト低減につながる予防保全化に貢献したい。

また、眼前の橋梁点検サービスにおいては、お客様の要求レベルに柔軟に対応できる点検システムとしていく。

謝辞

最後になりますが、実証実験の機会を与えていただいた岐阜大学SIP関係者の皆様、各務原市様、土木

研究所様、鳥取県様、土木研実証実験に際して計画立案とアドバイスをいただいた計測リサーチコンサルタント様に誌面を借りて謝意を表します。

JCMA

【参考文献】

- 1) 国土交通省, 橋梁定期点検要領, 2019.3
- 2) 平井雅尊, 光田徹治, 加藤直也 非GNSS環境で高精度自動飛行するUAV 日本機械学会誌 2018.11 Vol.121
- 3) 国土交通省, 点検支援技術を用いた3次元成果品納品マニュアル(案)[橋梁編], 2000.3
- 4) 国土交通省, 点検支援技術性能カタログ(案) 2000.6

【筆者紹介】



加藤 直也 (かとう なおや)
 (株)デンソー
 まちづくりシステム開発部
 UAVソリューション事業推進室
 担当部長



光田 徹治 (みつだ てつじ)
 (株)デンソー
 まちづくりシステム開発部
 UAVソリューション事業推進室
 室長

測量から ICT ショベルまで兼用できる 汎用性の高い現場管理システム

ワンマン施工・管理システム「杭ナビショベル」

杉本 明・平岡 茂樹

i-Construction の普及が進む中で中小規模での ICT 施工機械活用の推進が課題になっている。比較的規模の小さい現場では、少人数で現場管理を行う必要があり、中々 3次元設計データ作成や ICT 施工技術の習得まで手がまわらないことなどが理由としてあげられる。そこで、3次元データを活用した自動追尾トータルステーションシステムとタブレットの組み合わせで、測量から ICT 施工まで網羅できる少人数でも現場管理が可能な「杭ナビショベル」(以下「本システム」という)を開発した。本システムはミニショベルにも搭載することが出来るため、中小規模現場での普及が期待される。本稿では、少人数で現場管理が行え、ICT 建機、特にミニショベルにも搭載可能な汎用性の高い本システムを紹介する。

キーワード：i-Construction, 中小規模現場の効率向上, ミニショベル, 自動追尾トータルステーション, ICT 建機

1. はじめに

これまで安価型自動追尾トータルステーションによる基準点設置、確認、杭設置、丁張設置、設計面確認などの現場管理の効率化は進んできているが、その先の ICT 施工を含めた現場管理となると、特に中小規模現場においては、普及が進んでおらず、発注数が多いこの中小規模現場への ICT 施工活用の推進が課題になっている。

2. システム概要

(1) 本システムについて

本システムは、自動追尾機能に特化した望遠鏡の無いトータルステーション“杭ナビ”(以下「本 TS」という)を核とし、測量システムと油圧ショベル用 3D マシンガイダンス (MG) システム兼用のソフトウェアがインストールされたタブレットを用いて、現場管理業務の向上を図るシステムである (図-1)。測量業務では、本 TS とタブレットを用いてワンマンで効率的に測量業務が実施でき、施工業務では、測量業務で活用した本 TS とタブレットをそのまま活用し、タブレットをセンサ付きのショベルにセットし施工業務を行う。機体の位置、向き、ブーム、アーム、バケットの角度から、バケットの刃先の位置と 3次元設計データとの相対位置関係をタブレット上にリアルタイ



図-1 本システム活用イメージ

ムに表示できるため、ワンマンで効率的に施工ができる。オペレータは、設計面に対する刃先の相対位置を画面上で確認できるため、視覚的な情報によって、バケットの刃先の高さや勾配の位置調整が出来るため、丁張りなどの目印や手元作業員の確認が無くても正確かつ効率的に施工が出来る。また、施工後にバケットの刃先を施工面にあてることにより、油圧ショベルに乗ったまま出来形確認にも利用が出来る。

(2) システム構成

機器構成は、本 TS、タブレット、360°プリズム、油圧ショベル搭載用の 4 個の IMU センサ、コントローラの機器構成からなる (図-2)。



図-2 システム構成

(a) 本 TS (写真-1, 図-3)

本 TS は、自動追尾に特化した望遠鏡の無いトータルステーションで、シンプルな操作性と 20 Hz の高速データ更新レートにより、特に杭打ち等の位置出し作業用にその能力を発揮し、土木現場に広く浸透してきている。また、自動整準装置を内蔵しているため、現場で簡単に機械設置でき、迅速で効率的な作業が実施できる。



写真-1 本 TS



図-3 操作ボタン

本 TS ユーザーにおいては、手持ちの本 TS を本システム用にアップグレードすることにより、本システムのセンサとして活用でき、初期投資を抑えた ICT 建機システムの導入が可能になる。

(b) 測量作業用構成

本 TS とタブレット、プリズムで 3 次元設計データを用いて以下などの測量業務に対応できる(写真-2)。

- ①中心杭・幅杭設置 (図-4, 5)
- ②丁張り設置
- ③新点設置
- ④現況計測
- ⑤検測 (3 次元設計面データとの比較など) (図-5)

3 次元設計データは、路線データと TIN データ (3 角形の面の集合体) を状況に応じて選択し活用できる。中心杭・幅杭設置等に活用する場合は、路線データが必要になる。一方で、線形が無く簡単に「面データ」を活用したい場合は、TIN データを活用する機会が多い。

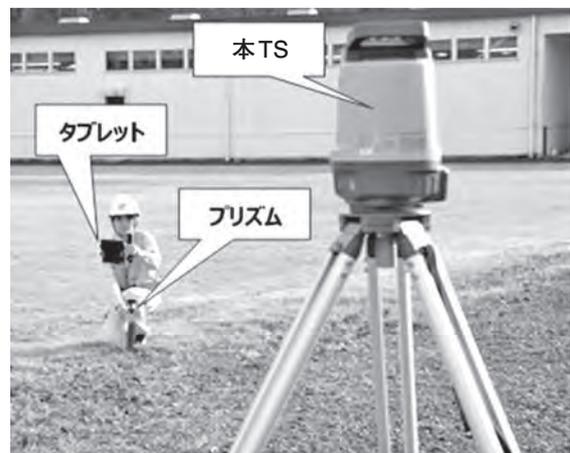


写真-2 測量風景



図-4 タブレット画面

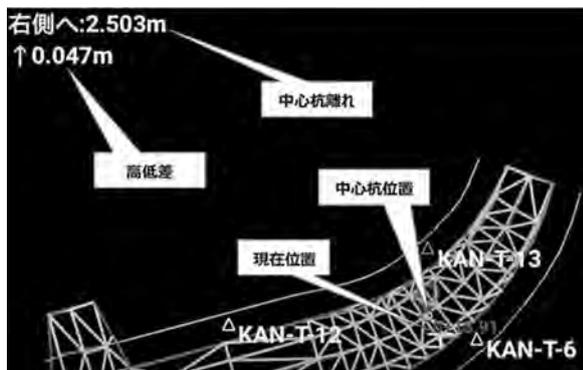


図-5 タブレット画面 (中心杭・幅杭詳細説明)

(c) 施工用構成 (ショベルシステム)

本システムは3D マシンガイダンス機能を有する ICT 建機である。プリズム、IMU センサ、コントローラ等のシステムを構成する各部品は油圧ショベルに後

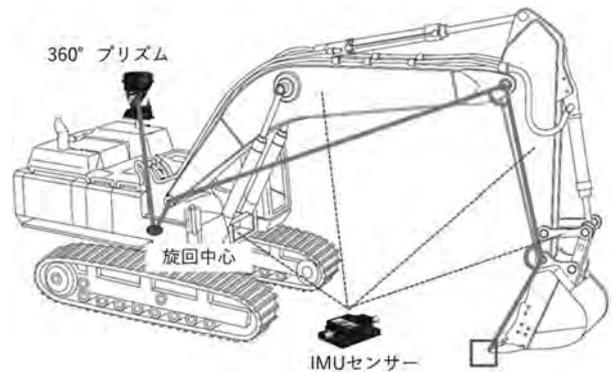


図-6 ショベルシステム位置計測説明図

付けするタイプであり、本システムは6t未満の小型ショベルにも搭載が可能とした。

旋回中のプリズムの軌跡から原点となる建機の旋回中心位置が求められ、刃先の位置座標は、測定されるプリズムの現在位置、方向角、各部位の長さ及び位置関係、4つのIMUセンサーから得られる各部位の姿勢情報からリアルタイムに計算される (図-6)。

3. 機能

画面には設計値との相対位置関係を数値及びグラフィックによって表示することにより視覚的にもわかりやすいインターフェースとなっている。特にショベルシステムとして活用した場合の機能を説明する。

(1) ショベルシステムのホーム画面とキー説明

設計面との高低差表示だけでなく、グレードインジケータで視覚的にわかりやすく設計面にオペレータ

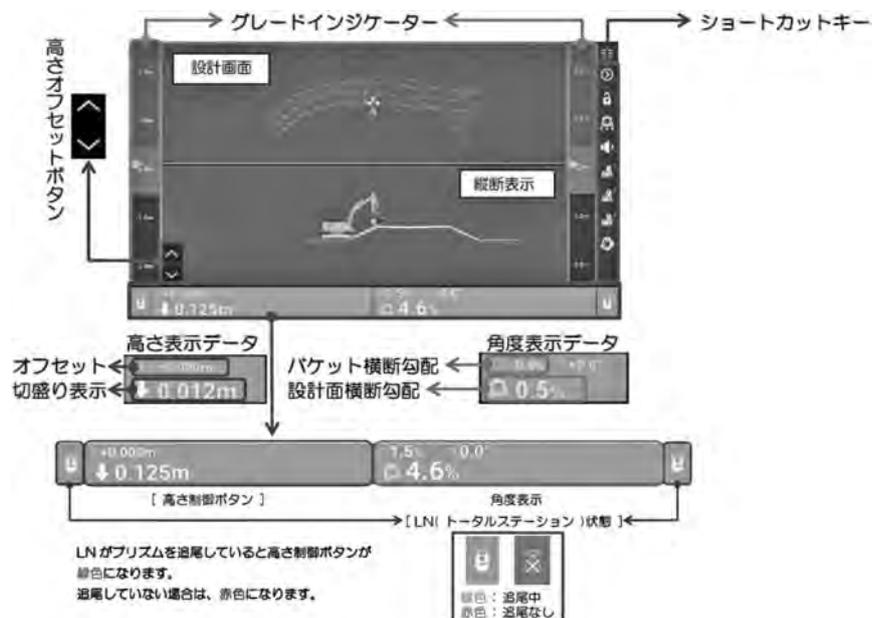
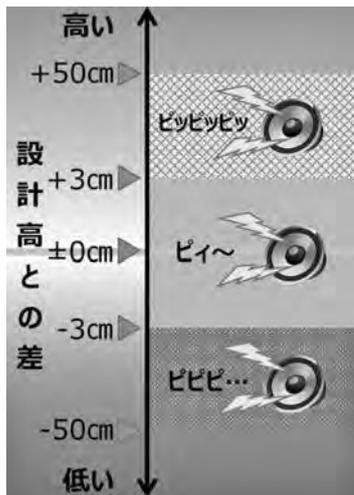
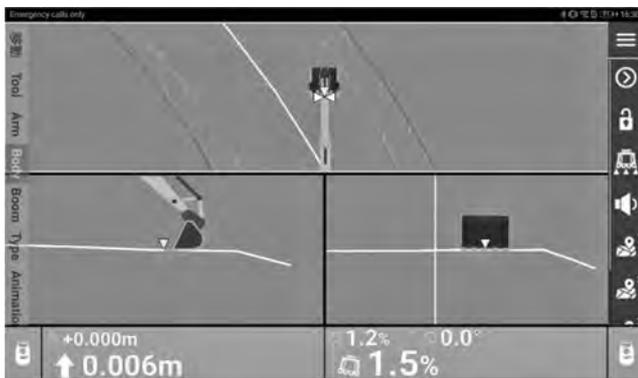


図-7 ショベルシステム ホーム画面



図一八 誘導音設定画面



図一九 3分割画面表示

を誘導できる（図一七）。更に、バケットの横断勾配も表示され、確認しながら作業を進めることができる。

また、誘導音によって誘導する機能も備えており、画面を見ずに音でバケットをコントロールすることができる。これにより、オペレータは、バケットの動きに集中し、周囲の状況も把握しながら施工することが可能となる（図一八）。

ホーム画面は、カスタマイズすることができ、最大3分割して表示することが可能で、設計、縦断、横断の状態を一度に確認できる（図一九）。

(2) 便利な機能

(a) 厚さ表示機能

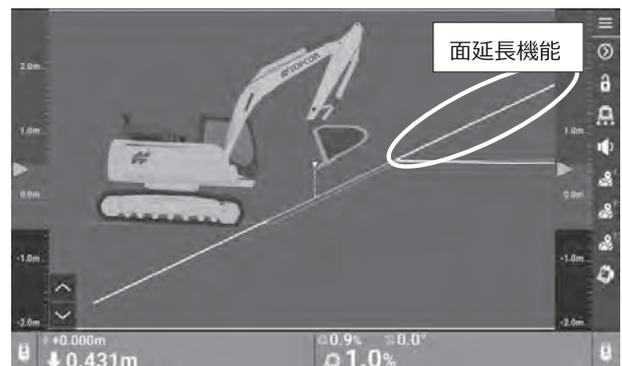
法面施工においては設計面からの離れを「高さ」を基準にするより、「厚さ」を基準にする方が施工しやすい場合がある。特に急勾配の場合は顕著であり、現場の状況によって表示方法を変えることができる（図一十）。

(b) 設計面延長機能

地山の切り出し位置や平面でも設計範囲外にならないよう面を延長して（拡張して）施工したい場合が多



図一十 厚さ表示画面



図一十一 面延長表示画面

くある。本システムでは、拡張したい設計面を画面上でタップするだけで指定した距離分を拡張する機能があり、作業効率の向上につながる（図一十一）。

(c) 設計データ簡易作成機能

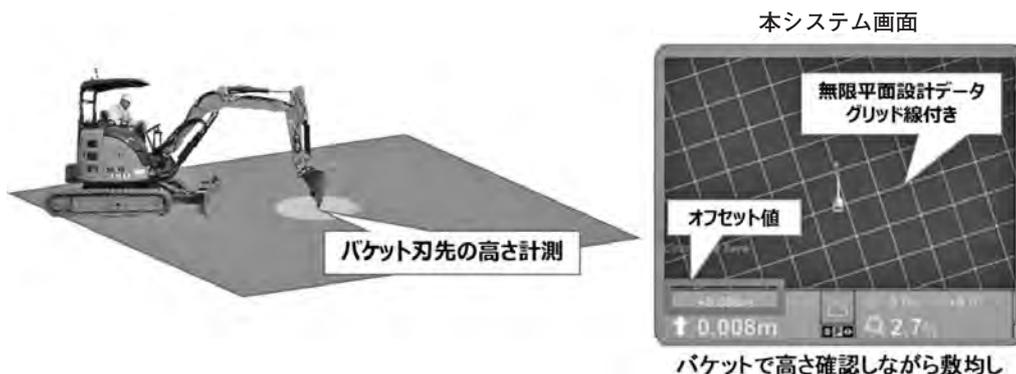
ショベルシステムを活用する上で3次元設計データは必要となるが、特に中・小規模現場において3次元設計データ作成業務は、活用の足かせになる場合も多く考えられる。そこで、本システムでは、ショベルに乗ったまま、バケットを使って作成できる機能や、本システムで側溝などの高さを数点計測することにより、その場で設計データを作成することを可能とした。特に小規模土工においては設計データを持たず、現地合わせで施工する例も多く、そのような現場においてもICT建機の導入を本システムでは可能にする。

① 水平平面設計データの作成

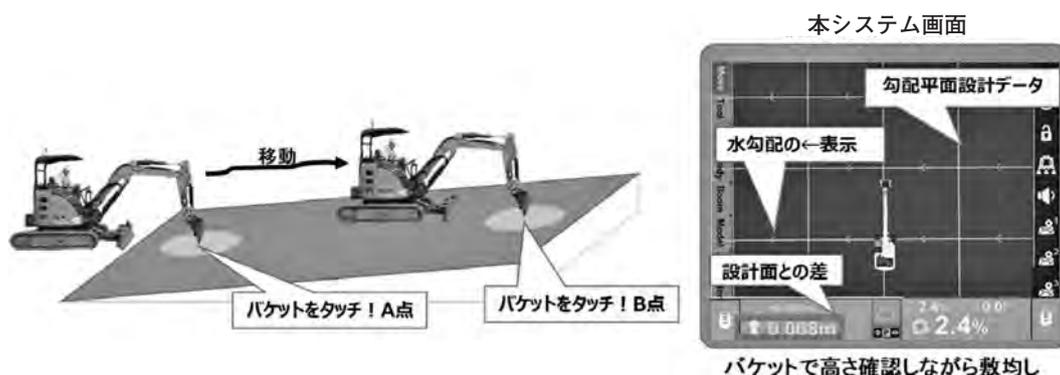
高さの基準としたい位置にバケット刃先をタッチして計測、タッチした点の高さを基準に平面設計データ作成機能で勾配無し無限平面設計データを作成可能。任意のスパンのグリッド線設置や高さのオフセット値も画面から簡単に入力できる（図一十二）。

② 傾斜平面設計データの作成

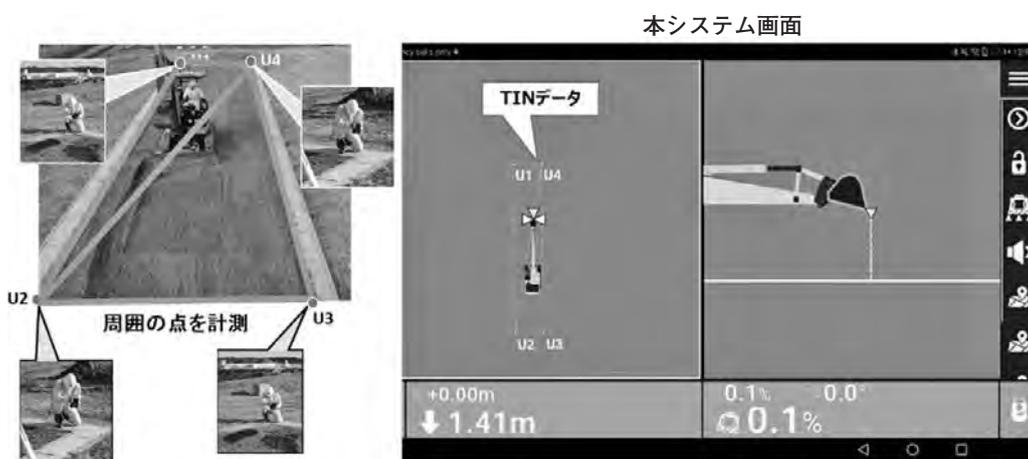
平面だけではなく水勾配等の傾斜面作成のため、傾斜の基準とする2点の位置をバケット刃先で計測、傾斜平面設計データ作成機能で2点の座標から得られる



図一12 無限平面作成方法



図一13 傾斜平面作成方法



図一14 簡易 TIN データ作成方法

傾斜に応じた無限傾斜平面設計データを作成できる (図一13)。

③簡易 TIN データの作成

現地施工エリアの外周を本 TS とタブレットでワンマン計測，またはバケット刃先をタッチして計測し TIN データ作成機能で計測点を元にした面データを簡単に作成できる (図一14)。

4. ショベルシステムの刃先座標精度

本システムで得られる刃先座標の精度の検証を行っ

た。検証方法としては，刃先の座標を別のトータルステーションで直接測定して得られる座標値 (N, E, H) と，タブレット上に表示されるショベルシステムの刃先座標値 (N, E, H) とを比較する方法で行った。

機体を水平に設置しバケット刃先を機体に近い場所に置いた場合と，アーム，ブームを伸ばしバケット刃先を遠くに置いた場合の2通りを東西南北のそれぞれの方角で実施した (図一15)。

表一1 にトータルステーションで測定した座標値との差を表す。水平成分 (N, E) に関しては，最大 -41 mm の誤差があったがほぼ 3 cm 以内に収まって

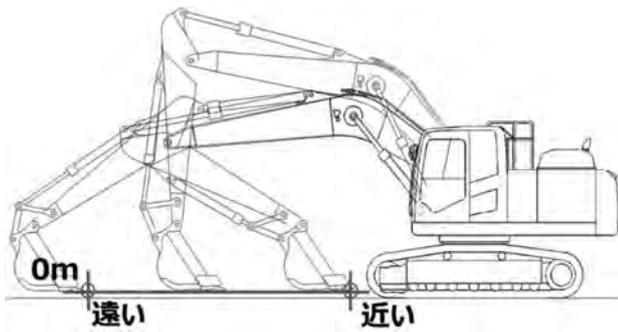


図-15 精度検証計測ポイント

表-1 精度確認表 (水平設置)

バケット西向き

バケット位置	方向	バケット姿勢	TSとの差 (m)		
			N	E	H
近い	西	垂直	-0.011	-0.022	-0.004
遠い	西	垂直	-0.007	-0.027	0.002

バケット北向き

距離	方向	バケット姿勢	TSとの差 (m)		
			N	E	H
近い	北	垂直	-0.001	-0.022	-0.011
遠い	北	垂直	0.008	-0.006	-0.002

バケット南向き

距離	高さ	バケット姿勢	TSとの差 (m)		
			N	E	H
近い	南	垂直	-0.026	-0.021	-0.001
遠い	南	垂直	-0.034	-0.041	0.001

バケット東向き

距離	高さ	バケット姿勢	TSとの差 (m)		
			N	E	H
近い	東	垂直	-0.009	-0.001	-0.001
遠い	東	垂直	-0.016	0.006	0.002

いる。また、高さ成分 (H) については、ほぼミリメートルオーダーで高精度な高さ座標が得られていることが確認できた。

また、同様な方法で機体を傾斜させた状態での精度検証も合わせて実施した (写真-3)。

表-2 にトータルステーションで測定した座標値との差を表す。車体を傾斜させても水平状態の計測結果と同様、高精度な位置座標が得られていることを確認した。この結果から、車体が傾いた状態でも本システムでは、しっかり補正されて刃先の座標が計算されていることがわかる。また、トータルステーションのシステムであることからかなり安定した高さ精度を実現していることも確認した。



写真-3 車体傾斜時の計測状況

表-2 精度確認表 (傾斜設置)

勾配8度

距離	方向	バケット姿勢	TSとの差 (m)		
			N	E	H
縦断+8度	西	垂直	-0.006	-0.027	-0.006
縦断-8度	東	垂直	-0.024	0.018	-0.004
横断左	南	垂直	-0.023	-0.006	0.006
横断右	北	垂直	0.010	-0.024	-0.002

5. 活用効果

本 TS をセンサとして活用する本システムは、上空視界、周囲環境に左右されないため、街中、都市部など密集した現場での掘削作業を可能にする。さらに、小型ショベルと組み合わせることにより、狭小な現場での利用も可能となる。

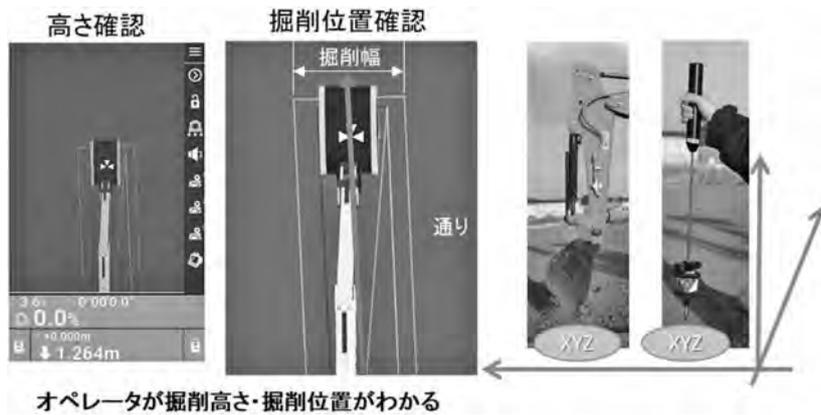
精度の高い刃先座標は、ショベルに乗ったまま、施工面の高さチェックだけでなく、ベースコン型枠の通り出しにも活用できる可能性を持つ。つまり、本システムは、多様な現場で多様な活用が期待できる。

またトータルステーションの ICT 建機システムであるので、GNSS の ICT 建機システムでは必要になる GNSS 座標系と現場座標との整合作業 (ローカライゼーション作業) が不要であり ICT 建機導入のハードルが低い。

例として以下の現場にて活用ができ、小規模現場でも ICT 施工が活用され、普段使いの ICT 建機となる事が期待される。

(1) 小規模土工

限られた人材で運用されることが多い側溝工事を含む小規模土工において、現場管理が容易な本システム



図一16 バケットの刃先座標確認作業イメージ

で、オペレータがバケットの刃先座標がわかることから、小規模土工でも作業員による高さ確認作業や丁張り設置作業も軽減できる。国交省も ICT 活用工事における小規模施工の積算対応を打ち出しており、小規模工事でも ICT 活用が期待できる (図一16)。

(2) 下水工事

数メートル深く掘削する場合もあり、高さ確認に時間がかかる場合が多いが、本システムを活用することにより、高さ確認作業無しで掘削作業が進められることから、効率向上につながる。

(3) 小規模舗装

小規模な駐車場等の施工のようなちょっとした均平作業が必要な際、本システムに搭載されている簡易設計面データ作成ツールで、基準とする面をバケット刃先で計測し、その場で水平設計面を作成できるので、簡単に、手軽に、その設計データを基にバケット刃先で高さを確認しながら、排土板で碎石を敷き均すといった作業が可能になる (図一17)。

(4) 農業土木

畔成型、暗渠工事など、農業は直線部分が多いため設計データがシンプルな場合が多く、3次元設計デー



暗渠の掘削ライン

本システムはこの掘削ラインがいらない

写真一4

タを作りやすいので、本システムを活用しやすい工種である。また、道路のように掘削方向がわかり難い農地では、白線などを設置する場合も多いが、本システムを活用すると高さだけでなく、掘削方向も確認しながら施工することができるので、掘削ラインや丁張り等設置する手間が省け、作業効率向上につながる (写真一4)。

(5) 建築工事 (土間・根伐)

建築工事においても、本システムの活用機会が広がると考える。特に根伐、捨てコン型枠のマーキング、土間の敷き均しでも、本システムの活用により、作業効率向上につながる可能性がある (図一18)。



排土板で均す

高さ確認

図一17 小規模敷き均し作業方法



図一 18 建築現場での活用工種

6. おわりに

本稿では測量作業から ICT 建機による施工作业にも対応した本システム「杭ナビシヨベル」を紹介した。汎用タブレットを採用し、計測装置は、現場での位置だしや検測に普段使われている本 TS LN-150 を活用し、小型ショベルにも装着可能なマシンガイダンスシステムとした。小規模土工に対応でき、初期投資を抑えることが出来る ICT 建機を土木市場に提供することで、i-Construction 推進だけではなく、農業土木、建築工事に至るまでの多様な工事の更なるステップアップの一助になれることを期待したい。

J|C|M|A

【筆者紹介】

杉本 明 (すぎもと あきら)
 (株)トプコンポジショニングアジア
 営業サポート部 プロフェッショナルサポート課
 シニアエキスパート



平岡 茂樹 (ひらおか しげき)
 (株)トプコンポジショニングアジア
 営業サポート部 プロフェッショナルサポート課
 スペシャリスト



ドローン撮影画像を用いた 簡易な路面ひび割れ測定技術の開発

其 田 直 樹・相 田 尚・高 幣 玲 児

自転車競技場をはじめとする車両走行が困難な路面では、舗装修繕の時期や規模の検討のため、目視・スケッチによる人力でのひび割れ調査を実施している。目視・スケッチによる路面のひび割れ調査は、人手と時間、さらには正確性の面で課題があることは周知の事実である。本稿では、ドローンやAI推論といった最新技術を活用し、ひび割れの延長や幅を簡易的に測定できる技術の開発を行い、人力による苦渋なひび割れ調査業務の生産性向上に取組んだ技術開発の内容を報告する。

キーワード：ひび割れ調査、ドローン、画像処理、AI推論、生産性向上、苦渋作業軽減

1. はじめに

わが国の道路施設の維持修繕比率は、今後増加していくことが予測されている。道路施設の維持修繕は、道路施設を良好な状態に維持していくために必要であるが、維持・修繕に関わる予算には限りがあるため、道路施設の状態を的確に把握し管理することが重要である。

一般的に、舗装修繕の目安の一つとして、舗装路面のひび割れの数や幅、形状から舗装修繕実施の時期や規模を検討している。舗装路面の状態を把握するために行われるひび割れ調査の手法は、目視・スケッチによる人力での調査の他、路面性状測定車による調査がある。近年、路面性状測定車の普及により、供用車線のひび割れ調査は人力での調査と比べ短時間で広範囲の測定・評価が可能となっており、その有効性が証明されている。しかしながら、路面性状測定車の適用範囲はあくまで車両が走行できる路面上に限定されている。例えば、自転車競技場をはじめとする車両走行が困難な路面（図-1）では、未だに人海戦術による人力調査が実施されている（写真-1）。目視・スケッチによる路面のひび割れ調査は、人手と時間、さらには正確性の面で課題があることは周知の事実である。

そこで、路面性状測定車が走行できない路面を対象とした、ひび割れの延長や幅を簡易的に測定できる技術の開発を行い、人力による苦渋なひび割れ調査業務の生産性向上に取組んだ。本稿では、ドローンを活用した測定方法や解析方法の検討の考察と一部実路面の測定成果について述べる。

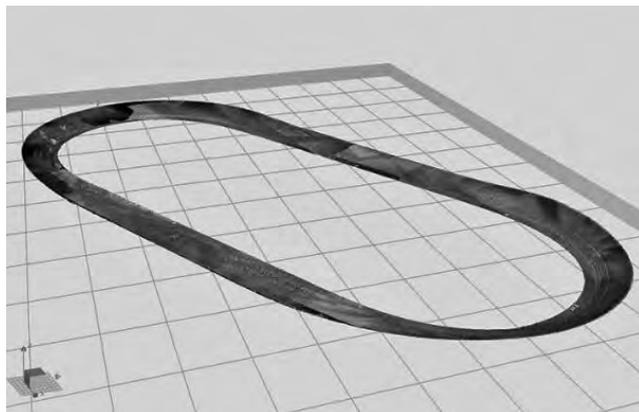


図-1 自転車競技場車路



写真-1 目視によるひび割れ調査状況

2. ひび割れ調査に関する現状の課題と開発目標

(1) 現状の課題

路面性状測定車が走行できないような、ひび割れ調査の省人・省力化が困難な路面では目視・スケッチによる路面のひび割れ調査が実施されているが、目視・

スケッチによる路面のひび割れ調査には以下の課題がある。

- ① 3～4人の人員を要する巡回作業は、労力と時間を必要とする。
- ② 目視によるひび割れの幅や延長の測定は、個人ごとに測定精度にばらつきがある。
- ③ 路面のひび割れをスケッチした図は、平面図への再現性が低い。
- ④ 人力によるひび割れ調査は、屈伸作業を継続するため苦渋作業となる。

(2) 開発目標

(1) に示した課題を解決するため、路面のひび割れ測定技術の開発における目標を以下の通り設定した。

- ① ドローン等の活用により、現地での測定作業を省力・省人化させる。
- ② 画像解析技術の活用により、ひび割れの抽出作業を自動化させる。
- ③ 抽出対象とするひび割れの幅は1mm程度を上限とし、段階的なひび割れ幅の区分けを行う。
- ④ 自動抽出されたひび割れを積算し、平面図へ描写させる。

3. ドローン飛行高度の検討

通常ドローンを用いた写真測量は、約50m前後の飛行高度で十分なラップ率を確保しながら撮影を行い、取得した画像を解析し、オルソ画像や点群データを作成している。しかしながら、50m前後の飛行高度ではミリメートル単位のひび割れを認識する画像を取得することはできない。そのため、ミリメートル単位のひび割れを認識することが可能な飛行高度の確認が必要である。ここで用いるドローンは、入手が容易で比較的安価なDJI社製Phantom4Proを選定した。

1mmのひび割れを対象に、ドローンの飛行高度を5m、10mと変化させ、各高度から撮影した画像からひび割れが認識できるか確認した(図-2)。飛行高度5mの画像では3ピクセル程度、飛行高度10mの画像では1ピクセル程度の解像度で認識することができた。

ドローンの飛行高度が5mの場合、飛行高度10mと比較して1mm幅のひび割れをより鮮明に認識することが可能だが、対象路面の取得画像枚数が膨大になり、画像解析の負荷が大きくなることが懸念されるため、簡易な測定手段の観点からドローンの飛行高度は10mが最適であると判断した。

4. 処理フローの検討

本測定技術は、ひび割れの延長や幅を簡易的に測定することを目的としているため、ドローンにより撮影された大量の写真から生成されるオルソ図に映し出されるひび割れをコンピュータに推論させるAI推論を処理フローに組み込んだ。処理フローを図-3に示す。

ドローンを用いて路面を撮影する場合、飛行高度を下げることでより鮮明な路面を撮影できることは先述したが、一枚の画像に収まる路面サイズは高度を下げるほど小さくなる。そのため、ドローンの飛行高度10mから撮影された画像から生成されるオルソ図の解析処理は、通常のPCで扱えるようなファイルサイズには収まらない。処理を円滑に行うため、生成されるオルソ図を分割して、劣化部を解析、解析結果をオルソ図に戻し、積算結果を出力するフローとした。

(1) オルソ生成

オルソ生成とは、ドローンが連続して撮影した静止画を画像の特長とメタ情報である緯度・経度情報をもとに幾何的に画像の位置関係を導き、上空から平面投

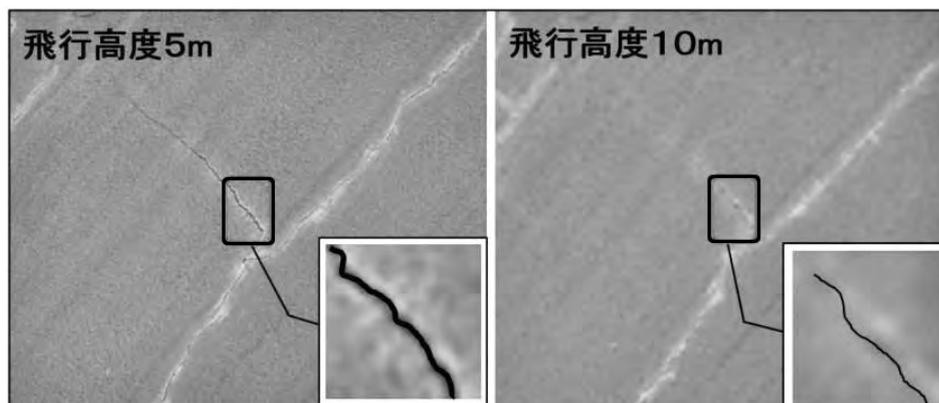
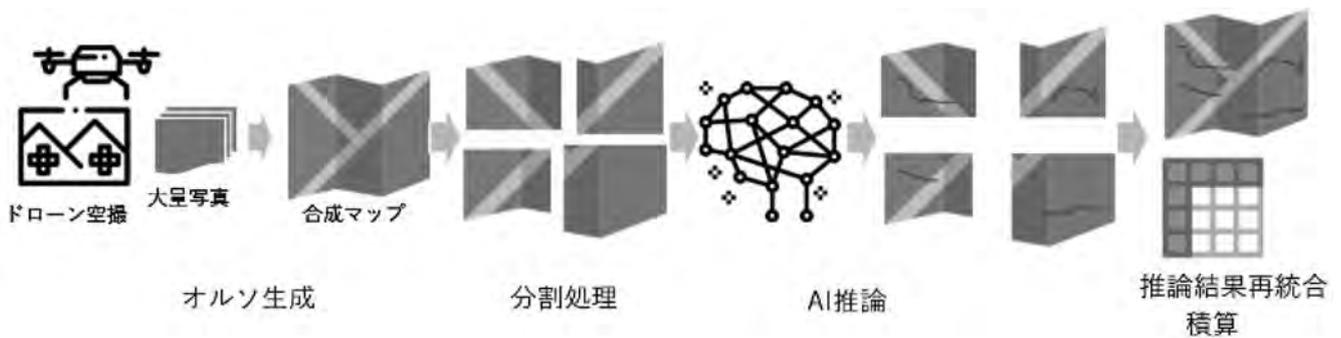


図-2 ドローン飛行高度5m、10m時の画像拡大



図—3 本測定技術の解析処理フロー

影された画像を生成する処理である。ここで生成されるオルソ図より AI 推論を実行するため、本処理では実解像度のままオルソ生成できる仕様とした。

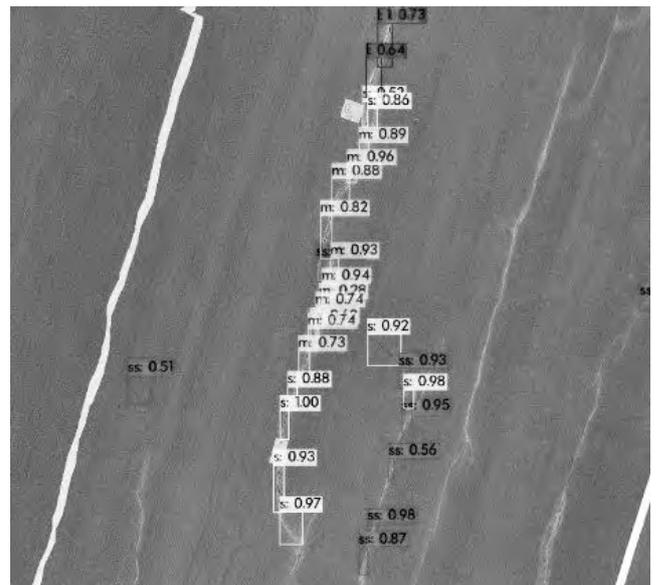
(2) 分割処理

延長約 2 km、幅員 10 m の路面をドローン飛行高度 10 m の一定高さで撮影した場合、その画像から生成されるオルソ画像は、解像度長さ方向で 10 万ピクセルを超えるものになる。この巨大なファイルを PC で AI 推論処理させることは、高性能なワークステーションですら難しい。よって、今回は画像を一定のピクセル幅に分割するツールを準備した。本ツールの準備により、AI 推論処理を切れ目なくバッチ処理化でき、推論速度を向上させることができた。また、ひび割れ抽出した結果を全体画像に描写できるように、分割した画像と、基となる画像における分割画像位置を記録した座標ファイルを出力できるよう準備した。

