

一般社団法人
日本建設機械施工協会誌（Journal of JCMA）

2016

建設機械施工 **3**

Vol.68 No.3 March 2016（通巻793号）

特集

ライフライン、インフラ



供用中の鉄道トンネルにおける補強工事

巻頭言 世代を越えて使うインフラのための分野横断型「SIPインフラ」プロジェクト

技術報文

- 電力設備の自然災害対策
- 多摩地区の送水管ネットワーク構築
- 阪神高速における更新事業
- 東海道新幹線大規模改修工事の構造物毎の施工事例
- 供用中の鉄道トンネルに対する補強工事
- ダム再開発工事における洪水吐増設時の仮締切設備合理化を実現 他

交流の広場

世界の産業インフラに対するサイバー攻撃とセキュリティ対策の実情

JCMA報告

平成27年度 建設施工と建設機械シンポジウム開催報告（その2）

部会報告

除雪機械の変遷（その16） 凍結防止剤散布車（2）

一般社団法人 日本建設機械施工協会

ダム工事用コンクリート運搬テルハ(クライミング機能付)

重力式コンクリートダム等の新しいコンクリート運搬装置

コスト・安全・環境に配慮した最適な施工が行えます。

特長

●コストパフォーマンスに優れる。

機械重量が比較的軽量で、構造がシンプルな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>

MIWA K-40N KIRUNA K-40N トンネルズリ運搬車

オフロード法
2014年

排出ガス基準
適合エンジン
搭載車



流れすみやかに! トランスポート・イノベーション ミワ・システム車両



三輪運輸工業株式会社

▶ 最新型コンテナ式運搬車

特徴

- 1 工期短縮
- 2 運搬車両台数の削減
- 3 坑内作業環境の向上
- 4 ズリ搬出制約の対応
- 5 多目的使用

<http://www.miwa-gr.co.jp> >>

本社：〒651-0072 神戸市中央区脇浜町 2-1-16
TEL：078-251-5001 FAX：078-251-4525

プロダクトカンパニー：〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島39
TEL：079-435-5115 FAX：079-435-1565

平成28年度建設機械施工技術検定試験の ご 案 内

平成28年度1・2級建設機械施工技術検定試験(建設業法に基づく建設機械施工技士の国家試験)を以下のとおり実施いたします。

この試験は、建設事業の建設機械施工に係る知識や技術力を問うものです。

概要は以下のとおりです。なお、平成28年度より、試験実施年度末(平成29年3月31日)の時点で17歳以上となる方は、実務経験や学歴に関係なく2級の学科試験のみ(以下、「2級(学科試験のみ)」)を受検することができます。詳しくは、当協会ホームページをご覧ください。又は電話でお問合せください。

平成28年2月

1. 申込み方法

受検申込みに必要な用紙が添付されている「受検の手引」を当協会等(裏面の一覧表参照)から購入の上申込み願います。

販売期間：平成28年2月1日(月)から4月4日(月)
(但し、郵送での販売は3月25日(金)まで)

代 金：1級600円、2級500円(いずれも1組(申込用紙及び受検の手引)当たり)(なお、郵送希望の場合は送料共1級850円、2級750円(必ずゆうちょ銀行の定額小為替使用のこと))
※2級(学科試験のみ)は、上記2級と同じです。
※2部以上を郵送希望の場合は送料が異なりますので、お問合せください。

2. 申込み受付期間

平成28年3月4日(金)から4月4日(月)まで
※簡易書留郵便とし、締切日(4月4日(月))までの消印のあるものが有効

3. 試験日

学科試験：平成28年6月19日(日)

実地試験：平成28年8月下旬から9月中旬

※実地試験は、学科試験合格者のみ受検でき、日程は8月上旬に通知いたします。

※2級(学科試験のみ)の合格者は、同年度に実地試験を受検できません。

4. 受験手数料

1級学科試験：10,100円

2級学科試験：1種別につき10,100円(2種別は2倍)

2級(学科試験のみ)：1種別につき10,100円(2種別は2倍)

1級実地試験：

操作施工法2科目と組合せ施工法の場合 27,800円

操作施工法1科目と組合せ施工法の場合 21,400円

組合せ施工法のみの場合 15,000円

2級実地試験：1種別につき21,600円(2種別は2倍)

※諸般の情勢により、上記手数料は変更となる可能性があります。

5. 受検資格

学歴等の資格区分に応じ概ね下表にあるような実務経験年数が必要となります(2級(学科試験のみ)は除く)。詳しくはお問合せ願います。

学歴等の資格区分		1級(必要な実務経験年数)	2級(必要な実務経験年数)
・大学卒業者	指 定 学 科	3 年 以 上	1 年 以 上
・高度専門士	指定学科以外	4 年 6 月 以 上	1 年 6 月 以 上
・短大卒業者	指 定 学 科	5 年 以 上	2 年 以 上
・高専卒業者	指定学科以外	7 年 6 月 以 上	3 年 以 上
・専 門 士	指 定 学 科	1 0 年 以 上	3 年 以 上
・高校卒業者	指定学科以外	1 1 年 6 月 以 上	4 年 6 月 以 上
・専門学校卒業者	指 定 学 科	1 5 年 以 上	8 年 以 上
その 他 の 者	-	1 5 年 以 上	8 年 以 上
資格取得者級	2・高校卒業者	指 定 学 科	通 算 8 年 以 上
	・専門学校卒業者	指定学科以外	通 算 9 年 以 上
	その他の者	-	通 算 1 2 年 以 上

①1級の実務経験には、上表記載の実務経験年数の内に、指導監督の実務経験が、専任の主任技術者としての必要な実務経験年数が1年以上含む必要があり、その証明も必要となります(なお、専任の監理技術者の指導を受けた実務経験を有する場合、又は専任の主任技術者の実務経験を有する場合、一定の条件を満たせば年数は短縮されます)。

②2級について、上表の実務経験年数は2種別の建設機械を受検する場合必要な年数を記載しています(1種別受検の場合、年数は短縮されます)。

③「指定学科」とは、この試験に関し大学、高等学校等における機械工学、土木工学、都市工学等専門的な分野の学科を言います。

④専門学校の卒業者で、「高度専門士」の称号を得ている場合は大学卒業者と同等の扱い、「専門士」の称号を得ている場合は短大卒業者と同等の扱いとなります。

⑤平成29年3月31日時点で17歳以上となる者は、実務経験や学歴に関係なく、2級(学科試験のみ)を受検することができます。

※上記①②の短縮される年数と、③の指定学科の詳細については試験部までお問合せ願います。

6. 試験地

学科試験：北広島市、滝沢市、東京都、新潟市、名古屋市、

大阪市、広島市、高松市、福岡市、那覇市

実地試験：石狩市、岩沼市、栃木県下都賀郡壬生町、秩父市、

小松市、富士市、刈谷市、明石市、小野市、広島市、善通寺市、

福岡県糟屋郡須恵町、沖縄県国頭郡宜野座村

※それぞれの希望受験地を申込み時に選択していただきます。

※学科試験地及び実地試験地は、会場の都合で変更する場合があります。

※受検する建設機械の種類により、実地試験地が制限されます。

7. 試験の種目・種別と使用機械等

この試験は、学科試験と実地試験により行われ、学科試験に合格した方が実地試験を受検できます。

(1) 学科試験

1級：択一式と記述式により、土木工学、建設機械一般、法規、各種別の機械に関する一般的知識を問います。

2級：択一式により、共通科目として土木工学、建設機械一般、法規等の概略的知識と、選択種別の知識を問います（第1種～第6種の内、偶数・奇数の組合せであれば、1回の試験で最大2種別まで受検可能です）。

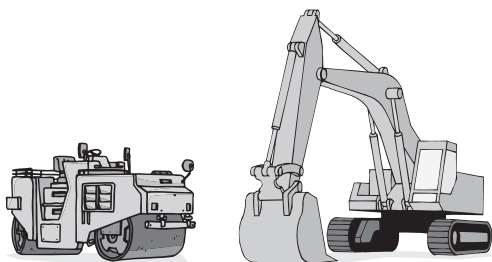
2級(学科試験のみ)：試験内容は上記2級と同じです。

(2) 実地試験

1級：6種目に区分された建設機械施工法の内から、申込み時に選択した2種目の機械を運転操作する試験(2級で合格した種別の数だけ免除があります)と、記述式の試験(学科試験日に実施します)を行います。

2級：学科試験で合格した種別の機械で運転操作の試験を行います。

2級(学科試験のみ)：所定の実務経験年数を満足すれば、次年度以降に実地試験を受検できます。試験内容は上記2級と同じです。



試験機械区分	種目・種別	試験使用機械
トラクタ系機械操作施工法	第1種	ブルドーザ
ショベル系機械操作施工法	第2種	油圧ショベル
モータ・グレーダ機械操作施工法	第3種	モータ・グレーダ
締固め機械操作施工法	第4種	ロードローラ
舗装用機械操作施工法	第5種	アスファルトフィニッシャ
基礎工事用機械操作施工法	第6種	アースオーガ
建設機械組合せ施工法	-	記述式の試験(1級のみ)

◆ 問合せ先、「受検の手引」請求先一覧表 ◆

名 称	所 在 地	電 話 番 号
※一般社団法人日本建設機械施工協会 試 験 部	〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館2階 (URL http://www.jcmanet.or.jp)	03-3433-1575
同 施工技術総合研究所	〒417-0801 静岡県富士市大淵3154	0545-35-0212
※ 同 北海道支部	〒060-0003 北海道札幌市中央区北3条西2-8 さつけんビル5階	011-231-4428
※ 同 東北支部	〒980-0014 宮城県仙台市青葉区本町3-4-18 太陽生命仙台本町ビル5階	022-222-3915
※ 同 北陸支部	〒950-0965 新潟県新潟市中央区新光町6-1 興和ビル9階	025-280-0128
※ 同 中部支部	〒460-0002 愛知県名古屋市中区丸の内3-17-10 三愛ビル5階	052-962-2394
※ 同 関西支部	〒540-0012 大阪府大阪市中央区谷町2-7-4 谷町スリースリースビル8階	06-6941-8845
※ 同 中国支部	〒730-0013 広島県広島市中区八丁堀12-22 築地ビル4階	082-221-6841
※ 同 四国支部	〒760-0066 香川県高松市福岡町3-11-22 建設クリエイティブビル4階	087-821-8074
※ 同 九州支部	〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-4-30 いわきビル2階	092-436-3322
※ 一般社団法人沖縄しまて協会	〒901-2122 沖縄県浦添市勢理客4-18-1 トヨタマイカーセンター4階	098-879-2097
同 北部支所	〒905-1152 沖縄県名護市字伊差川24-1	0980-53-1555

※印は郵送販売を行っている箇所

東北地区・中国地区では、窓口販売を行う機関が昨年のもので一部変更となっています。
詳しくは各地区のポスター・チラシあるいは当協会のホームページでご確認ください。



ご注意

最近、当協会が行うこの技術検定の申込み手続きの代行業務やまぎらわしい名前の講習等の勧誘を行う民間団体がありますが、当協会とは関係がありません。当協会は、電話等により直接勧誘又は案内を行っておりません。また、他の機関に受付等の業務の一部を依頼することはありません。この技術検定の申込み、問合せは、ご本人が直接当協会に行ってください。

国土交通大臣指定試験機関

JCMA 一般社団法人 日本建設機械施工協会

URL <http://www.jcmanet.or.jp> 〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館2F

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

2016年版 日本建設機械要覧

発刊ご案内

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。



発刊予定

平成28年3月末

体 裁

B5判、約1,340頁／写真、図面多数／表紙特製

価 格

一般価格 52,920円（本体49,000円）

会員価格 44,280円（本体41,000円）

（注）送料は1冊900円（税込）となります。
（複数冊の場合別途）

特 典

2016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、2004年版、2007年版、2010年版及び2013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2016年版を含めると1998年から2015年までの建設機械データが活用いただけます。

2016年版 内容目次

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

今後の予定

「日本建設機械要覧」の電子版も作成し、より利便性の高い資料とするべく準備しております。御期待下さい。

◆ 購入申込書 ◆

一般社団法人 日本建設機械施工協会 行

日本建設機械要覧 2016年版	冊
-----------------	---

上記図書を申込み致します。

平成 年 月 日

官 公 庁 名 会 社 名			
所 属			
担当者氏名	TEL		
	FAX		
住 所	〒		
送 金 方 法	銀行振込 ・ 現金書留 ・ その他（ ）		
必 要 事 項	見積書（ ）通 ・ 請求書（ ）通 ・ 納品書（ ）通 （ ）単価に送料を含む、（ ）単価と送料を2段書きにする（該当に○） お願い：指定用紙がある場合は、申込書と共に送付下さい		

◆ 申込方法 ◆

- ①官公庁：FAX（本部、支部共）
- ②民 間：（本部へ申込）FAX
（支部へ申込）現金書留のみ（但し会員はFAX申込可）
- ※北海道支部はFAXのみ

（注）関東・甲信・沖縄地区は本部へ、その他の地区は最寄の下記支部あてにお申込み下さい。

〔お問合せ及びお申込先〕

本 部	〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 機械振興会館	TEL 03 (3433) 1501 FAX 03 (3432) 0289
北海道支部	〒060-0003 札幌市中央区北三条西2-8 さつけんビル	TEL 011 (231) 4428 FAX 011 (231) 6630
東 北 支 部	〒980-0014 仙台市青葉区本町3-4-18 太陽生命仙台北町ビル5F	TEL 022 (222) 3915 FAX 022 (222) 3583
北 陸 支 部	〒950-0965 新潟市中央区新光町6-1 興和ビル	TEL 025 (280) 0128 FAX 025 (280) 0134
中 部 支 部	〒460-0002 名古屋市中区丸の内3-17-10 三愛ビル	TEL 052 (962) 2394 FAX 052 (962) 2478
関 西 支 部	〒540-0012 大阪市中央区谷町2-7-4 谷町スリースリースビル	TEL 06 (6941) 8845 FAX 06 (6941) 1378
中 国 支 部	〒730-0013 広島市中区八丁堀12-22 築地ビル	TEL 082 (221) 6841 FAX 082 (221) 6831
四 国 支 部	〒760-0066 高松市福岡町3-11-22 建設クリエイティブビル	TEL 087 (821) 8074 FAX 087 (822) 3798
九 州 支 部	〒812-0013 福岡市博多区博多駅東2-4-30 いわきビル	TEL 092 (436) 3322 FAX 092 (436) 3323

ご記入いただいた個人情報は、お申込図書の配送・支払い確認等の連絡に利用します。また、当協会の新刊図書案内や事業活動案内のダイレクトメール（DM）送付に利用する場合があります。

（これらの目的以外での利用はいたしません）当協会のプライバシーポリシー（個人情報保護法方針）は、ホームページ（http://www.jcmanet.or.jp/?page_id=422）でご覧いただけます。

当協会からのダイレクトメール（DM）送付が不要な方は、下記口欄にチェック印を付けてください。

☐ 当協会からの新刊図書案内や事業活動案内のダイレクトメール（DM）は不要

初の
実務者向け入門版!!

情報化施工 デジタルガイドブック

2014.3
発刊!

土木工事の施工現場においては、施工および施工管理の省力化、品質向上を目的として、モーターグレーダやブルドーザなどのマシンコントロール技術やトータルステーションを用いた施工管理・出来形管理技術をはじめ、ICT技術の活用事例が大規模工事現場はもちろんのこと、小規模工事においても適用されはじめています。

このような中、国土交通省は、平成25年3月に今後の情報化施工の普及促進のための新たな施策「情報化施工推進戦略」～「使う」から「活かす」へ、新たな建設生産の段階に挑む!!～を発表しています。

当協会では、情報化施工を考えておられる実務者の皆様のために新しい情報化施工入門書「情報化施工デジタルガイドブック」を刊行いたしました。本書によって、情報化施工技術を理解していただき、現場施工に役立てていただきたいと考えています。

特 徴

本書では、情報化施工を担当する現場技術者の皆様を対象として作成したもので、DVD版の主な特徴は以下のとおりです。

- ★画像・映像による解りやすい技術紹介
- ★業務の流れに沿った解説
- ★導入効果の概説
- ★50項目以上の用語説明
- ★インターネット・エクスプローラ等のブラウザを使用して画面を切り替えながら見ることができる

主な内容

1	2	3	4	5	6	7	8	9
情報化施工のあらまし	情報化施工技術の種類	情報化施工の適用工種	情報化施工の運用手順	建設機械・測量機器リスト	情報化施工データ	情報化施工の導入効果	導入事例	用語の説明

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3-5-8 機械振興会館
TEL (03) 3433-1501 FAX (03) 3432-0289 <http://www.jcmanet.or.jp>

JCMA 図書

検索

橋梁架設工事の積算

平成 27 年度版

∞ ∞ ∞ 改定・発刊のご案内 ∞ ∞ ∞

平成 27 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。

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、平成 27 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 平成 27 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 平成 27 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

平成 27 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)



◆改定内容

平成 26 年度版からの主な改定事項は以下のとおりです。

1. 鋼橋編

- ・送出し設備における説明文章、写真の追加
- ・少数 I 桁橋の足場工及び防護工の一部改定
- ・プレキャスト PC 床版工、場所打ち PC 床版工の一部改定

2. PC 橋編

- ・門構移動装置の新規掲載
- ・ポストテンション桁製作工他、各工種の適用範囲の明確化
- ・横組工 地覆・高欄施工足場の記載
- ・緩衝ゴム設置工 新規掲載

3. 橋梁補修編

- ・足場タイプ別詳細作業内容の掲載
- ・落橋防止システム工の一部改定
- ・ストップホール工の新規掲載
- ・塗替塗装 素地調整工の改定
- ・はく離材による塗膜除去作業の注意点の新規掲載

別冊「橋梁補修補強工事 積算の手引き」

- ・極少施工歩掛の考え方を新規掲載
- ・補修工事用数量集計マニュアルを新規掲載

● B 5 判／本編 1,201 頁 (カラー写真入り)
別冊 197 頁 セット

●定価

一般価格：9,720 円 (本体 9,000 円)
会員価格：8,262 円 (本体 7,650 円)

※ 別冊のみの販売はいたしません。

※ 送料は一般・会員とも
沖縄県以外 600 円
沖縄県 610 円

※ 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 平成 27 年 5 月 21 日

◆ 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

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され、建設機械・施工技術に関心のある方であればどなたでも入会頂けます。

★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864円/送料別途)。
「建設機械施工」では、建設施工や建設機械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・建設機械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)で参加できます。

今後、続々と個人会員の特典を準備中です。この機会に是非入会下さい!!

◆ 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年に設立された公益法人です。国土交通省および経済産業省の指導監督のもと、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…

- 建設機械及び建設機械施工に関わる学術研究団体です。(特許法第30条に基づく指定及び日本学術会議協力学術研究団体)
- 建設機械に関する内外の規格の審議・制定を行っています。(国際標準専門委員会の国内審議団体(ISO/TC127、TC195、TC214)、日本工業規格(JIS)の建設機械部門原案作成団体、当協会団体規格「JCMAS」の審議・制定)
- 建設機械施工技術検定試験の実施機関に指定されています。(建設業法第27条)
- 災害発生時には会員企業とともに災害対応にあたります。(国土交通省各地方整備局との「災害応急対策協定」の締結)
- 附属機関として「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。

■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(個人:建設施工や建設機械の関係者等)、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の実施。
- ・機関誌「建設機械施工」をはじめ各種技術図書・専門図書の発行。
- ・建設機械と施工技術展示会“CONET”の開催。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。 etc.

■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
- ・建設機械図鑑
- ・建設機械用語集
- ・地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル
- ・建設施工における地球温暖化対策の手引き
- ・建設機械施工安全技術指針本文とその解説 etc.

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.jcmanet.or.jp>

※お申し込みには次頁の申込用紙を使用してください。

【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

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。

平成 年 月 日

個人会員入会申込書		
ふりがな		生 年 月 日
氏 名 (自 署)		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 (ご希望の送付先を○印で囲んで下さい。)	
そ の 他 連 絡 事 項	平成 年 月より入会	

【会費について】年間 9,000円

- 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うけたとき。3.死亡し、又は失踪宣言をうけたとき。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。 ○抛出金の不返還:既納の会費及びその他の抛出金品は原則として返還いたしません。

【個人情報の取扱いについて】

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_policy.htm をご覧下さい。

No.	発行年月	図 書 名	一般価格 (税込)	会員価格 (税込)	送料
1	H28 年 3 月	日本建設機械要覧 2016 年版	52,920	44,280	900
2	H27 年 5 月	橋梁架設工事の積算 平成 27 年度版	9,720	8,262	600
3	H26 年 6 月	よくわかる建設機械と損料 2014	5,616	4,752	500
4	H26 年 5 月	大口径岩盤削孔工法の積算 平成 26 年度版	6,048	5,142	500
5	H26 年 3 月	情報化施工デジタルガイドブック【DVD 版】	2,160	1,944	400
6	H25 年 6 月	機械除草安全作業の手引き	972	864	250
7	H23 年 4 月	建設機械施工ハンドブック（改訂 4 版）	6,480	5,502	600
8	H22 年 9 月	アスファルトフィニッシャの変遷	3,240		400
9	H22 年 9 月	アスファルトフィニッシャの変遷【CD】	3,240		250
10	H22 年 7 月	情報化施工の実務	2,160	1,851	400
11	H21 年 11 月	情報化施工ガイドブック 2009	2,376	2,160	400
12	H21 年 9 月	道路除雪オペレータの手引	3,085	2,057	500
13	H20 年 6 月	写真でたどる建設機械 200 年	3,024	2,560	500
14	H19 年 12 月	除雪機械技術ハンドブック	3,086		500
15	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	3,456	2,880	400
16	H17 年 9 月	建設機械ポケットブック（除雪機械編）	1,029		250
17	H16 年 12 月	2005「除雪・防雪ハンドブック」（除雪編）	5,142		600
18	H15 年 7 月	建設施工における地球温暖化対策の手引き	1,620	1,512	400
19	H15 年 6 月	道路機械設備 遠隔操作監視技術マニュアル（案）	1,944		400
20	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)	1,944		400
21	H15 年 6 月	地球温暖化対策 省エネ運転マニュアル	540		250
22	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）	6,480	6,048	500
23	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）	2,675	2,366	400
24	H11 年 10 月	機械工事施工ハンドブック 平成 11 年度版	8,208		600
25	H11 年 5 月	建設機械化の 50 年	4,320		500
26	H11 年 4 月	建設機械図鑑	2,700		400
27	H10 年 3 月	大型建設機械の分解輸送マニュアル	3,888	3,456	500
28	H9 年 5 月	建設機械用語集	2,160	1,944	400
29	H6 年 8 月	ジオスペースの開発と建設機械	8,229	7,714	500
30	H6 年 4 月	建設作業振動対策マニュアル	6,172	5,554	500
31	H3 年 4 月	最近の軟弱地盤工法と施工例	10,079	9,565	600
32	S 63 年 3 月	新編 防雪工学ハンドブック【POD 版】	10,800	9,720	500
33	S 60 年 1 月	建設工事に伴う濁水対策ハンドブック	6,480		500
34		建設機械履歴簿	411		250
35	毎月 25 日	建設機械施工【H25.6 月号より図書名変更】	864	777	400
			定期購読料 年 12 冊 9,252 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」の「図書購入申込書」をプリントアウトし、必要事項を記入してお申し込みください。

目次

ライフライン、インフラ 特集

3	巻頭言 世代を越えて使うインフラのための分野横断型「SIP インフラ」プロジェクト	藤野 陽三
4	電力設備の自然災害対策	北島 尚史
10	砂防堰堤を活用した小水力発電事業への民間事業者としての取り組み	市森 友明・阿曾 克司・升方 祐輔
17	多摩地区の送水管ネットワーク構築 多摩丘陵幹線のトンネル技術	溝口 博文・西本 徹・藤井 雄輔
24	外ボルト締結型コンクリート中詰め鋼製セグメントの 気中組立てによる管路の構築	中田 慎一
30	下水道管路調査診断システム 衝撃弾性波検査法	後藤 正信
35	阪神高速における更新事業 大規模更新・大規模修繕	茅野 茂・鈴木 威
42	東海道新幹線大規模改修工事の構造物毎の施工事例	荒鹿 忠義
49	供用中の鉄道トンネルに対する補強工事	神保 誠二・蘭 康則・杉山 伸康
56	ダム再開工事中における洪水吐増設時の仮締切設備合理化を実現 仮締切としての機能を持つ予備ゲート設備の製作・施工	白川 豪人・椿 治彦・坂上 幸謙
65	栈橋上部工点検用 ROV の研究開発	田中 敏成
72	世界標準型の LNG 輸送船受入栈橋前面の増深工事 広島港廿日市地区泊地 (-12m) 浚渫工事	長澤 太一
77	交流の広場 世界の産業インフラに対するサイバー攻撃とセキュリティ対策の実情	佐々木弘志
83	ずいそう 「ものづくり」にこだわった機械屋の軌跡	谷 雄一
86	ずいそう 新潟近郊の温泉漫遊記	赤池 利孝
88	JCMA 報告 平成 27 年度 建設施工と建設機械シンポジウム開催報告 (その 2)	
92	JCMA 委員会報告 大分川ダム 三光本耶馬溪道路建設現場 見学会報告	情報化施工委員会
95	部会報告 除雪機械の変遷 (その 16) 凍結防止剤散布車 (2)	除雪機械技術委員会
102	部会報告 日立建機(株)土浦工場 見学会	機械部会
104	部会報告 コマツ栗津工場見学会	建設業部会
106	新工法紹介	機関誌編集委員会
107	新機種紹介	機関誌編集委員会
110	統計 建設工事受注額・建設機械受注額の推移	機関誌編集委員会
111	行事一覧 (2016 年 1 月)	
114	編集後記	立石・岡田

◇表紙写真説明◇

供用中の鉄道トンネルにおける補強工事

写真提供: 清水建設(株)

供用中の地下鉄路線である複線シールドトンネルの一部に変形が確認され、その恒久的な安全性を確保するた

め、高圧噴射攪拌工法による外部補強工事と、二次覆工による内部補強工事を実施した。写真は内部補強部材組立工事時の状況である。限られた作業時間、建築限界を確保した狭い作業スペースという条件のなか、補強部材および組立方法に関する実証実験など細心の準備をおこない、列車の運行支障を発生させることなく工事を完了することができた。

第 62 回欧州建設機械施工視察団 団員募集のお知らせ bauma 2016 (ドイツ・ミュンヘン)

本協会では、50 か国 3,000 社／団体が出展を予定している、世界最大規模の展示会 bauma 2016 に視察団を派遣。最新の建設機材、サービス、技術を一望することができます。そのほか、海外都市におけるインフラ整備、都市再開発の工事現場視察等を予定。

1. 視察期間
4月10日(日)～16日(土)
2. 視察地
ミュンヘン／シュトゥットガルト／フランクフルト
3. 参加費
1人 432,000 円(空港税等別)

4. 締切日
2月9日(火)；終了
- 詳細問い合わせ先
一般社団法人 日本建設機械施工協会
担当：森川
TEL：03-3433-1501
<http://www.jcmanet.or.jp/>

平成 28 年度 日本建設機械施工大賞 ご案内

1. 表彰の目的

大賞部門は、建設機械及び建設施工に関連する技術等に関して、調査・研究、技術開発、実用化等により顕著な功績をあげたと認められる業績を表彰します。地域賞部門は、地域に根ざした独自の視点に基づき、従来の施工方法・技術の改良、地域普及などの取り組みを通じ、地域へ貢献している業績を表彰します。いずれも国土の利用、開発、保全並びに経済・産業の発展に

寄与することを目的とします。

2. 表彰対象

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

3. 表彰の種類

大賞部門：最優秀賞、優秀賞
地域賞部門：地域貢献賞

4. 応募締切

1月31日(日)；終了

5. 選考

本協会が設置した「日本建設機械施工大賞選考委員会」で選考致します。

6. 表彰式

本協会第5回通常総会(5月27日(金))終了後に行います。

詳細問い合わせ先：

一般社団法人日本建設機械施工協会
TEL 03-3433-1501
<http://www.jcmanet.or.jp/>

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。

1. 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を対象と

する学術論文(原著論文)であり、かつ所定の条件を満足するものとします。

2. 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。

3. 原稿の受付

随時

4. 公表の方法

当協会機関誌へ掲載します。

詳細問い合わせ先

一般社団法人 日本建設機械施工協会
研究調査部 論文担当
TEL：03-3433-1501
<http://www.jcmanet.or.jp/>

日本建設機械施工協会「個人会員」入会のご案内

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され、建設機械・施工技術に関心のある方であればどなたでも入会頂けます。

会費：年間 9,000 円

★個人会員の特典

○機関誌「建設機械施工」を毎月お届け致します。

本誌では、建設機械・施工技術に関わる最新情報や研究論文、本協会の行事案内・実施報告等のほか、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)で購入できます。

○シンポジウム、講習会、講演会、見学会等、最新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、会員価格で参加できます。

お問い合わせ・申込書の送付先

※お申し込みには本誌差込広告ページの申込用紙をご利用ください

一般社団法人日本建設機械施工協会
個人会員係

TEL：03-3433-1501

FAX：03-3432-0289

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

巻頭言

世代を越えて使うインフラのための分野横断型「SIP インフラ」プロジェクト

藤 野 陽 三



2012年12月2日に発生した笹子トンネル天井板崩落事故を契機として、インフラの老朽化が大きな社会的問題としてクローズアップされている。

わが国の道路などの社会資本ストックは、1973年のオイルショックごろまで続いた高度成長期とそれに続く安定成長期の20年間に大量に建設された。その後の20年の低成長時代においても、伸びは鈍化したものの増え続け、総額900兆円程度に達していると言われている。

高度成長期時代に建設されたインフラが高齢化し、必要な大規模修繕や更新の計画を首都高速やネクスコ3社で具体的な議論を始めた最中に発生したのが2012年12月2日の笹子トンネル事故であった。500兆円のオーダーで停滞しているGDPの中で、より効果的かつ効率的なインフラ維持管理が強く求められている。この問題は、成熟した先進諸国に共通の普遍的な課題でもある。発展途上諸国においても、例えば、アジアにおける2010年から2020年間のインフラ需要は8兆ドルとも言われており、耐久性に優れた高品質のインフラ整備はもとより、持続的成長を支えるためにも、将来負担を軽減する維持管理技術の導入が急務である。

笹子の事故とこれらの膨大なニーズを受け、研究開発も活発化している。内閣府総合科学技術・イノベーション会議（議長 安倍晋三総理）における戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）11テーマの一つとして「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」が2014年から5ヵ年計画でスタートした。ほとんどは公募で選ばれ、その数は60にのぼる。国系の研究所が12課題、大学が16課題、民間が32課題で参加機関の総数が255、参加メンバーは1500名を越える。予算は年あたり30数億円である。大学関係者が研究を行うとき申請する最も一般的な研究費「科学研究費」の土木工学分野の総額が年23億円程度であり、SIPインフラの規模を理解していただけるであろう。

テーマは大きく分けると①構造材料・劣化機構・補修・補強、②点検・モニタリング、③ロボット、④情報・通信の4つの基盤技術とそれらを束ねる⑤アセットマネジメント技術の5つから成る。小型の開発研究が多いセンシング・非破壊検査分野が30課題程度あり、ロ

ボット系は点検用マルチコプタが数課題、大型課題としては災害対応用の遠隔操作の半水中作業ロボットの開発課題他、10程度の課題が動いている。マルチコプタではビデオカメラを搭載してひび割れなどの情報を得るだけでなく、打音にチャレンジするのも現れている。当初は風に弱かったが、現在では瞬間風速10m/s程度までは飛行可能となっており、進歩の速さに驚嘆している。2014年7月から義務化された点検では、橋梁の場合、専門技術者による近接目視点検となっており、大きな社会的負担と人的資源を要している。作業安全上の問題も無視できないし、人の判断なので結果にはばらつきがでる。人が点検することのよさ是否定しないが、人の目や打音では分からないことも非常に多い。今の時点ではロボットによる点検がすんなり受け入れられる段階ではないが、ロボットとセンサーとのうまい組み合わせによる状態把握の高精度化と省力化は絶対に必要な技術である。そのためにも今の段階で、ロボット側の性能を高めておくことが欠かせない。

先端技術を利活用し、産官学の横断型チームで実装できるものを作るとというのが「SIP インフラ」の謳い文句である。機械系、電子系、情報系、計測系、材料系などのこれまであまり土木に近くなかった研究機関、会社も多く参加している。正しく、先端技術と土木技術の融合が進められており、プログラムディレクター（PD）として大きな成果、イノベーションが出るよう最大限に努力してきている積もりである。この中で土木の研究開発の姿も大きく変わると思われる。

インフラは、世界的な経済学者である宇沢弘文先生が40年も前に提唱した「社会的共通資本」の重要な一要素である。今、この社会的共通資本をGDP（国内総生産）に代わる富の指標にしようとする提案が国連大学を中心に行われている。富の一つであるインフラを適切に維持管理、更新し、安全安心の社会を構築することは今の世代にとっては勿論であるが、世代を越えて使われるインフラでは未来への責務でもある。皆様方とも協力して、そのための技術・システムを開発し、今のインフラをよい状態で次世代に引き渡せるようにしていきたいと思う。

電力設備の自然災害対策

北 島 尚 史

生活に欠かせない電気は、非常災害時においても復旧活動等に不可欠であり、当社の防災対策基本方針において、災害時の影響を極力低減するための考え方として「被災しにくい設備づくり」「被災時の影響低減」「被災設備の早期復旧」が示され、さまざまな対策が実施されている。

本稿では、防災対策基本方針に基づく自然災害対策について、具体的な事例を含めて概要を紹介する。
キーワード：防災業務計画、バックチェック、多重化・多ルート化、非常災害対策本部、電力システム改革

1. はじめに

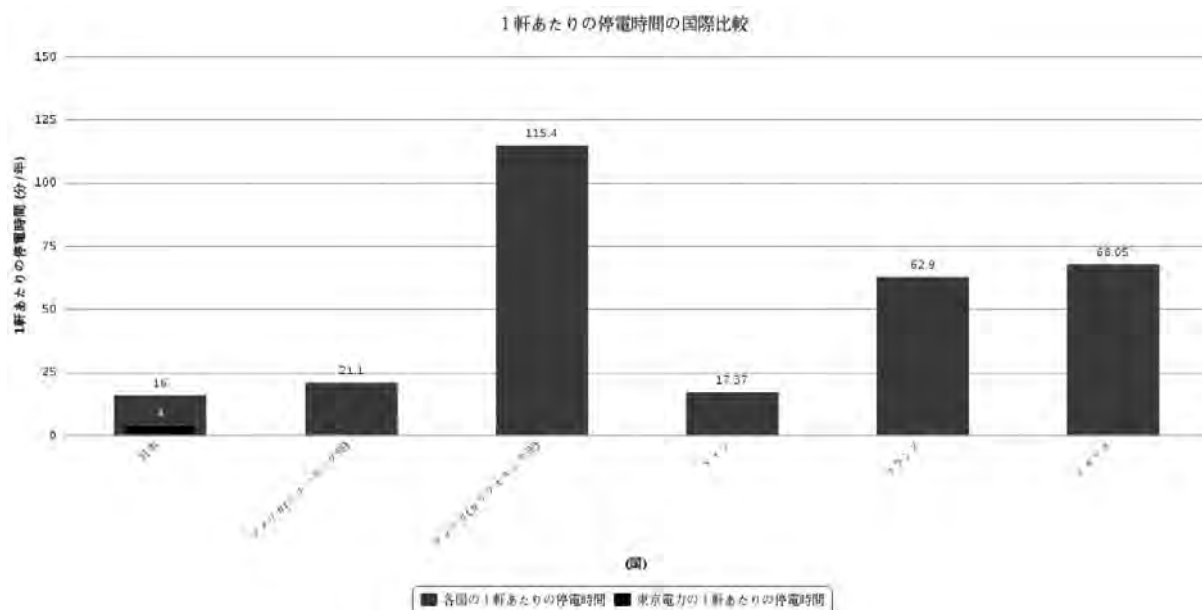
2011年3月11日の東日本大震災では、東北電力、東京電力の設備が地震や津波により大きな被害を受けた。これにより、東京電力の管内では震災直後に計画停電を実施することとなり、関東地方に住む人々の生活に大きな影響を与えた。また、近年の自然災害の激甚化も、電力設備の損壊等に伴う停電発生といった、局所的に大きな被害をもたらす傾向が強くなっている。

電気は、生活に欠かせないエネルギーであり、他のインフラ（通信、交通、水道など）が機能するためにも必要である。加えて災害時には、照明や災害情報確認のためだけでなく、復旧活動や治療といった活動に

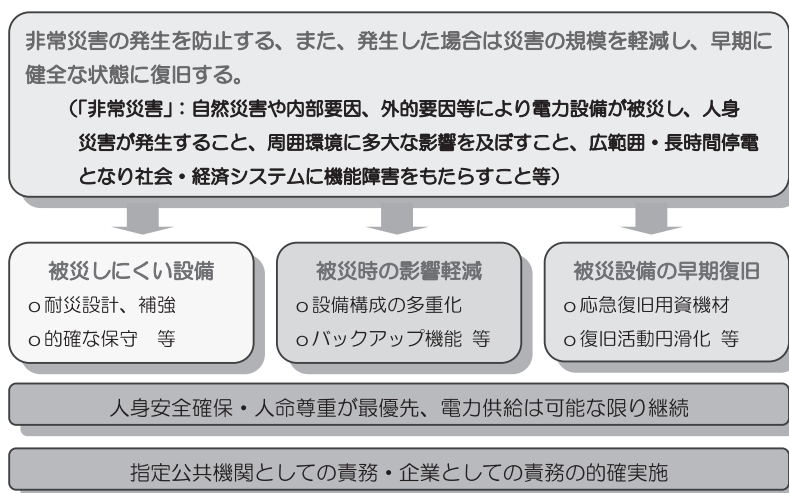
も不可欠であり、最も重要なインフラの一つと言える。

一般的な停電の原因は、発電所や送電線・配電線、変電所などの電力設備が自然災害により損傷する場合をはじめ、設備の経年劣化などに起因して故障するといった内的要因、さらにクレーンによる送電線の切断や自動車の電柱接触による折損といった外的要因など、さまざまなものがある。特にわが国は、地震、台風、雷、集中豪雨などの自然災害の発生が多いため、これらの自然災害に起因する停電発生を軽減する対策に注力している。

現在、家庭1軒当たりの年間平均停電時間は約4分（2014年実績）¹⁾と、欧米と比較して1桁ほど小さい値となっている（図—1）。



図—1 停電時間の国際比較（出典¹⁾）



図一 2 防災対策の基本方針

しかしながら、首都直下型地や南海トラフ地震などの切迫性が高いと言われている大規模地震が発生した場合には広範囲・長時間にわたる停電が発生する可能性があることから、当社では、災害対策基本法、大規模地震対策特別措置法、南海トラフ地震に係る地震防災の推進に関する特別措置法、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に係る地震防災の推進に係る特別措置法、ならびに首都直下型地震対策特別措置法に基づき、電力設備に係る災害予防、災害応急対策および災害復旧を図る目的で、「防災業務計画」を策定している²⁾。

この防災業務計画の基本的考えとして、「被災しにくい設備づくり」、「被災時の影響低減」、「被災設備の早期復旧」が示されている（図一2）。

本稿では、防災対策基本方針に基づく自然災害対策について、具体的な事例を含めて概要を紹介する。

なお、原子力災害に関わる防災業務計画については、原子力災害対策特別措置法に基づいて原子力発電所ごとに定める原子力事業者防災業務計画によるものとしている。

2. 防災対策の考え方

防災対策を検討するにあたっては、まず想定される災害の規模を定める必要がある。大規模災害の想定は、内閣府中央防災会議により実施、公表されており、当社ではこれをもとに、電力設備への影響評価を実施している。評価の結果、発生時に大規模停電等の可能性がある場合は、設備の異常や損壊に至らないようにその影響を軽減する対策をとる。ただし、非常に過酷な自然災害や発生可能性の低い災害に対しても耐えうる設備とすることは技術的にも経済的にも困難な面が

あることから、以下の基本的な考え方によることとしている。

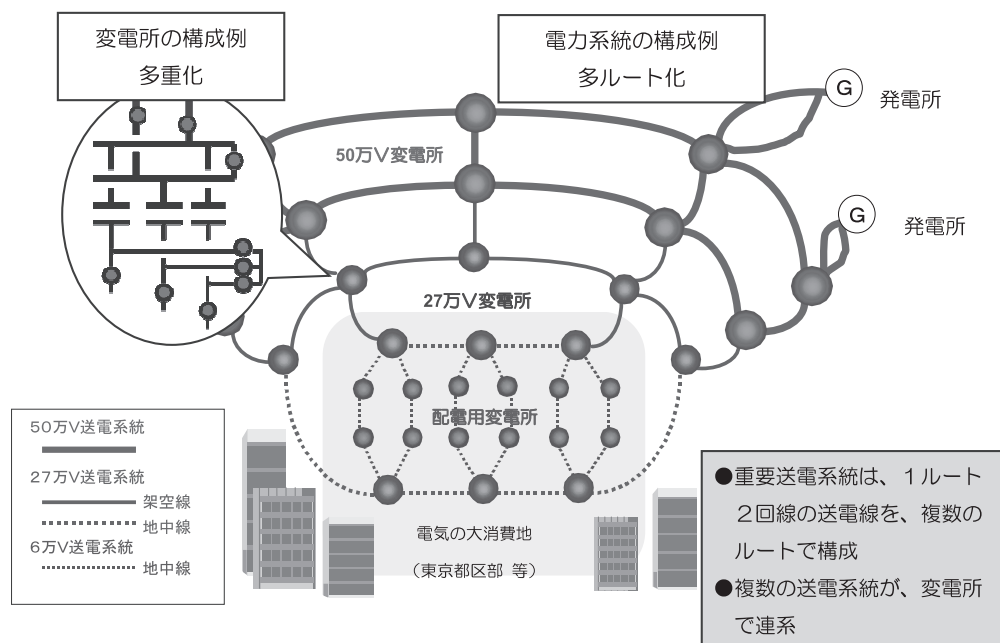
- ・ダム、LNG・石油タンクなど、被災すると人身災害や周囲環境に重大な影響を及ぼしかねないもの（耐震性区分Ⅰ）については、過酷な自然災害についても重大な影響のないように対策を実施する。
- ・上記以外の電力設備（耐震性区分Ⅱ）については、一般的な自然災害のレベルに対して設備の機能に重大な支障が生じないこと、また、過酷な自然災害に対しては電力系統全体でバックアップして、長時間・広範囲に及ぶ停電が発生しないようにする。

(1) 被災しにくい設備づくり ～設置場所ごとの想定と設計～

電力設備の設置にあたっては、設置する場所ごとにきめ細かい設計がなされる。すなわち、当該地点の気象、近隣の河川や海岸等の状況といった地形・地盤の地質や過去の地震などの実績を十分に調査するとともに、国あるいは自治体の災害想定や関係法令に基づいて設計を実施する。国や自治体による自然災害の想定は随時アップデートされていくので、新たな想定等が公表された場合は、既設の電力設備に対する影響評価を再実施する（バックチェック）。

(2) 被災時の影響軽減 ～設備の多重化・多ルート化～

電力設備が被災して異常が発生すると、保護システムや監視システムが異常状態を検知し、当該設備を電力系統から自動で切り離す制御が行われる。一方で設備を切り離しても、その先のお客さまへの電力供給を継続できるように、変電所の機器などを複数設置する「多重化」や、送電線のルートを網の目状に設置し、



図一3 電力系統の多重化・多ルート化

どこかの送電ルートが使用不能になっても他のルート等を使って送電可能な「多ルート化」が図られている（図一3）。なお、「多重化」や「多ルート化」は、設備のメンテナンス時の送電継続という目的もある。

こうした、設備の多重化や多ルート化にもかかわらず災害等で停電が発生した場合には、自動停電復旧システムや、24時間態勢の運転員による系統の切り替え操作を行い、停電の範囲や停電時間の極小化を行う。また、保守員が被災現場に出向し、現地で切り替え操作や応急復旧を行う場合もある。

(3) 被災設備の早期復旧 ～非常態勢～

大規模災害が発生した場合は、前項の運転員や保守員による初期の停電復旧と併行して、社内に非常態勢を発令し、非常災害対策本部を即座に設置するとともに、ここを中心とした復旧活動を実施する。非常災害対策本部では、被災した設備の状況や停電の状況、関係機関等からの要請といった情報を正確かつ詳細に把握する。また、こうした情報をもとに、被災設備の復旧方法（仮復旧による応急送電といった対応も含む）、復旧エリアの優先順位等を判断し、資機材や要員の効果的な投入など適切な対応方針を決定していく。

3. 防災対策の実例

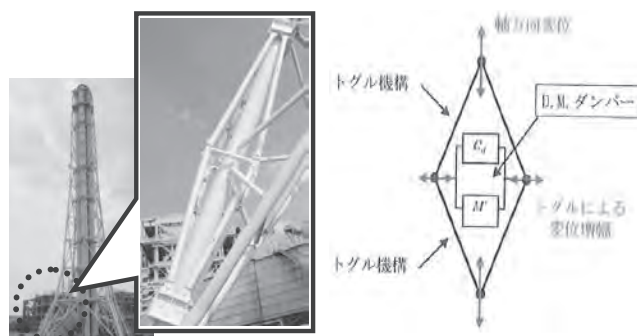
本項では、当社が実施した設備対策、ならびに復旧迅速化のために構築している復旧対応態勢の実例を紹介する。

(1) 設備対策の実例

(a) 火力発電所における耐震対策 ～煙突の耐震対策～

当社は、1995年の兵庫県南部地震を契機として、中央防災会議の被害想定地震や地震調査研究本部が公表した地震をモデルとして、高レベル地震動に対する耐震評価を実施している。耐震性評価の結果、耐力を超過する恐れのある設備については、「防災対策の考え方」に基づき、必要な耐震対策を実施している。

火力発電所の耐震対策の一例として、煙突の耐震対策に「パンタグラフ型制震工法」の適用実績がある。「パンタグラフ型制震工法」は、日本大学、(株) i2S2、東電設計(株)が共同で研究開発した制震工法を鉄塔支持構造物に適用したものであり、この原理を用いた増幅機構「トグル機構」でパンタグラフを構成し、増幅された変形量をさらに回転運動に増幅変換するD.M.ダンパ（ダイナミック・マス・ダンパ）を組み合わせることで震動モードを制御し高い減衰性能を発



図一4 パンタグラフ型制震工法による煙突の補強

揮することができる。この工法は、煙突脚部に取り付けければよく高所作業が不要であり、また補強範囲が限定的であり発電所を稼働させた状態で補強工事が可能となるといったメリットがある（図—4）。

（b）広野火力発電所における防潮堤工事 ～東日本大震災後の津波対策～

2011年の東日本大震災は海溝型の大規模地震であったが、複数の学識者から、このタイプの地震は海溝の遠洋側で「アウトライズ地震」を誘発する事例が多く、今回もその切迫性が高まっていると指摘されている。このため、今回の東日本大震災で甚大な津波被害を受けた広野火力発電所について、このアウトライズ地震の震源にも近いことから、想定される地震による津波の数値シミュレーションを実施した。その結果、敷地の南側において広範囲の浸水が想定され、発電設備においても被害が予想されたことから、被害の軽減を目的として、高い津波の襲来が想定される発電所の南側に海拔10m（GL + 5.5m）、総延長240mの防潮堤を設置した（図—5）。



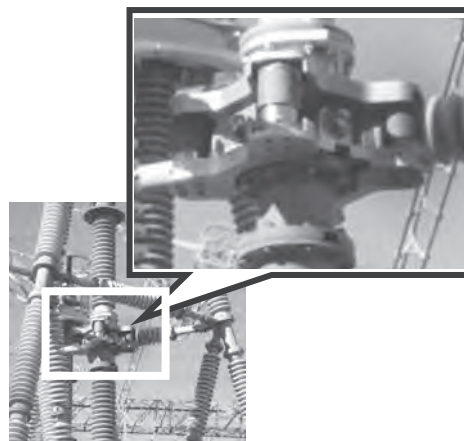
図—5 広野火力発電所防潮堤

（c）断路器支持物の耐震強化 ～東日本大震災後の設備損壊対策～

変電所などに設置されている断路器（電力設備の点検時などの際、電力系統から設備を切り離すための「スイッチ」の役目を持つ機器）は、陶器製の碍子で構成されている。このうち、断路器操作の部分の碍子は、可動性を確保するために「ピンジョイント」と呼ばれる継ぎ手を用いているが、東日本大震災の際には碍子



図—6（a）地震動により破損した断路器支持物



図—6（b）ピンジョイントと取り付けたダンバ装置

が破損した。これは、震動が設計基準を超えたためピンジョイントの変位量が可動限界に達し、継ぎ手の金具同士が衝突して碍子の破損に至ったと推測された。そこで、ピンジョイントへダンバ装置を追加設置し、変位量を抑える対策を実施した。加えて、碍子が支える導電部を軽量化し、地震動による変位量を抑制する対策も行った（図—6（a）（b））。

（2）復旧迅速化の実例

（a）復旧対応態勢の確立

災害発生時に設置する非常災害対策本部は、その責任と権限、要員をあらかじめ定め、対応態勢を迅速・円滑に整えられるようにしている。また、態勢に参加する要員については、夜間・休祭日にも速やかに招集できるように、自動呼び出しシステムを整備している。加えて、事業所での宿日直体制を常時敷いており、交通途絶等が起こっても最小限の要員で非常態勢を設置できるようにしている。

（b）復旧用資機材・工事力の確保

被災時の復旧用資材については、被害想定に基づき、適切な場所に確保することとしている。配電用の電柱や柱上変圧器については、各地にある資材センターなどに保管している応急復旧用資材および通常工事用の在庫で対応する。また、主要な送電・変電設備

の部品類で製作に時間がかかるものや特殊なものかつ重要と判断されるものについては予備物品を保有することとしている。

非常災害時の工事力確保の観点から、工事請負会社・メーカー・業務委託会社のうち、非常災害時に対応する会社を指定して協定を締結している。

さらに、他電力会社との間で復旧要員や復旧用資機材の相互応援を実施することを取り決めており、広域的な被害が発生した場合に備えている。この取り決めに関して、発生時に円滑に実施ができるよう、定期的に応援実働訓練も行っている。

(c) 発電車など特殊車両の配置

設備事故時や災害時に使用される特殊車両としては、①電力応急送電用②変電設備応急復旧用③通信設備応急復旧用と被災現場からの通信確保用④その他、に大別され、第一線事業所に分散配備している。主なものとしては、以下の種類がある。

- ①高圧発電車、低圧発電車
- ②車載型移動用変圧器・開閉器
- ③衛星通信車
- ④現地指揮車、緊急自動車、広報車

このうち、発電車は、病院や避難所、非常災害対策

本部等の復旧活動拠点に応急的な電力供給を行うものである（図一7）。

(d) 警察および自衛隊との連携

非常災害時に使用する車両については、各県の公安委員会（所轄警察署）に対して災害復旧用緊急通行車両の事前届け出を行い、災害対策基本法第50条1項に該当する「緊急通行車両指定」を取得している。

また、陸上自衛隊とは、災害発生時の相互連携を目的とした協定を締結している。各種災害発生時に被害情報などを共有し、当社の復旧資機材や人員の輸送や自衛隊の救援活動に必要な電力・通信回線の提供を行う。平素から共同訓練・会議を行い、災害対応時の課題を共有するとともに、災害発生時の役割を継続的に確認し、災害発生時に相互協力が円滑に行えるよう「顔の見える関係」の構築に努めている。

4. おわりに ～今後の自然災害への備えと電気事業の環境変化への対応～

今後、首都圏直下型地震や南海トラフ地震など大規模な地震への備えに加えて、最近の傾向として自然災害の激甚化があり、電力会社の万全な防災体制や災害



図一7 さまざまな特殊車両



図一8 電力広域的運営推進機関の役割（出典³⁾）

時の確実な電力供給に対する要請が高まっている。

一方で、東日本大震災を契機として、国の「電力システム改革」の検討が進み、わが国の電気事業が大きく変化する方向が示されているが、こうした動きが災害対策のあり方にも影響を及ぼすことになる。

電力システム改革の第1弾として、2015年4月から「電力広域的運営推進機関」が発足した。この機関は、電力の広域的運用を担っており、需給逼迫時等の緊急時には、すべての電気事業者に対して指示を行い全国的な電力需給の調整といった対応を行うこととなった（図—8）。また、当社は2016年4月からホールディング制に移行し、燃料・火力発電事業、送配電事業、小売事業のそれぞれが、持ち株会社の下の子会社として独立することとなる⁴⁾。

これらの体制あるいは事業の変化に対応した新たな災害対応の体制等を整備し、従来と変わることなく円滑に機能するように努めていくことがこれからの当社の責務である。

JCM A

《参考文献》

- 1) 東京電力 HP「数表で見る東京電力」
http://www.tepco.co.jp/corporateinfo/illustrated/electricity-supply/1253673_6280.html
- 2) 東京電力 HP プレスリリース「防災業務計画について」
<http://www.tepco.co.jp/cc/pressroom/bousai-j.html>
- 3) 電力広域的運営推進機関 HP「広域機関について」
<https://www.occto.or.jp/koiki/koiki/index.html>
- 4) 東京電力 HP「今年4月、東京電力は生まれ変わります」
<http://www.tepco.co.jp/kaikaku/HDSYS/index-j.html>

