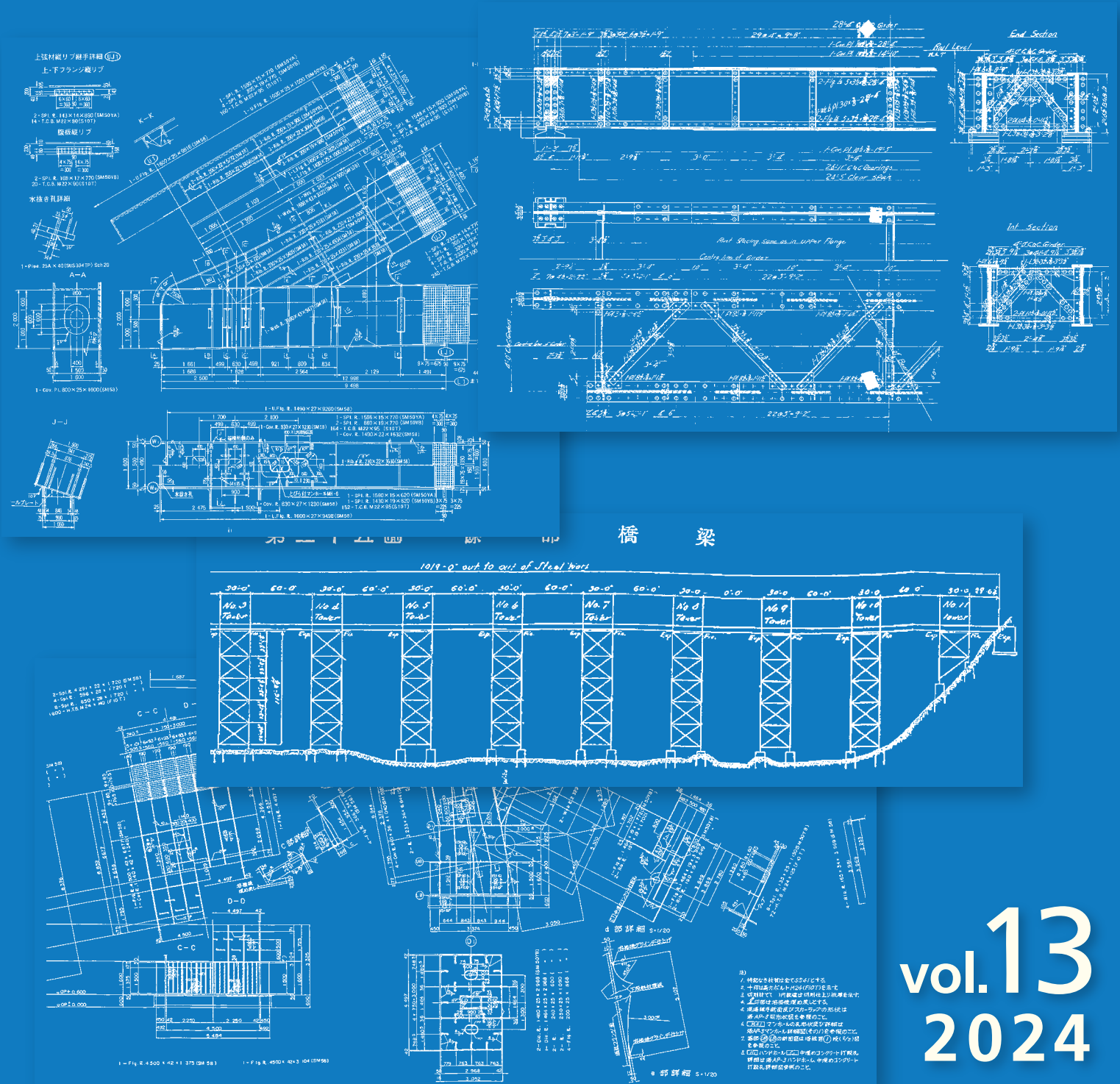




インフラ技報

IHI Infrastructure Technical Report



vol.13
2024

IHI

インフラ技報

IHI Infrastructure Technical Report

vol.13
2024



インフラ技報

IHI Infrastructure Technical Report

vol.13
2024

CONTENTS

巻頭言	1	安全・安心な社会インフラの実現に向けて	宮田 明
特集記事	3	特集記事1 高速大師橋更新工事 高速道路リニューアル事業	佐藤 友明／志治 謙一 石原 晋古／石割 大貴 和気 弘幸／川森 泰一郎
	12	特集記事2 深沢橋床版取替工事の設計・施工 構造形式の異なる3連橋の半断面床版取替え	池上 浩太郎／細谷 英司 青木 駿／渡辺 誠 吉田 政史
	18	特集記事3 小田原厚木道路 川端高架橋床版取替工事 大規模リニューアルプロジェクト報告(その2)	小林 顕／鈴木 辰幸 郷保 英之／関 政利 高井 祐輔／湯浅 実
	26	特集記事4 阪神高速16号大阪港線 阿波座付近の鋼桁大規模修繕工事 縦目地解消のために既設上下部工を架替え・活用した設計・施工概要	井爪 規夫／田頭 剛史 井手 寛和／和田野 晋悟 坪田 慎一／永山 隼
ニュース	34	ニュース1 海外橋梁プロジェクト 海外で進行中の工事	
	36	ニュース2 国内橋梁プロジェクト 国内で進行中の工事	
	38	ニュース3 水門プロジェクト 国内で進行中の工事	
	40	ニュース4 構想から40年、ドナウ川最下流域にかかる橋が開通 プライラ橋を含む全長23kmの国道建設工事	
	41	ニュース5 河川幅4,800mのJAMUNA River支間100mのトラスをトラベラークレーン架設 バングラデシュ バンガバンドウ鉄道専用橋	
	42	ニュース6 インド初の高速鉄道プロジェクト トータル鋼重65,000tのトラス橋28橋を全量インド国内で製作	