(3) AI 推論

AI とは、言語の理解や推論、問題解決などの知的行動を人間に代わってコンピュータに行わせる技術のことを言い、大量の学習データで生成しておいた推論モデルに当てはめて、その結果を導くことを AI 推論と言う。本測定技術では、事前に準備したひび割れ抽出用推論モデルを用い、一定のピクセル幅に分割したオルソ図からひび割れを抽出している。また、ひび割れ幅 1 mm の正常な抽出有無の評価のほか、ひび割れ幅の大きさを段階分けした推論が可能か評価するため、既に構築していたひび割れ抽出用推論モデルを基に新規にひび割れ幅を区分けできる推論モデルを作成した。

推論エンジンは、パブリックドメインである YOLO V3 を採用することとした。採用理由は、ひび割れ形状の殆どが濃淡（暗く落ち込んでいる窪みがクラックである可能性が高い）で判別されることが多く、対象



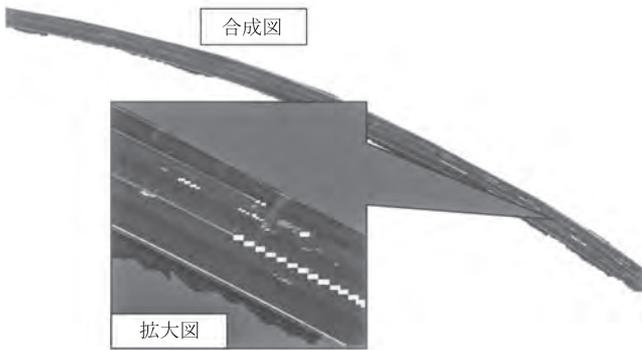
図—4 推論結果描画

路面は平均的にグレーであるため、複雑な対象は存在しないため、本エンジンを活用することが推論にスピード面、性能面で有利と判断した。

モデル設計は、ひび割れがそこにあるか否かを判断させるため、撮影された写真と予測ひび割れ形状がどれほど重なって見えるかを示す指標「IoU」が高くなるよう推論モデルを作成した。なお、推論した結果は、幅情報と長さ情報、画像における座標を出力している。画像に対してはどこかをひび割れとして推論したかを矩形で括った合成画像も出力している（図—4）。

(4) 推論結果再統合

推論した個別の結果画像だけでは情報を俯瞰的に観察できないため、分割処理する前のオルソ図に AI 推論結果が描画された画像を合成する手段を構築した。4.2 で生成した位置関係を示す座標ファイルをもとに、オルソ図にひび割れの状態が描かれるように工夫した。この処理の実装にて、大量にある写真を再統合して描画することが可能となった（図—5）。



図一五 推論結果の再統合イメージ

(5) 積算

路面に意図的に描いたスケール情報、あるいはセンターラインの長さ等を既知のスケールとして、画像のピクセル当たりの実距離から積算比率を計算し、ひび割れのピクセル情報をミリメートルに変換し、合成対象の積算結果を出力した。

5. 処理フロー内で発生した課題と克服手段

(1) 高精細かつ大量データのオルソ生成

対象閾値をひび割れ幅 1mm としてオルソ図をファイル化するためには、メモリ空間として莫大な容量を必要とした。そのため、ディスク領域を仮想的にメモリに充てて、結果を出力させた。しかし、ここで合成されたファイルをもとに分割画像を生成しようとしても、理論上は成立するコンピュータリソースでも計算結果があまりに遅く、現実的ではないため、入力画像数を複数に分割にして合成する手順を踏んだ。

(2) AI 推論における重複積算

AI 推論で劣化診断を行うことで問題となることは、先に触れた「IoU」の高いものが同一個所に複数発生する場合が課題として残る点にある。この課題に対して、解析結果から得られる場所情報を一度別領域

として格納し、その領域を認識した結果の小さいものから大きいものまで重ね合わせて演算し、重複位置を小さいものから順に削除することで、重複カウントを回避した。

6. 試行

目視によるひび割れ調査した結果と本測定技術が推論した結果を比較検証した。

(1) 検証内容

目視によるひび割れの幅と延長はあらかじめ現地路面にチョーキングし、合成されたオルソ画像より手計算にてひび割れ数量を算出した。対して本測定技術は、オルソ図を AI 推論処理し、抽出された結果をひび割れ幅毎に積算した。入力画像と推論結果を合成した画像の一部を図一六に示す。

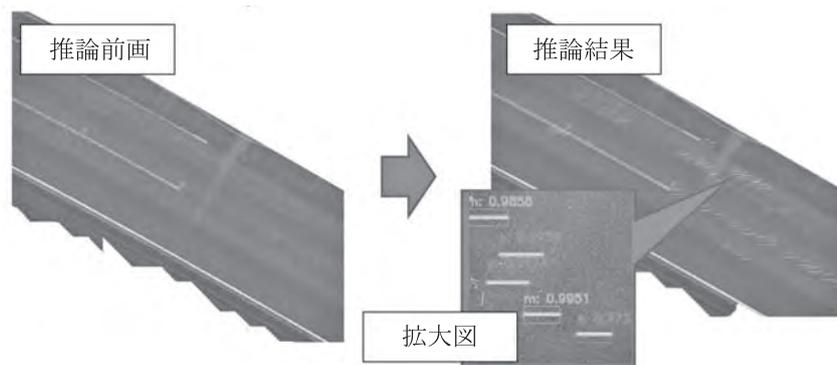
(2) 検証結果

試行箇所の手計算によるひび割れ長は、約 20.8m となった。これに対し本測定技術が推論した結果は表一に示す結果となった。なお、本測定技術の推論において、絶対値(ミリメートル変換値)の導き方は、オルソ画像のピクセル当たりの幅を路面の破線ラインの延長から導きだし、ピクセルをミリメートルに変換している。

表一より、本測定技術の推論結果は約 21.5m となり、手計算による算出結果との検出誤差は約 1 割以内

表一 試行箇所の測定結果

幅	長さ(単位:mm)
S(1-5mm)	7578
M(5-10mm)	13127
L(10mm<)	772
計	21477



図一六 試行結果確認画面

表一 作業時間の比較

	現地調査作業			事務所作業		
	人員	時間	計	人員	時間	計
目視・スケッチ	3人	2時間	6時間	1人	1日	1日
本測定技術	2人	0.5時間	1時間	1人	0.3日	0.3日

内の結果となった。目視によるひび割れ調査の精度を鑑みれば、良好な結果が得られたと言える。ただし、表一 1 の幅分類に関しては、AI 推論のための分類に利用しているだけであり、厳密にその幅が確かか否かまでは検証を行っていない。

(3) 生産性向上の考察

本測定技術を生産性向上の観点からその有効性を考察した。延長約 200 m の対象路面において、ひび割れ調査を目視・スケッチにて実施した場合と本測定システムを用い測定した場合の作業時間の比較を表一 2 に示す。

表一 2 より、現地調査作業は約 81%、事務所作業は約 70% の生産性向上が確認できた。

7. まとめ

本測定技術の開発で得られた成果と知見をまとめると以下の通りである。

- (1) ドローンから撮影される画像は、低空の方がより鮮明な画像であり、ひび割れを認識することにおいて有利である。ひび割れ幅 1 mm を認識できる飛行高度は 10 m 以下であることから、運用面を鑑み飛行高度は 10 m が最適高度である。
- (2) AI 推論を解析に用いる場合、処理可能なコンピュータリソース (CPU 負荷、メモリ搭載量) を軽減するため、解析処理速度を確保するために対象のオルソ図を分割する必要がある。
- (3) AI 推論により生じる可能性があるひび割れの重複カウントを回避する機能を実装した。また、AI 推論により得られた結果はオルソ図へ描写され、自動積算されるフローとした。
- (4) 試行結果より、目視・スケッチによる路面のひび割れ調査の結果と本測定技術が推論した結果は、誤差 1 割以内に収まっている。
- (5) 本測定技術は、目視・スケッチによるひび割れ調査と比較して、現地調査作業において約 81%、事務所作業において約 70% の生産性向上が確認された。

8. おわりに

本測定技術は、今まで人力でしか測定することができなかった路面を対象に、ひび割れ調査にドローンと画像 AI 技術を活用することで、調査業務の生産性向上が確認できた。また、勾配のきつい斜面等の人が近づくことが難しい場所での測定を回避することで、身体的な苦痛を軽減し、安全性向上へも寄与できる。今後さらに、本測定技術を実路面で試用し、更なる測定精度の検証を行い、改良・改善に努める所存である。

JICMA

《参考文献》

- 1) Joseph Redmon, Ali Farhadi: YOLOv3 An Incremental Improvement, arXiv, 1804.02767, 2018
- 2) 水産庁漁港漁場整備部整備課：無人航空機 (UAV) を活用した水産基盤施設の点検の手引き 03, 2019
- 3) 岩崎亘典 (OSGeo 財団日本支部), 水谷貴行 (バーズアイ・リサーチ研究会 株式会社エコリス): Open dronemap ハンズオン 28, 10, 2017, 地理情報システム学会

【筆者紹介】



其田 直樹 (そのだ なおき)
 (株) NIPPO 総合技術部 ICT 推進グループ
 係長



相田 尚 (あいた ひさし)
 (株) NIPPO 総合技術部 生産開発センター
 センター長



高幣 玲児 (たかしで れいじ)
 (株) ビー・ナレッジ・デザイン
 代表取締役

屋内自律飛行ドローンによる 床コンクリートひび割れ検査システム

高井 茂光・山城 健生・荒井 利典

床コンクリートひび割れ検査では、検査者の目視によるスケッチやクラックスケールにより検出が行われており、大型物流倉庫など床面積が広い建物の場合、これらの作業は多大な時間と手間が必要とされ、省力化が求められている。本稿では、デジタル一眼カメラを搭載した屋内自律飛行ドローンにより床面を分割・連続撮影し、得られた撮影画像からひび割れ検出を自動で行うシステムを報告する。

キーワード：コンクリート、ひび割れ、ドローン、屋内自律飛行、省力化、自動化

1. はじめに

コンクリートにひび割れが発生すると美観を損なうばかりでなく、耐久性や機能性への影響が大きくなってしまふことが懸念されるため、ひび割れは初期段階からその幅や進行を把握することが重要となる。従来の床コンクリートひび割れ検査は、検査者の目視によるスケッチやクラックスケールにより検出が行われており、記入漏れや検査者の個人差などが検出精度を低下させる可能性や、大型物流倉庫など床面積が広い建物の場合、これらの作業は多大な時間と手間が必要となるなどの課題が挙げられる。

一方、近年ではコンクリートのひび割れを検出する技術は、デジタル写真を対象にAI（人工知能）でひび割れを認識し、ひび割れ幅、長さを検出する画像解析技術が実用化されている。この技術はコンクリート構造物における補修等の必要性を確認するため、竣工時や引渡し後のひび割れ状況の把握に活用でき、目視による検出よりも精度が高く、品質が一定となることが期待できる。そこで、この技術を活用して床コンクリートひび割れ検査の省力化を図るためには、床面を効率よく分割撮影する技術が必要となり、その自動化ロボットの取り組みが行われている¹⁾。本稿では、床面分割撮影にドローンを採用し、自動化を実現した屋内自律飛行技術、およびドローン空撮された撮影画像によるひび割れ検出結果について報告する。

2. 検査システムの構成

(1) 検査システムの概要

開発した床コンクリートひび割れ検査システム（以下、本検査システムという）は、大型物流倉庫など面積が広い床を自動で分割空撮するドローン（以下、本ドローンという）と自動で写真合成およびひび割れ検出できるクラウドサービス「ひびみつけ」²⁾（NETIS登録番号：KT-190025-VR）から構成されている（図-1）。本検査システムを構築するに当たり、画像取得の自動化を実現するため、デジタル一眼カメラを搭載して倉庫内を自動で飛行し、画像撮影を行うドローンを開発している。

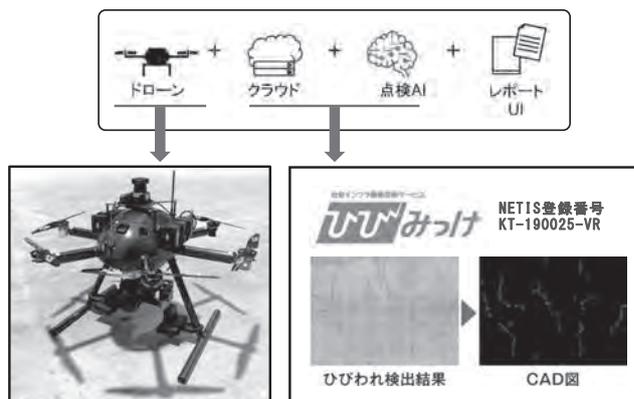


図-1 検査システムの構成

(2) 開発ドローンの要件

(a) 検査作業

床コンクリート面ひび割れ検査は、竣工後からその幅や本数の進行を把握することが重要である。コンク

リート打込み後の乾燥収縮に伴い、ひび割れの幅は拡大していく傾向にあり、また長期間使用されている倉庫は、床面のひび割れの本数が増加する傾向があるため、記録する情報量も増加し必要な検査時間も増加していく。検査結果は、ひび割れ図としてCADデータ上に記録・管理しひび割れの進行確認や補修作業必要有無の判断に用いられる。

(b) 飛行環境

大型物流倉庫などが調査対象であるため飛行する空間はGPS信号が届かない屋内環境となり、GPS信号を前提とした従来の自律飛行は使用できない。また、検査で取得するデータは、0.1～0.2mm程度のひび割れの幅を認識し、倉庫内のどの場所に発生しているかを記録する必要があるが、倉庫内の照度は、場所によってばらつきがあり、暗い環境の場合、100lux以下も存在する。また、フロア内には柱や壁、扉が設置されている。倉庫によってそれらの設置場所は異なるが、設置物の有無や設置場所に関わらず全ての床面を検査する必要がある。従って、照度の変化やフロア内の設置物といった条件に依存せずに、最小幅0.1mmのひび割れの認識可能なことやフロア内の位置情報の記録が求められる。

(c) ドローン性能

ドローンによる床コンクリートひび割れ検査は、デジタル一眼カメラを用いた撮影画像により実施する。求められる画像は、カメラの画素数とセンサーサイズ、レンズの焦点距離、床との離隔距離（ドローンの飛行高さ）によって決定された撮影範囲に対して、1画素当たりの大きさによって検出できる最小ひび割れ幅が決定される。これらのことから高解像度、高感度であるデジタル一眼カメラを選択する必要がある。カメラ本体とレンズを含め約1kg以上の重量を搭載可能なペイロード性能が必要である。

また、床面との離隔距離を常に一定に保つ安定飛行性能が必要だが、市販されている一般的なドローンは、GPS電波が受信できる環境下で飛行させることを前提としている製品が多く、非GPS環境では安定した自律飛行は不可能である³⁾。そこで、約1kg以上のペイロードの実現と合わせて、GPS信号に頼らず自己位置を推定し安定した自律飛行を実現できる飛行制御技術が必要である。

(d) 運用性

ドローンが飛行してカメラで画像取得を行う飛行経路は、倉庫の図面などから得られる寸法情報、画像の撮影範囲、飛行可能時間、などによって決定される。実際の運用時には、想定外の現場環境になっているな

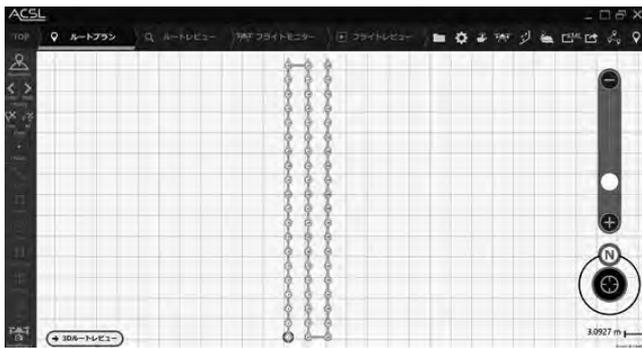
どで、タイムリーに飛行経路を変更する必要があることが想定される。各条件から簡単に飛行経路が構築され、現場状況に応じて迅速に飛行経路を調整できる仕組みが求められる。ドローンが自律飛行している際は、バッテリー電圧や飛行位置などのテレメトリ情報の監視や万が一の緊急時に停止や操作介入可能な安全機能も必須となる。

(3) 開発ドローン

画像解析技術を用いて床面の検査を自動で実施するためには、撮影に使用するデジタル一眼カメラの搭載、撮影パラメータ、床面からの離隔距離（ドローンの高度）および撮影画像の重複率によって決定される各ポイントで正確に撮影を行う必要がある。そのため、各条件によって予め定められた各ポイントへ正確に飛行し撮影させるために、1kg以上の重量を搭載可能なペイロード性能と倉庫内の非GPS環境でも自己位置を推定し自動での飛行が可能な飛行制御性能を持つドローンを開発した（写真—1）。倉庫内の環境は、一定間隔で柱が並んでおり、床面は平坦であることから、その環境に適した非GPS環境での自己位置推定技術を選択している。具体的には、水平方向の制御にはLiDARを使用し、柱や壁を検出しながら自己位置の推定と地図作成および飛行制御を行い、高度の制御には、ToFセンサーを用いて床面からの距離を一定とする飛行制御を行っている。検査者のオペレーションミスなどを想定した安全機能として、周囲の柱や壁との衝突を防ぐために、LiDARを用いた衝突回避機能も実装した。この飛行制御を用いることで、専用



写真—1 開発したドローンの空撮状況



図一2 専用アプリで作成した飛行経路

アプリで作成した検査飛行経路をドローンへ転送後、飛行開始指示を送るだけでドローンは自動的に撮影飛行を行うことができる(図一2)。本ドローンは自動で飛行するため、特別な操縦技術は不要となり、ドローン操縦に不慣れな検査者でも現場での運用を可能としている。また、撮影画像には、本ドローンの自己位置推定の情報から撮影位置情報を付与することが可能である。

(4) 撮影画像からのひび割れ検出

従来の床コンクリートひび割れ検査の場合、外業として検査者の目視によるスケッチやクラックスケールにより検出が行われたのち、内業にてひび割れマップをCADオペレーターがスケッチをもとに手書きでCAD作成を行っており、外業及び内業に時間と手間

がかかっていた。その課題解決策として、撮影された分割画像からAI解析を用いて画像合成、ひび割れ検出及びCAD作成を行うことができる「ひびみつけ」(以下、本解析システムという)を活用することとした。

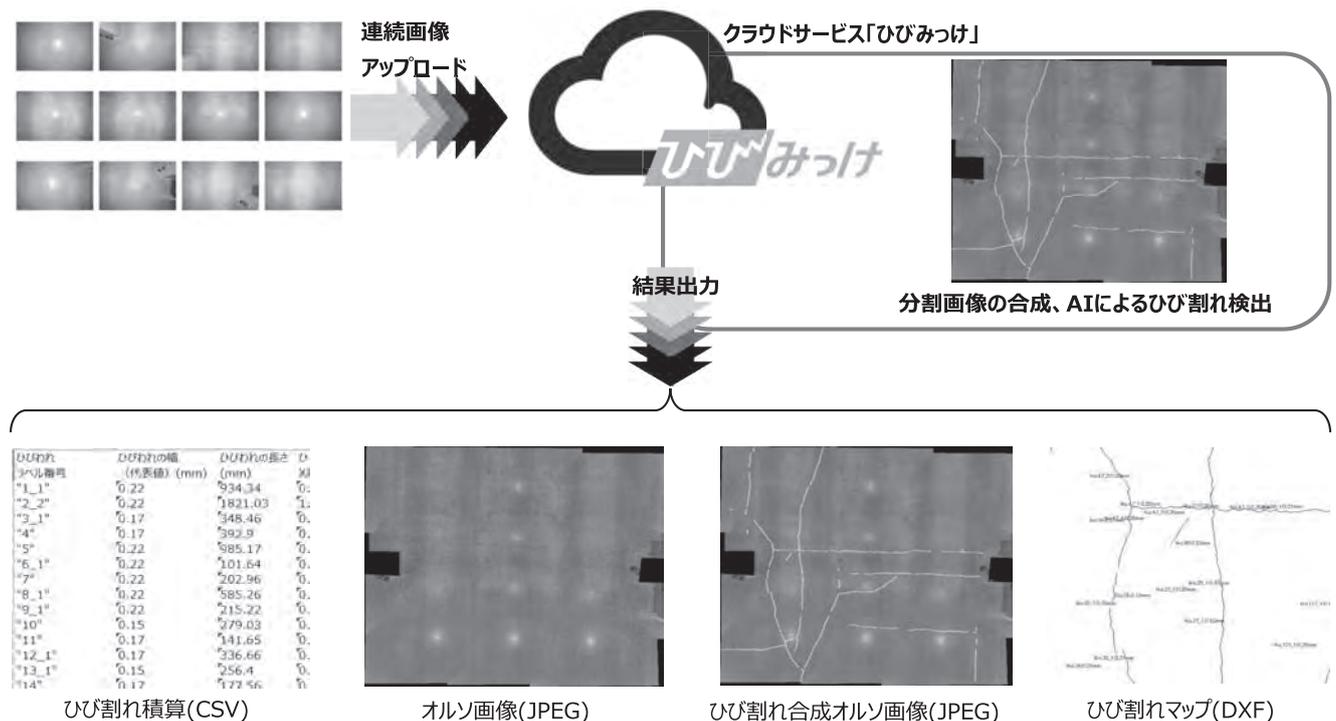
撮影画像からひび割れを検出できる本解析システムの活用により、床コンクリートひび割れ検査の外業をドローンによる自動撮影に、内業を本解析システムに置き換えることで時間と手間を大きく削減したうえ、検査者の個人差の影響を受けずに安定した精度での検査が可能となる。

本検査システムでは求めるひび割れ幅を得られるように設定されたデジタル一眼カメラを用いて、設定した一定の離隔距離(高度)を保ちながらドローンにて自動撮影した画像を、クラウドサービスの本解析システムにアップロードし、分割画像の合成(以下、オルソ画像という)、AI解析によるひび割れ検出を本解析システムにて行い、ひび割れ積算(CSV)、オルソ画像(JPEG)、ひび割れ合成オルソ画像(JPEG)、ひび割れマップ(DXF)の出力を行った(図一3)。

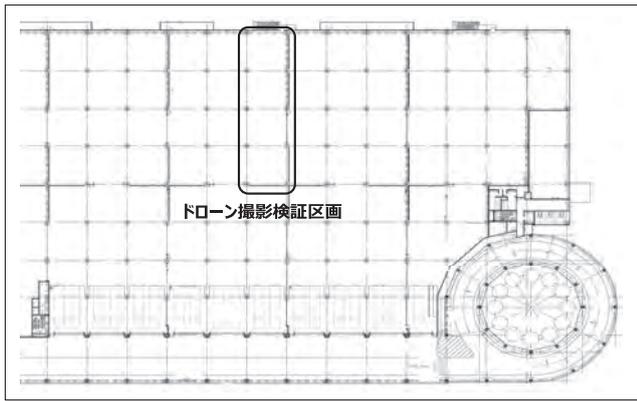
3. 検査システムの検証

(1) 検証概要

大型物流倉庫において、本検査システムの検証を行った。今回の検証では、倉庫内の柱で囲まれた10m×11mの区画について、連続した4区画を1づ



図一3 ひびみつけの概要



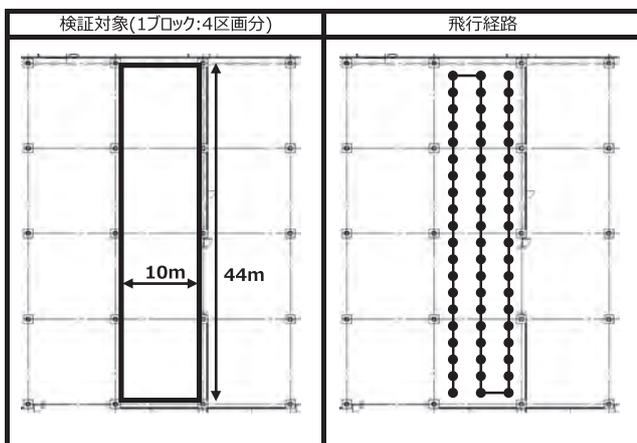
図一4 大型物流倉庫でのドローン撮影検証区画

ロックとして検証範囲を設定 (10 m×44 m) し、1ブロックあたり1フライトとなるようフライトプランを設定の上、自動撮影を行った (図一4)。0.2 mm のひび割れを検出できるよう、デジタル一眼カメラの撮影パラメータ及びドローンの飛行高さを設定、1ブロック当たり60枚の自動撮影を行うよう自律飛行設定し検証を行った。また、合わせてドローンにより撮影した画像にて最小幅0.1 mm のひび割れが検出できることの検証も合わせて行った。

(2) 検証結果

(a) 屋内自律飛行

大型物流倉庫内は非GPS環境下であり、GPSを用いた機体制御ができない状況だが、本検査システムにて開発したドローンの自己位置推定技術により柱近傍では回り込むように、壁近傍では壁への距離を確保しながら飛行ルートを自律的に調整し安定した一定高度で自律飛行ができることを確認した。今回の検証では1ブロックあたりのフライト時間は20分となり、本ドローンのバッテリー交換を行わずに1ブロック分の自律飛行及び自動撮影が可能であることを確認した (図一5)。

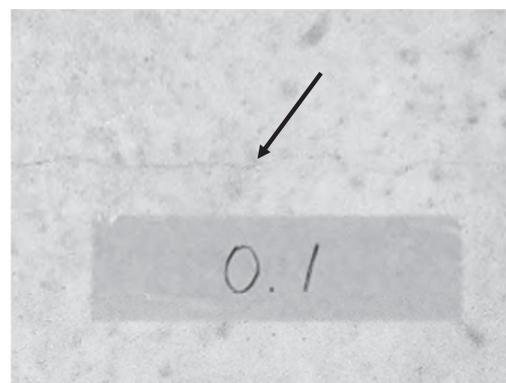


図一5 検証区画とドローン飛行経路

(b) ドローン空撮の画像品質

大型物流倉庫内の環境は、外光の入り込まない暗所となっており、高感度のデジタル一眼カメラを用いたとしても撮影時にドローンが安定的に停止できない場合、ピント流れ等ピント合致ができず画像品質の悪化によりひび割れ検出ができないことが懸念される。

本ドローンの自己位置推定技術により非GPS環境下でもフライトプランにて設定した撮影場所 (WP) へ飛行し一定時間機体を制止させ撮影することができ、外光が入り込まない暗所においても0.1 mm のひび割れ幅が確認でき、ピントずれがない安定した画像が撮影できることを確認した (図一6)。



図一6 空撮画像のピント合致状況

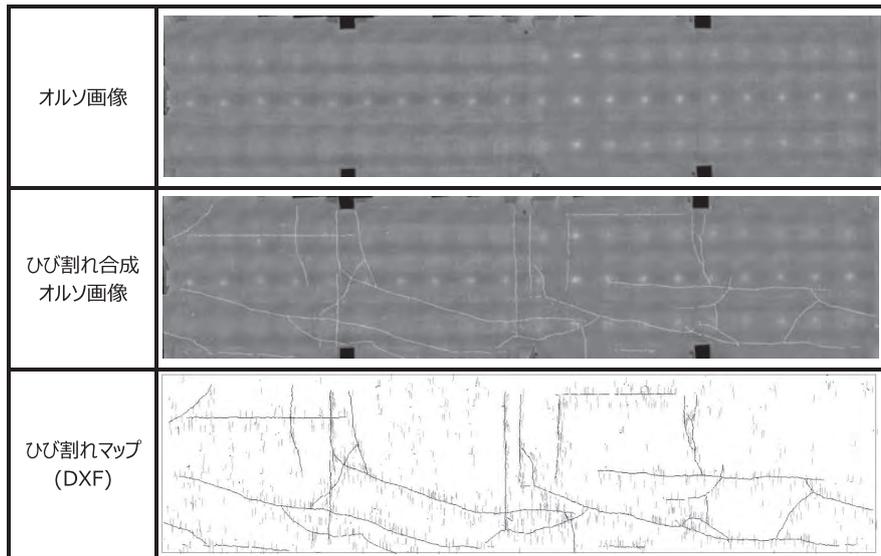
本ドローンにて取得した撮影画像を本解析システムへアップロードし画像合成及びAI解析によるひび割れ検出を行い、オルソ画像、ひび割れ合成オルソ画像、ひび割れマップCAD (DXF)、の出力が可能であることを確認した (図一7)。

通常本解析システムでのひび割れ検出を行う場合、三脚を用いて一定の撮影距離と一定の画像重複を確保しながら、ピントずれの無いよう撮影することが必要であり、非GPS環境下でのドローン撮影においてこの条件を満たす撮影は一般的にマニュアル操縦となり特別な操作技術を要する作業であったが、本ドローンを用いることで非GPS環境下でも安定して自律飛行による本解析システム撮影が可能であることを確認した。

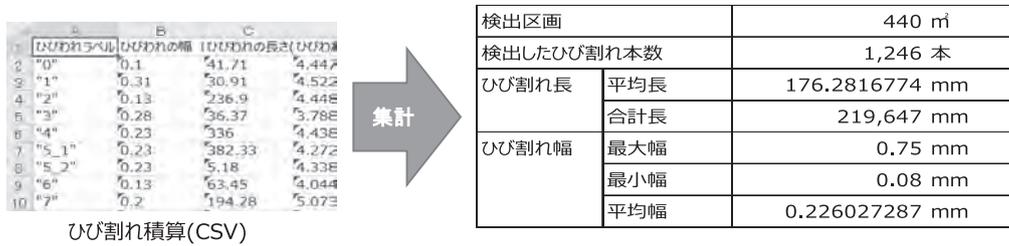
(c) ひび割れ検出結果

検証範囲の1ブロック440 m² のひび割れ検出状況は、本解析システムより出力されたひび割れ積算CSVにて確認でき、集計した結果、検出されたひび割れ総長は約22 m、検出したひび割れ本数は1,246本、検出した最大のひび割れ幅は0.75 mm、最小のひび割れ幅は0.08 mm となった (図一8)。

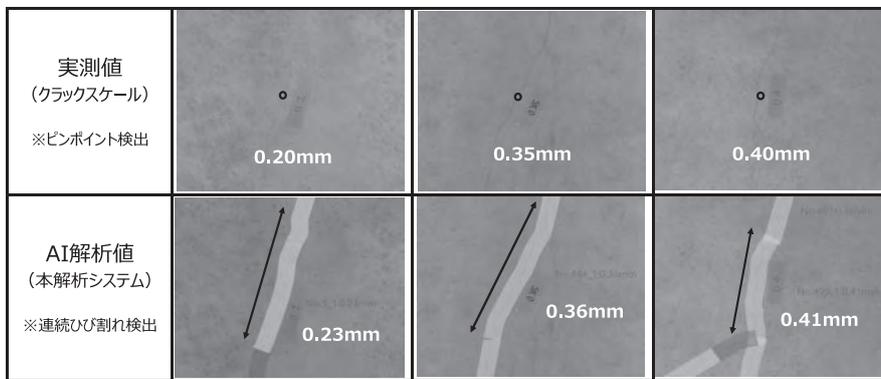
検証範囲内のひび割れについて予めクラックスケールで目視検査したひび割れ幅実測値 (以下、実測値と



図一七 ひび割れ検出結果



図一八 ひび割れ状況一覧



図一九 解析システムの解析結果

いう) と本検査システム検証結果との差異を確認した。代表的なひび割れのサンプリング確認としては、実測値 0.20 mm のひび割れは AI 解析にて 0.23 mm、実測値 0.35 mm のひび割れは AI 解析にて 0.36 mm、実測値 0.40 mm のひび割れは AI 解析にて 0.41 mm と認識され、結果としてひび割れ幅実測値と本解析システムによるひび割れ幅検出値との差異において、特段の大きな差はみられないことを確認した (図一九)。尚、今回 AI 解析によるひび割れ幅検出値は連続したひび割れの平均的ひび割れ幅を結果として出力するよう設定している。ひび割れ幅実測値はその対象箇所を

ピンポイントに検出しており、検査方法の違いがひび割れ幅値の差異に表れている。

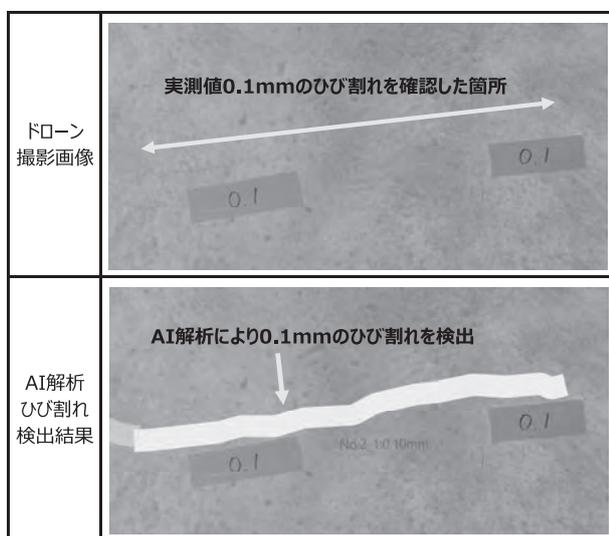
(d) 最小幅のひび割れ検出

本ドローンにて取得した撮影画像から AI 解析によるひび割れ検出において、その性能は 0.1 mm のひび割れを検出することが可能である。目視確認にて確認した幅 0.1 mm のひび割れに対して、0.1 mm のひび割れ検出向けにカメラ撮影パラメータ及びドローンの飛行高さを調整し、本検査システムによる検出を行った。結果として飛行中に撮影した画像は 0.1 mm のひび割れが確認でき、AI 解析においても、0.1 mm のひ

表一 1 検査システムの作業時間

区分	項目	内容	時間
外業	ドローン飛行準備	飛行範囲設定	15分
	ドローン飛行撮影	ドローン自律飛行自動撮影	20分
	次ブロック移動	次ブロックへの移動	5分
	外業作業時間 (1ブロック当たり)		40分
		1 m ² 当たり作業時間	6秒
	ひび長 1m 当たり作業時間	11秒	
内業	撮影画像品質確認	撮影画像の確認	20分
	クラウドサービスアップロード	クラウドへアップロード	10分
	AI解析	夜間処理にて AI 解析を行うため実際工数はかからない	0分
	寸法設定	合成画像の寸法入力	5分
	結果出力	クラウドサービスから結果出力, ダウンロード	5分
	内業作業時間 (1ブロック当たり)		40分
		1 m ² 当たり作業時間	6秒
	ひび長 1m 当たり作業時間	11秒	

※ 1秒以下端数は切り上げ



図一 10 0.1 mm ひび割れの検出結果

開発ドローンが自動で飛行撮影した画像によるひび割れ検出及びひび割れ図の作製が可能なことを確認した。また、最小幅 0.1 mm のひび割れを検出できることを確認した。今後は建設現場での活用を通じて改良を加え、検査業務の省力化・自動化を高めていく予定である。

JICMA

《参考文献》

- 1) 羽根田健ら：自律走行式ひび割れ検査ロボットの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東) pp.873-874, 2020.9
- 2) 富士フイルムウェブサイト:社会インフラ画像診断サービス「ひびみつけ」
https://www.fujifilm.com/jp/ja/business/inspection/infrastructure/hibimikke
- 3) 野波健蔵：小型無人航空機の厳密・簡易なモデリングとモデルベース制御, 計測と制御第 56 巻 第 1 号 p.3-9, 2017.1

び割れを検出することを確認した (図一 10)。

(e) 検査システムの作業時間

今回の検証にて運用を踏まえた作業時間を計測した。1ブロック当たりの作業時間はドローン準備を含めた外業作業で 40 分, 内業作業である本解析システムでの結果出力作業時間は 40 分という結果となった (表一 1)。尚, 本解析システムによる AI 解析はクラウド上での処理となるため, 作業者の作業時間として計上していない。今後, 運用として外業部分の作業時間の短縮が必要であり, ドローン飛行の効率化により, 1フライト当たりの撮影範囲をできるだけ広くできるようにフライトプランの検討が必要と考えている。

4. おわりに

本検査システムの検証で, 非 GPS 環境下において

【筆者紹介】



高井 茂光 (たかい しげみつ)
西松建設(株)
技術研究所
上席研究員



山城 健生 (やましろ たてお)
(株)自律制御システム研究所
事業推進ユニット・カスタマーリレーション



荒井 利典 (あらい としのり)
(株)ムサン

ドローンを使用した赤外線撮影における、 タイル浮き AI 判定技術の開発

スマートタイルセイバー

菊池 亮 人

建設業において、ドローンを活用した技術の研究が近年加速している。また、建設業就業者の減少も歯止めがかからず、生産性向上を達成するためには、このような新技術採用を積極的に推進し、従来技術を凌駕する必要がある。そのような環境の中、ドローンを活用して AI 技術と融合し、タイル 1 枚 1 枚を認識して浮きを自動判定する技術を開発した。またその技術を応用し、ステンレスシーム屋根の溶接検査をドローンで撮影し効率化した取り組みや、コンクリート（スラブ）のひび割れをドローンで撮影し、自動判定する技術についても研究を進めている。本稿ではドローンに搭載した赤外線カメラで外壁タイルを撮影し、浮きを AI 判定する技術スマートタイルセイバー（以下「本システム」という）を中心に紹介する。
キーワード：ドローン、AI、アルゴリズム、タイル浮き判定、赤外線撮影

1. はじめに

近年、日本におけるドローンの使用環境は整備され、それに伴い、建設・土木の分野での適用件数が増えており、世の中の認知度が大幅に向上している。また、ドローン自体においては、新しい製品が毎年のように多く登場しており、自動飛行技術の向上、フェイルセーフ機能も追加され、ユーザーにとっての使用環境が非常に向上して、身近な製品となりつつある。そのような背景の中、建設業においては、熟練工不足が続く問題が常に取り巻いており、AI・IoT 技術を駆使し、生産性向上を果たさなければならない課題がある。ドローンの特徴としては、①比較的安価である ②小型機器であれば、積載して飛行が可能 ③上空を（一定の制約を受けるが）自由に飛行することができる