【筆者紹介】

北島 尚史（きたじま たかし）
東京電力㈱
技術・環境戦略ユニット
技術統括室長



橋梁架設工事の積算 —平成 27 年度版—

■改訂内容

1. 鋼橋編

- ・ 送出し設備における説明文章、写真の追加
- ・ 少数I桁橋の足場工及び防護工の一部改定
- ・ プレキャストPC床版工、場所打ちPC床版工の一部改定

2. PC橋編

- ・ 門構移動装置の新規掲載
- ・ ポストテンション桁製作工他、各工種の適用範囲の明確化
- ・ 横組工 地覆・高欄施工足場の記載
- ・ 緩衝ゴム設置工 新規掲載 ほか

3. 橋梁補修編

- ・ 足場タイプ別詳細作業内容の掲載
- ・ 落橋防止システム工の一部改定

- ・ ストップホール工の新規掲載

- ・ 塗替塗装 素地調整工の改定

- ・ はく離材による塗膜除去作業の注意点の新規掲載

■B5判／本編1,201頁（カラー写真入り）
別冊197頁 セット

■定価

一般：9,720円（本体9,000円）

会員：8,262円（本体7,650円）

※別冊のみの販売はいたしません。

※送料は会員・一般とも 沖縄県以外600円

注1) 沖縄県の方は一般社団法人沖縄しまたて協会
（電話：098-879-2097）にお申し込み下さい。

■発刊 平成27年5月21日

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 3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>

砂防堰堤を活用した小水力発電事業への 民間事業者としての取り組み

市 森 友 明・阿 曾 克 司・升 方 祐 輔

公共施設の有効活用と民間資金の活用を協同行う本事業は、「エネルギーの地産池消」「砂防堰堤周辺の環境向上」「県有施設の有効活用」という3つの方針を掲げ、民間の発電事業者を公募した事業で、今後20年間にわたる運営・管理を実施していくものである。このような取り組みは、石川県内では初めての取り組みであり、その形態は全国的にも事例の少ない先進的な事業である。

本稿では、民間事業者にとって太陽光発電事業に比して参入障壁が高いとされている小水力発電事業の様々なリスクを紹介し、石川県が管理する平沢川砂防堰堤を利用した小水力発電事業で、民間事業者として取り組む場合のリスクとその対応等について事業公募から設計・施工・運転管理を通じてのこれまでの取り組みを紹介する。

キーワード：再生可能エネルギー、事業リスク、小水力発電、砂防堰堤、民間資金活用

1. はじめに

平沢川砂防堰堤（写真—1参照）は、金沢市を流れる二級河川犀川水系の支川内川に合流する平沢川上流0.2kmに位置し、流域面積約10.8km²を有する砂防堰堤である。都市河川犀川への流出土砂防止を主目的とし、満砂するまでの期間、貯水ダムとして犀川の河川維持用水の一部を補給することを副次的な目的として、昭和57年に石川県により建設されたものである。本事業は、石川県が管理する当該堰堤の有効活用を図る目的で小水力発電事業者の民間公募がなされ、当社は、公募選定後、発電事業に関する基本協定を締結、各種許認可を経て、平成26年5月からの工事を

を行い、平成27年5月から運転開始を行っている。本稿では、民間事業者が取り組む小水力発電事業に関して、計画から運転開始までの取り組みについて紹介する。

2. 事業計画の概要と発電計画

(1) 事業計画の概要

本事業の発電計画は、既設砂防堰堤の落差を利用して発電を行うもので、取水方法は平沢川砂防堰堤流域に注ぎ込む流量を利用した新規水利権取得による流れ込み式発電計画である。

また、「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」（FIT制度）を利用した20年間の事業運営を想定しており、事業継続に関しては、20年経過時点での協議事項となっている。公共施設である砂防堰堤の活用と民間資金活用による小水力発電事業は、石川県内では初めての取り組みであり、その形態は全国的にも先進的な事例である。

本発電所の取水設備は、本堤右岸側の貯水側に新規に設ける。そこから堤体削孔により設置した導水管（φ800mm）を堤体前面に沿ってほぼ垂直に落とした後、延長約73mの埋設区間を経て、垂直壁袖部右岸端部を通過後に発電所を配置する。

発電所内には、水車発電機を1台設置し、最大出力198kWの発電を行った後、放水路を経て砂防堰堤副



写真—1 平沢川砂防堰堤

表—1 発電所諸元

水力発電方式	発電形式：ダム式
	発電方式：流れ込み式
出力	認可最大出力：198 kW
	想定年間発生電力量：970 MWh
水量	最大使用水量：1.5 m ³ /s
落差	有効落差：17.2 m
設備	水車：S型チューブラー水車 発電機：横軸三相誘導発電機 水圧管路：φ 800



図—1 完成イメージ図

表—2 事業経緯

H25年10月	公募による予定事業者として選定
H26年01月	石川県との基本協定締結
H26年02月	電力系統検討正式回答（北陸電力）
H26年03月	砂防法：砂防指定地内行為許可申請 河川法：水利使用許可申請
H26年03月	設備認定通知（経済産業省）
H26年04月	電気事業法：工事計画届出
H26年05月	工事着工
H27年05月	運転開始

堤から30 m下流の右岸に放流する。表—1に発電所諸元、図—1に完成イメージを示す。

また、公募選定後の事業経緯を表—2に整理して示す。

3. 民間事業者としての小水力発電事業参入のリスクと対応

一般的に小水力発電事業は太陽光発電事業に比して様々なリスクがあり、民間事業者にとっては参入障壁が高いとされている。発電設備（土木設備・電気設備・機械設備）の設計計画・施工・維持管理には、複合的に各専門分野における技術力が必要となり、事業実施

表—3 発電設備の導入状況¹⁾ (H26.3)

再生可能エネルギー発電設備の種類	固定価格買取制度導入前	固定価格買取制度導入後	
	平成24年6月末までの累積導入量	平成24年度の導入量 (7月～3月末)	平成25年度の導入量
太陽光(住宅)	約470万kW	96.9万kW	130.7万kW
太陽光(非住宅)	約90万kW	70.4万kW	573.5万kW
風力	約260万kW	6.3万kW	4.7万kW
中小水力	約960万kW	0.2万kW	0.4万kW
バイオマス	約230万kW	3.0万kW	9.2万kW
地熱	約50万kW	0.1万kW	0万kW
合計	約2,060万kW	176.9万kW	718.5万kW
		895.4万kW	

には資金調達力、地元調整力、関係機関との協議ノウハウが必要となる。このため、平成26年3月末時点の再生可能エネルギー発電設備の導入量は、表—3のようになっており他のエネルギー種別に比して導入量が少ない状況となっている。

また、導入が進まない理由として、小水力発電特有の阻害要因が挙げられる。その阻害要因を表—4に整理する。

表—4 小水力発電導入の阻害要因

阻害項目	内容
情報面	有望地点に関する情報が少ない。地点情報・流量情報の取得が困難
資金面	事業主体自らの資金調達が必要(FS調査・事業計画に多額の費用)
手続き面	水利使用許可の手続きが不可欠。
地域面	地元関係者(漁業組合、土地権利者)への説明・同意が必要。
技術面	機械・電気・土木・環境等の広範な技術分野に関する知見。
人材面	専門コンサルタントの支援が必要だが、人材不足。

小水力発電事業への参入を望む民間事業者にとって、有望地点に関する情報が少なく、河川流量などの基礎情報の取得が困難な点が挙げられる。これらの有望地点を事業者自らが調査するFS調査や事業計画を行うだけでも、多額の費用を投資する必要がある、阻害項目として資金面が挙げられる。

また、小水力発電の事業化にむけては、機械・電気・土木・環境等の広範な技術分野に関する複合的な知見が必要となり、それに対応する人材が不足している点も導入を阻害している要因である。

これらの阻害要因をクリアした有望地点において、民間事業者が小水力発電事業の計画段階および実施段階に様々なリスクを克服する必要がある。平沢川小水力発電事業においても公募選定前には、表—5に示すような事業実施上のリスクが想定された。これらを個別に解決しながら、発電計画を立案し、最終的には、事業性評価を適切に行った上で事業参入を判断する必要がある。

表―5 当該事業の想定リスク

	リスク項目	リスク想定規模
計画段階	用地取得リスク	中
	立地リスク	小
	水利利用リスク	小
	系統連系リスク	小
	環境・住民対策リスク	中
	許認可リスク	中
	設計・仕様リスク	小
	設備・機器調達リスク	中
実施段階	事業性評価	大
	設備機能リスク	中
	関係者倒産リスク	小
	不可抗力リスク	小
	コスト上昇リスク	大
	設備撤去リスク	大

(1) 発電計画における想定リスクへの対応

表―5で整理した想定リスクの内、本稿では水利使用リスク・許認可リスクおよび事業性評価についての留意点とその対応を記載する。

(a) 水利使用リスク・許認可リスク

小水力発電を行う際には、水利使用の申請が欠かせない。新たに発電を行う場合の水利使用に関する法的手続き・各種申請手続きが煩雑となるケースがあるため、売電単価を確定させる設備認定取得を遅滞なく行うよう事業工程では留意する必要がある。

小水力発電所の工事着工に至るまでには、各関係機関への申請諸手続きが必要となる。特に、新規水利権が必要になる小水力発電においては、河川法第23号に基づく「流水の占用」の申請手続きを踏む必要がある。この申請に関しては、利害関係者の同意手続きに時間を要するケースがあり、同様に留意が必要である。公募時点では、河川減水区間の発生や維持流量の放流等の可能性があり、用地取得、事業性に係るリスクとして選定前に認識されていた。

発電所の位置は、有効落差・年間発電電力量や経済性で評価し、石川県所有の砂防区域用地内となる砂防堰堤直下に発電施設を設置する発電所計画案を選定した。このため、河川減水区間がなくなり、新規水利使用による影響（治水、他の河川占用者、漁業権、史跡・名勝など）がないことが確認でき、諸手続については事業工程へ進捗に影響がなく遂行できた。

(b) 事業性評価

事業者として発電所を長期にわたり運営する決断をするためには、事業性の適切な評価が重要である。具体的には、売電収益と初期投資や維持管理のランニン

グコストとのバランスに留意することが必要であり、これを具現化する発電計画にこそ事業者にとって最も重要なノウハウが詰め込まれる。売電収益では、平沢川の流況曲線から、規模振りと呼ばれる収益シミュレーションにより、適切な使用水量を設定し、水車選定の諸元を規定する。水車選定においては、調達リスクを考慮し、流量変動に対応可能な水車でかつ発電効率のよい形式を経済性に留意し検討を行う必要がある。支出面でのコスト把握では、発電計画を実現する施設の適切な設計とそれに対応した建設費の適切な把握、保守的すぎない維持管理計画の策定とメンテナンス費用の想定などが重要で、不可抗力リスクを考慮したコンティンジェンシーコストの積み上げも事業性に影響する。ここでは、事業性評価に影響する主な部分を記載する。

本発電事業の事業性評価に関しては、NPV（正味現在価値）、IRR（内部収益率）を指標として判断した。

$$NPV = \left\{ \frac{1\text{年目の収益額}}{(1+r)} + \frac{2\text{年目の収益額}}{(1+r)^2} + \dots + \frac{n\text{年目の収益額}}{(1+r)^n} \right\} - \text{初期投資額}$$

NPV>0：そのプロジェクトに投資すべきである

$$NPV = \text{初期投資額} + \frac{1\text{年目の収益額}}{(1+IRR)} + \frac{2\text{年目の収益額}}{(1+IRR)^2} + \dots + \frac{n\text{年目の収益額}}{(1+IRR)^n} = 0$$

IRR>割引率：そのプロジェクトに投資すべきである

民間事業者がFIT制度を利用して発電事業を行う場合、建設コストに絡む補助事業の適用はできないため、資金調達は、自己資金もしくはファイナンスによる調達が必要である。事業採算性では、資金調達（借入れ先・金利・調達期間）方法等の借入条件を定めることに加えて、運転開始後（売電開始）の支出に相当する維持管理費（機器メンテナンス・人件費・保険料・各種占用料）の想定が重要である。

運転開始後の収益性に関しては、売電収入に係る法人税・固定資産税等の各種納税、融資金利の返済を考慮した上で剰余金の累計が借入金残高を上回ることによって投資回収年が評価できる。

本発電事業の運営期間の損益計算においては、収益は年間発生電力（約970MWh）による売電収入（約3,300万円／年）を想定している。本事業の採算性に関しては、kW当り建設単価160万円/kWを採算性の目安として定め、初期投資額C310百万円（建設費・調査設計費・系統連系負担金）に対して維持管理（8百万円／年）に係る支出項目を想定して長期間における事業性評価を行い、IRR（内部収益率）3％程度と評価し、事業参入への最終判断を行った。

また、事業化の際に多額の資金を投入する発電事業



図一 資金調達の一例

においては、金融機関等からの融資や出資、自己資金等による初期投資費用の資金調達の手当てが重要である。図一 2 に資金調達の一例を示す。

長期間にわたる発電事業において、多額の融資・出資をうける際には、各発電計画の妥当性と、安定した収益構造、運営企業としての信頼性が重要な審査基準となる。また、融資先からの金利は、事業採算性へも影響するため、事業性評価をシミュレーションするうえでのレート設定は重要な要素である。

(2) 発電計画

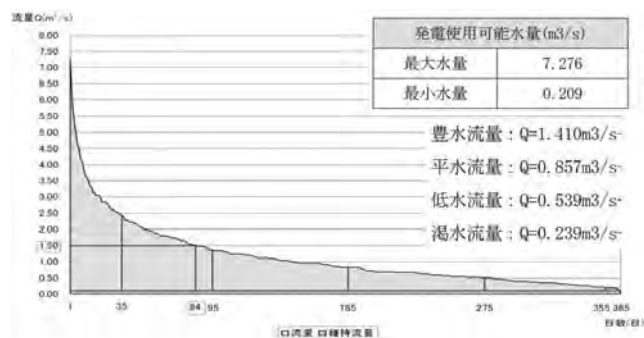
(a) 発電規模の設定

本計画では、砂防区域内に導水管路を含む発電施設を全てコンパクトに配置することで損失水頭の低減（効率性アップ）と、既設砂防堰堤の改変を最小限に留めた（コスト縮減）計画とした。最大使用水量の設定にあたっては、河川流況を鑑みた適用管径と収支に影響する FIT 制度の適用区分（200 kW 未満）、発電電力量等を考慮し、198 kW と設定した（表一 6）。

表一 6 最大使用水量と最大出力

Q:最大使用水量(m ³ /s)	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
D:管 径(mm)	φ 800	φ 800	φ 800	φ 800	φ 800
V:管内流速(m/s)・①	2.59	2.79	2.99	3.18	3.38
V0:許容流速(m/s)・②	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
判定(①≤②)	○	○	○	×	×
最大出力 P=9.8*Q*17.2m*78.6%	172kW	185kW	198kW		
採用ケース					
Qmin:最低使用水量 (最大使用水量×30%)	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51
年間発電電力量(kWh)	945MWh	955MWh	979MWh	—	—
設備利用率	62%	59%	56%	—	—

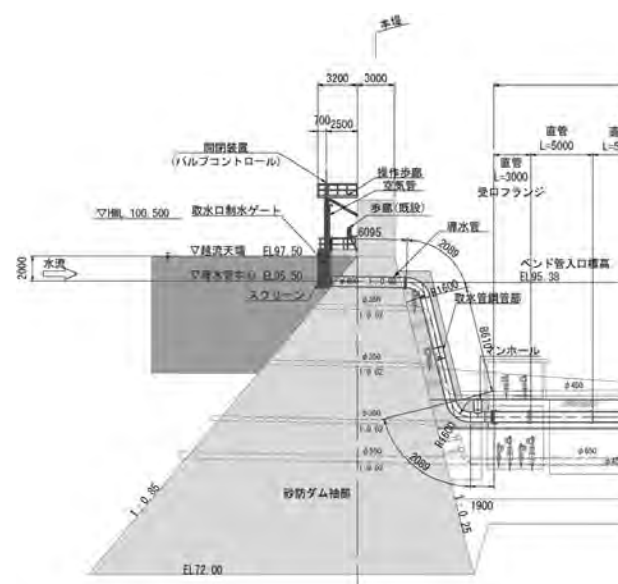
また、売電収入に直結する想定発電量を推定する際の河川流況は、実流量データに基づき設定することが望ましい。本発電計画では、石川県観測の平沢川砂防堰堤の実流量データ（2008～2012年）を基に流況整理（図一 3）を行ったことで、精度の高い発電量が推定でき、設備利用率は 56 % 程度の規模とした。



図一 3 平沢川流況曲線図（5ヶ年平均）

(b) 施設計画

平沢川砂防堰堤のこれまでの堆積状況を勘案しても発電事業期間における湖面湛水の取水が可能である施設であると判断した。本発電所の取水方法は、砂防堰堤の越流天端（EL = 97.50 m）より、2 m 下がり（空気混入防止）に取水管（鉄管φ 800 mm）を設置（EL = 95.50 m）し、流れ込み式により取水を行う（図一 4）。取水口部分は堤体削孔による取水管挿入を行い、取水口から下流の導水管は、堰堤前面に沿わせた後、発電所までの区間を地中埋設による配管でつなぎ、垂直壁下流の護岸工部分で放流する計画である。



図一 4 平沢川砂防堰堤取水構造

水車の選定は、比較的大きな流量変動に対応可能で、ランナーベーンの変態により軽負荷でも高い効率を有する S 型チューブラ水車を採用した（表一 7、写真一 2）。設置の水車姿図を図一 5 に示す。

(3) 建設工事

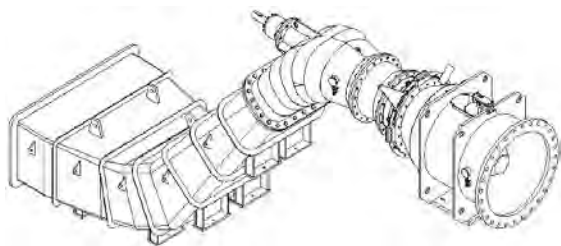
平沢川小水力発電所の発電用の新規取水口は、ダム堤体を削孔し取水管を設置する計画である。砂防堰堤

表―7 水車概要

水 車 本 体	
形式	横軸 S 型チューブラ水車
定 格 事 項	
有効落差	最大 17.17 m
使用水量	最大使用水量 1.5 m ³ /s
定格出力	208 kW 程度
回転速度	900 min ⁻¹
回転方向	発電機から見て反時計方向
性能・要求事項	
材質	ケーシング SS400 t = 6 ランナペーン SCS6 軸 SUS420J2
流量調整機構	ガイドペーンもしくはランナペーンにより 流量調節
過速度耐力	最大無拘束速度において 2 分間
最大速度変動率	最大無拘束速度相当



写真―2 水車内部の可変翼



図―5 S型チューブラ水車

水通天端まで常時湛水しているダム貯水位を低下させ、流水に対して安全な施工を実施する必要があった。幸いにも既設砂防堰堤には、緊急的に河川維持用水を放流する放流バルブ（口径 350 mm）が異なる高さで 2 基設置されており、これを利用して水位低下を図った。また、ダム水位低下を図る放流にあたっては、平沢川砂防ダム施設操作規則に従い実施する必要がある、既設放流管の排水能力約 0.5 m³/s を有効に活用しながら 1 日約 2.0 m 以上の水位低下を行わないよう実施した（図―6）。

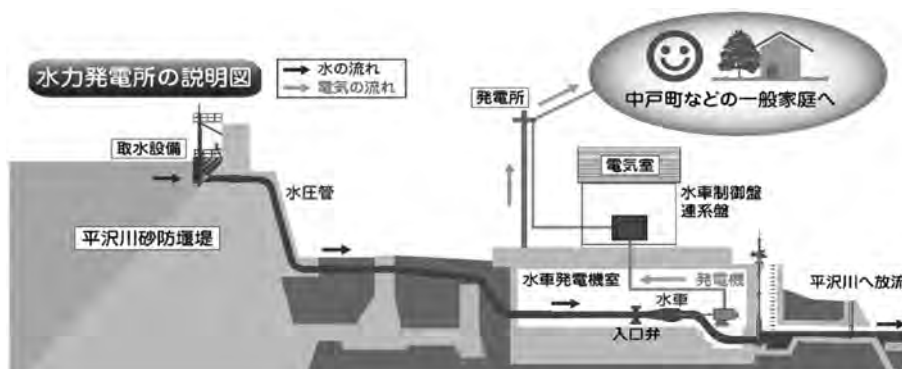
工事工程においては、水力発電にとって好ましい安定した 10 月以降の流況ではダム貯水位低下・維持が図れず取水工工事が困難な状況が想定されたことから、渇水期（8～9 月）を工程のクリティカルとし、実工事では、日々の天候と降水量をみながら「砂防堰堤削孔工」「取水架台設置工」「取水ゲート据付工」「スクリーン設置工」の工事を実施する必要があった。

写真―3 は、ダム水位低下を図った後、堤体をコアボーリングとワイヤーソーで削孔した開口部に堤体下流側から取水管（鋼管 φ 800 mm）を挿入する様子。写真―4 は、ダム水位低下を図り、取水口ゲート・スクリーン据付完了の様子。

水力発電所の機関となる水車発電設備は、水車発電



写真―3 取水管挿入状況



図―6 平沢川小水力発電所 概要説明図



写真一4 取水口ゲート据付完了



写真一7 平沢川小水力発電所 全景

機室の土木工事完了を引き継ぐ工程で着手し、10月上旬から入口弁・水車・ドラフトチューブの据付を行った(写真一5)。

水車発電機室への水車据付後(写真一6)は、操作盤を含む計装機器と配電線等の電気・機械設備工事の本格着手となり、平成27年2月には有水試験の準備が整い、発電所としての各種試験調整を開始した。試験調整は、運転開始後の正常稼動に重点をおき、初動トラブルを克服しながら、平成27年5月に「平沢川小水力発電所」としての本格運転を開始した(写真一7)。



写真一5 水車据付状況



写真一6 水車発電機据付完了

(4) 運転管理

水車発電機の電気・機械制御は、発電所内の動力制御盤・計測監視盤により水位観測、流量・圧力等の観測を行うが、これらの操作・監視はWeb監視システムによる24時間運転管理を行っている(図一7)。



図一7 遠隔監視システム

本遠隔監視システムは、運転状況の確認や設備の不具合を早期に発見し、迅速な施設の保全が可能である(写真一8)。また、運転管理日報を自動作成し、事務作業の低減を図る遠隔監視を行うことで、長期の運転管理・維持管理の面で、大きなメリットが期待される。

(5) 今後の課題

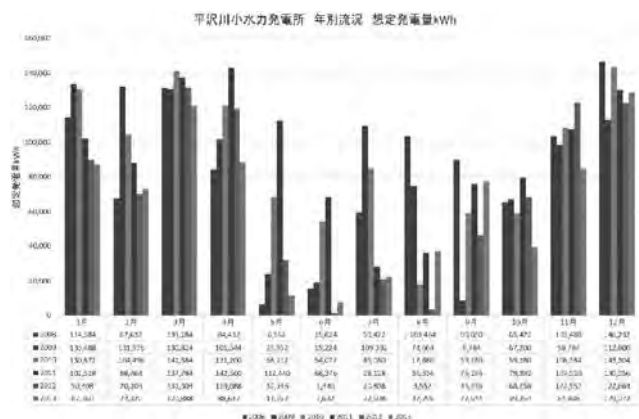
本施設は平成26年5月から約1年間の施工・試験



写真一8 発電出力パネル

調整を経て平成 27 年 5 月からの運転開始を行っている。今後、運転開始後の施設の維持管理が事業運営上、大変重要であると考えている。小水力発電所は、適切な維持管理を行うことで、20 年以上にわたる運転が十分に可能である。このため、21 年目以降の FIT 制度終了後の運用を見据え、計画当初に想定していた維持管理費（法令点検・除塵作業に係る人件費および水車補修修繕費、事務費、保安電気量、保険料、土地流水占用料）の中で、維持管理の効率化を図った維持管理費削減への取り組みを実践していきたい。

また、各年の事業収入（売電収入）は、毎年の河川流況に左右される。運転開始前の直近 6 ヶ年（2008～2013 年）の実測月別流況から想定した月別発電量（図一 8）をみても、渇水期 5 月～9 月の想定発電量は、毎年の変動が予測されるが、10 月～4 月の発電量は、毎年安定した流況が見込める。20 年間の長期の事業運営を行っていくうえで、これらの過去の流況からなる想定発電量を参考にしながら、各年のトータル発電量を監視し、毎年および累積年のキャッシュフローにより事業性を評価していく必要がある。



図一 8 過年度流況からの月別想定発電量

運転開始後の発電事業の事業収支に加えて、小水力発電を通じた地域貢献が不可欠で、地域に根ざした事業運営と小水力発電普及に向けた PR に積極的に取り組む考えである（写真一 9）。

4. おわりに

小水力発電は、自然と森の恵みである水の力を活か



写真一 9 事業者による砂防堰堤周辺の除草作業

すクリーンなエネルギーであり、これからの再生可能エネルギー利用の柱として普及促進を図っていく必要がある。小水力発電の普及促進には、公共施設の有効活用と民間資金の活用を協同で図り、小水力発電そのものの導入を図っていく必要があるが、その前提として民間事業としての採算性確保が大切である。弊社は本発電事業で培ったノウハウのさらなる展開を視野に、この再生可能エネルギー分野の裾野拡大に寄与していきたいと考えている。

J C M A

《参考文献》

- 1) 経済産業省：再エネ設備導入状況（2014.6.17）

【筆者紹介】

市森 友明（いちもり ともあき）
㈱新日本コンサルタント
代表取締役社長



阿曾 克司（あそ かつし）
㈱新日本コンサルタント
専務取締役



升方 祐輔（ますかた ゆうすけ）
㈱新日本コンサルタント
設計計画本部 水環境部 流域保全グループ
課長



多摩地区の送水管ネットワーク構築

多摩丘陵幹線のトンネル技術

溝 口 博 文・西 本 徹・藤 井 雄 輔

東京都水道局では、災害や事故時におけるバックアップ機能の強化や、今後、本格化する送水管の更新に備え、送水管ネットワークを強化することに積極的に取り組んでいる。

このうち、多摩丘陵幹線は、多摩地区の広域的な送水管ネットワークを構築することを目的として平成9年度に整備を開始し、平成26年度に完成を迎えた。

本稿は、多摩丘陵幹線の整備にあたり、多摩地区の変化に富んだ地形や地質に合わせて施工したシールドトンネルの急曲線施工や巨礫対策、さらには地中接合など多様な施工技術を紹介するものである。

キーワード：シールド、急曲線、巨礫、地中接合、ネットワーク

1. はじめに

多摩地区における送水幹線は、多摩地区北部に位置する東村山浄水場や小作浄水場を起点として南方向に樹枝状に整備されてきた。また、多摩地区西南部においては、都市化の進展に伴う水需要の増大から、既存の送水幹線の能力が限界に達しつつあるとともに、これら管路の老朽化の進行による更新が必要であった。さらには、浄水場や給水所間の相互融通が不十分なため、バックアップが困難な地域が存在するなどの課題を抱えていた。

多摩丘陵幹線はこうした課題を解決し、広域的な送水管ネットワークを構築することを目的として、全線31.6 kmを2つの整備区間に分割し、シールド工法により整備したものである。

このうち第一次整備区間は、鏈水小山給水所から聖ヶ丘給水所間の延長12.0 km区間で平成9年度から着手し、平成17年度に完成・運用している。

本稿では、平成26年度末に完成した第二次整備区間の概要と、多摩丘陵の地形に合わせた急曲線や礫対策など、多様な工法を用いたトンネル築造工事について紹介する。

2. 第二次整備区間の概要

第二次整備区間は、拝島給水所から鏈水小山給水所間の延長19.6 km区間、拝島給水所、櫛田ポンプ所、大船増圧ポンプ所など送水施設、丹木高月支線、川口西寺方支線など送水支線12.2 kmがあり、平成14年

度から着手し、平成26年度末に完成・運用している。

第二次整備区間の完成により、多摩丘陵幹線全線の運用がはじまり、多摩地区西南部約160万人のお客様への給水の安定性が向上した（図—1, 2）。

(1) 第二次整備区間の全体概要

第二次整備区間の整備内容は以下のとおりである（図—3）。

(a) 整備施設

①送水幹線

内径1,500 mm L = 19.6 km

（8工区に分割しシールド工法により施工）

②送水支線

丹木高月支線、中野上町川口線

川口西寺方支線、第二檜原支線

狭間支線、大船支線

③送水ポンプ所等

拝島給水所、櫛田ポンプ所

大船増圧ポンプ所

(b) シールド緒元

1工区：複合式シールド（土圧式・泥水式）

2～8工区：泥水式シールド

3. 各工区における技術的課題と対策

第二次整備区間の特徴的な工区における技術的な対策について、以下に記述する。

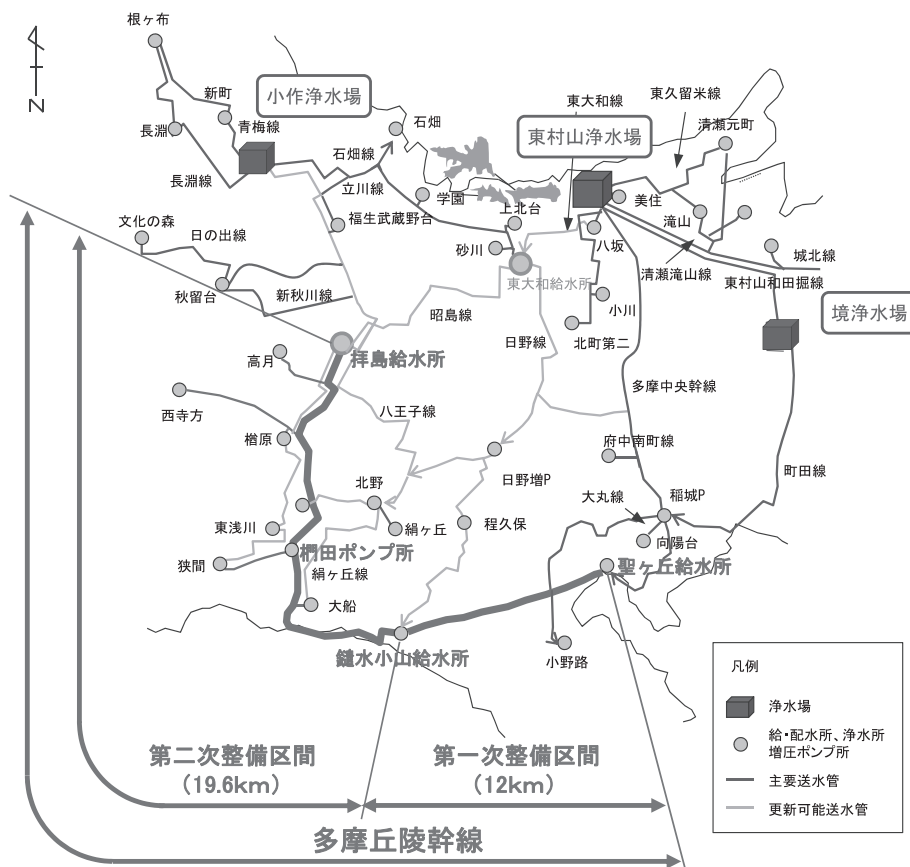


図-1 多摩丘陵幹線整備図

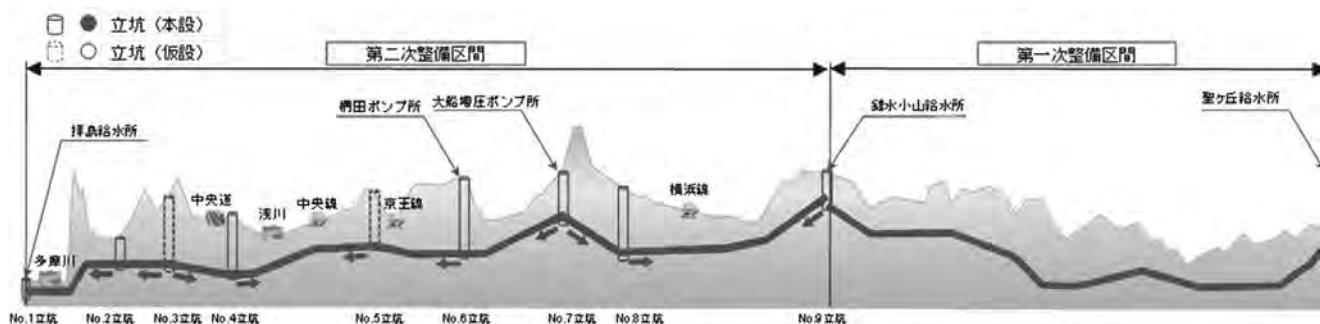


図-2 多摩丘陵幹線縦断面図

(1) 1 工区

本工区は、八王子市丹木町の No.2 立坑を発進し、発進後 20 m 程で急曲線 ($R = 20 \text{ m}$) に入り、加住丘陵と呼ばれる丘陵山間部下を通過する。その後、多摩川水道橋直下を掘進しながら多摩川を横断し、拝島給水所内の No.1 立坑へ急曲線 ($R = 20 \text{ m}$) で到達する全長 2.4 km の工区である (図-3)。

(a) シールドの特徴 (複合地盤での急曲線対策)

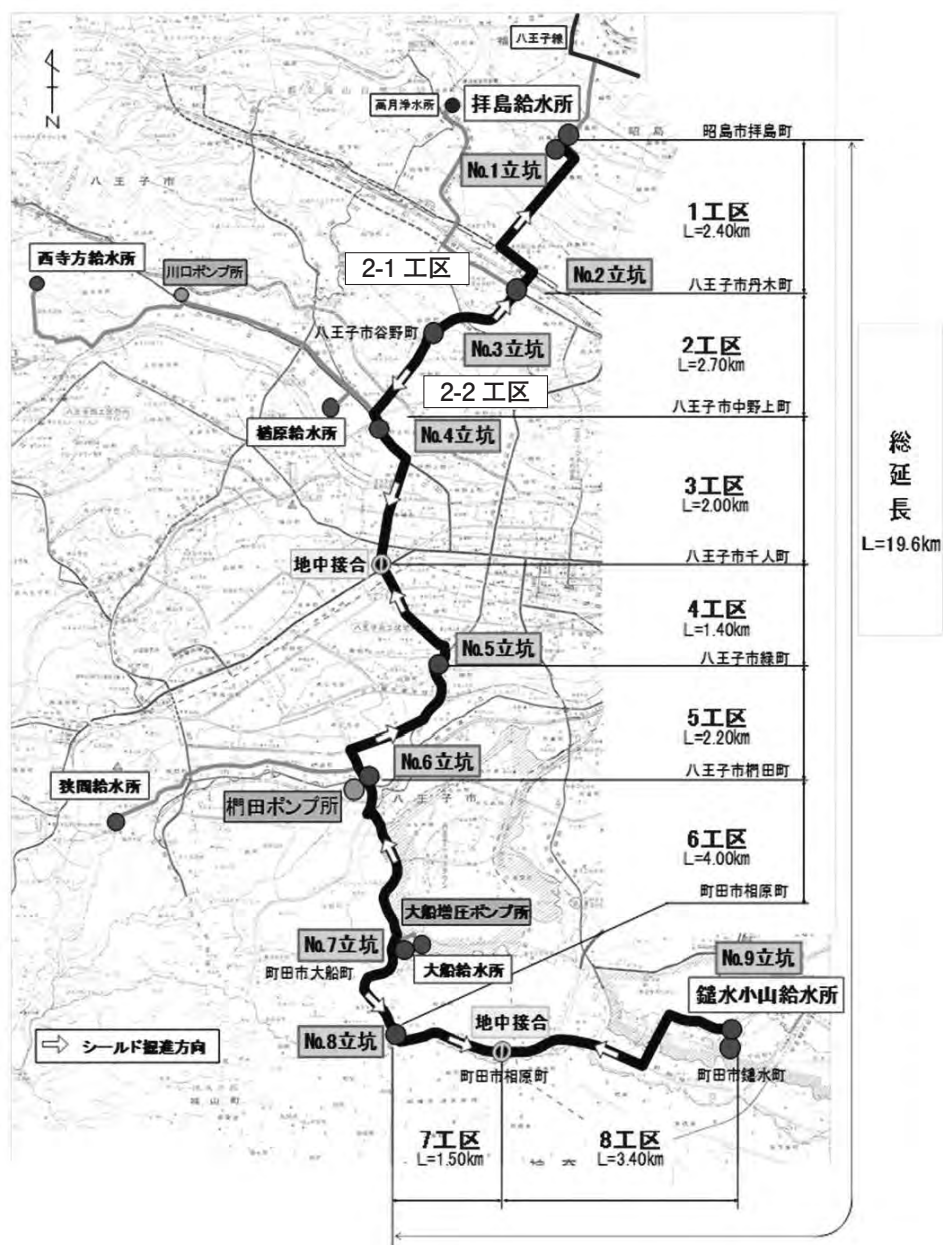
多摩川流域の半固結の粘性土層と、巨礫が点在する半固結の礫層を掘削するため、逸泥やビット摩耗による掘進停止等のリスクがあることから、土圧式・泥水式の双方に掘削モードを切り替えることが出来る「複合式シールド (マシン外径 2,520 mm)」を採用した (写

真-1)。さらに、路線上の急曲線 ($R = 20 \text{ m}$) に対応するため、マシンの面盤には予備を含めコピーカタを 2 基搭載した。テールブラシは、曲線部において大きな負荷を受けるため、より反発性の高いウレコン式を採用した。また、セグメントとマシン間からの地下水流入対策として、テールブラシ自動給脂装置を装備した (図-4, 5, 写真-1)。

(b) 迎え掘りによる矩形立坑への急曲線到達対策

本工区の到達工は、急曲線を含む線形のため、シールドの面盤が、ニューマチックケーソン工法により築造した矩形立坑へ斜めに到達し、迎え掘りの施工範囲が発生する (図-6)。

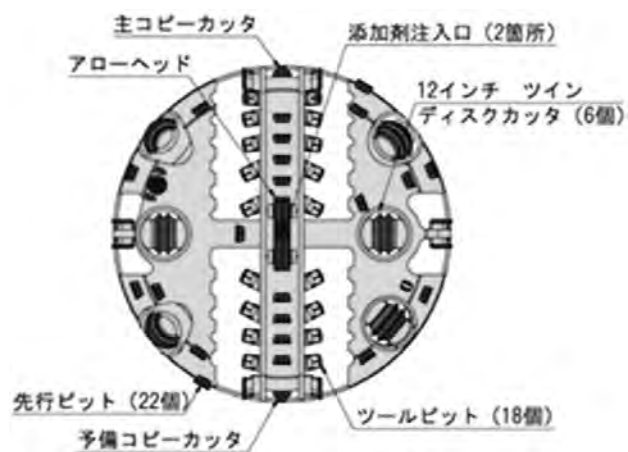
「迎え掘り施工範囲」には、シールドの面盤とケー



図一3 第二次整備区間整備概要図



写真—1 複合式シールド



図—4 複合式シールド面盤

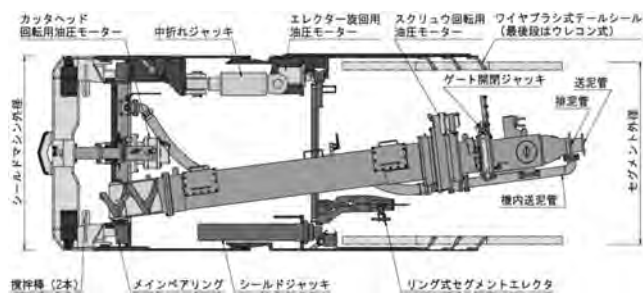


図-5 複合式シールド

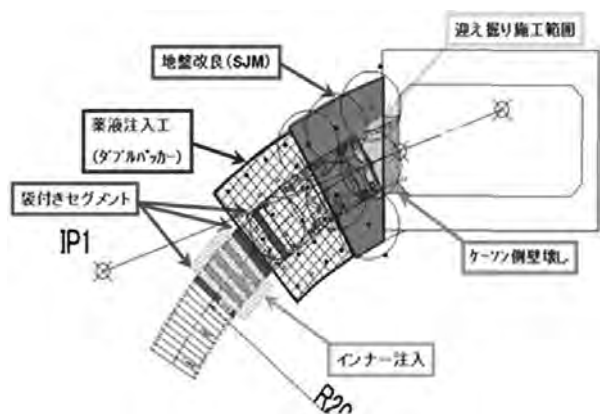


図-6 1工区シールド到達状況

ソン側壁にスペースが生じることや、急曲線施工の余掘りによる空洞が発生するため、地下水の出水事故やそれに伴う地盤沈下、シールドの掘進不能が懸念された。

そこで、止水性を確保するため、No.1立坑（到達）の坑口周辺地盤を高圧噴射攪拌工法（SJM工法）により改良し、背面地盤に薬液注入（ダブルパッカー工法）を行った。また、袋付きセグメントを止水注入ゾーン前後に使用し、掘進時に生じる余掘り部分からの裏込材等の流出を防止した。

止水対策が効果的に機能したことから、シールド抜き出し時における出水もなく、シールドは安全に撤去できた（図-6、写真-2、3）。



写真-2 1工区シールド到達状況



写真-3 1工区シールド抜き出し状況

(2) 2工区

本工区は、八王子市谷野町210番地のNo.3立坑を発進し、八王子市丹木町一丁目地先のNo.2立坑に到達する2-1工区1.2kmと同No.3立坑を発進し、八王子市中野上町五丁目地先のNo.4立坑に到達する2-2工区1.5kmを合わせた計2.7kmの工区である（図-3）。

本工区ではコスト縮減を図るため、シールドを再利用することとし、2-2工区を掘進したシールドを引き上げ、シールドの再整備後、2-1工区の掘進を行った。

(a) シールドの特徴（巨礫、急曲線対策）

カッタービットは、ガラス繊維補強部材（FFU材）を配置したシールド直接発進到達壁（SEW壁）の立坑を切削するための特殊先行ビット、巨礫対応のローラカッターを配置した。先行した2-2工区掘進完了後におけるシールドの調査で、カッタービットの摩耗が激しかったことから、2-1工区を安全に掘進できるようビットの交換を行って対応した。

シールド本体は、急曲線（ $R = 20\text{ m}$ ）や最大水圧が0.3 MPaを超える区間に対応するため、後胴押し方式の中折れ機構に加え、ワイヤブラシ式テールシールを3段設置し、掘進の安定性や止水性能の向上を図った。また、FFU部を安定した微速度で掘進するため、シールドジャッキのパワーユニットに通常掘進するものとは別に、SEW壁用の低速パワーユニットを装備した。

(b) 出水リスクを最小限とした到達対策

先に掘進した2-2工区における到達工は、地下水位が高く、SEW壁のNo.4立坑に直接掘削により到達させるため、出水等の事故が懸念された。このため、No.4立坑内に流動化処理土を充填後、シールドによるSEW壁直接切削を行った。

一方、2-1工区の到達立坑は原位置土攪拌工法（SMW工法）により築造されており、2-2工区と同様に鏡切

り後のシールド抜き出し時に出水する危険性があった。そのため、流動化処理土の充填を検討したが、No.2 立坑内における 1 工区の発進工が同時期に施工中であったことから、シールドを No.2 立坑直前の地盤改良区域 (CJG 工法) で停止させた。そのうえで、背面から止水のための薬液注入 (ダブルパッカー工法) を行った後、鏡切断、マシン内部の機器類解体、セグメントの空伏せを行い、トンネル掘削を完了させた (写真—4)。



写真—4 2工区シールド到達状況

(3) 3, 4 工区 (地中接合)

3 工区は、八王子市中野上町 5 丁目の No.4 立坑を発進し、東南方面に掘進する。その後、多摩川水系浅川下部を横断し、八王子市千人町一丁目地先の地中接合地点に到達する延長 2.0 km の工区である。

一方、4 工区は、八王子市緑町 361 番地先の No.5 立坑を発進し、八王子市千人町の地中接合地点に到達する延長 1.4 km の工区である (図—3)。

(a) 3 工区シールドの特徴 (複合地盤での長距離、急曲線対策)

礫地盤と泥岩の複合地盤を長距離掘進するため、ビットの摩耗対策として強化先行ビットを装備した。また、急曲線 ($R = 20 \text{ m}$) に対応するため、中折れ機構を装備し、急曲線部の余掘りを確保するためにコピーカッタを装備した。

(b) 4 工区シールドの特徴 (巨礫対策)

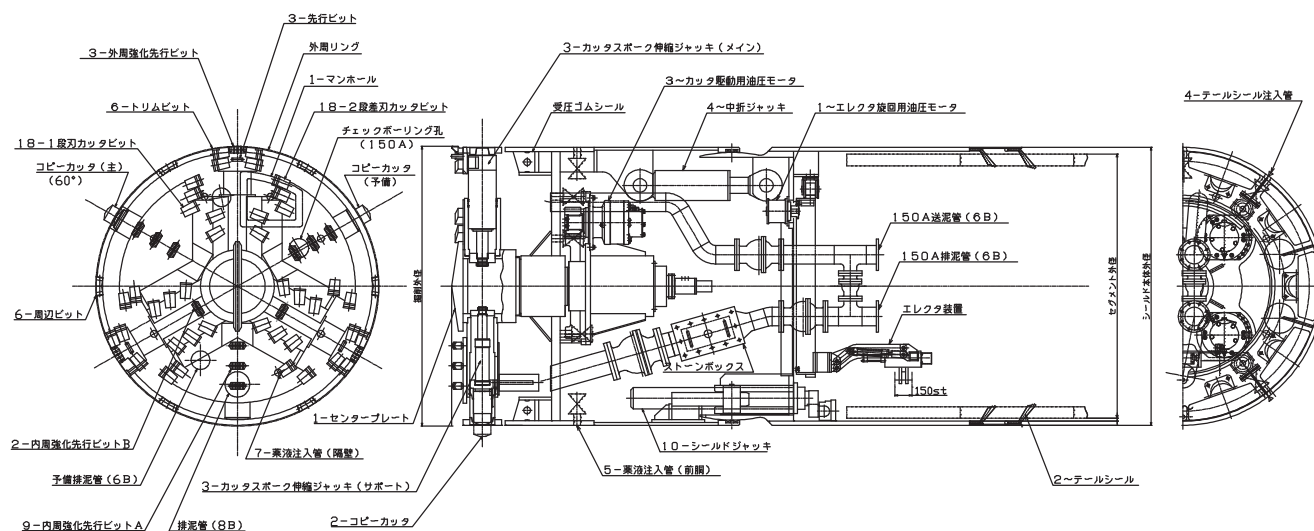
掘進する土質が最大径 400 mm 程度の礫が点在する礫層及び粘着力の高い泥岩層それぞれに対応できるようカッタビット形状・配置、面盤形状、スリット形状を考慮したものとした (図—7)。

初期掘進区間の土質は坑口から約 70 m が砂層であり、その後は礫層であった。いずれも粘性土分をかなり含んでおり泥水性状 (比重, 粘性) を確保する上では良好な地質であったが、礫層では巨礫 (長径 200 ~ 300 mm 程度) による排泥管閉塞が頻繁に発生したため、排泥管内の礫除去作業を行いながら掘進した。

(c) 市街地での高精度な地中接合 (MSD 工法)

シールド到達箇所は交通量の多い国道 20 号線 (甲州街道) 千人町交差点付近であり、JR 中央線西八王子駅から 200 m 圏に位置する商店や住宅の密集する市街地である。このことから、到達立坑の築造が不可能であったため、MSD 工法による地中接合を採用した。

MSD 工法は貫入リングを装備したシールドと受圧ゴムリングを装備したシールドを機械的に正面接合させる工法である。通常 MSD 工法による地中接合では、相互シールドの地中での位置合わせが重要となる。そのため、地上あるいはシールド内から位置確認し、その確認結果に基づいて接合までの修正掘進を



図—7 泥水式シールド (MSD 受入側)

行っていく。

しかしながら、4工区の発進立坑となる No.5 立坑用地を地権者に返地する必要があるため、4工区の配管を3工区のシールドが到達する前に行うこととなった。このため、No.5 立坑側より水平ボーリング機械の持

ち込みが出来ず、シールド内からの測量による位置確認が出来なくなった。

そのため、地上で3工区と4工区の位置関係をトラス測量で閉合させた後、No.4 立坑（3工区）からジャイロコンパスを用いた方向角のチェック測量を地上・地下部で実施した。これにより、精度の高い地中接合を行うことができた（図—8、写真—5）。

(4) 7工区, 8工区 (地中接合)

7工区は、町田市相原町 2781 番地の No.8 立坑を発進し、一般都道 506 号線（八王子城山線）下を南方面に、また、主要地方道 47 号線（八王子町田線、町田街道）を東方面に進んだ後、町田市相原町 1241 番地先の地中接合地点に到達する延長 1.5 km の工区である。

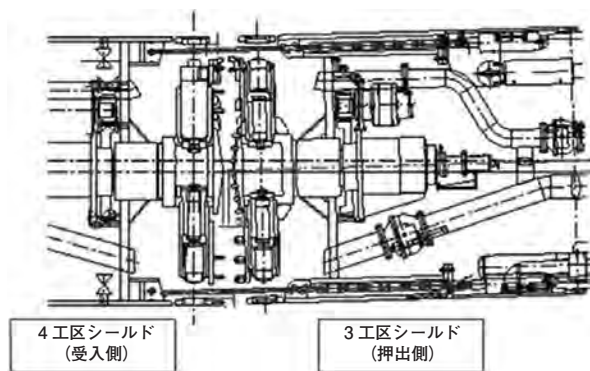
一方、8工区は鑪水小山給水所用地内の No.9 立坑を発進し、町田市相原町 1241 番地先の地中接合地点に到達する延長 3.4 km の工区である（図—3）。

(a) 7工区シールドの特徴

急曲線（ $R = 30\text{ m}$ ）の区間を掘削するため、中折れ機構およびコピーカッタを1基装備した（図—9）。また、No.8 立坑抗口部は、SEW 工法にて施工していたため、低速パワーユニットを装備した。

(b) 8工区シールドの特徴

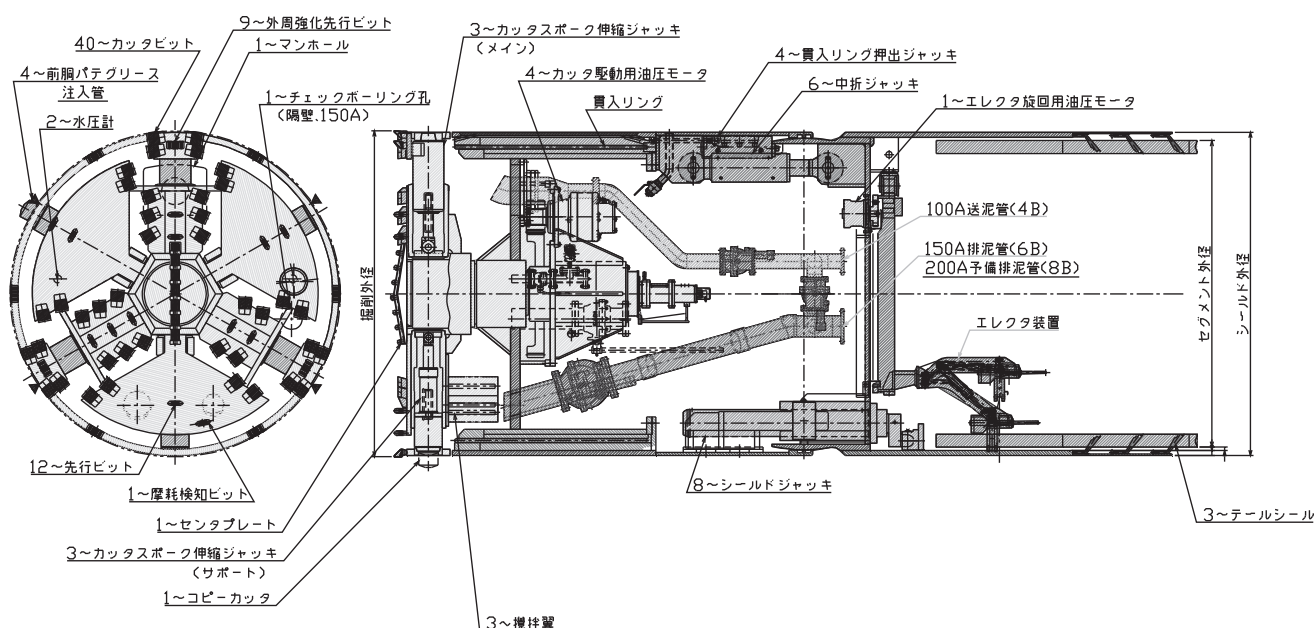
路線上には急曲線（ $R = 45\text{ m}$ ）があることから中折れ機構を装備し、また、到達点では7工区側との地中接合になるため、機械式地中接合装置（受入側）を装備した。