	43	ニュース7 長大吊橋の全ハンガー240本を交通規制無しで交換 第2ボスボラス橋のハンガー交換プロジェクト	
	44	ニュース8 主塔中段ブロックの浜出し・架設 川崎港臨港道路東扇島水江町線主橋梁部上部工事	
	45	ニュース9 未来の橋梁技術者育成に向けた取り組み 教育機関への出前講座	
	46	ニュース10 オープンカレッジ「橋梁技術基礎特論」の取り組み 若手技術者への学びと交流の場の提供	
	47	ニュース11 土木学会田中賞をW受賞 プライラ橋、高速大師橋の架け替え工事	
工事報告	48	工事報告1 インド貨物専用鉄道橋工事における紛争解決の活動 Dispute Adjudication Board(DAB)の有効性と問題点	中村 幸男／瀬戸山 里南子
	52	工事報告2 新名神高速道路 宇治田原第一高架橋(鋼上部工)工事 暫定2車線構造から完成3車線構造への上部構造抜本的な変更	中松 裕／田中 啓介 島元 保道／浅野 真太郎
	60	工事報告3 南環川西高架橋上部工事 3Dモデル、鉄筋プレファブ化、MRデバイスを活用した生産性向上を目指した取り組み	田中 慎也／上野 雅俊 坂口 太一／加藤 俊 坂口 川田 博正
	64	工事報告4 麻生の浦大橋2号橋(ニールセンローゼ橋)におけるケーブル取替工事	緒方 ゆい／加藤 誠 近野 勝富美／奥野 颯
	68	工事報告5 小田原厚木道路他 伊勢原管内鋼橋補修工事(2023年度)	平賀 高之／郡 元章
	71	工事報告6 東海環状大安2高架橋2PC上部工事 AR締固め管理システムを活用した床版コンクリート施工	平岡 正晴／新井 堅斗 加藤 俊／岩瀬 真淑 田中 慎也
	74	工事報告7 令和3年度～令和5年度 村山北部国営施設機能保全事業 新鶴子ダム取水設備他改修工事	石塚 真寛／山口 達也 吉田 圭太／林 裕二

本技報では、一部の記事で以下の略称を使用しております。
●株式会社IHIインフラシステム(略称:IIS)
●株式会社IHIインフラ建設(略称:IIC)