ということがいえる。また、操縦にはスキルを要するが、ドローンを取り扱うパイロット会社も多くあり、こちらの要望を伝達すれば、安全に飛行することができるようになった。

ここで、外壁タイル定期調査（建築基準法第 12 条）について、建築物の外壁調査は、半年～3年に一度の頻度で手に届く範囲での打診等による調査、竣工から 10 年を経過した建築物については全面打診等による調査が求められている。全面打診による調査には仮設足場・高所作業車等の設置が必要になるため、建築物の所有者にとって費用負担が大きい。また、人が外壁に仮設足場等を設置して、人が打診検査を行い、人が報告書を作成するというように、マンパワーを非常に多く要するサイクルになっている（写真—1）。また、全面打診に代わり赤外線装置を用いた調査が行われて



写真—1 全面打診による従来の外壁タイル調査例

いるが、建物の高層階での調査が困難であり、判定者の経験やスキルの差により、浮きを正確に判定できていないケースも散見される。そこで、それらの問題を解決し、生産性向上を果たすために、機動性に優れたドローンを活用することに着目した。本稿では建設現場で必要な仮設足場・高所作業車等を削減し、ドローンに搭載した赤外線カメラで至近距離から外壁タイルを撮影し、AI技術を用いた画像解析でタイルの浮きを自動検出する本システムを開発したので、その内容と成果を報告する。

2. 本システムソフト開発概要

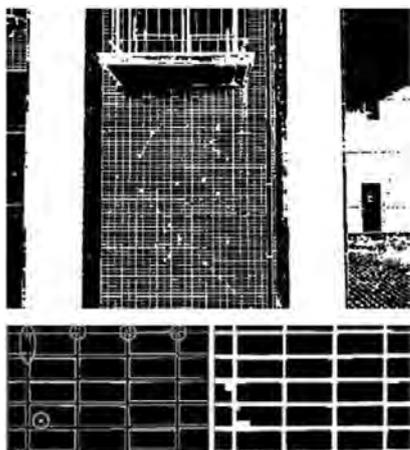
(1) タイル自動認識プログラムの開発(写真—2~5)

まず一つ目の課題として、ドローンで撮影した赤外線画像から、タイル1枚1枚を確実に認識できるようにする手法(タイルの自動認識システムのアルゴリズム)について説明する。今回開発したプログラムでは、タイルを確実に認識するために、タイルのエッジ検出によって得られた輪郭線から細かいノイズを取り除

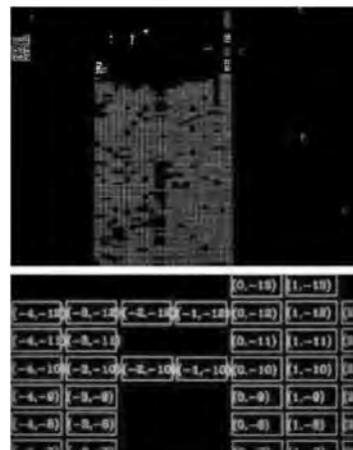
き、タイル線(タイル目地)が途切れている部分をつなげてエッジの強調(補強)を自動で行うことができたようにした。タイルのエッジ線に囲まれた領域を検出し、その中からタイルである可能性が高いタイル矩形を自動判別できるようにする。そして、隣り合ったタイル矩形を定め、連続したグループに色分けし(グルーピング)、そのグループ内でのタイル1枚1枚の相対座標を計算する(アドレッシング)。その後、タイル矩形のグループからタイル格子の形状を予測できるようにした。

本ソフトでは、タイルメッシュ方式を採用し、全てのタイルの四隅座標を情報として保存できるようにした。X軸・Y軸のグリッド線交点を無作為に求めて、それぞれの軸の消失点を推定する。各グリッド線を、推定した消失点を通るように補正を行い、グリッド線のばらつきを抑えるものとした。検出したタイルについて、グリッドを外挿的に適用することで、存在しないグリッド線を推測・補完する手法(エリア拡張)を実装・検証することとした。

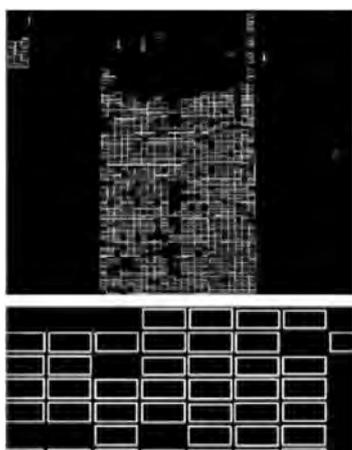
また、タイル種類別認識率においても向上を図って



写真—2 エッジ検出・協調



写真—4 グルーピング・アドレッシング



写真—3 タイル矩形検出

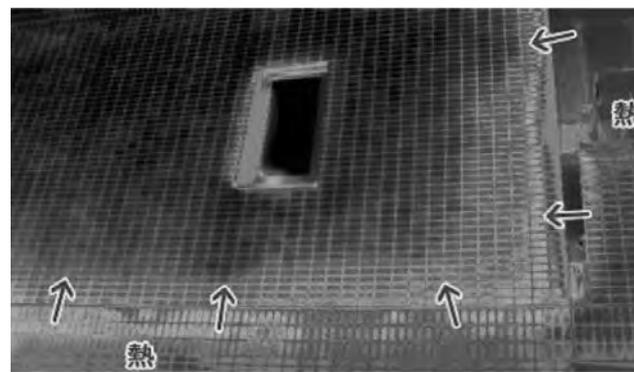


写真—5 タイル格子予測

おり、45二丁タイル以外にも、小口タイル、正方形タイルなど、一般的に使用されている既製品タイルをほぼ認識することができるようになり、汎用性を高めている。

(2) タイル浮き判定基準 (写真—6, 7)

次に、タイル浮き判定の基準について説明する。現場で使用可能なソフトウェアを開発するにあたっては、室外機・窓枠・地上の車などの障害物、地面からの日光の照り返しなど、現実中存在する様々な要素を考慮する必要がある。今回、撮影した熱画像からタイル浮きの典型例である、下地浮き・陶片浮きの判定について、タイルを赤外線撮影し、写真上での熱変化から浮きと判定したもの、実際に打診検査を行い浮きと判定したものを重ね合わせた、膨大な教師データを参考にして、ソフトに実装することができた。また、その他の阻害要因として、日射影響、地面等からの反射熱影響、タイルの模様、タイル縁部分の高温化等があることがわかり、それらについても温度レンジを調整することで、判別ができるようにした。このように、



写真—6 縁部・地面からの反射熱影響状況例

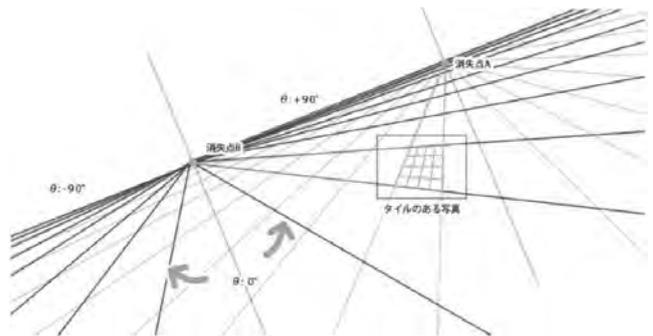


図—1 タイル浮き判定結果

て、赤「浮きの疑いが強い」、黄「浮きの疑いあり」、青「正常」の3段階で評価することが可能となった。

(3) 手動入力・補正ツールの拡充 (図—2)

1枚1枚のタイルを自動認識し、浮きを自動判定することに成功したが、確認したい範囲の設定や、窓枠等の障害物を手動で除去できるように、使い勝手の向上を目指して手動入力・補正ツール機能を追加した。操作手順としては、確認したい範囲の4隅に該当する地点を画面上でクリックして登録するだけで、含まれるタイル枚数を認識することができる。また、遠近率や斜めからの撮影にも対応しており、「2点透視図法」を軸に、「線分検知」・「ヒストグラムピーク解析」を組み合わせて、半自動的なタイル認識を実装した。半自動であるため、画像上から数クリックの操作を要するが、操作時間については、非常に短時間で済み、必要に応じて手動での調整も可能であるため、最終的には、機械学習を取り入れ、精度の高い結果を得ることができた。



図—2 2点透視図法の活用例

3. ドローンを用いた、赤外線撮影手法 (写真—7~9)

建物外壁タイルの赤外線画像を撮影するにあたり、従来は地上から超望遠レンズを用いて撮影を実施しているが、タイルの熱画像をより正確に得るためには、解像度を最大限上げた場合でも外壁タイルから約30m以内で撮影する必要がある。一般的に10階建て程度の建物であれば、地上から赤外線撮影可能と言われているが、それ以上の高層建物では距離が離れてしまうのと、真正面から撮影できず撮影角度も大きくなるため、赤外線撮影によるタイル浮き判定が困難である。また、建物が低い場合においても樹木などの障害物に覆われているケースも多くあり、地上からの撮影が困難な場所は、仮設足場や高所作業車等を設置し、それらを回避して撮影する必要があった。そこで今回

は、ドローンに赤外線カメラを実装することで、それらの問題を解決し、より簡易に撮影を行うことができるようになった。ドローンを飛行させ外壁の近くまで接近することが可能なため、小型赤外線カメラでも解像度が十分であり、樹木がある場合でもその隙間を飛行させて撮影することができた。適用例としては、高さ100m程度の高層ビルで撮影を実施し、赤外線画像でタイル浮きを判定するために十分な撮影結果を得



写真一七 地上からの赤外線撮影状況（従来）



写真一八 ドローンを使用した赤外線撮影状況



写真一九 赤外線カメラが搭載されたドローン例

ることができた。また、敷地が狭い現場においては、歩道上を飛行させる必要が出てくるケースもあるため、警察や関係各所と協議し、安全を十分考慮した上で、適切な方法でドローンを飛行させることも可能である。また、赤外線撮影の都合上、日射による温度変化により判定精度が左右されるため、その点については注意が必要である。

4. 他のドローンを活用したAI判定技術への展開（写真一10、11）

今回のタイル浮きAI判定技術を応用し、ステンレスシーム屋根の溶接不具合部をAI判定する技術についても同時に開発しているので紹介する。

体育館や大ホール等の屋根においては、ステンレスシーム屋根を適用するケースがあるが、ステンレス材同士のハゼ溶接部（重ね合う部分の溶接部）においては、一定の割合で不具合が発生し、雨漏り等の懸念があることから、施工会社の自主検査、元請による社内検査を実施し、是正を確実に行う必要がある。一般的な検査手法としては、熟練者が屋根に這いつくばり、不具合部を目視確認する方法しかなく、個人の主観などにより、不具合が見逃されるリスクがある。そこで、ドローンを活用し、溶接部を撮影することで、不具合をAI判定する技術を開発した。まず、ドローンで撮影された写真については、2秒に1枚静止画撮影しており、それを繋ぎ合わせることができるよう、ソフトを改良した。また、撮影している位置については、リボンテープを用いて、その位置を正確に認識できるようにした。ドローンを活用し、至近距離から一定の角度を保ちながら撮影することで、溶接不具合を画面上で識別できるようにしている。不具合については、パターン別にAI判定できる技術を作り込んでいる。また、溶接部の品質確認を実施したことをエビデンスと



写真一10 屋根ステンレスシーム溶接の自主検査（従来）



写真-11 屋根ステンレスシーム溶接のドローン検査（新工法）

して残すこともでき、お客様に引き渡し資料に追加することも可能である。このように、熟練者の技量に頼ることなく、机上において複数人で不具合部を確認することにより、品質確認の平準化を図ることができ、検査工数を約48%削減することができた。

5. おわりに

建設業に求められる生産性向上を達成するために

は、機動性の優れたドローンを活用し、新技術と組み合わせる必要性があり、その可能性は無限大である。作業所進捗管理等で撮影されている定点写真においても、ドローンで撮影するケースが増えている。また、ドローンで撮影された広域地上画像を用いて、日々の工事進捗の見える化を行い、作業動線の切り替え、工事計画等へ反映する技術を取り入れている作業所もある。さらに、根切工事の際には、3D スキャナ等と組み合わせる掘削土量を瞬時に計測する技術があり、今やドローンが建設業にとって欠かせない物となりつつある。本稿では、開発例の一部を記載させていただいたが、あらゆる分野でドローンの更なる活躍が注目されており、今後、使用環境が整備され、より身近な存在になることを大いに期待したい。

JICMA

【筆者紹介】

菊池 亮人（きくち あきひと）
 (株)竹中工務店 東京本店 技術部
 課長



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

原 田 耕 司

小規模な水力発電の導水路や農業用排水の送水を目的とする小断面の水路トンネルが、震災等の災害を受けた場合、安全性等の理由から無人で水路トンネル内の被害状況を調査することが重要である。水路トンネルの調査では、狭いトンネルを長距離調査することが必要となるが、橋梁等の調査に用いられることが多いドローンでは、電源等の課題があり適用が難しい。そこで、飛行のための消費電力が少なく水路トンネル内での自律飛行が可能な、飛行船型の水路トンネル調査ロボット「トンネルマンボウ」（以下「本ロボット」という）を開発した。本稿では、本ロボットの概要を述べる。

キーワード：水路トンネル，維持管理，自律飛行，長距離，飛行船

1. はじめに

水路トンネルは、利水や治水を目的としたトンネルで、道路や鉄道のトンネルと同様に社会経済活動に必要な重要構造物である。水路トンネルには、導水路や放水路など発電目的のトンネルと農業用排水の送水を目的とするトンネル等があるが、我が国では発電目的の水路トンネルだけでも、その総延長は約 4,700 km に達しており、平均経過年数は約 50 年以上になり¹⁾、効率的に維持管理を行う技術が望まれている。

また、水路トンネルは社会経済活動に必要な重要構造物であるため、地震等の災害後、速やかに被害の状況を調査する必要があるが、災害後の水路トンネル内は崩落等の危険性があり、点検員が水路トンネル内に入って調査するには、安全上の課題があった。

水路トンネルの特徴は、道路トンネルや鉄道トンネルに比べ断面が小さく、また延長が長いことである。橋梁等の調査に用いられることが多いドローンでは、飛行時間に制限があることや回転翼で発生する風による機体の制御等に課題があり、適用するのが困難であった。

そこで、ドローンの課題を解決する技術として、飛行のための消費電力が少なく、また揚力を回転翼で得る必要のない飛行船型の水路トンネル調査ロボット（本ロボット）を開発した^{2)~4)}。

2. 本ロボットの概要

本ロボットは、写真—1 に示すように安全性の高いヘリウムガスを封入したバルーンを浮体として、搭載したカメラで水路トンネル内の画像を取得しながら、自律飛行で水路トンネルを無人で調査できるロボットである。本ロボットの仕様等を以下に述べる。



写真—1 本ロボットの全景

(1) 本ロボットの仕様

本ロボットの飛行速度は、表—1 に示すように標準で約 1.5 km/h で、調査可能な水路トンネルの延長は 2,500 m（理論上は 6,000 m）となっており、ドローンでは調査できない、延長の長い水路トンネルも調査できる。また、水路トンネルは山間部のアクセスが悪い地域に整備されていることが多いが、本ロボットの

表-1 本ロボットの仕様

項目	仕様
外形寸法 (バルーン)	直径：1,200 mm 長さ：3,700 mm
質量	約 5,000 g
飛行速度	標準：約 1.5 km / h
電源	リチウムイオンバッテリー
撮影精度	10 mm を判別可能
調査可能延長	2,500 m (理論上：6,000 m)

質量は約 5,000 g と軽量であるため、山間部でも容易に運搬が可能となっている。

(2) 本ロボットの構成

本ロボットは、図-1 に示すようにバルーン、ガイドフレーム、機体、カメラモジュール、スラスト等で構成されており、いずれも、長距離自律飛行のための対策を講じている。

(a) バルーンおよびガイドフレーム

バルーンは、軽量化を図るため、厚さ 0.08 mm の塩化ビニル製としている。バルーンの設定寸法は、直径 1,200 mm × 長さ 3,700 mm であり、各種機器を搭載して数 km の自律飛行が可能なサイズとしている。バルーンにヘリウムガスを封入した際の浮力は、気温や気圧等の条件により異なるが 5,000 ~ 5,600 g となり、調査の際には、本ロボットのバランスを保つために、質量調整用の錘で浮力の調整を行う。

本ロボットには、スラスト制御による電力消費量を低減することと、水路トンネル側壁等への接触によるバルーンの損傷防止のため、写真-2 に示すガイドフレームを取り付けている。ガイドフレームは、カーボン製のアーム先端にジュラコン製のローラを備えて



写真-2 ガイドフレーム

おり、水路トンネル側壁等との接触時に摩擦による飛行速度の低下を抑制する構造となっている。ガイドフレームの有無による、鉛直方向の本ロボットの挙動例を図-2 に示す。図-2 の縦軸は、本ロボットからトンネル底部までの距離を示している。ガイドフレームを取り付けることにより、鉛直方向の挙動が安定しており、電力消費量を低減できることがわかる。

(b) 機体および浮力調整装置

写真-3 に示す機体は、ポリスチレンフォーム製のメカデッキモジュールに、本ロボットの自律飛行を制御するための機器を搭載している。主な搭載機器は、制御用マイコン、リチウムイオンバッテリー、鉛直スラスト、浮力調整装置である。ヘリウムガスは分子が小さいため、塩化ビニル製のバルーンから徐々に抜けるため浮力が低下する。このため、バラスト水を入れたプラスチック製の容器に点滴装置を接続した浮力調整装置を機体に搭載している。

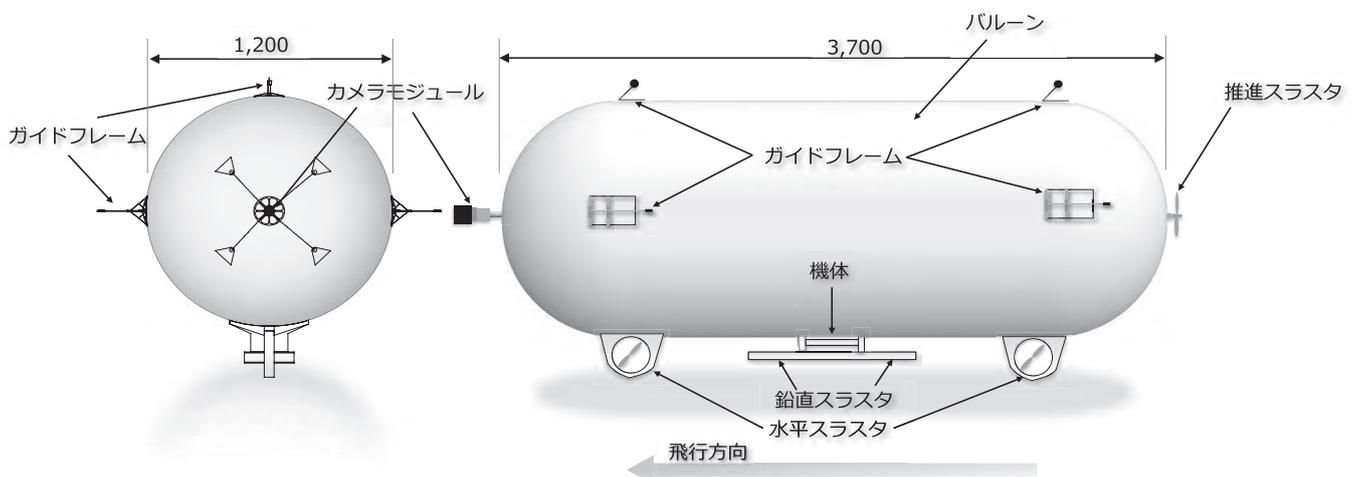
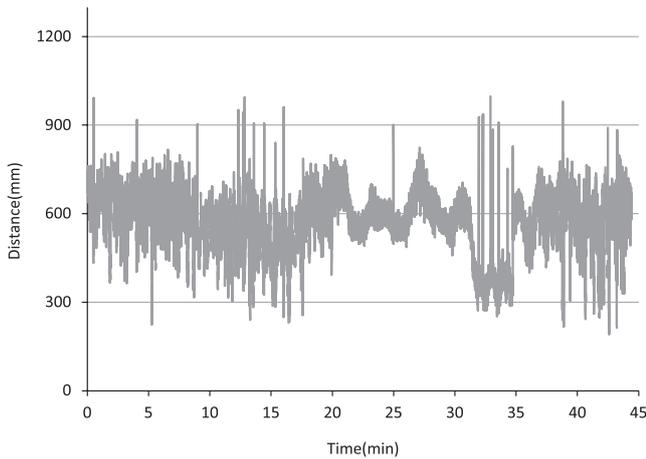
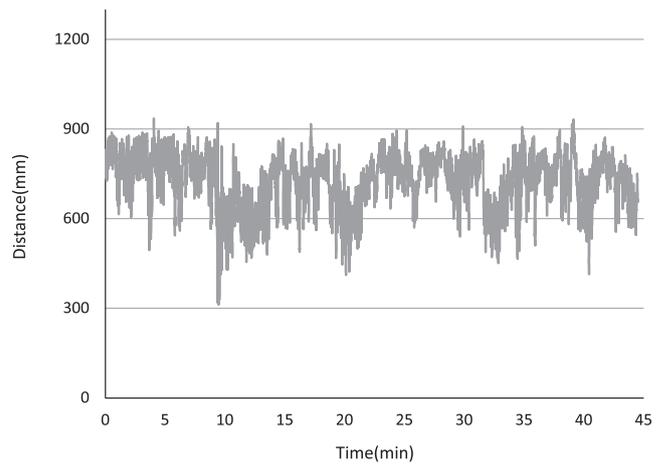


図-1 本ロボットの構成

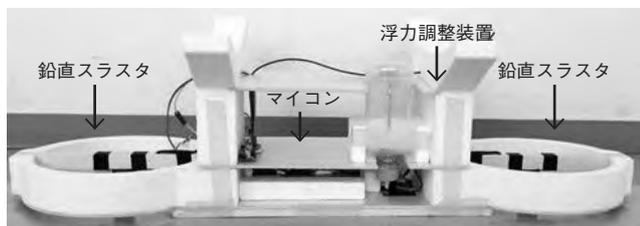


(a)ガイドフレーム無

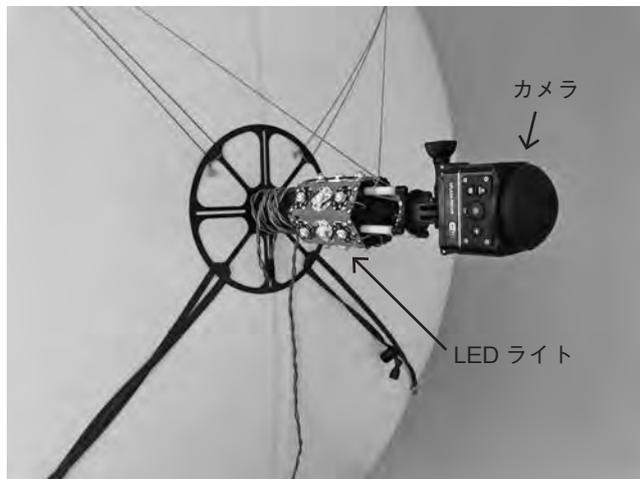


(b) ガイドフレーム有

図一 本ロボットの鉛直方向の挙動例



写真一 3 機体



写真一 4 カメラモジュール

(c) カメラモジュール

カメラモジュールは、写真一 4 に示すように 360 度カメラと 54 W の LED ライトをフレームに装着したものである。バルーンの前端に固定することで、水路トンネルの天端、側壁および底部までの連続画像 (2,880 × 2,880 ピクセル) を撮影できる。トンネル全周に照明が届くよう、電力消費量の少ない LED ライトをフレームに装置することにより照明が全くない真っ暗な水路トンネルでも、写真一 5 に示すように鮮明な画像を取得できる。なお、得られた画像データから、幅



写真一 5 撮影画像例

10 mm 程度のひび割れ等を判別できることを確認している。

(3) 自律飛行のための制御

本ロボットは、鉛直方向と水平方向を独立して制御している。以下にそれぞれの概要を述べる。

(a) 鉛直方向の制御

本ロボットは、浮力調整装置によりヘリウムガスの抜けによる浮力低下を防いでいるが、鉛直方向の微細な調整は、鉛直スラストで行っている。鉛直方向 (Z 軸方向) の本ロボットの位置は、検出対象の材質や色の影響を受けず、トンネル底部に溜まった水に対しても正しい距離が測定可能な超音波センサを採用している。

鉛直制御は、図一 3 に示す超音波センサで得たバルーン中心とトンネル底部までの距離 δz を条件式に当てはめ、バルーン中心がトンネル鉛直方向の中心にくるように、鉛直スラストのモータの PWM 値を制御するシステムを採用している。

距離センサの値 δz とモータの PWM 値の関係を図一 4 に示す。 δz の原点 δc は本ロボットがトンネル

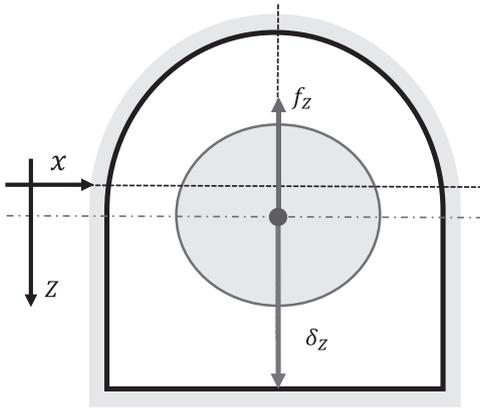


図-3 鉛直方向の制御イメージ

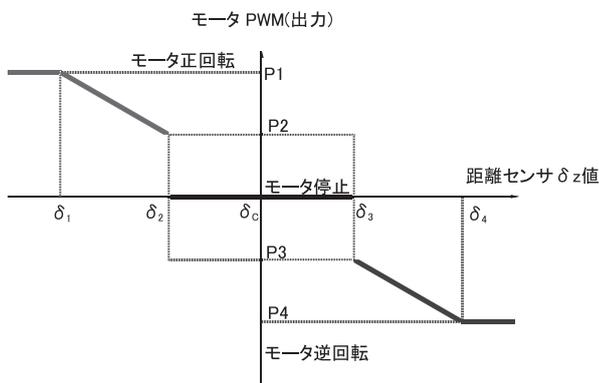


図-4 距離センサーの値とモータ出力の関係（鉛直方向）

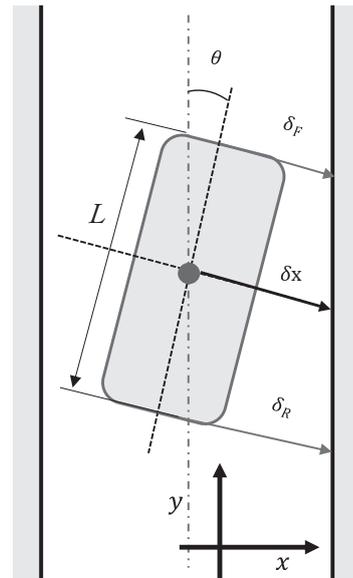


図-5 水平方向の制御イメージ

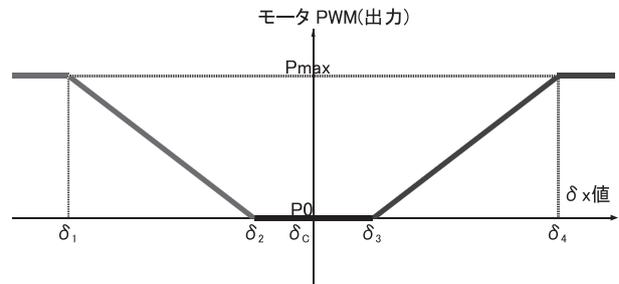


図-6 距離センサーの値とモータ出力の関係（水平方向）

の鉛直方向中心にあることを示しており、本ロボットの高度が下がる（ δ_z が小さくなる）場合、 $\delta_2 \sim \delta_1$ の時に δ_z に応じてPWM値をP2～P1としてモータを正回転させて本ロボットを上昇させる。また、本ロボットの高度が上がる（ δ_z が大きくなる）場合、 $\delta_3 \sim \delta_4$ の時に δ_z に応じてPWM値をP3～P4としてモータを逆回転させ、本ロボットを下降させる。

$\delta_2 \sim \delta_3$ のときにモータを停止させるのは、正逆回転の過度な変化によるモータの焼き切れを防ぐためである。また、PWM値の上限および下限をそれぞれP1およびP4に設定することで、モータの過度な回転を防止することにより、電力の消耗をできるだけ防ぐようにしている。

(b) 水平方向制御

本ロボットと水路トンネル側壁との距離測定は、測定精度が高く応答速度が速いレーザーセンサを採用している。機体の前後に2つのレーザーセンサを搭載して、それぞれ距離 δ_F および δ_R を取得、図-5に示すようにトンネルの進行方向に対する機体の傾き角度 θ および本ロボットの中心と水路トンネル側壁との距離 δ_x を演算している。

θ および δ_x に対して、許容傾き角度の範囲を超え

た場合は、前後の水平スラストを前後逆位相で作動させ機体を回転させる。また、許容傾き角度範囲内である場合は、壁面との距離 δ_x に応じて前後の水平スラストを同位相で作動させ、バルーン中心がトンネル中心にくるように水平位置を制御している。

距離センサからの演算値 δ_x とモータのPWM値の関係を図-6に示す。 δ_x の原点 δ_c は、バルーン中心がトンネルの水平方向中心にあることを示している。なお、水平スラストのロータは可変ピッチを採用しているため、同じPWM値でもロータのピッチ（翼角）を変えることにより、逆向きの推力を発生させることができる。

本ロボットが右側の側壁に近づく（ δ_x が小さくなる）場合、 $\delta_2 \sim \delta_1$ の時に δ_x に応じてPWM値をP0～Pmaxとして左向き推力を発生させる。また、本ロボットが左側の側壁に近づく（ δ_x が大きくなる）場合、 $\delta_3 \sim \delta_4$ の時に δ_x に応じてPWM値をP0～Pmaxとして右向き推力を発生させる。鉛直制御と同様に、距離が $\delta_2 \sim \delta_3$ のときにモータを停止させ、また、PWM値の上限をPmaxに設定することで、モータの過度な負荷を防止している。

3. 調査手順

本ロボットによる水路トンネルの調査フローを図7に示す。調査では、まずトンネル条件等の確認を行い、パーツ毎に分解された本ロボットを現地で組み立て調査を行う。ヘリウムを封入する前のバルーンは、写真6のようにコンパクトに畳むことができ、さらに、他のパーツも分解可能であるため、本ロボットは運搬性に優れている。調査終了後、カメラからSDカードを取り出し、記録画像から顕著なひび割れや壁面の崩壊、その他変状の有無などを確認する。なお、写真7に本ロボットの自律飛行による調査状況を示す。

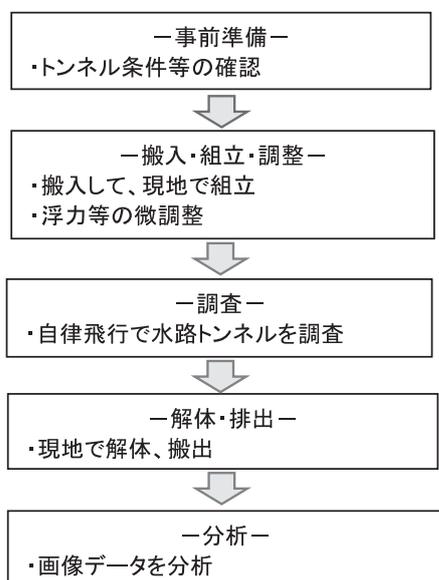


図7 調査フロー



写真6 運搬時のバルーン



写真7 自律飛行による調査状況

4. おわりに

本ロボットトンネルマンボウは、浮力や照明等の制限から、現時点で判別できる損傷等は10mm程度となっている。今後は、撮影精度の向上を図る検討を進める予定である。

JCMA

《参考文献》

- 1) 一般社団法人日本建設業連合会 電力工事委員会：水力発電土木施設のリニューアル技術【増補改訂版】，p.276，2015
- 2) 岡元隆之介：気球型マルチロータ水路検査ロボットの開発，第19回システムインテグレーション部門講演会（SI2018），pp.3056-3057，2018
- 3) 松浦誠司他：飛行船型水路トンネル調査ロボットの開発，令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会，VI-312，2020
- 4) 松浦誠司他：水路トンネル調査ロボットの開発，令和2年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集，pp.167-170，2020

【筆者紹介】

原田 耕司（はらだ こうじ）
西松建設㈱
技術研究所
主席研究員



MR デバイスを活用した水路トンネルの調査・点検手法と維持管理業務の効率化

水路トンネル調査・点検ナビゲーションシステムの開発と適用

大津 慎一

水路トンネルの調査・点検では、近接目視により既往の損傷状況と現況を比較することでひび割れ等の進展状況を確認する。またその結果をもとに補修や補強などが必要となる箇所も見極める。しかしながら水路トンネルは照明施設がなく藻類の繁茂やコンクリート壁面などの汚れによってひび割れ等の判別が困難となり、現地での照合作業に多くの時間を要する。

これら水路トンネルの調査・点検の現状を踏まえ、MR (Mixed Reality: 複合現実) デバイスを用いて既往の調査・点検記録などを3D画像としてトンネル壁面に重ね合わせ、既往の損傷箇所や定期的な点検を要する箇所などへの迅速なナビゲーションを可能とするシステムを開発し、実現現場での適用を行った。本稿では開発した調査・点検ナビゲーションシステムについて報告する。

キーワード: 水路トンネル, 維持管理, 調査・点検, MR

1. はじめに

筆者らは、以前から道路トンネルに関わる維持管理とICTを組み合わせることで維持管理における調査/点検や維持補修工事などの情報の流れを一元的に管理・保存し、データ登録や帳票/記録の出力などといった作業の効率化や省力化についての研究を進めてきた。この中で原位置での情報の閲覧や登録を行う端末としてタブレット等の情報端末を使用してきたが、こういった一般的な情報端末では原位置での情報や位置などの検索を行うために手動もしくはマーカー等の補助的な手段が必要となり、情報の検索や位置の照合に手間がかかる場合があった。そこで筆者らは、現在注目を集めているMRデバイスの利便性に着目し、原位置での情報端末として活用する方法について検討を行った。

MR (複合現実) デバイスは、HMD (ヘッドマウントディスプレイ) と情報端末によって構成されるAR (拡張現実) デバイスの一種である。拡張現実とは、デバイスのモニタ上で内蔵のカメラ画像と様々な情報を三次元画像として重ね合わせることで使用者が直感的な位置と情報の関連付けを支援する仕組みである。それに対して複合現実とは、拡張現実と同様に使用者の位置と情報の関連付けを支援する仕組みであるが、使用者が装着するHMD上で様々な情報を三次元画像として表示して利用者の実視界との重ね合わせを行うことがで

き、視覚による直感的な位置と情報の関連付けが可能となる。また装着者の移動に伴い自身の位置をリアルタイムに更新するといった機能も有している。近年、様々な分野でMRデバイスが注目されており、工場施設のメンテナンスや機器操作のナビゲーションなど製造業の分野で活用が進められている。また建設業界でも、BIMやCIMなどと組み合わせることで生産性や品質の向上を図る試みが進められている。

本稿では、これら特長を踏まえMRデバイスを活用したインフラ施設の維持管理手法の検討とシステム化、および水路トンネルにおける活用事例について報告する。

2. 社会インフラにおける維持管理の現状

我が国の社会資本の多くは、戦後の復興から高度成長期を通して急速に整備が進められてきた。そのため今後数年で建設後50年以上となる設備の割合が加速度的に増加する見込みであり老朽化の問題に直面している。

国土交通省では、道路トンネルについて平成14年度に「道路トンネル定期点検要領 (案)」を策定し、2~5年の間隔で確実に定期点検を実施し維持補修工事を実施する対策を講じている。一方、地方自治体では、国土交通省のマニュアルに準ずるあるいは独自のマニュアルなどを整備し調査/点検を実施する自治体

や、実施予算や人員等の不足により適切な調査・点検の実施が難しい自治体など、トンネルの管理者によって維持管理の水準にばらつきがある状況であった。しかしながら平成24年の笹子トンネル天板崩落事故後、道路法の改正や点検要領の改訂により、すべての道路管理者に5年ごとの定期点検の実施や点検内容の記録と保存などの義務が明確化された。

農業や工業などに関わる水インフラについても道路インフラと同様に、その多くが半世紀以上の長い期間供用がなされており、施設の補修や補強を含む維持管理の見直しや効率化を必要とする時期を迎えている。また定期点検についても、その用水施設の使用用途に応じて経済産業省や農林水産省などの所管となる官公庁が定める要領や管理基準などにより、施設管理者による定期点検の実施や点検内容の記録と保管などの義務が明確化されている。しかしながら開水路や水路トンネルなどといった用水施設では、延長が数kmを超えるものも多く、断面も小さいため車両等の進入が難しい。そのため道路構造物のように点検車両などの大規模な点検機器を導入することが困難であり、目視観察や打音検査などによる点検作業が主となるが、水路

トンネルでは写真—1のように基本的に照明施設が整備されていないため非常に暗い。また平常時は水で満たされているため写真—2に示すように表面の汚れや藻類の繁殖が著しく、ひび割れや漏水箇所などの位置の特定が困難を極め、現地での調査・点検作業に多くの時間を要する場合がある。そのため用水施設における維持管理の効率化を図るためには、ひび割れ等損傷箇所の迅速な位置特定を可能とする手法の確立が必要となる。

3. MR デバイスを用いた水路トンネル維持管理の効率化

筆者らは、これら水路トンネルや用水路などの用水施設における調査・点検の作業環境を踏まえ、MR デバイスを用いることで開水路や水路トンネルなどといった用水施設の調査／点検作業において既往のひび割れ等の損傷箇所への迅速なナビゲーションを可能とするシステム（以下、本システム）としての構築を行った。