図—8 MSD 工法概要図



写真—5 シールド到達状況（正面は受入側シールド）



図—9 泥水式シールド

(c) 巨礫層への対応 (8 工区：シールド発進位置の変更)

当初、No.9 発進立坑の柱列式連続地中壁 (ECW 工法) 完了後、立坑内掘削を開始する予定であったが、床付け前の GL-17.0 ~ 19.0 m 間において、事前の土質調査で確認できなかった巨礫 (最大 750 × 250 mm) が発見された。シールドの改造を検討したが、地中接合機能への影響や、機械断面 (内空) 縮小によるビット自動交換システムの動作不能が懸念された。そのため、立坑を更に掘り下げ、シールドの発進位置を当初計画より 4.2 m 深い位置に変更することで巨礫層を回避した。

(d) 掘削機 (カッタビット) の補修 (8 工区)

施工段階のボーリング調査の結果、N 値 150 以上の地盤が想定以上に続いた。さらに、7 工区の進捗の遅れから、8 工区の掘進距離を 990 m 追加することになった。そのため、ビットの摩耗が当初設定値を大幅に超える値となることが予測され、ビット補修・増設の必要が生じた。

ビット補修・増設は、初めに、シールド外部に地盤改良 (ダブルパッカー工法) を実施し、地山の安定を確保した。次に、シールド内部より切羽前方に入り、掘削地山をモルタル吹付けで養生後、地山変状を入念に監視しながら行った。

(e) 幹線道路での高精度な地中接合 (MSD 工法)

シールド到達箇所は町田市の市街地であり、立坑用地の確保ができなかったため、MSD 工法による地中接合を採用した。

当初、地中接合箇所において、後行シールド (7 工区側) が接合地点に近づいた時点で、先行シールド (8 工区側：既に停止位置に到達してシールド内設備が解体撤去されている状態) から水平ボーリングにより、位置確認を行う予定であった。

しかしながら、掘削に時間を要していた後行シールド (7 工区側) の遅延を取り戻す必要性から、8 工区側の先行トンネル (L = 3,380 m) 内部に、水道本管 (内径 1,500 mm) を敷設していた。そのため、先行シールド内 (8 工区側) から後行シールド (7 工区側) の位置確認ができない状況であった。

接合地点の地上部直上は、交通量の多い片側 1 車線の幹線道路で、接合位置の確認は、沿道の駐車場を利用して行った。初めに、この駐車場から小口径推進

(ベビーモール工法) による斜め削孔を行い、先行シールドのスキンプレート及び先行トンネルのセグメントを削孔・貫通させた。次に、この削孔したボーリング孔を利用し、坑内基準点の設置を行うことで、地中接合位置の測量が可能となり、高精度な地中接合を実施できた。

4. おわりに

多摩丘陵幹線は約 18 年の歳月を経て全線が完成運用され、平成 27 年 4 月には、多摩地区のお客様をはじめ、多くの工事関係者が参加して、盛大に式典が行われた。式典では、広域的なバックアップ機能が確保され、震災時や事故時においても、給水の安定性を飛躍的に向上させる水道施設が完成したことに多くの喜びの声が寄せられ、期待の大きさを実感するとともに、さらなる多摩地区の給水の安全度を向上させていくという思いを強くした。

現在、東京都水道局では、東村山浄水場から多摩丘陵幹線を結ぶ新たな広域送水ネットワークを構築するため、多摩南北幹線の整備を進めている。安全でおいしい水を安定的に供給し続けるために、多摩丘陵幹線の整備により得られたさまざまな経験や技術、あるいは教訓を後進に伝え、着実に整備を図ることによってお客様の期待に応えていく所存である。

J C M A

【筆者紹介】



溝口 博文 (みぞくち ひろふみ)
東京都水道局多摩水道改革推進本部
施設部 工事課
工事課長



西本 徹 (にしもと とおる)
東京都水道局多摩水道改革推進本部
施設部 工事課
工事課長代理



藤井 雄輔 (ふじい ゆうすけ)
東京都水道局多摩水道改革推進本部
施設部 工事課
主任

外ボルト締結型コンクリート中詰め鋼製セグメントの 気中組立てによる管路の構築

中 田 慎 一

都市部のシールド工事では、立坑用地の確保が困難な事が多く、既設構造物や地下埋設物、道路条件等の制約より、立坑部分で複雑な形状の構造物を計画せざるを得ないことがある。本工法は、シールド工事に用セグメントを応用したプレキャスト部材の気中組立てにより急曲線・急勾配の管渠構築を行うもので、一般的な場所打ちコンクリート構造と比較して、品質・安全上のリスクが小さく、省力化・工期短縮が可能である。

キーワード：プレキャスト、省力化、空伏せ管渠、コンクリート中詰め鋼製セグメント、急曲線・急勾配

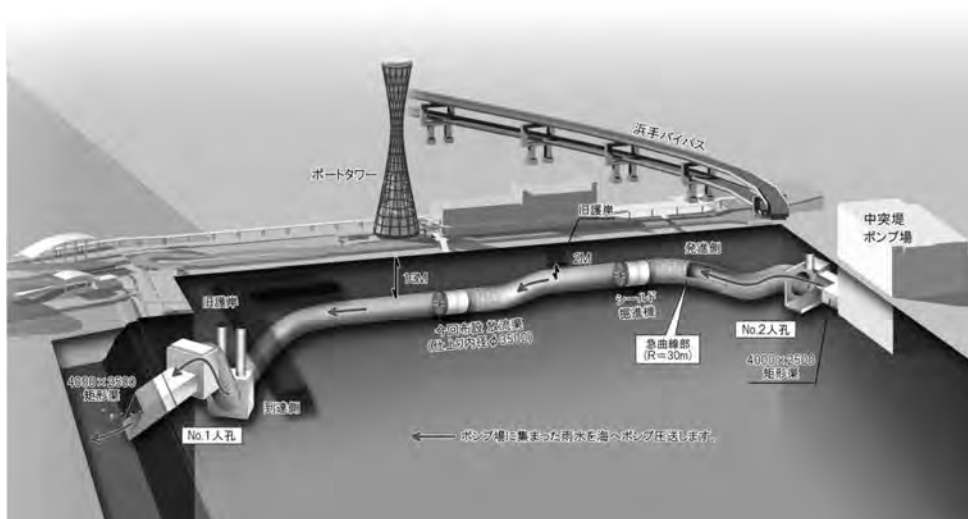
1. はじめに

本工法を初適用した工事は、ポンプ場に集めた水を海に吐き出すための大口径雨水管渠をシールド工法を主体として建設するものである。シールドトンネルは、埋立地内に残存する旧護岸等の地中障害物を避けるため、旧海底面の下、土被り約13mの深さに計画された。そのため、立坑用地の制約と流入・流出部の高低差から、立坑部において平面・縦断線形が複合する急曲線・急勾配の管路構築が必要となった（写真—1、図—1）。

本稿では、「外ボルト締結型コンクリート中詰め鋼製セグメントを用いた空伏せ管渠工法」による立坑部における管路構築について紹介する。



写真—1 現場状況



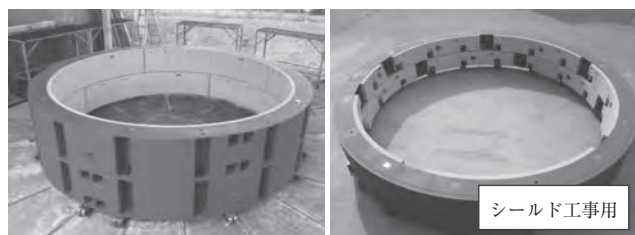
図—1 工事概要図

2. 管路線形

立坑部の管路は、 $R = 4.5\text{ m}$ の超急曲線と平面 $R = 15\text{ m}$ 、縦断 $R = 18\text{ m}$ の複合カーブを含む、縦断勾配約 600 ‰ （ $\approx 30^\circ$ ）の急勾配線形である（表—1、図—2）。

3. セグメント

立坑管路には、内面平滑性と急勾配施工での安全性を考慮し、「外ボルト締結型コンクリート中詰め鋼製セグメント」を採用した。なお、セグメントの構造計算は、横シールドセグメントの設計条件・設計手法に



写真—2 外ボルト締結型コンクリート中詰め鋼製セグメント（左写真）

準じて行っている（写真—2）。

（1）形状・寸法

本工事では9種類の形状のセグメントを使用し、リング分割数は4分割、リング間継手は16箇所とした（表—2）。

表—2 セグメント形状・寸法

外径 (mm)	内径 (mm)	幅 (mm)	種別	テーパ量 (mm)	備考
4,070	3,500	500	ストレート	—	
		506		—	
		927		—	
		940		—	
		1,000		—	
		330	両テーパ	301	$R = 4.5\text{ m}$ 用
		506		231	$R = 9.0\text{ m}$ 用
		500		259	$R = 15.0\text{ m}$ 用
		500		228	$R = 18.0\text{ m}$ 用
		500			

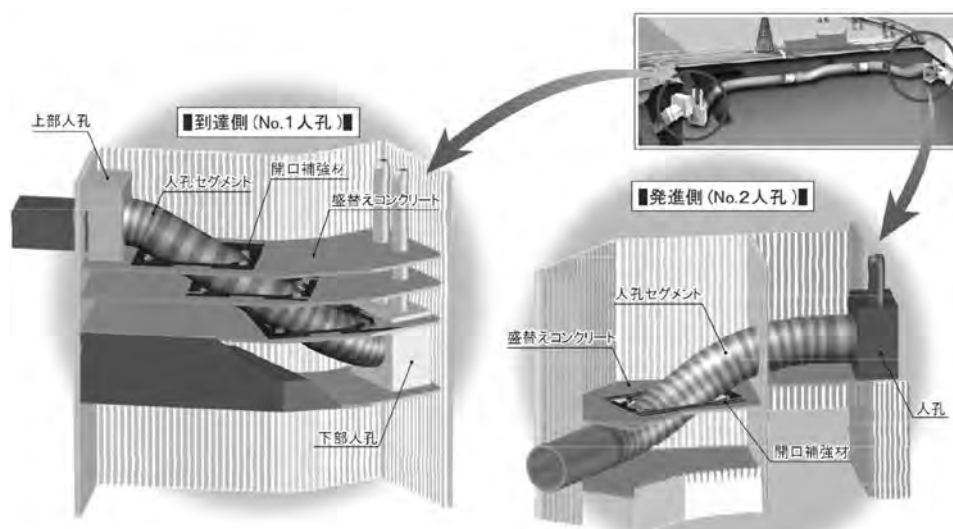
表—1 管路線形

	縦断線形	平面線形	区間長
No.1 到達 立坑	∞	∞	0.50
	上 $R = 4.5$	∞	2.32
	∞	∞	0.51
	∞	右 $R = 9.0$	7.58
	∞	∞	12.23
	下 $R = 4.5$	∞	2.32
	∞	∞	0.50
		合計	25.96
No.2 発進 立坑	∞	右 $R = 18.0$	1.00
	上 $R = 15.0$	右 $R = 18.0$	8.43
	∞	右 $R = 18.0$	4.56
	下 $R = 15.0$	右 $R = 18.0$	2.99
	下 $R = 15.0$	∞	5.44
	∞	∞	3.77
		合計	26.19

単位：m

（2）止水対策

セグメントの各継手面にはシール溝加工を施し（外周1条）、水膨張性シール材を施工した。また、セグメント組立完了後、内面継手部には高弾性エポキシ樹脂によるコーキング工を施工した。



図—2 立坑管路構造概要図

(3) 防食対策

内外水の塩分濃度の高さを考慮し、継手ボルトには亜鉛メッキに比して優れた耐食性を有する亜鉛末クロム酸化成皮膜処理（ダクロタイズド処理）を施した。加えて、外面ボルトボックス部には軽量無収縮モルタル充填工を行った。

(4) その他の特徴

通常のシールド工事とは異なりエレクター等の油圧組立機械を使用しない気中組立においては、施工時荷重（自重：約 100 kN/m）による変形をいかに小さくできるかが課題となる。本工事では、梁バネモデルによる各施工段階でのシミュレーションと実機試験を行い、継手ボルトの仕様を決定した。

また、単ピース、半リング等、組立方法の自由度を高めるため、内面にはセラミックインサート、外面には仮設の吊ピースを多数配置した。

4. セグメント組立計画

2次元曲線を基本とする通常シールド工事での計画手法は、平面・縦断が複合する3次元急曲線には適用困難である。

本工事では、3D-CAD 上で継手を含めたセグメント形状を忠実に再現し、テーパ量の検討、割付け計画、開口補強鋼材とのクリアランス確認を行った(図—3)。

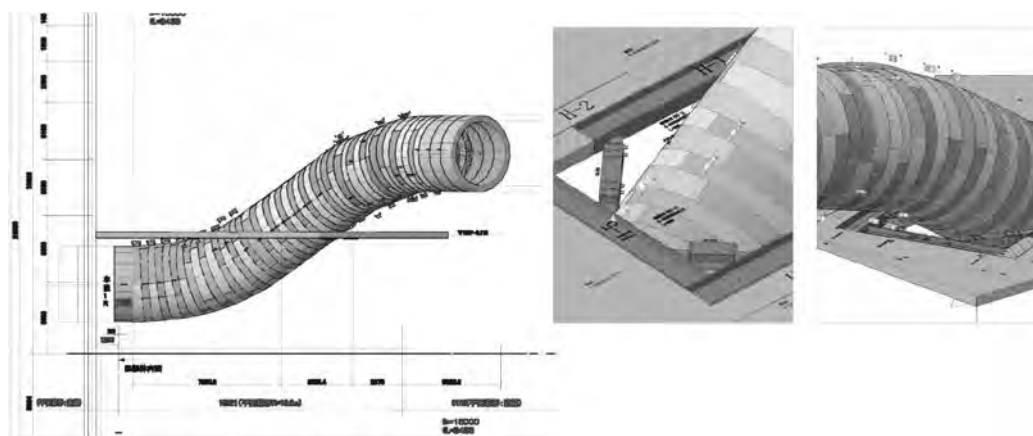
これにより、リング毎の3D計画座標を用いた出来形管理が可能となり、蛇行修正を行った後の修正計画も容易となった。

5. セグメント管路工

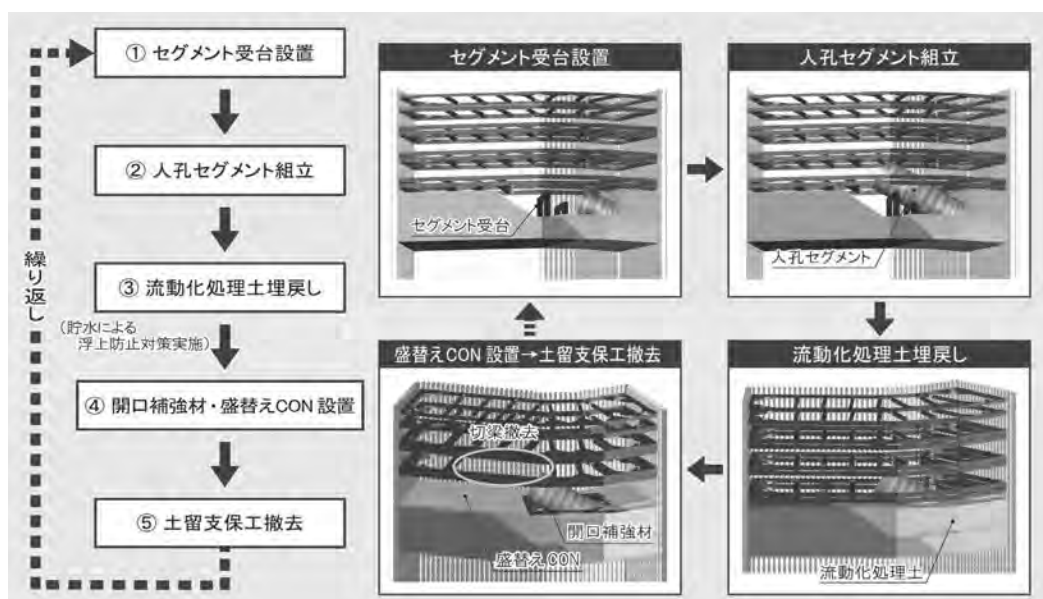
(1) 標準施工フロー

標準施工フローを図—4に示す。

立坑部の管路は急勾配であるが故、施工が進めば上



図—3 3D-CADによる組立計画



図—4 標準施工フロー

部支保工（切梁）に干渉する。そこで、部分的に盛替えコンクリートを打設し、干渉する最下段切梁を先行撤去した。

セグメント下半は埋戻し土の転圧が困難であるため、埋戻し材には流動化処理土を使用した。流動化処理土打設時の浮き上がり対策として、最下部に隔壁を設置し、打設・養生中は管路内に清水を貯水した。

盛替えコンクリート断面内には開口補強鋼材を設置し、盛替えコンクリートに作用する力が管路セグメントに伝達しない構造とした（写真—3）。



写真—3 開口補強鋼材（SRC 構造）

(2) セグメント受台

セグメント組立に先立ち、鋼製受台を管路の線形に合わせ、約1m間隔で設置した。受台高さは計画高より2～3cm低めとし、ライナープレートで調整した。

(3) セグメント組立

セグメントは、幅広タイプは単リング、幅狭タイプは2リング甲乙組を基本とし、地上でリング組立を行い、真円度を確認した後、立坑下へ投入した（写真—4）。



写真—4 セグメントの地上組立

(4) 立坑投入

立坑下への投入は、セグメントタイプと作業半径に応じ、120t～50t吊の移動式クレーンを使用した。吊り治具には電動チェーンブロックと滑車を多用し、地組みしたセグメントの立て起こし、位置合わせ時の傾斜・回転調整を自在に行えるものとした（写真—5）。



写真—5 セグメント投入

(5) セグメント接続

立坑下では狭所作業に適した屈折ブーム式の小型高所作業車を使用し、玉外しとリング間ボルトの締結作業を行った（写真—6）。

(6) 流動化処理土打設

流動化処理土による埋戻しは、コンクリートポンプ車を使用し、打設高さ約2～3mを打設量150～300m³/日にて分割施工した。なお、表層部分は高強



写真—6 セグメント組立



写真一七 流動化処理土打設

度タイプを使用して養生期間の短縮を図った（写真一七）。

（7）特殊部の施工

組立てエリアの最下段切梁は撤去済みでも、より上方の切梁や火打ちが干渉して垂直にセグメントが下ろせない箇所は、偏芯吊りや簡易門型クレーンによる横引き組立てを行った。また、現場打ち人孔接続部では、上方に支障物がない場所で組立後、可動式架台を用いて人孔開口部へ挿入した（写真一八）。

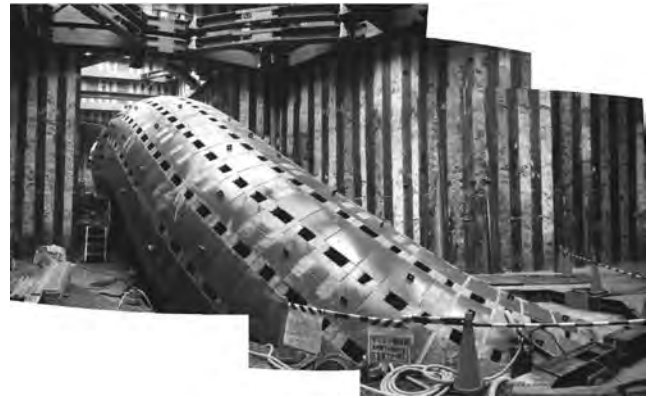
（8）出来形管理

管底高は、一般的なレベル測量により管理した。面方位（上下左右の向き）は、組立終端面の継手ボルト孔3～4点をトータルステーションで計測し、3D-CAD上での計画座標と対比して管理した。

途中何度か蛇行修正を行ったが、その都度最終までの組立計画を3D-CADで見直し、最終的には両立坑とも、誤差±3cm以内で組立完了した。

（9）急曲線部施工状況

急曲線部の施工状況を写真一九、二〇に示す。



写真一九 発進立坑部組立状況



写真二〇 セグメント管路内部

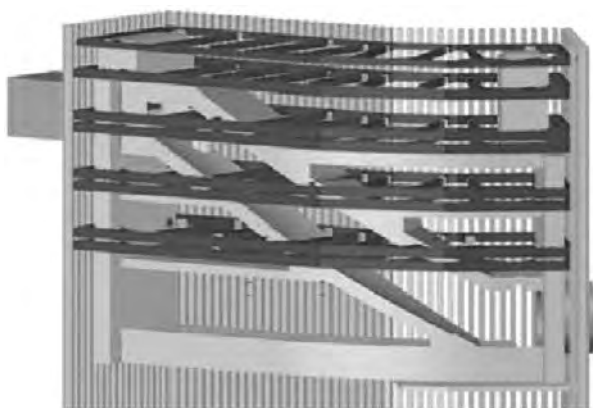
6. 従来工法との比較

今回の線形を現場打ちコンクリート構造で施工した場合、急勾配斜めスラブの施工、切梁の盛替えや躯体貫通部の処理、多数の施工開口等が必要となるため施工難度が高く、品質・安全面でのリスクが高い（図一五）。また、複雑な形状の躯体構築作業には、熟練の鉄筋工や型枠工が多数必要となる。

本工法は、プレキャスト化による高い躯体品質と作業の省力化、外ボルト締結型セグメントの採用による



写真一八 特殊部の施工状況



図一5 現場打ちコンクリート構造での施工イメージ

施工性・安全性の向上を実現しており、現場打ちコンクリート構造に比べ、30～40%の工期短縮が可能である。

7. おわりに

昨今、建設工事における人手不足を解消する方策の一つとして、プレキャスト化の推進が強く求められている。本工法は、ボックスカルバート等のプレキャスト製品と比べても、大断面・急曲線への適用範囲が広く、今後、様々なライフライン建設に適用できる可能性があると考えている。

J C M A

〔筆者紹介〕

中田 慎一（なката しんいち）
大成建設㈱
東京支店土木部
作業所長



下水道管路調査診断システム

衝撃弾性波検査法

後 藤 正 信

下水道管路内の調査診断システムとして「下水道ヘルスケア」を合言葉として「管路品質評価システム協会（ピケスト協会）」がある。ピケスト協会は、大学研究、コンサルタント、調査会社、管路施設管理会社、調査機材の開発製造会社から構成され、新しい診断技術の開発と提案、協会の協業による複合的なサービスの提供を通して、「下水道ヘルスケア」の普及にまい進している。その会員として、下水道管路内調査のほか種々水道、農水等の調査を実施しているが、本稿では下水道管路内の調査診断として衝撃弾性波検査法の技術の概要と最近5年間における実績による活用について紹介する。

キーワード：衝撃弾性波検査法

1. はじめに

下水道管路の調査は、内径 800 mm 以上の管路については、管路内を歩行可能な場合、調査員が管路内へ潜行し、管きよの破損、クラック、腐食、継ぎ手ズレなどの劣化や上下方向のたるみ、取付管の突出し、油脂の付着、樹木根侵入等、管きよの状態を定性的に把握する。

定量化調査の場合は劣化度調査を行い、中性化深さ試験、コンクリート強度試験、鉄筋腐食調査により、既設管の強度等の把握をする。

小口径管きよの内径 200 ～ 700 mm の劣化度調査においては、管路内に人が入れないためコンクリート強度を把握することが困難であり、TV カメラ調査等による定性的な判断をしてきたのが大部分である。近年では、老朽管に対して管路更生による機能改善が実施される中、調査結果を基本情報とすることから、管の耐荷性能を定量的に評価する手法が求められるようになった。そこで非破壊試験方法のひとつである衝撃弾性波法に着目した定量的劣化診断手法及びシステムとして「衝撃弾性波検査法」が開発された。

非破壊かつ非開削で調査を実施できる衝撃弾性波検査法とは、コンクリートの非破壊劣化検査ではポピュラーな、打音検査を定量診断として進化させた技術である。管体を軽く叩いて震わせ生じた弾性波に含まれる高周波成分比から、既設管の仮想管厚と仮想破壊荷重を定量的に算出し、そこからコンクリートの圧縮強度を算出することが可能となった。

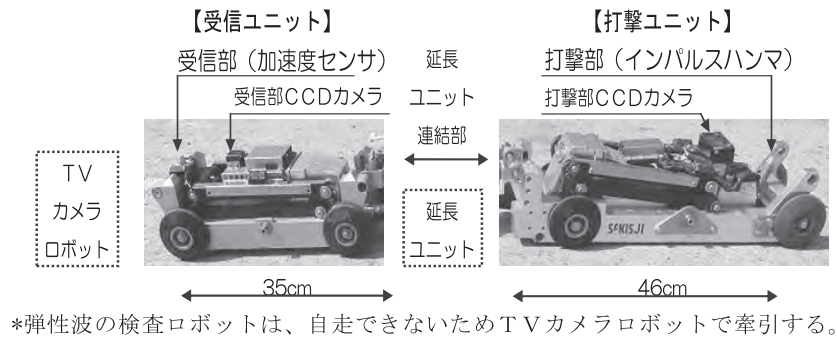
この技術は、(財)下水道新技術推進機構（現（公財）日本下水道新技術機構（以下「下水道機構」という）と衝撃弾性波検査法の解析原理や適用性を明確にし、調査・解析・診断方法、ならびに結果の利用方法を示すことを目的に、共同研究を行い、その結果、下水道機構から新技術の研究成果評価を受け、「衝撃弾性波検査法 技術資料」（2012 年 3 月）として下水道機構から発刊されている。

衝撃弾性波検査法は、構造上重要な管の変状に関する定量的な数値指標を取得できることや、TV カメラ調査では発見できない管の外表面の変状を捉えることができる等の多くの特徴を有している。

2. 技術概要

- ①調査対象：呼び径 200 ～ 700 （鉄筋コンクリート管）
- ②調査機器：衝撃弾性波検査ロボット（図—1～3）
- ③検査及びデータ処理方法（図—4）

管体を軽く叩いて得られた周波数成分のうち、経験上定めた、3.5 kHz 以上の高周波成分領域が、全体（0.5 ～ 7.0 kHz）の周波数成分に占める割合（高周波成分比）から、実験式により管の仮想破壊荷重・仮想管厚を算出し、管 1 本毎とスパン全体の評価を行う。具体的には 4. 衝撃弾性波検査法の解析手法に示す。



図一 衝撃弾性波検査ロボット

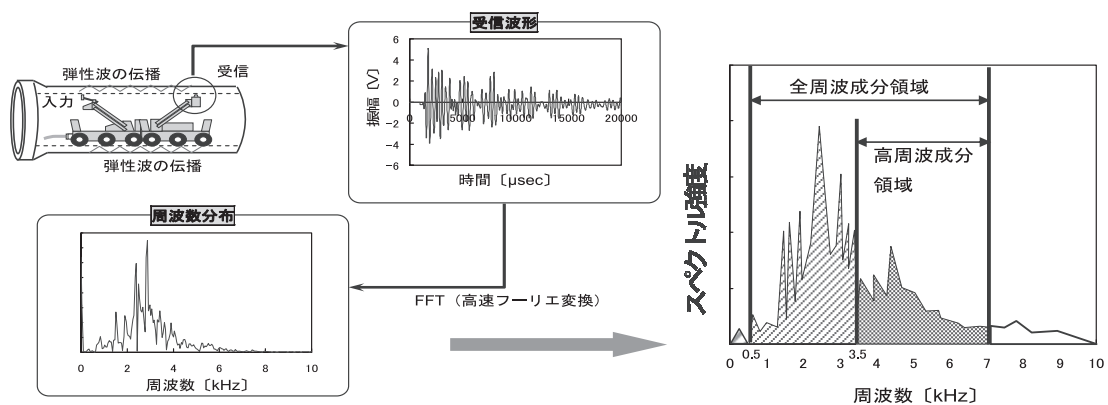


図二 φ 200 ～ φ 350 mm 測定用ロボット（HP 管長さ 2.00 m）



図三 φ 400 ～ φ 700 mm 測定用ロボット（HP 管長さ 2.43 m）

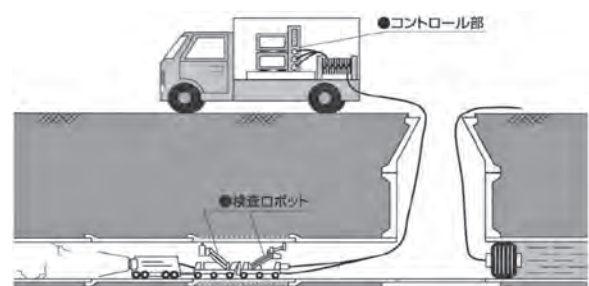
$$\text{高周波成分比 (\%)} = \frac{\text{高周波成分領域}}{\text{全周波成分領域}}$$



図四 データの処理方法

3. 作業方法（図一5）

- ① TV カメラ調査と同様原則として、上流から下流に向けて牽引のためのTVカメラを移動させて行う。
- ② 検査は診断用ロボットを管内に挿入して行う。
- ③ 診断結果は調査診断表（管理表）に記入し、調査集計表に取りまとめる。



図五 作業標準図（衝撃弾性波検査工）

- ④そのほか、マンホール内部および蓋・受枠は異常が確認された場合にその旨を本管記録表に記入する。また、写真帳に合わせて記載する。

4. 衝撃弾性波検査法の解析手法

現場作業で得られた「高周波成分比」を解析に使用する基礎数値として仮想管厚と仮想破壊荷重を算出する。これらの基礎数値を基にして、管の残存耐力に着目した指標として「管の健全度」、管の埋設管としての安全性に関する指標として「管の安全度」を定義し、管の診断に供する指標値とする。図—6に各指標値を求める解析の流れを示す。

これらの指標値をもとに診断を実施するが、管の診断は管1本ごとの評価とスパン全体の評価に大別される。

5. TVカメラ調査と衝撃弾性波検査の総合判定方法

衝撃弾性波検査法とTVカメラの手法の異なる二つの調査法の結果比較とその差異に対する取扱い、すなわち両調査法を融合させた緊急度総合判定について整理する。

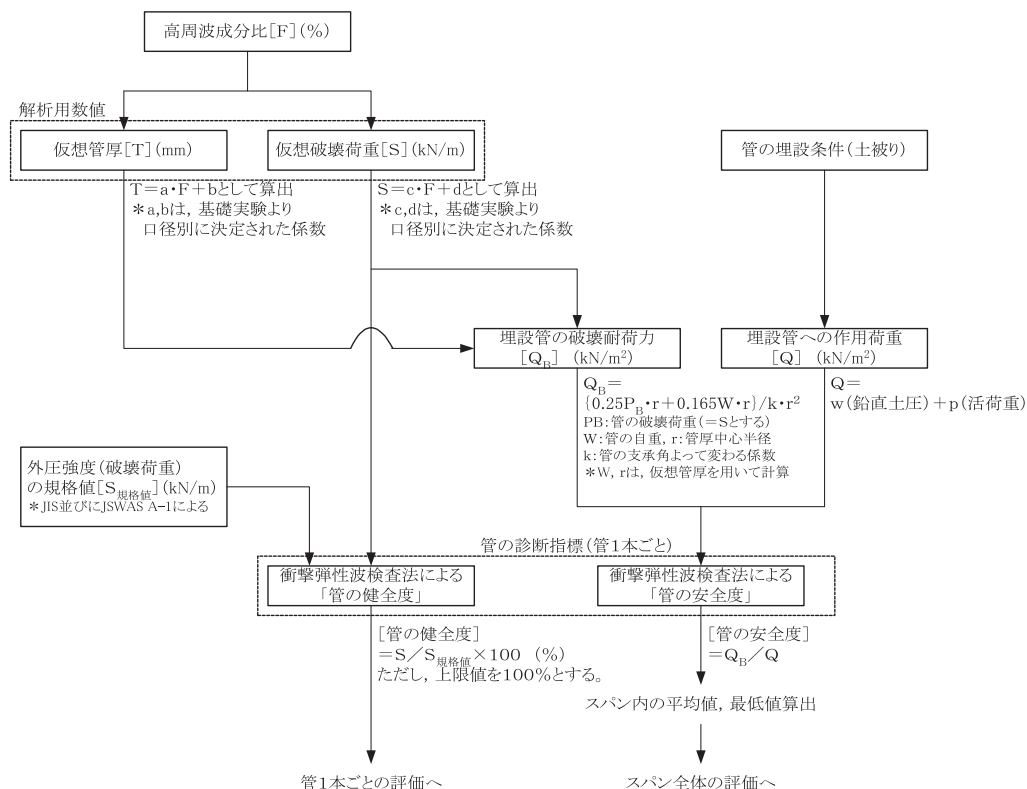
衝撃弾性波検査法は、既設管の耐荷能力に影響する

表—1 TVカメラ調査と衝撃弾性波検査法の結果による総合判定における緊急度区分(例)

緊急度区分	説明
I	TVカメラ調査、衝撃弾性波検査法のいずれかが緊急度I相当の以上を認め、速やかに措置の必要な場合
II	簡易な対応により必要な措置を5年未満まで延長できる場合
III	簡易な対応により必要な措置を5年以上に延長できる場合
健全	TVカメラ調査、衝撃弾性波検査法ともに異常が認められず、これを健全管として5年以上そのまま使用できる場合

劣化事象(管の減肉、軸方向クラック)を管の安全度等の指標を用いて定量的に評価するものである。また、衝撃弾性波検査法は、管の内面・外面共に管体の平均的な異常を検査できるが、局所的な劣化事象に対する応答性は低いこと、浸入水や管の流下能力(上下方向のたるみ、取付け管の突出し、油脂の付着、樹木根侵入、モルタル付着)に関する異常は評価できないことから、これらの項目についてはTVカメラ調査結果の活用が不可欠である。

以上により、スパン全体の総合的な緊急度は衝撃弾性波検査法とTVカメラ調査結果を考慮した総合判定により決定する(表—1)。



図—6 衝撃弾性波検査法の解析の流れ

6. 衝撃弾性波検査法の活用方法について

- ①持続可能な下水道事業の実施を図るためには、適正な維持管理を行い、改築等による管きよの延命化によって、その機能を適切に維持しなければならない。

従来のTVカメラ調査による診断に加え、衝撃弾性波検査法を加えた定量的評価により、対策範囲の検討（改築か修繕か）や更新・長寿命化対策の検討（布設替えか更生工法か）において、総合的な判断が可能となる。

以上により、衝撃弾性波検査法では、対策の優先順位付けの明確化による効率的な事業計画の立案、対策手法や対策工法の検討や設計が可能であると考えられ、効率的な下水道長寿命化計画の策定が期待できる。従来の管路調査は、TVカメラや目視等の視覚に基づく定性的な手法が主体となっており、特に小口径管きよ（呼び径800未満）については、既設管の耐荷能力等の定量的な評価が困難な状況にある。管路施設の長寿命化計画の策定にあたっては、既設管の流下能力や耐荷能力等の構造性能を適切に評価した上で、対策の要否や対策範囲、更新・長寿命化対策の検討を行う必要がある（図—7）。

- ② TVカメラ調査結果と衝撃弾性波検査法の総合判

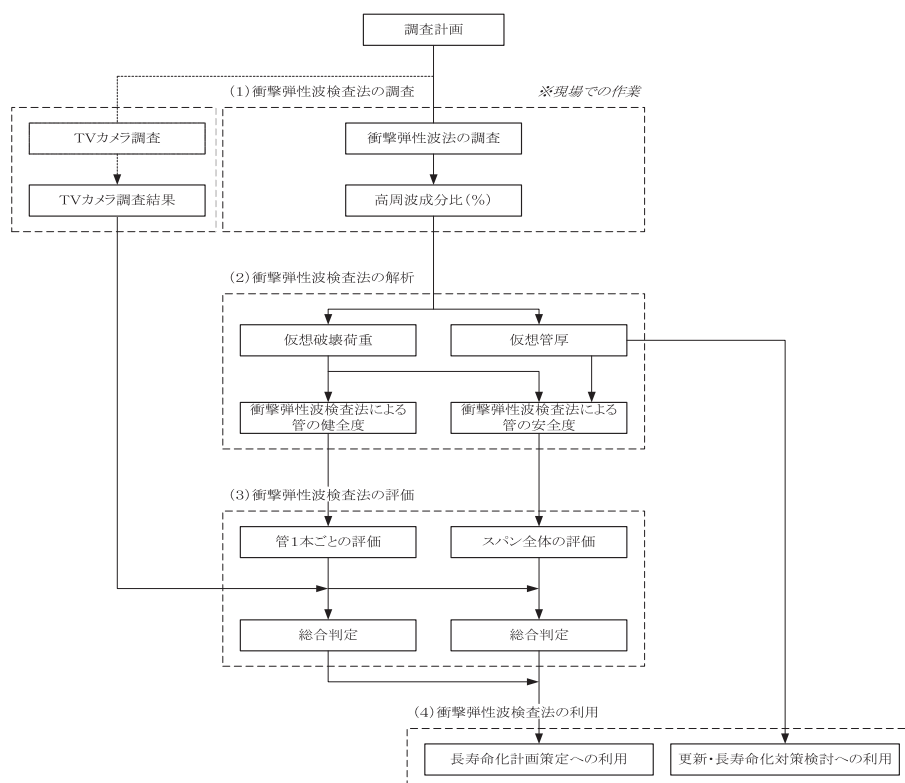
定を用いて具体的な対策範囲の検討を行う際に、改築において長寿命化対策が必要となった場合に、その工法選定への活用ができる。

- ③総合判定による緊急度Ⅰ，Ⅱを対象とする。範囲の検討については改築か修繕か、すなわちスパン全体への更新・長寿命化とするか、管1本毎の部分的な補修で対処するかを決める。

次に、管健全度を用いた改築修繕の判定を行う。また、改築検討（更新・長寿命化対策）に進んだ場合、TVカメラ調査のみでは小口径分野（φ250～φ700）において、改築すべき対象管路の強度が把握できないことから、基本的に自立管更生タイプによる長寿命化が図られるケースが多いが、既設管の強度によっては複合管更生タイプでも十分に長寿命化が図られるケースもあるはずである。一般的に小口径の管路更生においては複合管の方が施工単価は有利であることから、現状では既設管の強度が不明なため、過大な投資となっている場合もある。

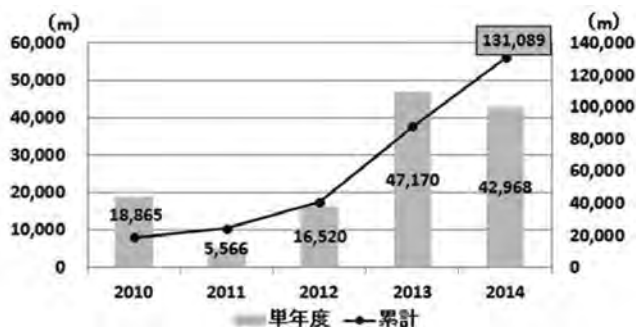
- ④本技術は、管路品質評価システム協会（PQUEST協会）において普及促進を図っている。

衝撃弾性波検査法による診断は、弾性波データの解析と操作方法について衝撃弾性波検査法について熟知した「衝撃弾性波検査法診断技士（PQUEST協会主催）」の資格を有するものが扱うこととし



図一7 衝撃弾性波検査法の診断手順

単位:m		
	単年度	累計
2010	18,865	18,865
2011	5,566	24,431
2012	16,520	40,951
2013	47,170	88,121
2014	42,968	131,089



図一8 衝撃弾性波検査法 目的別延長距離 (管路品質評価システム協会調べ)

ている。

7. おわりに

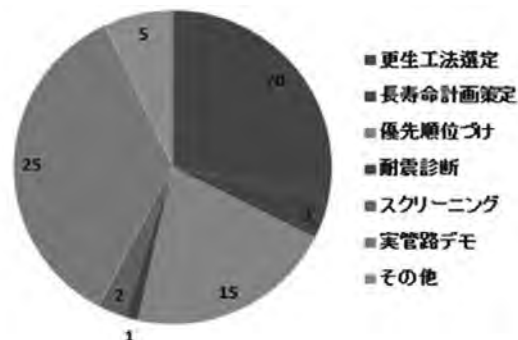
①近年、地方公共団体においては、事後対応型から予防保全型維持管理への転換を図るとともに、このたびの下水道法改正により、ストックマネジメント手法を踏まえた下水道事業計画(長寿命化計画)を策定する動きが加速しており、それら施策を実践する上で、衝撃弾性波検査法が有用なツールとして考えられる。

②現在、管路品質評価システム協会(ピケスト協会)において衝撃弾性波検査法による管の寿命予測の検討、アセットマネジメントの構築への検討を重ねているところである。また、衝撃弾性波検査の一層の精度向上などソフト面、技術面について研究を重ねている状況である。

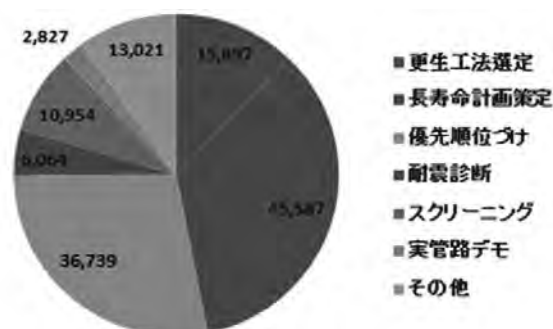
③衝撃弾性波検査法を活用することにより、たとえ耐用年数を超過していてもまだまだ維持できることが確認された場合、事業の平準化に対して活用できると考えられる。また、劣化しているものは修繕、改築等の諸元数値として扱うことができる。このことは、下水道事業計画(長寿命化計画)の策定に多いに寄与するものであると考えられる。

なお、衝撃弾性波検査法による定量診断により、いくつかの使い道があり、関連部署への説明料、住民に対する説明など様々な場面での説明資料としても活用が考えられる。

④衝撃弾性波検査法の積算については、平成27年4月に(公社)日本下水道管路管理業協会の「下水道管路施設積算資料」に掲載され、管路調査業



図一9 衝撃弾性波検査法 目的別採用件数 (管路品質評価システム協会調べ)



図一10 衝撃弾性波検査法 目的別延長距離 (m) (管路品質評価システム協会調べ)

務においてより活用し易くなっている。

昨年度末で総調査延長131 km、71都市で採用されており、実績化が進んでいる。

J C M A

【筆者紹介】

後藤 正信 (ごとう まさのぶ)
 (株)リハビリ・リサーチ・ラボラトリー
 管理部企画担当部長



阪神高速における更新事業

大規模更新・大規模修繕

茅 野 茂・鈴木 威

阪神高速道路は、昭和39年に初めての区間（土佐堀～湊町間約2.3km）が開通して以来、50年以上が経過したが、構造物の老朽化の進展に伴って重大な損傷が顕在化してきている。繰り返し補修を実施しても構造物の健全性を引き上げることができず、最終的には大きな損傷に進展し、通行止め等が発生するおそれのある構造物を対象に、今年度から更新事業（大規模更新・大規模修繕）を開始したことから、当該事業の概要や現在直面している課題などについて紹介する。

キーワード：老朽化の進展、通行車両の大型化、大規模更新、大規模修繕、架け替え

1. 阪神高速における更新事業

(1) 阪神高速道路の老朽化と損傷の状況

今からおよそ60年前、昭和30年代に入ると、大阪などの大都市では、自動車交通量の増大により交通渋滞と交通事故の続発が日常化し、都心部では交通マヒ

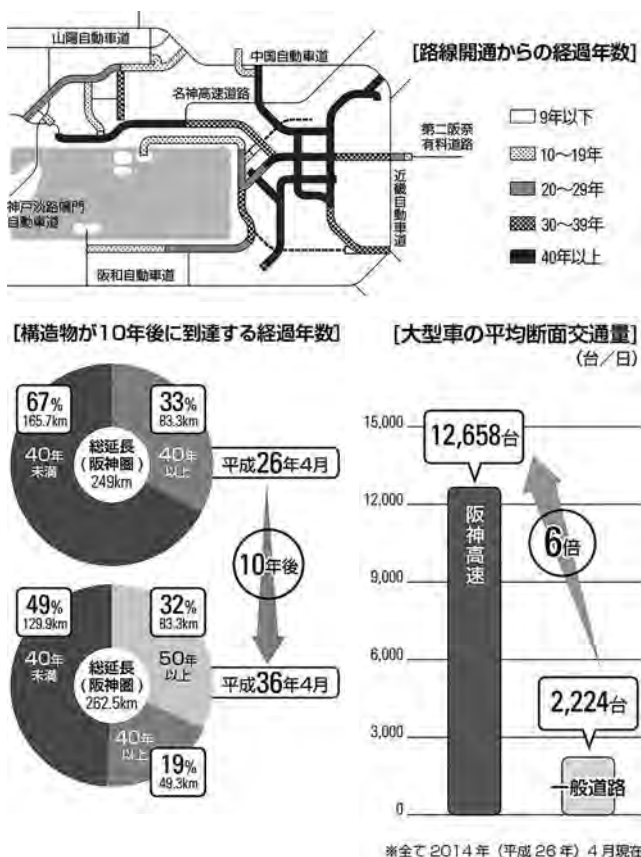
が極限にまで達していた。この状況を救うべく新たな高速道路網の早期整備が急がれ、大阪では昭和37年5月、阪神高速道路公団の発足により高速道路建設が急速に進められることとなった。

阪神高速道路は、昭和39年6月28日の土佐堀～湊町間約2.3kmの開通以来、50年以上が経った今、その総延長は259.1kmとなり、1日に約70万台の交通が利用している。さらに、阪神都市圏における自動車貨物輸送量の約50%が阪神高速道路を利用するなど、経済産業活動を支える極めて重要な社会基盤となっている。

一方で、今から10年後には約5割が建設より40年以上を経過するなど老朽化は確実に進んでおり、橋梁などの構造物比率が9割を超える状況の中、さらに大型車の交通量は一般道（大阪府内）の約6倍であるなど、非常に過酷な使用状況になっている（図－1）。当社は、単独もしくは警察と合同で違反車両の指導・取締を、年間を通じて延べ2,800回程度実施しているものの、違反車両数は依然として横ばい状態で、構造物のひび割れや疲労亀裂等の損傷が顕著化してきている。

(2) 更新計画策定に至る経緯

このように増大する社会的要請と、過酷な使用条件が深刻さを増す状況の中で、阪神高速道路の社会基盤としての機能を永続的に適切な状況に保ち、その利用機能を阻害させてはならないという使命から、従来からの維持管理手法にとらわれない大規模修繕や大規模更新も選択肢に入れた今後の長期的維持管理戦略を検



図－1 阪神高速道路の現状

討する場として、「阪神高速道路の長期維持管理及び更新に関する技術検討委員会」が設けられ、平成 25 年 4 月 17 日には提言がなされた。

これを受け、当社として最新の損傷状況等を改めて精査し、大規模更新または大規模修繕の実施を盛り込んだ「更新計画」を平成 27 年 1 月に公表し、平成 27 年度より事業に着手したところである。

「更新計画」の策定にあたっては、老朽化の進展に伴って重大な損傷が顕著化し、繰り返し補修を実施しても構造物の健全性を引き上げることができず、最終的には致命的な損傷に進展し、通行止め等が発生するおそれのある構造物を対象にした。実施にあたっては、大都市内での大規模な工事であるため、う回路を設置するなど長期間にわたる通行止めを回避し、広域的なネットワークと連携し、新技術導入や技術開発の推進など、従来の枠組みにとらわれない多様な取り組みを積極的に進めていくこととしている。

(3) 事業概要（各箇所）【状況と対策】（図—2）

(a) 橋梁全体の架け替え

①京橋付近（3号神戸線、図—3）

この区間は港湾として船舶の係留などに利用されて

いる景観に優れた岸壁に沿った位置に計画されていた。そのため、橋脚の数を減らし長径間とする当時の最新技術であった、5 径間連続 PC 有ヒンジラーメン箱桁橋が採用され、昭和 41 年に開通した。

しかし、その後の長期に渡る年月の経過に伴い、このヒンジ部で設計時に想定していた値を大きく上回る変形（ヒンジ部の沈下）が発生した。応急対応として、垂れ下がった橋桁を内部に設置したケーブルで引き上げる対策を行ったが、十分な回復が見られず現在も沈下が進行している状況である。



図—3 3号神戸線（京橋付近）



図—2 大規模更新箇所



橋桁の中央付近が建設時の想定よりも沈下



ケーブルで左右から引き上げて中央を持ち上げる対策を実施

写真—1 14号松原線（喜連瓜破付近）

今回の大規模更新事業では、橋梁を全面架け替えとする計画になっている。

②喜連瓜破付近（14号松原線、写真—1）

この区間は、幹線道路の交差点上で下に地下鉄が通っており、橋脚位置の制約から長径間とする必要があった。そのため、連続PC有ヒンジラーメン箱桁橋（3径間）が採用され、昭和55年に開通した。ところが、開通後、設計当初に想定された以上の変形（ヒンジ部の沈下）が発生した。応急対策として、路面の平坦性を確保するためやむを得ず舗装のオーバーレイを実施した。

しかしながら、その後引き続き変形の進行が懸念されたため、平成15年の14号松原線フレッシュアップ工事（終日通行止工事）の期間を利用して、外ケーブル（下弦ケーブル）を緊張させることにより中央ヒンジ部を介して主桁下フランジに上揚力を加える対策を実施した。その結果、変形の進行は抑制されたが、抜本的な回復までには至っていない。

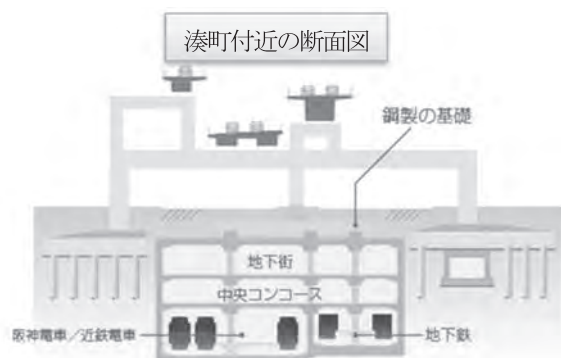
今回の大規模更新事業では、橋梁を全面架け替えとする計画になっている。

(b) 橋梁の基礎取替え

①湊町付近（15号堺線、図—4）

大阪を代表するミナミの繁華街を横断するこの区間は、地下鉄や私鉄が地下空間へ乗り入れ、それぞれのターミナル駅が設置され、さらに地下街が重なり合っている箇所である。

このような都市施設の密集する地区であるため、橋脚基礎に一般的な杭やケーソンなどが採用できず、やむを得ず地下街の函体上に直接基礎を設置せざるを得なかった。地下構造への荷重負担をできる限り軽減す



図—4 15号堺線（湊町付近）

ることを目的に、一部区間においてその基礎形式を鋼製フーチングとし、昭和47年に開通した。

建設後、環境の変化により地下水位が上昇し、鋼製フーチングの内部に想定外の地下水が流れ込み、その滞水による腐食が進行した。これまで、金属溶射や電気防食などの応急対策を実施しているが、抜本的対策とはならず、地下水位の変動による乾湿の繰り返しとともに、鋼製フーチング内が常に高湿で保たれていることもあり、今後もさらに腐食が進行する懸念がある。

今回の大規模更新事業では、地下水による劣化を防ぐため、基礎部を取り換える計画になっている。

(c) 橋梁の桁、床版の架け替え

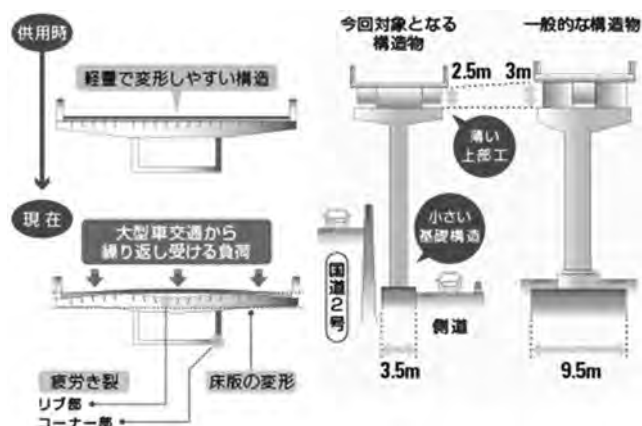
①湊川付近（3号神戸線、図—5）

当該区間は国道が交差する大きな交差点や河川、鉄道を跨ぐ必要があることから構造は連続鋼床版箱桁となっている。また、下を並行して走る国道により基礎を狭いスペースに立てざるを得ず、通常より基礎を小さくコンパクトな構造物とする必要があった。

さらにその基礎に対応するためには、その上部構造を軽量化する必要があるため、構造として桁高の低い鋼床版桁が採用され、昭和43年に開通した。

しかしながら昨今、活荷重の死荷重に対する比率（活荷重比）が大きいことに起因し、走行車両による繰り返し载荷による疲労き裂が集中して発生していることが判った。

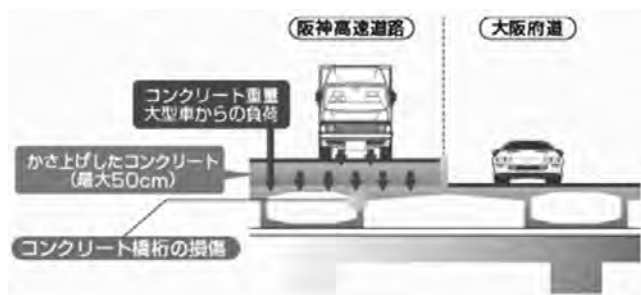
今回の大規模更新事業では、上部工の架け替え及び必要に応じ下部構造の補強を実施する計画になっている。