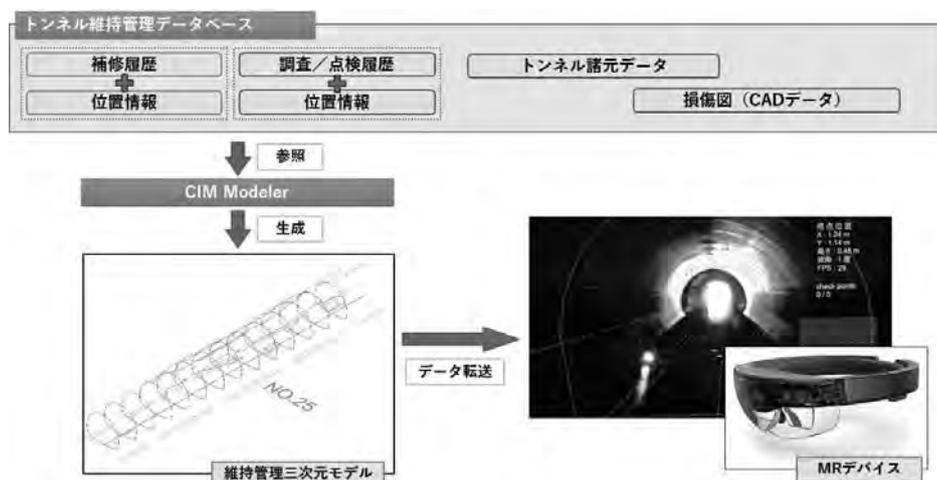
本システムは、図—1に示すようにMR デバイスにダウンロードした既往の損傷箇所等の維持管理情報



写真—1 水路トンネル構内



写真—2 水路壁面の状況



図—1 水路トンネル調査／点検ナビゲーションシステム

を含む三次元モデル（以下、維持管理モデル）を三次元画像として点検者の実視界と重ね合わせることで、既往のひび割れ等の損傷箇所や定期点検箇所などの位置や形状を視覚情報として提供する。本システムの概要を以下に示す。

(1) MR デバイスによるナビゲーション

MR デバイスは先にも述べたように HMD と情報端末によって構成される機器であり、利用者の実視界に三次元画像などを重ね合わせることで、壁に隠れた配管設備などといった目視での確認が困難なものであっても視覚情報としてその位置や形状などを正確に把握することが可能となる機器である。これを活用することで図一2に示すような視覚情報を利用者に提供し、コンクリート壁面の汚れやトンネル構内の照明などといった現地作業環境によって通常目視が困難な状況であっても、既往のひび割れ等の損傷箇所の位置を特定し利用者を迅速にナビゲーションすることが可能となる。また定期点検箇所についてはその位置だけでなく、過去の点検状況の帳票などを表示することも可能である。



図一2 ナビゲーション画面

(2) 調査／点検データのデータベース化

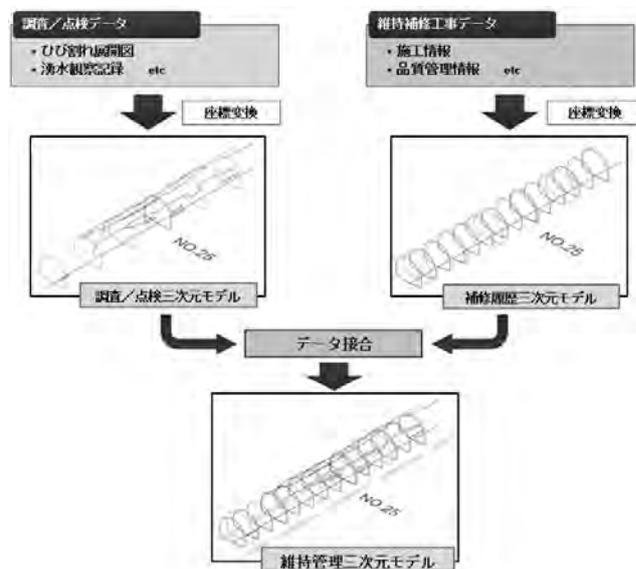
ひび割れ等の位置や形状などを視覚情報として提供しナビゲーションを実現する上では、本システムにおいて現地作業に即した維持管理モデルを構築する必要がある。しかしながら、ひび割れ等の損傷図や定期点検の帳票などといった調査／点検に関わる記録は、現状、紙ベースやCAD データ、文書データなどの個別ファイルとして管理されていることがほとんどであり、維持管理モデルの生成時にデータの変換や整理等の手間が生じる。

そこで本システムでは、水路トンネルなどの設計データや施工情報、定期点検記録などの情報を一元的に管理・蓄積する水路トンネル維持管理データベース

を構築することで、独自アプリケーションを介したデータの登録や閲覧、帳票等の作成などを可能としている。また定期点検の実施区間や反映する情報の種別を設定することで、MR デバイスにダウンロードする維持管理モデルの生成も可能である。これにより維持管理に関わるデータの整理や維持管理モデルの作成にかかる労力を削減し、維持管理業務の効率化・省力化を図ることができる。

(3) 維持管理モデルの生成

維持管理モデルの生成では、図一3に示すように定期点検区間の形状、既往の損傷状況、維持補修工事の履歴に関する情報をデータベースから参照し、それぞれ独立した三次元モデルを生成し、各モデルを基準点によって位置や方向を合わせ接合することで三次元モデルの生成を行っている。従来の調査／点検業務では、ひび割れ等の損傷箇所の位置や形状をひび割れ展開図といった平面展開図に記録しとりまとめを行っている。そのため水路形状と組み合わせて三次元モデルを構築するには、水路形状に合わせて平面展開図を座標変換し、水路形状を表す三次元モデルの表面に張り付けるといった工程が必要となる。平面的な面で構成される構造物の場合には、平面展開図を面ごとに分割して三次元モデルに張り付けることでモデル化することが可能である。しかし曲面を含む構造物では、平面展開図を単純に面分割して張り付ける方法でモデル化することは難しい。そのためUV マッピングなどの手法を用いて平面展開図をメッシュ分割し、曲面等に近似するなどの手法を用いる必要がある。水路トンネルにおける損傷状況のモデル化の手法を図一4に示す。



図一3 維持管理モデル生成の流れ

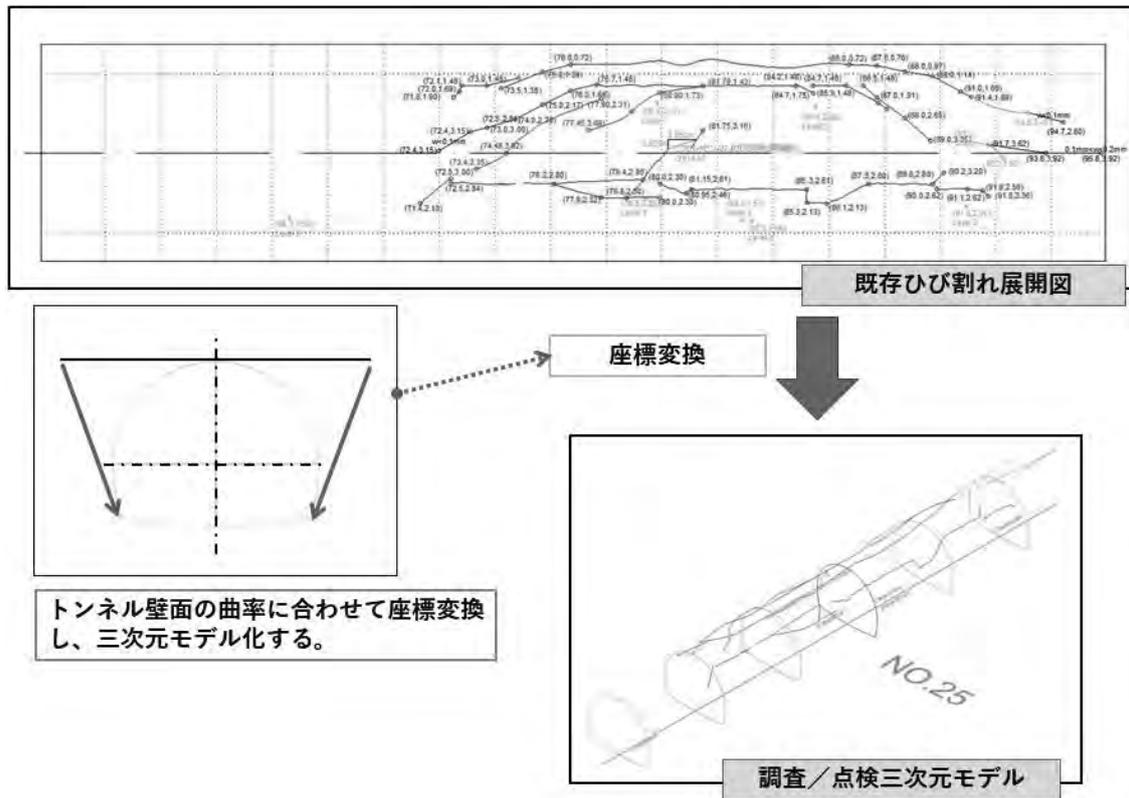


図-4 水路トンネルにおける座標変換

4. 水力発電用水路トンネルにおける適用事例

以下に水力発電用水路トンネルの定期点検作業における本システムの適用事例を示す。本事例は、民間企業が所有する水力発電用水路トンネルにおいて当社が実施している定期点検において適用した事例となる。

本導水路は、大正時代に築造された導水路であり供用から100年近く経過する水力発電用導水路となる。水路延長は開水路と水路トンネルを合わせて約5kmとなる。今回は、このうち過去に維持補修工事を実施した水路トンネルの目視点検に適用した。本水路トンネルは、一般道と交差する箇所があり、車両の通行などによって補修箇所に変状が発生していないか経過観察を行っている。新たな変状が確認された場合には、補修前の変状位置およびその状況と照合を行い対策方法について検討を行うが、維持補修工事によって以前のトンネル壁面が隠れてしまい、既往の損傷箇所およびその状態を目視確認することができない。そこで今回の適用では、既往の損傷箇所や定期点検箇所などへのナビゲーションと合わせて、維持補修工事によって目視確認ができない損傷箇所についてもトンネル壁面の補修状況に左右されないナビゲーションを実現させた。

適用状況を図-5に示す。また本システムの実視野と三次元画像の重ね合わせの精度は、図-6に示



図-5 システム適用状況

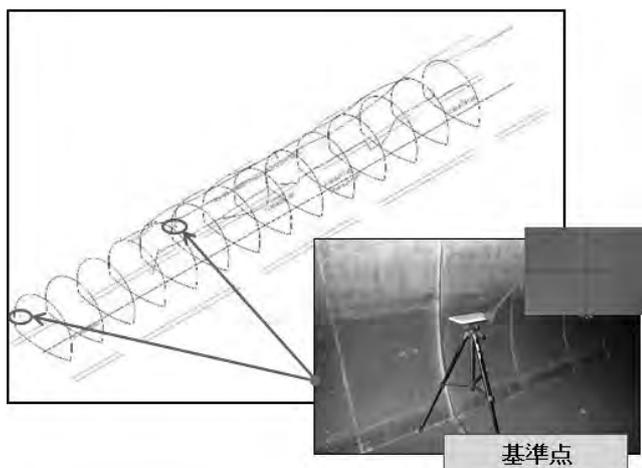


図-6 ナビゲーションの精度

すように本適用全体において約 50 mm となった。これはひび割れなどの長さや形状などを計測する上では十分な精度とはいえないが、点検者を既往の損傷箇所等にナビゲーションするには十分であると考ええる。

(1) 基準点による位置合わせ

本システムを現地作業で利用するためには、調査／点検を実施する作業区間と維持管理モデルの初期位置合わせを行う必要がある。本システムでは、現地および三次元モデルにそれぞれ対応する基準点を 2 点設定することで位置と方向の設定を行っている。基準点による位置合わせ状況を図一 7 に示す。



図一 7 基準点による位置合わせ

(2) 構内照明の確保

従来の水路トンネルにおける定期点検では、点検実施者が目視でトンネル壁面のひび割れ等の損傷箇所の位置および状況を確認できるよう十分な照明を確保する必要がある。そのためバッテリー式の仮設照明など十分な明るさの確保が可能な設備を設置して対応する必要がある。しかしながらバッテリー式の照明機器は大きく重量もあるため、設置や盛り替えなどに手間を要する。本システムでも、MR デバイスが自分の位置を検知するために一定の明るさを確保する必要がある。また点検者の安全を確保する上でも最低限の照明が必要となる。

本現場適用では、照明機器の設置や盛り替えが容易であり、かつシステムの稼働や点検者の安全確保に必要な明るさが確保可能な照明機器として、ホームセンターなどの一般店舗でも入手可能なキャンプ用 LED ランタンを照明機器として採用した。図一 8 に示すように LED ランタン程度の明るさでも MR デバイスによる位置検知が可能であり、水路トンネル内における本システムの稼働が可能である。



図一 8 LED ランタンによる構内照明

5. おわりに

本稿では、水路トンネル維持管理の効率化・省力化を目的とした MR デバイスを活用した水路トンネル調査／点検ナビゲーションシステムの開発およびその適用について報告した。本システムを活用することで簡易的な照明機器や基準点の設置だけで、既往のひび割れ等の損傷箇所や定期的な確認を要する箇所などへのナビゲーションが可能となった。

しかしながら本システムは、維持管理データベースに登録されているひび割れ展開図などの点検記録や補修工事履歴を三次元モデル化し、現地作業におけるナビゲーションといったフィードバック機能しか有していない。今後、継続的に水路トンネルの調査／点検業務に活用し業務の効率化を図るためには、フィードバックだけでなく原位置での点検記録の登録などといった入力機能も必要不可欠となる。また水路トンネルの維持管理を継続する上では、調査／点検、評価／設計、補修／補強工事といった一連のサイクルを円滑に実施する必要がある。各プロセス間での情報共有も必要となる。今後はこういった点も踏まえ、維持管理サイクル全体をサポートするシステム開発を進める。

J[CMA]

【筆者紹介】

大津 慎一 (おおつ しゅんいち)
三井住友建設(株)
技術本部 建設情報技術部



データ利活用型の現場管理システムの開発

T-iDigital Field

太田 兵庫・片山 三郎・石井 喬之

建設業が直面する働き方改革・生産性向上の課題に対して、CPSの概念を導入した現場管理システムを開発した。工事関係者が「いつでも」「どこでも」「すぐに」施工状況を共有することにより、遠隔から迅速かつ確かな現場施工管理、施工支援を可能とした。また、データ利活用型の計8つのアプリケーションを用意してコンクリート打設の効率化、遠隔立会、クレーン衝突防止などを試行し効果を得た。現場に応じてネットワークのインフラ整備や、有効なアプリケーションを開発する必要があるものの、データの収集・活用範囲が広がっていくことで更なる施工管理・検査の効率化が期待できる。本稿では、CPSを活用して建設業の課題解決を試みた現場管理システム T-iDigital Field（以下「本システム」という）について報告する。

キーワード：CPS, Society5.0, 働き方改革, 生産性向上, 施工管理, 遠隔立会, コンクリート, クレーン

1. はじめに

建設業界における労働者の担い手不足や高齢化が深刻化する中、2024年に改正労働基準法が建設業にも適用され月当りの残業が原則45時間に規制されるなど労働環境が著しく変化しており、労働力不足の解消に向けた働き方改革や生産性向上は喫緊の課題である。また、それらに加えて技術者への知識や情報の共有、技術の伝承の不足が顕在化している。

一方で、近年CPS（Cyber-Physical Systems）を活用した社会課題解決が各国で提唱され、その実績も報告されつつある。CPSとは現実（フィジカル）空間における様々なデータをセンサとネットワークを通じて仮想（サイバー）空間に収集し、データの分析・解析を行い、その結果を現実（フィジカル）空間にフィードバックすることで、産業システムの全過程に対して効率化することを目的とするものである¹⁾。

我が国においても同様に、内閣府では第5期科学技術基本計画で、サイバー空間とフィジカル空間とを融合させた取組みにより、人々に豊かさをもたらす「超スマート社会」を未来社会の姿として共有し、その実現に向けた一連の取組みを更に深化させつつ「Society5.0」として強力に推進するとされている²⁾。「Society5.0」では、「データ」「情報」「知識」の三つが社会変革を駆動する動力源となるとされている。このデータ駆動型社会としては、二つの意味合いを持つ

として、一つ目は、大量で多様なデータを使って人が意思決定することで、社会を動かしていくという意味であり、もう一つは、人が介在することなしに、データが自動で社会を動かしていくという意味であるとされている³⁾。

また、国土交通省においても「インフラ分野におけるDXの推進について」や「防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策」が発表されている。

しかしながら、施工管理においては、現場で確認しなくてはならない管理項目が多岐に渡り、これらを遠隔で監視できる手法が十分に整備されてないことが挙げられる。また、計測技術の高度化に伴いデータを活用したアプリケーションの開発が進められつつあるものの、それぞれのアプリケーションが管理項目に応じてデータ取得から表示まで独立しているため、大量で多様なデータを活用するまでには至っていない。

本稿では、CPSを活用して前述の建設業の課題解決を試みた現場管理システムについて報告する。ダムや造成、建築現場を対象として、現場各所、あるいは人や機械にセンサやカメラを設置し、現場内に構築したネットワークによりデータを収集、統合して、施工管理者が分かりやすい情報に可視化することで、発注者、施工管理者、専門工事業者などの工事関係者の生産性向上、働き方改革に貢献する取組み事例である。

2. 建設業へのCPSの導入

上述したCPSの考え方を建設技術開発へ導入することを試みている(図-1)。まずは施工中のデータを、各種センサやカメラ、GNSSセンサなどを使ってサイバー空間に吸い上げ、デジタル化する。次にデータを分析し、この時点でロスやリスクがあれば、作業方法の改善、ロス・ムダの削除を行い現実空間に戻す。更に、分析の結果、最適化された施工方法のうち、どの部分を省力化、省人化すれば良いか検討し、効率的な技術開発方針を検討する。最後に、ロボット化して省人化すべきとなれば、そのロボットの設計・最適化された施工方法から導いて作成したアルゴリズムの妥当性を検証するためにサイバー空間でシミュレーションを行う。

3. 本システムの開発

これらの考えを現場管理システムとして落とし込んだものが、現在の本システムである。各種センサやネットワークを活用して現場施工に関する様々な情報を収集する基盤を整備し、現場に合わせたアプリケーションを展開・拡張することによる生産性の向上と、データを分析・共有することが可能なプラットフォームの構築を試みた。工事マネジメントプラットフォームはデータ層、プラットフォーム層、アプリケーション層に分かれる。

データ層で集められた現実空間における施工データ(現場映像や重機位置データ等)や作業員データ(作業データ、生体データ、コミュニケーションデータ等)、

公開データ(気象、環境データ等)は基盤層に集積され、統合・加工してアプリケーションの形でユーザー(全作業所、本社・支店、発注者、協力業者等)に提供される。

ユーザーの利用情報はアプリケーションを通じてプラットフォームへフィードバックされ集積されることによって更に利活用されることが可能となる。アプリケーション層の詳細については次章以降で述べる。図-2に工事マネジメントプラットフォームの概念図を示す。

4. データ利活用型現場管理アプリケーション

プラットフォームに集積したデータを分析・活用し、現場管理の支援ができるように開発・試行したアプリケーションは現在、図-3に示す8種類である。これらのアプリケーションは(1)基本アプリケーション、(2)進捗管理アプリケーション、(3)安全管理アプリケーション、(4)品質管理アプリケーションに大別される。各アプリケーションは以下の通りである。

①②クラウドカメラシステム及びウェアラブルカメラシステム

カメラ映像をクラウドで介して遠隔地にリアルタイムに現場状況を共有できるシステム

③コミュニケーションツール

可視化された現場を遠隔地からコミュニケーションを取り指示や意思決定を迅速に行うシステム

④打設支援システム

コンクリート打設の注文から荷下しままでをデジタル化することによって効率化、進捗管理をするシステム

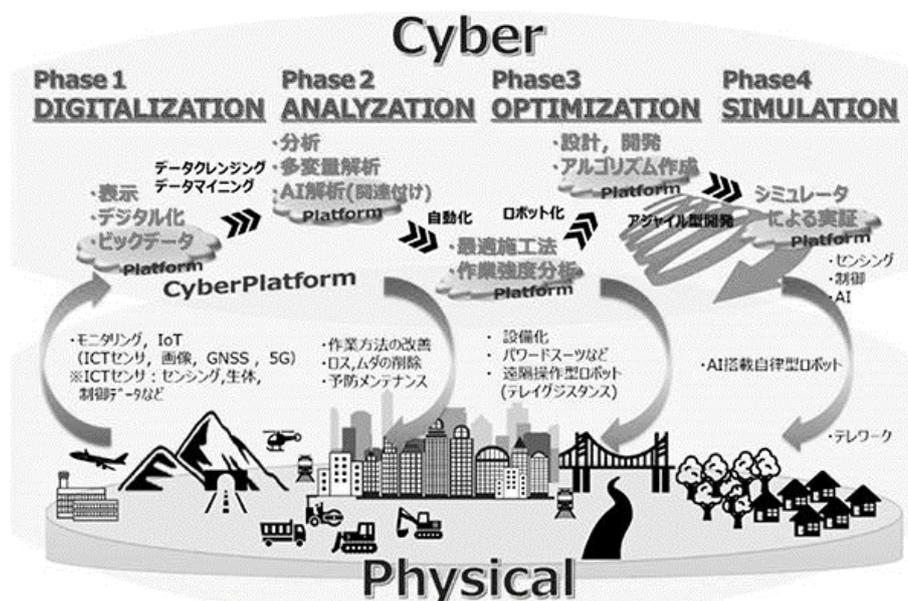
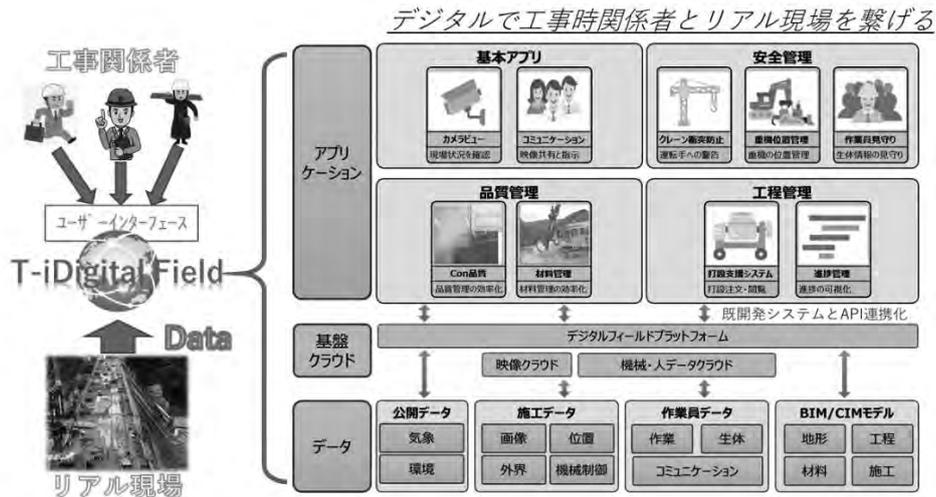


図-1 CPSの概念を導入した建設技術開発手法のイメージ



図一 工事マネジメントプラットフォームの概念図



図一 3 データ活用型現場管理アプリケーション

- ⑤クレーン衝突防止システム
クレーン同士の接触や吊荷下近傍にいる作業員にクレーンの接近をアラートで知らせるシステム
- ⑥作業員見守りシステム
作業員の心拍や熱中症の危険度を監視して体調不良などを早期判断し発見するシステム
- ⑦建設機械・作業員位置動線管理
建設機械・作業員の位置情報を記録、表示しゾーニングや状況把握に活用する
- ⑧ T-iBlast DAM
コンクリート骨材を採取する原石山での良材と廃棄材の種別判定をするシステム

5. データ活用方法と効果の具体例

(1) 現場の遠隔管理

①②③の基本アプリケーションを使用して、工事関係者がいつでも、どこでも、すぐに施工状況を共有できるようにした。カメラによって事務所から現場の状況がリアルタイムでわかり、現場に行ったときは一つの視点からしか見られなかったものが複数同時や俯瞰など様々な視点から見られる利点がある。コミュニケーションツールによって現場・事務所双方から一斉に指示や質問などの連絡を取ることができる。現場にいる者にとっても、広大な現場のいくつかの状況を確認したいときにも使うことができる。例えば盛場にて積場の状況を見たい時などである。筆者のような本支店にいる者でもこれらのアプリケーションを使用して現場の状況を容易に把握し、コミュニケーションができるようになった。

(2) コンクリート打設の効率化

①③④を使用して多配合で複雑なダムコンクリートの注文、出荷、運搬、打設、記録までを全てオンライン上でおこない、予定数量、進捗状況、予定終了時間、打設効率などの情報を遠隔地にいても誰でも同じ進捗情報を見ることができるようにした。システムの概要を図-4に示す。サイバー空間のモデル上にコンクリートを運搬するダンプトラックの位置をリアルタイムで再現し、またそのダンプトラックがどの配合のもの運搬しているかも併せて表示させた。施工管理者とプラントが従来電話や無線で行っていた注文や状況確認を、このシステムを使うことにより、円滑かつ正確に共有することができるようになった。また各配合のコンクリートの予定数量、注文数量、出荷数量などと合わせて進捗や終了時間なども表示するため、施工管理者の分析業務や関係者の状況把握も支援する。

(3) 遠隔立会

ダムの監査廊内に構築したネットワーク環境とカメラ①②を利用して、基礎処理ボーリングの検尺立会を試行した。図-5に発注者の遠隔立会状況を示す。現地に赴くことなく事務所内にて立会を行うことにより、発注者職員の移動時間や現場での待ち時間を削減することが出来た。発注者職員からは検尺立会はカメラで適用可能との見解を得た。

また、コンクリート試験室での品質管理において、全数立会となっているものを録画確認とすることで発注者職員の時間外労働を削減した。

(4) クレーン衝突防止システム

⑤クレーン衝突防止システムは、⑦建設機械・作業員位置動線管理にも使用しているスマートフォンや



図-5 監督員による遠隔立会状況



図-6 クレーン衝突防止システムの表示例

GNSS 端末からの位置データを活用したものである。クレーンと人およびクレーン同士の衝突防止を目的としており、オペレーターや作業員に音や表示で注意喚起する(図-6)。従来は接近警報装置やレーザーセンサーなど専用用途の機器を用いていたところを、取得した位置データを活用した。警告範囲の設定変更も容易であり、記録も可能である。

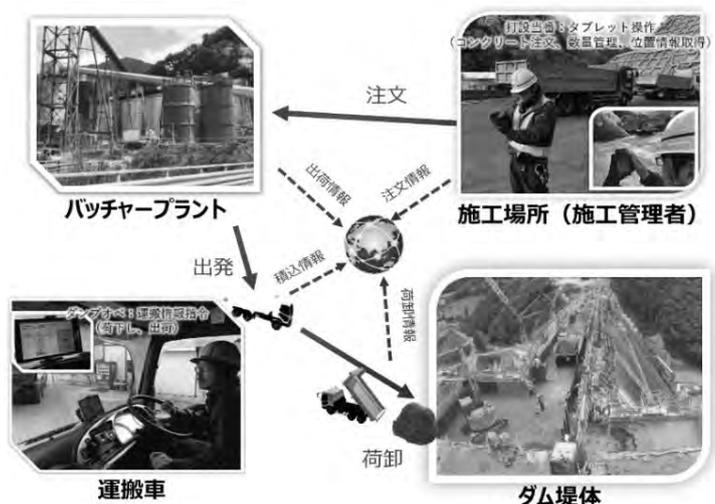


図-4 打設支援システム概要 (左: モニタ表示, 右: 全体概要)

6. 開発における課題

上述のように本現場管理システムは一定の効果がみられた。しかし、あらゆるデータの活用が容易にできるわけではない。本開発における課題を以下に記す。

(1) ネットワーク構築

今回実施したようなカメラやセンサからのデータを収集するためには情報通信網が不可欠である。建設現場は人里離れていたり人が入る前であったりするため、公共の通信網が十分でない場合がある。そのため専用にネットワークを構築する必要がある。実際に今回実証したうちの山間部の現場では携帯電話キャリアの通信網も乏しく、データの収集や活用のために光ケーブルや有線、無線LANでネットワークを構築した。また、ビル建設現場などの屋内やトンネルなどの地下空間でも新たなネットワークが必要になる。さらに建設現場ならではの刻一刻と状況が変化していくのに合わせて盛替える必要がある。

(2) 機器の選定および設置・撤去

カメラやセンサなどの各種機器は日進月歩であり安くて性能の良いものがリリースされるのは喜ばしいことではあるが、使ってみないと分からないことがある。画一的でない現場の使用環境（昼夜、防水防塵、稼働時間など多岐にわたる）も影響しているが、期待した機能を発揮できない場合がある。機器の専門業者であっても建設現場で使用することに対するノウハウが豊富とは言いきれない。さらにこれらもネットワークと同様に設備を維持管理していかなければならない。

(3) アプリケーション開発・選定

アプリケーションを新たに開発もしくは既存のものを選定するにあたっては現場のニーズを理解して進めなければならない。現場の役に立つアプリケーションでなければ使ってもらえない。使われなければデータを収集することもできなくなる。建設現場からのニーズは限定的であり、例えばクレーン衝突防止システムだけは採用するが、他のアプリケーションは不要という場合もある。それでもデータ利活用型のシステムの構築を徐々に進めていくべきである。また、開発したアプリケーションを別の現場に転用する場合でもそのまま使えるわけではなく、現場に応じてその都度カスタマイズを施さなければならない。

7. おわりに

今回のアプリケーションでのデータの活用は、冒頭に記したような仮想空間から現実空間へのフィードバックといった域のデータの活用までは至っていない。しかし、データの収集・活用範囲が広がっていくことで更なる効果を発揮できるものと考えている。

まず、今回で移動や確認に費やしていた時間を削減することができたように、更なる時間短縮、効率化が期待できる。このようにICT技術で置き換えられることは実行に移していかなければならない。生産性向上はもとより、目前に迫った残業上限の45時間は常にリスクを抱える建設現場にとってはあまりにも短いと筆者は感じている。しかし我々はそれを成し遂げなければならない。

また、このような映像やデータの活用で見る目や得られる情報を増やすことで、技術者の施工管理を支援することが可能となる。現場同士や本支店とつながることでコミュニケーションを促し、経験豊富な技術者の知見を活用することで「助け合う」「教え合う」ことができる。

さらに、得られた膨大なデータが施工記録として保存され、次の現場や他の現場に活かすことが可能となる。

そして、施工者だけではなく検査を行う発注者にもメリットがある。移動・業務時間の削減から検査の合理化、維持管理に向けた情報の集約が可能になるであろう。

JICMA

《参考文献》

- 1) NSF, Workshop in Cyber-Physical Systems, Research Motivation, Techniques and Roadmap, 2006
- 2) 内閣府, 第5期科学技術基本計画, 2016
- 3) 日立東大ラボ, Society5.0 人間中心の超スマート社会, p.35, 2019

【筆者紹介】



太田 兵庫 (おた ひょうご)
大成建設
技術センター 生産技術開発部 スマート技術開発室
ダム・地盤チーム
課長代理



片山 三郎 (かたやま さぶろう)
大成建設
技術センター 生産技術開発部 スマート技術開発室
ダム・地盤チーム
チームリーダー



石井 喬之 (いしい たかゆき)
大成建設
技術センター 生産技術開発部 スマート技術開発室
ダム・地盤チーム

橋梁床版の急速取替と継手検査システムの開発

コッター床版工法

鬘 谷 亮 太・竹 下 嘉 人

コッター床版工法は、プレキャスト床版を機械式継手であるコッター式継手で接合するもので、急速施工、省人化、高品質化、取替性（メンテナンス性）の向上を目的に開発された工法である。

高速道路リニューアルプロジェクトに代表される公共インフラ大規模更新事業が本格化する中、東北自動車道においてコッター床版工法を適用した橋梁床版取替工事を完了した。本稿では、この施工状況を報告すると共に当該工事において試験的に導入した継手検査システムの概要について述べる。

キーワード：コッター式継手、床版取替、急速施工、出来形、継手検査システム

1. はじめに

我が国のインフラ施設は、高度成長期に集中して整備されたため、50年余りを経て一斉に更新時期を迎えている。橋梁分野では、全国約73万橋の道路橋のうち、建設後50年を経過する橋梁は、2023年に39%、さらに2033年には63%に達すると予測されている¹⁾。特に橋梁のRC床版は、通行車両の大型化、交通量の増加等による疲労、飛来塩分や凍結融解剤の散布等による塩害や、両者の複合劣化による損傷が著しいため、最新の技術で更新させることが急務となっている。

このような現状から、NEXCO 3社は2015年度より高速道路リニューアルプロジェクトを開始し、各所にて更新工事が鋭意進められている²⁾。その中の課題として、工事実施においては、長期にわたる昼夜連続車線規制および昼夜連続対面通行規制が必要であり、社会的影響の軽減のため工期の短縮が求められている。特に、今後工事が予定される都市近郊の重交通区間では、工程短縮により社会的影響の最小化を図る必要がある。

以上の背景、社会的ニーズを踏まえ、急速施工、省人化、高品質化、取替性（メンテナンス性）の向上を目的とし、コッター式継手を有する橋梁用プレキャスト床版（以下、コッター床版と称す）が開発された。

本稿では、まずコッター床版工法の概要について述べた後、東北自動車道の床版取替工事に適用した施工状況を報告する。さらに、当該工事において試験的に導入した継手検査システムの概要について述べる。

2. 工法概要

図-1にコッター床版工法の概要図を示す。コッター床版工法は、プレキャスト床版を架設した後、機械式継手であるコッター式継手で床版同士を連結し、専用目地材を充てんして床版同士を接合する工法である。

写真-1にコッター式継手を示す。コッター式継手は、C型金物とH型金物から構成される。C型金物は、プレキャスト工場ですべて床版に埋め込まれる部材、H型金物は、C型金物同士を連結する部材である。現地では、向かい合ったC型金物内にH型金物を挿入し、ボルトで締付けて床版を連結する。ここで、コッター式継手の材質は铸造性に優れ、耐候性鋼と同等の腐食抵抗性を有する球状黒鉛鑄鉄（FCD600-3）である³⁾。

写真-2に従来工法（ループ式継手）とコッター床版工法の継手部の比較を示す。従来工法では、床版端部より突出させた鉄筋を重ね合わせて、継手部分にコンクリートを打設するため、通常300~400mm程

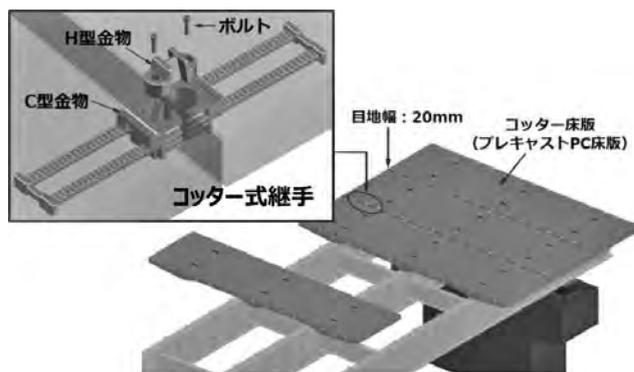
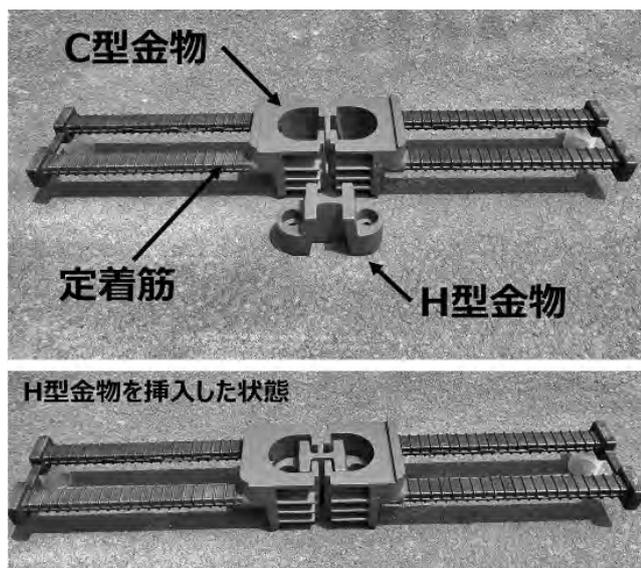
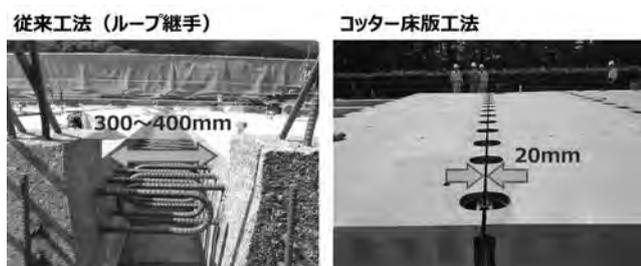


図-1 コッター床版工法概要



写真一 1 コッター式継手



写真一 2 継手部 (現場打ち部) の比較

度の現場打ち部が必要となる。これに対しコッター床版工法では、床版端部に鉄筋の突出がなく、現場打ち部 (目地部) の幅は 20 mm である。このため、現場打ちコンクリートの必要がなく、床版接合に伴う作業工程を大幅に削減できることが特長となっている。

3. 床版取替工事

(1) 施工手順

コッター床版を架設してから接合を完了するまでの手順は以下のとおりであり、この手順以外は一般的な床版取替工事と同様である。

1) コッター床版架設

目地幅 20 mm を確保し、所定の位置にコッター床版を架設する。コッター床版の架設は、位置決めを行った後、設置済み床版の C 型金物をガイドとして、専用治具により設置床版を引き寄せて完了する。床版架設後、高さ調整ボルトにより高さ調整を行う。写真一 3 にコッター床版の架設状況、写真一 4 に専用治具による引寄せ状況を示す。

2) H 型金物挿入

コッター床版を架設した後、向かい合った C 型金



写真一 3 コッター床版の架設状況



写真一 4 専用治具による引寄せ状況



写真一 5 H 型金物の挿入状況

物に H 型金物を挿入する。写真一 5 に H 型金物の挿入状況を示す。

3) 固定用ボルト締付け

H 型金物 1 個につき 2 本の固定用ボルトを締付けて床版同士を連結する。連結作業は、床版 1 枚を架設する毎に全個数を締付ける。ボルト締付けは、電動レン



写真一六 固定用ボルト締付け状況



写真一八 目地材充てん完了（接合完了）状況



写真一七 目地材の充てん状況



写真一九 工事全景写真

チによる仮締めとトルクレンチによる本締め（2回）を行い、2回目の本締め作業では、所定のトルクで締付けられていることを確認し記録する。写真一六に固定用ボルト締付け状況を示す。

4) 目地材充填

専用目地材を現地で練り混ぜ、目地部に充てんする。専用目地材は、コッター床版の接合用に新たに開発した充てん性に優れたもので、無収縮モルタルに7号砕石と短繊維を添加することで、耐久性を向上させている⁴⁾。

写真一七に目地材の充てん状況、写真一八に目地材充てん完了（接合完了）状況を示す。

コッター床版工法では、床版架設から目地材充てんまでの作業を1日サイクルで行うことを標準としているため、床版架設の翌日から翌々日には床版接合が完了することになる。

(2) 施工事例

コッター床版工法を用いた床版取替工事として、東北自動車道での事例を紹介する。対象橋梁は、橋長

284.3 m、有効幅員9.25 mの鋼3径間連続鋼桁橋であり、床版取替面積は約3,100 m²（プレキャスト床版115枚）である。床版取替時の全景写真を写真一九に示す。

当該工事では夏期混雑期および冬期休止期間中の施工を避けるため、令和2年8月25日から同年10月14日までの51日間で床版取替工事（橋面防水およびアスファルト舗装を除く）を完了する必要があることに加え、表一に示すような複雑な線形を有していることが工事の特徴として挙げられる。

このため、コッター床版工法による工程短縮の他に、現地近傍で事前に仮組をし、プレキャスト壁高欄を取り付けた壁高欄一体型コッター床版として施工することで、更なる工程短縮を図っている。写真一〇に壁高欄一体型コッター床版の架設状況を示す。

施工は、2班体制で橋梁中央より両端部に向けて行った。今後の施工に資する様々なデータを取得するためにそれぞれで異なる施工方法を採用している。写真一〇および写真一〇にそれぞれの施工状況写真を示す。一般的な施工手順となる写真一〇では、床

表一 線形の特徴

曲線	直線～R=500 m へのクロソイド曲線
縦断勾配	2%
横断勾配	2%～6%に変化
幅員変化	10.85 m～11.10 mに変化



写真一 10 壁高欄一体型コッター床版の架設状況



写真一 11 床版撤去・設置を1日サイクルで施工する場合



写真一 12 床版撤去を先行する場合

版撤去から床版設置までを1日サイクルとし、プレキャスト床版6枚(橋長で約15m分)を1日の施工量とした。一方では、写真一12に示すように床版撤

去を先行して行い、すべての床版を撤去した後、プレキャスト床版を設置する方法を採用した。この場合、設置した床版上に架設用クレーンを移動させる必要があるが、コッター床版工法では、H型金物で床版同士を連結すれば必要な接合強度を得られることから、タイムロスなく連続した床版架設作業が可能であった。

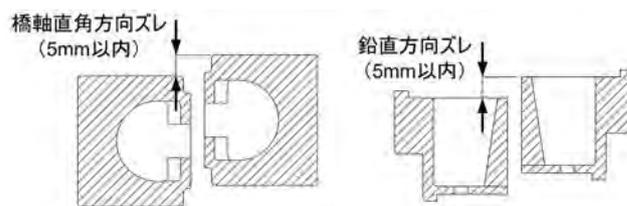
当該工事では、コッター床版工法による様々な施工方法を試みることで、複雑な線形でも問題なくコッター床版工法が適用できることを確認した。

(3) 施工管理

コッター床版の出来形管理は、床版の位置、高さ等の一般的な管理項目以外に、継手位置およびボルト締付けトルクに管理目標値を設定している。表一2に、コッター床版特有の管理目標値を示す。これらの管理目標値は、H型金物を確実に締付けられる限界値から設定されるもので、床版同士が確実に連結されていることを確認するためのものである。管理目標値を満たすことを確実に計測するため、後述の床版出来形検査システムを開発した。

表一2 コッター床版の管理目標値

管理項目		管理目標値
継手位置のズレ ※下図参照	橋軸直角方向	5 mm 以内
	鉛直方向	5 mm 以内
目地幅		19 ± 2 mm
ボルト締付けトルク		150 N・m



4. 床版出来形検査システム

(1) 目的

コッター床版の出来形検査は、コッター式継手のボルト締結作業時の締付けトルクの計測と継手の接合状態の出来形計測の2種類の計測がある。従来は、締付けトルクの計測時に計測機に表示される値を目視で確認・記録しているが、誤記や読み取りミスなどの人為的なミスを発生する恐れがあった。また出来形の検査では、手計測による検査を行っていたため、手間と時間がかかっていた。そこで、3次元カメラを用いた画像処理による自動計測と、締付けトルクの計測を同時に

実施することで、出来形検査の効率化および高精度化を可能とする床版出来形検査システムを開発した。

(2) システム概要

写真—13に示すコッター床版検査システムは、締付トルクの計測と出来形検査を同時に実施するシステムである。締付トルクを計測するトルクレンチは、通信規格 zigbee により検査システムと通信しており、規定の締付けトルク値を計測した時に検査システムにデータを送る。次に、出来形検査を行う検査システム本体には、3次元カメラが搭載されており、格子パターン投影法による3次元計測を行っている(図—2)。格子パターン投影法とは、プロジェクタにより測定対象の物体にパターン光を投影し、物体に照射されて変形したパターン光をプロジェクタと異なる軸からカメラで撮影することで対象の3次元形状を取得する方法である⁵⁾。

(3) 検査手順

開発した検査システムを用いた検査は、以下に示す

2段階の手順で実施する。

① ボルト締結

コッター式継手1個に対し2本のボルトを同時にトルクレンチにより締め付ける。規定のトルクまで締め付けた時、検査システムに計測トルクを保存する。

② 出来形検査

検査システムをコッター式継手の上部に移動させ、コッター床版管理目標値(表—2参照)に従った項目を1度に計測する。

(4) 現場試行

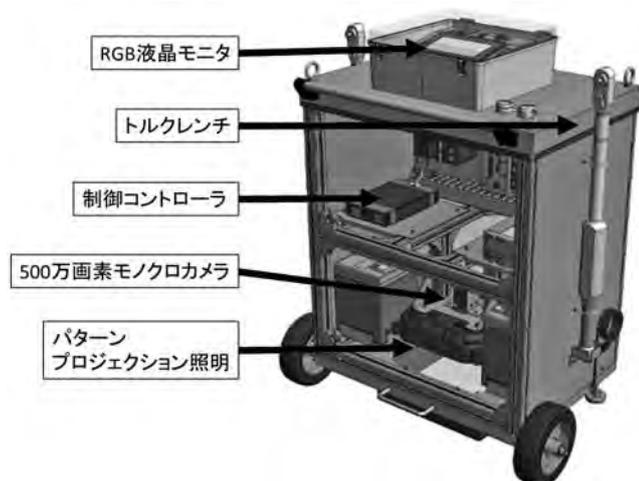
前述の東北自動車道での床版取替工事において現場試行実験を実施し、検査システムの有効性を確認した。従来通り手計測で計測を実施した時、1継手あたり1分40秒程度かかることが分かった(写真—14)。これに対し、開発した検査システムによる計測は40秒程度であり、1継手あたりの計測時間を60%短縮することができた(写真—15)。



写真—13 コッター床版出来形検査システム



写真—14 検査状況(手計測)



図—2 機器構成



写真—15 検査状況(出来形検査システム)



図-3 品質管理情報の管理イメージ図

(5) 展望

3次元カメラを用いた画像処理による自動計測と、締付けトルクの計測を同時に実施する床版出来形検査システムを開発し、効率的に出来形検査ができることを確認した。得られた品質管理情報の活用方法として、図-3に品質管理情報の管理イメージ図を示す。

コッター床版による床版取替工事では、コッター式継手を製造する「継手工場（鋳物工場）」、コッター床版を製作する「床版工場（PC工場）」および「施工現場」の各々において独立した品質管理を行っているが、これをクラウド上で一元管理することで、発注者ならびに施工者が適時情報を収集できる状態にするとともに、将来の維持管理に資する情報として活用していく予定である。

5. おわりに

コッター床版工法は、工程短縮や省人化以外に様々なメリットがあるが、機械式継手を用いることで床版接合作業を単純化していることに特長がある。このため従来工法のように鉄筋工、型枠工等の熟練工を必要とせず、建設業が直面している担い手不足問題に対し、その解決の一助となれば幸いである。

また、継手製造から現場施工まで一貫して品質管理情報を管理することで、施工後の維持管理にも役立てていきたいと考えている。

JICMA

【参考文献】

- 1) 国土交通省社会資本の老朽化対策情報ポータルサイト インフラメンテナンス情報
- 2) NEXCO 東日本企業情報サイト 高速道路リニューアルプロジェクト <https://www.e-nexco.co.jp/renewal/>
- 3) 鬘谷亮太、渡邊輝康：コッター式継手を用いた橋梁用プレキャストPC床版の開発，建設機械施工 Vol.70 No.9, pp.47～53, 2018.9.
- 4) 河村彰男ほか：コッター床版接合用目地材の開発，令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会，CS8-03, 2019.9.
- 5) 大谷幸利，3次元計測技術，日本画像学会誌 第53巻 第2号 p.131, 2014.3.

【筆者紹介】



鬘谷 亮太（かづらや りょうた）
 (株)熊谷組
 土木事業本部 橋梁イノベーション事業部
 事業部長



竹下 嘉人（たけした よしと）
 (株)熊谷組
 土木事業本部 ICT推進室

NEXCO 中日本・東京支社管内の リニューアルプロジェクトの概要

金田 遙・藤本 貴正・梅澤 祥太

NEXCO 中日本・東京支社は、高速道路ネットワークの機能を今後も永続的に活用できるように、高速道路リニューアルプロジェクトとして主に東名高速道路や小田原厚木道路の大規模更新・大規模修繕事業に着手している。本稿ではこれまで実施した 24 橋の床版取替工事をもとに、工期短縮や限られた施工ヤードのため採用した新技術、工事に伴う大規模交通規制における安全対策について紹介する。また、今後予定している超重交通区間での交通運用や、働き方改革の推進という観点からの床版取替工事の在り方について計画を紹介する。

キーワード：高速道路，大規模更新，橋梁，床版，交通規制

1. はじめに

我が国の高速道路は、1963 年の名神高速道路 栗東～尼崎間の開通以降、順次整備が進められ、現在、約 9,000 km が供用している。高速道路は、社会経済活動を支えるとともに、地域経済の活性化、物流の効率化、緊急医療、災害時の支援など様々な役割を担っている。

中日本高速道路(株) (以下、NEXCO 中日本) 東京支社では、東名高速道路の東京 IC～豊川 IC 間、新東名高速道路の海老名南 JCT～伊勢原大山 IC、御殿場 JCT～新城 IC、首都圏中央連絡自動車道の茅ヶ崎

JCT～相模原 IC 間、小田原厚木道路、西湘バイパス、新湘南バイパスの計 556.5 km を管理している (図-1)。東名高速道路は、1969 年 5 月の全線開通から約 50 年間、日本の経済・文化を支える大動脈として大きな役割を担ってきた。一方、東名高速道路、小田原厚木道路、西湘バイパス、新湘南バイパスは、供用後、経過年数の増加や厳しい使用環境により老朽化が進展している。

そのような状況のもと、高速道路ネットワークの機能を今後も永続的に活用できるように、東京支社では、高速道路リニューアルプロジェクトとして主に東

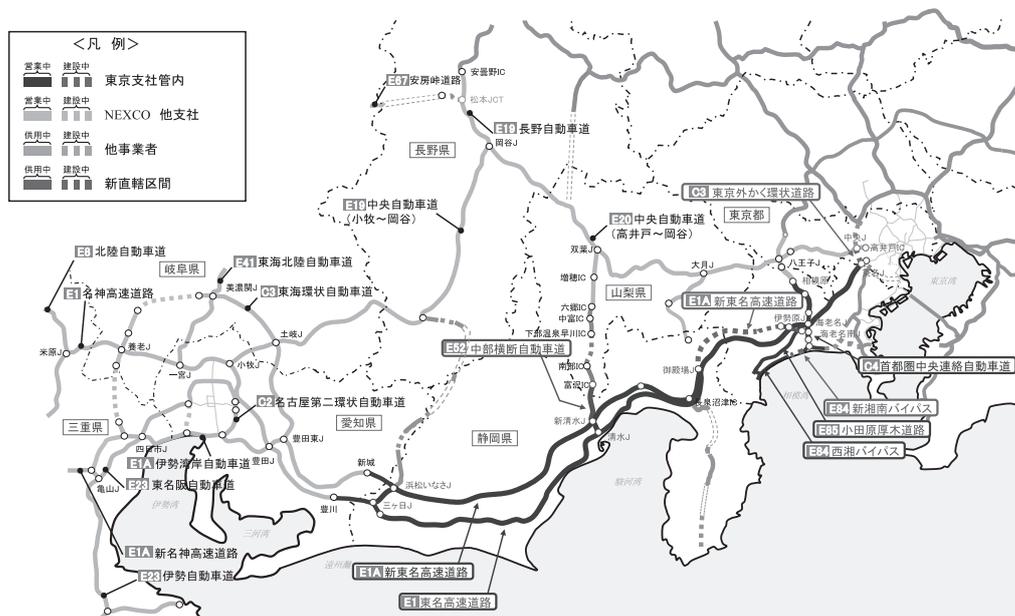


図-1 NEXCO 中日本・東京支社 管理区間

名高速道路や小田原厚木道路の大規模更新・大規模修繕事業に着手している。

本稿では、NEXCO 中日本・東京支社管内の高速道路リニューアルプロジェクトの実施状況、床版取替工事に伴う交通規制での安全対策、今後実施を予定している超重交通区間等での床版取替工事の計画について紹介する。

2. NEXCO中日本・東京支社におけるリニューアルプロジェクトの実施状況

2015年3月に国土交通大臣より事業認可を得たNEXCO 中日本の高速道路リニューアルプロジェクトは、総事業費 約1兆円、プロジェクト期間は2015年度から2029年度までの15年間となっている。総事業費全体の86%が、鋼橋のRC床版取替、コンクリート橋の中空床版打換といった大規模更新と橋梁桁の補強といった大規模修繕などの橋梁に要する費用となっている。

東京支社では、2016年度にパイロット工事の位置付けで東名高速道路 用宗高架橋（下り線 P7～A2）

の床版取替工事を実施した。2017年度には、東名高速道路 赤渕川橋（下り線 A1～P3）の床版取替工事をを行い、2018年度以降は、東名リニューアル工事として、東名高速道路 大井松田IC～清水IC間の床版取替工事を毎年実施している。また、2018年度からは、小田原厚木道路の床版取替工事を実施している。2021年1月時点で、合計24橋（工事回数として26回）、延長にして約3kmの床版取替工事を実施している。表一に床版取替工事を実施した橋梁名、延長等の概要を示す。

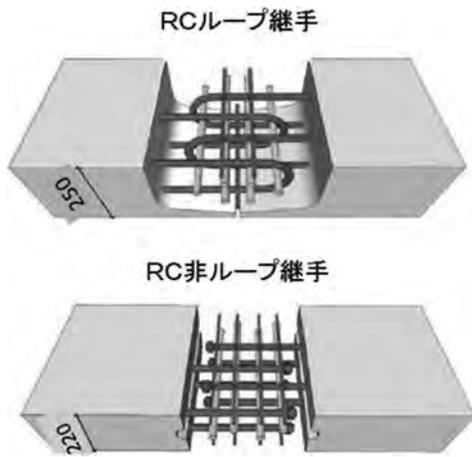
以下に、これまで実施した24橋の床版取替工事において、工期短縮や限られたヤードでの施工等のために採用した新たな技術を紹介する。

(1) プレキャスト PC 床版の継手構造

床版取替工事において既存のコンクリート床版をプレキャスト PC 床版に交換すると、橋軸方向に床版の接合が必要となる。橋軸方向の床版相互の接合には、一般的にループ継手を用いている（図一2）。しかし、ループ継手では鉄筋径の最小曲げ半径の関係から床版厚が決定される場合があり、取替前より床版厚が増

表一 NEXCO 中日本・東京支社 床版取替橋梁実施一覧

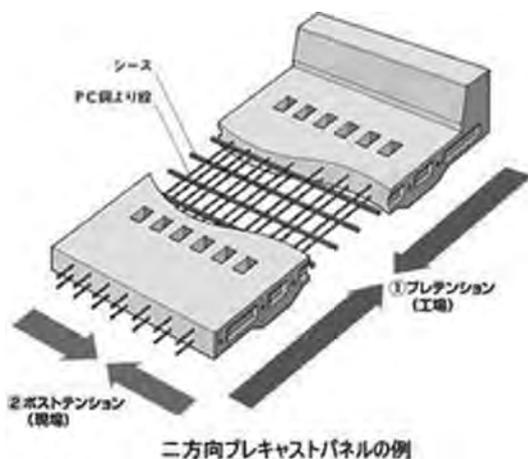
実施時期	道路名・区間	上下線	橋梁名	床版取替対象径間	床版取替延長 (m)	橋梁形式	継手構造
2016 年秋	東名高速道路 静岡 IC～焼津 IC	下	用宗高架橋	P7～A2	72	鋼 2 径間連続非合成鉄桁橋	RC 非ループ継手
2017 年秋	東名高速道路 沼津 IC～富士 IC	下	赤渕川橋	A1～P3	72.8	鋼 3 径間連続非合成鉄桁橋	RC 非ループ継手
2018 年春	東名高速道路 沼津 IC～富士 IC	上	川端高架橋	P9～P13	53.1	鋼単純合成鉄桁橋×2 連	RC ループ継手
2018 年秋	東名高速道路 裾野 IC～沼津 IC	上	下長窪橋	A1～A2	110.8	鋼 4 径間連続非合成鉄桁橋	RC ループ継手
	東名高速道路 沼津 IC～富士 IC	上	愛鷹橋	A1～A2	126.2	鋼 3 径間連続非合成鉄桁橋	RC 非ループ継手
2019 年春	小田原厚木道路 小田原東 IC～荻窪 IC	上下無関係	風祭高架橋	P4～P3	76.5	鋼 3 径間連続箱桁橋	RC ループ継手
	小田原厚木道路 大磯 IC～平塚 IC	下	観音寺高架橋	A1～A2	108.1	鋼 4 径間連続鉄桁橋	RC ループ継手
2019 年秋	東名高速道路 大井松田 IC～御殿場 IC	下左ルート	成就院橋	A1～A2	138.2	鋼 2 径間連続トラス橋	RC ループ継手
	東名高速道路 大井松田 IC～御殿場 IC	下左ルート	鶴野橋	A1～A2	60.8	鋼 3 径間連続非合成鉄桁橋	RC ループ継手
	東名高速道路 大井松田 IC～御殿場 IC	下左ルート	酒匂川橋	P3～P6	226.3	鋼 3 径間連続トラス橋	RC ループ継手
	東名高速道路 沼津 IC～富士 IC	上	荒久橋	A1～A2	177	鋼 4 径間連続非合成鉄桁橋	RC 非ループ継手
	東名高速道路 沼津 IC～富士 IC	上	江尾橋	A1～A2	114.9	鋼 3 径間連続非合成鉄桁橋	RC 非ループ継手
	東名高速道路 富士 IC～清水 IC	下	中村高架橋	P8～A2	75.7	鋼 3 径間連続非合成鉄桁橋	RC ループ継手
	東名高速道路 富士 IC～清水 IC	下	八木沢橋	A1～A2	66.9	鋼 3 径間連続非合成鉄桁橋	RC ループ継手
2020 年冬	東名高速道路 裾野 IC～沼津 IC	下	下長窪橋	A1～A2	110.8	鋼 4 径間連続非合成鉄桁橋	PC 継手
	東名高速道路 沼津 IC～富士 IC	下	愛鷹橋	A1～A2	126.2	鋼 3 径間連続非合成鉄桁橋	RC 非ループ継手
2020 年秋	東名高速道路 大井松田 IC～御殿場 IC	下左ルート	大沢橋	A1～P1	45.7	鋼単純合成鉄桁橋	RC ループ継手
	東名高速道路 大井松田 IC～御殿場 IC	下左ルート	鍛冶屋敷第三橋	A1～A2	34.8	鋼単純合成鉄桁橋	RC ループ継手
	東名高速道路 大井松田 IC～御殿場 IC	下左ルート	酒匂川橋	A1～P3	257	鋼 3 径間連続トラス橋	RC ループ継手
	東名高速道路 大井松田 IC～御殿場 IC	下左ルート	大沢川高架橋	A1～A2	114	鋼 4 径間連続非合成鉄桁橋	RC ループ継手
	東名高速道路 大井松田 IC～御殿場 IC	下	富沢第二橋	A1～A2	125	鋼 3 径間連続非合成鉄桁橋	PC 継手
	東名高速道路 沼津 IC～富士 IC	下	荒久橋	A1～A2	177	鋼 4 径間連続非合成鉄桁橋	RC 非ループ継手
	東名高速道路 沼津 IC～富士 IC	下	春山川橋	P4～P8	88	鋼 4 径間連続非合成鉄桁橋	RC 非ループ継手
	東名高速道路 沼津 IC～富士 IC	下	江尾橋	A1～A2	114.9	鋼 3 径間連続非合成鉄桁橋	RC 非ループ継手
	東名高速道路 富士 IC～清水 IC	下	中村高架橋	A1～P3	72	鋼 3 径間連続非合成鉄桁橋	RC ループ継手
	東名高速道路 富士 IC～清水 IC	下	堰沢橋	A1～A2	85	鋼 3 径間連続非合成鉄桁橋	RC ループ継手



図一2 RCループ継手・非ループ継手の概略構造の例

え、死荷重が増加することがある。そのため、床版取替を実施した24橋中9橋では、輪荷重走行試験で疲労耐久性の確認された非ループ継手を採用している。非ループ継手の一例を図一2に示す。ループ継手では、継手部の橋軸直角方向の鉄筋を架設後に挿入する必要があるが、非ループ継手では、あらかじめ架設前に鉄筋を配置しておくことが出来るため、施工をスムーズに行え、工期短縮を図ることができる利点がある。

一方、東名高速道路 下長窪橋（下り線）と富沢第二橋（下り線）では、図一3のように橋軸方向の床版相互をPC鋼線により橋軸方向に緊張・一体化させる2方向PC継手構造としている。2方向PC継手構造にすることにより、ループ継手や非ループ継手で必要となる床版架設後の鉄筋・型枠の組み立て、コンクリート打設、養生といった橋面上での作業を省略することができ、工期の短縮や雨天による工期遅延リスクを回避することができる。また、ループ継手や非ループ継手のようにプレキャスト床版から鉄筋が出ないため、運搬幅ギリギリまでプレキャスト床版幅を大きく



図一3 PC継手の概略構造の例

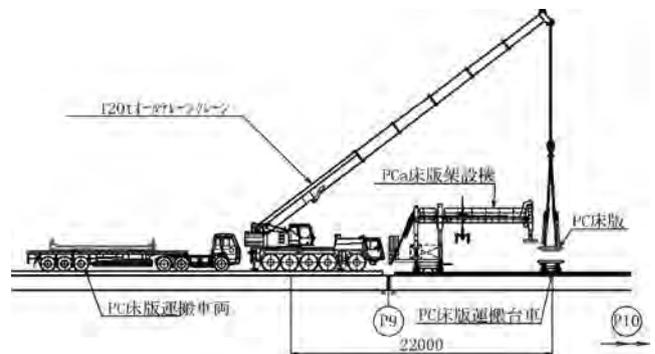
することが可能となり、床版の輸送および架設枚数を低減することができる利点がある。

(2) プレキャスト床版の架設

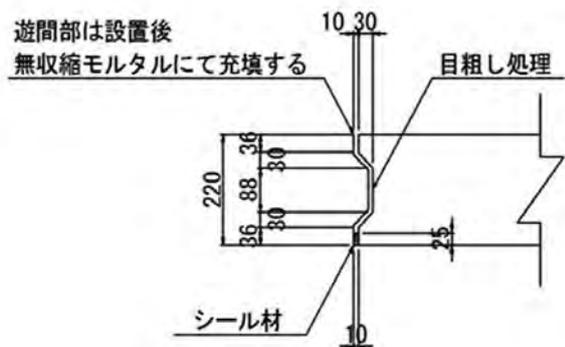
床版取替工事におけるプレキャストPC床版の架設には、一般的にクレーンが用いられている（写真一1）が、小田原厚木道路 川端高架橋（上り線）の床版取替工事では、床版取替区間に住宅が近接しており、クレーンでPC床版を架設する場合、その一部が住宅上空を通過せざるを得なくなる。このため、床版架設機を用いることとした。床版架設機による架設方法は、橋梁と住宅の間に側道があり、住宅上空を通過せずに



写真一1 クレーンによるプレキャスト床版の架設



図一4 床版架設機によるプレキャスト床版の架設





写真一2 床版架設機によるプレキャスト床版の架設



写真一3 床版取替機によるプレキャスト床版の架設

クレーンを旋回できる位置で図一4のようにPC床版を運搬台車に載せ、あらかじめ主桁上に敷設したレール上にPC床版を走行させ、床版架設機を用いて床版を架設する。写真一2は、床版架設機による床版架設状況である。小田原厚木道路 観音寺高架橋(下り線)においても住宅が近接しており同様に床版架設機を用いている。また、東名高速道路 江尾橋(下り線)では、一部高圧電線下での床版取替となるため、床版架設機を用いている。

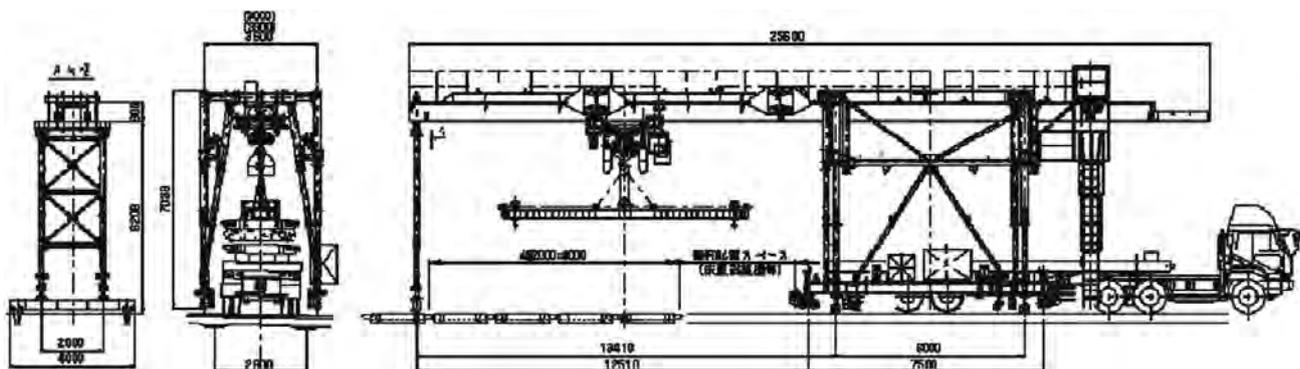
小田原厚木道路 風祭高架橋は、ジャンクション形態のランプ橋のため、西湘バイパス本線と民地に挟まれており、また、限られた交通規制期間で床版取替を行うため、鉸桁部と箱桁部を同時に床版取替する必要がある。このため、版桁部の床版取替では、近傍箇所でクレーンを使用できるヤードがないため、床版取替機を採用した。床版取替機は、図一5のように電動チェーンブロックを用い床版の取ろしを行う構造となっており、門形の断面形状であるため、取替機外から取替機直下にPC床版を搬入でき、逆に取替機直下から取替機外へ撤去床版を搬出できる構造となっている。写真一3は、床版取替機による床版架設状況である。

3. リニューアルプロジェクトに伴う交通規制の安全対策

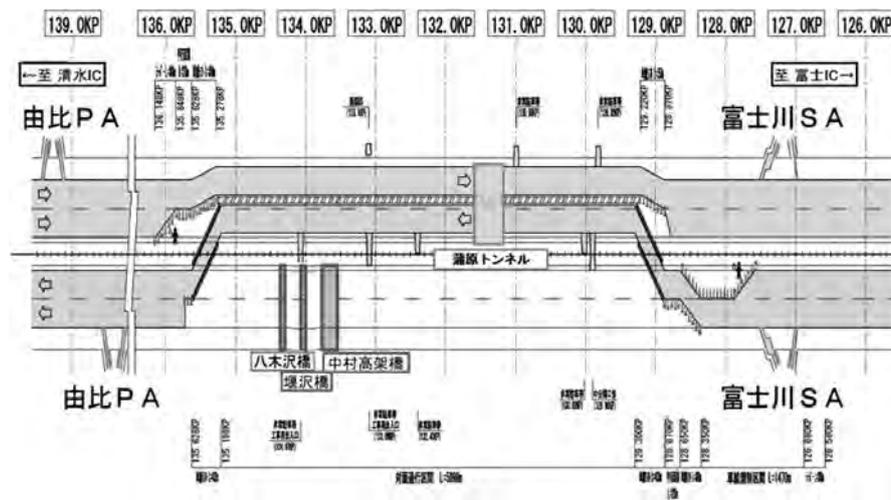
床版取替工事では大規模な交通規制を伴うため、これまで各種の安全対策について、効果検証を行いながら実施してきた。代表例として、2019年と2020年のそれぞれ9月から12月の約3か月間、東名高速道路 富士IC～清水IC間の中村高架橋・八木沢橋・堰沢橋(下り線)の床版取替工事を、上り線を利用した延長約6kmの対面通行規制により実施した際の安全対策について紹介する。

(1) RZS コンクリート防護柵および鋼製防護柵による仮設中央分離帯設置

全断面で既存のコンクリート床版をプレキャストPC床版に取替える場合、図一6のように床版取替を行わない車線に仮設の中央分離帯を設置し、上下線に分離し、対面通行規制とする。対面通行規制区内での事故等の際に走行車両の反対車線への進入を防止するために、仮設中央分離帯に用いる仮設防護柵として、安全性、設置撤去の施工性、幅員条件等の複数の観点から比較検討を行い、土工部・橋梁部においては



図一5 床版取替機によるプレキャスト床版の架設



図一六 床版取替工事に伴う対面通行規制概略図

アメリカのリンゼイ社が開発した Road Zipper System (以下、「RZS」という) のコンクリート製防護柵、トンネル部においては、着脱式鋼製防護柵(ボックスビーム)を採用している。

RZSコンクリート製防護柵は、1個あたり幅0.46 m、高さ0.81 m、長さ1 m、重さ680 kgのコンクリート製ブロックを連結して運用する形式の防護柵である。高い耐衝撃性能を有しており、車両接触や事故による衝突時にずれが生じたり突破されたりする恐れが小さいため、大型車を含む交通量が多い東名高速道路における対面通行規制でも安全性が確保できる。また、事前にコンクリート製防護柵を路肩に設置しておくことで、移動式防護柵専用車両により仮設中央分離帯として使用する車線中央部まで短時間で移動させることができ、施工性に優れている。側面には反射テープを接着し、天端には一定間隔ごとに自発光式デリネーターを設置することで、夜間や悪天候時の視認性向上を図った。写真一四は、専用車両によるコンクリート製防護柵の移動状況である。



写真一四 RZS (専用車両によるコンクリート防護柵の移動)

一方、東名高速道路のトンネル部は路肩幅が狭く、道路構造令を満たす幅員構成とするためにはRZSコンクリート製防護柵は設置できないことから、幅が約0.2 mと小さく、同等の耐衝撃性を有する鋼製防護柵を採用した。これは、地中に埋め込んださや管に高さ約1.2 mの支柱を立て込み、長さ4.8 mの箱型ビームを取り付けて、ビームをプレートで連結するタイプの鋼製防護柵である。鋼製防護柵の設置・撤去および事前準備としてのさや管基礎の埋め込みはセンターライン直上での作業となり、車線規制では安全性が確保できないため、夜間通行止めにより施工を行った。RZSコンクリート製防護柵と同様、視認性向上のため、側面には反射テープを接着した。写真一五は、鋼製防護柵の設置状況である。



写真一五 トンネル区間内鋼製防護柵の設置状況

なお、対面通行規制区間で交通事故が発生した場合に滞留車両の排除や緊急車両の通行ができる緊急開口部として、RZSコンクリート製防護柵設置区間では約1 kmごとにポリエチレン製防護柵を設置し、鋼

製防護柵設置区間（トンネル部）ではトンネル中央部にキャスト付きタイプの鋼製防護柵を設置している。

(2) 対面通行規制時に備えた安全対策

対面通行規制時には仮設中央分離帯を設置する分、路肩部に車線をシフトさせて走行帯を確保している。路肩部は通常時には車両走行が想定されていないため、対面通行規制実施前に現地を確認のうえ、以下のような対策を実施し、安全な走行環境を整備した。

まず、土工部の路肩部は車両走行に耐える舗装構成となっていないことから、切削オーバーレイにより、基層 60 mm + 表層 40 mm の走行・追越車線と同等の舗装構成に打ち換えた。

橋梁部の路肩部や本線バスストップランプの分合流部における舗装構成は走行・追越車線と同等だが、通常時は一般車両の通行帯とはなっておらず、ひび割れ等の変状が確認されたため、同様に切削オーバーレイにより補修を行った。さらに、橋梁の伸縮装置において、これまで走行・追越車線部のみ取替が実施され、路肩部に残る部分に変状が発生している箇所が発見されたため、損傷個所の取替を実施した。

また、土工部においては盛土・切土のり面に樹木が繁茂しており、本線側に張り出した枝葉が対面通行規制時に走行車両と接触する恐れがある箇所があったため、張り出した枝葉の伐採を行った。

(3) 対面通行規制時の安全対策

対面通行規制時の安全対策として、路肩幅が狭くなることから、現地条件を鑑み、設置可能な範囲（道路構造令の規定に準じ概ね 1.5 km 間隔）で仮設非常駐車帯を設置した。また、対面通行規制時には、通常時の追越車線側を車両が通常時と逆向きに走行することから、既存の中央分離帯に設置してある視線誘導標や距離標の付け替え（向きの変更または両面式タイプへの取替）、トンネル入口に仮設のトンネル情報板を設置するなどの対応を実施した。さらに、対面通行規制区間手前のテーパー部での規制材接触事故もこれまで発生していたことから、矢印板の大型化や点滅誘導灯の設置等により規制材の視認性向上を図った。

東京支社では、上記のような安全対策を実施しており、とりわけコンクリート製仮設中央分離帯の採用については、対面通行規制区間中の事故発生時に、中央分離帯突破による対向車線通行車両との衝突を防止するなどの大きな成果を上げている。今後も事故の発生件数や発生場所の分析等を通じて効果を検証し、継続

実施や改善を図ることで、安全性向上に努めながら、今後も事業を進めていく。

4. 今後のリニューアルプロジェクトにおける大規模規制計画

東京支社では、これまで新東名高速道路等のう回路との相互アクセスが比較的容易な区間や主に比較的交通量の少ない一般有料道路を中心に、床版取替工事を実施してきた。今後はこれまでの工事で得られた知見を踏まえて、首都圏を中心とした日断面交通量 10 万台を超える超重交通区間や、近距離トリップの交通需要が主体で大規模規制期間中のう回誘導が難しい区間の床版取替工事に着手していく計画である。

(1) 今後の床版取替工事における規制の在り方

今後、工事に着手していく区間は、河道幅員が 500 m ~ 1 km 程度の大河川を渡河する長大橋や、市街地の連続高架区間が主体となっており、個々の規制区間内に取替や打換を要する橋梁（連）が多数存在していることが特徴となっている。そのため、従前実施してきたような 1 回あたり 2 ~ 3 か月程度の対面通行規制では、同一箇所に対して渡り線や仮設中央分離帯等の設置・撤去を何度も繰り返すことが必要となり、工事渋滞および渋滞後尾への追突事故等の交通影響や仮設物に対する工事費用の増大、連続施工ができないことに起因する全体的な施工効率の低下、施工時期の集中や担い手不足による労務・資機材の調達難航といった面でのデメリットが考えられる。さらには、建設業界における働き方改革の推進という観点では、短時間で工事を完了させるために実施している昼夜連続施工等、長時間労働の削減が課題の一つとなっている。

上記の課題を解決するため、交通規制を通年で連続実施できる大規模規制計画を検討してきた。交通規制の通年連続実施にあたっては、交通混雑期における交通容量を平時と同程度確保することが必要であり、それ以外の期間においても可能な限り平時と同程度の交通容量を確保することが必要となる。よって、床版取替を幅員方向に分割施工し、既往の路肩等を活用したうえ、不足する幅員を拡幅するなどして通行帯を確保して、構造面での検討と併せて規制計画を検討し、交通管理者等、関係機関との協議を進めてきた。

検討・協議の結果、通年規制方式を採用のパイロット工事として、2020 年度に東名高速道路 東名多摩川橋と大井川橋の床版取替工事の発注を進めており、2021 年度以降順次着手していく計画となっている。