図—5 3号神戸線（湊川付近）

②大豊橋付近（11号池田線、図—6）

この区間の構造は、単純PC箱桁橋及びゲルバー鋼I桁橋であり、建設当時の緊急性からもともと府道として建設された橋梁の中央側4車線分を高速道路として利用し、高速道路の縦断線形（高さ）に合わせるた



図一6 11号池田線（大豊橋付近）

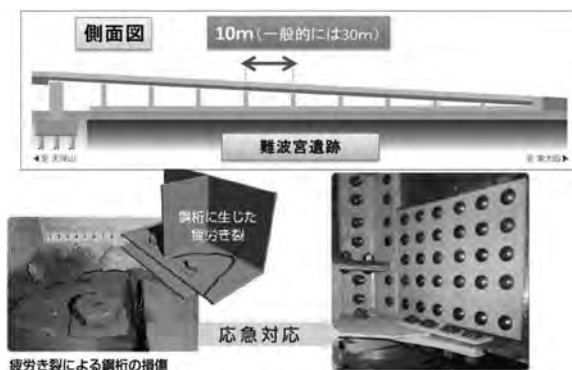
め、後打ちコンクリートによる高さ調整等を行い高速道路として整備、昭和42年に開通した。その後、このかさ上げによるコンクリートによる負荷増と大型車交通量の増大等による荷重増により桁のコンクリートにひび割れ等が発生した。

今回の大規模更新事業では、上部工の架け替えを実施する計画になっている。

③法円坂付近（13号東大阪線、図一7）

この区間の構造は、難波宮の遺跡保護を目的に高速道路を高架構造から平面構造に下げている部分の東西2か所の1～3径間のI桁橋（9径間と10径間）である。この区間はその遺跡保護のため基礎に杭を使用せず、また、上部構造に軽量かつ短支間長（一般的には30mのところを10mに）の鋼床版を採用し、昭和53年に開通した。その後、軽量かつ短支間長の鋼床版が大型車荷重を繰り返し受けることを原因とした金属疲労によるき裂が鋼桁の随所に発生。現在までに補強等による応急対応を行ったものの、今後も繰り返し損傷が発生すると考えられ、構造を根本的に改める必要がある。

今回の大規模更新事業では、上部工の架け替えを実施するなど構造の見直しを実施する計画になっている。



図一7 13号東大阪線（法円坂付近）

(d) 橋梁の床版取替え（1号環状線、11号池田線、12号守口線、15号堺線、図一8）

阪神高速では、これまで旧基準で設計された疲労耐

大型車等の影響による
床版の損傷

図一8 RC床版の損傷（陥没）

久性の低いRC床版において、損傷状況を考慮し床版下面への鋼板接着補強を実施してきたが、補強の完了した床版の一部に漏水や接着剤の劣化による接着不良といった損傷が確認されている。RC床版の劣化が進行すると、路面の陥没など大きな影響が発生する。

今回の大規模更新事業では、補強の完了したRC床版のうち再劣化による疲労耐久性低下が懸念されるものについて、取り替えを実施する計画になっている。

2. 現在直面している課題と求められている新技術

(1) 現在直面している課題

(a) 湊町地区の事業着手（大規模更新事業、図一9）

湊町地区については、現在、鋼製のフーチング9基を対象に、建設当初に想定していなかった地下水位上昇による腐食状況等について詳細な調査を実施しているところである。

当該箇所は、地下鉄「なんば駅（3か所）」、近鉄「大阪難波駅」、地下街「なんばウォーク」が輻輳した地下構造物の上に、阪神高速道路（1号環状線、15号堺線）の基礎が載っている交通結節点となっており、地下部分だけでも1日に鉄道乗車数約30万人、地下街利用者約16万人が集まる大都市大阪南部の中心地である。

このような状況から当該地での工実施にあたっては、鉄道、地下街、道路、交通等の各管理者との協議・調整はもとより、その利用者や周辺住民への理解と協



図ー9 湊町鋼製フーチング (3D)

力が必要不可欠となる。

この事業は、当社が、過去の大規模通行止め工事や震災復旧などの経験、新規建設や維持管理などの最新の技術、手法を投入して事業を進めて行くべき「大都市中心部における難事業」である。

(b) 橋梁の床版取り替え等の判定

阪神高速では、1つの路線や区間を8日間程度終日通行止めし、大規模に舗装や伸縮継手等を補修する「フレッシュアップ工事」をほぼ毎年実施している（写真ー2）。近年のフレッシュアップ工事実績は表ー1のとおりである。

平成26年度のフレッシュアップ工事において、補強の完了したRC床版の漏水や接着不良といった損傷が疲労耐久性にどう影響するかを調査するため、床版の損傷発生部分を切り出した。現在、輪荷重走行試験

による疲労耐久性の評価を行っている（写真ー3）。

今後、補強の完了している床版を対象に、補強直前及び現在の損傷状態等から優先度を設定し順次詳細調査を行い、長期的な耐久性の確保が困難と評価される床版については、その程度に応じて取り替え、部分補強等を実施する予定である。

(c) 大規模修繕事業

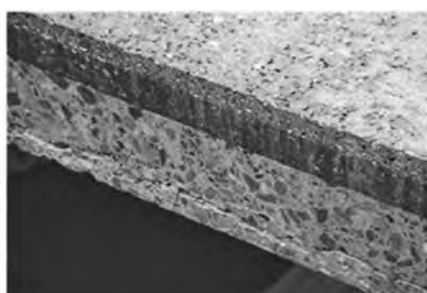
大規模修繕事業としては、鋼板補強済RC床版の補

表ー1 フレッシュアップ工事履歴 (H13以降)

	大阪	兵庫
H13	環状線（南行）	
H14	環状線（北行）	
H15	松原線	
H16	池田線	
H17		
H18	守口線	
H19	堺線・西大阪線	
H20		神戸線（芦屋～摩耶）
H21	大阪港線	神戸線（京橋～湊川）
H22	松原線	神戸線（摩耶～京橋）
H23		
H24	東大阪線	神戸線（湊川～月見山）
H25	池田線	
H26	守口線	
H27	湾岸線（南港～北港）	神戸線（武庫川～深江）



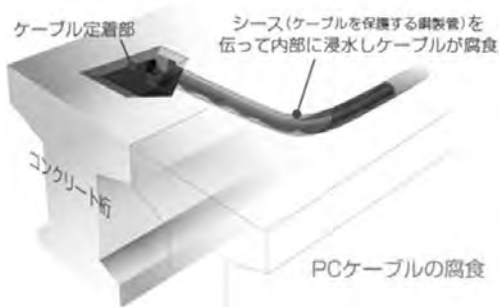
写真ー2 フレッシュアップ工事実施状況



写真ー3 RC床版の切出・損傷状況・輪荷重試験状況

強、鋼床版・鋼桁の疲労対策、鋼桁端部腐食対策、PC桁補強及びRC橋脚のASR対策等を実施していく。

このうちPC桁補強としては、ポストテンション式PC桁（以下「ポステンPC桁」という）でPC鋼材の一部が桁上面側に定着されたものに雨水の浸透によるシース内の滞水、PC鋼材腐食という損傷が見られており、このような機能低下が懸念されるポステンPC桁について補強等を実施することとした（図—10）。実施にあたっては、構造物全体の詳細調査を実施し健全性を調査したうえで対策を講じる必要があり、この詳細調査を含めた補強等工事について第1弾の工事発注を行ったところである。



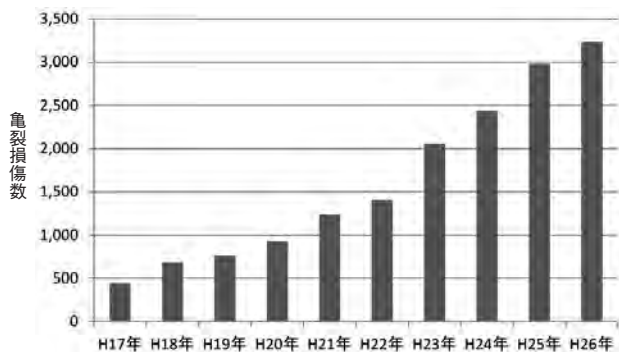
図—10 PC桁の損傷（ケーブル腐食）

(2) 新技術の導入

(a) 鋼床版疲労対策（Uリブ鋼床版）

鋼道路橋の疲労設計が導入される平成14年より前に設計された鋼床版においては、縦リブとデッキプレートとの溶接部や垂直補剛材とデッキプレートの溶接部において溶接ビードにき裂が発生し、わずかではあるがデッキプレートを貫通するき裂も発生している。これらのき裂発生は、交通車両の累積軸数の増加に伴い急速に増加していることから（図—11）、大規模修繕事業として補強・予防保全対策を実施するものである。

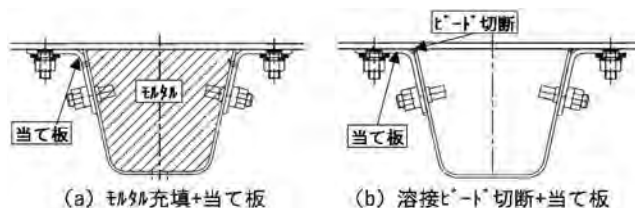
補強・予防保全対策としては、高速道路の上面から



図—11 鋼床版の亀裂損傷数



写真—4 SFRC舗装の施工状況



図—12 Uリブ鋼床版の下面補強方法

の補強となるSFRC舗装を施工し床版剛性を高めることにより疲労耐久性を向上させる対策を進めている。平成27年度の湾岸線フレッシュアップ工事においても、約9,000 m²のSFRC舗装を施工した（写真—4）。しかし、SFRC舗装を規制工事で実施する場合は、長時間にわたる交通規制が必要であるとともに品質面に対する天候の制約が大きいことから、高速道路の下面から施工可能な対策工法として、Uリブ内面モルタル充填工法、Uリブ溶接ビード切断工法等の開発に取り組んでいる（図—12）。今後は、下面対策工法開発の進捗にあわせて、適切に補強方法を組み合わせて対策を実施していくよう考えている。

(b) 共同研究による技術開発

本事業の円滑な実施や、のちの効率的な維持管理に向けて、直接目視することのできない箇所点検方法、構造物の健全性評価手法、交通影響の低減に寄与する急速施工法や構造物の耐久性向上に資する技術開発を推進すべく、様々な取り組みを行っている。また、共同研究の公募相談会を開催し、相手方から共同研究企画書の提出を受け当社で審査のうえ選定する「コミュニケーション型共同研究」にも取り組んでおり、一部の技術について共同研究の実施段階に入っている。

3. その他の取り組みと今後（おわりに）

本事業の実施にあたっては、この事業がお客さまの将来の安全、安心のための予防的事業であり、場所によっては大規模かつ長期間の交通規制が必要となるこ

とから、お客さまのご理解・ご協力が必要不可欠であるという認識のもと、積極的かつ丁寧な広報活動を展開していくよう考えている。

大規模更新・大規模修繕事業は阪神高速だけでなくNEXCO 各社においても実施されることから、事業者間で連携して工事調整を行い、関西圏の高速道路ネットワーク全体を見渡し交通影響を極力小さくしていくことが重要である。当然のことながら、新名神高速道路や阪神高速大和川線などの新たなネットワーク整備状況も考慮し調整を進めていく予定である。併せて、工事が開始すればその工事の状況や交通規制に関する情報の提供についても事業者間の連携のもと、迅速かつ正確な情報をお客さまに届けられるよう調整を図ることとしている。

本事業にとって、将来起こるであろうリスクに立ち向かい阪神高速道路を次世代にわたり安全、安心に利用していただくことが大きな意義と考えている。事業

実施にあたっては社会への影響が極力少ない工事実施計画を立案しつつ、お客さま目線での情報提供に努める所存である。本事業を円滑に遂行し、今までと同様に、これからもずっとお客さまの安全を守り、安心して快適な高速道路サービスを提供していきたい。

J C M A

〔筆者紹介〕

茅野 茂（かやの しげる）
阪神高速道路(株)
建設・更新事業本部
大規模更新担当部長



鈴木 威（すずき たけし）
阪神高速道路(株)
保全交通部
大規模修繕担当部長



東海道新幹線大規模改修工事の構造物毎の施工事例

荒 鹿 忠 義

平成 26 年 10 月に開業 50 周年を迎えた東海道新幹線であるが、鋼橋・コンクリート橋・トンネルを対象として、予防保全の観点から平成 25 年度より大規模改修工事を開始し、安全かつ効率的な施工を実施している。本稿では、それぞれの構造物に対する施工事例について紹介する。鋼橋では、部材搬入方法等の工夫により施工を効率化し、コンクリート橋では、使用する材料の工夫により品質の確保に努めた。トンネルでは、保守用車に搭載するプラント設備の増強により、覆工背面の空隙が大きいトンネルでも覆工裏空隙充填を効率的に実施可能になった。また、鋼管膨脹型ロックボルトやスーパートロの導入により、ロックボルト打設の効率化を実施してきた。

キーワード：東海道新幹線、大規模改修工事、鋼橋、コンクリート橋、トンネル、保守用車、覆工裏空隙充填、ロックボルト

1. はじめに

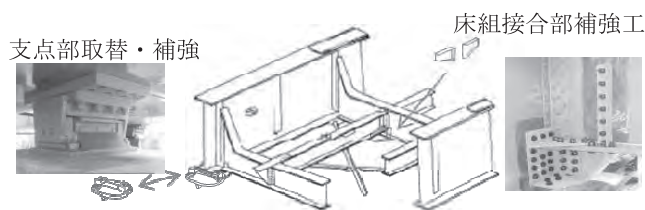
東海道新幹線は、昭和 39 年に世界初の高速鉄道として営業を開始し、平成 26 年 10 月に開業 50 周年を迎えた。この間、東海道新幹線の土木構造物は、日々の入念な点検・補修の積み重ねにより十分な健全性を保ち続けている。しかし、短期間で全線の建設工事を行った経緯から、経年劣化も集中的に発生することが懸念されたため、将来のいずれかの時点で大規模な改修工事が必要であると考えられた。

そこで、平成 14 年から大規模改修引当金を積み立てるとともに、同年に開設した自社研究施設により大規模改修の研究開発を重ねてきた。その研究開発の成果も活用し、東京～新大阪全線の鋼橋・コンクリート橋・トンネルを対象として、平成 25 年度から大規模改修工事に着手している¹⁾。本稿では、現在進めている大規模改修工事について、構造物毎の施工事例を紹介する。

2. 現在進めている大規模改修工事の対策工法

(1) 鋼橋の対策工法¹⁾ (図—1)

平成 14 年より、鋼橋の継続的な実態把握を行うとともに、東海道新幹線で使用されていた桁を用いた長期疲労試験や実物大の模型を用いた試験により研究開発を推進してきた。その結果、列車運休や徐行を実施



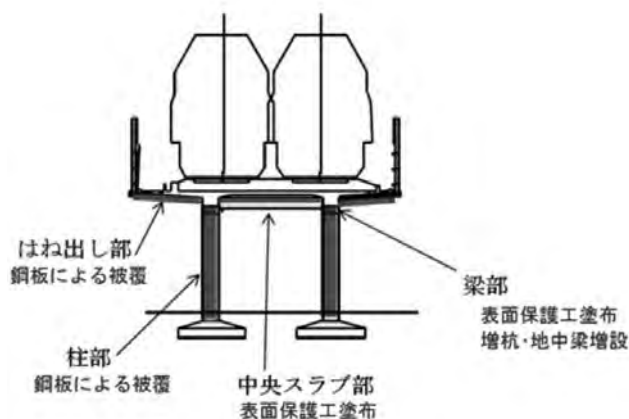
図—1 鋼橋の対策工法

せずに、変状発生を抑止に有効かつ取替と同等の効果を有する工法を確立した。具体的には、主要部材の溶接部（縦ビード）からの亀裂を誘発する変状の発生を抑止するために、床組接合部の補強、支点部の取替・補強を計画し、現在施工を進めている。

(2) コンクリート橋の対策工法¹⁾ (図—2)

コンクリート橋では、平成 12 年以降中性化抑止を目的として、コンクリート表面を樹脂等により被覆する表面保護工を実施している。表面保護工施工後の継続的な検査により、はね出し部下面の一部において、表面保護工のひび割れが確認された。このひび割れは、直ちに安全・安定輸送に問題となるものではないものの、いずれは抜本的な対策が必要と考えられることから、大規模改修工事では、将来的にも確実に中性化を防止する方策として、はね出し部と柱部のコンクリート表面を鋼板により被覆することとした。

一方、中央スラブ部、梁部、主桁部には現在のところ表面保護工のひび割れがないことを確認しているた



対策後全景



はね出し部鋼板被覆

表面保護工

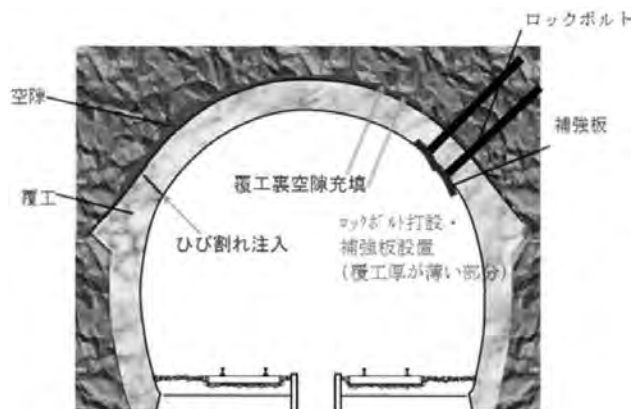
図一2 コンクリート橋の対策工法

め、当面は樹脂等によりコンクリート表面を被覆する表面保護工を実施することとした。

(3) トンネルの対策工法¹⁾ (図一3)

東海道新幹線のトンネルのほとんどは矢板工法で施工されたため、トンネルの覆工裏に空隙が生じやすい。覆工裏に空隙が存在すると地山との一体化が損なわれるため、コンクリート覆工の耐力が低下する。また、トンネルは列車走行による振動、空気圧変動の影響が大きく、その回数も多いため、これらの複合作用によるひび割れの進行も懸念されていた。

そこで、ひび割れの進行を抑止し、コンクリート覆工の剥落を防止するため、覆工裏の空隙を充填し、並行して既存のひび割れを樹脂材料で埋めることで覆工と地山を一体化させ、覆工の耐力を増加させる工法（覆工裏空隙充填工）を実施している。さらに、覆工裏空隙充填の際に覆工厚が小さいと確認された場合などには、部分的にロックボルト打設・補強板設置を付加的に施工することとした。

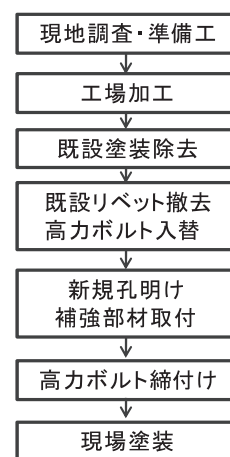


図一3 トンネルの対策工法

3. 鋼橋の施工事例（床組接合部補強）

(1) 施工概要

鋼橋における大規模改修工事の工法の一つである床組接合部補強は、下路ローゼ桁、下路トラス桁、下路プレートガーダ橋を対象に、図一4の施工フローの通り、縦桁と横桁の交差部に補強部材として舟形ブラケット部材（写真一1）を取り付けることにより行う。



図一4 施工フローチャート



写真一1 舟形ブラケット部材



写真一 馬込架道橋(11K792M)



各橋りょうで作業環境は異なるが、多くは道路上あるいは河川上の桁内あるいは足場上のスペースでの作業となる。ここでは、特に施工条件の厳しい環境であった、下路ローゼ形式の馬込橋りょうにおける施工事例を紹介する。

(2) 施工における課題と対策²⁾

馬込橋りょうは開床式の構造であるが、下から「他社鉄道」「国道」そして「馬込橋りょう」がかかる3層構造となっている（写真一2）。また、雨水等が落下しないように桁の上面に張板が設置されており、桁の側面及び下面には騒音対策の防音工（遮音板）が設置されている狭隘な現場であった（写真一3）。以上のことから、馬込橋りょうでは、部材搬入方法や狭隘箇所での施工が課題であった。

部材搬入については、交通量等を考慮すると、橋りょう

下の国道の規制は困難であるため、線路上から行うこととした。また、張板に既設のマンホールの大きさ（550 × 550）では部材搬入は困難であったため、新たにマンホール（680 × 940）を設置し（写真一4）、その内部に足場材で仮置場を設置した。

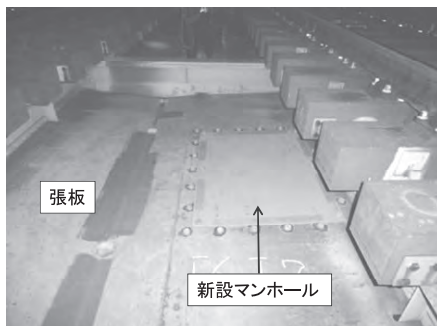
また、狭隘箇所の施工については、床組接合部補強構造は横桁の表裏に同じ構造の部材を設置することから、それぞれに作業員が必要となる。この現場の大きな特徴として、横桁の下が狭く、往來が出来ない状況であったため、作業員を横桁の表裏で2班配置して作業を行った（写真一5）。



写真五 横桁の表裏で2班配置しての作業



写真三 橋りょうの内部構造



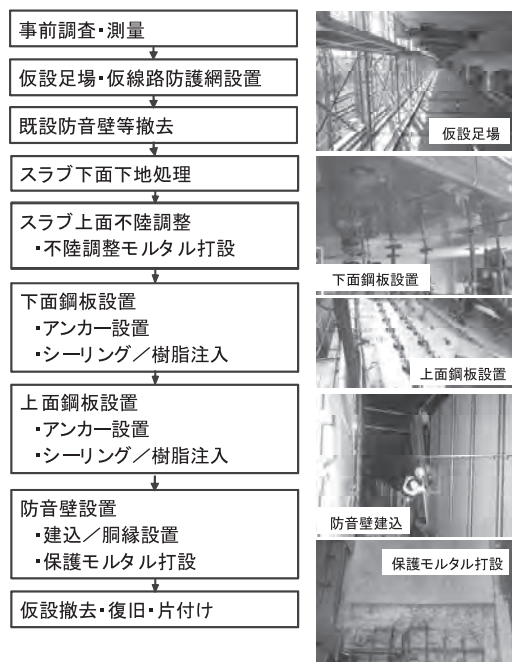
写真四 新設したマンホール

以上に留意して施工を行った結果、作業時間は4時間程度であったが、部材の搬入から補強材設置、後片付け、跡確認までの一連の作業を一晩で行うことができた。

4. コンクリート橋の施工事例（はね出しスラブ鋼板被覆）

(1) 施工概要

コンクリート橋の中性化抑止を目的としたはね出しスラブを鋼板で被覆する工法の特徴として、はね出し部コンクリートと上面・下面鋼板を樹脂により接着及びアンカーボルトで貫通することにより、両者を一体化できる点が挙げられる。施工フローは図一5の通りである。既設防音壁を撤去した後、スラブ下面の下地処理、スラブ上面の不陸調整を行い、鋼板取り付け



図—5 施工フロー

用のアンカーを設置し、シーリングしてから鋼板とスラブコンクリートの間にエポキシ樹脂を充填する。アンカー設置にあたっては、事前に鉄筋探査を行い、内部鉄筋を損傷させないよう配慮をしている。

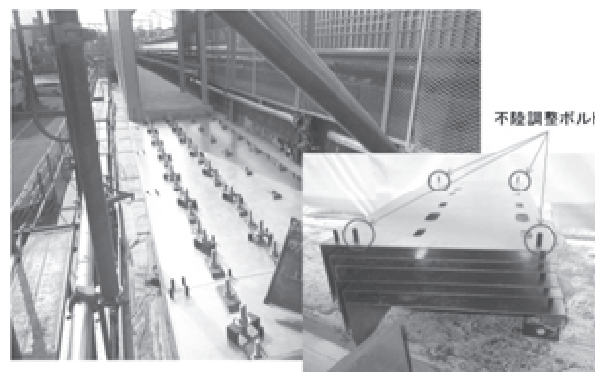
(2) 施工における課題と対策³⁾

スラブ上部への鋼板設置は、不陸調整モルタル打設→モルタルアンカー打設→貫通アンカー削孔→アンカーボルト設置→上面鋼板設置→シール工→注入 の手順で行う。

所定の品質を確保するためには、はね出し部と鋼板の接着を確実に行う必要があるため、スラブ上面の不陸調整は品質の確保に重要な工程となる。現場の実情として、既設防音壁撤去等により不陸が生じるため必ずしも既存の高架橋スラブ面は水平ではない。したがって、上面鋼板設置面の水平精度を確保するために、ブロックごとに調整モルタルの打設厚さを調整す



写真—6 セルフレベリング材の使用



写真—7 不陸調整ボルトの使用

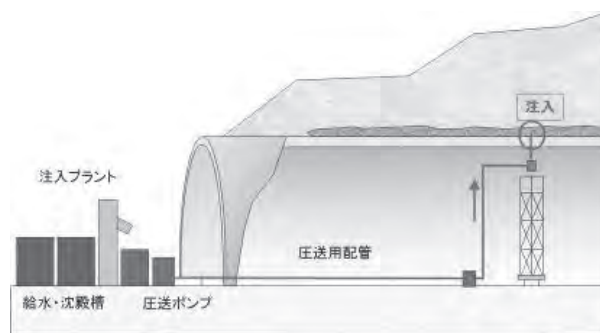
る設計としている。モルタル打設の仕上り精度は新たな防音壁の設置のしやすさにも大きく影響するため、精度を向上させる取り組みとして、打設後の自己水平性を有するセルフレベリング材（写真—6）および不陸調整ボルト（写真—7）を用いた施工を行うこととし、全線に展開した。

5. トンネルの施工事例

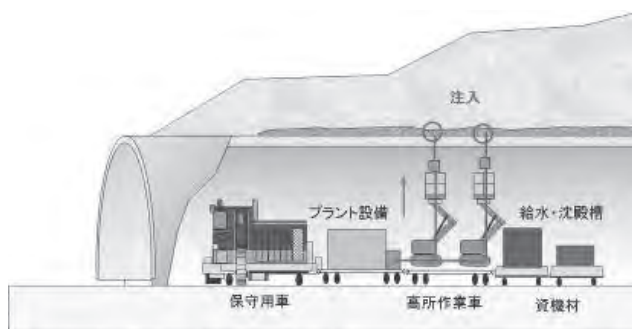
(1) 覆工裏空隙充填工事

(a) 施工概要

覆工裏空隙充填工事の施工方法としては、充填材料を製作するプラントをトンネル坑外に設置し、トンネル内の中央通路に配管して材料を圧送する「固定プラント方式（図—6）」と、充填材料を製作するプラン



図—6 固定プラント方式



図—7 移動プラント方式

トを保守用車に搭載し、現地に材料を運搬する「移動プラント方式（図—7）」がある。本稿では、これらの2つの施工方法のうち、移動プラント方式について紹介する。移動プラント方式では、保守用車上に搭載した高所作業車を足場として使用し、充填作業やリーク確認もこの高所作業車上で実施する。また、配管距離に依存しないため、圧送時間の影響を受けない一方、保守基地から現場までの保守用車の移動距離に応じて作業時間が左右されるという特徴を有する。

(b) 施工における課題と工夫点

新幹線の線路内での工事は、営業列車の運行時間帯で施工できないため、夜間の限られた時間帯で施工することとなる。また、夜間には土木工事の他に線路を維持管理する軌道工事も滞りなく施工しなければならない。そのため、1日当たりの施工量を伸ばし、施工効率を改善することを目的として、2箇所同時注入を試行した。覆工裏空隙充填の移動プラント方式による

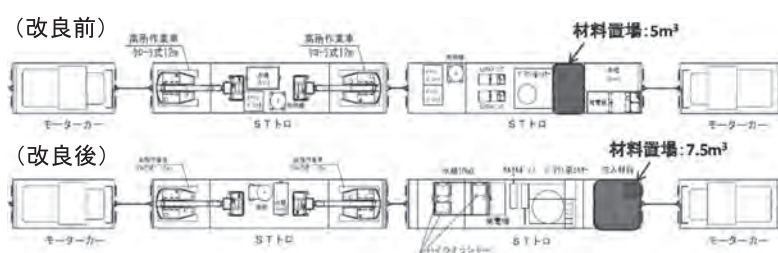
2箇所同時注入の施工状況を写真—8に示す。

移動プラント方式で2箇所同時注入を行うに当たっては、当初は日当たりの計画注入量を 4 m^3 、注入材料のミキシングへの投入は人力で十分対応できると想定し、 5 m^3 を積み込めるスペースを保守用車上に設けた。しかし、施工開始間もないころ、想定以上の注入量となり、材料切れにより作業終了となる課題が発生した。この課題を解消するため、プラントの配置替えや、図—8に示す材料置き場の拡大を実施し、注入材料の最大積載量を 5 m^3 から 7.5 m^3 に増加させた。この最大積載量の増加に伴い、日当たりの最大注入量は 5.9 m^3 に増加し、材料切れによる施工終了の問題を改善できた（この改良を1回目とする）。

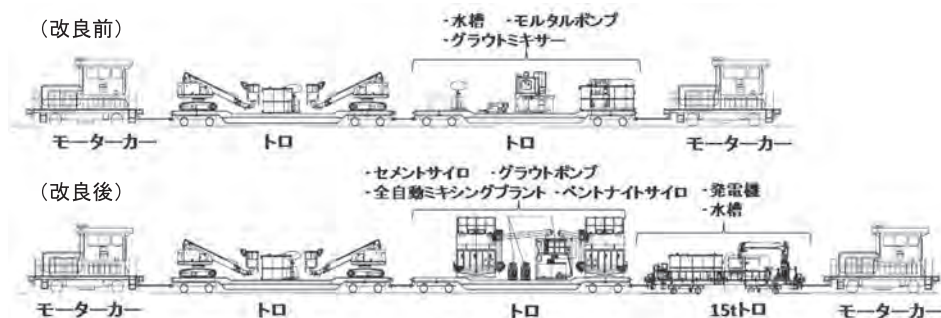
一方、移動プラント方式では材料の製造が一部人力によることから、固定プラント方式に施工能力で劣る。そのため、空隙が多いトンネルで1日当たりの注入量が増加した場合に材料切れになることが懸念された。そこで、固定プラント方式と同程度に材料の練混ぜ、注入が可能となるように、保守用車上にプラント設備の特注製作を実施した。図—9に、特注製作したプラント設備を搭載した保守用車の編成を示す。この図から分かるように、既存のトロにサイロ・ミキサー・グラウトポンプを、新たに追加した15tトロに発電機等を積載し、新しいプラント編成とした（この改良を2回目とする）。その結果、表—1に示す通り、改良1回目と2回目で最大積載量が約4倍、練混ぜ能力・時間、アジテータ容量が2倍となった。また、固定プラント方式と改良2回目で、同等の施工能力と



写真—8 2箇所同時注入の施工状況



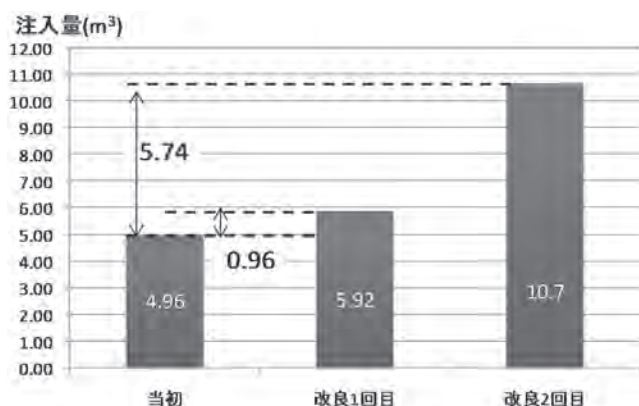
図—8 保守用車上の配置状況の改善



図—9 特注プラントの搭載

表—1 プラント能力の比較

比較項目	改良1回目	改良2回目	固定プラント方式
最大積載量 (m ³)	7.5	28 (10 t サイロ)	70 (30 t サイロ)
1回あたり練混ぜ能力 (m ³)	0.5	1.0	1.0
1 m ³ あたり練混ぜ時間 (分)	20	10	10
アジテーター容量 (m ³)	1.0	2.0	2.0



図—10 移動プラント方式改良前後の施工実績の比較

することができた。さらに、図—10に示す通り、施工実績を日当たり最大注入量で比較すると、当初と改良2回目で5.7 m³増加し、約2倍の施工能力となった。以上の取組みから、覆工背面の空隙が大きく、注入量が大幅に増えるような条件のトンネルでも効率的な施工が可能となった。

(2) ロックボルト打設

(a) 施工概要

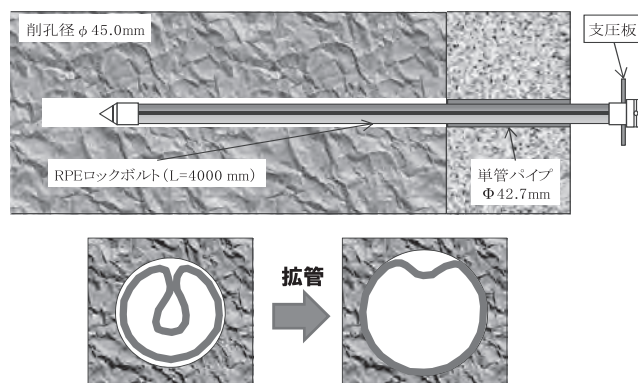
トンネルにおける大規模改修工事の一つであるロックボルト打設は、主に覆工厚が小さい箇所およびびび割れの進展により覆工の剥落が懸念される箇所を対象に実施している。また、一部の箇所においては、必要に応じて補強板を設置することでより確実な剥落対策を行っている。

(b) 施工における課題と工夫点

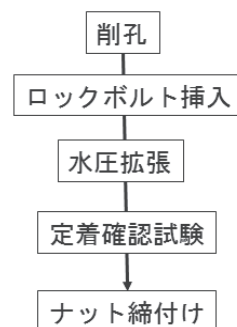
トンネルのロックボルト打設は、ジャンボドリルと呼ばれる削孔機械を用いている（写真—9）。従来は異形鋼棒を打設しており、覆工および地山のジャンボドリルによる削孔、ロックボルト周囲のグラウト充填の工程で1本の打設に3日間を要した。一方で、覆工裏込注入と同様に、夜間の限られた時間帯で実施する



写真—9 削孔状況



図—11 鋼管膨張型ロックボルト概略



図—12 ロックボルト施工フロー

こととなるため、更なる施工の効率化を検討した。

そこで、鋼管膨張型ロックボルト（以下 RPE ロックボルト）を使用した。図—11に RPE ロックボルトの概略図を、図—12に施工フローを示す。RPE ロックボルトは、ロックボルト周囲のグラウト充填が不要であること、水圧による鋼管内の拡張で地山と定着するため、技術者の施工能力に左右されないことが特徴として挙げられる。これにより、作業日数を1日に短縮することが可能になった。

また、ジャンボドリルのアーム長は5.2 m あり、ロッド長を含めると6.0 m になる。施工に際しては、保守用車が施工位置に到着してから、ロッドをアームに取り付ける。しかし、この取り付け作業には、高所作業車を使用すること、およびトンネル内の架線を避けなければならないことから、多大な時間を要した。そこ



写真—10 スーパートロ

で、ジャンボドリルを搭載するトロを写真—10に示す低床タイプ（以下スーパートロ）とした。このスーパートロ上にジャンボドリルを搭載することにより、高所作業車を使用せず、かつ架線を回避してロッドを取り付けられるようになり、施工時間の短縮が可能になった。

以上のような工夫により、施工実績は、平均で2本／日、最大施工本数は7本／日となり、施工効率の向上を実現することができた。

6. おわりに

本稿で紹介したとおり、大規模改修工事を着実に進めるために、安全かつ効率のよい施工方法を当社と施工会社において日々検討し、協力しながら施工を進めてきた。今後も、東海道新幹線の安全・安定輸送のため、施工方法のさらなる改良に取り組むとともに、積極的に新たな技術の導入を検討していく。

J C M A

《参考文献》

- 1) 関雅樹, 森川昌司, 吉田幸司: 東海道新幹線大規模改修工事 (I 章 総論), JREA, Vol.56, No.8, 2013
- 2) 鍛冶秀樹, 宇佐美龍一, 小原久, 小山研造: 床組接合部補強の施工, 土木施工, Vol.55, No.10, 2014
- 3) 石川俊朗, 衣斐信行, 斎藤伸明, 鈴木貴之, 杉浦弘治: コンクリート橋大規模改修の施工事例, 土木施工, Vol.55, No.10, 2014

【筆者紹介】

荒鹿 忠義 (あらしか ただよし)
東海旅客鉄道株
新幹線鉄道事業本部 施設部
担当部長



供用中の鉄道トンネルに対する補強工事

神 保 誠 二・蘭 康 則・杉 山 伸 康

供用中の地下鉄路線である複線シールドトンネルの一部に、変形が確認された。変形区間は延長約110 mであり、その恒久的な安全性を確保するため、高圧噴射攪拌工法による外部補強工事と、110 m区間のうち変形の大きい30 m区間に対する二次覆工による内部補強工事を実施した。いずれの工事についても、供用中の鉄道トンネルに対する補強工であり、列車運行を確保することが施工時の絶対条件とされた。

本稿では、補強工事の概要、施工方法を決定するために実施した試験施工、および施工結果について述べる。

キーワード：地下鉄、トンネル、補強工事、試験施工、高圧噴射攪拌工法、計測工、鋼製段差継手セグメント

1. はじめに

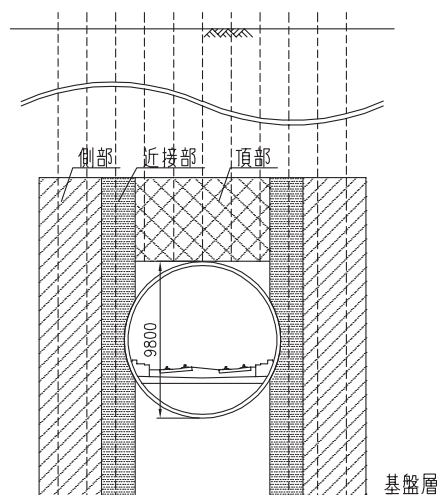
トンネルの変形が確認されたことをうけ、検討委員会が設立され、トンネルの現在の安全性の評価および対策工の選定が行われた。その結果、現状ではトンネルは一定の安全度を有するが、上部の土地利用計画による上載荷重の増加と首都直下型地震の可能性を考慮すると、対策工事は早急な実施が必須とされた。

2. 外部補強工事

外部補強工は、将来的な地上改変によって作用すると想定される荷重からトンネルを防護する目的で実施した。図—1はトンネルと改良体との位置関係ならびに改良体の形状を示したものである。改良体は地上改変によって生じる上載荷重をトンネルに作用させずに、基盤層に直接伝達させる門型構造を採用した。施工はトンネルとの位置関係で近接部、側部および頂部に分類し、施工を管理することとした。

(1) 試験施工

外部補強工の対象土質は粘着力Cが 50 kN/m^2 を超える高い粘着力を有する粘性土地盤であることから、高圧噴射攪拌工法による改良体の造成径が目標とする径を下回ることが懸念された。そのため、改良径や設計強度が確保出来ること、および近接するトンネルへの影響を確認するため、計16本の造成を試験施工と



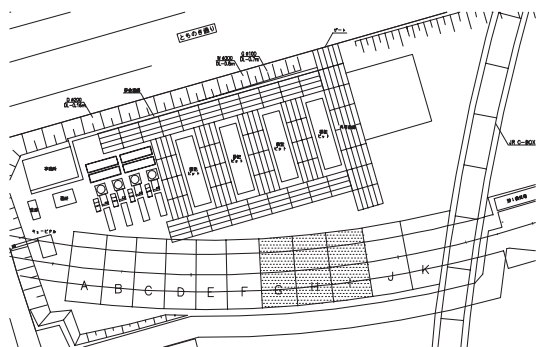
図—1 外部補強工計画断面図

して実施した。

(a) 地盤改良出来形

試験施工の結果、16本の中で出来形にばらつきが確認された。その原因は、対象地盤が高い粘着力を有する複雑な地質であることによると考えられた。このため、外部補強区間全体の110 m区間を均一な改良径および杭割付で施工することは品質確保の面で困難であると考えられた。

発注者及び設計者と協議の結果、図—2のように補強区間を約10 mの11ブロックに分割し、ブロックごとに四隅の杭に対して試験施工を行って有効径を設定し、有効径に合わせて杭の割り付けを行う施工方法を採用した。

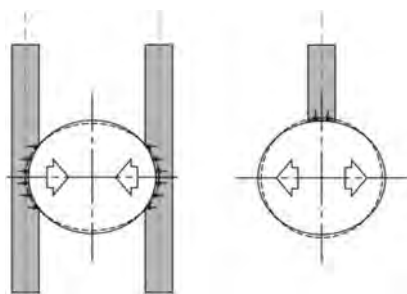


図—2 外部補強ブロック分割
※網掛部 内部補強併用箇所

(b) 計測結果と本施工の施工方法

当初、トンネルは横に伸びる方向に変形（以降「横伸変形」）が確認されており、地盤改良を行うことによって周辺地盤に乱れが生じて、さらに横伸変形が進行することが懸念された。このため、トンネル内外に計測機器を設置し、トンネルの変形、軌道の変位、周辺地盤の挙動を計測した。

トンネルの変形計測の結果、地盤改良の施工と連動したトンネルの変形が確認された。変形の方法は一方方向ではなく、近接部および側部の地盤改良を行った場合、横伸変形が復元する方向に変形（以降「復元変形」）し、頂部の地盤改良を行った場合、横伸変形が進行し（図—3）、1断面の施工完了時には、復元変形が卓越して残るとということが確認された。



図—3 トンネル変形の傾向

変形の大きさは、トンネルから最も近い近接部施工時に最も大きく、側部および頂部では比較的小さい結果となった。このため、近接部の施工は、列車運行が終了した線路閉鎖時間帯（約3時間）で行い、側部及び頂部の施工は、工期短縮のため、施工時間帯の制約を設けずに、昼夜間施工で行うこととした。

試験施工で復元変形が支配的であったことをうけ、外部補強および内部補強の併用区間では、トンネルや軌道の計測値を常時監視し、横伸変形が管理値を超えた場合は即座に施工を中断する事を条件に、外部補強を先行して実施する手順とした。

(2) 施工結果

有効径は、造成杭中心からの各離れにおいてコアボーリングを行い、硬化コアの採取率により判定した。頂部はトンネル上部の将来荷重を近接部および側部に伝達する梁部材であり、確実なラップが必要となる。このため、硬化コア採取率90%以上を合格値とした。近接部及び側部は、頂部に作用する荷重を基盤層まで伝達する柱部材と考え、硬化コア採取率が低下しても柱面積を増やす事で荷重の伝達が可能であると考えた。このため、70%以上を合格値とし、硬化コアが100%の場合に必要なブロックごとの最小改良面積を、硬化コア採取率で除算することで柱面積を算出した。

ブロックごとに有効径を判定し、杭の再配置を行いながら、外部補強を完了した。施工数量は、杭本数が657本、施工体積が43,900 m³となった。

地盤改良実施後、ブロックごとに近接部、側部、頂部の1箇所ずつ造成杭のラップ部を選定し、合計33本の事後調査工を実施した。その結果、すべての個所で硬化コアの採取率および一軸圧縮強度試験の結果が基準値以上であることが確認できた。

(3) 計測結果

内空変位については試験施工と同様、近接部および側部の施工時には復元変形が生じ、頂部の施工時には横伸変形が確認された。上下方向の変形量と水平方向の変形量とは、その絶対値が概ね同等の相反関係であり、トンネルにいびつな変形が生じていないことを確認した。

軌道計測の結果は、外部補強施工箇所近傍で僅かに変位はみられたが、列車の運行に支障となる変位は確認されなかった。これは、当該箇所が直結軌道ではなくバラスト軌道であることが一因であると考えられた。

地盤計測結果は、外部補強施工箇所近傍で僅かに変位はみられたものの、大きな変位は確認されなかった。

トンネル内の漏水については、近接部施工時に2回トンネル内で漏水が確認されたが、いずれも施工を終了した時点で漏水もとまったため、列車運行の支障とはならなかった。

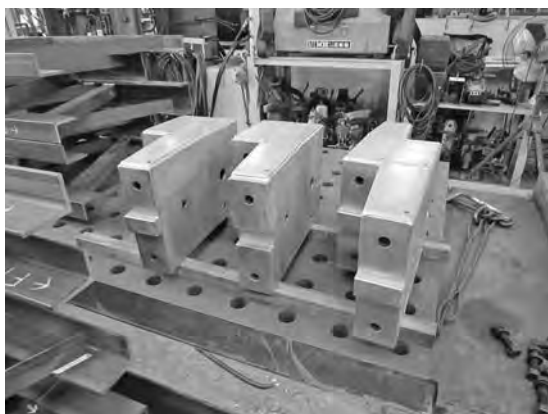
3. 内部補強工事

トンネルは現状では一定の安全性は確保しているものの、変形が大きい一部の区間を含めて所要の安全性を確保するため、内部補強工を実施した。内部補強工の

目的は、トンネルの覆工が終局状態に達する荷重（終局荷重）が現況荷重に対して安全率 $F_s = 1.5$ を確保する補強を行うこととした。補強構造は、既設トンネル覆工の内側にさらに覆工体を設置して二重リング構造とし、二重リングの全体で安全率 1.5 を確保する構造とした。

(1) 施工方法検討

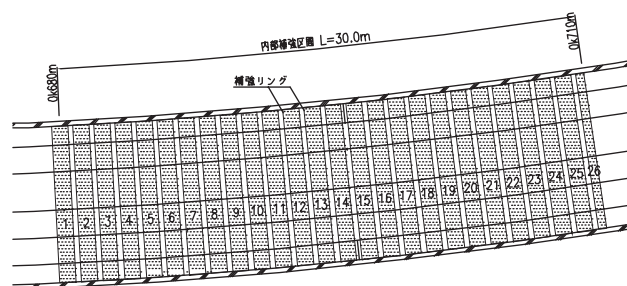
当初検討委員会が提案した内部補強方法は、コンクリート二次覆工による補強構造であった。しかし、限られた線路閉鎖時間内の施工では打継ぎ目が多数生じ、品質および維持管理上の不具合が発生する懸念があった。このため、一様な品質が期待できる二次製品である、鋼製段差継手セグメント（以降「セグメント」）を使用した施工方法を採用した。このセグメントは、継手が階段状になることで隣接するリングとイモ継ぎにならず、また一方の継手が凸の形状を、他方の継手が凹の形状を有し、それぞれが嵌合することにより高い剛性が得られるという特徴がある（写真—1）。



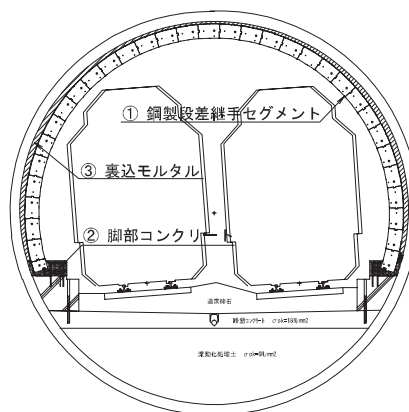
写真—1 鋼製段差継手セグメント

内部補強の形状は、1 ピースの幅が 225 mm であるセグメントを 4 ピース並べて 1 段とし、それをトンネル周方向に 33 段組み合わせることで、幅 900 mm の補強部材 1 リングとなる構造とした。シールドトンネルを構成する既設覆工幅（1,200 mm）の中央部分に配置して補強する構造として設計した。内部補強を行う 30 m 区間には、既設覆工が 25 リングと半分の割り付けであったことから、セグメントも 900 mm 幅で 25 リング、及び 450 mm 幅で 1 リングの合計 26 リングの構成とした（図—4）。

補強部材は、①鋼製段差継手セグメント、②脚部コンクリート、③裏込モルタルの 3 部材で構成される（図—5）。それぞれの役割・構造・性能は下記のとおりである。



図—4 内部補強区間平面図



図—5 内部補強構造構成図

①鋼製段差継手セグメント

セグメントはインバートを通じてアーチ状となり、設計荷重を支える部材である。鋼製のセグメント、及びボルトからなる構造である。防錆仕様は、ピースが小さく、また形状が複雑であることから、溶融亜鉛めっき（HDZ55）とした。

②脚部コンクリート

脚部コンクリートは、セグメントと既設トンネル構造物との界面にて応力を伝達するための部材であり、鉄筋及び無収縮モルタルからなる構造である。

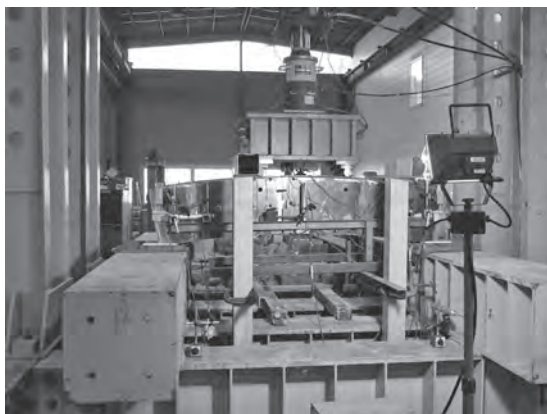
③裏込モルタル

裏込モルタルは、既設覆工に設計荷重が作用した際、二重リング構造間で応力を伝達する部材であり、無収縮モルタルからなる構造である。

(2) 工場検査および試験施工

(a) 性能確認試験の実施

セグメントの強度、剛性および組立形状が要求性能を満たしている事を確認するため、工場検査を実施した。強度および剛性については、4 ピースを添接したセグメントに設計荷重相当を載荷し、弾性変形範囲内であること、目標とするたわみ量以内であることを確認した。組立形状試験は 1 リング 33 段の仮組を行い、寸法誤差が管理基準値内であることを確認した（写真—2, 3）。



写真一2 性能確認試験 載荷状況



写真一3 組立形状試験状況

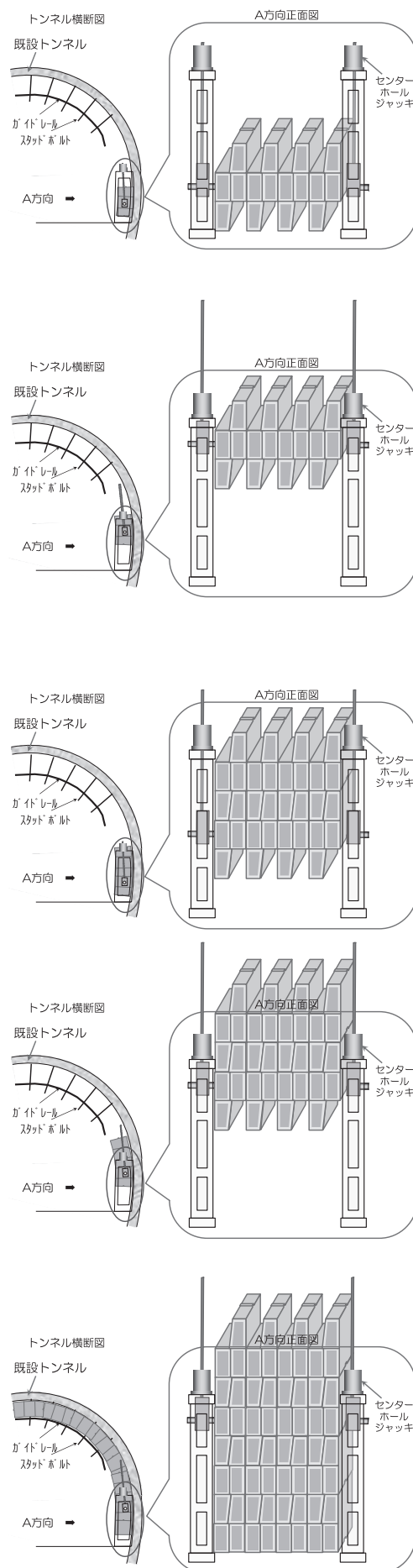
(b) 組立方法の検討

列車の運行を確保しながら、夜間線路閉鎖時間内にセグメントを組み立てるには、列車の建築限界内に大規模な仮設物を設置することは出来ない。この条件下で施工を行う方法として、設置箇所の最下段に1段分のセグメントを組み立てて油圧ジャッキでせり上げ、出来たスペースに更に1段分を組み立ててせり上げるという手順でセグメントを下から順に組み上げ、天頂部で閉合させることで1リングの補強材を組み立てる方法を採用した(図一6)。

この施工方法の場合、閉合する前の過程では、組み立てたセグメントが自立しない不安定な状態となる。このため、既設トンネルからセグメントを吊り下げて安定性を保ち、かつ組立位置まで正確にセグメントを誘導するガイドレールを設置することとした。また、建築限界外の限られた空間に設置できるセグメントせり上げ用架台および油圧ジャッキなどの設備を計画した。

(c) 実物大組立試験

計画している仮設設備および機械設備による施工の実現性を確認するため、実物大の模擬トンネルを作成して組立試験を実施した。セグメント吊り下げ部材で



図一6 セグメント組立ステップ



写真-4 組立試験状況

あるスタッドボルト及びガイドレールにはひずみ計を設置し、組立中に想定外の荷重が発生していないことを確認した(写真-4)。

さらに、万一吊り下げ部材の破壊が発生した場合でも、セグメントが軌道に倒れないダブルセーフティー対策として、既設トンネルに落下防止金具を取り付けることとし、設置状況及び建築限界に対する収まりについて確認を行った。組立試験の結果、セグメントの形状や仮設部材、及びせり上げ方法に細かい改善点が確認されたが、施工方法の実現性を確認することができた。

(d) 裏込モルタル充填試験

裏込充填工事も営業線内での施工となるため、大量のモルタルの漏れや、作業終了後の滴下を発生させることはできない。このため、使用した材料には、高いチクソトロピー性を有する空隙充填用グラウト材を採用した。この材料は通常の無収縮グラウトのように自然に流れることはなく、ポンプ等の圧力が作用しているときだけ流動するという特性を持つ。漏れが発生した場合でも、ポンプの吐出を停止すれば漏れはとまり、打設完了後に漏れ出す事もないという材料である。

トンネル内での施工に先立ち、セグメント組立試験を実施した模擬トンネルにて、充填試験を行った。試験の目的は、選定材料の適合性、注入方法の実現性、棲型枠や使用機械の適合性、およびモルタルの充填性の確認とした。

その結果、選定材料及び注入方法で、天端部まで確実に充填できることを確認した。また、一部ポンプ吐出中の棲枠からの漏れがあったものの、棲枠の固定方法の見直しを行うことで、大量のモルタルの漏れや、作業終了後の滴下を発生することなく、施工可能であることを確認した。

(3) 仮設工事

(a) 断面形状の計測

内部補強実施区間は元来トンネルの変形が大きい箇所であり、かつ外部補強によって変形量が変化することが確認されている。セグメントは組み立てた形状が真円形となるため、仮設物も真円形に設置するために、内空断面計測器によりトンネル内の断面計測を実施した。内空断面計測器は、レーザー距離計が台座上で回転しながら角度及び距離を計測することで、内空断面を計測できる機械である。これを軌道用の台車に設置し、トンネル横断方向に回転させることにより、トンネル断面の計測を行った。

(b) 仮設部材の設置

スタッドボルト、ガイドレール、および落下防止金具の設置作業はすべて、線路閉鎖およびき電停止後にトンネル内に足場を組み立てて行った。

仮設部材の設置断面形状を図-7に示す。ガイドレールは、上半部はスタッドボルトにてトンネルから吊り下げる形状で、下半部はトンネルにもたれ掛ける形状である。これは、セグメントを最下段よりせり上げた場合、初期の段階ではトンネル側部にもたれ掛かりながら、ある程度の高さからトンネル中心方向にもたれ掛かりながらせり上がることになるためであり、どちらの場合でもセグメントが不安定とならない形状とした。

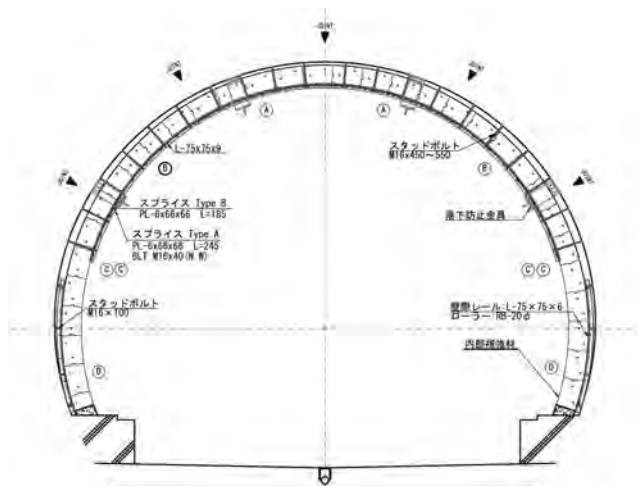


図-7 仮設部材設置計画断面図

(4) セグメント運搬工

セグメントは、1ピース約100kgである。地上からの搬入および駅構内での運搬は、すべて荷役用の台車を用いて、2ピース単位で行った。台車への積み込み及び荷下ろしは人力にて行った。駅構内移動はエレベータを使用し、営業時間外で行った。ホーム上の仮

囲い内に一時ストックしたセグメントは、補強リング1段分である4ピースをボルトにて締結し、以降はすべて4ピースを1単位で作業を行った。

ホームから施工箇所までの運搬は、組立式の簡易門型クレーンを用いて軌道にセグメントを下ろし、軌道上を走行できる台車を用いて手押しで運搬した。施工箇所ではローラーコンベアを用いて組立箇所まで移動し、ホイストにて組立箇所への投入を行った（写真—5）。

（5）セグメント組立工

トンネル内でのセグメントの組立は、線路閉鎖時間内の約180分間の間で施工を行った。この間に足場の組立解体、資材の運搬、片付けおよび跡確認を行うため、セグメント組立の実作業時間は約100分間であった。

試験施工の際は、製作精度などの原因により、1ピースのごとの組立でも嵌合部が入りにくく作業に時間を要したが、凸部及び凹部の面取りを行ったこと、ロール発注により製作精度が向上したことなどにより、4ピースごとであってもわずかな調整で組み立てることができた。

1日の作業では平均して、両脚からそれぞれ4段の組立を行った。33段分の組立および閉合作業、ジャッキなどの仮設物の移動を含めたサイクルタイムは、1リングあたり6日程度であった。

写真—6に施工状況を示す。

（6）脚部コンクリート工

鋼製段差継手セグメントの脚部と既設トンネルとの界面には、水平方向の応力を伝達する脚部コンクリートを打設した。セグメントからの水平分力は、最下段のピースに設置したボルト鋼材を介して伝達し、既設トンネルに打設したあと施工アンカー、鉄筋、および無収縮モルタルにて既設トンネルと閉合させる構造とした。

（7）裏込モルタル工

トンネル内での充填作業は、ペール缶およびハンドミキサにて混練を行い、モルタルポンプにて圧送した。充填試験で漏れが生じた棲枠部は、サポート材で補強を行い、トンネル内に大きな漏れを発生させることなく、無事充填が完了できた（写真—7）。



写真—5 セグメント運搬フロー



写真—6 内部補強工施工状況



写真—7 内部補強工完了全景

4. おわりに

供用中の鉄道トンネルに対して外部補強および内部補強を実施した。

外部補強では、複雑な土質に対して、施工範囲を細分化して試験施工を密に行うことで、所要の品質を確保することができた。内部補強では、線路閉鎖時間内

の限られた作業時間、建築限界を確保した狭い作業スペースという条件のなか、実物大の実証実験など細心の準備を行い、列車の運行支障を発生させることなく工事を完了することができた。外部補強と内部補強を通じて、トンネルの恒久的な安全性を確保することができた。

本工事で得られた知見が、同様のトンネルの補強工事の参考事例となり、公共輸送の更なる安定供給に供することができれば幸いである。

J C M A

《参考文献》

- 1) 杉山伸康・蘭康則・神保誠二：地盤沈下により変形したシールドトンネルを供用中に補強（設計編），トンネルと地下，pp.31-40，2015.9.
- 2) 杉山伸康・神保誠二・桜井靖彦・横山頭：内部補強と外部補強を組み合わせたシールドトンネル変状対策（施工編），トンネルと地下，pp.25-36，2015.10.

〔筆者紹介〕



神保 誠二（じんぼ せいじ）
清水建設㈱
土木東京支店 千葉土木営業所
工事長



蘭 康則（あららぎ やすのり）
日本シビックコンサルタント㈱
地下空間技術事業部
課長



杉山 伸康（すぎやま のぶやす）
横浜市交通局
工務部施設課
安全担当係長

ダム再開発工事における洪水吐増設時の 仮締切設備合理化を実現

仮締切としての機能を持つ予備ゲート設備の製作・施工

白川 豪人・椿 治彦・坂上 幸謙

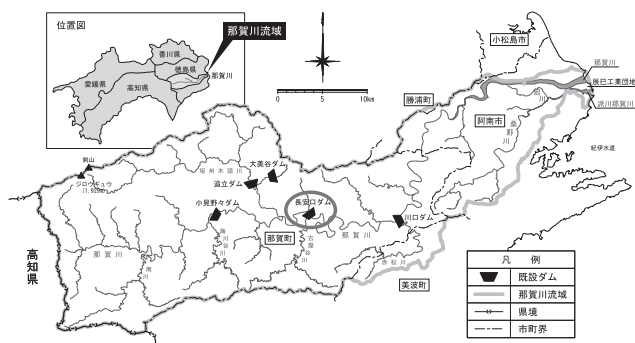
近年、既設ダムを有効活用し、治水・利水機能を強化するダム再開発事業が脚光を浴びている。ダムを運用しながらの施工が求められるため、堤体上流面に仮締切を設置し、その内部の水を抜くことでドライな環境を確保して各種作業を実施する場合が多い。従来の仮締切は、支持仮構や台座コンクリート上にチャンネル型の扉体を設置する方式が主流となっているが、本工事では、本設の予備ゲート設備を先行設置し、既設堤体切削時の仮締切として利用する新たな施工方法が採用されている。

本設の構造物を仮締切として利用することで、大規模堤体切削の際に、大きな仮設備を設ける必要がないため、工期とコストの両面において仮締切の合理化が図られた。本稿では、改造事業の一環である洪水調節容量増強を行う施設改造工事のうち、予備ゲート設備の設計・製作と一連の施工方法について紹介する。

キーワード：ダム再開発，底部架台，仮締切，予備ゲート

1. はじめに

長安口ダムは、徳島県那賀郡那賀町、一級河川那賀川本川上流部（河口から約 64 km）に位置し、洪水調節・発電・灌漑を目的とした那賀川水系唯一の多目的ダムで、昭和 31 年に徳島県により建設された高さ 85.5 m、総貯水量 5,427 万 m^3 の重力式コンクリートダムである。長安口ダムの位置を図一 1 に、ダムの諸元を表一 1 に示す。



図一 1 長安口ダム位置図 (那賀川流域図)

表一 1 ダム諸元

	諸元
形式	重力式コンクリートダム
堤高	85.5 m
堤頂長	200.7 m
堤体積	283,000 m ³

那賀川上流域は年間降水量 3,000 mm を超える日本有数の多雨地帯であり、流域では度重なる洪水による浸水被害が発生する一方、平成 7 年度以降は毎年のように取水制限が実施されるなど渇水被害も頻発している。

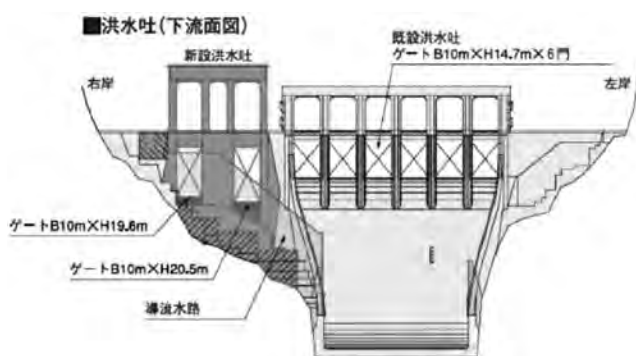
これらの問題と降雨後の河川濁水の長期化、有効貯水容量内に土砂が堆積するなどの諸問題を解消するため、平成 19 年度からダムを国土交通省に移管し、治水・利水・環境面におけるダム機能向上を目的とした長安口ダム改造事業に着手した。工事現況を写真一 1 に示す。



写真—1 2015年12月全景

2. 長安口ダム改造事業の概要

現在、長安口ダムでは、洪水調節容量の全量を予備放流により確保する運用を行っている。本改造事業では洪水調節容量を約 100 万 m^3 増加させるため、現在よりも予備放流水位を 1 m 下げるとともに、洪水調節機能の向上を図るために、既設ダム堤体を切削して洪水吐 2 門を増設する（図－2）。同時に新たな予備放流水位における放流能力の増強と新たに設定するダム設計洪水流量に対応するために、減勢工も改造する。



図－2 洪水吐下流面図

3. 長安口ダム施設改造工事の概要

(1) 工事の概要

改造事業に伴うダム施設改造工事の施工範囲を図－3に示す。現在のダム運用を継続しながら、洪水吐 2 門を増設するための底部架台、仮締切及び予備ゲート等を設置する 1 期工事（平成 24 - 28 年度長安口ダム施設改造工事：鹿島・日立造船 JV 施工）、堤体切削に代表される洪水吐の増設、減勢工の改造等を行う 2 期工事（平成 26 - 30 年度長安口ダム施設改造工事：鹿島建設施工）、洪水吐ゲートを新設する 3 期工事（平成 27 - 30 年度長安口ダム洪水吐ゲート設備工事：



図－3 改造事業 工事施工範囲

IHI インフラシステム施工）に分割発注されている。施設改造工事の主要工事数量を表－2に示す。

(2) 洪水吐増設の手順

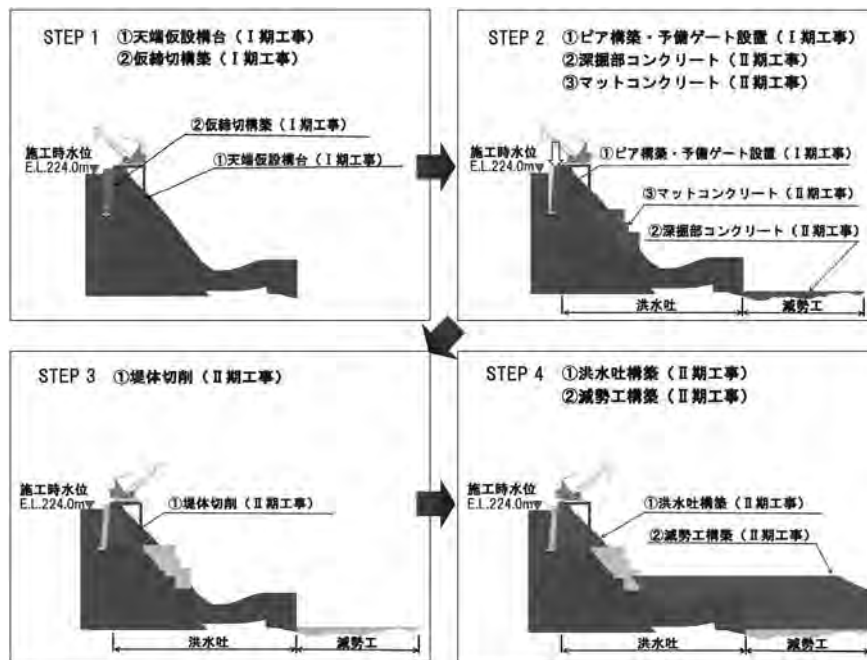
洪水吐の増設については、図－4に示す手順に従い、仮締切となる予備ゲートを先行設置し、同時に堤体下流に堤体切削により重量が減少する影響を補うマットコンクリートを打設した後に、切削を行い、洪水吐を構築しゲートを設置する計画である。

予備ゲートを先行設置する 1 期工事の施工順序は以下のとおりである。これら作業のうち、予備ゲートピアの構築以外は、全て潜水土による水中施工である。いずれも水深約 30 m 下での作業で、貯水池の濁りなどによる視界の制限を受ける中、潜水土が交代しながら一連の作業を行う本工事は高い精度が要求され、品質・安全全てにおいて難易度が高い。

- ①堤体上流面の凹凸やコンクリート表面の劣化部分を切削除去し、平滑で一様な面を構築
- ②鋼・コンクリート（水中不分離性コンクリート）複合形式の底部架台を構築

表－2 施設改造工事 主要工事数量

工 事	工 種	細 別	単 位	数 量	備考
1 期	底部架台	製作・据付	式	1	2 基
		水中不分離性コンクリート	m^3	308	
	仮締切設備	製作・据付・撤去	式	1	転用
		予備ゲート設備	式	1	
2 期	掘削工	製作・据付	式	1,028	
		高流動コンクリート	m^3	45,300	
	洪水吐工	堤体切削	m^3	8,300	
		コンクリート	m^3	46,000	
	減勢工	コンクリート	m^3	74,000	
		CSG	m^3	90,000	
3 期	洪水吐ゲート設備等	製作・据付	式	1	2 門



図－4 施工手順図

- ③底部架台の上部に仮締切を据付
- ④仮締切内に、予備ゲートピア（高流動コンクリート）を構築
- ⑤仮締切を撤去し、予備ゲートピアに予備ゲートを差し込む

4. 予備ゲート設備の施工

（1）不陸整正工

長安口ダムは完成から約60年が経過しており、堤体上流面は経年劣化とともにコンクリートの中酸化が確認されていた。1期工事において構築する予備ゲート設備は、堤体上流面と一定の離隔を持って設置する必要があることから、構造物が堤体と接合する範囲について、表面の劣化部を除去するとともに、均一な面に平滑化する不陸整正を実施した。

当初、不陸整正は潜土工による人力はつりで計画されており、多大な時間と労力がかかることが予想された。そこで減圧症発症リスクの低減と施工効率向上を図るため、水中ツインヘッドによる機械化施工とした。

水中ツインヘッドは鋼製フレームと切削機から構成され、自重により切削反力を得る（重量10.2t）。これをダム天端仮設構台上の大型クローラクレーンを用いて揚重し、施工範囲を上下に動かすことで、既設堤体コンクリート表面の切削を行った（写真－2）。なお、水中ツインヘッドには水中カメラや水中マイク、水深計を装備しており、機械の操作員が安全な台船上から切削位置と状況をリアルタイムに確認することが



写真－2 水中ツインヘッドによる施工状況

できた。

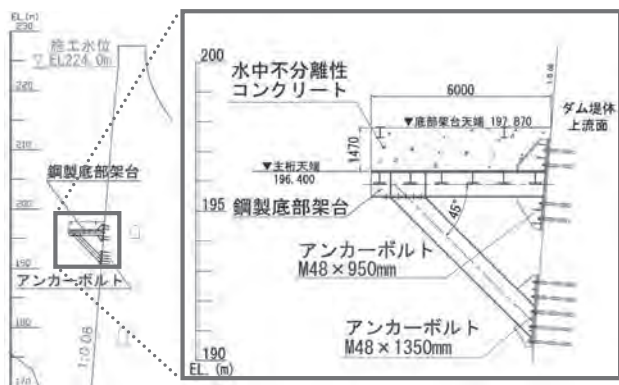
この機械化施工により、当初計画に比べ潜土工の延べ作業時間を削減でき、減圧症発症リスクの低減を図ることができた。

（2）予備ゲートの底部架台

底部架台は、予備ゲートや仮締切設備を支持する長さ43m、高さ7m、奥行き6mの永久構造物である。その構造は、堤体上流面にアンカーボルト548本で固定するブラケット形式の鋼製架台と水中不分離性コンクリートの床版からなる鋼・コンクリート複合形式を採用している。図－5に底部架台の構造を示す。

（a）鋼製架台固定用アンカーボルトの施工

堤体上流面に鋼製架台固定用のアンカーボルト（M48：SUS304N2）を先行設置する。アンカーボルト



図ー5 底部架台構造図

トは注入式とし、水中作業により削孔・据付、注入を行う。鋼製架台の据付には非常に高い精度が求められるため、設置するアンカーボルトも同様の高い設置精度（±5mm）が必要となる。通常的水中測量では精度の確保が困難と考えられたため、本工事ではアンカーボルトの配列パターンに応じて組替え可能な削孔用と据付用の2種類の高精度大型テンプレートを工場製作した（図ー6）。

気中で地組立てを行った大型テンプレートは、クローラクレーンを使用し、ダム上流面の水中で所定の位置に設置した。削孔用・据付用テンプレートを転用しながら、総数548本のアンカーボルトを施工した（写真ー3）。これらテンプレートを使用することで、アンカーボルトのコア削孔からモルタル注入に至るまで一連の施工精度が保たれた。モルタル充填後のアンカーボルトの設置精度は、偏心量が最大2mmと極めて高い精度を確保することができた。

また、品質面においては、底部架台に作用する荷重を全てアンカーボルトで支えるため、ボルトの定着強度の確保が重要となる。そのため水中で充填作業を行



写真ー3 アンカーボルト削孔状況（水中）

うモルタルには、無収縮かつ水中不分離性を有し、ボルト設置孔の隅々まで充填できる性状が求められた。

これらの条件を満足するモルタルの配合は、事前の室内実験によって選定し、現場で水中注入実験を行うとともに、アンカーボルトの引抜試験を実施して、設計引張力の5倍以上の耐力があることを確認した後、実施工を行った。

こうした大型テンプレートの採用と適切なモルタル配合の使用により、大水深下においても極めて高い精度で、かつ良質なアンカーボルトを設置できた。

(b) 鋼製底部架台の据付

鋼製架台部分は、永久構造物として水中に残ることから、ステンレス製とし、将来の維持管理を容易にしている。さらに施工時・完成後の水圧・浮力、自重等の荷重作用ケースを考慮し、材質は高強度なSUS304N2材を使用した。なお、左岸側を10BL、右岸側を11BLとして、全2組の製作・据付を行った。

1組の鋼製架台は4ブロックに分かれており、更に、A、Dブロックの水平部については、輸送寸法を考慮して3分割とした。現地ではこの大型構造物を先行設置したアンカーボルトに水中で固定するため、高い製

	削孔	据付・モルタル注入
概要	アンカーボルトの配列パターンにあわせた大型の削孔用テンプレートを製作。テンプレートには油圧コアドリルを固定して、潜水士による削孔。	アンカーボルトの配列パターンにあわせた大型の据付用テンプレートを製作。テンプレートはアンカーボルトの据付位置と方向を定めるとともに、モルタルの型枠の一部となる。
略図及び写真		

図ー6 高精度大型テンプレートの概要



写真—4 工場での底部架台の仮組立状況

作精度が求められる。よって工場仮組立では、各ブロックを一体とし、ベースプレート面を下面にして、レベルを出した定盤上で水平部と斜材を一体組立し、現地での地組立ブロック単位で仮組立することで、高い製作精度を確保した（写真—4）。

一方で現地に搬入した鋼製架台は、ダム上流の貯水池内仮設構台（現地組立ヤード）で据付用の地組立ブロックへと溶接により完成させる。悪天候時の影響を受けないよう設置した可動式テント内で組立、溶接接合作業を行う。そのため、現場溶接の溶接熱による変形を予め見込んで製作することが、据付時の精度向上につながる。ただし、SUS304N2材はあまり汎用性がない材料であり、多層溶接に関する溶接変形データは不足しているため、工場製作前に変形量を確認するためのモックアップ試験を実施することにより、据付時の精度管理の向上を図った。組立・溶接後は、組立ヤードに設置した150tクローラクレーンにて運搬用台船に積み込み、ダム側まで曳航して、ダム天端仮設構台上に設置している200tクローラクレーンで吊り込

み、据付を行った。

底部架台の斜材は13本あり、水深30m付近の潜水作業による据付であることから、貯水池仮設構台にて各斜材をH鋼で横つなぎに連結し、一体吊り込みとすることで、底部架台全体の据付精度の向上を図った（写真—5）。またダム堤体と底部架台ベースプレートの接続面には、堤体不陸の調整用の隙間が設けられており、据付後、その隙間に水中不分離性モルタルを注入し、堤体と一体化させた。ただし、モルタルが流出しないようにダム堤体の不陸形状に合わせた端部処理を行う必要があった。そこで、堤体の不陸に追従しやすく、モルタルとも相性の良いブチルゴム系の止水材を、予め陸上でベースプレート裏面に貼り付けることで、水中での端部処理作業を無くした。

（c）水中不分離性コンクリートの施工

底部架台の上部に厚さ1.5mの床版を水中不分離性コンクリートで構築する。事前に温度応力解析を行い、温度応力低減のために液化窒素を用いてコンクリートのプレクーリング（写真—5）を行うとともに、低熱ポルトランドセメントを使用した。ダム湖内の水深約30mで、潜水士が特殊トレミー管を使用して水中不分離性コンクリートの打ち込みを行った（写真—6、7）。

この底部架台の施工は、水深が30mを超え非常に深いことに加え、延べ潜水作業時間も長いため、減圧症の発症リスクが高い。機械化施工の採用や、アンカーボルトテンプレートの使用により、水中作業を単純化することで、陸上と同程度の施工精度を確保するとともに、潜水士の述べ作業時間を削減できることから、減圧症等の高気圧障害発症リスクを低減することができた。



写真—5 鋼製架台（斜材）吊り込み状況



写真—6 液化窒素によるコンクリートのプレクーリング



写真一七 水中不分離性コンクリートの打ち込み（水中）

(3) 予備ゲートピア施工のための仮締切設備

ダムを運用しながら貯水位を下げずに予備ゲートピアを施工するための仮締切設備として、全高 28.1 m、奥行き 5.4 m、長さ 7.7 m と 6.4 m の 2 基、総重量 403 t の鋼製金物からなる仮設構造物を設置する。仮締切設備は、ダム堤体面に据え付けた側部戸当りに沿って、水平 10 段に分かれた鋼製多段チャンネル型の扉体を底部架台上に積み上げる構造である（図一七）。

仮締切扉体は、トレーラ輸送寸法を考慮して高さ 3.2 m 以内の 10 ブロックに分割し、更に 1 ブロックを端部と中央部に 3 分割して、工場から貯水池内仮設構台に運搬した。分割搬入した仮締切は 150 t クローラークレーンにて荷降し、付属品の組み込み、扉体の溶接接合を行った後、運搬用台船にてダム堤体まで曳航

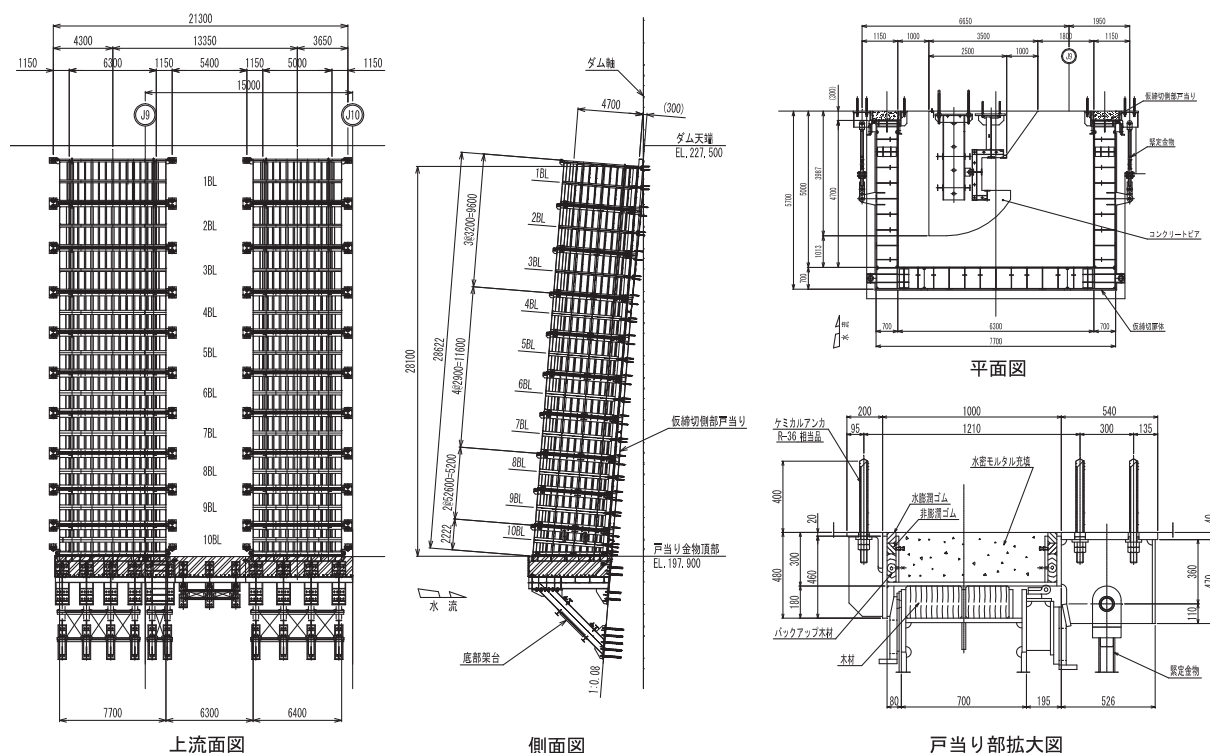
し、ダム天端仮設構台上の 200 t クローラークレーンにて据え付ける。

仮締切側部戸当りは、事前にダム堤体面の不陸を計測し、予め側部戸当りに設けておいた余長を不陸形状に合わせて切断加工することにより、堤体の不陸に追従できる形状とした。側部戸当りをダム堤体に後施工アンカーにて固定後、戸当りと堤体の間に水密モルタル（水中不分離性モルタル）を充填した。

扉体据付は、底部架台に偏った荷重が作用しないよう、内空幅 6.3 m と 5.0 m の扉体を下段から交互に設置した。陸上での玉掛け時に扉体の傾きをダム堤体の傾斜に調整して、水中に吊り下ろし、底部戸当りおよび各段の扉体に設けたピボットに挿入しながら所定の位置に吊り降ろした（写真一八）。

仮締切扉体は吊り込み後、戸当り側へ引き寄せ、緊定金物で固定する。緊定金物は、扉体を堤体側へ保持する金物であり、地震力に対して扉体を拘束するもので、水圧や木材のクリープ現象により軸力が抜けた場合に必要に応じて増し締めを行う。従来の緊定金物は、斜め方向に設置（斜め方式）し、ターンバックルにより緊定力の調整を行う方式であった。しかし、斜め方式では隣同士が干渉するため、10BL 側の仮締切の撤去が完了するまで 11BL 側の施工ができないことから、緊定金物を仮締切と併行に配置する構造（直方式）とした（図一八）。

扉体の据付完了後、戸当りと仮締切扉体の底部およ



図一七 仮締切設備全体図



写真一8 仮締切扉体吊り込み状況



図一8 直方式緊定金物



写真一9 仮締切設備据付完了

び側部水密ゴムとのゴム当り状況の確認、緊定金物の取付、排水ポンプによる仮締切内の排水後、排水設備の撤去、緊定金物の張力の調整を行い、本設の排水設備を設置して仮締切内での施工ができる(写真一9)。なお、漏水量は、0.4 l/minと非常に少ない値であった。

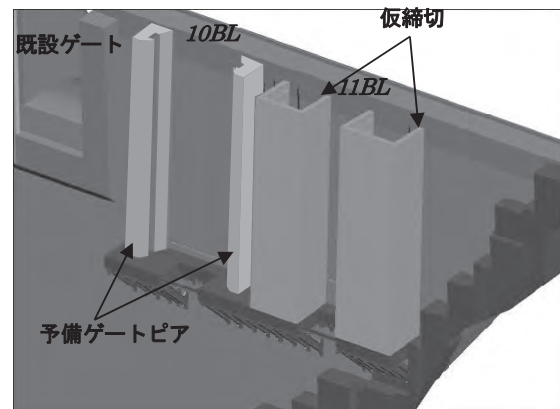
予備ゲートピアの構築完了後、仮締切設備を撤去す

る。その手順は、①仮締切内充水、②緊定金物等の撤去、③扉体撤去、④側部戸当り撤去 である。

据付時同様、底部架台に偏った荷重が作用しないように左右の扉体を上段から交互に撤去し、運搬用台船に積み込み、貯水池仮設構台まで曳航した。仮締切設備の撤去は、200 tクローラークレーン付台船を使用した。なお、仮締切扉体は、10BLの予備ゲートピア構築後に撤去し、11BLに転用する。

(4) 予備ゲートピアの施工

仮締切内部の排水完了後、予備ゲートピアを施工する。予備ゲートピアは、作業空間の狭い仮締切内で構築される幅2.5 m、奥行き4.0 m、高さ29.6 mの構造物であり、1BLあたり2基の門柱から構成される(図一9)。



図一9 予備ゲートピア施工のイメージ

また、施工の簡素化と支持構造の確実性に配慮して、写真一10に示すようなH鋼を主部材とする堤体上流面に支持された片持ち梁構造を採用するとともに、型枠や鋼材の隅々まで密実なコンクリートを構築するために高流動コンクリートで計画されていた。

ピア躯体は、内部に鋼材が多数配置されていること



写真一10 予備ゲートピア施工状況

に加え、既設堤体に拘束される細長い壁状構造物であることから、温度ひび割れの発生が懸念された。そこで、温度応力解析の結果から、膨張材を用いた配合を採用し、ひび割れ指数の改善を図った。さらに、埋設鋼材と既設堤体のあきが小さいことから、スランプロー 65 cm の高流動コンクリートを使用し、1 リフトあたりの打設高さを 3.0 m とした。型枠は、側圧（液圧）に耐え得る構造で、かつ形状が不変であることから、鋼製スライド型枠形式を採用した。しかし、仮締切内は極めて狭所で躯体と足場の離隔が狭く、通常の外部支保方式のスライド型枠が採用できない。さらに、品質面から戸当り等の埋設鋼材を利用することができないため、仮設鋼材を埋設した内部支保方式を採用した。

なお、ピア内部に埋め込むピア補強鋼材と予備ゲート側部戸当りの据付に当っては、貯水池内仮設構台において、ピア補強鋼材と側部戸当りを連結材にて一体に組み立てて 4 分割で据付を行った。

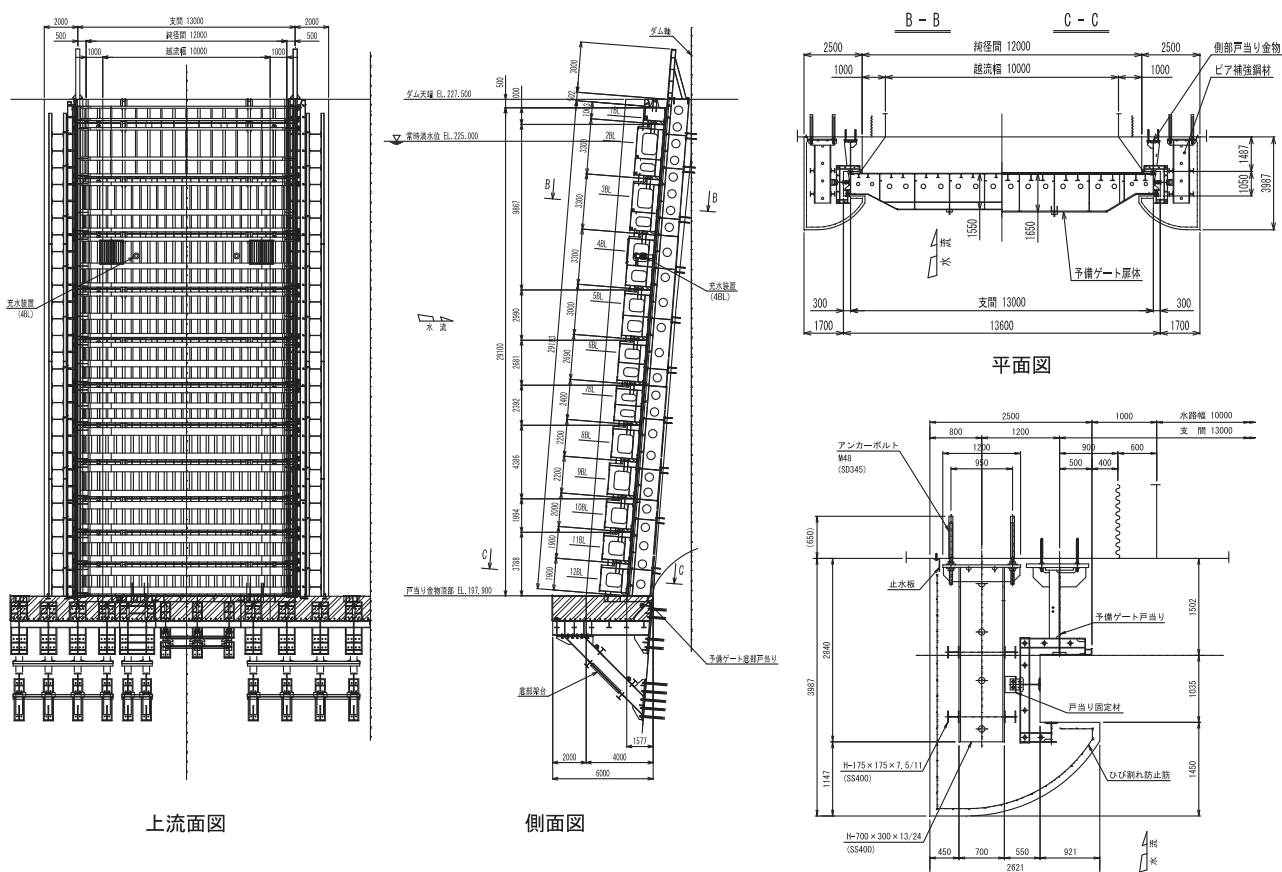
高流動コンクリート打設は、コンクリートポンプ車による圧送とし、埋設鋼材の据付精度を維持しながら、狭所において密実なコンクリートを構築することができた。

(5) 予備ゲートの据付

予備ゲートは、12 基に分割されたスライドゲート形式の鋼製角落しゲートを、自動脱着式のリフティングビームを介して移動式クレーン（運用後）により底部架台上に段積みする構造である（図—10）。

本ダムは堤体上流面が傾斜しており、鉛直に昇降するゲートとした場合、傾斜がない場合に比べて、仮締切や予備ゲートピアが上部ほど突き出た形状となり、規模が大きくなることから、コスト縮減を目的として傾斜に平行に昇降するゲートとなっている。このため、予備ゲート扉体を吊り下ろす戸溝（戸当り面）も傾斜になっているが、吊り姿勢が鉛直状態のままで戸溝に吊り下ろすと扉体の角が戸溝に片当たりし、スムーズに昇降することができないという課題がある。そこで、扉体が片当たりせず、スムーズに戸溝内を昇降できるようにするため、以下の対策を実施した。

- ①ウェイト载荷による重心位置の調整を行うことにより、扉体と戸当りの傾斜を平行にする
- ②上流側にフロントローラを設置し、戸溝内での姿勢を制御することで、扉体の角が戸当りに当たらないようにする
- ③ピア頂部にガイド戸当りを設置し、扉体を戸溝へ誘導する際の位置合わせを容易にする



図—10 予備ゲート全体図

なお、自動脱着式のリフティングビームは、フックが自動で着側、脱側に作動することを確認するため、工場での扉体ウェイト調整時に、リフティングビームを使用して扉体を吊り下げ、フックの作動状態を確認した。

扉体は、現地での吊り易さを考慮して、製作段階で桁側に立て起こし用の吊ピースを取り付けておき、桁側を天、スキンプレート側を地にして、貯水池内仮設構台に搬入した。搬入後、その吊ピースを用いて荷降し、立て起こしを行い、ダム湖上の運搬用台船に積み込んだ。



写真—11 予備ゲート扉体吊り込み



写真—12 予備ゲート扉体据付完了

扉体の据付は、自動脱着式のリフティングビームを使用して、200tクローラクレーン付台船にて1日2基のサイクルで下段から順に行った（写真—11）。12段の据付完了後、予備ゲート扉体とダム堤体間の水を排水し、水密状況の確認を終え、据付を完了した（写真—12：10BL側のみ部分完成）。

5. おわりに

平成24～28年度長安口ダム施設改造工事における予備ゲート設備は、2015年10月に10BL側が完成し、引き渡しを行った。11BL側は仮締切の据付まで完了し、残り半分の予備ゲートピア施工を残すのみである。

社会資本ストックの有効活用の観点から、供用中ダムの再開発工事が数多く見込まれる中、本工事の実績がこれからの同種他工事の参考となれば幸いである。

J C M A

【筆者紹介】



白川 豪人（しらかわ つよひと）
国土交通省
四国地方整備局 那賀川河川事務所
開発工務課長



椿 治彦（つばき はるひこ）
鹿島建設㈱
四国支店 長安口ダム施設改造JV工事事務所
所長



坂上 幸謙（さかがみ ゆきのり）
日立造船㈱
水門部設計2グループ
グループ長代理

栈橋上部工点検用 ROV の研究開発

田 中 敏 成

栈橋上部工下面の一次点検作業を目的として、遠隔操作により水中部無人で上部工下面の変状を撮影し、その劣化度判定に資する画像データを安全かつ効率的に収集する ROV 型点検装置とその操作・運用支援システムの研究開発に取り組んでいる。ここでは、ROV の遠隔操作支援とその位置情報を撮影画像に自動的に関連付ける目的で、GPS を利用できない栈橋下における測位機能等を付加し、ROV の操作性の改善と点検装置としての利便性の向上を図った。本稿では、これらに関する一連の取り組みについて紹介する。

キーワード：栈橋上部工下面、一次点検作業、ROV、栈橋下における測位、遠隔操作支援、点検位置情報

1. はじめに

栈橋上部工下面のコンクリートの点検作業については、まず全体の外観を確認することを目的として、潜水士や船外機船等が直接その下に入って実施する目視による一般点検診断が行われている（写真—1）。この点検作業においては、外観から得られる変状情報を全ての部材について把握することが求められるが、作業の実施は波浪や潮汐の影響を受け、その安全性の確保は必ずしも容易ではない。とりわけ供用中の係船施設においては、施設の利用状況を勘案した作業の実施が求められることとなる。

このような現状を鑑み、筆者らは栈橋上部工下面の一次点検作業を目的として、遠隔操作により水中部無人で上部工下面の変状を撮影し、その劣化度判定に資する画像データを効率的に収集する ROV（Remotely Operated Vehicle）型点検装置（以下、栈橋上部工点

検用 ROV）とその操作・運用支援システムの研究開発に取り組んでいる。

栈橋下では、点検装置の上部を構造物によって遮蔽されることから、GPS を直接的に利用した測位は期待できず、その遠隔操作や点検位置の管理は容易ではない。ここでは ROV の遠隔操作支援と点検位置情報の管理を目的として、構造物下における ROV の測位と運動推定機能を付加し、その操作性の改善と点検装置としての利便性の向上を図った^{1), 2)}。

なお、現地実証試験に用いた当該試験機においては、撮影画像のファイル名に独自書式の位置情報等を付与することで点検位置情報を管理していたが、現在の改良型では、任意の測位デバイスが出力する位置情報を撮影画像内のメタデータを利用して各々の画像にジオタグを付することとし、点検位置情報の管理手法の一般化を試みている。本稿では、これらの取り組みについて紹介する。



a) 上部工下への進入 状況



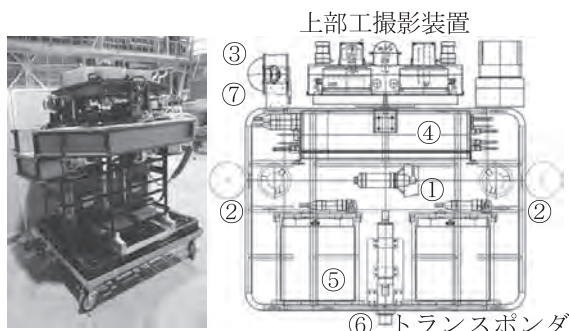
b) 栈橋下での作業状況

写真—1 栈橋上部工コンクリートの目視点検の様子

2. 上部工点検用 ROV 実証試験機

(1) ROV ビークル部

ROV のビークル部の形式は半没水型であり、本機が具備する調査機能や操作性等への検証を目的とした実証試験機である。これは、後述する上部工撮影装置を常時空中に露出する状態でビークル部の上部に設置し、装備された2種類の上方撮影カメラによって、床版や梁など上部工下面の画像撮影を行うものである(図一1、表一1)。



図一1 栈橋上部工点検用 ROV

表一1 ROV のビークル部の諸元

	仕 様
型 式	半没水型
推進器	前進用スラスタ (150 W) × 2…① 側行用スラスタ (150 W) × 2…②
前方カメラ	NTSC カメラ × 1 (操縦用) …③
搭載センサ	傾斜計…④, 磁気方位計…⑤, USBL 型音響測位装置…⑥ (上部工撮影装置部の搭載物を除く)
照 明	LED × 2 (操縦用) …⑦
寸 法	L1160 mm × W800 mm × H1117 mm L1460 mm × W1350 mm (浮体含む)
質 量	約 230 kg (自動雲台を含む最大構成)

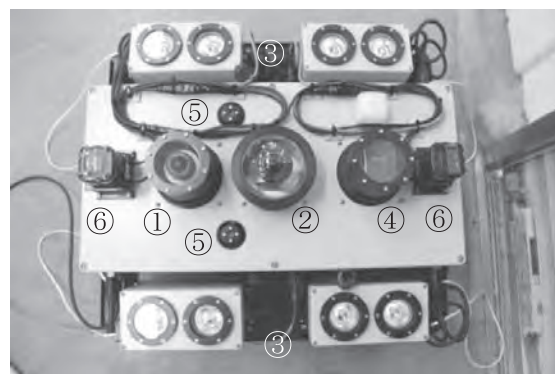
※ USBL : Ultra Short Base Line

(2) 上部工撮影装置

上部工撮影装置は、上方撮影カメラとして GigE 規格の工業用カメラを2台装備し、いずれのカメラも筐体内のカメラ制御用 PC 上で動作する当所開発のアプリケーションで制御される(写真一2、表一2)。また、陸上の操作用 PC から LAN を介してカメラ制御用 PC にリモート接続することで、カメラとその周辺機器の操作や撮影画像の確認を行うことができる。

(3) 栈橋下における ROV の測位

上部を遮蔽された栈橋下では、GPS を直接的には



写真一2 上部工撮影装置 (従来型)

表一2 上部工撮影装置 (従来型) の主要諸元

	仕 様
上方撮影カメラ	1/2.5" 2590 × 1942 GigE カメラ × 2…①②
レンズ	f = 4 ~ 12 mm Zoom…①, f = 2.7 mm…②
上方照明	LED (60 deg デフューザ付) × 8…③
搭載センサ	上方レーザー距離計 × 1…④ 上方レーザーマーカ × 1 (並行光 2 点照射, W = 200 mm) …⑤ LRF × 2 (270 deg) …⑥
寸 法	L650 mm × W580 mm × H222 mm
質 量	約 25 kg

※ LRF; Laser Range Finder

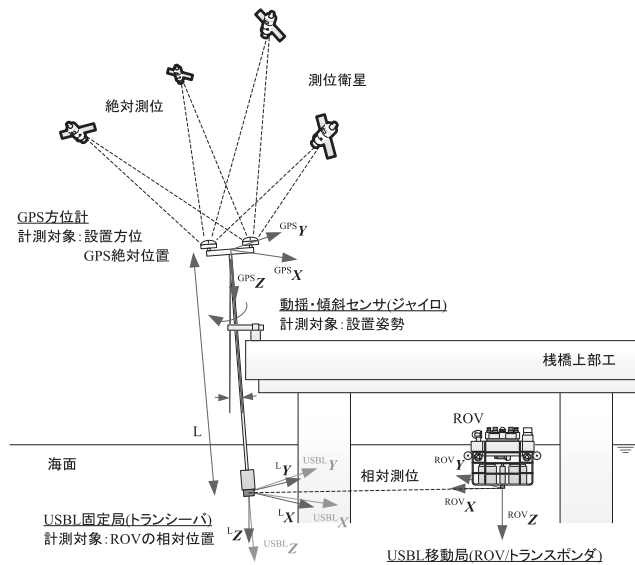
利用できない。ここではまず、上部に遮蔽物のない基準点を GPS で測位し、そこを起点とする ROV の相対測位によって測位情報の中継を行った。この相対測位には USBL (Ultra Short Base Line) 型音響測位装置を適用し、中継処理の大部分はこの音響測位装置内で行われる。なお、広指向角のトランシーバを採用することで、水面付近における水平方向の広い音響測位範囲を確保した。式 (1) に ROV の位置ベクトル ${}^W P_{ROV}$ を示す。

$$\begin{aligned}
 {}^{USBL} P_{ROV} &= \begin{pmatrix} {}^{USBL} x_{ROV} & {}^{USBL} y_{ROV} & {}^{USBL} z_{ROV} \end{pmatrix}^T \\
 {}^{GPS} P_{ROV} &= {}^{GPS} P_{USBL} + {}^{USBL} P_{ROV} \\
 \begin{pmatrix} {}^W P_{ROV} \\ 1 \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} T \cdot R & {}^W P_{GPS} \\ O^T & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} {}^{GPS} P_{ROV} \\ 1 \end{pmatrix} \\
 {}^W P_{ROV} &= T \cdot R \cdot {}^{GPS} P_{ROV} + {}^W P_{GPS}
 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{緯経度変換行列 } T = \begin{pmatrix} t_x & 0 & 0 \\ 0 & t_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{傾斜回転行列 } R = R_z(\theta_z) \cdot R_y(\theta_y) \cdot R_x(\theta_x)$$

ここで、位置ベクトル P の左肩の添え字は座標系、右下の添え字は測位対象、小文字の xyz は座標値、大文字の XYZ は座標軸を表す (図一2)。



図一 2 栈橋上部工下での測位手法

(4) ROV の簡易運動推定機能

上方撮影カメラで逐次撮影している上部工下面画像の逐次変化と上部工に対する ROV の相対運動には大きな相関がある。よって、微小時間における画像各所の変化をオプティカルフローで捉えてそれらのフローベクトルを合成することで、上部工に対する点検装置の相対的な並進速度と旋回速度として推定することが可能である。ここで、オプティカルフローとは画像フレーム間の画像変化を画素の移動としてベクトルで表現したものである。ただし、ここでは計算量低減のため、画像をいくつかのセクションに分割して、その代表点のフローのみを計算した。

次に ROV の運動を 2 自由度の並進運動と 1 自由度の旋回運動で表現する二次元平面内の運動と規定し、床版裏の連続撮影画像のオプティカルフロー群からその並進運動と旋回運動を分離する手法について記述する^{3), 4)}。

旋回運動を伴わない並進運動の場合、全てのセクションの速度ベクトルは等しくなる。一方、並進運動と旋回運動の組合せからなる一般運動は、セクション毎に異なるフローベクトルで示される。これらの特性を整理すると、各々のフローベクトルは画像中心の並進運動の速度ベクトルと画像中心周りの旋回運動の接線方向の速度ベクトルの合成ベクトルとなる。すなわち、各セクションのフローベクトル v_{ij} の総和をとることでその旋回運動成分を相殺することができることから、画面全体の並進運動の速度ベクトル v は次式で推定できる。

$$v = \frac{1}{n} \sum_i \sum_j v_{ij} \quad (2)$$

i, j : 行と列の要素番号

n : 有効なセクション分割数

また、各セクションのフローベクトル v_{ij} から前式で推定された並進運動の速度ベクトル v を減ずることで、画像中心周りの旋回運動の接線方向速度ベクトルのみを抽出できる。よって、画像中心周りの旋回角速度 ω は次式で推定できる。なお、 r_{ij} は各セクションの位置ベクトルであり、その絶対値は画像中心から各セクション中心までの距離である。また、 Δt と $\Delta \phi_{ij}$ はそれぞれ微小時間とその間の旋回角度である。

$$\omega = \frac{1}{n} \sum_i \sum_j \frac{\text{sgn}(\Delta \phi_{ij}) |v_{ij} - v|}{|r_{ij}|} \quad (3)$$

$$\Delta \phi_{ij} = \text{atan2} \left(\frac{r_{yij} + v_{yij} \Delta t}{r_{xij} + v_{xij} \Delta t} \right) - \text{atan2} \left(\frac{r_{yij}}{r_{xij}} \right)$$

ここで、レンズの幾何学的収差に起因する推定結果への影響は、対称位置にあるフローベクトル同士の和によって相当量が軽減されることから、画像内全域でフローベクトルを算出した場合はそれらを偏りなく推定計算に利用することが望ましい。その一方で、これらの運動推定は異なる 2 点以上のフローベクトルで可能であることから、大きな誤差を含むフローベクトルについては、あらかじめ除外した方がよい推定結果が得られる場合が多い。よってここでは、並進速度と旋回角速度のいずれの推定計算においても有効なフローベクトルのみを前処理で取捨選択してから実施するとともに、フローベクトルの母数を多く取ることで前述の歪みの相殺効果や推定結果のロバスト性の低下を抑えることとした。なお、その際の有効なセクション分割数 n はこれらの運動推定に使用されたベクトル数に等しい。

以上の運動推定の例を写真—3 に示す。床版下面の撮影画像のオプティカルフローは細線で示され、推定された並進速度と旋回速度は画面中央のベクトルと十字の傾斜として提示される。