これら2工事の概要と交通運用計画を以下に紹介する。

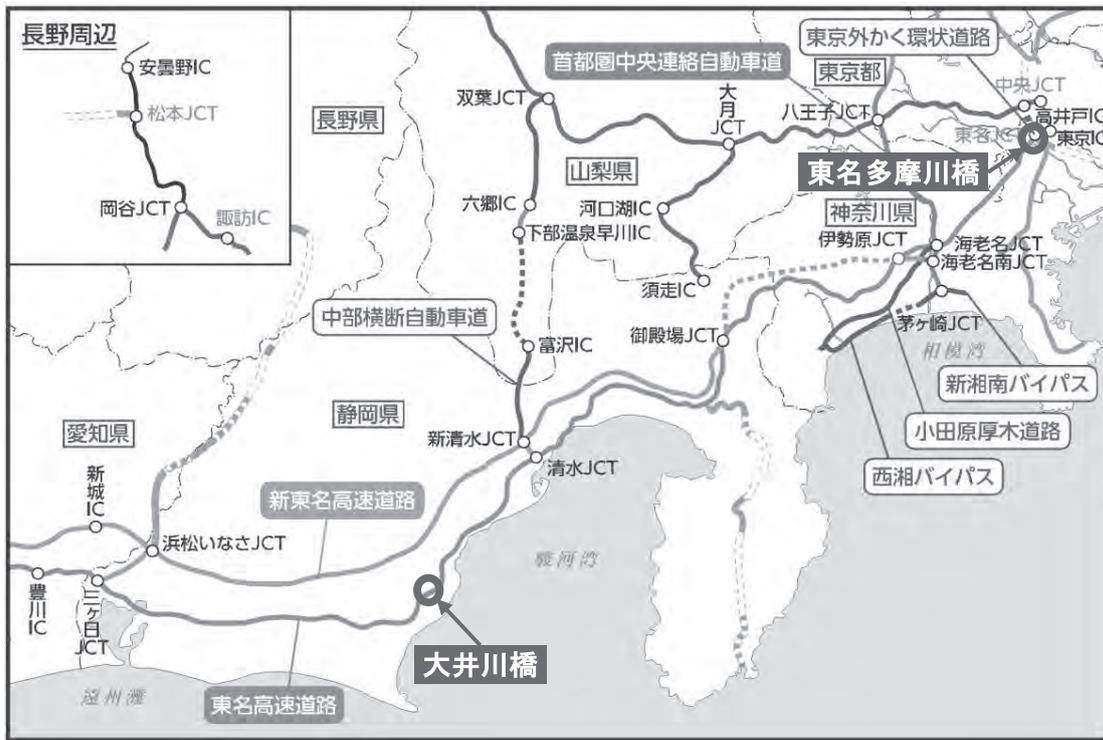
(2) 東名高速道路 東名多摩川橋、大井川橋床版取替工事の交通運用計画

東名多摩川橋は東名高速道路 東京IC～東名川崎IC間に位置する鋼3径間連続合成鈹桁橋3連からなる橋長495m、上下線各3車線幅員の長大橋となっており、日断面交通量は11万台前後で推移している。当該橋梁は、大型車交通量に起因するRC床版の疲労損傷が主要因で、上下線計6連全ての床版取替を計画している。

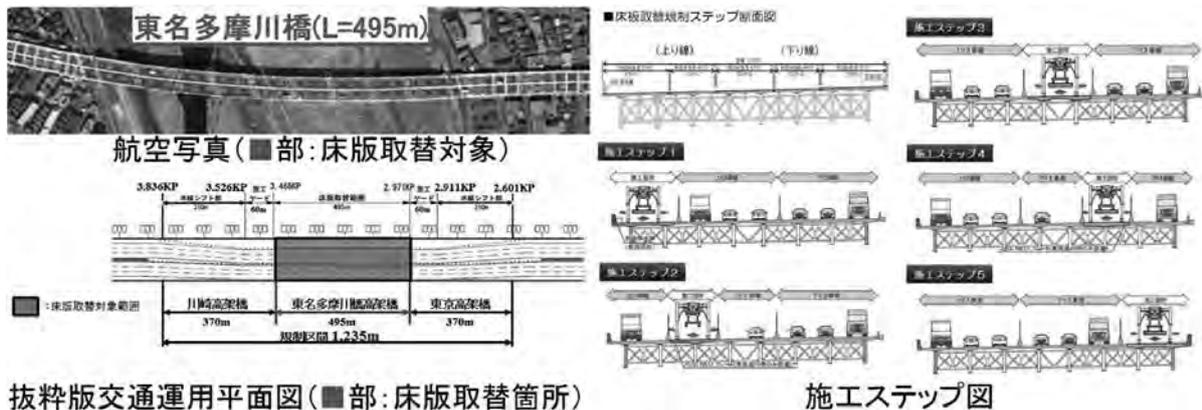
大井川橋は東名高速道路 焼津IC～吉田IC間に位置する鋼2径間連続合成鈹桁橋1連と鋼3径間連続

合成鈹桁橋4連からなる橋長850mの上下線各2車線幅員の長大橋であり、日断面交通量は新東名供用前で7～8万台、新東名供用後で約4万台となっている。当該橋梁も大型車交通量に起因するRC床版の疲労損傷が主要因で、上下線計10連全ての床版取替を計画している。東名多摩川橋、大井川橋の位置を図一7に示す。

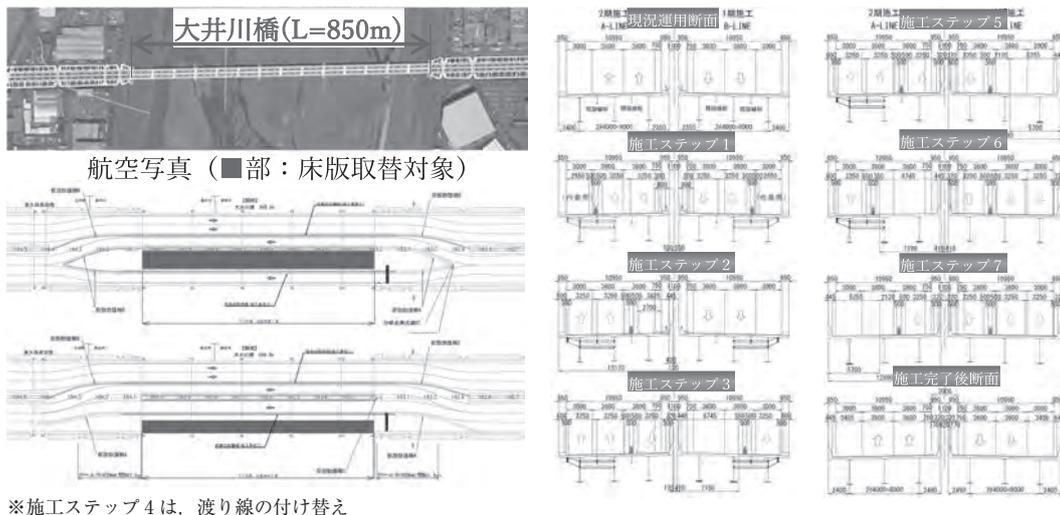
これらの橋梁は床版取替を橋軸方向に分割施工することで、図一8、9に示すようにいずれも既往の車線数をできる限り確保した交通運用を計画している。具体的には、片方向では路肩を活用するとともに床版の事前拡幅を行い、平時の車線数に加えて仮設中央分離帯と渡り線によって床版取替施工側からシフトさせた追加1車線分の通行帯幅員を確保することにより、床



図一7 東名多摩川橋、大井川橋の位置図



図一8 東名高速道路 東名多摩川橋の床版取替計画



※施工ステップ4は、渡り線の付け替え

図一 東名高速道路 大井川橋の床版取替計画

版取替施工側の施工ヤードを確保する計画となっている。このような車線数確保型の交通運用により、交通規制を通年実施することが可能となり、橋梁全長にわたって各工種を流れ作業で施工することが可能となる。これにより、工事規制に伴う交通影響の低減と施工効率の改善、さらには規制開始・終了時期の自由度向上による労務・資機材の需要平準化、大規模規制期間中の長時間労働の削減が可能と考えている。

その一方で、交通供用下にある橋梁で床版取替を行うため、プレキャスト床版の接合部でコンクリート打設を行う場合における交通振動の影響への対策や、交通振動下における出来形管理の面での課題について、パイロット工事において構造的対策や、品質管理面での対策を検討していく計画である。

東京支社では、パイロット工事で得られた知見をもとに、高速道路の安全性を継続的に向上させていくとともに、高速道路を通行されるお客様へのサービス水準向上とよりよい現場施工環境を両立するべく、今後も同様の規制方式を採用する工事を継続的に発注していく計画としている。

5. おわりに

本稿では、NEXCO 中日本・東京支社管内の高速道路リニューアルプロジェクトの実施状況、床版取替工事に伴う交通規制での安全対策、今後実施を予定して

いる超重交通区間等での床版取替工事の計画について紹介した。プロジェクトは、15年間のうちの7年目となっている。安全・品質に十分配慮し、交通規制による利用者への影響を最小限に抑える急速施工技術や簡易な交通規制・仮設道路整備の技術、さらなる省力化・効率化技術の開発等、関連団体と協力し、技術開発を促進し、円滑にプロジェクトを推進していく計画である。

JCMA

【筆者紹介】



金田 遥 (かなだ はるか)
中日本高速道路(株) 東京支社
保全・サービス事業部 構造技術課
課長代理



藤本 貴正 (ふじもと たかまさ)
中日本高速道路(株) 東京支社
保全・サービス事業部 構造技術課
係長



梅澤 祥太 (うめざわ しょうた)
中日本高速道路(株) 東京支社
保全・サービス事業部 構造技術課
係長



土木・建設現場における物流ドローン活用から空飛ぶクルマへ SkyDrive が描く未来

佐藤 剛裕・根本 拓弥

近年、ドローンの産業利用が進んでいる。土木・建設分野においては、小型ドローンを利用した現場撮影による施工管理や、3D レーザースキャナを用いた測量等での活用が行われ、人の眼の代わりとしての役割を補っている。

(株)SkyDrive は空飛ぶクルマの開発で培った大型ドローンの開発技術を活用し、人の手足を補うことを目的に、土木・建設現場で資機材を運搬する物流ドローンを開発している。

本稿ではその取り組みおよび、その先に描く物流ドローンおよび空飛ぶクルマの未来に向けた取り組みを紹介する。

キーワード：物流ドローン、カーゴドローン、空飛ぶクルマ、自動化、生産性向上、安全性向上

1. はじめに

土木・建設分野は少子高齢化に伴う、技術労働者の高齢化および減少を背景に、深刻な人手不足が課題となっており、国土交通省が推進する生産性向上を目指す「i-Construction」に代表されるように、調査・測量、設計、施工、検査等のあらゆる建設生産プロセスにおいて ICT を全面的に活用する取り組みが推し進められている¹⁾。

ドローンの活用もその一つであり、もともと趣味の撮影用として普及したドローンの技術を応用して、現場を撮影することによる施工管理や、3D レーザースキャナを用いた測量を目的とした産業用ドローンが開発され、既に土木・建設現場で利用され始めている。ドローン活用への期待は大きく、土木・建設現場における資機材輸送へのドローンの活用も期待されている。しかし、現在主に用いられている産業用ドローンは小型ドローン（最大離陸重量として 25 kg 未満のもの）がほとんどであり、ドローンをより大型化し、可搬重量（ペイロード）を向上させなければ、生産性向上に寄与するドローンの資機材輸送は行うことが出来ない。

2. 大型ドローンの開発の難しさ

ドローンはプロペラを回転させることで生じる揚力で飛行し、隣り合うプロペラを逆回転させることで反

力を打ち消し合い、プロペラの回転数を制御することで姿勢を制御して安定した飛行を実現している。一般に、機体が大型化すると機体及びプロペラ等の慣性や、大型化に伴う振動が大きくなるため制御が複雑になる。また、墜落や障害物に衝突した際のリスクが非常に大きくなるため、安全性・信頼性向上のための設計が非常に重要となってくる。

また、ドローンの飛行に関する許可等については、国土交通省が制定する「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領」に基づいて行われる。大型ドローンに該当する「最大離陸重量 25 kg 以上の無人航空機」については、小型ドローンで求められる機能及び性能に加えて満たすべき基準が設けられている(図-1)²⁾。この基準を満足する必要がある点も、大型ドローンの開発が小型ドローンに比して難しい要因の一つである。

3. 空飛ぶクルマの開発技術を転用した物流ドローン

SkyDrive では、空飛ぶクルマを開発する過程において、開発の効率性の観点から、はじめから実寸大の機体で試験をするのではなく、最大離陸重量 25 kg を超える大型ドローンに該当するサイズの試験機を用いて、構造や制御に関する技術検証を重ねてきた。そのため、一般的には難しいとされる大型ドローンを安定して飛行させる設計・制御技術を強みとしている。

- (1) 想定される全ての運用に耐え得る堅牢性を有すること。
- (2) 機体を整備することにより100時間以上の飛行に耐え得る耐久性を有すること。
- (3) 機体と操縦装置との間の通信は、他の機器に悪影響を与えないこと。
- (4) 発動機、モーター又はプロペラが故障した後、これらの破損した部品が飛散するおそれができる限り少ない構造であること。
- (5) 事故発生時にその原因調査をするための飛行諸元を記録できる機能を有すること。
- (6) 次表の想定される不具合モードに対し、適切なフェールセーフ機能を有すること。

想定される不具合モード		
通信系統	・電波状況の悪化による通信不通	
	・操縦装置の故障	
	・他の操縦装置との混信	
	・送受信機の故障	
推進系統	発動機の場合	・発動機の出力の低下または停止
		・不時回転数上昇
	電動の場合	・モーターの回転数の減少又は停止
		・モーターの回転数上昇
電源系統	・機体の主電源消失	
	・操縦装置の主電源消失	
自動制御系統	・制御計算機の故障	

図-1 最大離陸重量25kg以上の無人航空機の機能及び性能について追加で求められる審査基準

また、大型ドローンで求められる不具合モードに対する適切なフェールセーフ機能の実現についても、人を乗せる空飛ぶクルマでも採用しているモーターやバッテリーなど推進系統に関わる部品の冗長設計を行うことで、ドローンに高い安全性を持たせることが出来る場所も強みとしている。

これらの強みを活かし、SkyDriveでは重量物を運搬可能な可搬重量30kgの物流ドローンを開発している(写真-1、図-2)。

この物流ドローンのサイズはバンや2tトラックで輸送することができるサイズとなっており、2人でも運ぶことのできる重量となっているため、様々な現場で活用する際の取り回しに適している。また、ユーザーの扱いやすさを重視したシンプルで分かりやすい表記、危険が予想される場合の警告機能を充実させた地上局(Ground Control Station)を自社開発しており、安全に自律飛行を行うことが出来る。

荷物の運搬に関しては、基本的にはモッコを袋状としたバッグを利用することで、様々な形状の資機材でも重心位置を中心に寄せて、安全に運搬することが出来る(写真-2)。しかし、土木・建設現場ではドローンの着陸が困難な場所への資機材運搬が求められるこ



写真-1 SkyDrive社製 物流ドローン

サイズ	全長2.1m 全幅2.4m 全高1.0m
機体重量	35kg
推奨ペイロード	30kg
飛行速度	36km/h
飛行時間	15分

図-2 想定仕様



写真-2 荷物運搬用のオリジナルバッグ

とが多く、それに対応するため、非着陸で荷物を地面に降ろすことのできるホイスト機構も自社開発している。ホイスト機構の先には、地面に設置することで開いて荷物を離すフックを搭載している(特許出願中)。

4. 土木・建設現場での活用に向けた実証実験

2019年12月、(株)大林組と共同で、上記物流ドローンの試験機を用いて、土木現場で用いられる資材の運搬の試験を実施した³⁾。

土木・建設現場では、前述の技術労働者の高齢化および減少が課題であり、単純作業を軽減し、スキルや経験が必要とされる作業に集中できるような対応が求められている。また、土木現場には山間部や急傾斜地で行われることも多く、人による重量物の運搬においては、事故災害が発生するリスクもある。



写真-3 飛行時の様子



写真-4 運搬試験した資材

実証実験では、上記の課題に対する対応策として物流ドローンが有効かどうかを検証するため、土嚢、単管パイプ、木杭等の現場で用いられる資材を自動飛行で運搬する検証を行い、30 kg 程度の各種資材を安定して運搬できることを確認した(写真-3, 4)。

この結果も踏まえて、現在は実際の建設現場での実証実験を重ねつつ、その結果をフィードバックした機体の開発や効果的な活用方法の検討に取り組んでいる。

5. 物流ドローンにおける今後の展開

重量物運搬が可能な物流ドローンは2021年春の納品を予定しており、電力、土木・建設現場を中心に活用が開始される予定である。本ドローンはサブスクリプションサービスとしての提供を予定している。ドローンの技術進化は目覚ましく、より性能のよい部品への交換や、ソフトウェアの機能改善が利用者の便益をもたらすため、機体ではなく利用権を購入して頂くモデルを採用した。まずは国内での活用を開始し、電力、土木・建設だけではなく、災害時や農林業での利活用へと展開していく予定である。また、同様の課題を持つ海外におけるシーンでの活用へも展開をしてい

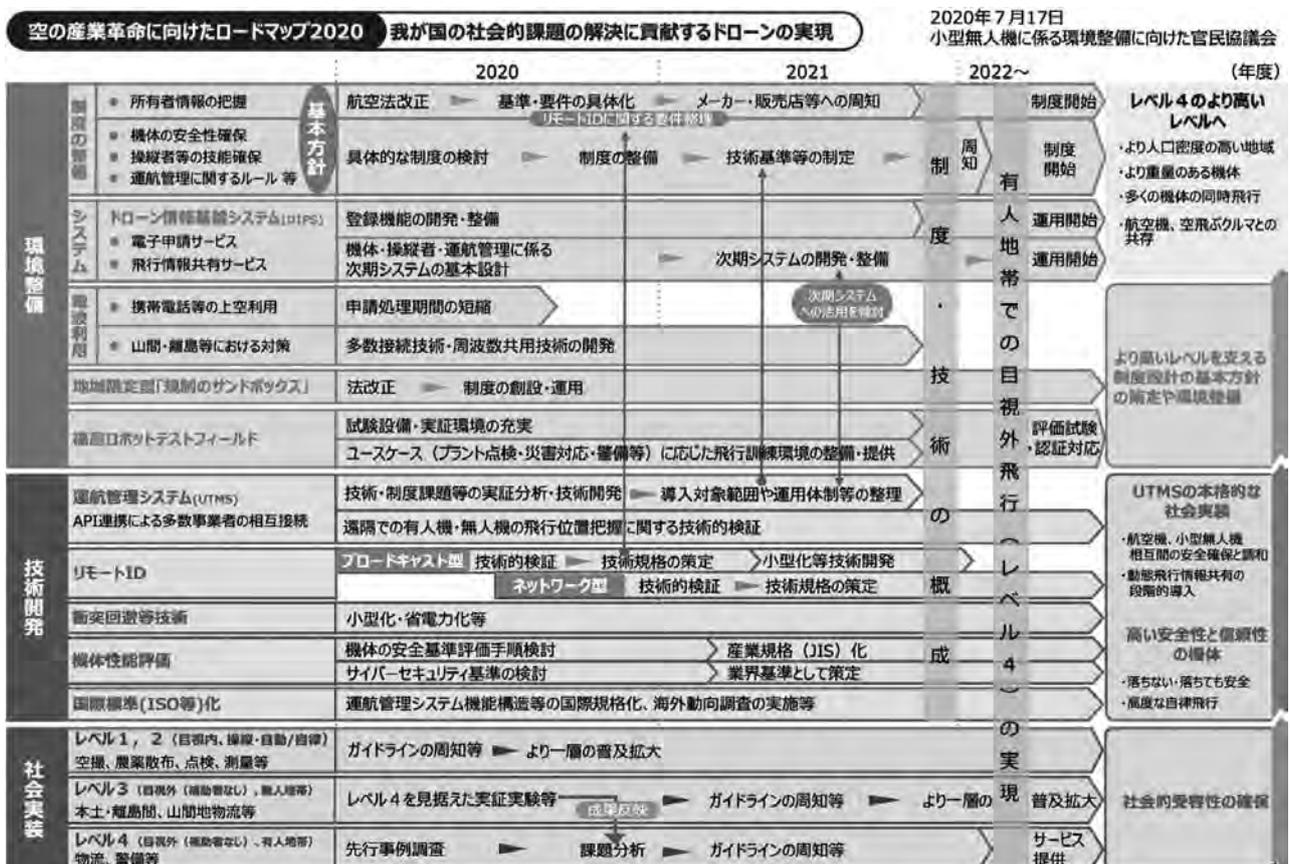


図-3 空の産業革命に向けたロードマップ2020

きたい。また、活用の実績をもとに、新技術情報提供システム「NETIS」への申請も予定している。

現在、ドローンを用いた人の上空を飛ばすこと（有人地帯上空を飛ばすこと）は、航空法上禁止されており、上記のドローンの活用は、人の上空を飛ばさないこと（無人地帯上空を飛行すること）を前提としたドローンの利活用である。これまで認められていなかった有人地帯上空でのドローン飛行（レベル4）を可能にするため、国は機体の安全性を認証する仕組みや操縦者向けの免許制度を創設することを決定し、2022年度に法改正することを予定している（図-3）⁴⁾。有人地帯上空での飛行が可能になると、ネットショッピングの台頭も背景に、少子高齢化による労働力・人手不足や激務化・労働環境の悪化といった課題の対策として物流分野での活用が広がることが予想される。一方で、国が機体の安全性を認証する仕組みが出来ることで、より安全性が高い機体を開発し、それを証明できる機体メーカーの製品のみが、有人地帯上空を飛行させることが可能になる。

SkyDriveは安全性が高い機体を開発することを強みとしているため、有人地帯上空を飛行させる機体開発も視野に入れた取り組みを行っている。2020年8月、ドローンを活用した配送サービスの実用化に向けて、兵庫県神戸市協力のもと、セイノーホールディングス(株)、神戸阪急、(株)トルビズオン、成ワ薬品(株)と共同で実証実験を実施した⁵⁾。トラックでの配達が多いとされる神戸市灘区の六甲山地区において、複数人向けの荷物を同時に届ける「混載・高重量」配送を行った。当日は、第三者上空を飛行しない前提で、補助者あり目視外での自律飛行によるドローン配送を実施した。予め設定した飛行経路をGPS環境下で自律飛行し、必要に応じて操縦者が制御介入できる体制を整えた。本実証実験では、重量12.7kg（バッテリー込）、最



写真-5 ドローンで運んだ荷物を開封する様子

大積載量10kgの特別に用意した機体を使用した。運搬物は、寿司や洋菓子などの飲食物や、医薬品、日用品などで、複数顧客向けの複数商品を一度にドローンで配送した（写真-5）。

今後は、法改正の動向を注視しながら有人地帯上空を飛行させることが可能なドローンも開発し、ドローン物流の社会実装を推し進めていく。

6. そして空飛ぶクルマへ

空飛ぶクルマは、正式名称を「電動垂直離着陸型無操縦者航空機」と言い、電動化、完全自律の自動操縦、垂直離着陸が大きな特徴であり、その利点から空の移動をより身近にするモビリティとして注目されている（図-4）。モビリティ分野の新たな動きとして、世界各国で空飛ぶクルマの開発が進んでおり、日本においても都市部でのタクシーサービス、離島や山間部の新たな移動手段、災害時の救急搬送などにつながるものとして期待されている。

SkyDriveでは、2018年12月に無人形態での屋外飛行試験を開始し、以降、数々の技術検証を実施して



空の大衆化～日常の移動に空を利用する～



図-4 空飛ぶクルマの特徴と利点をもたらす空の大衆化



写真—6 「有人試験機 SD-03」モデルを使った有人飛行試験の様子(2020年8月初旬に撮影)

きた。2019年12月から開始した有人飛行試験では、試験機における操縦性、飛行安定性を確認し、その過程を安全に終了した。2020年8月25日、SkyDriveの開発拠点である「豊田テストフィールド」において「有人試験機 SD-03」モデルを使用した公開有人飛行試験を実施し、成功を収めることが出来た(写真—6)。飛行時間は約4分間であり、機体は1人乗りでパイロットが操縦するが、コンピュータ制御のアシストにより飛行を安定させた。また、バックヤードでは飛行状態をモニタリングし、安全を常時確認した。SD-03の駆動方式は電動モーターでロータを駆動する方式を採用した。ロータは、4か所に配置されており、1か所あたり2つのロータが回転し駆動力を生み出し、合計で8個のモーターを採用することにより、電動モーター・ロータ系の一部に異常が発生してもバックアップの役割を果たすため、安全に飛行を続けることが可能である。この点は、先の物流ドローンでも採用した設計思想である。

今後は、人が操縦する事で明らかになった改善すべき特性を設計にフィードバックし、2023年の空飛ぶクルマ販売開始に向けて機体開発を進めていく。

7. おわりに

SkyDriveは「誰もが空を飛べる時代をつくる」をミッションに、空を活用して社会課題を解決することに取り組んでいる。空の活用にはまだまだ可能性があり、その取り組みはまだ始まったばかりと言える。今後の物流ドローンおよび空飛ぶクルマの実現に向けた我々の取り組みを応援頂くとともに、空を活用してよりよい社会を構築する活動にご参画頂ければ幸甚である。

JICMA

《参考文献》

- 1) 国土交通省 「i-Construction」
(<https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/index.html>)
- 2) 国土交通省「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領」
(<https://www.mlit.go.jp/common/001220061.pdf>)
- 3) プレスリリース「SkyDrive (スカイドライブ)、大林組 重量物運搬ドローン『カーゴドローン』の建設現場における実証実験を開始」
2020年2月13日
- 4) 内閣官房「小型無人機に関する関係府省庁連絡会議」
- 5) プレスリリース「SkyDrive (スカイドライブ)、神戸市にてセイノーHD、神戸阪急、トルビズオン等とドローンを活用した配送サービス実用化に向けた実証実験を実施!」2020年8月6日
- 6) ㈱SkyDrive ウェブページ (<https://skydrive2020.com/>)

【筆者紹介】



佐藤 剛裕 (さとう たけひろ)
㈱SkyDrive カーゴドローン部
部長補佐



根本 拓弥 (ねもと たくや)
㈱SkyDrive カーゴドローン部
チーフエンジニア



高年齢社員の更なる活躍を推進する会社をめざして 高年齢者から若年者まで多角的な職場改善を実行

磯 上 武 章

元気な限りいつまでも働きたいという職人気質の高年齢社員の意思を尊重し、そのためのいつまでも働ける職場づくり、就労環境の改善等を、常に現場の声と視点を取り入れて実践。

世代を超えた一体感を社内に醸成し、個人のスキルやモラル、モチベーションの向上を図り、全社的な生産効率の向上を推進。

キーワード：高年齢社員の更なる活躍

1. はじめに

当社は平成7年（1995年）に東京都杉並区荻窪に創業し、深礎工法を主に25年にわたって社会基盤の整備に携わってきました。

深礎工法とは、場所打ち杭工法の中では最も古い杭工法で、建物重量を地中の支持層に伝達する役目を担う杭を地中深く施工する杭工法の一つです。

掘削は人力または機械で行い、ライナープレート、吹付けコンクリートとロックボルトで土留めを行います。掘削が完了後、坑内で鉄筋を組み立ててコンクリートを打設して杭を形成します。

山間部エリアにおける橋台基礎の深礎杭や橋脚基礎の深礎杭、建築・鉄塔における基礎杭など、社会基盤整備の多様な場面で採用されている工法です。

また、高速道路の橋台、橋脚の基礎杭工事では1年以上の工期のものもあり、現在の年商は約20億円となります。

当社の業界である土木業界では主に元請けの策定した取り決めにより、65歳以上は危険箇所への立ち入りができないことになっています。深礎工事においては現場である立坑がまさに危険箇所となり、これは高い技術と経験を持ち、健康である限り働きたいという高年齢社員にとっては大きな不安となっていました。

また、多くの社員にとってもこの業界やこの会社では高齢になってから、会社は面倒を見てくれるのか、どのような働き方ができるのかは大きな不安要素にもなっていました。

一方、会社にとって高い技術を持ち合わせる高年齢社員は重要な「職人資産」であり、それを生かす職場

づくりが、全社的なモチベーションアップと生産性の向上に欠かせない課題としてあがっていました。

従前より当社では機会あるごとに「働きたい者にはずっと居てもらっていい。会社はそれに応える」ことを社員に対して発信し、末永く働けるよう環境を整備する旨伝えています。

また、土木業界の慣習にはとらわれず、いつまでも働けることを経営理念に掲げ、そのために社員の声を吸い上げ、制度から能力開発、職場の環境改善、新職場の創設など、多角的に施策を展開してきています。

今回は、この課題についての解決のために当社が実施してきた9つの施策・取り組みをご紹介します。

2. 定年制度の改善と新たな職場の創出について

かねてより、社員から60歳以降もいままでの経験と技術を生かして現場で働きたいという要望が強かったため、「定年60歳、定年後は希望者全員を65歳まで継続して雇用する」制度を設けておりました。

一方、先に述べたように、土木業界では主にゼネコン等元請けの策定した取り決めにより、65歳以上は危険箇所への立ち入りができないことになっているため、当社の場合は主要工事である深礎工事の立坑などが該当し、そこでは65歳以上の高年齢社員は働けないこととなります。

そのため、60歳以降も希望者を継続雇用する制度があっても、65歳以降は坑内作業ができないため、社員から以下のような声が寄せられておりました。

・実際に雇用が継続されるのか不安である

- ・いままでの経験と技術が雇用延長において生かすことができるのか
- ・ずっと働いていきたいが健康面や生活設計面で不安がある

このような問題を解決するため、平成28年4月から以下のとおり定年制度を改め、「いつまでも働ける職場環境づくり」をより鮮明にしました。

- ①定年65歳、定年後は70歳まで希望者全員を継続雇用する
 - ②71歳以降は、本人が健康で働く意欲があれば年齢の上限なく引き続き継続雇用する
- また制度を有効に活用できるように、社員への周知を徹底しました。
- ア) 59歳になった社員と役員が面談し、今後の働き方についてのヒアリングを行うこと
- 地方からの単身赴任者も多いので、このあと地元に戻るのか、このまま当社で働くのかを考えてもらう
- イ) 65歳以降は危険箇所(立坑)には立ち入れないが、「上回り」「手元」と呼ばれる現場周りでの業務があるので継続して働けること
- 65歳以降でも現場で働けることの再確認
- ウ) 関連会社の(株)ディッグでの雇用も可能なこと
- (株)ディッグは深礎工事をはじめとした土木工事の開口部周りの安全設備の開発をしており、そこでの開発アドバイザー的な役割で活躍の場を提供できることを説明

この施策を制度化したことで、社員は会社の有言実行の実行力を高く評価してくれました。高年齢社員のほとんどが継続雇用を希望していたため、信頼感を持って受け止められました。

3. 賃金制度の見直しを実施

これまで、当社では同業他社でも広く採用されている日給月給制度を採用しておりましたが、次のような弊害が見られました。

- ・体調が悪くても休むと日給が減るため、我慢して就労してしまう、通院しない
- ・休むと収入が減るため休みが取りにくい

特に高年齢社員にその傾向が強く、結果として長期の現場離脱につながり、退職せざるを得ない状況に陥るケースもありました。

このような問題を解決するため、平成28年4月1日から給与制度を月給制に改め、更には、社員に対して有給休暇の取得についてもあらためて説明を行い、有給休暇を取得することで賃金に影響のないことを周

知しました。

これによって社員からは「具合が悪くても有給休暇を使って安心して通院できる」、「計画的に休みが取れる」と評価を得ております。

4. 高年齢社員の経験を生かした技術・資材提案の積極的な採用

これまでは、長年の現場作業で培われた高年齢社員の経験・技術・知識が有効に生かされる機会が多くありませんでした。

これを解決するべく取り組んだのが以下の内容です。

当社では、毎週月曜日に各現場の工程をチェックする週間工程会議を実施しています。

この中で、平成25年から「現場からの要望」も採り上げることになりました。

その結果、「こういう資材があったらいい」という高年齢社員の経験を生かした提案が積極的に上がるようになり、その中で「なぜこれが必要か」「それでどんな効果(メリット)があるのか」といったことが説明されるようになり、その知恵が現場で共有されるようになりました。

また、高年齢社員の知恵に触発されて、年代を超えてさまざまな提案が出るようになりました。これは副次的な成果ですが、社員全体の能力開発に結びつくことにもなり、その結果、現場社員が常に「気づき」の意識を持つようになり、それが当社の社風になってきています。

会議には関連会社である(株)ディッグの担当者も同席するので、現場からの要望、アイデアが資機材の開発、設備の開発に生かされています。現場からのアイデアが特許出願に結びついた例もあります。次の事例でご説明します。

5. 現場からのアイデアが特許出願に結びついた具体例

「H形鋼吊り具の開発と特許出願」

これは、当時67歳の社員(重機オペレーター)が週間工程会議にて「現場からの要望」として提案したアイデアを(株)ディッグで具現化したものです。

深礎工事では立坑掘削の際、地盤の掘り下げに伴って順次、ライナープレートという波形の薄鋼板を接続しながら土留めが構築されます。

その土留めの剛性を増強するためにH形鋼が用い

られますが、従来、H形鋼の設置には、その形状ゆえに吊り方が難しく、人力の補助を要するなど多くの手間がかかっておりました。そこで重機オペレーターの社員がH形鋼を水平に吊れる吊り具のアイデアを提案し、それがクレーンでの開発・製品化を実現しました。

これが実際に現場で採用され、H形鋼設置の効率を大幅に向上させました。

これは特許出願する結果にも至り、現在では数多くの現場にて活用されています。

6. 高齢社員に対するITスキル向上のためのサポート実施

従来、個人日報や現場工事日報、週間工程表などは紙媒体で行われていましたが、近年は電子化されパソコンやスマートフォンでの作業に移行しています。

このため高齢社員にとっては、操作にとまどう者も少なくありません。特に現場の職長クラスには年配者、高齢社員が多いのでITスキルは必須条件となっておりました。

ITスキルが未熟なために、記入の不明確、不正確が見受けられ、当人にはこれまでにないストレスになるなど問題が生じておりました。

これを改善するための取組みとして、平成27年から若手社員を講師として、高齢社員に対してパソコン・スマホなどのIT講習会を開催し、次のような成果が得られました。

- ・ 高齢社員の苦手意識が払拭でき、パソコンによって記入業務などが簡易化されるメリットが理解され、業務に対するモチベーションが向上した。
 - ・ かつてはプリントなどで配布していた連絡事項を携帯メールで水平展開できるようになったため、事故の注意、現場ごとの特有の注意事項、安全週間の注意事項などがきめ細かく行われ、安全意識が向上した。
 - ・ 連絡の未達、行き違いなどが激減した。
 - ・ 高齢社員がパソコンを使えるようになったことで、業務の効率が向上した。
 - ・ 利便性を体得したことで、「学ぶ」という意識が向上し、従来から行われていた資格取得・更新のための講習（会社負担）への参加率が向上した。
 - ・ いままでは若手に技術を教えていた立場が、若手から教わるということで、立場や年齢を超えたコミュニケーションが円滑になった。
- 講習会は就業時間内に行ったので参加率は非常に高

い実績となりました。

7. 若手社員とのペア就労実施で技術の伝承のみならず安全、効率化にも寄与

土木業界で働くベテラン社員は職人気質が多いのが特徴です。かつての職人は「仕事は見て覚えろ」というのが常でありましたが、いまではそれでは若手がついてこない時代になっています。そのような状況の中、当社の高年齢社員には「自分たちの技術を伝えたい」という前向きな職人気質の変化が見られます。

一方、若年社員は教えてもらいたくても「聞きにくい、とっつきにくい」という気後れしているところもあり、双方が噛み合わない場面もあります。

生活面では、若手社員は人生経験も乏しいために、仕事のあとの深酒や、金銭の使い方が派手になるなど乱れがちになるケースもあり、体調不良からの集中力欠如は事故にも結びつく恐れがありました。

このような状況を改善するために、平成26年から高齢社員などベテランと若手のペア就労を実施しています。

当社では1～2カ月は同じ現場で就労するのが常であるため、遠隔地の場合、その間は指定の宿舎に滞在しています。

その間は現場以外でも同じ宿舎で暮らすこととなりますので、こうした状況からもペア就労が効果的であると判断しました。

ペア就労の具体的内容は以下のとおりです。

- ① 宿舎出発時の声かけ
 - ② 現場での安全装備の相互確認
 - ③ 朝礼あと、その日の作業ポイント、コツなどを確認、質疑応答を行う
 - ④ 休憩時に作業のふりかえりを実施
 - ⑤ 宿舎では、外出時に声かけ実施
- 効果としては次のような成果がありました。
- ① 伝えたい、教えてもらいたいという双方のニーズが合致し、現場の風通しがよくなり、コミュニケーションが円滑になった
 - ② 若年社員のスキルが向上した
 - ③ 高齢社員が若年社員の要望をよく聞き、相互理解が深まった
 - ④ 若年社員の生活態度が向上した
 - ⑤ 安全への意識、スキルアップの意識が向上し、結果生産性が向上した

若年社員と高齢社員とのペア就労については、現場でのOJTでの効果のほか、長期にわたって寝食を

共にするという業務特性において、コミュニケーションの円滑化だけではなく、生活面での質の向上にも効果を上げました。

8. 現場における保護具装備の改善と無償支給を実施

土木、建設関係では保護具や安全帯などの装備が欠かせません。それがないと現場での作業はできませんが、高年齢社員にとってその重さは身体的な負担が大きいものとなります。

また、業界では保護具等の装備や作業服を自己負担としているケースもまだまだ多く、そのため装備の不備・未所持により、事故に結びつくこともあります。

当社では、平成25年から現場の高年齢社員にヒアリングを実施して装備の見直しに取り組み、高年齢社員の負担を減らし、かつ疲労防止、事故防止にもなる装備の無償支給を行いました。具体的には軽量で強靱な装備、粉塵予防マスクなどの保護具を選択して採用。2年ごとに装備の見直しをして最新のものを社員に提供するようにしています。

会社で最新のものを選択し、無償支給としているため、全員が不備なく着使用の徹底をするようになりました。疲労防止と事故防止の両面における、装備の充実は、高年齢社員の働きやすさの改善にもなっています。

9. 年1回の健康診断を2回に増やして健康管理を強化

これまでは、年1回の健康診断を実施していましたが、社員の健康管理としては行き届いたものではありませんでした。

冬場、夏場になると特に高年齢社員が体調を崩しやすい傾向にあります。気候の変化に弱い高年齢社員に対する取り組みが不十分であったと言えます。

そこで、当社では夏場、冬場の適切な健康管理ができるように、平成27年から健康診断を夏・冬の年2回実施しています。

季節による血圧の変化など自己の体調の特徴を把握することで、高年齢社員の健康管理意識が高まり、体調不良による欠勤が減少しています。

10. 子会社を受け皿とした高年齢社員を生かす職場を創出

先に述べたように、土木業界ではゼネコン等の策定した取り決めにより、65歳以上は危険箇所への立ち入りができないことになっています。

高年齢社員は職人氣質が持ち味でもあり、体が続く限り現場で働きたいと希望する者が多いですが、65歳以上はそれできません。

一方、60歳以上でも意欲はあるが体力的に現場は厳しいなど、高年齢社員にはさまざまな事情があるのが現状です。そのため定年制度の改善だけではない施策が求められておりました。