3. 現地実証試験

2014 年 2 月、供用中の栈橋において、筆者らは当該試験機を用いた栈橋上部工調査の現地実証試験を実施した。栈橋上部工の下面を撮影する ROV の様子を



a) 並進運動（縦の細線）



b) 旋回運動（円状の細線）

写真—3 オプティカルフロー

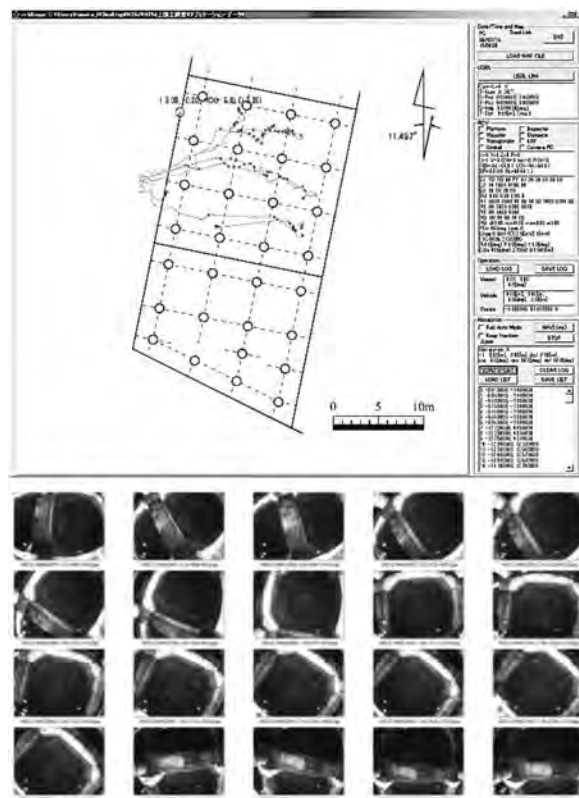


写真—4 栈橋上部工下でその下面を撮影中の ROV

写真—4 に示す。

調査の範囲は 19 m 四方の 1 スパン分であり、ここでは陸上からの遠隔操作によって ROV を栈橋下へ進入させて栈橋上部工下面の撮影を行った。その際、オペレータは ROV を直接視認することなく、前方および上方カメラの画像と、運動情報および地図上に示された自機位置情報のみに基づいて遠隔操作を行った。

ここでは、杭をかわしながら約 7 分で 1 スパンのほぼ全域にわたって ROV を誘導し、任意の位置の上部工下面の画像を収集できた。なお、この間に観測した



図—3 移動軌跡（上段地図上の線）と撮影位置（上段軌跡上の点）および撮影写真（下段写真）

全位置情報の約 0.95% に相当する 4 点で測位異常が確認された。これら 4 点の異常点を除き、ROV の移動軌跡と撮影位置を地図（構造物の配置図）上に描画した結果を図—3 に示す。

この測位機能で得られた位置情報や調査日時等の付帯情報は、撮影画像のファイル名に自動的に付与され、収集される膨大な撮影画像の管理を容易に実現することができる。つまり、提示される点検位置情報は、点検作業中においては栈橋上部工下における ROV の遠隔操作支援機能として働き、点検作業後においては点検情報の管理・運用支援機能として活用される。

なお、本用途で求められる ROV の測位精度は、点検情報の管理の観点からは、点検部位が杭からの相対位置として特定できる場合に限り、どの杭の組に囲まれた領域かが判別できる程度で十分であろう。一方、ROV の安全かつ確実な誘導のためには、杭の間隔と ROV 寸法を考慮すれば、少なくともサブメートルオーダーの精度が必要であると考えられる。

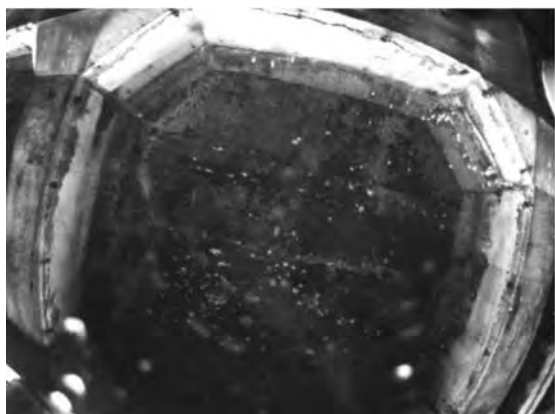
4. カメラ機能の改善

(1) カメラ機能についての考察

従来型の上部工撮影装置では、同型の GigE カメラ 2 台にズームレンズと広角レンズを装備し、被写体に

応じて撮影画角を変更することを想定していた。しかしながら、現地実証試験の際には、カメラ切り替え操作やズーム操作を要したケースは皆無であり、ほとんどの場面で広角レンズによる撮影に終始した。これは、ROV の運用中における操作の煩雑さも一因と考えられるが、一定の撮影画質が確保されている限り、オペレータにとっては一度に広範囲を視認しながら撮影の方が都合が良いことを示唆している。

写真—5 に現地実証試験の際に撮影した上部工下面画像の一例を示す。このケースでは、4本の杭で囲まれた5m四方の範囲のほぼ全域を1枚の写真に納めることができしており、梁の側面もその状態が判断できる程度に撮影されている。よって、4本の杭で囲まれた範囲の点検のためには、数枚程度のランダム撮影写真でその全域を十分カバーできると考えられる。



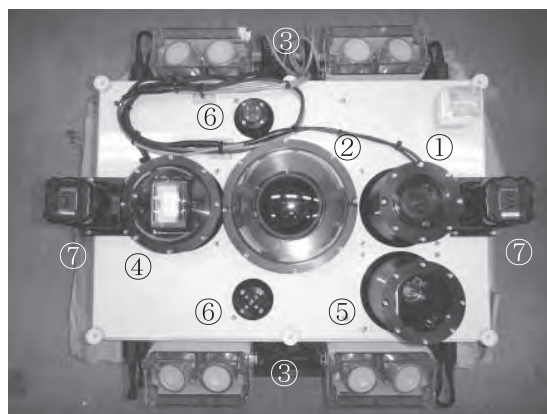
写真—5 従来型の上部工撮影装置による撮影例

ただし、従来型による撮影画像には、広角レンズに特有の強い樽型の歪曲収差が発生していた。これをソフトウェア的に補正することは可能であるが、大きな補正は画像周辺部の画質を著しく劣化させること、また、変状の確認に収差が大きく影響しないことを理由に、ここでは補正を実施しなかった。

(2) 上部工撮影装置 (改良型)

改良型の上部工撮影装置では、カメラ構成をGigEカメラ1台とDSLR (Digital Single Lens Reflex, デジタル一眼レフ) カメラ1台とし、それぞれ操作支援用と調査点検用として役割を分担させた。また、前節に示した考察結果から、いずれのカメラのレンズ構成も広角の短焦点レンズとして広い視野角を確保した⁵⁾。結果として、調査点検用カメラの撮影画像はダイナミックレンジと歪曲収差が改善され、撮影画像の画質が向上した。

これらのカメラはいずれもカメラ制御用PC上で動



写真—6 上部工撮影装置 (改良型)

表—3 上部工撮影装置 (改良型) の主要諸元

	仕 様
上方撮影カメラ	1/2" 1024 × 1024 GigE カメラ × 1…①
	35 mm 6016 × 4016 DSLR カメラ × 1…②
レンズ	f = 3.5 mm (GigE カメラ) f = 14 mm (DSLR カメラ)
上方照明	LED (80 deg デフューザ付) × 8…③ ストロボ × 1…④
搭載センサ	上方レーザー距離計 × 1…⑤ 上方レーザーマーカ × 1 (並行光 2 点照射, W = 250 mm) …⑥ LRF × 2 (270 deg) …⑦
寸 法	L600 mm × W580 mm × H385 mm
質 量	約 20 kg

※ DSLR : Digital Single Lens Reflex

作するソフトウェアで制御される(写真—6, 表—3)。なお、GigE カメラは当所開発のソフトウェアで、DSLR カメラはメーカー製ソフトウェアと外部レリーズ信号で制御される。また、従来型と同様に、カメラ制御用PCにリモート接続することで、カメラ操作が可能である。

(3) 点検位置情報の管理機能の改善

従来型の上部工撮影装置では、任意の測位デバイスが出力する位置情報から必要な情報のみを抽出し、撮影画像のファイル名に独自書式の位置情報を逐次書き込むことでそれらの位置情報を管理していた。この手法は、システム構築時のハードウェアに対する制約が少ない反面、調査後に点検情報を管理・活用するためのアプリケーションを利用者自身で開発するなどして準備する必要があった。

そこで改良型の上部工撮影装置では、撮影画像が保持するメタデータに位置情報を直接書き込むことで、各々の画像に汎用的なジオタグを付与することとした³⁾。つ

まり、任意の測位デバイスが出力する非 GPS 位置情報パケットをカメラが解釈可能な NMEA-0183 フォーマットに変換してカメラに逐次入力することで、個々の撮影画像内のメタデータに直接位置情報を書き込むものである。ここで対象となるメタデータは Exif (Exchangeable Image File Format) の GPS IFD タグであり、測地系、撮影日時、緯度経度、高度等の情報が NMEA-0183 フォーマットの位置情報パケットに基づいて書き込まれるものである。

ここではまず、非 GPS 位置情報の供給元として、現地実証試験で使用した USBL 型音響測位装置が出力する LQF フォーマットの位置情報パケットを想定してパケット変換器を実装した。この変換器は、カメラ制御用 PC 上で動作する中間ソフトウェアであることから、この仕様を変更することで任意の測位デバイスに対応することができる。よって、利用する測位デバイスの種類に関わらず、撮影画像のジオタグを Exif で管理することが可能となり、取り扱う位置情報の一般化が図られて市販の写真管理ソフトや GIS ベースのアプリケーションによる点検情報の管理を可能とした。

5. 撮影画像の要求解像度についての考察

係留施設の劣化度の判定基準は、国土交通省が定める「港湾の施設の点検診断ガイドライン【第1部 総論】」に従うことができる(表—4)⁶⁾。ここで、栈橋上部工下面部の保有性能評価を目的とする場合、この4段階劣化度(a,b,c,d)の判定基準についても「港湾の施設の点検診断ガイドライン【第2部 実施要領】4.1.6」に従うことができる⁷⁾。例えば、はりやハンチについては、鉄筋軸方向のひび割れ幅が3mmを超えるか否かが劣化度a判定とb判定の閾値の一つとされている。

従来型の上部工撮影装置に搭載した調査点検用カメラ(GigEカメラ)の解像度は、2590×1942画素で約503万画素である。一方、改良型に搭載した調査点検用カメラ(DSLRカメラ)の解像度は、6016×

表—5 抽出可能な最小ひび割れ幅

	従来型	改良型
解像度	2590 × 1942	6016 × 4016
画素数	約 503 万画素	約 2416 万画素
抽出可能な最小ひび割れ幅	約 1.28 mm	約 0.62 mm

4016画素で約2416万画素である。既往の報告によれば、画像から抽出可能なコンクリートの最小ひび割れ幅は、1画素の1/2程度である⁸⁾。ここで写真—4の撮影例のように、従来型のGigEカメラと改良型のDSLRカメラの双方で5m四方の範囲をカメラの画角内に納めたと仮定した場合、抽出可能な最小ひび割れ幅(短辺方向)は、従来型で約1.28mm、改良型で約0.62mmと推定できる(表—5)。実際には、コンクリート表面の汚れや種々の環境要因によって抽出性能がこれらの推定値に及ばないことも想定されるが、前出の閾値3mm幅に対して数値上は十分な余裕を有していると考えられる。

このような検討をした上でもなお、撮影条件によっては変状の発生状況を4段階では判別できない場合も想定される。劣化度判定の安全性を確保するためには、3段階あるいはそれ以下の段数の判別をせざるを得ない場合であっても、安全側で厳しく判定すべきであろう。

6. おわりに

本稿では、筆者らの研究グループで実施している栈橋上部工点検用ROVの研究開発について紹介した。これまでに得られた知見により、課題に対して提案手法が有力な解決策になり得ることを示すとともに、劣化度判定に求められる要件など、今後の実運用を想定した検討についても触れた。

現在筆者らは、SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)インフラ維持管理・更新・マネジメント技術「港湾構造物のライフサイクルマネジメントの高度化のための点検診断および性能評価に関する技術開発」の一環として、本稿で紹介した栈橋上部工点検用ROVの点検位置情報の管理手法や撮影品質の改善とあわせて、測位手法の改良、遠隔操作支援機能や運用支援機能の強化に取り組んでいる。また、当該点検技術の実証試験とあわせて、実運用を想定した運用マニュアルの整備等を計画しており、増加の一途をたどる点検対象施設の安全で効率的な点検作業の一助とすべく、早期の実現を目指している。

表—4 劣化度の判定基準

劣化度	劣化度の判定の基準：部材の状態
a	部材の性能が著しく低下している状態
b	部材の性能が低下している状態
c	変状はあるが、部材の性能の低下がほとんど認められない状態
d	変状が認められない状態

《参考文献》

- 1) 田中敏成, 加藤絵万, 野上周嗣, 平林丈嗣: 遠隔操作支援機能を有する
栈橋上部工点検 ROV の開発, 第 14 回建設ロボットシンポジウム
論文集 (CD-ROM), pp.55-62 (2014)
- 2) 田中敏成, 加藤絵万, 野上周嗣, 平林丈嗣: 栈橋上部工点検用 ROV
の提案と現場実証試験によるその運用支援機能の検証, 港湾空港技術
研究所資料, No. 1303 (2015)
- 3) 田中敏成: 栈橋床版下部点検装置のための遠隔操作支援システムの提
案, ROBOMEC 2009 講演論文集, pp.1P1A-17 (2009)
- 4) 田中敏成: 錯綜構造物下における水中ビークルの遠隔操作支援シス
テムの開発, 第 12 回建設ロボットシンポジウム論文集, pp.339-344 (2010)
- 5) 田中敏成, 加藤絵万: ジオタグに対応した ROV 用栈橋上部工撮影装
置の開発, 第 15 回建設ロボットシンポジウム論文集 (CD-ROM),
O-12 (2015)
- 6) 港湾の施設の点検診断ガイドライン【第 1 部 総論】, 国土交通省港湾
局, pp.14 (2014)
- 7) 港湾の施設の点検診断ガイドライン【第 2 部 実施要領】, 国土交通省
港湾局, pp.3-34 (2014)
- 8) 庄野昭, 齋藤淳: コンクリート表面のひび割れ評価方法, ハザマ研究
年報 (2009)

【筆者紹介】

田中 敏成 (たなか としなり)
国立研究開発法人 港湾空港技術研究所
新技術研究開発領域 計測・システム研究チーム
主任研究官



世界標準型の LNG 輸送船受入棧橋前面の増深工事 広島港廿日市地区泊地（-12 m）浚渫工事

長 澤 太 一

広島港は、中国・四国地方最大の人口を擁する広島都市圏を主要な背後圏とする国際拠点港湾であり、海上輸送を通じて各種製造業の生産活動及び市民生活を支えている。

広島港廿日市地区は、近年需要が高まっている LNG の一大拠点である。しかし、LNG 受入施設の水深が浅く、世界標準型の LNG 輸送船に対応出来ない状況であり、港湾整備が必要となっている。本稿は、ポンプ浚渫船及びグラブ浚渫船による LNG 棧橋の前面と航路・泊地浚渫について報告するものである。

キーワード：広島港、廿日市地区、LNG 棧橋、ポンプ浚渫船、散布台船、グラブ浚渫船、覆土、余掘り土量削減

1. はじめに

近年、様々な製造業のエネルギー源として LNG（液化天然ガス）の需要が高まっている。広島港最西部に位置する廿日市地区は、広島港における輸入貨物の約半分を占める LNG 約 80 万 t が取り扱われ、ここから広島県内の企業活動や市民生活を支えるエネルギーとして背後 6 市 4 町へ供給されている。

一方、世界的な LNG 輸送船の大型化の進展に対し、既存の LNG 受入施設の水深は 8.5 m と浅く、世界標準型の LNG 輸送船への対応が困難な状況となっており、今後の LNG 需要の増大に対応し、安定的・効率的に諸外国から LNG を輸入するための対応が必要となっている。

本工事は、広島港廿日市地区において世界標準型の LNG 輸送船の受入れを可能とするため、ポンプ… LNG 棧橋前面泊地及び航路の浚渫を行い、浚渫土砂は、廿日市地区貯木場内の水・底質環境の改善のため覆土に利用し、残りの土砂は出島地区公共残土受入用地に土捨てを行うものである。

2. 工事概要

(1) 発注者

国土交通省 中国地方整備局

(2) 工事名

広島港廿日市地区航路・泊地（-12 m）等浚渫工事

(3) 施行者

東亜・大本・みらい特定建設工事共同企業体

(4) 工期

自）平成 27 年 3 月 20 日～至）平成 27 年 12 月 15 日

(5) 施工場所

広島県廿日市市木材港南 12 地先、広島県広島市南区出島地先（図-1）

(6) 施工数量

表-1 施工数量

浚渫方法	浚渫土量	土捨て方法
ポンプ浚渫工	約 850,000 m ³	排砂管と散布台船を用いて貯木場内に覆土
グラブ浚渫工	約 100,000 m ³	土運船を用いて貯木場内に直投により覆土
グラブ浚渫工	約 180,000 m ³	土運船で運搬し、出島にてバージアンローダ揚土

3. 使用船舶

(1) ポンプ浚渫船「第三亜細亜丸」

本工事では、浚渫時の汚濁を低減するため、ラダー先端に汚濁防止カバーを設置した。

表-2 にポンプ浚渫船「第三亜細亜丸」の主要目を、写真-1 に全景を示す。



図—1 施工位置図

表—2 ポンプ浚渫船「第三亜細亜丸」 主要目

長さ	78.0 m
幅	19.5 m
深さ	5.5 m
吃水	4.1 m
全装備機関出力	10,830 kW
浚渫ポンプ出力	5,880 kW

表—3 散布台船 主要目

長さ	20.0 m
幅	8.0 m
深さ	1.5 m
吃水	0.7 m
操船ウインチ	5 t 電動ウインチ×4 台



写真—1 ポンプ浚渫船「第三亜細亜丸」 全景



写真—2 散布台船 全景

(2) 散布台船

本工事では、平台船に操船用の5t電動ウインチを4台設置した。また、船尾から船首まで排砂管を儀装し、ポンプ浚渫船「第三亜細亜丸」から送られてくる、浚渫土砂を含む約10,000 m³/hの泥水を、海中に直接投入した。

表—3に散布台船の主要目を、写真—2に全景を示す。

(3) グラブ浚渫船「第16平成」,「第15龍正丸」

本工事では、周辺環境に配慮し、掘削部周辺には汚

濁防止枠を設置するとともに、グラブバケットを密閉構造に改造した「密閉型グラブバケット」を取り付け、浚渫時の濁り拡散を低減した。

表—4, 5にグラブ浚渫船「第16平成」,「第15龍正丸」の主要目を、写真—3, 4に全景を示す。

(4) バージアンローダ船「第二高砂丸」

本工事では、土運船を出島地区の公共残土受入用地まで運搬し、予め設置しておいたバージアンローダ船を用いて所定の場所に揚土した。

表—6にバージアンローダ船「第二高砂丸」の主要目を、写真—5に全景を示す。

表―4 グラブ浚渫船「第16平成」 主要目

長さ	56.0 m
幅	23.0 m
深さ	4.2 m
吃水	2.5 m
軟土用バケット	27.0 m ³
硬土用バケット	13.0 m ³

表―5 グラブ浚渫船「第十五龍正丸」 主要目

長さ	60.0 m
幅	24.0 m
深さ	5.0 m
吃水	2.5 m
軟土用バケット	30.0 m ³
硬土用バケット	10.0 m ³



写真―3 グラブ浚渫船「第16平成」 全景



写真―4 グラブ浚渫船「第十五龍正丸」 全景

表―6 バージアンローダ船「第二高砂丸」 主要目

長さ	45.0 m
幅	12.0 m
深さ	3.0 m
吃水	1.8 m
主ポンプ機関	2,000 PS
揚土能力	450 m ³ /h
最大排送能力	2,000 m



写真―5 バージアンローダ船「第二高砂丸」 全景

4. 施工内容

(1) ポンプ浚渫工

本工事は、貯木場内の覆土容量が限られており、投入量を低減するために、余掘り土量を削減することが重要な課題であった。

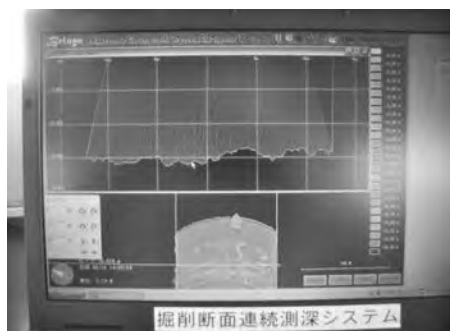
そこで、「第三亜細亜丸」にナローマルチビーム測深ソナーを利用した掘削断面連続測深システム「ベルーガD」を搭載し、施工中に掘削深度を連続的に管理することで浚渫精度の向上を図り、余掘り土量を削減した。

「ベルーガD」は、本船に搭載されたRTK-GPS(2台)、ナローマルチビーム測深ソナー、各種センサーから構成されており、掘削直後の海底面の深度をリアルタイムで計測し、掘削深度管理の精度を向上させることで、掘り残しや余掘りの削減を可能にする装置である。

写真―6 に浚渫区域全景を、写真―7 に「ベルーガD」管理画面を示す。



写真―6 浚渫区域全景



写真一七 「ペルーガD」管理画面

(2) グラブ浚渫工

本工事では、グラブ浚渫においても過掘りを防止するため、グラブバケットの開口度合いに併せてグラブバケットの支持索が適正かつ自動制御で降下するようにプログラミングされた「水平掘削制御装置」の装備や、土厚の少ない箇所を効率よく浚渫するため、法面



写真一八 LNG 栈橋前面 グラブ浚渫状況



写真一九 法面浚渫ワイドグラブバケット

対応可能な幅広薄層専用バケット「法面浚渫ワイドグラブバケット」を使用して浚渫を行った。

写真一八に浚渫状況を、写真一九に「法面浚渫ワイドグラブバケット」を、図一2に「水平掘削制御装置」の原理を示す。

(3) 散布台船による覆土

本工事では、ポンプ浚渫船から浚渫土砂を含む大量の泥水を散布台船に直接供給し、水中で覆土を行うため、投入箇所周辺への濁りの拡散が懸念された。そこで、投入箇所及び港内での濁りの拡散について、事前にシミュレーション解析を行い、施工方法を検討した。

また、投入箇所内の高さ管理精度を向上させるため、D-GPSを用いた測線誘導装置を使用し、適宜、シングルビーム測量を実施するとともに、進捗を確認しながらナローマルチビーム測量を実施した。

写真一10に散布台船による覆土状況を示す。



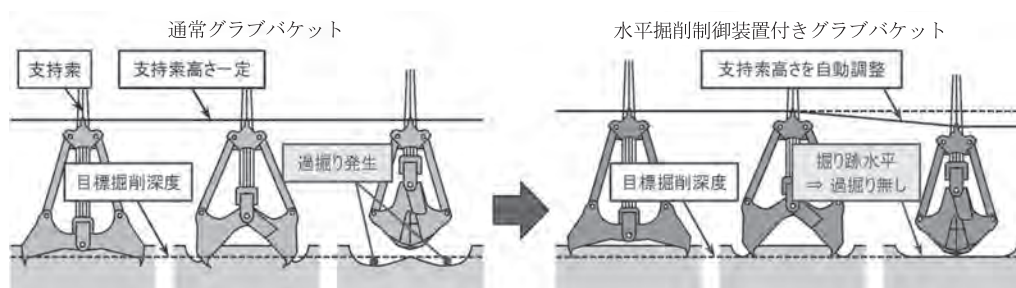
写真一10 散布台船 覆土状況

(4) 土運船及びバージアンローダ船による土捨て

本工事では、貯木場内に運搬する「底開（全開）式土運船」と、出島地区の公共残土受入用地まで運搬する「箱型式土運船」の2種類を使用した。

貯木場内までの運搬に使用した「底開（全開）式土運船」は、船底が開閉できる構造となっており、所定の場所まで運搬し、船底を開いて浚渫土を直接投入した。

また、出島地区では「箱型土運船」で運搬した浚渫



図一2 水平掘削制御装置の原理

土をバー吉安ローダ船で揚土した。

5. おわりに

本工事は、国内のエネルギー供給において非常に重要な役割を果たしている広島港廿日市地区の整備を行い、将来の安定したエネルギー供給に貢献するものであり、責任と大きなやりがいを感じながらの施工となった。

謝 辞

工事施工にあたり、多大なるご指導を頂いた中国地方整備局広島港湾・空港整備事務所並びに関係各位に深謝いたします。

J C M A

【筆者紹介】

長澤 太一（ながさわ たいち）
東亜建設工業㈱
土木事業本部機電部機械グループ
主査



「建設機械施工ハンドブック」改訂4版

建設機械及び施工の基礎知識、最新の技術動向、排出ガス規制・地球温暖化とその対応、情報化施工などを、最新情報も織り込み収録。

建設機械を用いた施工現場における監理・主任技術者、監督、世話役、オペレータなどの現場技術者、建設機械メーカー、輸入商社、リース・レンタル業、サービス業などの建設機械技術者や、大学・高等専門学校・高等学校において建設機械と施工法を勉強する学生などに必携です。

建設機械施工技術の修得、また1・2級建設機械施工技士などの国家資格取得のためにも大変有効です。

【構成】

1. 概要
2. 土木工学一般
3. 建設機械一般

4. 安全対策・環境保全
5. 関係法令
6. トラクタ系機械
7. ショベル系機械
8. 運搬機械
9. 基礎工事機械
10. モータグレーダ
11. 締固め機械
12. 舗装機械

●A4判／825ページ

●定 価

一般：6,480円（本体6,000円）

会員：5,502円（本体5,095円）

※送料は一般・会員とも沖縄県以外は600円、沖縄県1,050円

●発行 平成23年4月20日

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 3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>



世界の産業インフラに対する サイバー攻撃とセキュリティ対策の実情

佐々木 弘 志

「サイバー攻撃」の対象は、今や、情報システムだけではなく、産業インフラのシステムにまで広がっている。世界中で、産業インフラを標的としたサイバー攻撃が発生する中で、特に、東京オリンピック・パラリンピックを2020年に控えた日本では、今後のインフラ整備において、サイバーセキュリティの観点は不可欠とされている。本記事では、産業インフラに迫るサイバー攻撃とはどういうものを、その危険性や実態を踏まえて紹介したあと、世界および国内におけるセキュリティ対策の最新トレンドについて概観する。

キーワード：産業インフラ、サイバーセキュリティ、多層防御、状況認識、テロ対策

1. 産業インフラへのサイバー攻撃は第5の戦場

皆さんは、「サイバー攻撃」と聞いて、どのような攻撃を思い浮かべるだろうか？ 近年では、年金機構の情報漏えいなど、メディアを騒がせる事件が頻発しており、サイバー攻撃そのものは身近に感じられるようになってきたのではないかと。皆さんが思い浮かべる攻撃はというと、おそらく、「他国の犯罪組織などが、特定の組織（企業、政府等）を狙い、インターネットを介して、個人情報等の機密情報を窃取したりすること」が最も多いのではないかと予想される。実際、その認識は正しいのだが、実はこの攻撃に加えて、ここ数年、いわゆる産業インフラのシステムに対するサイバー攻撃が顕在化してきた。まだ、公知となっている攻撃数としては多くはないが、その攻撃は着実に進化してきており、世界的な課題となっている。ここでいう産業インフラとは、電力、ガス、水道、プラント（化学、金属等）、金融、ロジスティクス（輸送）など産業を支えるために必要な基盤のことを指す。まず、産業インフラにおけるサイバー攻撃の特徴は何かについて説明していこう。

最初に大きな特徴として挙げられるのは、攻撃の目的である。例えば、情報システムを狙った通常のサイバー攻撃の特徴として、「見つからないように情報を窃取する」ことがあげられるだろう。すなわち、この場合のサイバー攻撃者の最終目的は「情報の窃取」であり、それを行ったことさえも見つからないことが望

ましいとされる。ところが、Stuxnet（スタクスネット）^{a)}等で知られる産業インフラを標的としたサイバー攻撃は、「最終的に破壊する」ことを目的とする場合があるという特徴をもっている。このような目的のもとに攻撃が行われる背景には、サイバー空間が、陸、海、空、宇宙に続く、「第5の戦場」として捉えられているという事情がある。つまり、戦争行為の手段としてのサイバー攻撃が注目される中で、相手国に効果的にダメージを与える標的として、産業インフラが注目されているということだ。実際に、2015年の12月23日にウクライナ西部で大規模な停電を引き起こしたサイバー攻撃は、ロシアの組織の関与が疑われており、まさに、国家間の紛争における攻撃の手段として、産業インフラを標的としたサイバー攻撃が行われていることの具体例といえる。

では、なぜ、最近になって産業インフラに対するサイバー攻撃の危険性が高まっているのだろうか。もちろん攻撃側のツールの進歩も挙げられるのだが、産業インフラならではの事情も存在する。

産業インフラを支えるシステムとして、「制御システム」と呼ばれるシステムが存在する。これらは産業インフラの性質上、基本的に停止することなく稼動すること（可用性）が求められる。また、システムの寿命も十年単位というものがほとんどで、古いシステムが残り続けるという事情がある。これまでの制御シス

a) : Stuxnet（スタクスネット）

産業用制御システムを攻撃する最初のマルウェアとして知られている。イランの核施設にある遠心分離機を破壊するために作成されたマルウェアと言われている。

テムは、外部との接続がされておらず、システムをコントロールする OS も制御システム専用であったため、いわゆる「クローズド」な環境にあり、一般のマルウェアとは無縁の存在であると信じられてきた。ところが、IT 技術の進歩に伴い、工場やプラントのネットワーク化が進み、制御システムに汎用 OS が採用される機会が増えてくるといった状況の中で、これまで「クローズド」だった制御システムが「オープン」になってしまい、攻撃者に必要とされる技術が彼らの得意分野と重なることで攻撃がしやすい状況が生まれてしまったのだ。

このようなオープン化の流れの中でも、制御システムは「可用性」により装置の交換や変更が簡単にできないため、脆弱性^{b)}をもった古いシステムは依然として残り続けている。つまり、弱点はあるのに防御が簡単でないという状況が起こっているのだ。

2. 産業インフラへのサイバー攻撃の実態

次に、ここ数年、世界で実際に起こっている産業インフラに対するサイバー攻撃の例をいくつか紹介する。

以下に、産業インフラそのものに対する意図的な攻撃の可能性のあるものだけを抽出した。したがって、偶発的なマルウェア感染の疑いが強いものや、産業インフラの攻撃を目的とした情報窃取の事例などは含んでいない。

- ・2015 年 12 月 ウクライナ西部にて、サイバー攻撃による大規模な停電が発生。
ウクライナ政府がロシアの組織による犯行であるとの声明を発表。真偽は不明。
大規模停電の原因がサイバー攻撃であると政府が認めた世界初の事例。
- ・2014 年 ドイツの鉄鋼所がサイバー攻撃を受け溶鉱炉停止（具体的な場所は公開されていない）。
ドイツ政府の情報セキュリティ庁（BSI）が 2014 年のレポートで公表
- ・2013 年～2014 年 複数の電力会社より、電力システムの管理サーバーの情報が外部に漏えい。
一連の攻撃は「Operation Dragonfly」と呼ばれている。
- ・2013 年 3 月 韓国政府機関、金融機関、メディアがサイバー攻撃を受け一時機能停止。

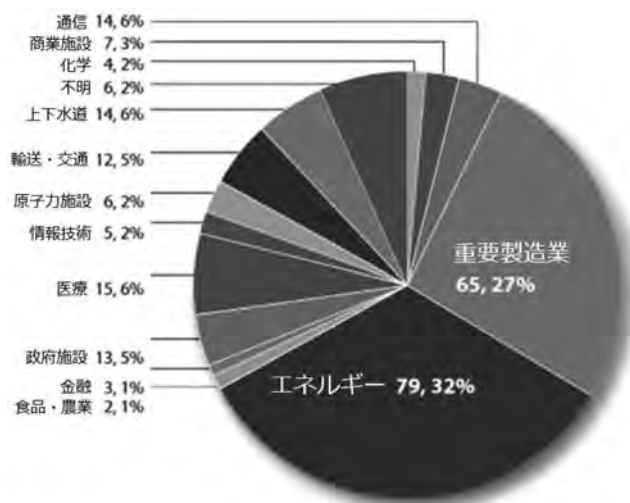
- ・2012 年 8 月 サウジアラビアの石油会社で 30,000 台にのぼるワークステーションがサイバー攻撃を受けた。
一連の攻撃は「Shamoon」と呼ばれている。
- ・2012 年 5 月 米国ミシガン州の天然ガスパイプラインがサイバー攻撃を受けた。
- ・2011 年 2 月 ブラジルの発電所で制御システムがマルウェアに感染し、運用停止（故意であるかどうかは不明）。
（※ブラジルでは、2007 年、2005 年にもサイバー攻撃で停電が発生したといわれているが真偽は不明。）
- ・2009 年～2010 年 イランの核施設にある相当数の遠心分離機がマルウェアにより破壊された（Stuxnet）。

いずれも、大きな損害を生んでいるか、生む可能性の高いものであり、産業インフラに対するサイバー攻撃が行われた場合の影響の大きさを示しているといえる。

これらの事例に加えて、産業インフラにおけるサイバー攻撃の実態を示している統計を紹介する。

米国の ICS-CERT（米国土安全保障省の産業制御システムセキュリティ機関）が 2015 年発表したレポートによれば、米国内の重要な産業インフラに対する攻撃が、2014 年の 1 年間で、計 245 件報告されている。その対象となった産業の内訳は、エネルギー分野が 32%を占め、続いて重要製造業分野（鉄、金属、発電、輸送部品などの製造）が 27%で続いている（図—1 参照）。

また、産業インフラへのサイバー攻撃の直接的な例



図—1 ICS-CERT の 2015 年発行のレポート「Year in Review 2014」より、サイバー攻撃によるインシデントが報告された重要な産業インフラ分野の内訳
（凡例：分野名、インシデント件数、全体における比率 (%)）

b)：脆弱性

攻撃に悪用可能なシステム上の欠陥や仕様上の問題点のこと。

ではないが、潜在的な脅威の一例として、検索エンジン SHODAN の存在をあげておく。検索エンジン SHODAN は、インターネット接続している機器の情報を取得できる検索エンジンであり、遠隔監視システム、監視カメラ、プリンターに至るまでインターネット接続している機器に関する情報が確認できる（図—2 参照）。例えば、この検索エンジンを用いて、脆弱性の存在する古いバージョンのサーバソフトウェアを使っている設備を探し出し、その脆弱性を利用した攻撃を行うといった攻撃シナリオが考えられる。産業インフラのシステムは、前述のように古いシステムが残っているにも関わらず、対策もなしにインターネットに接続するなど、「オープン」になっている場合が多いため、このような攻撃の対象となりやすい。



図—2 検索エンジン SHODAN

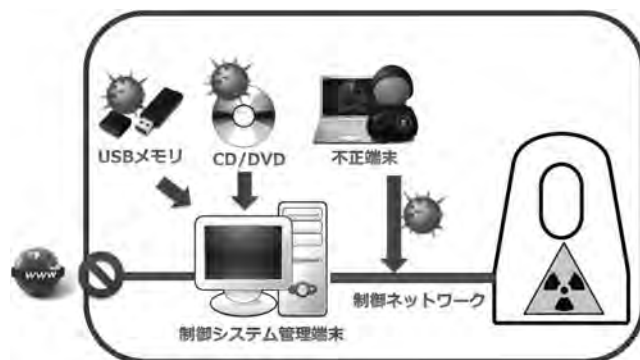
3. 産業インフラへのサイバー攻撃の手法

では、次に、産業インフラへのサイバー攻撃はどのような手法で行われるのかを実際の例を通して紹介する。

ここでは、産業用制御システムを攻撃した最初のマルウェア^{c)}である Stuxnet の攻撃手法について紹介する。

Stuxnet は、イランの核施設にある遠心分離機を破壊するために作成されたといわれるマルウェアである。ここでは産業インフラへのサイバー攻撃という観点でその攻撃手法について説明したい。

Stuxnet の一つ目の特徴は、その感染経路である。Stuxnet のイランの核施設における制御システムへの感染経路はデータのやり取りに使っていた USB メモリ経由であったといわれている。これは、産業インフラをコントロールする制御システムが仮に「クローズド」であって、外部から隔離されていたとしても、USB メモリ等のメディア経由でサイバー攻撃を受け



図—3 Stuxnetに見られるクローズな環境に対する感染経路の例

ることがあるという事例となったという点で大きな教訓を含んでいる（図—3 参照）。

また、二つ目の特徴は、その感染対象である。Stuxnet は、独シーメンス社の PLC（Programmable Logic Controller^{d)}）を含むシステムを標的として設計されたマルウェアであり、シーメンス社の PLC のシステム以外では発動しないものである。しかし、このマルウェアは、PLC という制御システム専用 OS で動作する制御機器をハッキングしたわけではない。このマルウェアがハッキングしたのは、シーメンス社の PLC が動作するためのプログラムを作成、変更する目的をもったプログラミングツールと、PLC の状態を監視するモニタリングツールであり、ともに Windows OS で動作するアプリケーションである（図—4 参照）。つまり、あくまで対象アプリケーションが制御システムに関係するものであっただけで、そこに用いられている技術は、いわゆる従来のマルウェア作成の延長上にあるものだと考えられる。もちろん、制御システムに関する十分な知識が必要となるため、マルウェア開発が容易ではないという事情はあるものの、制御システムのオープン化に伴い攻撃のハードル



図—4 Stuxnet の感染対象は Windows

c) : マルウェア (malware) :

不正かつ有害な動作を行う意図で作成された、悪意のあるソフトウェアや悪質なコードの総称。いわゆる、コンピュータウイルスも含まれるが、マルウェアは、ワームやスパイウェア等、他の悪質なソフトウェアも含むため、コンピュータウイルスの代わりに広く使われるようになった。malicious software (悪意あるソフトウェア)の「mal」と「ware」を合わせた造語。

d) : PLC (Programmable Logic Controller)

プログラマブルロジックコントローラ。国内ではシーケンサとも呼ばれる。小型のコンピュータの一種。ユーザが PLC 専用のプログラムを作成し、PLC に転送することで、さまざまな制御を行うことができる。

が下がっているといえる。

以上、Stuxnetの攻撃手法からわかることは、産業インフラをコントロールする制御システムがクローズドであったとしても、USBメモリなどの手段を用いて攻撃が可能であること、また、制御システム専用OSを用いている制御システムそのものではなく、それを管理している汎用OSのパソコンをハッキングする方法もあるということである。このStuxnet登場により、これまで、制御システムは「クローズド」だから攻撃が困難とされてきた神話が崩壊し、世界の攻撃者が産業インフラを新たな攻撃対象として認識したといえるだろう。

その証拠に、Stuxnet以降、産業インフラを支える制御システムの脆弱性が次々と明らかになっている。ICS-CERTによれば、2010年には20件だった制御システムの脆弱性報告が、2014年には159件に増加している。これらの脆弱性報告には日本のベンダーのものも含まれている。今後は、情報システムと同様、このような脆弱性を利用したサイバー攻撃が増えていくものと考えられる。

4. 産業インフラへのサイバー攻撃に対する各国の危機意識と備え

ここまで、産業インフラへのサイバー攻撃の脅威について、さまざまな角度から紹介してきた。では、このような脅威に対して、世界各国はどのような対策を行っているのだろうか？

2013年2月、米国のオバマ大統領が米国内の重要な産業インフラに対するサイバーセキュリティ強化策の大統領令に署名を行った。目的は、近年増加する重要な産業インフラに対するサイバー攻撃を未然に防ぐためである。この大統領令に基づいて、NIST Frameworkと呼ばれるセキュリティ対策のガイドラインが公開され、重要な産業インフラ事業者への対応が奨励されている。また、欧州においても、2015年12月にEU（欧州連合）において、「NIS Directive (Network and Information Security Directive)」と呼ばれる情報セキュリティに関する指令（EUの各加盟国における法律化を求める強制力がある）の内容についての合意がなされた。この指令によると、加盟国において、必要不可欠なサービスを提供する、エネルギー、輸送、金融、医療分野、および、クラウドコンピューティングやサーチエンジンのような重要なデジタルサービスを提供する事業者は、適切なセキュリティ対策を行った上で、サイバーインシデントが発生

した場合の国家機関への報告が求められることになる。

また、業界ごとに独自のセキュリティ対策を行っているケースもある。例えば、米国の電力業界が定めているセキュリティ対策の標準であるNERC CIPがそれに当たる。NERC CIPとは、NERC^{e)}が策定した一定規模の発電設備と送電設備を有する電力インフラ事業者が順守しなければならないセキュリティ対策の規格であり、適用できていない事業者には罰金等のペナルティが科せられる。

これらの流れを受けて、日本国内でもガイドライン策定の動きが活発となってきた。例えば、電力自由化に向けて、新しい事業者の参入が想定される電力業界では、日本電気技術規格委員会（JESC）において、「電力制御システムセキュリティガイドライン」の策定が、2016年4月の施行を目指して進められている。

いずれにせよ、世界の大きな潮流としては、国や業界主導で何らかのガイドラインなり規制を整備し、ある程度の強制力をもって、各事業者が何らかのセキュリティ対策を行うことを求めていくという方向だろう。

セキュリティ対策は、費用対効果が見えにくく、必要性が理解されない場合に対策がなされないということが容易に想像される中で、産業インフラ自体が攻撃対象になった場合の損害の大きさを考えると、国や業界がどこまでやったらいいかの基準を示しつつ、ある程度の強制力をもって進めざるをえないというのはごく自然な流れといえるだろう。

5. 具体的な対策例

では、具体的な対策例としてはどのようなものがあるのだろうか？ 世界で行われている具体的な対策例として、最も厳しいレベルの基準に従っているといわれる米国の原子力発電所の例を紹介する。

9.11のテロを経験した米国では、原子力施設のサイバーセキュリティは、テロ対策の一環として捉えられている。実際に、米国の原子力規制委員会^{f)}は、原発事業者に対して、テロや内通者を含む脅威^{g)}を想定した非常に厳格で具体的な規制を行っており、その規

e) : NERC (North American Electric Reliability Corporation : 北米電力信頼性評議)

北米各地の電力の安定供給を目的に、電力業界や連邦政府、州政府などにより1968年に創設された。

f) : 米国の原子力規制委員会 (NRC: Nuclear Regulation Commission)

非軍事目的で使用される、放射性物質の安全使用を確保する機関であり、1974年に設立された。米国内の原子力施設は、NRCの規制に従わなければならない。



図—5 さまざまなログやイベントを収集して状況認識を実現する SIEM

制を守るための対策を示したガイドラインを提供している^{h)}。

そのガイドラインの基本戦略は「多層防御」だ。簡単にいうと、セキュリティ対策を多重に施すことで、たとえ内通者がいたり、テロに遭ったとしても、どこかで食い止めようという考え方である。アンチウイルス等のウイルス対策を行うのはもちろんだが、それだけでは破られてしまうかもしれないので、ネットワークに流れるデータに不正なものがないか監視したり、放射能漏れなど重大事故を引き起こす可能性のある設備に対しては、外からは一切操作できないようにして、モニタリングだけ可能にするといった考え方だ。特に、重大事故につながる恐れのある設備は、権限のある人でも外からは操作できない。ここでは、データの流れを一方向に制限するデータダイオードと呼ばれる製品が用いられていることが多い。この製品はハードウェアで逆方向の通信を遮断する仕組みをとっていて、脆弱性をもつ可能性があるソフトウェアで遮断を行う場合よりも強固な仕組みを提供している。

もうひとつの重要な考え方として、「状況認識」があげられる。ここでいう「状況認識」とは、システム

全体のログやイベント情報を集めて相関分析を行い、早期に異常を察知し対策を行うことである。これは、特に産業インフラを支える制御システムに対しては大事な考え方である。先にも述べたように、制御システムは可用性を重視するため古いシステムが残り続けることが多く、攻撃を受けやすい環境にある。したがって、さまざまなソリューションで防護することも重要だが、ある程度攻撃が成功してしまう前提で、いかに早く攻撃に気づいて対策が打てるかがポイントであり、そのため「状況認識」の実現が重要だと言われている。状況認識を実現するツールとしては、SIEM (System Information and Event Management) というソリューションが知られている (図—5 参照)。

6. 日本における課題と望まれる姿

ここまで、世界における産業インフラに対するサイバー攻撃とセキュリティ対策の実情を見てきたが、それを踏まえて、日本における課題と望むべき姿について概観して締めくくりとしたい。

今後、東京オリンピック・パラリンピックを控えて、日本が世界的な注目を集めるなかで、産業インフラをサイバー攻撃からどのように守るかということは、これまで以上に重要な課題となっている。

しかし、日本における最大の課題は、仮に産業インフラ事業者が脅威を理解したとして、何をどこまで対策しなければならないのかの拠り所がない点である。セキュリティ対策がコストとしか見なされない現状では、このままでは何も対策が進まないだろう。電力業界においては、既にガイドラインの策定が進められて

g) : 設計基礎脅威 (DBT : Design Basis Threat) と呼ばれる。核物質防護システムを設計する上で考えなければならない脅威のことで、サイバーに限らず、テロや内通者を想定した原子力施設の設計基礎となる脅威。
h) : 米国の NRC が定めるサイバーセキュリティの基準は以下の 2 つのドキュメントに示されている。

「Title 10 Code of Federal Regulations (CFR), section 73.54 (10 CFR 73.54)」

「Regulatory Guide 5.71 (RG5.71)」

10 CFR 73.54 では、全ての原子力施設において、安全、セキュリティ、緊急対策に関係するコンピュータ、通信システム、ネットワークを保護することが規定されており、RG5.71 はこのレベルのセキュリティを実現するための具体的な手順を提供している。

いるが、他の産業インフラ業界でも同様の取り組みが求められると考える。

世界で産業インフラへのサイバー脅威へのセキュリティ対策が進む中で、日本も官民一体となって問題に取り組む、産業インフラ事業者がどのようなセキュリティ対策を取れば良いのかが示されている状態を目指して進むべきではないか。

J C M A

【筆者紹介】

佐々木 弘志（ささき ひろし）
インテル セキュリティ（マカフィー株）
サイバー戦略室
CISSP



ずいそう

「ものづくり」に こだわった機械屋の軌跡

谷 雄 一



□はじめに

昨年の末、テレビドラマ「下町ロケット」が終わりましたね。原作もドラマも大変興味深く拝見しました。また技術者としても、色々と考えさせられました。

私はかつて建設会社に在籍した機械技術者ですが、何がしたくて機械屋が建設会社に入ったのでしょうか。

技術者として私の底流を成していたもの、それは「ものづくり」へのこだわりでした。

しかし機械屋がなぜ建設会社に、「ものづくり」ならメーカーだろうと思われるでしょう。

若かりし頃の私は「ものづくり」とは、自然の変革からそのための道具の作成までと、広い範囲でとらえていました。

□若い頃

マリコンにいた私は、入社してしばらく浚渫船の運転管理をしており、いかに運転を止めずに工事を行うかという日々でした。機関部所属でしたが、機関室を抜け出して、ブリッジで運転を見ているほうが面白かった記憶があります。ただ、工事が完了し広大な埋立地ができて、ものづくりの感慨はありませんでした。

次に携わったのが、全長4 kmにわたる大規模山砂搬出ベルトコンベアシステム（能力は時間8000トン）でした。

ここでは、運転管理を行うと共に、発生する種々の問題に対し、設備改善に取り組み、狙い通りの効果が出たときは、達成感もありました。

また、5000トンの山砂を満載した土運船が、出港していく様子は、勇壮でもありました。

現場勤務として最後に携わったのが、シールドトンネル工事で、機械屋としてシールドマシンと泥水処理プラントを担当しました。

土質の変化や障害物などへの対応など、変化は色々あったのですが、切羽に行っても密閉型の泥水シールドでは目に入る風景は変わりません。ただ、日々切羽までの距離が遠くなっていくのが不思議な感覚でした。

地下鉄のシールド工事でしたら、もう少し違った印象が残っていたかも知れませんが、私が携わった工事は、ほとんど下水のシールド工事でしたので、完成した工事の痕跡が地上のマンホールだけだったことが残念でした。

□30代

30代になり、本社勤務になりましたが、しばらく船舶機械設計に携わったあと、技術研究所を拠点に、技術開発に長く関わる事になりました。

設計して製作する作業は「ものづくり」の基本です。

当時さすがに、計算尺の時代は終わっていましたが、パソコンはまだ普及の前で、計算は関数電卓、図面はトレーシングペーパーと青焼きの時代です。

この時期ちょっと変わったものに携わりました。石油掘削用コンクリート人工島の築造工事です。これは71 m × 71 m × 13 mの巨大なコンクリートケーソンで、浮体としての機能をもっており、内部は十数個の水密区画、各区画にはバラストやベントなど数種類の配管が網の目の様に走っています。私は膨大な長さにおよぶ配管の設計と施工監理を担当しました。

日々、目の前でものが出来上がっていく面白さをはじめて味わい、建造したドックの中で巨大なケーソンが浮上したときの感激は、忘れられません。

□40代

40代は、建築施工における機械化・自動化の技術開発に明け暮れていた時期でした。

時代的にもバブルの頃であり、工事量が増加する一方、熟練工不足、3K職場などがマスコミで取り上げられ、この様な状況を背景にして施工の機械化・自動化に関する技術開発が盛んになった頃でした。

この頃の建築施工では、ロボット化施工という言葉もよく使われました。

ロボットの定義は色々ありますが、遠隔操作される機械をロボットと呼び、さらに省力化機械や人間の補助をする機械もその範疇に含めたように思います。

また、在来の施工方法に基づくロボット化に対し、自動化を系統的に進めた工法も開発されてきまし

た。

「全自動ビル建設システム」と呼ばれたもので、これは自動化された施工方法と共に、建物を建てる構工法もシステム化が図られました。

□振り返り

少し振り返ってみますと、建設会社の機械屋は、建設事業のあらゆる分野に関わっています。

土木、建築、さらに細分化して海上工事、陸上工事、建築工法、構造などを縦糸とすると、機械や電気の技術は、横糸を織りなすように絡んでいます。

近年では、私のいた会社も環境事業への取り組みが増え、ここでも機械屋の絡む技術は数多く有りました。

技術開発を担うようになって、私の仕事はほとんどの分野に関ったものとなりました。

□建築施工ロボット

在来工法を対象とした施工ロボットの開発においては、作業内容の分析、職人へのヒアリングを参考に、どのような作業を行うロボットを開発するのかを考え、開発したロボットが施工において効果が発揮できた時、機械屋としての達成感も得られました。この時期、私の「ものづくり」の対象は、施工ロボットだったと言えます。

□全自動ビル建設システム

同時期、もう一つ取り組んでいたのが、全自動ビル建設システムの開発です。

重工メーカーと共に、施工ロボットとは比べものにならない規模の施工システムを作り、ビルを建てました。

すべてが新しい開発技術であり、システムを構築し、これをリフトアップしながら施工を行い、最後にビルのでっぺんで解体撤去するまで、気の抜けない日々でした。

このシステムによる施工を無事完了させた時、私を感じたのは、巨大なシステムが最後まで問題なく機能を果たしたという安堵感と共に、日々建物が出来あがっていくことの感慨でした。

ものができあがっていくという感動を仕事の中で得ることができる建築屋さんを、うらやましいと思いました。

□建設ロボット

バブルが終焉を迎え、一時の施工の自動化・ロボット化の機運は下火になりましたが、土木・建築にかか

わらず建設事業における施工の自動化・ロボット化は我々機械屋にとって永遠の課題でもあります。

海洋工事では、浮体としての施工装置（作業船）が波浪の影響で施工に限界があることから、海底に着底して、水中という極限状態で作業を行うロボットが開発され、私自身も浚渫ロボットに関わりました。

また、極限状態での施工といえば、最近の話になりますが、東日本大震災における原発事故に関連した調査ロボットや遠隔操作をする作業装置の話をいくつか聞きます。

事故の重大性や過酷な作業環境に憂慮しつつも、技術開発に関わる者として興味を持っています。

□環境事業

かつて大気、水と続いた環境問題の波は、今回の波が土壌ということもあり、2000年頃から建設会社でも環境分野の事業を行うことが多くなりました。

高含水比の汚泥や有害物質に汚染された土壌の処理を行うため、機械脱水や固化処理、汚染土処理などのプラント開発に関わり、プラントを設計し稼働させるという業務がしばらく続きました。

脱水機の開発やプラントシステムを開発することは、「ものづくり」とは少し違った面白さもありますが、環境対策に取り組むという意義も感じていました。

またこの時期、焼却施設のダイオキシン汚染問題がマスコミで大きく取り上げられ、焼却施設の解体・更新工事の需要が高まりました。

工事によって周辺を汚染させないため、あらかじめダイオキシンで汚染されている煙突の耐火レンガや内壁表面を除去し、汚染の無い状態にして煙突を解体する必要があります、煙突の除染を行うロボットを開発して多くの解体工事に適用しました。

このほか、組立足場のリフトアップシステムなど関連技術の開発も行いましたが、これらの装置の開発は、かつての建築施工ロボットの開発と同様の面白さがありました。

これらのことは2003年頃の本誌に執筆させていただいたこともあります。

□現在

現在、私は（一社）日本作業船協会で、船に関する「ものづくり」に携わっています。

ご存じの方も少ないと思うので、簡単に紹介させていただくと、作業船協会は作業船に関する技術コンサルタント業務を行っている組織であり、種々の作業船や関連する技術に関する調査・研究・設計・建造監理

といった業務を、国内外において行っています。

作業船協会として直接ものを作ることは無いのですが、発注者から基本設計等の業務を受託して行っており、建造監理をする際は、実際にものに触れることもあります。

写真は、協会が修理計画や改造計画を受託している「白山」です。

□おわりに

大げさに言えば、自然を変革し、人間に適したものにつくりかえて行こうという建設行為と、その手段である施工方法や施工機械あるいはロボットをつくるという行為を、相交えて行ってきました。

「ものづくり」を「もの」と「つくり」に分けて考えると、少なくともそのいずれかに自分の意思を反映させること、言い換えると創意工夫ができた時、人は達成感を得られるのではないのでしょうか。



ドラグサクション浚渫兼油回収船「白山」 北陸地方整備局所有

「ものづくり」にこだわった機械屋の軌跡は、いくつもの失敗や失望、それに加えていくつかの達成感と感激によって刻まれました。

——たに ゆういち（一社）日本作業船協会 技術部長
技術士（機械部門）——



ずいそう

新潟近郊の温泉漫遊記

赤池利孝



入社後はほとんどが関東エリアでの勤務でしたが、4年前の3月に転勤を命じられ生まれて初めて新潟の地を踏みしました。

入社以来38年勤務し運良く？単身赴任を免れ、自分で食事を作ったことも掃除・洗濯をしたこともほとんどなく過ごしてきました。当時56歳になったこともあり、当然女房も単身生活では大変だと思い帯同してくれるかと思いきや、何処で情報を得たか分かりませんが「冬になれば雪が多くお天道様が見られない所には行きたくない」とのつれない言葉でありました。何とか単身赴任を逃れたいためにいろいろ考えたあげく、赴任当初に会社の先輩から言われた「北陸は酒やごはんもうまいが温泉も最高だよ」の言葉を思い出し、2人の共通の趣味である温泉に月2回以上宿泊で連れて行く事を条件に帯同をお願いした所すんなり了解してもらった次第です。

当初はどこの温泉が良いか悪いかもまったく分からなかったのですが、地元の同僚や居酒屋の店員、或いはホームページなどの情報を収集し、新潟県近郊の温泉に行くことと相成りました。最初は宿泊で行っていましたが、安上がりで行ける日帰り温泉も数多くあることが分かったので徐々に日帰り温泉を増やしていくことにしました。

宿泊の温泉は新潟県の咲花温泉を皮切りに、月岡・瀬波・村杉・赤倉・岩室・松之山・蓬平・貝掛・麒麟山・佐渡相川・大佐渡温泉の12箇所、富山県は大牧・庄川温泉の2箇所、石川県は和倉温泉、山形県はあつみ温泉、福島県は芦の牧温泉、群馬は法師温泉の計18箇所行く事ができました。日帰り温泉は遠方を避け新潟県内のみとし、ハツカ石・角田山・えちご川口・秋葉・花みずき・田上ごまどう・弥彦桜井郷・さくらんど・聖籠観音・紫雲寺・城山・福寿・多宝・安田・八木ヶ鼻・瀬波・蓬平の17箇所に行き宿泊と合わせて35箇所の温泉巡りを堪能できています。ただ温泉に浸かって終わりではつまらないので自宅に帰ってから女房と2人でランク付けを行い、それを酒の肴にして盛り上がっています。

ランク付けは宿泊した温泉ホテルの風呂・部屋・景色・料理・サービス、日帰り温泉の場合は風呂・休憩

施設・景色・料理の項目で点数を付けて決めています。その点数の高い所にはリピーターとなって通うこととし、すでに5回以上行っている所もあります。

私の住んでいた千葉県内の自宅は近くに温泉がない所です。片道20kmから30km位車で走れば温泉がありますが、数が少なく地域柄交通量も多くて時間がかかるため、なかなか温泉に入る機会はありませんでした。新潟近郊は何処に行っても良質の温泉が数多くあり、交通量も少なく時間も読めるので片道100km位の日帰り温泉にも行っています。

新潟近郊は素晴らしい温泉ばかりですが、その中で特に印象に残った所を紹介させていただきます。

温泉

咲花温泉 …温泉温度や外気温によって3色に変わると言われていますが、特にエメラルドグリーンがきれいです。

村杉温泉 …ラジウム含有量は全国トップクラスであり健康に良いとのこと。

松之山温泉…日本三大薬湯の一つであり昔の懐かしさを感じます。

蓬平温泉 …お湯のねっとり感は他では味わえません。

貝掛温泉 …目に良いと言われている温泉でぬるめのお湯はゆっくり入れます。



初めて行った咲花温泉



日本三大薬湯の松之山温泉

景色

瀬波温泉 …日本海が目の前に見え，露天風呂からの夕日は格別です。

赤倉温泉 …日本百名山の一つ越後富士とも呼ばれる「妙高山」を眺めながら露天風呂を満喫できます。

麒麟山温泉…窓から見える雪化粧した阿賀野川の風景は「絵はがき」そのものです。

芦の牧温泉…目の前に山が迫っており溪流と山の紅葉は息を呑む程美しい景色です。

えちご川口温泉…高台にある露天風呂から眺める信濃川はみごとです。

八木ヶ鼻温泉…目の前の五十嵐川と高さ 200 m 以上の八木ヶ鼻の岸壁が圧巻です。

赴任当初女房と約束した「月 2 回以上宿泊の温泉に連れて行く」の約束は果たすことができず「月 2 回以上宿泊の温泉か日帰り温泉に連れて行く」に変わってしまいましたが，それでも満足しているらしく千葉県に帰りたいとの愚痴は聞こえてきません。

これから何年この地に居るか分かりませんが，更に開拓して漫遊記録を作っていきたいと考えています。私と同じような境遇の関東地方などから転勤して来られた方は，新潟県は「冬になれば雪が多くお天道様が見られない地方」であり最初は気分が落ち込むかも分かりませんが，掛け流しの温泉にゆっくり浸かれれば気分が晴れると思います。多少遠くても新潟近郊の温泉地に出掛けてみてはいかがでしょうか？

——あかいけ としたか (株)NIPPO 北信越支店 執行役員支店長——



JCMA 報告

平成 27 年度 建設施工と建設機械シンポジウム開催報告（その 2）

優秀論文賞

電動技術によるハイブリッドホイールローダの開発

石田 一雄・日暮 昌輝

1. はじめに

エンジンの排出ガスによる地球温暖化などの環境影響や石油の枯渇の問題から、化石燃料を使用する自動車などの移動体に対する省エネルギー技術が注目されている。自動車業界では、エンジンと電動技術を組み合わせたハイブリッド車の優れた省エネルギー技術が認知されて広く普及しており、さらに電気自動車や燃料電池自動車の量産段階に入っている。

建設機械業界では、油圧ショベルの旋回機構に電動モータを配したハイブリッド機が普及しつつある。一方、ホイールローダにおいては、一部の大型機の走行系に電動技術を適用した製品があるものの、一般的な建設現場で使用される普及モデルでの量産化が遅れているのが現状である。

日立建機株式会社では、過去にハイブリッドホイールローダのコンセプト機や限定発売機を開発した経緯があり、それらの技術蓄積を基盤として 2014 年に普及モデルのハイブリッドホイールローダの開発を完了した。本論文ではハイブリッドホイールローダのシステム概要と、燃費低減効果などの環境性能、ならびにハイブリッド化にともなう従来機からの改良点を述べる。

2. 開発の経緯

ホイールローダは、タイヤ式のトラクタ系建設機械に分類される。作業装置としてバケットとリフトアームを有しており、主に土砂、砂利、岩石などを掘削し、バケットに積載した土砂などを自走で運搬してダンプトラックなどの運搬機械に積込む作業に用いられる。

ホイールローダは、タイヤ式のため 40 km/h 程度の高速移動が可能である。その機動性の高さゆえに掘削現場間の移動や、積載物の運搬を頻繁に行うため走行頻度の高い建設機械である。また、掘削作業はタイヤに発生する駆動力でバケットを掘削対象物に押し付けることで作業が成立するため、走行系に消費されるエネルギーの割合が非常に大きい。したがって走行系の動力伝達効率の向上などによるエネルギーロスの排除は燃費低減に大きく寄与すると考えられる。

(1) 従来機の走行系駆動方式

従来のホイールローダの走行系の駆動方式は、HST (Hydraulic Static Transmission) 方式とトルクコンバータ方式に大別される。

ホイールローダの車格は、装備されるバケットの容量（定格積載質量）にて決定され、基本的にバケット容量が大きくなるにつれて運転質量やエンジン出力が大きくなる。現在、当社では標準バケット容量 0.3～6.1 m³（運転質量 1.9～46 t）の製品群を量産機としてラインアップしており、3.0 m³ 未満の中小型機には HST 方式を、3.0 m³ 以上の中大型機にはトルクコンバータ方式を採用している。

中大型機に採用されるトルクコンバータ方式はエンジンの動力がトルクコンバータとトランスミッション、車軸を介してタイヤに伝達（四輪駆動）される構造となっており、その構造は自動車と酷似している。

(2) ハイブリッド機の開発経緯

自動車に酷似した駆動方式を有するホイールローダは、自動車と同様にエンジンと電動技術を組み合わせたハイブリッドシステムを適用することで大きな燃費低減効果が期待できる。そのため当社はハイブリッド機の製品化を目指し研究を進めてきた（図—1）。

2003 年にコンセプト機として、バケット容量 1.3 m³ の中型ハイブリッドホイールローダ（機種名 LX70）を開発し、ハイブリッドシステム制御や燃費低減効果の実証試験などの基礎研究を行った。



LX70（コンセプト機）

- ・バケット容量：1.3m³
- ・エンジン出力：71kW
- ・2003年発表



L130^{*)}（限定発売機）

- ・バケット容量：13m³
- ・エンジン出力：735kW
- ・2008年発表

注：*）当時、日立建機（株）の連結子会社であったTCM（株）（現ユニキャリア（株））が開発した。

図—1 ハイブリッド機の開発経緯

その後2008年にバケット容量 13 m^3 の大型ハイブリッドホイールローダ（機種名L130）を開発し限定発売した。当該機は現在も顧客現場で稼働しておりデータの収集を継続しているが、従来システムと比較して約25%の燃費低減効果が立証されている。ただし、燃費低減効果はハイブリッド化による走行系の省エネルギー効果のみではなく、油圧系などのロスエネルギーの低減効果も含まれていることを付け加えておく。

大型ハイブリッドホイールローダL130の主要機器の搭載図を図-2に示す。エンジンで発電機を駆動し、動力を電力に変換しインバータを経由して走行電動モータを駆動する方式で、一般的にシリーズ方式とよばれるシステムで構成されている。4輪に各1個の走行電動モータを配置しており、各モータは差動機とプロペラシャフトにて機械的に連結されていることが特徴である。ホイールローダは掘削中に後軸の荷重が低下して車輪が空転を起こしやすく、4個のモータに機械的な接続が無いと空転した車輪の走行電動モータの駆動トルクを有効に利用できない問題があるため、その対策として考案されたものである¹⁾。

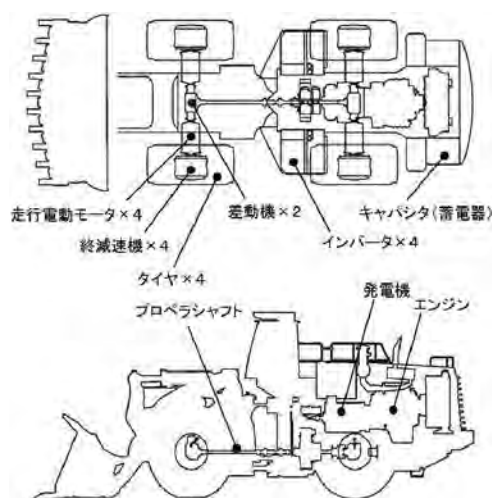


図-2 L130 主要機器の搭載図

3. 普及モデルのハイブリッド機開発

過去のハイブリッド機の開発経緯で蓄積した技術を基盤として、普及モデルであるバケット容量 3.4 m^3 （運転質量18t）の中型ハイブリッドホイールローダ（機種名ZW220HYB-5B）を開発した。

(1) 開発課題

ハイブリッド機開発の課題は以下が挙げられる。

(a) システムの費用対効果

自動車に比べて需要台数が少ない建設機械では電気部品がコスト高となり、製品価格が従来機より高額になる。燃費低減効果によるランニングコスト差により、従来機との価格差を短期間で回収できる燃費性能が求められる。

(b) 電動機器の搭載性

従来機よりも車体寸法が大きくなるとホイールローダとしての作業性を損なうとともに、従来機との部品の共通性も低下してコスト高になる。したがって電動機器は従来機の車台に搭載可能な形状・容積にする必要がある。

(c) 電動機器の信頼性・耐久性・安全性

建設機械の稼働現場特有の過酷な環境下に耐え得る電動機器の設計と、暴走などの危険状態に遷移しにくい制御システムの構築が必要。

(2) ハイブリッドシステム的方式

前述の課題をクリアするために、まずは最適なハイブリッド方式の検討を行った。

自動車におけるエンジンと電動技術を組み合わせたハイブリッド技術は、一般的にシリーズ方式、パラレル方式、シリーズ・パラレル（トルクスプリット）方式に大別される。シミュレーションによる各方式の燃費低減効果の推定結果や、機器の車台への搭載性、メンテナンス性、コストなどを総合的に検討した結果、シリーズ方式がホイールローダに最も適していると判断した。

シリーズ方式ハイブリッドの概念を図-3に示す。シリーズ方式では、エンジンは発電機を駆動するのみに使用され、発電機で発電された電力で走行電動モータを駆動するため、エンジンと車軸の間に機械的な動力伝達が存在しないことが大きな特徴である。

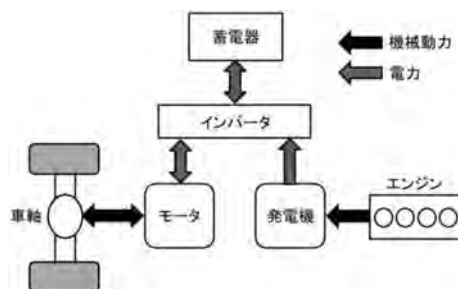


図-3 シリーズ方式ハイブリッドの概念

(3) ハイブリッドシステムの構成

ZW220HYB-5Bのハイブリッドシステムの概略構成図を図-4に示す。構成としては、従来のトルクコンバータおよびトランスミッションを発電機と走行電動モータに置き換え、インバータやキャパシタ（蓄電器）を組み合わせている。

(a) 走行電動モータ

L130では4輪に各1個の走行電動モータを配置した4モータ方式であったが、車軸に動力を伝達するプロペラシャフトの軸線上に走行電動モータを2個配置した2モータ方式に改めた。走行電動モータとモータを制御するインバータの個数が減り、また走行電動モータを機械的に連結

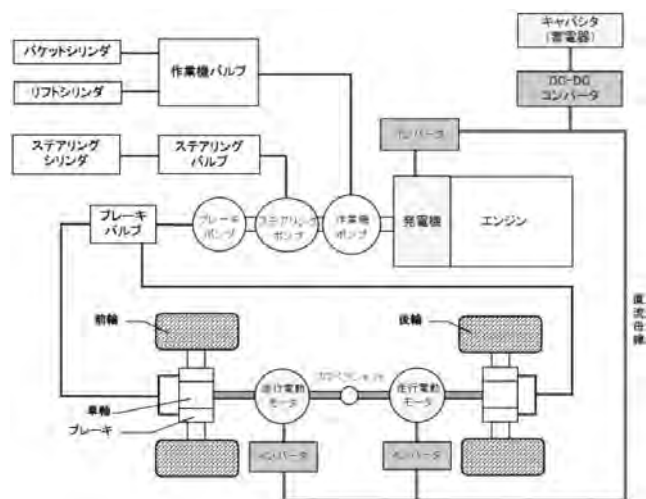


図4 ZW220HYB-5B ハイブリッドシステム構成

する構造も単純化されることからコスト低減に寄与する。

走行電動モータは車軸の差動機を直接駆動する構造としたためトランスミッションなどが存在しない。その結果、クラッチやギヤなどの機械的な摩耗部品が排除され、走行系の信頼性、耐久性、メンテナンス性が向上される。

2個の走行電動モータは、おのおの「低トルク・高回転型」、「高トルク・低回転型」という異なる特性を有しており、高速走行時や掘削作業時などの運転状況に応じて各モータを常に最適な効率で動作させる制御を盛り込んでいる。

ホイールローダは、車体を高速移動させる走行性能と、掘削作業ではバケットを掘削対象物に押し付けるための大きな駆動力の発生を両立させなければならない。走行電動モータを1個で構成すると、掘削時の駆動力を得るためには外径の大きな電動モータが必要となり、同時にそれを制御する高出力のインバータが必要になる。汎用部品が流用できないためコスト高になる点と、車台に搭載するには容積が大き過ぎて不向きであったことから、部品点数は増えるものの2モータ方式はコストと搭載性のバランスと、さらには走行電動モータの動力効率を考慮して考案した。

(b) キャパシタ

蓄電器としてキャパシタをDC (Direct Current) -DC コンバータを介して直流母線に接続している。減速時は走行電動モータに発電動作をさせることで車体の慣性エネルギーを回生電気エネルギーに変換してキャパシタに蓄電し、加速時はそのエネルギーを再利用することが可能である。回生エネルギーを有効利用することで、従来よりも低回転数域でのトルクの小さいエンジン、すなわち小排気量エンジンを採用することが可能となった。その結果、副産物としてエンジン騒音の大幅な低減を実現し、国土交通省の超低騒音型建設機械指定基準を満足する低騒音化を達成した。

(c) 油圧系統

油圧系統は従来機と同様にエンジンによって機械的に油

圧ポンプを駆動している。ステアリング系統とブレーキ系統は信頼性の高い従来の油圧システムを踏襲することで、万一、ハイブリッドシステムに異常が発生した場合でもステアリング機能とブレーキ機能を喪失しないシステムとして安全を担保している。併せて油圧系のロスエネルギー低減のためシステムの見直しも行った。

(d) システム制御

各電動機器は、ハイブリッドコントローラによって統括制御される。シリーズ方式は動力伝達が電気のみで行われるため、安全性については重点的に配慮した。制御系の入力デバイス信号の多重化や、コントローラの相互監視、監視マイコンの搭載などの対処を行い、異常を検知した場合は速やかに駆動力を遮断することで不正な駆動力を発生させない、すなわち危険状態に移移しない制御として構成している。

(4) ハイブリッド化による燃費低減要因

ハイブリッド化による燃費低減要因を以下に述べる。

(a) 動力伝達効率の向上

エンジンと車軸の間に機械的な動力伝達装置が存在しないため、従来のトルクコンバータやクラッチ、ギヤなどの機械的な伝達ロスが低減される。

(b) エンジンの最適制御

従来機はトルクコンバータやトランスミッションを介して走行動力を伝達するため、必要な走行速度や駆動力を得るためにはエンジン回転数の制約があった。しかし、シリーズ方式ハイブリッドでは走行速度とエンジン回転数の制約が緩和され、コントローラによる自動制御によってエンジンの燃費効率の悪い回転数域を避け、かつ可能な限り低回転数で動作させることができるため燃費向上が図れる。

(c) 回生エネルギーの有効利用

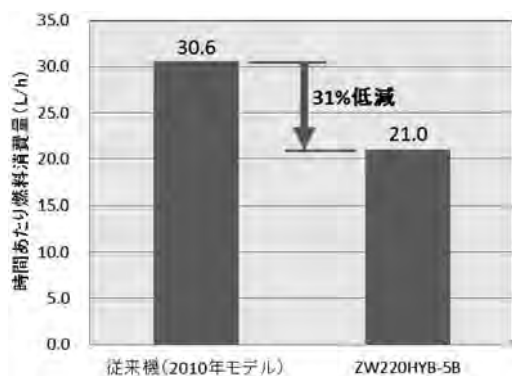
キャパシタに減速時の回生電気エネルギーを蓄電し、加速時に再利用することでエンジンの負荷を軽減できる。

4. 燃費低減効果と従来機からの改良点

前述のハイブリッドシステムを搭載したホイールローダ ZW220HYB-5B (図5) の燃費低減効果と、従来機からの改良点を以下に述べる。



図5 ZW220HYB-5B のパワートレイン透視図 (イメージ図)



図—6 従来機とハイブリッド機の燃費比較

(1) 燃費低減効果

当社の社内評価基準における従来機（2010年モデル）との燃費比較結果を図—6に示す。時間あたり燃料消費量は従来機と比較して約31%の燃費低減効果が確認された。

試験結果では、9.6 L/hの燃費低減効果となっているが、社内評価基準は高負荷作業条件での評価であるため実際の稼働現場に比べて燃料消費量が多く評価されていることに注意願いたい。当社の調査による市場稼働機の平均燃料消費量は社内試験結果の概ね半分程度である。また、アイドリング時間が長いとハイブリッド化の効果が目減りするため、時間あたりの燃料消費量の低減効果は社内試験結果の半分以下と想定される。

仮に4.0 L/hの低減効果とし、軽油単価117¥/L（2015年8月17日現在²⁾）と想定した場合、稼働時間10,000時間において、4,680 k¥の燃料コストを削減できる試算結果となる。

ホイールローダは、その汎用性から碎石、農畜産、産廃処理、除雪、港湾荷役など、さまざまな業種で使われるため、作業形態によって燃料消費量の差が大きい。ハイブリッド化による燃費低減効果は走行頻度が多いほど大きいため、走行頻度が少ない場合やアイドリング時間が長い場合は効果が十分に発揮できない場合がある。したがって、ハイブリッド機の燃費特性を発揮できる作業形態の現場への導入を提案することが重要であると考える。

(2) 従来機からの改良点

燃費低減と騒音低減に加えて、ハイブリッド化にともない従来機から改良した点を述べる。

(a) 無段変速

トランスミッションを廃止し、電動モータによる無段変速を実現した。掘削作業や登坂作業などで変速操作が不要となり走行操作性が改良された。

(b) 走行・作業の独立制御

従来機は、アクセルペダル操作でエンジン回転数を増減することで、走行速度と作業機速度が連動して増減していた。ハイブリッド機はコントローラでエンジン回転数が自動制御されるため、アクセルペダルは走行速度を、作業機レバーは作業機速度を指令するデバイスとし、独立制御が可能なシステムに改めた。ダンプトラックへの積込み動作を一例とすると、作業機（バケット）は速く上げたいがダンプトラックに接近するため走行速度は遅くしたいという場面がある。従来機は、作業機を速く上げるためにフルアクセル操作が必要になり、連動して走行速度も速くなってしまうので、走行速度を減速するためにブレーキ操作を同時に行わなければならない、ここに動力ロスが発生していた。ハイブリッド機は走行速度と作業機速度を独立で操作できるため、必要な作業機速度は維持したままアクセルペダルを緩めることで走行速度を減速できる。したがって最小限のブレーキ操作で積込み作業ができ、動力ロスを低減するとともにオペレータの疲労軽減にも寄与する。

5. おわりに

化石燃料を使用する移動体の省エネルギー化技術は、自動車業界に代表されるように電動化が大きな流れとなっており、電動技術の進歩により今後さらに燃費低減効果の拡大が期待される。当社は今後も研究を継続し、さらなる省エネルギー化を実現した建設機械を提供していく所存である。

《参考文献》

- 1) 伊藤徳孝：ハイブリッド式大型ホイールローダの開発，建設施工と建設機械シンポジウム論文集・梗概集，平成22年度版，pp.75～78，2010年
- 2) 経済産業省 資源エネルギー庁：給油所小売価格調査結果，2015年8月19日公表

石田 一雄

日立建機(株) 開発本部 建設車両システム事業部
開発設計センタ

日暮 昌輝

日立建機(株) 研究本部

お断り

このJCMA報告は、受賞した原文とは一部異なる表現をしてあります。

JCMA 委員会報告

大分川ダム 三光本耶馬溪道路建設現場 見学会報告

情報化施工委員会

1. はじめに

施工部会情報化施工委員会主催の現場見学会が実施されたので、本誌にて紹介する。1月27日に大分川ダム、翌28日に三光本耶馬溪道路を見学した。参加者は事務局を含め48名であった。

2. 大分川ダム

(1) 工事概要

大分川ダムは1級河川大分川水系七瀬川の大分県大分市大字下原地先に、①洪水調節、②河川環境の保全、③水道用水の確保を目的とし、建設されている。

発注者 国土交通省 九州地方整備局
 施工者 鹿島・竹中土木・三井住友特定建設工事共同企業体

ダムの諸元	堤体形式	中央コア型ロックフィルダム
	堤高	約92m
	堤頂長	約500m
	堤体積	約3,900,000 m ³
	総貯水容量	約24,000,000 m ³
	有効貯水容量	約22,400,000 m ³

当現場は日々変化する現場状況を三次元モデルにて効率的に管理している。更に各種重機には情報化施工を適用することで、施工の合理化を図っている。

(2) 現場見学

現場事務所にて施工者の菅原所長より挨拶いただき、宮内副所長より現場概要の説明を受けた(写真—1)。見学会当時はロック材・コア材・フィルター材の盛立中であり、施工状況を見学した(写真—2)。以下に当現場にて活用されている情報化施工技術や特殊技術を紹介する。

(a) 三次元マシンガイダンス (3D-MG)・マシンコントロールシステム (3D-MC)

バックホウ5台に3D-MGを装備しており、ブレーカやツインヘッドにも搭載している。ブルドーザには



写真—1 現場事務所での概要説明



写真—2 堤体部盛立施工状況

1台が3D-MG、5台が3D-MCを装備し稼働している。全て基地局設置型RTK-GNSSにて運用されている。それぞれのシステムはインターネットを経由し、現場事務所内のパソコンと通信することができるため、システムの稼働状況の確認や、設計データの更新作業等を事務所デスク上から遠隔で行うことができる。また、施工データを取得し、出来高数量、出来形を確認することも可能である。

(b) ダンプ運行管理システム

全ての重ダンプに搭載し、各車毎の運搬土量のほか、積み込みから荷下ろしまでのサイクルタイム等を現場事務所リアルタイムに管理するシステムである。「積」「捨」を選択するだけのシンプルな操作性とすることで、誤操作を回避している。事務所からシステム

を通して指示を送ることもできる。運転手の日報を事務所で自動作成する機能により、日報作成と提出の手間を大幅に省いている。当初はダンプ同士のすれ違い困難な場所における交通整備のためのシステムを検討していたことから、当システムを導入する経緯となった。

(c) 締固め管理システム

3D-MG、3D-MCと同様にRTK-GNSS方式を用いた締固め管理システムを8台の振動ローラに搭載している。各車の締固めデータを無線LANを通じて共有することによって、他車の締固め情報を表示することができる。各車の総合データを随時事務所に送信し、帳票の一括作成を行うことができる。

(d) 無人航空機 (UAV) による測量と3Dスキャナによる検査

RTK-GNSS測量やトータルステーション (TS) を用いた測量の他に、自主管理としてUAVによる写真測量を用いている。また、3Dスキャナを用いた出来形確認も行われている。

(e) 画像粒度法による品質管理

ダム堤体においてコアの保護を目的とするフィルターは、粗粒材と細粒材を混合することにより製造される。混合された材料の品質を確保するため、フィルター材の製造過程において、画像解析による品質管理法が用いられている。

3. 三光本耶馬溪道路

(1) 工事概要

三光本耶馬溪道路は、大分県中津市三光西株から同市本耶馬溪町落合に至る延長12.8kmの自動車専用道路で、地域高規格道路「中津日田道路」の一部を構成しており、国土交通省大分河川国道事務所が直轄権限

代行事業として整備中である (図—1)。本道路は、物流の効率化及び広域観光の振興を支援するとともに、地域医療活動の支援や交通安全性の向上、災害に強い道路ネットワークの構築に資する道路である。

(2) 現場見学

国土交通省大分河川国道事務所より、一昨年夏に貫通した三光第2トンネルにて現場概要説明を受け、三光田口地区第2工区改良工事 (施工者: 株松井組) と、三光田口地区第4工区改良工事 (施工者: 後藤建設株) の順で盛土工・掘削工施工中の現場を見学した。

(a) 三光田口地区第2工区改良工事

盛土工現場において締固め管理システムを装備した振動ローラによる締固め施工状況を見学した。当システムもRTK-GNSS方式を用いており、現場内には基地局が設置されていた。コンピュータのマップ上で、ローラが転圧した箇所に転圧回数に応じた色が描かれていく様子を見学した。実際にはコンピュータが振動ローラ運転席上に設置されており、オペレータは画面を確認することで締固め状況を判断できる。写真—3に見学状況を示す。



写真—3 締固め管理システム見学状況

(b) 三光田口地区第4工区改良工事

3D-MGを搭載したバックホウ (RTK-GNSS方式) による法面整形の施工状況を見学した。写真—4に見学状況を示す。三次元設計データとバケットの位置関係がモニターに映し出され、オペレータは画面を確認しながら各レバーを操作する。重機コントローラはインターネットに接続し、事務所内パソコンで施工状況を確認できるうえ、登録された複数の重機情報や設計データ情報をマップ上に表示する機能を持っている。トラブル時には遠隔操作でサポートできるよう、メーカー側の体制も整っている。



図—1 三光本耶馬溪道路区間



写真ー4 3D-MG バックホウ見学状況

4. まとめ

今回見学した大分川ダムにおいては、三次元設計データが土台となって各情報化施工技術と連携するシステムが確立していた。その情報を施工者・発注者間で共有することにより、工事進捗度の可視化や意思統一が図られ、着手前のシミュレーション等に用いることで施工手戻りを最小限に抑えるなど、各プロセスにおける合理化が図られているように感じた。昨年末に国土交通省より調査・設計・施工・検査・維持管理の

全プロセスにおける最適化を図るための取組み「i-Construction」が発表され、平成28年度から展開するよう計画されている。今後、データの共通フォーマット化や、技術者不足等、多くの問題点が議題に挙がることが想定できるが、大分川ダムの現場では正にi-Constructionを実現しているように感じた。

5. おわりに

年度末の多忙な時期にも関わらず今回の現場見学会に協力いただきました、国土交通省、鹿島・竹中土木・三井住友特定建設工事共同企業体、後藤建設(株)、(株)松井組の皆様に厚く御礼申し上げます。

(文責：桑田)

J C M A

【筆者紹介】

桑田 直人 (くわだ なおと)
鹿島道路(株)
生産技術本部 機械部 開発設計課
主任



部 会 報 告

除雪機械の変遷（その16） 凍結防止剤散布車（2）

機械部会 除雪機械技術委員会

6-4 昭和60年代

昭和62年に範多機械(株)は、空港などの大規模散布用として、超大型凍結防止剤散布車 MS-100BIT (F)を開発した。車速同調機能付きでV型円盤による12m散布ができた。



写真 6-20 超大型凍結防止剤散布車 MS-100BIT (F)
範多機械(株) 昭和62年

昭和50年代前半頃、我が国において安全な交通を確保するためのいわゆる除雪機械だけでなく、さらに路面の凍結を防止するための機械として、凍結防止剤散布車の一般道路への普及拡大が望まれた。

昭和60年、東洋運搬機(株)^(注1)は、これに応えるべく車速同調全自動散布可能なスクリュコンベア式の自走式2m³級ESD20、自走式4m³級ESD40を開発し凍結防止剤散布車の市場に初参入した。

昭和63年、東洋運搬機(株)^(注1)は、散布距離を拡大すべくホッパ容量を大きくした自走式2.5m³級ESD25を開発した。



写真 6-22 乾式凍結防止剤散布車 2.5m³級 ESD25
東洋運搬機(株)^(注1) 昭和63年

また、東洋運搬機(株)^(注1)は、2tトラックに搭載可能なリモートコントロール電動式スクリュコンベアによる散布剤強制排出方式を採用した1m³級搭載型散布機ESD10を開発した。



写真 6-23 搭載型散布機 1m³級 ESD10
東洋運搬機(株)^(注1) 昭和63年



ESD20



ESD40

写真 6-21 乾式凍結防止剤散布車 ESD20, ESD40 東洋運搬機(株)^(注1) 昭和60年

6-5 平成元年代

6-5-1 湿式凍結防止剤散布車

平成5年から、塩化ナトリウムの散布方法が改良されて「湿式散布方法」が普及してきた。この散布方法は、凍結防止剤としての塩化ナトリウム（乾燥塩）を溶液と混合して散布する方法で次のような利点がある。

- ①塩化ナトリウム（乾燥塩）に即効性を持たせることができる。塩化ナトリウムは本来潮解性が小さいので、散布後溶け出すまでに時間がかかる。この欠点を解消するため、あらかじめ溶液を加えて潮解性を改善し即効性を持たせる。
- ②凍結防止剤の定着性が向上する。凍結防止剤を乾燥、もしくはそれに近い路面に散布すると通行車両が起す風、あるいは自然風により飛散する。その飛散防止に溶液の粘性を利用して散布剤の定着性を向上させる。
- ③混合比が30%の場合、散布剤の年間使用量が乾式で1,000tの場合は、湿式では300tの節約が可能になる。

これらの結果として、湿式散布は、乾式に比べ散布剤使用量を低減できることが最大の特徴である。

旧日本道路公団では、乾式の凍結防止剤散布車により塩化カルシウムを使用して事後散布を行っていたが、昭和60年代～平成元年代になってから、安価な塩を使用した事前散布を行うようになり、乾式では、飛散があるので湿式の凍結防止剤散布車を検討していた。

平成5年に、範多機械(株)は、湿式凍結防止剤散布車 MS-BIT (F) W を開発した。これは、旧日本道路公団の要請により、既存の乾式ベルトコンベア式凍結防止剤散布車 MS-BIT (F) を改造して、溶液タンクをホッパの中に仕切を設けて設置し、ベルトコンベアから搬送されてきた散布剤を横置きスクリーンで受けて同時にポンプで送水された溶液をスクリーン部に直接噴霧して混合し、車両荷台後部右側にある散布円盤の方へ搬送した。

平成8年、旧日本道路公団は湿式散布車を次年度から全面採用することを決定した。新明和工業、ウエスタン自動車、新たに旧日本道路公団向けの散布車市場に参入した。

平成9年、範多機械(株)は、旧日本道路公団向けにホッパ内蔵タンク、後部スクリーン混合方式の湿式散布車で対応した。

平成10年、範多機械(株)は、溶液の混合方式に他社特許があり別方式の有効な手段が求められていたた

め、海外製品でなくフルモデルチェンジとして、独自にFRPタンクを備えたホッパ装置とノズルから剤に溶液を噴射するシュート内噴射混合装置の特許を取得し、旧日本道路公団向け新型湿式散布車 MS-BWT (F) の開発・生産を開始した。これにより唯一の国産散布機メーカーとなった。旧日本道路公団向けのは、MS-BWT、国交省・自治体向けは、平成13年にMS-BIT (W) として発売された。平成6年以降購入された旧日本道路公団の散布車は、すべて湿式が使用されている。平成6年以前に購入された凍結防止剤散布車も一部が、MS-BIT (F) W に改造された。

平成13年に、範多機械(株)は、乾式と湿式を区別するため従来の乾式散布車 MS-BIT (F) を MS-BIT (D) と改称した (D: 乾式)。

平成13年、範多機械(株)は、中型湿式散布車 MS-BIT (W) を開発した。基本構造はBWT (F) 型と同様であるが、旧日本道路公団型と区別するため、BIT (W) とし、旧日本道路公団以外のユーザー向けとした。

範多機械(株)の湿式凍結防止剤散布車 MS-BWT は、次の特徴を持っている。

- ①シュート内溶液噴射多段混合方式を採用した。これは、散布円盤付近で溶液を散布するのではなく、シュート内で噴射溶液が壁で3回ほど反射されて、落下する散布剤と交差することによって溶液と散布剤を混合するものである。
- ②溶液外部供給接続装置を設置した。これは、基地の溶液貯水槽から散布車の溶液タンクに溶液を給水するために使用される接続装置であり、接続口及び供給パイプ口径が大きいため急速給水が可能で、かつ地上作業であるので、従来のホッパ上部での溶液供給による高所危険作業が解消された。また、ホッパへの散布剤の積み込み作業と同時に給水作業が行えるため効率的である。
- ③急速給水対応型ポリエチレン製溶液タンクをホッパ両サイドに設置した。これにより前輪荷重の軽減と重心位置を低くすることによって、走行安定性の向上を図った。

また、タンク上部にある給水口の口径も大きいので、急速給水が可能である。

昭和63年頃からスパイクタイヤによる粉じん公害が社会問題になりはじめ、札幌市がスタッドレスタイヤ装着を奨励し始める等、雪国の各地方都市から粉じん公害に対する具体的な対策が出される状況へと発展した。その後平成2年に法令化された「スパイクタイヤ粉じんの発生の防止に関する法律」によりスパイク



写真 6-24 凍結防止剤散布車 MS-BIT (F) W 型
範多機械(株) 平成 5 年



写真 6-25 湿式凍結防止剤散布車 MS-BIT (W) 型
範多機械(株) 平成 13 年



写真 6-26 湿式凍結防止剤散布車 MS-BWT 型
範多機械(株) 平成 10 年モデルチェンジ

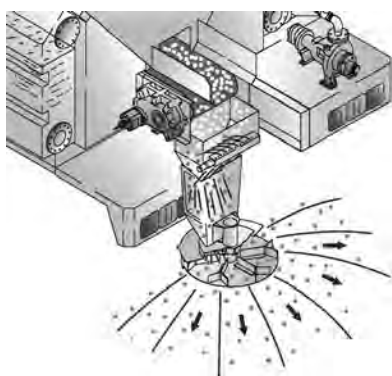


図 6-1 湿式凍結防止剤散布車 MS-BWT の溶液混合装置 範多機械(株)

タイヤの使用制限が掛けられ、罰則規定が定められた。実際にスタッドレスタイヤの装着が浸透し始めると今までに見られなかった「つるつる路面」や「ブラックアイスパーンの多発」などの現象が発生し、交通事故の増加という新たな社会問題が起こって来た。

こうした事態を受け冬季間の路面凍結防止対策が一



写真 6-27 湿式凍結防止剤散布車 MS-BWT の溶液外部供給接続装置
範多機械(株)



写真 6-28 湿式凍結防止剤散布車 MS-BWT の
急速給水対応型ポリエチレン製溶液タンク 範多機械(株)

層重要なテーマになり、(株)日本除雪機製作所は、これに対処するため従来形の乾式とは異なった新しい発想の『ドイツ国キッパーバイザー社が開発した湿式路面凍結防止剤散布車』を導入した。

平成元年 8 月、旧建設省北陸地方建設局は、プロポーザル方式により湿式凍結防止剤散布車 1 台の購入を計画し、同年 12 月に輸入 1 号機、NWS251 形凍結防止剤散布車が納入された。

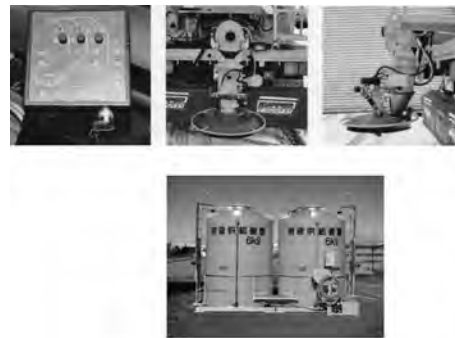
本機はヨーロッパで開発された技術で、乾燥塩に塩化カルシウム水溶液をまぶして散布するという当時の日本の散布車にはない機能を有していた。

- ①散布した塩がよく路面に付着し、風で吹き飛ばされることが少ないため、最少の散布塩で効果を上げ環境破壊を防ぐ。
- ②即効性があり氷点下の乾燥路面にも効果があるという特徴をもっている。さらにマイクロコンピュータによる制御装置を搭載しており、散布量、散布時間等を記録し、故障箇所を知らせる自己診断機能、車を走らせなくても走らせたようにその場で散布してみせるシミュレーション機能、ワンタッチでできる簡単な操作や散布作業後に残った乾燥塩を容易に取り出せるなどの細かい機能がある。

平成 4 年、東洋運搬機(株)^(注1)は、トラックシャー



NWS251 形凍結防止剤散布車



溶液供給装置

写真 6-29 湿式散布車 NWS251 形 (株)日本除雪機製作所 平成元年輸入



ESD25-2



ESD40-2

写真 6-30 乾式凍結防止剤散布車 ESD25-2, ESD40-2 東洋運搬機(株)^(注1) 平成 4 年

シメーカ変更により、自走式 2.5 m³ 級 ESD25-2、自走式 4 m³ 級 ESD40-2 を開発した。

平成 5 年、東洋運搬機(株)^(注1) は、新たな動力源は不要でトラックに搭載しているバッテリーを使用し扱い易く経済的で、目詰まりのしにくいメタリングロータ散布剤強制排出方式を採用した 1 m³ 搭載型散布機 ESD10R を開発した。

平成 6 年、東洋運搬機(株)^(注1) は、シンプルな構造の自然落下型散布剤排出方式を採用した 1 m³ 搭載型散布機 ESD10G、2 m³ 搭載型散布機 ESD20G を開発した。

平成 7 年、東洋運搬機(株)^(注1) は、普通免許で運転可能な自走式 2.2 m³ 級 ESD22 を開発した。

平成 13 年、東洋運搬機(株)は、攪拌フィン付ロートを備えた湿式凍結防止剤散布車、自走式 2.5 m³ 級

写真 6-31 搭載型散布機 ESD10R 東洋運搬機(株)^(注1) 平成 5 年

ESD25W を発売した。また、平成 18 年には、同じく湿式凍結防止剤散布車、自走式 3.5 m³ 級 ESD35W を発売した。

平成元年より(株)日本除雪機製作所は、ヨーロッパで開発された湿式凍結防止剤散布車を導入、新しい混合



ESD10G



ESD20G

写真 6-32 搭載型散布機 1 m³ ESD10G, 2 m³ ESD20G 東洋運搬機(株)^(注1) 平成 6 年



写真 6-33 乾式凍結防止剤散布車 ESD22
東洋運搬機(株)^(注1) 平成7年

方式である湿式方式による環境負荷の低減と相まってマイクロコンピュータによる散布量制御、自己診断機能等により好評を得ていた。

本シリーズは90シリーズと呼ばれ、散布剤を搭載するホッパ容量が2.5、4.0 m³の2種類があり、各々の容量毎に搬送するスクリューコンベアにはシングルタイプ、ツインタイプの仕様がかった。ツインスクリュータイプはホッパ内が2分割され、各ホッパにスクリューが1本ずつあるため、種類の違う散布剤を搭載し、散布することが可能であった。

なお、この90シリーズの呼称は、ホッパ容量2.5 m³、シングルスクリューの場合、NWS25SS1形、ホッパ容量4.0 m³、ツインスクリューの場合、NWS40TS1形であった。

平成9年度から散布装置は90シリーズから95シリーズへと順次モデルチェンジを行っている。90シリーズと95シリーズの大きな違いは制御システムにあり、CAN制御方式の採用、また、制御内容の一部を独自に変更することにより、よりきめ細かな対応が可能となった。加えて操作方式がボタン式よりジョイスティック式になり、また、操作パネルの他にディスプレイパネルが装着され、種々のメニュー画面や散布装置の作動状況が表示される。

散布装置本体としては、モータ用減速機の廃止に伴

う構造の簡素化により信頼性の向上を図り、また、タンク、円盤類の構造、形状の見直しを行っている。

ホッパ容量についても5.0、6.0、10.0 m³の3種類が追加され、各々にシングル、ツインスクリューの仕様がある。この95シリーズの呼称は、ホッパ容量2.5 m³、シングルスクリューの場合、NWS25SS2形である。

また、散布方式も従来の湿式方式（NWSシリーズ）および湿式、溶液散布、乾式の3方式が可能なコンビ方式（NCSシリーズ）の他に、より構造を簡素化し散布剤のみを散布する乾式方式（NDSシリーズ）がある。

平成13年より(株)日本除雪機製作所は、車載式の小型散布装置を販売した。

本装置は、小型の散布装置と駆動用小型エンジンをトラックに搭載可能としたもので、ホッパ容量は、1.2、1.5、2.0 m³の3種類がある。加えてマイクロコンピュータを制御装置内に設け、湿式、乾式散布の双方に対応可能とした高機能タイプをジュニアシリーズ（呼称：湿式、2.0 m³対応でNWS20JR3）、より簡易的なスイッチ類の操作にて、乾式散布のみに対応としたシンプルタイプをキッズシリーズ（呼称：2.0 m³対応でNDS20JR4）と呼び、各々のホッパ容量毎にこれらを設定できた。

(株)ヤナセ^(注10)は、ダイムラーベンツ社製「ウニモグ」に各作業アタッチメント（スノープラウ・ロータリー除雪機・トンネル洗浄機等）を搭載し、道路維持作業車として旧日本道路公団・旧建設省等へ昭和40年より納入している。海外取引先であるドイツ国シュミット社が、ウニモグへ搭載可能な凍結防止剤散布装置を製作しており、ウニモグにこれを搭載し凍結防止剤散布車として導入した。平成6年に、ウエスタン自動車(株)^(注11)は、旧建設省関東地方建設局 横浜国道工事事務所へウニモグの新規納入と同時に凍結防止散布装置（乾式）SST20WHを輸入1号機として納入した。

ヨーロッパでは、乾式と湿式の2種類の凍結防止散



NWS40TS1 形



NWS40TS1 形

写真 6-34 湿式散布車 90 シリーズ (株)日本除雪機製作所 平成元年



NWS25SS2 形



NWS40TS2 形



NWS50SS2 形



NWS60SS2 形



NCS25SS2 形



NCS40SS2 形



NDS25BC3 形



NDS35SS3 形

写真 6-35 湿式散布車 95 シリーズ (株)日本除雪機製作所 平成 9 年

布装置が製作販売されており、日本へ輸入する場合も、ユーザーの使用目的に合わせ、乾式・湿式の散布装置をユニモグへ搭載して納入している。

シュミット社製湿式凍結防止剤散布装置は、乾燥塩剤と水溶液を散布直前混合することにより、路面への

付着力が優れ、早く溶解する。さらに、コンピューターによる制御装置を搭載しており、散布量、散布幅、散布時間を記録し、故障箇所を知らせる自己診断機能、車を走行させなくても走行している様にその場で散布するシミュレーション機能、散布作業後に残った乾燥



NWS20JR3 形



NDS15JR3 形



NWS15JR3 形



NWS15JR3 形

写真 6-36 車載式小型散布装置ジュニア, キッズシリーズ (株)日本除雪機製作所 平成 13 年

写真 6-37 乾式凍結防止剤散布装置 SST20WH
ウエスタン自動車(株) 平成 6 年写真 6-38 湿式凍結防止剤散布車 SAB90FH
ワイ・エンジニアリング(株) 平成 9 年

塩剤を手動で容易に送り出す機能などを有している。

平成 9 年より、ワイ・エンジニアリング(株)は、主に高速道路向けに湿式凍結防止剤散布装置を輸入し、車両に架装して湿塩散布車として納入している。中型車用として、湿式凍結防止剤散布車 SST35FH を旧日本道路公団へ納入した。以後、湿式凍結防止剤散布車が輸入販売の主流になるが、一方でユーザーの使用目的によって乾式凍結防止剤散布車も輸入している。また

同年には、散布作業中に乾燥塩剤を補充しないで長い距離を散布することを目的に湿式凍結防止剤散布車 SAB90FH を旧日本道路公団へ納入した。

J C M A

注 1：TCM (株)をへて現日立建機(株)

注 10：ウエスタン自動車(株)をへて現ワイ・エンジニアリング(株)

注 11：現ワイ・エンジニアリング(株)

部 会 報 告

日立建機(株)土浦工場 見学会

機械部会

1. はじめに

機械部会 路盤・舗装機械技術員会では平成 27 年 11 月 13 (金) 茨城県土浦市に位置する日立建機(株)土浦工場の見学会を実施した。

参加者は山口委員長他 17 社 28 名と多数の参加となったが、日立建機(株)殿の多大なるご支援ならびにご配慮により、スケジュール通り順調に工場見学を終了することができた。

2. 土浦工場について

土浦工場は研究、開発、生産の中心となるマザー工場であり、1966 年 (昭和 41 年) に操業を開始し、敷地面積は 49 万 m²、東京ドーム 10.5 個が入る広さである。この工場では中小型油圧ショベル (10 t ~ 30 t クラス) の生産、大型油圧ショベル上部旋回体組立 (40 t ~ 80 t クラス)、各種試験場、部品センタ、および油圧ショベル、油圧コンポーネントなどの研究・開発・設計を担っており、従業員は約 3,300 名である。



写真—1 土浦工場

3. 生産ラインについて

生産ラインは中型組立ライン、大型上部旋回体組立ライン、製缶ラインがあり、これらのラインを見学した。

1) 中型組立ラインは、生産量約 40 台/日 (最大約 70 台/日) の 10 t ~ 30 t クラス油圧ショベル、ホイール油圧ショベルの多種混合組立ラインで、1 台 1 台異なる仕様の油圧ショベルを指示書に従い、正確且つ迅速に組立てられていた。また、最終工程では油漏れ検査、締付けトルク検査などが実施され、品質管理が徹底されていた。塗装は部品塗装化により部品単位で仕上げ塗装され、外観品質管理も徹底されていた。



写真—2 中型組立ライン

- 2) 大型上部旋回体組立ラインは、40 t ~ 80 t クラスの大型油圧ショベルの上部旋回体の組立が行われ、最終工程で油圧漏れ検査、性能検査が行われていた。
- 3) 製缶ラインは油圧ショベルのメインフレーム、トラックフレーム、作業機の溶接、およびショットブラスト処理後にロボットによる自動塗装が行われていた。薄板板金ラインではプレス部品、フロアフレーム、カバー類などが生産され、カチオン電着塗装が実施されていた。また、現場には作業機の溶接品質が限度見本で展示され、品質良否が一目で作業者に理解できるよう工夫されていた。
- 4) 1965 年 (昭和 40 年) に純国産技術により開発製造された UH03 油圧ショベル第 1 号機が展示されており、「2011 年に機械遺産第 48 号に認定され、それまで主流であった 1 ポンプ 1 バルブ方式から



写真—3 機械遺産 UH03 第1号機と見学記念写真

2ポンプ2バルブの独自方式採用により、複合動作の改善や動作速度アップなど作業性を向上させた」主旨の説明があり、日立建機(株)殿の油圧ショベル開発・生産の歴史を感じることができた。

4. 見学所感

土浦工場では、多種混合組立ラインで指示書に従った組立、検査の徹底化、組立不良の防止および溶接品質の限度見本の展示などにより、油圧ショベルの品質管理が徹底されており、研究・開発・設計などエリアの一元化による開発効率が図られ、油圧ショベル生産

工場の生産・開発のパワーと歴史を感じた。

また、工場遮音壁の二重化、夜間外灯の大型遮光カバーなど工場周辺環境への配慮がなされていることが分かった。

謝 辞

以上短時間の見学であったが、大変有意義で楽しい時間であった。最後にお忙しい中、丁寧な説明とご案内を賜りましたご担当者の皆様、また見学会にご尽力賜りました関係各位に深く感謝するとともに、今後のご発展を心よりご祈念申し上げます。

JCM A

部 会 報 告

コマツ栗津工場見学会

建設業部会

1. はじめに

建設業務部では、平成27年度冬季現場見学会を1月20日に石川県小松市にあるコマツ栗津工場において実施したので本誌に紹介する。

参加者は事務局を含め17名であった。

注：通常一般の見学は受け入れておりません。

2. 工場概要

栗津工場は1938年に操業を開始し、現在約3,000人が従事している。工場面積は710,000 m²、建屋面積247,000 m²と広大で、東京ドーム約15個分の面積を有している。建設機械の生産拠点として国内外合わせ49の拠点のうち、マザー工場と呼ばれる生産工場と開発（設計、試作、テスト、量産）を担う主力工場である。建設機械は10t～30tクラスの路上を走行するコンストラクション関係の車両を担当している。また、建設機械の性能を左右するキーテクノロジーであるコンポーネントを自社開発しており、トランスミッションを担当している。

栗津工場の設備として溶接工場やトランスミッション工場、バイオマスボイラ、開発センタ、性能テスト場、技能トレーニングセンタ、ゲストハウスなどがあるが、中でも組立工場は、建設から40年を超えた2棟の工場を一つに集約した新組立工場を建設し、最新の省エネ機器、ICT、生産技術を取入れ環境への配慮と生産性向上を図った工場として2014年5月に完成し生産を開始している。

今回の見学会はコマツのダントツ工場*を目指す取り組みのご説明と最新鋭の組立工場についてご説明および見学をさせていただいた。

3. ダントツ工場を目指す取り組み

取り組みとして栗津工場では大きく2つのことを行っているとのことであった。

①電力削減

※ダントツ工場…生産ラインの効率化を大幅に高めた工場

②新組立工場での生産性向上

電力削減については栗津工場全体の電力使用量の解析を行い、新組立工場の省エネ対策を含めバイオマスボイラにより発生する蒸気の活用などにより地元電力会社からの電力購入量を2010年度比で50%を削減しているとのことであった。