このような状況に 대응べく、平成27年4月より関連会社(株)ディッグにおいて、高年齢社員を受け入れる態勢を整え、その経験を生かした職場を創出しました。

○(株)ディッグの業務内容

- ・深礎工事をはじめとした土木工事における開口部周りの安全設備の開発
- ・上記安全設備、立坑における昇降設備のリース・販売
- ・本体である(株)忠武建基への資機材の提供

○(株)ディッグでの高年齢社員の業務内容

高年齢社員の深礎工事での技術、経験を生かした以下の業務

- ①安全設備開発のアドバイス＝「こんなものがあつたら」という工夫、アイデアを開発に生かす
- ②資機材の調達＝「こんなものが欲しい」という現場のニーズに的確に応え、無駄のない調達を行う
- ③倉庫の整備＝現場の要望に対応して、すぐに荷出しができるような資機材の整備

このように、高年齢社員が培った経験と知識を活かして製品開発業務に従事してもらうことを想定し施策を推進しています。

現在では、彼らが提案したアイデアから開発された製品が続々と実用化されています。

関連会社が高年齢社員の受け皿となり、そこで独自の資材や機材が開発・製品化されることによって、当社の企業価値を高めることにつながると考えます。

11. おわりに

以上、「高年齢社員の更なる活躍」というテーマで当社の取り組みおよび成果について述べさせていただきました。

このように業界の慣習にとらわれない、高年齢社員

が長く安心して働けるように取り組んだ多角的な職場改善は、高年齢社員のみならず他の世代の社員からも高い評価が得られました。

全社的なモチベーションの向上、社員と会社との信頼関係の強化、そして生産性の向上にも結びついたと言えます。

また、建設業界においてもその取り組みは一目置かれるものがあったと自負しています。

これによって、社員には「チーム忠武（建基）」の一体感が生まれ、『この会社で働く誇り』が芽生えたことは、会社にとっても社員にとっても今後の大きな力になるものと思われま

す。今後も職人資産を活かし、安全で働きがいのある職場を更に目指していくことは、まさに当社の生命線だ

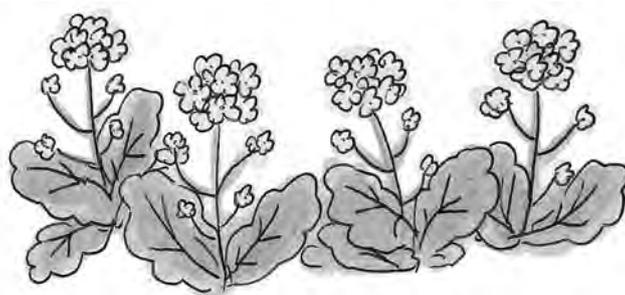
と言えるでしょう。

今後も新たな取り組みを推進することを継続し、高年齢社員から若手社員まで、幅広く働きやすい環境を作っていくと共に建設業界全体に新しい風を吹き込む企業として、邁進して参ります。

JCMA

[筆者紹介]

磯上 武章 (いそがみ たけあき)
㈱忠武建基
取締役会長



ずいそう

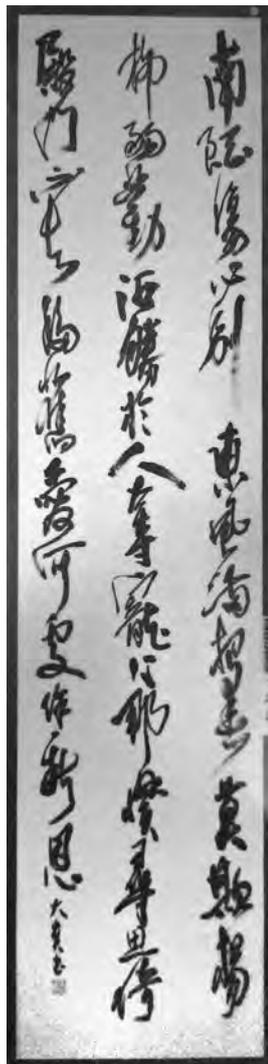
書道の魅力

井内大貴



今回原稿依頼を頂いたのは、社内の新人発表の自己紹介で書道の経験を紹介させて頂いたところ、広報部の方に目にとめて頂き、お話を頂いたのが切掛けでした。なかなか無い機会のためぜひと思い、拙筆ながら筆を執らせて頂きます。

簡単に自己紹介をさせて頂きますと、平成4年に兵庫県姫路市に生まれ、書道を始めたのは小学2年生の時です。玄耀書道会と言う兵庫県発祥の会派の教室で、大学進学で県外に出るまでの11年ほど書道を習って来ました。僭越ながら全国レベルの賞も何度か頂いた経験がございます。そんな私の昔を振り返ると共に、書道の魅力についてご紹介できればと思います。



まず、私の通った書道教室について紹介させていただきます。書道教室と聞くと優しい先生や友達とわいわい楽しくするイメージの方も多いとは思いますが、少なくとも私の通った教室は違いました。時間帯にもよりますが大人の割合も多く、友達とおしゃべりをするのが激が飛び、ふざけたことをしていると、比喩ではなく文字通り、文鎮が飛んでくるようなところでした。私が初めて親に連れられ門を叩いたときも、2～3学年上であろう女の子がげん骨をされて泣いており、なんて所に入れられたのだと衝撃を受けたのを鮮明に覚えています。平成生まれのゆとり教育で育った世代には珍しいタイプの教室だったと思います。

そんな教室のボスは“井上先生”と言う当時60歳前後の女性の先生でした。白銀の短髪で若々しくとても格好の良い先生でした。前述のとおり厳しい一面もありましたが、それ以上に面倒見がよく、不登校のような不良も不思議と教室には通っておりました。私も文鎮を投げられたのは一度きりで、4年生くらいの時でしょうか、紙に落書きをしていたところ文鎮が飛んできて、紙を無駄にするなアホ！その紙一枚のために木が一本死ぬんや！とすごい剣幕で怒られたのを覚えています。当時としては恐怖でしか無かったため、それからは紙一枚一枚に真摯に取り組み、失敗しないようにする。失敗した紙の空いた部分にも、失敗した箇所を真っ黒になるまで練習し、そして最後は筆や硯の墨とりに使うようになりました。後から思い返せば、まず頭で成功の形をより具体的にイメージする、最初に渡される練習用紙で人より多く練習ができる、など上達に繋がる行いだったのだろうと思います。そしてなにより、当たり前にあるものにも際限があり、ものを大切にする。という人としての姿勢も学びました。私自身のものに対するはらいを、止めに正して下さったのでしょうか。あの時に怒られてよかったと思っています。

このようにして指導頂いたおかげで、私の書道の技術はメキメキと上達し、小学校高学年の時点で大人の段位クラスに昇格しておりました。会派内の雑誌でも月の優良作品として度々掲載され、井上先生や先生に師事するアシスタントの方々からも認めてもらったの

が嬉しかったのを覚えています。冒頭で紹介したような賞も頂くことができ、書道がどんどん好きになりました。最終的には大学進学で地方に出るために辞めてしまったのが心残りですが、それからこの書道の経験を生かして、大学祭の看板を書かせて貰ったり、社会人でも冠婚葬祭などでの一筆もなるべく筆を執るようしております。

私が思う書道の魅力として、やはりタイピングにはない味や思いを入れることが出来ることにあると思います。筆跡鑑定があるように、同じ文字を書いても千差万別です。だらしない人はやはり止めはねがルーズになりがちですし、自信がある人は余白目いっぱい使って大きく書きます。心情的な所でいえば怒っていれば自然と荒くなりますし、悲しい時は小さくなります。手書きの文字には書き手の性格や心情が無意識に現れるのです。そこで例えば、祝儀のたった一つの名前をとっても普段ルーズな友人が、しっかり止めはねをして書いてくれたら、別に教科書通りに綺麗な字でなくとも、改まってお祝いをしてくれてるんだなと感じませんか。書道では色んな書体や、過去の偉人の書を真似て練習します。主に漢詩が多いですが、よく先

生からも意味を知って書いているのかと問われていました。意味を知って書くことで細部の書き方、表現も変わってきます。ああこまでは勢いで墨継ぎ無しだな、ここの擦れはこういう気持ちだったんだな、と言うように。このような練習を通して字に込めることのできる気持ちの幅が広がって行くのです。私は書道は必ずしも綺麗な字である必要はないと思います。もちろんベースとして綺麗に書くこともできるように練習しますが、その止めはねの選択でどれだけ気持ちを表現できるか、読み取れるかが重要だと考えています。

電子化が進み手書きをする機会は少なくなりました。さらにリモート業務の推進もあり私もここ一年は特に字を書く機会が少なかったように思います。しかしこんな時だからこそ字を書くということに向き合ってみるのもいかがでしょうか。簡単なメモ書きでも構いません。ご家族ご友人の字を見て、性格や気持ちを想像してみたり、書き手側になって、心情を意識して書いてみるのもいいと思います。少しばかり、人の温かみを感じることが出来るのではないのでしょうか。書道の面白さも感じて頂けると思います。

— いうち だいき コベルコ建機㈱ 技術開発本部 —




 ずいそう

未来にはばたけ我らタック (社内合宿発表)

瀧川 信二



思い出してください。5年前、10年前、20年前の自分と会社。

想像してください。5年後、10年後、20年後の自分と会社。

1. 20年前の自分と会社

私は20年前、35歳で入社しました。前職で自分を知っている人から、「瀧川に下請けが務まるのか？」と心配されました。実際に当時、元請けから下請けに移ったものの、お客さんともめて辞めた人を何人も知っていました。

入社数年間は、年末のカレンダー配りが一番嫌な仕事でした。現場に着いたとたん、入り口で即、「はいはい、そこ置いといて」、これはかなりマシで、「何しに来たんや、いらんわ」の一言。なかなかのストレスでした。

ほんの数年で全国のシールド現場が240現場（1996年）から半分の120現場（2002年）に減りました。各社とも手持ちのプラントを少しでも償却するために、少ない仕事を叩き合いで取り合っていた頃です。新聞の受発注記事を見ながら、「いっそのこと工事が発注されなかったら楽なのに」と、思ったこともありました。

2006年4月、41歳、現状打破の意味合いも含め社長になりました。その矢先、心労から帯状疱疹になり、息をするのも苦しい期間が一年以上続きました。振り返ると国内発注工事が60現場まで減っている今よりずっとマシですが、つらい記憶ばかりです。なぜそんなに苦しい毎日だったのか。それは社内での信頼関係が存在しなかったからに他なりません。

2. 10年前の自分と会社

私の父親は世界で初めて2液型裏込め注入工法を発明し、これまでのシールド工事を画期的に進歩させました。しかし、そのわずか7年後、48歳で突然亡くなりました。私は父の没年齢に近づくにつれ悩みが膨らんでいきました。京セラ稲盛和夫氏を師とする盛和

塾に入塾したのはそんな時です。どんなノウハウを学べるのか期待とは裏腹に、「親孝行できない人は、会社のリーダーも経営者もつとまらない。」と諭されました。一番身近な人への恩を自覚し、恩に感謝し、恩に報いようとして初めて努力できる、と受け取り直しました。自分に最も足りないのが会社に対する感謝、K常務が書き留めてくれた歴史を社史として完成させ、合宿で共有しました。今の会社があるのは過去の成果、未来はこれからの努力。K常務のおかげで報恩への一歩を踏み出すことができました。入塾半年後の経営体験発表では、2つの課題を頂きました。1つ目が、今のようなトップダウンではあなたの会社はつぶれます。2つ目が、下請けから脱却しないとあなたの会社はつぶれます。そのためにどうすれば良いのか、非常に難しい課題でした。

3. 二つの課題の答え

一つ目の課題に対する答えは、9年前から始めたクレド（私たちの信条）と委員会活動（資質向上・行動規範・品質向上・ホウレンソウ）、6年前から始めた部門別管理です。社員全員が自分たちで考え実行する会社を目指しました。

二つ目の課題には相当悩みました。下請けを脱却するなんてタックが元請けになること？自問自答し続けました。そして見つけた答えが、京セラフィロソフィ（人間として何が正しいかに基づいた考え方・判断基準）の、「お客様第一主義を貫く」です。

「京セラは部品メーカーとして創業しましたが、当初から私たちは下請けの立場ではなく、自主独立の会社でした。自主独立の会社とは、お客様が望まれるような価値をもった製品を次々と生み出していくことです。ですからその分野においてはお客様より進んだ技術を持つ必要があります。進んだ技術で、納期・品質・価格・新製品開発等のすべてにわたってお客様の満足を得なければなりません。お客様のニーズに対して、今までの概念をくつがえして、徹底的にチャレンジしていくのです。お客様に喜んでいただけることは商いの基本であり、そうでなければ利益を上げ続け

ることはできません。」まさにこれでした。下請け会社からの脱却とは自主独立の会社であること、自主独立の会社とは全てにおいてお客様の満足を得る会社だと、5年前にようやく腑に落ちました。目指すのは、①お客様と約束した品質と納期を確実に守る会社、②お客様が望む商品を次々と生み出す会社、③自分たちの分野においてはお客様より進んだ技術を持つ会社、です。目標が定まって以来、清々しい気分で会社に行けるようになりました。

4. 5年前の自分と会社

お客様第一主義を貫くために、全社員に次のことをお願いしました。「タックは地盤とトンネルの狭間に充填する裏込め注入を提供していますが、それに加えてこれからは、人の心の隙間を埋める裏込めを提供して欲しい。」言い続けているうちに、クレドや委員会活動を当たり前に行動する社員が少しずつ増え、お客様から嬉しい言葉をいただくようになりました。タックの社員の多くが現場に寄り添い、相談相手になっているというのです。元請けと下請け、元請け同士、発注者と元請けなど、タックの社員がその人たちの心の隙間を埋める存在になってくれている。「思いは実現する」ことを実感した出来事でした。

5. 未来への3つのお願い

成長チャートに沿って技術力と人間力をアップしていくために、みんなに3つのお願いをします。

1つ目が、クレドを完全にルーティン化すること。ルーティンによって、全社員の目線が揃い、仲間への信頼も、お客様からの信頼もいっそう強くなります。

2つ目が、会社の中で、それぞれが誰にも負けないものをつくること。ルーティンが埋め込まれていけば余裕が生まれるので、集中して新しい技術を身につけることができます。どんな些細なことでも構いません。ちなみに私のことは「タッカーの技術バカ」と呼んでください。

3つ目は、仲間の誰が何を知っているかを知ること。私たちは人間的にも技術的にもデコボコ人間です。自分のデコを仲間と与え、ボコを分けてもらうのです。会議の場も大切です。会議の目的は問題解決する場に加え、誰が何を知っているかを知る場です。私たちの仲間は、お客様、同業他社、取引先、友人知人も含みます。例えば退職したP君とは、現在Executive Advisorとして、時間単位で契約し、つながり続けて

います。今後は働き方も変わり、副業ばかりか複業が進んでいくでしょう。多くの人とのつながりが一層重要になります。

6. 新商品、新事業

(1) 新商品

新商品、シンデレラ商品を自ら創るために、お願いをします。

それは、自分の知らないことを知ること。今私たちが生活に使っているモノはすべて、あったらいいなと思ったモノです。一番身近なヒントはお客様にあります。私たちの、「調子はいかがですか？何か困っていませんか？」の問いかけ、これに対するお客様の答えに、もっと真剣に耳を傾けてください。新商品は、「既存の知」と「既存の知」の新しい組み合わせに過ぎません。自分の知らない知を見つけ、それを今自分が持っている知と新しく組み合わせる。商売になるかと思えば、徹底的に深掘りしていく。例えば2液型の裏込め注入材料は、モルタルと水ガラスの比率を1:1から10:1に変えただけ。先端混合型注入管は、注入管にセグメント注入方法を組み合わせただけ。長くて実用できなかったミニパッカーは、短くするために生地をパラシュートからストックングに変えただけ、既存の知と既存の知を組み合わせただけのばかりです。昨日よりは今日、今日よりは明日、自分の知らないことを知ってください。幸せの半分は知識だという事実も知ってください。

(2) 新事業

昔からずっと思っているのは、シールド掘削を請け負うことです。その中で具体的に組み組みたいのが、人材派遣です。例えば1か月程度の初期掘進期間は現場に常駐し、裏込めや添加材の指導はもとより施工管理も担当させてもらい、徹底的にこの道を究める。様々な現場でお客様の苦労の本質を見極め、それをタックのノウハウとして蓄積する。4～5年間社内での学びを経て、現場に派遣する新しい部門を作りたい。また現在、資源推進循環事業で取り組んでいる浚渫土の有効利用は、豪雨災害防止にますます需要が高まると、岡山県からも期待されています。

7. タックの最終目標・使命

本日発表した成長チャートの決意表明として、「一人光る、皆光る、何もかも光る。タックの全社員は、

自分が今いる場所を精一杯光り輝かせ、会社を良くし、社会を良くします。」と決めました。2025年30億円企業、2032年100年企業、2035年40億円企業と成長し続けます。タックの誓いである「私たちの技術で人々の暮らしを守り豊かにする」を地球全体に広げます。現在SDG'sを聞かない日はありません。この貧困・経済・環境がキーワードの17の目標が私たちのルーティンになり、世界の課題を解決する会社になります。

ここで3年前に世界的消費財メーカーであるユニリーバのCEOが早稲田大学で講演した内容の一部を抜粋します。

「私は幸運にもオランダで生まれました。蛇口をひねるといつでもきれいな水を使うことができ、トイレもありました。食べるものにも困らず、教育も与えら

れました。私は宝くじに当たったのです。それは皆さんも同じです。このような生活を送ることができるのは、世界の人々のうち、たった2%だけです。そこで私から皆さんにシンプルなお願いがあります。宝くじに当たった以上、皆さんには残り98%のために尽くす使命があります。そうしなければ、世界はうまく回りません。世界のすべての人を貧困から救い出さない限り、私たちは使命を果たしたとはいえないのです。」これを聞くとやらずにはいられないですね。私たちの技術で人々の暮らしを守り豊かにしていく。これがタックの最終目標、使命です。以上で私の発表を終わります。

——たきがわ しんじ (株)タック 代表取締役社長——



ずいそう

70年以上前、私の田舎では、 電気自動車は既に実用化されていた

古川 恒雄

この原稿を書いている今、令和3年1月22日、テレビはどのチャンネルに回しても、「新型コロナ」のニュースと関連話題でテンコ盛り状態です。

これから10年後、あるいは30年後、現在の新型コロナが世界中を席卷し、猛威を振るっていた時代を、どんな感慨・感想を持って振り返るのでしょうか？

今現在を昔として、懐かしく顧みることが出来る時まで、私も生き延びたいものです。

しかし、新型コロナは、生物兵器として開発されたとの解説もあったし、拡散し続けている最中に、変異体も何種類か発生したようで、誠に不気味な病気ですね。今話題の、このコロナの事も書きたいことが沢山ありますが、この雑誌の機械分野に関係がある、70年昔の“電気を動力とするバス”についてお話しします。

今、「電気で走る車は、地球環境に優しい」と言う事で、世界各国が、電気自動車の開発に躍起となって競争しています。

しかしながら、私が未だ小学生の頃、今から70年ほど前ですが、蓄電池の電気で走る乗合いバスが、既にあの当時に供用され、私も利用していたことを、今もはっきり覚えています。

以下、九州のごく限られた地域の名前を、文中に出しますが、お許し頂きたい。

さて、その電気バスは、福岡県久留米市の西の端、今で言うJR、当時は国鉄の久留米駅のバスセンターから、久留米市の東の端、国分町の国立病院（今も存在していると思いますが）までの間の、約4～5キロほどの区間を、乗合いバスとして走っていました。この区間のバスは全て、この電気自動車のバスでした。

今思い返すと、当時、電力はかなり貴重なエネルギーで、そんな当時の事情からしても、何故、西日本鉄道株式会社は、この電気バスを運行できたのだろうか、不思議で仕方がないのです。と言うのも、戦後間もない当時の、昭和20年代の前半の頃は、国内の電力事情はかなり厳しかった筈だし、各個人の自宅では、送電がストップする停電なども頻繁に起きて困っていました。又、送電されていても電圧が何かの欠陥の為か、急に弱々しい電気に変化し、突然の暗さに戸惑うこと

もあったりして、小学生であった私は、電力の送電とはこんなものだと思っていました。

例えば、夕飯時に電球の明るさが、突然、弱く薄暗くなり、電球の中のフィラメントが線としてはっきり識別できる程に、ほの暗くなって、今にも消えそうになる事（当時、確かこの現象を「ローソク送電」とか言っていました）も、しばしば発生し、慌ててローソクや石油ランプを用意したものでした。停電しないだけでもメッケモンと言う時代だったと思います。このため我が家には、蝋燭の常備は勿論、石油ランプは確か2つはありました。石油ランプの火屋ガラスは、炎の煤によって曇るため、頻繁に掃除が必要で、その掃除は兄や姉の役割であったことも、今、思い出しました。ホヤガラスは貴重で、落としたら容易に壊れるので、もし割ったりしたら大変なことになるため、そんな掃除を幼い私などに、到底任せる訳はありません。

話は戻りますが、この電気バスは電池が切れると、当然動けなくなるため、気配を事前に察知してバスの運転手は、客を乗せての運行中でも充電の為に、西鉄が運営する充電工場に、バスを持ち込まねばなりませんでした。

その工場は当時、西鉄急行電車-久留米駅の、現在のバスセンターの位置にありました。ですから乗客としての私は、他の乗客と一緒に、バスに乗せられたまま、薄暗い工場へ入って連れて行かれ、バスが下腹に抱いている弱った蓄電池を、工場内で既に充電された蓄電池と、入れ換える作業を、私は何度も見ています。

バスが工場に入っていくと、工場内はいかにも重電気が大量に流れている雰囲気「ウォーン!!」と腹に響くような、独特の大きなの唸り音がしていたことを、今でも思い出します。

そして、工場内に電池交換のための、所定の位置にバスが停車すると、作業員が、大きさが畳一畳程で、厚さ20～30センチの、蓄電池が多数集積された塊の、確か2セットを、バスに下腹の弱った蓄電池と「ドーン！ドーン！」と大きな音を立てて、入れ替え作業をしていたことを、良く覚えています。

そのような仕組みですから、バスが営業運行中の途中で、万一、電池切れとなれば、バスは牽引車が来る

まで待つ外は、ありませんでした。その電池切れの非常事態になった場合、乗客は仕方なくバスを降りて、(私の記憶では)“運賃の払戻し無し”で、各自の目的地まで残りの区間を歩かざるを得ませんでした。

市内から我が家に帰るバスのルートは、バス停「一丁田」と「国分」を通るのですが、この2駅の区間は人家が無く、バス停間の距離が異常に長かったためか、この区間で、しばしばバスが電池切れを起こし、乗客は全員途中でバスを降ろされ、次のバスを待つか歩くのです。私も何度も歩いた記憶があります。

石油燃料で動くバスも存在していたと思いますが、久留米の他の運行ルートには、今は全く見ることはない、木炭を燃料にして走る木炭自動車のバスも、ありました。

木炭バスの運転手は、時々バスのエンジンの窯に木炭を投入する必要から、手先の軍手を真っ黒にしていたのを、憶えています。

なお当時、久留米市以外の地域で、この電気自動車のバスを見かけた記憶は、私には全くありません。

多分、電気バスは、西日本鉄道(株)全体では、当時の国鉄久留米駅と国立病院の間だけのみ、走っていたのではないかと推測します。と自信ありげに言うのも、私は佐賀県神埼郡の父の実家や、福岡県大川市の母の実家、その他、叔父や叔母の住んでる柳川市や、浮羽郡の吉井町などへ、両親に連れられて、比較的広範囲に亘り出かける機会がありましたが、他の地域で、電気バスを見かけた記憶は無いからです。

しかも、電気バスの車体の形には特徴があって、他

のバスと見分けし易かったので、上記の件については、かなりの自信があります。

電気バス以外の通常のバスの場合は、当時、運転席の前のエンジン部が収納されたボンネットが有り、出っ張っていますが、電気バスはモーターが構造的に小さく単純だった為か、出っ張ったボンネットの部分が無く、今現在の通常のバスの様に、運転席の前の部分はスラッと切り落とされた形をしていたので、電気バスか否かの区別は容易にできたから、断言できるのです。

今、疑問に思うのは、当時の電気バスが何故採用されたのか、また何故当時の技術は、その後の自動車を走らせる原動力として使われることなく、今の電気自動車開発競争時代まで待たねばならなかったのか等も、知りたいものです。この蓄電池で走る乗合バスは、私が幼かった昭和20年代から30年代前半まで走っていたと記憶していますが、もし西日本鉄道(株)の、当時の様子を知っておられる方が居られたら、その辺の事情を聞いてみたいと思ってます。

そして、あの時の電気バスは、開発競争をしている今現在の電気自動車と比べて、エンジンの原理や仕組みに、何か違いがあったのか？

当時の蓄電池(バッテリー)は、現在の開発中の製品と比較して、どのような違いがあるのか、是非、教えて欲しいものです。

以上長々、思い出話にお付き合い頂き有難うございました。

—ふるかわ つねお (株)イノアック住環境 技術顧問—

部 会 報 告

中部電力(株)「清内路(発)新設工事の内土木・建築本工事」見学会 報告

機械部会 トンネル機械技術委員会

1. はじめに

機械部会のトンネル機械技術委員会では、令和2年度現場見学会を2020年12月8日に小断面トンネル工事を施工している「清内路(発)新設工事の内土木・建築本工事」において実施しましたので本誌に紹介します。参加者は事務局を含め19名でした。

2. 見学会スケジュール：2020年12月8日(火)

12:00	中津川駅バス乗り場集合
12:05-13:00	貸切バスにて前田JV作業事務所まで移動
13:00-13:10	着替え
13:10-13:30	清内路(発)新設工事の事業概要説明 小断面トンネル工事概要の説明
13:30-15:00	バスにて現場へ移動し見学実施 ・坑口設備回り ・本坑にて切羽まで徒歩見学
15:15-15:45	質疑応答、着替え
16:00-	貸切バスにて中津川駅へ移動

3. 工事場所・概要

・工事名称	清内路(発)新設工事の内土木・建築本工事
・工事場所	長野県下伊那郡阿智村清内路
・工 期	2018年4月1日～2022年6月30日
・発 注 者	中部電力(株)
・施工業者	前田・西松・シーテック・吉川・木下 共同企業体
・工事概要	土木工事数量 小黒川えん堤工事 B=6.5m×L=15.25m×H=4.2m 小黒川取水口連絡水路工事 B=2.2m×L=18.9m 小黒川沈砂池工事 B=4.0m×L=16.8m 小黒川上口作業横坑工事 内空：B=2.3m×H=2.65m, L=48.1m

小黒川下口作業横坑工事

内空：B=2.3m×H=2.65m, L=35.1m

導水路トンネル上口工事

内空：B=2.4m×H=2.55m, L=2,751m

導水路トンネル下口工事

内空：B=2.4m×H=2.55m, L=2,396m

水槽工事 B=5.2m×L=17.0m

水圧管路工事

明かり部：L=705m 立坑部：H=51m

下部水平部：B=2.5～3.9m×H=2.4～3.4m,
L=141m

発電所基礎工事 内空：φ12.0m, H=26.2m

発電所敷地造成工事 A=1,163m²

放水路トンネル工事

内空：B=2.5m×H=2.4m, L=43m

放水口工事 B=3.0m×H=3.4m

建築工事数量

建物工事：発電所上屋：39.63m², サービス建屋：
68.72m²

電気設備工事 1式

空調・衛生設備工事 1式

4. 現場見学

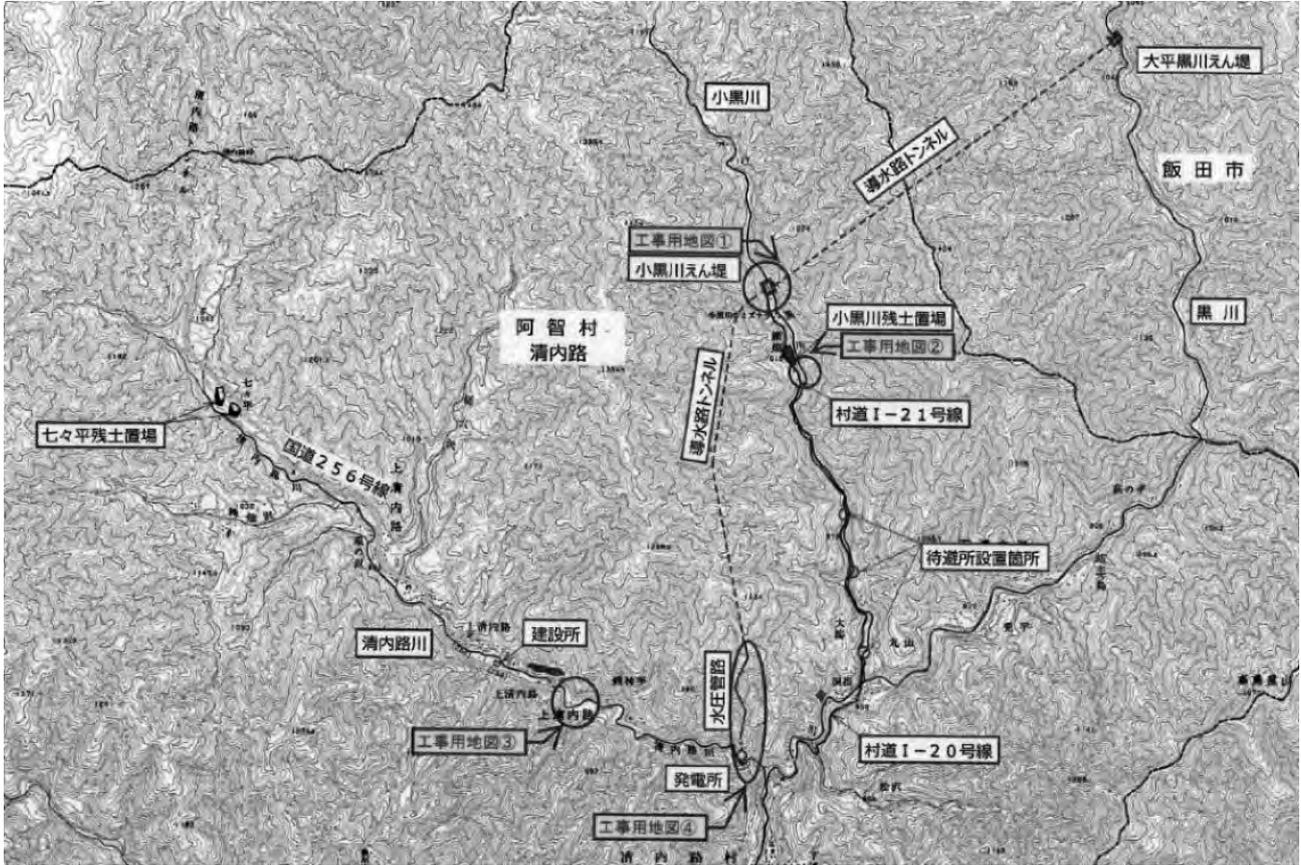
(1)「清内路(発)新設工事の内土木・建築本工事」の概要説明

天竜川水系小黒川の取水設備（大平黒川えん堤は別発注工事）と導水路トンネル、水圧管路、発電所および放水路トンネルを新設し、この間の有効落差273.12mを利用して最大出力5,600kWの発電所を建設するものです。

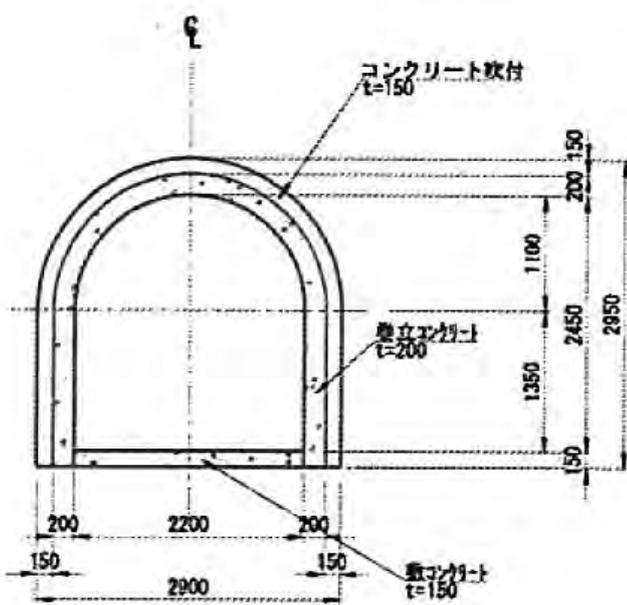
今回は、多くの工事内容の中から導水路トンネル工事をご紹介します。

- ・掘削工法：小断面レール工法
- ・掘削方法：発破掘削
- ・削孔編成：1ブームレールジャンボ+平台車+6tバッテリー機関車
- ・ずり出し編成：シャフロダ+シャトルカー+8tバッテリー機関車

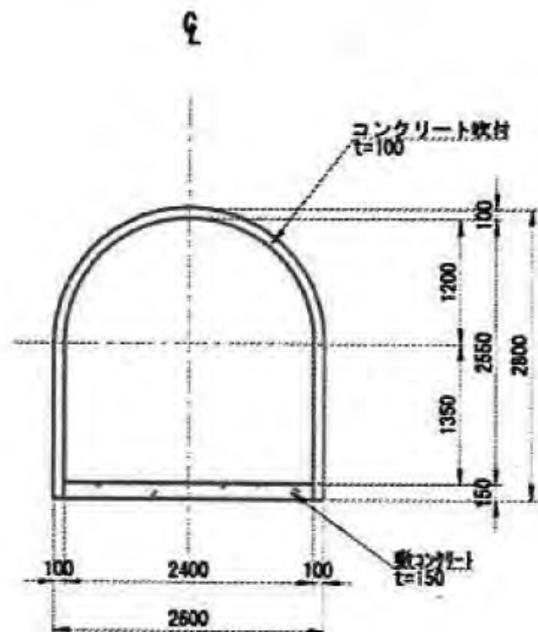
- ・吹付け編成：吹付ロボット一体型台車+材料運搬台車+6tバッテリー機関車
- ・全長：5,147 m（上口2,751 m，下口2,396 m）
- ・完成時のトンネル内空断面：幅2.4 m，高さ2.55 m
- ・2020年12月8日現在掘削延長：上口：2,471 m（進捗率89.8%）
- ・2020年12月8日現在掘削延長：下口：2,256 m（進捗率95.2%）



図一 清内路水力発電所概要図



図二 トンネル断面図（坑口）



図三 トンネル断面図（CH級岩盤）



写真一 事業説明状況



写真三 上口・下口両坑口全景

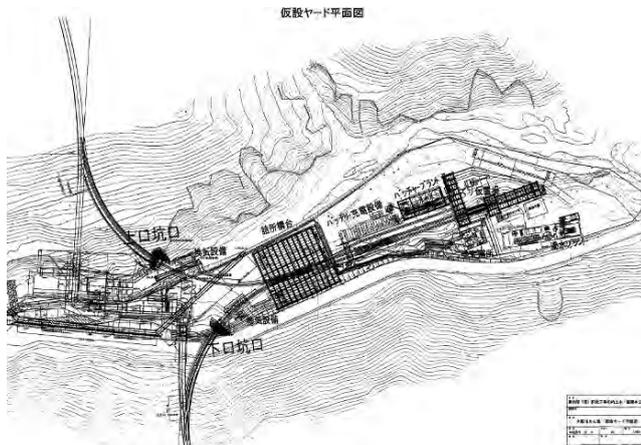
(2) 導水路トンネルヤード見学

詰所構台で、概要等の説明を受けたのち、前田JVの小倉機電課長様はじめ現場の皆様のご案内で現場見学を行いました。見学は坑外設備をはじめ、本坑を通過して切羽まで徒歩で行いました。

坑口周りでは、狭いスペースを有効利用するための工夫が多くなされていました。



写真四 郊外レール部



図一 導水路トンネルヤード平面図



写真五 門型クレーン・充電ヤード・バッチャープラント



写真二 詰所構台説明状況



写真六 受電設備

(3) 導水路トンネル見学

導水路トンネル工事は、小黒川えん堤を起点とし、上口・下口へそれぞれ掘削中です。

坑内は、湧水量も多く(100 t/h)、水処理にも工夫がなされ、切羽より300 mまでを濁水処理、以降は清水処理を行う清濁分離方式を採用されていました。

坑内設備は、小断面トンネルの掘削であることから特殊専用機械が多く採用され、また、機械高さが問題となることから高さを低くする改造等を施しているとのことです。

岩質は花崗岩で発破にて掘削しており、施工サイクルは、削孔1 h+ずり出し1.5 h+吹付・支保工1.5 h=計4 h/サイクル(進行:6 m/日(昼夜)最大進行130 m/月)。

現場でご苦労されている点は、湧水が多いことから湿気トラブルが多いこと。

また、小断面トンネルの特殊専用機械が少ないこと

から老朽化が進み、メンテコストが多くかかってしまっているそうです。

今後の小断面トンネル掘削では、特殊専用機械の調達が課題となることを感じました。



写真一〇 レール式ドリルジャンボ



写真一七 坑口部



写真一〇 吹付ロボット台車



写真一八 坑内標準断面



写真一一 シャフローダ



写真—12 坑内離合場所



写真—14 記念写真

※参考：岩級区分：CL (～1.0 km/s), CM (1.0～3.0 km/s), CH (3.0 km/s～) () 内は弾性波速度



写真—13 切羽状況

謝 辞

最後に、見学に際して快諾をいただきました中部電力(株)様、大変お忙しい中、今回の現場見学のご説明、ご案内をしていただきました前田JVの現場の皆様、また今回の準備、現場との調整役をしていただいた前田建設工業(株)篠原委員、坂下委員には厚く御礼申し上げます。

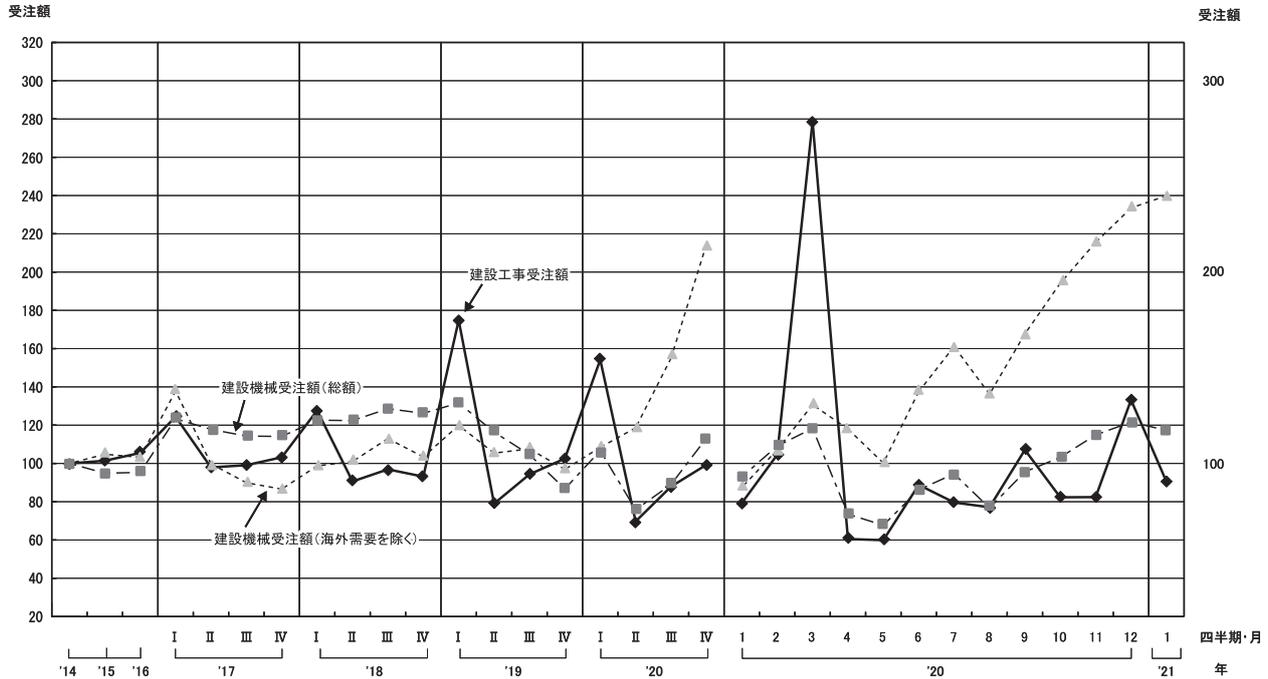
JCMMA

[筆者紹介]

近藤 康徳 (こんどう やすのり)
 カヤバシステムマシナリー(株)
 営業統轄部 装置営業部
 専任課長,
 (一社)日本建設機械施工協会
 機械部会 トンネル機械技術委員会
 委員

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 2014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 2014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							
2014年	139,286	80,477	16,175	64,302	43,103	4,822	10,887	86,537	52,748	138,286	125,978
2015年	141,240	96,068	19,836	76,235	35,633	4,993	4,546	95,959	45,281	141,461	141,136
2016年	146,991	99,541	17,618	81,923	38,894	5,247	3,309	98,626	48,366	151,269	134,037
2017年	147,828	101,211	20,519	80,690	36,650	5,183	4,787	99,312	48,514	165,446	137,220
2018年	142,169	100,716	24,513	76,207	30,632	8,561	5,799	95,252	46,914	166,043	141,691
2019年	156,917	114,317	24,063	90,253	29,957	5,319	7,308	109,091	47,829	171,724	150,510
2020年	143,170	97,457	19,848	77,610	35,447	5,225	4,175	91,725	51,443	171,740	14,287
2020年 1月	9,201	5,889	859	5,030	2,331	363	617	5,443	3,758	171,126	9,299
2月	12,135	8,202	1,743	6,459	3,075	423	436	7,563	4,572	171,571	12,006
3月	32,354	22,796	3,515	19,282	6,807	506	2,244	20,538	11,816	179,841	22,488
4月	7,023	4,434	941	3,493	1,993	542	54	4,437	2,585	177,186	8,282
5月	6,956	4,877	1,404	3,473	1,641	352	85	4,675	2,281	174,405	9,289
6月	10,306	6,725	1,114	5,612	2,971	453	157	5,651	4,655	172,281	12,579
7月	9,241	5,870	1,622	4,248	2,674	449	248	5,703	3,538	172,468	9,311
8月	8,945	6,618	1,032	5,586	1,878	382	66	5,914	3,031	171,851	10,264
9月	12,429	8,684	2,148	6,536	3,235	416	95	8,327	4,102	171,010	13,923
10月	9,550	6,408	1,298	5,109	2,756	395	-872	6,500	3,050	171,551	8,961
11月	9,564	6,486	1,782	4,704	1,895	418	764	6,111	3,452	170,235	10,572
12月	15,466	10,468	2,390	8,078	4,191	526	281	10,863	4,603	171,740	14,287
2021年 1月	10,502	6,174	1,004	5,171	3,886	337	105	5,667	4,835	-	-

建設機械受注実績

(単位：億円)

年 月	14年	15年	16年	17年	18年	19年	20年	20年 1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	21年 1月
総 額	18,346	17,416	17,478	21,535	22,923	20,151	17,646	1,420	1,668	1,808	1,124	1,035	1,318	1,446	1,173	1,462	1,577	1,756	1,859	1,793
海 外 需 要	11,949	10,712	10,875	14,912	16,267	13,277	10,966	954	1,097	1,111	629	534	733	859	726	894	1,035	1,149	1,245	1,279
海外需要を除く	6,397	6,704	6,603	6,623	6,656	6,874	6,680	466	571	697	495	501	585	587	447	568	542	607	614	514

(注) 2014～2016年は年平均で、2016～2019年は四半期ごとの平均値で図示した。
 2020年1月以降は月ごとの値を図示した。

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

行事一覽

(2021年2月1日～28日)

機械部会



■トンネル機械技術委員会・幹事会

月日：2月8日(月)(会議室, web 並行開催)

出席者：橋伸一委員長ほか8名

議題：①小断面トンネル工事における機械、設備調査について：調査結果のまとめ状況とスケジュールの確認
②令和3年度活動計画について ③日本建設機械要覧(2022)編集作業について

■ショベル技術委員会

月日：2月16日(火)(web 会議で開催)

出席者：西田利明委員長ほか8名

議題：①次期燃費基準の件：2/1 開催された作業燃費検討WGでの審議内容の共有 ②「革新的建設機械の導入に向けて」について国交省担当者からの説明と意見交換 ③R3年度活動計画について ④JIS改正の件 ⑤日本建設機械要覧(2022)編集作業について

■コンクリート機械技術委員会

月日：2月17日(水)(web 会議で開催)

出席者：清水弘之委員長ほか11名

議題：①前回の議事録確認 ②R2年度活動報告とR3年度活動計画に関する討議 ③日本建設機械便覧2022年版の編集作業について

■ダンプトラック技術委員会

月日：2月18日(木)(web 会議で開催)

出席者：渡辺浩行委員長ほか6名

議題：①各社トピックス：キャタピラー・ジャパン(同) ダンプトラック用新設計キャブの概要紹介 ②安全装置/システム 輪講：日立建機(株) 航空機の安全装置・装備について：衝突回避システム等の紹介 ③R3年度活動計画について ④JIS改正の件 ⑤日本建設機械要覧(2022)編集作業について

■機械整備技術委員会

月日：2月19日(金)

出席者：小室豊委員長ほか8名(web 会議で開催)

議題：①整備作業の法規制、規格に関

する調査について ②各社の近況報告、およびサービスマンの技術伝承取組についての意見交換 ③R3年度活動計画について ④JIS改正の件 ⑤日本建設機械要覧(2022)編集作業について

■トラクタ技術委員会

月日：2月26日(金)

出席者：椎名徹委員長ほか8名(web 会議で開催)

議題：①次期燃費基準の件：2/1 開催された作業燃費検討WGでの審議内容の共有 ②「革新的建設機械の導入に向けて」について国交省担当者からの説明と意見交換 ③建設機械の燃料消費試験方法国際標準化の検討状況に関する報告 ④R3年度活動計画について ⑤各社トピックス：コマツ 新型ブルドーザの商品紹介 ⑥JIS改正の件 ⑦日本建設機械要覧(2022)編集作業について

標準部会



■ISO/TC 127/SC 3/JWG 11 ISO 12509 灯火類改正 国際バーチャルWG 会議

月日：2月2日(火)夜

出席者：片桐顕(日立建機)委員ほか15名(Web参加)

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：①CD投票結果の審議(続き) ②今後のWeb会議日程(2月16日, 3月4日)

■ISO/TC 127/SC 3/JWG 5 ISO/TS 15143 施工現場地形データ作業結果特設チーム 会合

月日：2月2日(火)

出席者：日本からは正田明平委員(コマツ)ほか1名

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：作業結果データに関するAPIについて

■ISO/TC 195/SC 1/WG 8 (コンクリート機械-施工現場情報交換) 専門家会合

月日：2月8日(月)

出席者：川上晃一(日工(株))ほか8名(Web参加)

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：①中国提案PWI 5342対応協議 ②今後の対応・次回開催日程

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

月日：2月8日(月)夜～10日(水)夜の3日間

出席者：小倉公彦(JCMA 標準部)ほか16名(Web参加)

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：①ISO/DIS 20500-1 コメント審議(続き) ②今後のWeb会議日程：3時間/日×3日間×3回(3月8～10日, 4月26～28日, 5月25～27日)

■ISO/TC 127/SC 2/JWG 28-ISO 21815 (衝突警報及び回避) 規格群

月日：2月9日(火), 10日(水), 12日(金), 16日(火)～19日(金)

出席者：岡ゆかりコンビナー(コマツ)ほか日本からは8名

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：①ISO/WD 21815-3(土工機械—衝突警報及び回避—第3部：一般的リスク範囲及び程度) ②ISO/PWI 21815-4(第4部：履帯動作及び旋回/回転動作のリスク範囲及び程度) ③ISO/PWI 21815-5(第5部：その他の機械動作のリスク範囲及び程度)

■ISO/TC 127/SC 3/JWG 5 ISO/TS 15143 施工現場地形データ作業結果特設チーム 会合

月日：2月16日(火)

出席者：日本からは正田明平委員(コマツ)

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：①作業結果データに関して説明 ②未決着の案件について論議

■ISO/TC 127/SC 3/JWG 11 ISO 12509 灯火類改正 国際バーチャルWG 会議

月日：2月16日(火)夜

出席者：片桐顕(日立建機)委員ほか12名(Web参加)

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：①CD投票結果の審議(続き) ②今後のWeb会議日程(3月4日, 4月6日)

■ISO/TC 127/SC 2/JWG 24-ISO/TS 19014-5 土工機械—機能安全—第5部：パフォーマンスレベルの表

月日：2月16日(火)～18日(木), 23日(火), 24日(水)

出席者：日本からは田中昌也委員(コマツ)ほか7名

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：第5部：パフォーマンスレベルの表におけるDTS投票時意見対応検討・不一致点解決

■ISO/TC 127/SC 3/JWG 5 ISO/TS 15143 施工現場地形データサーバー間交信特設チーム 会合

月日：2月17日(水)

出席者：日本からは2名

場所：Web上(ISO Zoom)

議題：ISO/TS 15143-4におけるサーバー間交信の規約について検討

■ ISO/TC 195/SC 1 (コンクリート機械)

委員会

月 日：2月17日(水)

出席者：川上晃一(日工株)ほか10名
(Web参加)

場 所：Web上 (ISO Zoom)

議 題：①SC 1/WG 4 NP 19711-2トラックミキサー-安全要求 NWIP 投票状況
②SC 1/WG 8 PWI 5342「コンクリート機械-施工現場情報交換」専門家合報告
③ISO 18651-1 コンクリート内部振動機 中国問い合わせ対応 報告
④SC 1/WG 9 PWI 6085「セルフローディングモバイルコンクリートミキサー」対応協議
⑤SC 1/WG 7 DIS 18650-1 FDIS 投票準備状況
⑥SC 1/WG 6 ISO 21573-2 改正版 発行完了報告
⑦SC 1/WG 5 PWI 19720-2 削除報告
⑧SC 1 定期見直し投票結果報告 (SC 1/WG 2 SR 13105-1, 2含む)
⑨令和2年度下期 標準部会 標準化会議
⑩今後の対応、宿題事項、目標期限等
⑪次回開催日程

■ ISO/TC 127 土工機械委員会 国内総会

月 日：2月18日(木)

出席者：間宮崇幸(コマツ) TC 127 委員長ほか24名 (Web参加)

場 所：Web上 (ISO Zoom)

議 題：①TC 127 親委員会活動状況報告
②SC 1～SC 4分科会活動計画及び進捗状況報告
③IEC/TC 105/JWG6 移動体推進用燃料電池分科会報告
④投票案件
⑤SC 4分科委員長交代

■ ISO/TC 127/SC 3/WG 5 ISO/TS 15143

施工現場地形データ編集会議

月 日：2月19日(金)

出席者：日本からは正田明平委員(コマツ)ほか2名

場 所：Web上 (ISO Zoom)

議 題：①ISO/TS 15143-4の枠組み
②各特設チーム作成技術的内容のISO様式化
③(データ交換の)システムに関する記述の扱い検討

■ ISO/TC 127/SC 3/WG 5 ISO/TS 15143

施工現場地形データ技術内容整合会議

月 日：2月24日(水)、26日(金)

出席者：日本からは山本茂委員(コマツ)ほか3名

場 所：Web上 (ISO Zoom)

議 題：ISO/TS 15143-4 案文作成のための技術内容調整

製造業部会



■製造業部会 作業燃費検討 WG

月 日：2月1日(月)(会議室, web)

並行開催)

出席者：阿部里視主査ほか22名

議 題：燃費基準達成認定制度に関して、次期燃費基準値案とホイールクレーンの燃費基準値対象区分の拡大改定案等について
国交省からの説明：①次期燃費基準値案について
②ホイールクレーンの燃費基準値対象区分の拡大等について
③今後のスケジュールについて
④JCMASに基づく「エネルギー消費量試験方法」のISO化の動向について
⑤革新的建設機械の導入について
⑥意見交換

各種委員会等



■機関誌編集委員会

月 日：2月3日(水)

出席者：見波潔委員長ほか23名

議 題：①令和3年5月号(第855号)計画の審議・検討
②令和3年6月号(第856号)素案の審議・検討
③令和3年7月号(第857号)編集方針の審議・検討
④令和3年2月号～令和3年4月号(第852～854号)進捗状況報告・確認 ※通常委員会及びZoomにて実施

支部行事一覧

北海道支部



■ICT活用施工連絡会事務局打合せ

月 日：2月3日(水)

場 所：札幌第1合同庁舎 地下1階北側会議室

出席者：石塚芳文事務局長ほか11名

議 題：①ICT活用施工連絡会の開催について
②令和2年度活動報告
③令和3年度活動計画
④令和3年度事務局体制について
⑤その他

■除雪機械技術講習会テキスト編集委員会

月 日：2月8日(月)

場 所：北海道経済センター 8階Bホール

出席者：服部健作技術部会長ほか17名

議 題：①令和3年度向けテキスト改定内容について
②テキスト改定スケジュールについて
③その他

東北支部



■地元工業高等学校 特別授業への講師派遣

宮城県石巻工業高等学校

月 日：2月9日(火)

場 所：宮城県石巻工業高等学校 施工実習室・グラウンド

受講生：土木システム科2年生39名

講 師：情報化施工技术委員会会員(株)ダイワ技術サービス、西尾レントオール(株)

内 容：測量技術講習 (TS 出来形/TS 自動追尾及び自動視準/GNSS 逆打ち/ドローン体験操縦)

■普通科教員対象の進路指導を目的とした建設業業務の見学依頼への対応

月 日：2月18日(木)

場 所：(株)佐藤工務店 整備工場内

出席者：宮城県黒川高等学校 柳瀬克紀 教頭先生ほか5名

説明者：情報化施工技术委員会 委員大和田弘光(佐藤工務店工務部長)ほか4名

内 容：①建設業務について
②ICT施工について
③若手や女子社員の従事職務内容について

北陸支部



■令和2年度 部会長会議

月 日：2月3日(水)

場 所：北陸支部 事務室

出席者：穂苅正昭企画部長ほか4名

議 題：①令和3年度事業計画について
②令和3年7月版「建設機械施工」ずいそう執筆者について
③令和3年2月から総会時までの予定

■令和2年度 広報委員会

月 日：2月24日(水)

場 所：興和ビル 10F 小会議室

出席者：宮村兵衛広報委員長ほか7名

議 題：①機関誌「あかしゃ通信 No.39」の掲載記事について
②No.39の編集及び発刊までのスケジュールについて

■第3回除雪機械整備技術検討会

月 日：2月26日(金)

場 所：興和ビル 10F 大会議室

出席者：水澤和久技術検討委員長ほか14名

議 題：①技術検討会とりまとめ案について
②除雪機械メーカーのアンケート結果について
③整備業者のアンケート結果について
④除雪機械整備の検討課題

関西支部



■建設用電気設備特別専門委員会(第464回)

月 日：2月17日(水)

場 所：中央電気倶楽部 会議室

議 題：①「JEM-TR121 建設工事用電

機設備機器点検保守のチェックリスト」見直し検討 ②委員会活動報告について ③その他

中国支部

■第2回開発普及部会

月 日：2月17日（水）

場 所：書面会議

出席者：松本治男部会長ほか13名

議 題：①令和2年度開発普及部会取り組み状況詳細 ②幹事各位から頂いた意見及び対応方針 ③来年度の取り組みについて ④その他懸案事項

■第3回部会長会議

月 日：2月26日（金）

場 所：広島YMCA会議室

出席者：塩形幸雄企画部会長ほか9名
議 題：①令和2年度事業活動状況及び令和3年度事業活動計画（案）について ②運営委員会（3月期・春季）及び通常総会の開催について ③その他懸案事項

四国支部

■協賛事業「四国建設広報協議会」WG

月 日：2月3日（水）

場 所：Web会議

出席者：協議会を構成する27の団体・組織のうち22団体・組織から24名が参加。JCMA四国支部からは事務局長が参加

内 容：①令和3年度協議会役員（案）

について ②令和2年度収支報告 ③建設フェア（建設フェア四国2021 in 徳島）について ④次回建設フェアについて ⑤その他

九州支部

■企画委員会

月 日：2月24日（水）

場 所：メールによる書面会議

出席者：原尻克己企画委員長ほか19名

議 題：①本部理事会提出資料について ②災害協定の見直しについて ③第3回運営委員会開催について ④第3回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その他



編集後記

ちょうど1年前の今頃にも、本誌の担当の編集後記を作成していました。当時は、新型コロナウイルスの感染が拡大し、小中高校の臨時休校や大規模イベントの中止、無観客試合、一部地域への渡航禁止などの措置がなされ、さらに、東京オリンピック・パラリンピックの開催も危ぶまれる状況でした。あれから一年、さまざまな感染防止対策が継続されていますが、依然として出口の見えない状況が続いています。1年後には「人類はコロナを克服する知恵と手段を実践し、新たな日常を手に入れた」と言えるようになっていないのでしょうか。

さて、4月号は、「インフラ点検・検査・管理システム」がテーマです。コロナ禍においても、建設業界においては、目立った工事の停滞は無いように思われますが、インフラの維持管理についても、粛々と進めて行く必要があります。本号では、最新の取り組み、技術について紹介いたします。

巻頭言は京都大学名誉教授 大西有三先生より「建設施工のDXへの点検・検査・管理システムのあり方についての考察」と題し、建築、土木、インフラ分野に普及しつつあるIT化、デジタル化について、データ利用の「一気通貫」、業界内での

データを蓄積する共通システムの必要性などの提言を頂きました。

個々の報文については、施工分野を橋梁、道路・路面、外壁、トンネル、水路など、幅広い分野を検討しました。点検・検査・管理システムに適用される技術には、ドローンの活用やICT技術が多く含まれています。一方、日常はあまり目にしませんが重要なインフラである下水道・水路の管理技術の紹介があり、バルーンを活用するなど、非常に興味深く思われました。また、実際のインフラメンテナンス工事の、工事管理システムと、橋梁・高速道路の床版取り換え・リニューアルに関するものを加えました。

交流のひろばは、「空飛ぶクルマ」の記事に目を引かれ、Sky Driveさんにお願しました。現実からの飛び幅が大きすぎて、実現には程遠いと思っておりましたが、物流ドローンから発想すれば、建設現場への適用拡大の可能性はあり、「空飛ぶクルマ」もそれほど遠くないのかもしれないとの印象を受け、建設業界だけではなく、未来に対する視野が広がりました。

最後になりましたが、コロナ禍の自粛生活の中、短期での寄稿依頼にも拘らず、快くご寄稿いただきました執筆者や関係者の皆様に、心から御礼申し上げます。

(上田・新井)

5月号「建設施工における事故防止、安全対策特集」予告

・関東地方整備局における工事事故防止「重点的安全対策」・建設現場の安全対策に向けた取組
・道路建設機械における安全への取り組み・工事用機械遠隔監視システム[℃](ドシー)を活用した故障予防保全活動の取り組み
・砂防工事におけるICT活用で労働災害ミス防止、過重判定装置ロードライト・遠赤外線カメラとAIを用いた人物検知システムの開発
・セントラル自動セットシステムを開発・現場導入
・多機能機械「マルチジャンボ」の開発
・コンクリート内部の健全性の診断・リモートスカイドリル(無線式パウホードリル)・安全強化型ミニクローラークレーンの紹介
・小断面トンネル機械の遠隔操作における距離計カメラの導入
・自動運転ダンプトラック実証
・穿孔作業の集中管理システムを現場に適用

【年間定期購読ご希望の方】

- ①書店でのお申し込みが可能です。お近くの書店へお問い合わせください。
②協会本部へのお申し込みは「年間定期購読申込書」に必要事項をご記入のうえFAXをお送りください。

詳しくはHPをご覧ください。

年間定期購読料(12冊) 9,408円(税・送料込)

機関誌編集委員会

編集顧問

今岡 亮司	加納研之助
後藤 勇	佐野 正道
新開 節治	関 克己
高田 邦彦	田中 康之
田中 康順	中岡 智信
渡邊 和夫	

編集委員長

見波 潔 村本建設(株)

編集委員

菊田 一行	国土交通省
大森 茂樹	農林水産省
瀧本 順治	(独)鉄道・運輸機構
岡本 直樹	(一社)日本機械土工協会
穴井 秀和	鹿島建設(株)
赤坂 茂	大成建設(株)
宇野 昌利	清水建設(株)
佐藤 誠治	(株)大林組
内藤 陽	(株)竹中工務店
宮川 克己	(株)熊谷組
松本 清志	(株)奥村組
京免 継彦	佐藤工業(株)
竹田 茂嗣	鉄建建設(株)
副島 幸也	(株)安藤・間
松澤 享	五洋建設(株)
飯田 宏	東亜建設工業(株)
佐藤 裕	日本国土開発(株)
斉藤 徹	(株)NIPPO
中川 明	コマツ
山本 茂太	キャタピラー・ジャパン
花川 和吉	日立建機(株)
上田 哲司	コベルコ建機(株)
石倉 武久	住友建機(株)
新井 雅利	(株)加藤製作所
小六 陽一	古河ロックドリル(株)
太田 正志	施工技術総合研究所

事務局

(一社)日本建設機械施工協会

建設機械施工

第73巻第4号(2021年4月号)(通巻854号)

Vol.73 No.4 April 2021

2021(令和3)年4月20日印刷

2021(令和3)年4月25日発行(毎月1回25日発行)

編集兼発行人 田崎 忠行

印刷所 日本印刷株式会社

発行所 本部 一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番8号 機械振興会館内

電話(03)3433-1501; Fax(03)3432-0289; <http://www.jcmanet.or.jp/>

施工技術総合研究所	〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154	電話(0545)35-0212
北海道支	〒060-0003 札幌市中央区北三条西2-8	電話(011)231-4428
東北支	〒980-0014 仙台市青葉区本町3-4-18	電話(022)222-3915
北陸支	〒950-0965 新潟市中央区新光町6-1	電話(025)280-0128
中部支	〒460-0002 名古屋市中区丸の内3-17-10	電話(052)962-2394
関西支	〒540-0012 大阪市中央区谷町2-7-4	電話(06)6941-8845
中国支	〒730-0013 広島市中区八丁堀12-22	電話(082)221-6841
四国支	〒760-0066 高松市福岡町3-11-22	電話(087)821-8074
九州支	〒812-0013 福岡市博多区博多駅東2-4-30	電話(092)436-3322

本誌上への
の広告は



有限会社 サンタナ アートワークスまでお申し込み、お問い合わせ下さい。

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-21-5 井手口ビル4F TEL: 03-3664-0118 FAX: 03-3664-0138

E-mail: san-mich@zam.att.ne.jp 担当: 田中

FA機器の 最適無線化提案

クレーン、搬送台車、建設機械、特殊車輛他
産業機械用無線操縦装置

①微弱電波 ②429MHz帯特定小電力 ③1.2GHz帯特定小電力
④315MHz帯特定小電力 ⑤920MHz帯特定小電力

スリム ケーブルレス

N/U/Gシリーズ
微弱電波・特定小電力両モデル対応

**No.1の
オーダー対応!**

- 優れた耐塵・防雨性能
- 選べる2段階押しスイッチ!
ストロークの異なる2種類
から選択可能!



8操作
標準型
RC-5808N
15万円~

12操作
標準型
RC-5812N
17万円~

16操作
標準型
RC-5816N
19.5万円~

※ボタン配置自在

タフ 頑強ケーブルレス

N/U/Gシリーズ
微弱電波・
特定小電力両モデル対応

**タフな現場に!
落下にタフ、
水にタフ!**

- 堅牢なボディ!
- 特殊スイッチ装着可能

標準型
RC-8616N
22万円~



チップ ケーブルレス

N/Mシリーズ
微弱電波・特定小電力両モデル対応

**使えば分かる、
コストパフォーマンス!**

- トコトン機能を絞って
コストダウン!
- 乾電池仕様
- 優れた耐塵・防雨性能



8操作
標準型
RC-3208N
12万円~

5操作
標準型
RC-3205M
11万円~

12操作型
標準型
RC-3212M
14万円~

マイコン ケーブルレス

N/U/Gシリーズ
微弱電波・
特定小電力両モデル対応

**あらゆる環境での
無線化に対応!**

- 16操作16リレー
最大25リレーまで対応可能

標準型
RC-6016N
20万円~



ケーブルレスミニ

Nシリーズ
微弱電波モデル対応

標準型
RC-4403N
10万円~

**ポケットサイズの
本格派!**

- 最大5リレーまで対応可
- 2段階押しスイッチ追加可能
(オプション)



防爆形無線機 ボーパー (BoBa)

Nシリーズ
7B/8B...微弱電波モデル対応

**爆発の雰囲気がある
危険場所での
遠隔操作に!**



TX-8B00N型送信機例
(ボーパー8000)

危険場所設置用(オプション対応)
耐圧防爆箱入り受信機



TX-7B00N型送信機例
(ボーパー7000)

双方向データケーブルレス100S

Sシリーズ(920MHz帯)
特定小電力モデル対応

標準型
TC-1000808S
26万円~

- ・FA機器の制御に特化!
- ・双方向制御が、1セットで対応可能
- ・8点の送受信が可能!



データケーブルレス

N/U/Gシリーズ
微弱電波・
特定小電力両モデル対応

**工夫次第で
用途は無限!**

- 機器間の信号伝送に!
- 多芯の有線配線の代わりに!



▼受信機



MAXサテラ

U/Gシリーズ
特定小電力専用モデル

**金属シャーシの
多操作・
特注仕様専用機!**



マイティサテラ

N/U/Gシリーズ
微弱電波・
特定小電力両モデル対応

- 操作信号数
最大32点

**特殊スイッチ、
ジョイスティック
装着可能!**



全押しボタン例

3ノッチ
ジョイスティック型例
コマンドスイッチ例

リソナー 離操作

N/U/Gシリーズ
微弱電波・特定小電力両モデル対応

標準型
RC-2512N
22万円~

- 最大32リレー
- 2段階押し
特殊スイッチ装着可

**価格もサイズも
ハンディー並み!**



* 価格は全て、セット価格および、税抜表示となっています。



朝日音響株式会社

〒771-1311 徳島県板野郡上板町引野字東原43-1 (本社工場) FAX.088-694-5544 TEL.088-694-2411
http://www.asahionkyo.co.jp/



無線化工事のことならフルライン、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

ダム工専用コンクリート運搬テルハ(クライミング機能付)

重力式コンクリートダム等の新しいコンクリート運搬装置

コスト・安全・環境に配慮した最適な施工が行えます。

- 特長**
- コストパフォーマンスに優れる。
機械重量が比較的軽量で、構造がシンプルな為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>

印刷を核とした「総合サービス企業」です。

大会等の開催運営でお困りになられているお客様に対し、
当社では、資料、要旨、フライヤー等の印刷物だけではなく、
『ライブ・オンデマンド配信』、『会員限定の動画ポータル
サイトの設営』さらには、Zoom等「ハイブリット配信」、
「フルリモート配信」の運営サポートも行っております。



NPC 日本印刷株式会社

営業部 / 〒170-0013
東京都豊島区東池袋4-41-24 東池袋センタービル
電話03(5911)8660(代) <https://www.npc-tyo.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

コスモECOディーゼル

DH-2 対応ディーゼルエンジンオイル
SAE10W-30 / SAE15W-40

それはいつまでも
青い空のために



DH-2F 対応ディーゼルエンジンオイル
SAE5W-30



新星



彗星



快星

美しい地球、豊かな環境を目指して
ひた走るパワー、コスモルブ・ウェイ

コスモ石油ルブリカンツの 環境対応潤滑油



省電力型油圧作動油
コスモスーパーエポック **UF**



省電力型工業用ギヤー油
コスモECOギヤー **EPS**

それはいつまでも
蒼い地球のために

地球環境へ、

さらに新しい対応を求められている今、オイルもまた、次の課題をクリアする進化が問われます。
コスモルブは、地球に、人に、優しい環境LUBEソリューションを提案してまいります。

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	北関東営業所 TEL:0276-74-6452	中国営業所 TEL:082-875-8561	沖縄出張所 TEL:080-1013-9328
札幌営業所 TEL:011-892-6920	長野出張所 TEL:080-1013-9542	四国出張所 TEL:087-868-5111	
仙台営業所 TEL:022-238-1521	中部営業所 TEL:052-504-3434	九州営業所 TEL:092-431-5523	
新潟出張所 TEL:090-4066-0661	金沢出張所 TEL:080-1013-9538	南九州出張所 TEL:080-1013-9547	

確かな技術で世界を結ぶ *Attachment Specialists*

可動式ハイキャブ



任意の高さに停止可能

油圧式マグネット



産廃物からの金属片取り出しなどに効果を発揮

自動車解体機



車の解体・分別作業を大幅にスピードアップ

ラバウンティシア サーベルシリーズ



船舶・プラント・鉄骨物解体に威力を発揮

マテリアルハンドラ



ワイドな作業範囲で効果の良い荷役作業

ウッドシア



丸太や抜根を楽々切断



マルマテクニカ株式会社

■ 名古屋事業所

愛知県小牧市小針2-18 〒485-0037
電話 0568(77)3312
FAX 0568(77)3719

■ 本社・相模原事業所

神奈川県相模原市南区大野台6丁目2番1号 〒252-0031
電話 042(751)3800
FAX 042(756)4389

■ 東京工場

東京都世田谷区桜丘1丁目2番22号 〒156-0054
電話 03(3429)2141
FAX 03(3420)3336

精密さとパワーで建設の現場を支える。

発電機・溶接機・コンプレッサは抜群の性能を誇るデンヨー製品で!



発電機

図書館内並の低騒音を実現!
静音発電機マーリエ



50Hz-7m
43dB

DCA-25MZ

溶接機

最大溶接電流500A&インバータ制御
炭酸ガスエンジン溶接機



溶接電流 500A
(炭酸ガス/カタンク/手溶接)

交流電源
三相 25 kVA

DCW-500LSE

コンプレッサ

アフタクーラ/アフタウォーマ内蔵
電子制御で低燃費&低騒音



DIS-670LS-D

●技術で明日を築く●
デンヨー株式会社
本社：〒103-8566 東京都中央区日本橋堀留町2-8-5
TEL:03(6861)1122 FAX:03(6861)1182
ホームページ：http://www.denyo.co.jp/

札幌営業所 011(862)1221 東京支店 03(6861)1122 大阪支店 06(6448)7131
東北営業所第1課 019(647)4611 横浜営業所 045(774)0321 広島営業所 082(278)3350
東北営業所第2課 022(254)7311 静岡営業所 054(261)3259 高松営業所 087(874)3301
信越営業所 025(268)0791 名古屋営業所 052(856)7222 九州営業所 092(935)0700
北関東営業所 027(360)4570 金沢営業所 076(269)1231

お手持ちの杭ナビが
マシンガイダンスのセンサーに早変わり！
小規模 ICT に最適！

フィールド
測量

キャビン内
施工

二刀流

ICT 施工の普段使い！ 3次元設計図面上で
リアルタイムにバケットの刃先をガイダンス！

詳しい情報は
こちらからどうぞ！



NEW

杭ナビ ショベル
3D-MG LPS ショベル X-M3x LN



TOPCON

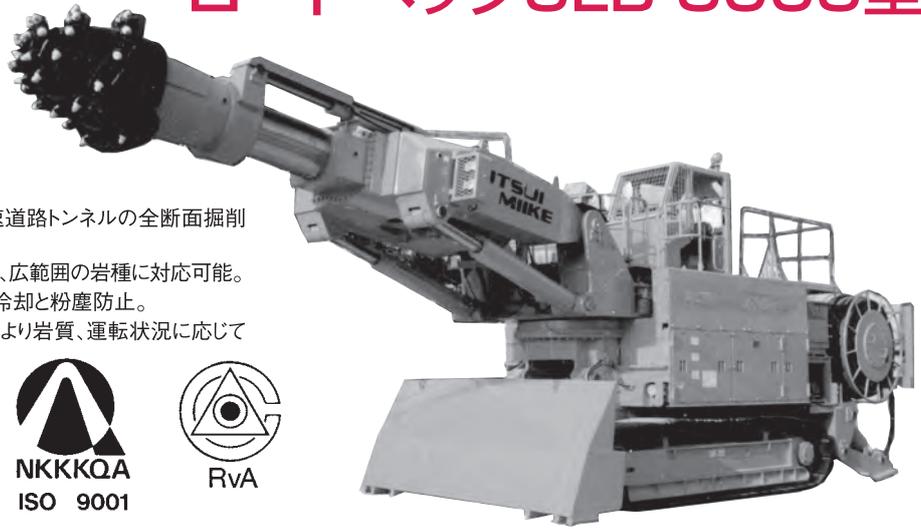
株式会社 トプコンソキア ポジショニングジャパン
本社 〒174-8580 東京都板橋区蓮沼町75-1 TEL (03)5994-0671
<https://www.topconsokkia.co.jp>



友だち追加は
こちらから！

安全・高能率な掘削を実現!

全断面对応中硬岩用トンネル掘進機 ロードヘッダSLB-300S型



特長

1. 最大8.8mの掘削高さで、新幹線、高速道路トンネルの全断面掘削が可能。
2. 300kW:2速切換型電動機の採用により、広範囲の岩種に対応可能。
3. ピック先端に高圧水を散水させ、ピック冷却と粉塵防止。
4. モード切換式パワーコントロール装置により岩質、運転状況に応じて作動設定の変更が可能。
5. 運転操作が優れ、全操作がリモートコントロールで運転可能。
6. ケーブルリール装置により、電源ケーブルの取扱いが容易で移動が迅速。



製造・販売・レンタル及びメンテナンス

 株式会社 三井三池製作所

本店/〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館
TEL.03-3270-2005 FAX.03-3245-0203

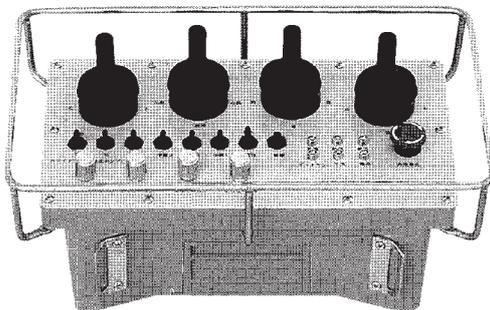
<http://www.mitsumiike.co.jp>

E-mail : sanki@mitsumiike.co.jp

建設機械用
無線操作装置

ダイワテレコン

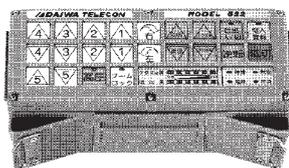
あらゆる仕様に対応
指令機操作面はレイアウトフリー



ダイワテレコン 572 ※製作例 比例制御4本レバー仕様



受令機



ダイワテレコン 522

《新電波法技術基準適合品》

- スイッチ・ジョイスティック・その他、混在装備で最大操作数驚異の**96CH**。
- コンパクトな指令機に業界最大**36**個の押しボタンスイッチ装着可能。
- 受令機の出力はオープンコレクタ（標準）リレー・電圧（比例制御）又は**油圧バルブ**用出力仕様も可能。
- 充電は急速充電方式（-ΔV検出+オーバータイムタイマー付き）
- その他、特注品もお受けいたします。お気軽にご相談ください。

DAIWA TELECON

大和機工株式会社

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 mgclub@daiwakiko.co.jp

営業所 東京、大阪、他



Realize the FUTURE

AR

— みなさまと共に未来を拓く —

01 First AR

拡張現実システム (ハンディ)
Trimble SiteVision



02 Second AR

拡張現実システム (ローバー)
Trimble SiteVision



03 Third AR

拡張現実システム (油圧ショベル)
Trimble EarthWorks AR ※



※国内発売予定

SITECH
YOUR CONSTRUCTION TECHNOLOGY PROVIDER

SITECH-JAPAN.COM

サイテックジャパン株式会社 info@sitechjp.com
東京都大田区南蒲田2-16-2テクノポート大樹生命ビル
TEL:03-5710-2594 FAX:03-5710-2731

Trimble
Authorized Dealer

雑誌 03435-4



4910034350414
00800

「建設機械施工」

定価 八八〇円 (本体八〇〇円 + 税10%)