新組立工場の取り組みについては実際に工場内を見学しご説明いただいた。

4. 工場見学

見学会は工場敷地内にあるゲストハウスにおいて、工場の概要説明を受けた後、バスにて新組立工場へ移動し行われた（写真—1）。



写真—1 工場の概要説明

見学させていただいた新組立工場はメインライン2ライン（タイヤ系、クローラ系各1ライン）とサブラインの構成となっており、柱の跨度が最大32mあり作業スペースが広いと感じた。その中でも特に作業効率を上げているのは、天井クレーンが両サイドからくるラップクレーンである。照明は自然光による照度調整を行えるLEDを採用していた。ご説明いただいた特徴でもある工場の全面地下ピット構造は通常地上にある、空調、エア、電気等の配管、配線など生産に関係ない設備を地下に集約することにより、物品、人の動線が確保されており、作業のしやすい環境である



写真—2 新組立工場 生産ライン

と感じた。また、生産ラインはコンベア上で機械と作業者が同時に移動することで、同じ場所にしながら作業し、機種に応じたマーシャリングを行うことで部品、工具などひとまとめになっているため、作業の浪費（無駄）を最小限とし、効率的に作業しているところも特徴的であった（写真—2）。

栗津工場では新工場の建設に伴い床面積を30%削減し、作業性を50%向上させることで、今までの倍の生産性を確保しているとのことであった。

5. おわりに

先に述べた栗津工場内の取り組み以外に、専門以外の農業、林業への取り組みとして残材を生かしたバイオマスエネルギーとして使用するチップ材を年間約7,000t生産することで、今までなかった雇用が生まれ、



写真—3 見学会集合写真

また生産性を上げるために技術開発が進むとご説明がありました。建設以外にも様々な開発を行っていることを知ることができ大変有意義な経験をさせていただきました。

筆者も土木、建築といった建設業の枠に捉われず、広い意味の建設技術の開発に努める必要があると感じた。

謝 辞

最後に、大変お忙しい中、見学会の準備、そして当日丁寧にご説明、ご案内いただきました、直轄営業部飯野様、生産技術部管理課川越様、戸井様、総務部福田様、総務庶務課広報グループ堀田様、並びにスタッフの皆様に厚くお礼申し上げます。

J C M A

新工法紹介 機関誌編集委員会

07-362	凍結杭頭処理工法	戸田建設
--------	----------	------

概要

これまでの杭頭処理工法は騒音・振動・粉塵を伴うはつり作業や施工上の不確定因子が多い静的破碎剤等が主流であった。本工法は、水の凍結膨張圧を利用したもので、余盛コンクリートに水平方向のひび割れを一気に発生させ、解体片を揚重機で容易に撤去することができ、低騒音、低振動、無粉塵で杭頭処理を行うものである。

図—1に凍結破碎の破壊原理を示す。水が凍結して氷になった場合、体積は約9%膨張し、凍結膨張圧は約200MPaとなる。この凍結膨張圧を利用し、現場造成杭の鉄筋籠内に水平に設置した冷凍管内の水を液体窒素で冷却する。冷凍管は扁平形状の鋼管を用い、内部の凍結膨張圧の上昇に伴い、鋼管が円形に戻ろうとする復元力により、ひび割れ方向の制御と変位量を増大させ、水平方向にひび割れを発生させる（写真—1）。

ひび割れ発生後、余盛コンクリートをクレーンにて撤去する（写真—2）。本工法は、杭頭処理を静的破碎材工法で行った場合と比べ、コストを3割程度削減できる。

特徴

- ①低騒音・低振動・無粉塵で余盛コンクリートの撤去が可能
凍結膨張圧で水平方向にひび割れを発生させた後、余盛コンクリートをクレーンで吊上げ、場外に搬出するため、低騒音・低振動・無粉塵で余盛コンクリートを撤去することができる。
- ②ひび割れ方向、位置の制御が可能

扁平形状の冷凍管を用いることで、内部の凍結膨張圧の上昇に伴い、鋼管が円形に戻ろうとする復元力により、ひび割れ方向を制御することができる。冷凍管の側面に鋼板を設置し、ひび割れ発生予定位置のコンクリート断面を欠損させることにより、ひび割れ発生位置を制御することができる。

- ③コンクリート強度発現後に適用可能

コンクリート強度発現後に、ひび割れを発生させることができるため、コンクリートへの影響を少なくすることができる。

用途

・杭頭処理工事

実績

・T倉庫新築工事

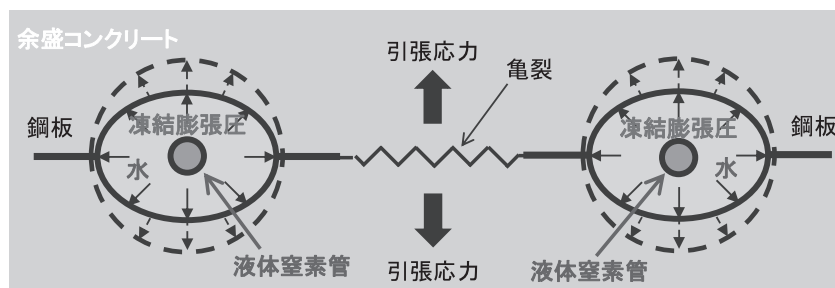
・Eマンション新築工事

問合せ先

戸田建設㈱ 価値創造推進室 技術開発センター

〒104-8388 東京都中央区京橋 1-7-1

TEL：03-3535-2641



図—1 凍結破碎の破壊原理



写真—1 ひび割れ状況



写真—2 撤去状況



冷却状況



ひび割れ発生状況



余盛コンクリート撤去状況



余盛コンクリート撤去完了

写真—3 施工状況

新機種紹介

機関誌編集委員会

▶ 〈02〉掘削機械

15-〈02〉-08	加藤製作所 油圧ショベル HD308US-6 ショートリーチ仕様	'15.04 発売 新機種
------------	---	------------------

地下工事など高さ制限のある作業環境において使用することを前提に8トンクラス後方超小旋回機HD308US-6にショートリーチフロントを装着した油圧ショベルである。

標準機に対してアーム、ブームを短くし、掘削、積み込み作業時のフロント高さを抑えている。

フロント配管は乗員から見やすいように車体左側面に集中配置している。

バケットシリンダには、解体作業時の飛散物からシリンダロッド部を保護するためのスライドプロテクタを装備している。

キャブは標準機よりも低い専用低ルーフキャブとし、本体高さを抑えている。

下部走行体は、クローラ中心距離を短くした専用走行体としているため、幅の広いシュートを装着してもクローラ全幅を抑えられ、狭小空間での移動を容易にしている。

表ー1 HD308US-6（ショートリーチ仕様）の主な仕様

標準バケット容量	(m ³)	0.40
運転質量	(t)	7.6
最大掘削深さ	(m)	2.03
最大掘削半径	(m)	5.77
最大掘削高さ	(m)	6.23
定格出力	(kW (PS)/min ⁻¹)	40 (54)/2,000
走行速度 高速/低速	(km/h)	5.0/3.2
登坂能力	(%)	70
接地圧 (600 mm 三角シュール)	(kPa)	25
最低地上高さ	(m)	0.39
クローラ中心距離	(m)	1.70
クローラシュール幅	(m)	0.60
価格 (税抜)	(百万円)	9.5



写真ー1 加藤製作所 HD308US-6
油圧ショベル ショートリーチ仕様

地下へのつり作業に対応するため、つり環（アイプレート）をブーム背面に装備している。

問合せ先：(株)加藤製作所 営業本部
〒140-0011 東京都品川区東大井 1-9-37

15-〈02〉-09	加藤製作所 油圧ショベル HD513MR-6 ショートリーチ解体仕様	'15.05 発売 新機種
------------	---	------------------

車体寸法、運転質量の面で制約を受ける地下工事や階上解体工事で使用することを目的に、20トンクラスの油圧圧砕機や油圧ブレーカを装着することを想定して、13トンクラス後方小旋回機HD513MR-6にショートリーチフロントを装着した油圧ショベルである。

13トンクラス用よりも重い20トンクラス用の油圧圧砕機を装着するため、バケットシリンダは専用品とし、アーム先端部周辺のリンク類は20トンクラスの部品を使用している。

各シリンダの下げ動作側油圧回路には、下げ速度を調整できるスローリターンバルブを装備している。

また、20トンクラス用油圧圧砕機を装着しても安定度を確保できるように、ベースとなるHD513MR-6より重いカウンターウエイトとしている。

バケットシリンダには、解体作業時の飛散物からシリンダロッド部を保護するためのスライドプロテクタを装備している。

地下や階上へのつり作業に対応するため、つり環（アイプレート）をブーム背面に装備している。

表ー2 HD513MR-6 ショートリーチ解体仕様の主な仕様

バケット容量 (オプション)	(m ³)	(0.50)
運転質量	(t)	14.4 (アタッチメントを除く)
最大掘削深さ (アーム先端)	(m)	1.92
最大掘削半径 (アーム先端)	(m)	5.27
最大掘削高さ (アーム先端)	(m)	6.33
定格出力	(kW (PS)/min ⁻¹)	75 (102)/2,000
走行速度 高速/低速	(km/h)	5.8/3.3
登坂能力	(%)	70
接地圧 (500 mm トリプルグロウサシュール)	(kPa)	53 (アタッチメント装着可能質量を含む)
最低地上高さ	(m)	0.44
クローラ中心距離	(m)	1.99
クローラシュール幅	(m)	0.50
アタッチメント装着可能質量	(t)	2.40
価格 (税抜)	(百万円)	14.5

注) アタッチメントは付属されません。

新機種紹介



写真一 加藤製作所 HD513MR-6
油圧ショベル ショートリーチ解体仕様
(油圧圧砕機は古河ロックドリル(株)製 Vx225)
(写真の仕様は一部オプションが含まれます)

問合せ先：(株)加藤製作所 営業本部
〒140-0011 東京都品川区東大井 1-9-37

15-(02)-10	日立建機 超小旋回型ミニショベル ZX30UR-5B/ZX40UR-5B/ZX55UR-5B	'15.09 発売 モデルチェンジ
------------	--	----------------------

住宅街の狭小な場所における管工事を始め、土木工事、道路舗装工事で使用される超小旋回型ミニショベルである。ZX30UR-5BおよびZX40UR-5Bは排出ガス対策型建設機械（第3次基準）、ZX55UR-5Bは特定特殊自動車排出ガス2014年基準に適合しているほか、3機種とも国土交通省超低騒音型建設機械に指定されている。

「環境への配慮」として、電子制御式エンジンと油圧システムの改善により、従来機と比べ10%を超える燃料消費量の低減を図っている。エンジンを自動的にアイドリング回転速度にする省エネ機構である「オートアイドル機能」を標準装備し、さらに長時間のアイドリング状態が続いた場合、設定した時間で自動的にエンジンを停止させるオートアイドルストップ機能もオプション設定している。

「安全への配慮」として、作業現場の上に電線や街路樹などの障害物がある場合にブーム上げ高さを制限する「高さ制限システム」を標準装備している。また、3柱キャノピは、TOPS/OPGに対応している。

「ユーザーフレンドリーなミニショベル」を目指し、ワイドフルオープンカバー」および運転席が持ち上がる「チルトアップ機能」によりメンテナンス機能を充実させている。作業性では、ブレードレバー先端に走行速度切替えスイッチを装備しており、ブレードを操作しながら走行変速操作をスムーズに行えるようになっている。

また、携帯電話通信網を利用し、機械の稼働状況・保守をインター

ネットで一括管理できる「Global e-Service Owner's Site（グローバル サービス オーナーズサイト）」をオプション設定している。

表一 3 ZX30UR-5B, ZX40UR-5B, ZX55UR-5B の主な仕様

	ZX30UR-5B	ZX40UR-5B	ZX55UR-5B
標準バケット容量 (m ³)	0.09	0.11	0.22
最大掘削深さ (mm)	2,850	3,220	4,020
最大掘削半径 (mm)	4,370	4,830	5,760
最大掘削高さ (mm)	5,170	5,630	6,510
機械質量 (kg)	2,990	3,600	5,300
定格出力 (kW (PS)/min ⁻¹)	17.9 (24.3) /2,200	18.0 (24.5) /2,400	27.1 (36.9) /2,400
走行速度 高速/低速 (km/h)	4.5/2.6	4.5/2.8	4.5/2.7
登坂能力 % (度)	58 (30)	58 (30)	58 (30)
接地圧 (kPa)	28	33	30
最低地上高 (mm)	280	280	340
クローラ中心距離 (mm)	1,250	1,440	1,600
シュー幅 (mm)	300	300	400
全長×全幅×全高 (輸送時) (mm)	4,080 × 1,550 × 2,520	4,380 × 1,740 × 2,520	5,160 × 2,000 × 2,570
標準小売価格 (百万円)	5.05	6.25	7.65

注) 価格は工場裸渡し、消費税別。寸法および価格はゴムクローラ、キャノピ仕様時



写真三 日立建機(株) ZX55UR-5B 超小旋回型ミニショベル

問合せ先：日立建機(株) 経営管理統括本部 ブランド・コミュニケーション本部 広報戦略室 広報グループ
〒112-8563 東京都文京区後楽 2丁目5番1号

新機種紹介

▶ 〈11〉 コンクリート機械

15-〈11〉-03	極東開発工業 コンクリートポンプ車 ピストンクリート PY90-17	'15.07 発売 新機種
------------	--	------------------

生コンクリートの圧送性能を向上させたコンクリートポンプ車である。

パワーユニット部はトランスファ PTO および高出力油圧ポンプとすることで、最大吐出量 90 m³/h、最大吐出圧力 8.5 MPa の性能を有し、また、車両総重量 11 t クラスのトラックシャシへ最大地上高 17 m のブーム装置及び、コンクリートポンプと同時作業が可能な洗浄用高圧水ポンプと特定省電力型デジタルラジコン RK26-10DS を搭載し作業効率の向上を図っている。

大容量オイルクーラーにより作動油の冷却性能を向上させており、高負荷連続運転も可能である。

フロントアウトリガは、従来の標準位置に比べさらに広く張出しができるワイド位置を設定して車両の安定性を高めている。

輸送配管バンド部の磨耗検知付き配管、ブーム旋回台内部の耐磨耗性 2 重構造配管、緊急停止ボタン、ホップスクリーンが開くと攪拌羽根の回転を停止させる攪拌自動安全停止装置（JIS 安全要求事項に適合）、水平器等により、圧送作業時の安全性の向上を図っている。



写真—5 極東開発工業 PY90-17 コンクリートポンプ

表—4 PY90-17 の主な仕様

最大吐出量 標準／高圧	(m ³ /h)	90／65
最大吐出圧力 標準／高圧	(MPa)	5.9／8.5
コンクリートシリンダ径	(m)	0.205
シリンダストローク	(m)	1.15
水ポンプ最大吐出圧力	(MPa)	8.0
ホップ容積	(m ³)	0.43
ブーム最大水平長さ	(m)	13.7
ブーム最大地上高	(m)	16.6
ブーム旋回角度	(度)	360（全旋回）
コンクリート輸送管径	(m)	0.125
アウトリガ最大張出幅		
フロント 標準／ワイド	(m)	4.295/4.700
リヤ	(m)	3.050
洗浄用水タンク容量	(L)	450
全長×全幅×全高（輸送時）	(m)	7.550 × 2.240 × 2.960
総質量	(t)	10.500
価格	(百万円)	49.25

(注) (1) ブーム装置は全油圧 3 段 Z 型

(2) アウトリガ最大張出幅はアウトリガ中心間距離

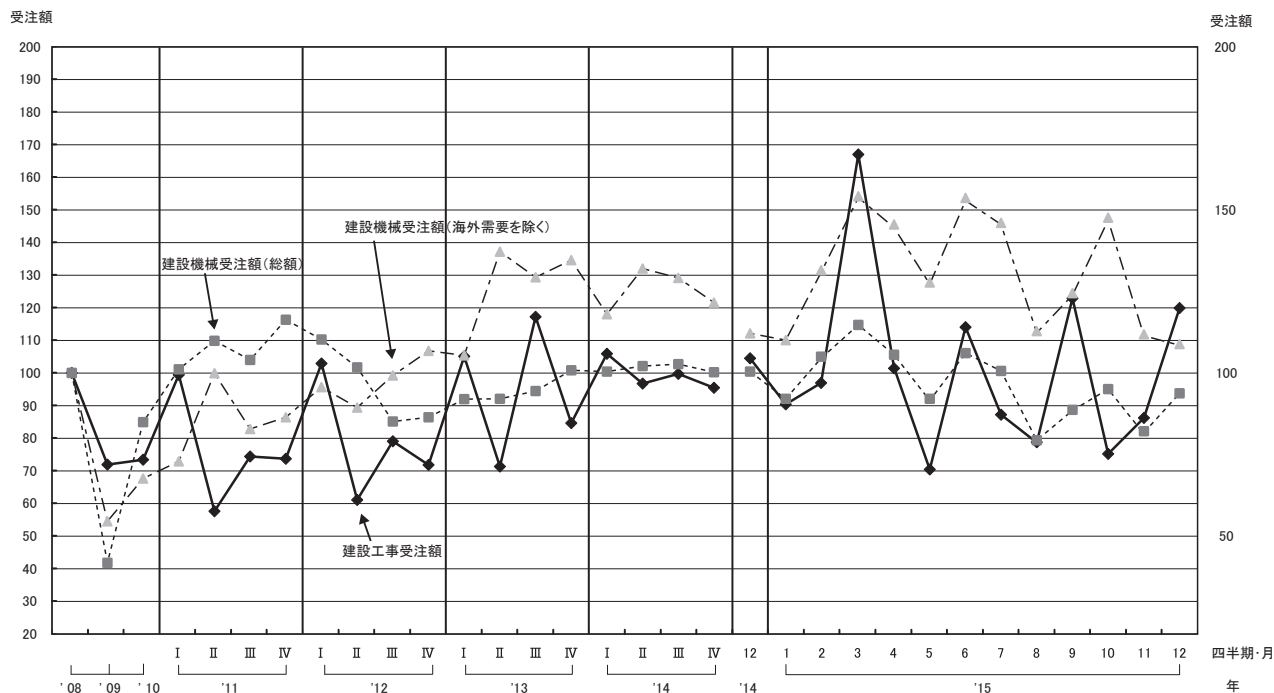
(3) 操作は PLC 方式コントロールパネルによる集中制御

問合せ先：極東開発工業(株) 三木工場 第三設計課

〒 673-0443 兵庫県三木市別所町巴 2 番地

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 2008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 2008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							
2008 年	140,056	98,847	22,950	75,897	25,285	5,741	10,184	98,836	41,220	128,683	142,289
2009 年	100,407	66,122	12,410	53,712	24,140	5,843	4,302	66,187	34,220	103,956	128,839
2010 年	102,466	69,436	11,355	58,182	22,101	5,472	5,459	71,057	31,408	107,613	106,112
2011 年	106,577	73,257	15,618	57,640	22,806	4,835	5,680	73,983	32,596	112,078	105,059
2012 年	110,000	73,979	14,845	59,133	26,192	4,896	4,933	76,625	33,374	113,146	111,076
2013 年	132,378	89,133	14,681	74,453	31,155	4,660	7,127	90,614	41,463	129,076	120,941
2014 年	139,286	80,477	16,175	64,302	43,103	4,822	10,887	86,537	52,748	138,286	125,978
2014 年 12 月	12,199	7,249	1,334	5,915	3,290	386	1,274	8,117	4,082	138,286	14,320
2015 年 1 月	10,538	7,525	1,502	6,023	2,490	360	164	7,817	2,721	147,814	10,220
2 月	11,306	7,809	1,174	6,635	2,910	438	148	7,788	3,517	136,998	10,628
3 月	19,543	12,683	1,855	10,828	6,342	407	112	11,622	7,921	140,330	19,823
4 月	11,836	8,791	2,135	6,656	2,383	557	105	8,489	3,347	145,449	9,296
5 月	8,193	5,622	1,131	4,491	1,958	353	260	5,284	2,908	145,260	9,626
6 月	13,316	8,635	1,525	7,110	3,445	502	734	8,758	4,558	146,253	12,424
7 月	10,167	7,221	2,122	5,099	2,454	372	120	7,202	2,965	146,731	8,728
8 月	9,178	5,975	1,867	4,108	2,455	370	378	5,928	3,251	142,165	10,141
9 月	14,360	10,758	1,572	9,187	2,877	450	274	10,831	3,529	143,650	14,223
10 月	8,754	5,681	1,632	4,049	2,439	377	258	5,862	2,893	141,723	10,835
11 月	10,045	5,942	1,466	4,477	2,670	417	1,016	6,293	3,752	140,930	11,339
12 月	14,004	9,426	1,855	7,572	3,210	390	977	10,085	3,919	-	-

建設機械受注実績

(単位：億円)

年 月	08 年	09 年	10 年	11 年	12 年	13 年	14 年	14 年 12 月	15 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
総 額	18,099	7,492	15,342	19,520	17,343	17,152	18,346	1,514	1,388	1,584	1,732	1,593	1,388	1,600	1,517	1,195	1,336	1,433	1,237	1,413
海 外 需 要	12,996	4,727	11,904	15,163	12,357	10,682	11,949	1,037	920	1,024	1,075	973	844	945	895	715	806	804	761	950
海外需要を除く	5,103	2,765	3,438	4,357	4,986	6,470	6,397	477	468	560	657	620	544	655	622	480	530	629	476	463

(注) 2008～2010 年は年平均で、2011～2014 年は四半期ごとの平均値で図示した。

2014 年 12 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

(2016年1月1日～31日)

機 械 部 会



■基礎工事用機械技術委員会

月 日：1月14日(木)

出席者：山下高俊委員長ほか12名

議 題：①基礎工事用機械の分類とそのアタッチメントの委員長整理(案)について ②大深度(市街地)立坑の施工技術調査について ③平成27年度活動結果および平成28年度の活動テーマと活動計画について ④現場見学会について・都下水永田町シールド用アーバンリング立坑工事 ⑤その他

■路盤・舗装機械技術委員会 アスファルトプラント変遷分科会

月 日：1月19日(火)

出席者：吉野友純分科会長ほか14名

議 題：①アスファルトプラントの変遷原稿1985年以降について ②今後の編集作業について ③変遷原稿1976年から1985年までの修正部分の確認について ④12/7開催の機械部会・製造業部会 合同技術連絡会の報告について

■建築生産機械技術委員会 移動式クレーン分科会 WG 及び国土交通省打合せ

月 日：1月19日(火)

出席者：石倉武久委員長ほか7名

議 題：Ⅰ. 移動式クレーン分科会 WG …①ラフテレーンクレーン燃費基準設定に向けた検討・クラス分け、評価値算出方法、基準値(案)等の検討・確認について・作業燃費測定方法 JCMAS 原案の作成検討について・JCMAS 原案作成と標準部への原案提案について ②その他 Ⅱ. 国土交通省殿との打合せ…①平成27年度第1回建設施工の地球温暖化対策検討分科会に向けた準備とスケジュールについて ②その他

■トンネル機械技術委員会 建設生産システムの変遷分科会

月 日：1月20日(水)

出席者：橘伸一分科会長ほか9名

議 題：①作成した技術比較表の説明について ②報告書様式の草案について ③その他

■ダンプトラック技術委員会

月 日：1月21日(木)

出席者：田中哲委員長ほか5名

議 題：①各社トビックスについて

②ホームページ掲載動画の最終レイアウトの最終確認について ③安全作業ガイドの委員長見直し案の内容確認について ④重ダンプ、不整地運搬車工法の文献調査の進め方について ⑤12/7に開催した機械部会・製造業部会 合同技術連絡会の報告 ⑥その他

■機械部会 機械整備技術委員会

月 日：1月21日(木)

出席者：森三朗委員長ほか8名

議 題：①2011年排出ガス規制対応車の「DPF再生の仕組み、洗浄、廃液処理等」についての教宣資料の取りまとめについて ②エンジン診断装置の共通化要望についての情報交換と問題点の整理についての各社報告 ③上記①・②の分科会の実質活動の推進について ④「整備の基本」と「ハイブリッド建機・電動建機の安全整備・点検のためのガイドライン」のホームページ掲載についての確認 ⑤12/7開催の機械部会・製造業部会 合同技術連絡会の報告 ⑥その他

■ショベル技術委員会

月 日：1月22日(金)

出席者：尾上裕委員長ほか11名

議 題：①国交省の地球温暖化対策検討分科会(2月or3月開催予定)に向けた作業燃費検討WGと国交省の確認打合せについて ②燃費データ(JCMAS評価値)のクラス分けをバケット容量から運転質量に変更した場合の案に対する討議と確認について ③フランス「インターマット2015国際展示会」の各社写真(コメント付き)資料のHP掲載にあたっての最終確認について ④12/7に開催した機械部会・製造業部会 合同技術連絡会の報告について ⑤来年度の活動テーマについて ⑥その他

■路盤・舗装機械技術委員会 幹事会

月 日：1月26日(火)

出席者：山口達也委員長ほか11名

議 題：①平成27年度下期総会の発表テーマと開催日程について ②平成27年度の活動結果と平成28年度の活動計画について(分科会長および担当幹事) ③1/27～28開催の情報化施工委員会 現場見学会(大分川ダム、三光本耶馬溪道路)について ④その他

■油脂技術委員会および規格普及促進分科会

月 日：1月29日(金)

参加者：豊岡司委員長ほか22名

議 題：①高効率作動油分科会…母機メーカー・オイルメーカー等で実施している作動油効率評価方法のアンケート調査結果報告・議論、母機メーカーが高効率作動油、省エネ作動油として純正化、推奨している作動油のアンケート調査結果報告・議論 ②規格普及促進分科会…各社のオンファイル進捗ヒアリング、JCMASのPR用資料の紹介 ③油脂技術委員会…トタル・ルブリカンツ・ジャパン(株)殿の紹介(入会手続き中)、「潤滑剤銘柄便覧」に記載されている以下情報の紹介…0W-20、0W-16等の省燃費エンジン油の情報、ガスエンジン油や工業用の省燃費油の情報、JCMAS P041・P045の改訂(必要性を含めて審議)、12/7に開催された機械部会・製造業部会 合同技術連絡会の報告

建 設 業 部 会



■三役会

月 日：1月18日(月)

出席者：鈴木嘉昌部会長ほか3名

議 題：①各WG報告 ②1/20(水)開催予定冬季現場見学会について ③2/18(木)開催予定若手現場見学会について ④3/3(木)開催予定建設業部会について(平成28～30中期事業計画・平成25～27中期事業計画取組結果報告含む) ⑤その他

■建設業部会 冬季現場見学会

月 日：1月20日(水)

参加者：鈴木嘉昌部会長ほか15名

場 所：コマツ栗津工場

住 所：石川県小松市符津町ッ23

内 容：高度な環境性能と生産性をあわせもつ建設機械の次世代組立工場

■建設機械事故調査 WG

月 日：1月22日(金)

出席者：松藤敏夫主査ほか6名

議 題：①事故事例・ヒヤリハット内容再検討(1/4締切分)の発表・検討 ②3/3(木)開催予定建設業部会での成果発表に向けて(平成28～30中期事業計画・平成25～27中期事業計画取組結果報告含む) ③その他

■機電技術者交流企画 WG

月 日：1月27日(水)

出席者：相田尚主査ほか9名

議 題：①2/18(木)開催予定若手現場見学会について ②平成27年度第19回機電技術者意見交換会の報告書について ③機電職員確保に向けた

PR 活動について ④ 3/3 (木) 開催
予定建設業部会について (平成 28 ~
30 中期事業計画・平成 25 ~ 27 中期事
業計画取組結果報告 含む) ⑤その他

各種委員会等

■機関誌編集委員会

月 日: 1月7日 (木)
出席者: 田中康順委員長ほか 18 名
議 題: ①平成 28 年 4 月号 (第 794 号)
の計画の審議・検討 ②平成 28 年 5
月号 (第 795 号) の素案の審議・検討
③平成 28 年 6 月号 (第 796 号) の編
集方針の審議・検討 ④平成 28 年 1
月号 ~ 平成 28 年 3 月号 (第 791 ~
793 号) の進捗状況の報告・確認

■建設経済調査分科会

月 日: 1月20日 (水)
出席者: 山名至孝分科会長ほか 2 名
議 題: ①平成 28 年掲載原稿の内容検
討 ②その他

■新機種調査分科会

月 日: 1月26日 (火)
出席者: 江本平分科会長ほか 3 名
議 題: ①新機種情報の持ち寄り検討
②新機種紹介データまとめ ③その他

支部行事一覧

北海道支部

■第3回広報部会広報委員会

月 日: 1月22日 (金)
場 所: 北海道支部 会議室
出席者: 杉岡博史広報部会長ほか 10 名
議 題: ①支部だより No.111 号の編集
について ②支部講演会講師の選定に
ついて ③建設工事等見学会について
④その他

東北支部

■「ゆきみらい 2016 in 盛岡」事務局会議

月 日: 1月19日 (火)
場 所: 盛岡市 マリオス
出席者: 地本敏雄企画部技術企画官ほか
19 名
内 容: ①実施内容について ②ガイド
ブックについて ③予算について
④来賓について

■合同部会

月 日: 1月22日 (金)
場 所: 仙台市 パレス宮城野
出席者: 高橋弘東北支部長ほか 36 名
議 題: ①平成 28 年度事業計画概要に
ついて ②各部会からの連絡事項
③その他

北陸支部

■「オペレータの手引き」改訂 WG 事務局会議

月 日: 1月15日 (金)
場 所: 北陸支部事務局
出席者: 青木鉄朗雪氷部会委員ほか 3 名
議 題: 改訂案の検討

■「建設技術報告会」第2回実行委員会

月 日: 1月20日 (水)
場 所: 北陸地方整備局新潟国道事務所
会議室
出席者: 坪内昭雄委員 (普及部会委員) (宮
村事務局長代理出席)
議 題: ①実施報告について ②収支報
告について ③次回開催について

中部支部

■平成 27 年新年名刺交換会

月 日: 1月6日 (水)
場 所: 名古屋観光ホテル
主 催: (一社) 日本建設業連合会中部
支部
出席者: 所輝雄支部長, 永江豊事務局長

■新年顔合わせ会

月 日: 1月21日 (木)
出席者: 所輝雄支部長ほか 19 名
場 所: 中部支部事務局

■地理院地図活用促進説明会

月 日: 1月28日 (木)
場 所: 名古屋合同庁舎第 2 号館 3 階供
用会議室
出席者: 永江豊事務局長
内 容: 災害時における UTM グリッド
座標の活用について等

■情報化施工ガイドブック作成実行委員会

月 日: 1月29日 (金)
出席者: 本部・森川博邦技師長, 青木保
孝部会長ほか 8 名
議 題: 高校生向け情報化施工参考書「情
報化施工技術基礎」の初稿打合せ

関西支部

■建設インキュベーション委員会 (「海底資源開発」講演会)

月 日: 1月19日 (火)
場 所: 大阪産業創造館
出席者: 小林泰三委員長以下 11 名
内 容: 「形状・変形・振動・き裂の計
測技術とその応用」
講 師: 4D センサー (株) 代表取締役会長
森本吉春氏 (和歌山大学名誉教授)

■摩耗対策委員会

月 日: 1月28日 (木)
場 所: 奥村機械製作 (株)
参加者: 深川良一摩耗対策委員会委員長
以下 10 名
内 容: ①シールドマシン製作工場見学
②摩耗対策委員会

中国支部

■情報化施工学生向体験セミナー

月 日: 1月21日 (木)
場 所: 朝山大田道路波根地区改良第 6
工事現場
参加者: 国立松江工業高等専門学校生
40 名, 講師 5 名 計 45 名
議 題: ①現場施工会社による概要説明
まるなか建設現場担当者 ②情報化施
工技術の実機試乗会・最新情報化施工
機器体験会 (3DMC ドーザーシステ
ム・3DMG ショベルシステム, GNSS
転圧管理システム・3D 計測測量機)

四国支部

■支部機関誌「しこく No.95」を発刊

月 日: 1月8日 (金)
配付部数: 約 240 部
配布先: 支部役員・団体会員ほか関係機
関等約 200 箇所

■情報化施工意見交換会・徳島を開催

月 日: 1月13日 (水)
場 所: 国土交通省徳島河川国道 (事)
吉野川貞光 (出) 会議室 (徳島県つる
ぎ町)
参加者: 木下功四国地整施工企画課長補
佐ほか 15 名
内 容: 情報化施工に関して, 発注者 (官
側) と, 施工会社・リース会社・建機
販売会社・ソフト会社等 (民側
=JCMA 側) とで意見交換

■支部財政健全化 WG を開催

月 日：1月15日（金）

場 所：建設クリエイトビル内会議室（高松市）

参加者：工藤建夫副支部長ほか5名

内 容：支部の収支決算がマイナス続きである現状を鑑み、財政健全化方策について協議

九 州 支 部



■企画委員会

月 日：1月20日（水）

出席者：久保田正春企画委員長ほか11名

議 題：①建設機械施工技術検定試験の

手引き販売について ②災害協定の見直しについて ③永年会員、永年役職員等の本部表彰について ④支部の建設の機械化功労者表彰について ⑤その他



編集後記

非常に穏やかな新年を迎え、今年
は大きな災害や事件・事故が無いこ
とを祈っていましたが、経済におい
ては東京証券取引所開設以来の大発
会から6連続営業日で平均株価が下
落するという波乱の幕開けとなりま
した。中国経済の減速や米国の景気
動向、世界の種々の動きに左右され
る現代の経済を見ると、非常に先行
き不透明な状態で、安全・安心とい
う言葉がどんどん遠のくように感じ
るこの頃です。さて3月号の特集は
ライフライン・インフラ特集という
ことで、少し漠としたテーマですが、
地震・火山・大雨等の大規模災害が
多発する我が国において、ライフラ
インであるエネルギー施設・水供給
施設・交通施設・情報施設等のイン
フラの老朽化・長寿命化対策・再構
築・更新等について、各施設に対す
る建設の取り組みについて紹介する
ことにしました。巻頭言はSIP（戦

略的イノベーション創造プログラ
ム）のインフラ維持管理・更新・マ
ネジメント技術でPD（プログラム
ディレクター）を務めておられる横
浜国立大学の藤野陽三教授にお願い
しました。インフラは社会構造の下
支えであり、ライフラインを形成す
る電力・通信・輸送路等の日常生活
を送るうえで欠かせないものであり
ます。技術報文としてはエネルギー・
上下水道・道路・鉄道・ダム・港湾
等の各施設の施工や改修・補強方法
の事例等を取りあげました。各種報
文を通じて、インフラの重要性を認
識していただくとともに、重大災害
等によりライフラインが壊滅状態に
ならないよう、安全で強靱なインフ
ラシステムが重要であることを再認
識するとともに、大きな災害・事故
の発生が無いことを祈るばかりであ
ります。最後になりましたが、ご多
忙にもかかわらず、ご執筆を快く引
き受けて下さいました皆様に心よ
り感謝申し上げます。

（立石・岡田）

4月号「鉄道特集」予告

- ・巨大地震に対する鉄道の取組み
- ・鉄道函体直下への透し掘り連壁の施工
- ・東武スカイツリーライン竹ノ塚駅付近連続立体交差事業
- ・常磐快速線利根川橋梁改良工事
- ・画像処理技術を用いてトンネルを検査する
- ・ミャンマー大規模無償資金協力プロジェクト
- ・香港地下鉄觀塘延伸線トンネル及び何文田駅新設工事
- ・ライトレール 路面電車南北接続 第1期事業
- ・山中における大山ケーブルカー大規模設備更新
- ・首都圏における大規模な車両基地の整備・撤去工事
- ・新幹線軌道内で使用する重量軌陸運搬台車

【年間購読ご希望の方】

①お近くの書店でのお申込み・お取り寄せ可能です。 ②協会本部へお申し込みの場合「図
書購入申込書」に以下事項をもれなく記入のうえFAXにて協会本部へお申込み下さい。
…官公庁／会社名、所属部課名、担当者氏名、住所、TELおよびFAX
年間購読料（12冊） 9,252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
塚原 重美	中岡 智信
中島 英輔	本田 宜史
渡邊 和夫	

編集委員長

田中 康順	鹿島道路(株)
-------	---------

編集委員

新田 恭士	国土交通省
大槻 崇	国土交通省
三浦 弘喜	農林水産省
早矢仕 明	(独)鉄道・運輸機構
加藤 誠	鹿島建設(株)
立石 洋二	大成建設(株)
岩野 健	清水建設(株)
赤井 亮太	(株)大林組
久保 隆道	(株)竹中工務店
安川 良博	(株)熊谷組
中村 優一	(株)奥村組
京免 継彦	佐藤工業(株)
岡田 英明	五洋建設(株)
齋藤 琢	東亜建設工業(株)
赤神 元英	日本国土開発(株)
相田 尚	(株)NIPPO
岡本 直樹	山崎建設(株)
太田 順子	コマツ
大塚 清伸	キャタピラー・ジャパン(株)
小倉 弘	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)
原 幹生	(株)KCM
江本 平	範多機械(株)
太田 正志	施工技術総合研究所

事務局

日本建設機械施工協会

建設機械施工

第68巻第3号（2016年3月号）（通巻793号）

Vol.68 No.3 March 2016

2016（平成28）年3月20日印刷

2016（平成28）年3月25日発行（毎月1回25日発行）

編集兼発行人 辻 靖三

印刷所 日本印刷株式会社

発行所 本部 一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3丁目5番8号 機械振興会館内

電話 (03) 3433-1501；Fax (03) 3432-0289；<http://www.jcmanet.or.jp/>

施工技術総合研究所 〒417-0801 静岡県富士市大淵 3154

電話 (0545) 35-0212

北海道支 部 〒060-0003 札幌市中央区北3条西2-8

電話 (011) 231-4428

東北支 部 〒980-0802 仙台市青葉区二丁目16-1

電話 (022) 222-3915

北陸支 部 〒950-0965 新潟市中央区新光町6-1

電話 (025) 280-0128

中部支 部 〒460-0002 名古屋市中区丸の内3-17-10

電話 (052) 962-2394

関西支 部 〒540-0012 大阪市中央区谷町2-7-4

電話 (06) 6941-8845

中国支 部 〒730-0013 広島市中区八丁堀12-22

電話 (082) 221-6841

四国支 部 〒760-0066 高松市福岡町3-11-22

電話 (087) 821-8074

九州支 部 〒812-0013 福岡市博多区博多駅東2-4-30

電話 (092) 436-3322

本誌上へ
の広告は



有限会社 サンタナ アートワークスまでお申し込み、お問い合わせ下さい。

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-21-5 井手口ビル4F TEL：03-3664-0118 FAX：03-3664-0138

E-mail：san-mich@zam.att.ne.jp 担当：田中

KOBELCO

低燃費のコベルコ!
低炭素社会の実現へ

小旋回機の未来は、 いつもコベルコから。

「狭い所で自由に働ける建機を」
重機で初めての本格後方超小旋回機は
現場の声をなによりも大切にする
コベルコから生まれました。
コンパクトな作業範囲。
後方への安心感と操作のしやすさ。
これまでなかった機能を生み出したのは
独自の発想とテクノロジー。
そしてその技術力で、つねに時代の
最先端マシンへと進化を続けています。
iNDRが革新した静かさ。
新たに、最大で21%向上した圧倒的な低燃費*。
都市工事のニーズを理想のかたちにする
ものづくりの力は、コベルコのDNAとして
未来へ続いていきます。



ACERA
GEOSPEC
SK135SR

—21%の低燃費で、新登場。

13トンクラスは、コベルコ

SK125SR SK130UR SK130SR+

コベルコの
新世機

圧倒的な燃費性能で新たな世代をリード
するコベルコの「新世機」。その技術で、
低燃費のコベルコは、もっと低燃費の
コベルコになる。



2020年燃費基準達成度
★★★をクリア。



オフロード法 2011年基準適合
排出ガス中のPM (粒子状物質) を大幅削減。



約270°の後方視界で
安全性を確保。
(オプション設定)

※ 従来機Sモード比 / 新ECOモード

コベルコ建機株式会社 東京本社 / 〒141-8626 東京都品川区北品川 5-5-15 ☎03-5789-2111 www.kobelco-kenki.co.jp



マシンケアテック 株式会社

〒361-0056 埼玉県行田市持田1-6-23
 TEL: 048-555-2881 FAX: 048-555-2884
 URL: <http://www.machinecaretech.co.jp/>

ボルボ ABG アスファルトフィニッシャー

環境・安全・品質 — 設立以来揺るがぬボルボのコアバリュー
 舗装性能、環境性、メンテナンス性、信頼性の向上を実現した
 最新アスファルトフィニッシャーをお届けします

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT www.volvoce.com



GOMACO

Gomaco社の舗装機器は、どんなスリップフォーム工法にも対応します。



Commander III

最も汎用性の高い機種です。一般道路舗装のほか、路盤工事、河川工事、分離帯・縁石などの構造物構築に最適です。



RTP-500

長ブームの砕石・コンクリート搬入機です。このほかにも、ロック・ホッパーなどへの舗装支援機器として、どんなスリップフォーム機械にも対応可能です。



マシン ケアテック 株式会社

〒361-0056 埼玉県行田市持田 1-6-23

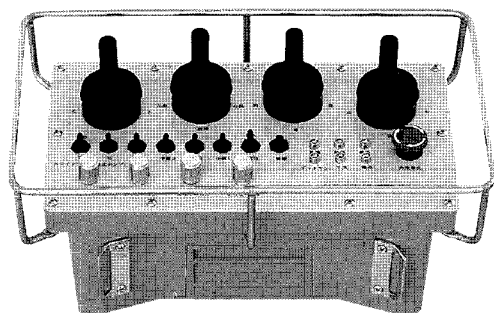
TEL:048-555-2881 FAX:048-555-2884

URL: <http://www.machinecaretech.co.jp/>

建設機械用
無線操作装置

ダイワテレコン

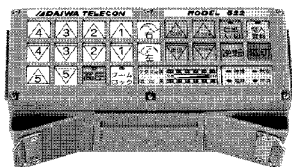
あらゆる仕様に対応
指令機操作面はレイアウトフリー



ダイワテレコン 572 ※製作例 比例制御 4本レバー仕様



受令機



ダイワテレコン 522

《新電波法技術基準適合品》

- スイッチ・ジョイスティック・その他、混在装備で最大操作数驚異の**96CH**。
- コンパクトな指令機に業界最大**36**個の押しボタンスイッチ装着可能。
- 受令機の出力はオープンコレクタ（標準）リレー・電圧（比例制御）又は**油圧バルブ用出力仕様**も可能。
- 充電は急速充電方式（一△V検出+オーバータイムタイマー付き）
- 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

本社工場 〒474-0071 愛知県大府市梶田町 1-171
TEL 0562-47-2167（直通） FAX 0562-45-0005
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

Aliva ローター式コンクリート吹付機

www.fuji-bussan.co.jp



- ▶ シンプル構造で操作や掃除は簡単！
- ▶ 耐火物からコンクリートまで幅広い材料に対応



AL-257

方 式：湿式／乾式
吐出量：1～9.6㎡

AL-237

方 式：乾式
吐出量：0.4～4㎡



▶ アフターフォローも安心

- AL237 / 257のレンタル1日から承ります。
- AL260 / 280 / 285の部品のご注文も弊社まで！
- ▶▶▶ まずはお問い合わせください。

AL-267

方 式：湿式／乾式
吐出量：4～21㎡



AL-264

方 式：湿式／乾式
吐出量：8.4～12.1㎡

総代理店 **FBK 富士物産株式会社**

お問合せ先

埼玉県さいたま市南区根岸5-17-5
TEL.048-861-2235 FAX.048-864-4002
E-mail : sales@fuji-bussan.co.jp

確かな技術で世界を結ぶ

Attachment Specialists

任意の高さに停止可能

パラレルリンクキャブ



パラレルリンクキャブ仕様車

車の解体・分別処理を大幅にスピードアップ

自動車解体機



自動車解体機

ワイドな作業範囲で効率の良い荷役作業

スクラップハンドラ



スクラップハンドラ仕様車

スクラップ処理で高い作業効率を発揮

リフティングマグネット



リフティングマグネット仕様車

船舶・プラント・鉄骨物解体に威力を発揮する

サーベルシア



MSD4500R

丸太や抜根を楽々切断する

ウッドシア



MWS700R (油圧全旋回式)



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



吸塵式乾式カッター

MCD-RY14

NETIS No.TH-150001



Mr.LIGHT 2

MLP-1212A



高周波バイブレーター

FX-40/FU-162

未来へ伸びる、三笠の技術。



転圧センサー

バイブロコンパクター

MVH-308DSC-PAS

NETIS No.TH-120015



防音型

タンピングランマー

MT-55L-SGK

NETIS No.TH-100005



低騒音型

プレートコンパクター

MVC-F40S

NETIS No.TH-100006



低騒音型

バイブレーションローラー

MRH-601DS

低騒音指定番号5097

三笠産業株式会社

MIKASA SANGYO CO., LTD. TOKYO, JAPAN

本社 / 〒101-0064 東京都千代田区猿樂町1-4-3 TEL: 03-3292-1411 (代)

大阪支店 TEL: 06-6541-9631
札幌営業所 TEL: 011-892-6920
仙台営業所 TEL: 022-238-1521
新潟出張所 TEL: 090-4066-0661

北関東営業所 TEL: 0276-74-6452
長野出張所 TEL: 080-1013-9542
中部営業所 TEL: 052-451-7191
金沢出張所 TEL: 080-1013-9374

中国営業所 TEL: 082-875-8561
四国出張所 TEL: 087-868-5111
九州営業所 TEL: 092-431-5523
南九州出張所 TEL: 080-1013-9558

沖縄出張所 TEL: 080-1013-9328

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

今や、業界唯一。
日本国内 自社自力生産・直接修理を実践中！

ポケットサイズ ハンディ～ショルダー機 フルラインアップ!!

ケーブルレス サテラタ リンカー 離操作

Nシリーズ 微弱電波
Rシリーズ 産業用ラジコンバンド
Uシリーズ 429MHz帯 特定小電力
Gシリーズ 1.2GHz帯 特定小電力
ボーバ 防爆形無線機

- ◆ 業界随一のフルラインの品揃えとオーダー対応制度で多様なニーズに対応！
- ◆ 常に！業界一のコストパフォーマンス！
- ◆ 迅速なメンテナンス体制！
- ◆ 未来を見据えた過去の実績を見て下さい！
代々互換性を継承、補修の永続制

新 スリムケーブルレス より安価なオーダー対応を実現！

N/U/Gシリーズ

微弱電波 特定小電力
両モデル対応
2段階スイッチ
装着可能

モデルチェンジ！
内部設計を一新

全ての
交換を優先
しました

自由度の高い
多様なオーダー対応
ボタン配置自在／最大32点

優れた
耐塵・防雨性能
送信機はIP65相当

自社開発 高耐久性
2段階スイッチを
装着可能

パネルゴム突起で
操作クリック感が
向上

8操作標準型
RC-5808N

- 8操作8リレー
- 軽量コンパクト
受信機

セットで
15万円
(税抜価格)

12操作標準型
RC-5812N

- 12操作12リレー
- 照明出力リレーの
保持を標準採用

セットで
17万円
(税抜価格)

16ボタン
モデル

16操作標準型
RC-5816N

- 16操作16リレー
- 同じ外形で
16個のボタンを
コンパクトに配置

マイコンケーブルレス

N/U/Gシリーズ

標準型
RC-6016N

- 16操作16リレー
最大25リレーまで
対応可能

セットで
20万円
(税抜価格)

防爆形 対応可能 (N/Uシリーズ)

微弱電波 特定小電力
両モデル対応

2段階・特殊
スイッチ装着可能

標準型
RC-8616N

- 16操作16リレー
最大32リレーまで
対応可能

セットで
22万円
(税抜価格)

モデルチェンジ！ 内部設計を一新!!
全ての交換を優先しました。

N/U/Gシリーズ

タフ頑強 ケーブルレス

堅牢なボディ
耐衝撃性能が向上

優れた
耐塵・防雨性能
送信機はIP65相当

防爆形はTX-8400型送信機で対応 (Nシリーズのみ)

自社開発 高耐久性
2段階スイッチを
装着可能

ハンディなのに
特殊スイッチを
装着可能

特殊スイッチ
オーダー対応例

マイティサテラタ

N/U/Gシリーズ

微弱電波 特定小電力
両モデル対応

3ノッチジョイスティック型
RC-7132N

セットで
90万円
(税抜価格)

全押しボタン
RC-7126N
セットで 45万円
(税抜価格)

● 操作信号数 最大32点
(またはプロボ最大6項目と入出力信号26点以下)

防爆形 対応可能 (Nシリーズのみ)

ジョイスティック
特殊スイッチ装着可能

ジョイスティック
2本装着オーダー例

旧アンリツ製 デジタルテレコン 入替専用モデル

新型ジョイスティック

3ノッチ
ジョイスティック型
RC-7233UAN

スイッチガード付き押しボタン

全押しボタン型
オーダー例
RC-7215U

チップケーブルレス

Nシリーズ

微弱電波モデル
対応

標準型
RC-3208N

- 8操作
8リレー

セットで
12万円
(税抜価格)

片手で握り替えずに
正逆操作が行えます！

チップ部品採用で
ポケットサイズ化

トコトン機能を絞って
コストダウン

高い防水性能
送信機はIP65

従来の機と
信号互換あり！

受信機は既設のままで送信機のみ取替可

コンパクトという選択肢!!

アルカリ乾電池なら
連続使用60時間以上

高い防水性能
送信機はIP65

従来の機と
信号互換あり！

受信機は既設のままで送信機のみ取替可

ケーブルレスミニ

N/Rシリーズ

微弱電波 ラジコンバンド
両モデル対応

- 3操作3リレー
最大5リレーまで対応可能

特許! デルハには
ゼロ線電源*で
電気配線工事 不要!!
更に、おんぶ/だっこ金具*で
取付簡単!! (*オプション)

取付例

ポケットサイズの本格派!

標準型
RC-4303N/R

- 微弱Nシリーズは240MHz化でより安定した電波の飛び！
- 2段階スイッチ追加可能！(オプション)

セットで
10万円
(税抜価格)

リリンカー 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

- 12操作12リレー
最大32リレーまで対応可能

● 見易くなった電池残量告知ランプ付

セットで
22万円
(税抜価格)

価格もサイズも
ハンディー並み!

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

軽量コンパクト
ショルダータイプ

データケーブルレス

N/R/U/G
シリーズ

微弱電波 特定小電力
両モデル対応

- 機器間の信号伝送に!
- 多芯の有線配線の代わりに!

標準型 セットで
TC-1305R 20.5万円 (税抜価格)
TC-1308N (微弱電波) 22万円 (税抜価格)

送信機
(外部接続入力型)

写真は
Uシリーズ

7100型
6300型
5700型
3200型

受信機

7100型
6300型
5700型
3200型

受信機

7100型
6300型
5700型
3200型

受信機

7100型
6300型
5700型
3200型

受信機

7100型
6300型
5700型
3200型

受信機

7100型
6300型
5700型
3200型

受信機

MAXサテラタ

Uシリーズ
Gシリーズ

特定小電力
専用モデル

ジョイスティック
特殊スイッチ装着可能

RC-9300U

- 多機能多操作
(比例制御対応可)

セットで
95万円
(税抜価格)

金属シャシの
多操作・特注仕様専用機!!

全押しボタン
装着タイプ

全押しボタン
装着タイプ

全押しボタン
装着タイプ

全押しボタン
装着タイプ

全押しボタン
装着タイプ

全押しボタン
装着タイプ

全押しボタン
装着タイプ

全押しボタン
装着タイプ

全押しボタン
装着タイプ

全押しボタン
装着タイプ

全押しボタン
装着タイプ



無線式火薬庫警報装置
発破番 ES-2000R

無線式火薬庫警報装置

標準付属品付
セットで
40万円
(税抜価格)

発破番 ES-2000R

音声
一般電話へ
自動転送!

音声
音声メッセージ

2km
(6km)

ER-2000R (受信機) ET-2000R (送信機)

7100型
6300型
5700型
3200型

受信機

7100型
6300型
5700型
3200型

受信機

7100型
6300型
5700型
3200型

受信機

7100型
6300型
5700型
3200型

無線化工事のこともフルライン、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

常に半歩、先を走る



朝日音響株式会社

〒771-1350 徳島県板野郡上板町瀬部

FAX: 088-694-5544 (代) TEL: 088-694-2411 (代)

http://www.asahionkyo.co.jp/

本カタログの価格は、全て税抜表示となっています。

進化した、 本物の ハイブリッド。

2008年から発売を開始した
コマツハイブリッド油圧ショベルは、
国内で1,200台を超える実績を重ね、
確かな信頼を得ました。
さらなる進化を遂げて誕生した
コマツ第三世代ハイブリッドHB205-2は、
油圧ショベルのスタンダードとなります。

NEW

- 特定特殊自動車排出ガス2011年基準適合車
- 低炭素型建設機械
- 超低騒音型建設機械
- NETIS登録商品(登録番号KT-120070-A)



- 燃料消費量

PC200-8N1 比 **30% 低減/時間**
PC200-10 比 **20% 低減/時間**

※ KOMTRAXの解析による平均作業パターン時。
実際の作業では、作業内容により上記以下に
なる場合があります。



KOMATSU

コマツ 国内販売本部

〒107-8414 東京都港区赤坂2-3-6 <http://www.komatsu-kenki.co.jp>

雑誌 03435-3



4910034350360
00800

「建設機械施工」

定価 本体八〇〇円(税別)