工 事 報 告	78	工事報告8	令和4年度 美和ダム放流設備修繕工事 3次元計測機を使用した現場留意点の確認	北原 大河／山村 哲矢 須賀 一行
	80	工事報告9	和賀中央農業水利事業 水管理施設製作据付工事 水管理施設の新設工事	福本 将希／鴨志田 穂高 小勝負 功希
	82	工事報告10	十六橋水門監視制御装置更新工事 十六橋水門管理所および猪苗代土木事務所の監視制御装置他更新工事	大野 龍一／河野 修平 三浦 栄次／福本 将希
	84	工事報告11	中筋川ダムオリフィスゲート設備改良工事 気候変動に対応するためのダム再生事業	安井 孟／松本 康一 原田 健／片岡 大
	90	工事報告12	合志川山城堰ゲート設備工事 3Dモデル活用により施工性の向上を実現	浅野 徹／山下 勇人 福島 憲明／大森 久美子 東谷 俊彦／鈴木 海允
	92	工事報告13	東横堀川水門マイターゲート扉体改修工事 仮締切設備を使用した二相ステンレス鋼製の扉体への更新工事	安井 孟／浅野 徹 河合 廣治／大森 久美子 永元 富翁
	98	工事報告14	立野ダム試験湛水用ゲート製作据付工事	横山 慎／大森 久美子 田原 謙一／高橋 剛
	102	工事報告15	雄物川下流新波川排水樋門ゲート設備新設工事	松浦 久慈／山口 達也 片岡 大／沼澤 祐武 松岡 和弘
	105	工事報告16	総合区民ホール制振装置設置工事 塔状構造物への既設制振装置の置換え対応	長井 悠／風間 睦広 広川 清司／鈴木 達也 重清 涼太
研 究 論 文	108	研究論文1	矩形断面鋼部材の耐震性能向上に向けた取組 橋梁用高性能鋼の活用と改良構造の提案	竹嶋 夏海／岡田 誠司
	112	研究論文2	画像診断とBIMを活用した長大橋点検業務の高度化	服部 浩太郎／大木 奎一
	120	研究論文3	FSグリッド(FRPサポートグリッド)の開発 FRP部材による既設RC床版の延命化工法	小林 拳祐／内田 達大 荒木 美柚／山崎 敏宏 中村 定明
	131	研究論文4	水門用ERBシステム(Energy Regenerating and Backup System)の開発(第2報) 実証試験による性能と長期安定性の検証および付加機能による信頼性の向上 停電時にも水門開操作を実現できるシステム、およびそのシステムを既設水門に付加する改造技術の開発	今関 正典／風間 睦広 早野 哲央／伊藤 章 馬場 浩史／鈴川 渉
竣工工事紹介	138		橋梁／水門／その他工事	
製 品 広 告	162	製品広告1	床版リニューアル	
	166	製品広告2	フロア型システム足場「ラビットフロア」	
	167	製品広告3	プレキャストPC床版の継手工法「Dエッジ鉄筋継手」 接着によるボルト防錆用キャップ「透明ボルトアイキャップ」 橋梁床版用後付け型水切り材「水切りアイドリップ」	
	168	製品広告4	自走伸縮式床版取替機「EVO」	
	169	製品広告5	プレキャストPC床版接合構造「VanLoc」	
	170	製品広告6	橋梁上部工3Dモデル作成システム「CIM-COMPO／CIM-BOX／CIM-PCaSLAB」 道路橋RC床版取替用高強度軽量プレキャストPC床版「スーパーHSLスラブ」	
	171	製品広告7	FRPによる既設床版の延命工法「FSグリッド」	
	172	製品広告8	橋梁マネジメントサポートシステム「BMSS」	
	173	製品広告9	橋梁定期点検業務支援アプリ「スマホ点検士」	
	174	製品広告10	パノラマビューアシステム「Panoca」	
	175	製品広告11	デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測システム「REPOLC」 橋梁架設シミュレーションシステム「Sim-BRANE」	
	176	製品広告12	水門用蓄電バックアップシステム「ERBシステム」	

安全・安心な社会インフラの実現に向けて

(株)IHI インフラ建設
取締役

宮 田 明



「IHIインフラ技報」第13巻の刊行にあたり、ご挨拶させていただきます。

お客さまをはじめ関係者の皆さまにおかれましては、日頃からご指導、ご支援を賜り厚く御礼申し上げます。またIHIインフラシステム(IIS)・IHIインフラ建設(IIK)社員の皆さんの真摯な業務への取り組みに感謝いたします。

新年明けたばかりの2024年元日16時10分、石川県能登地方を震源としたマグニチュード7.6の地震が発生しました。阪神大震災に匹敵する大きな揺れ、地盤隆起や斜面崩壊、液状化、津波等の発生により、人的被害・家屋損壊に加え、ライフラインに甚大な被害が生じ、経済活動にも大きな支障が生じました。また、この原稿を書いている8月8日、日向灘を震源とする地震(M7.1)が発生し、南海トラフ地震臨時情報(巨大地震注意)が初めて発表されました。1週間後には解除されましたが、引き続き地震への備えが必要です。

災害はいつも突然に発生し、しかも新しい被害像を見せつけられます。近い将来、南海トラフ地震や首都直下地震などの大規模地震の発生可能性が高まっており、また気候変動にともなう自然災害の頻発化・激甚化が進む今、社会インフラの強靱化や長寿命化への対応は喫緊の課題であり、迅速な取り組みが求められています。現在、公表されている「高速道路の更新計画」及び「高速道路の耐震補強実施計画」に基づき、日本各地で大規模更新・修繕・耐震補強工事が進められ、我々もこれらの工事に積極的に取り組んでいます。本巻の特集記事にて、その一部をご紹介します。首都高速の大師橋では一括横取り工法を採用し、わずか2週間の通行止め期間中に橋梁を架け替えました。阪神高速の東大阪線(阿波座)では都市内の狭あい箇所にて大規模修繕(拡幅桁架け替え・下部工拡幅等)を行いました。深沢橋と川端高架橋はNEXCOのリニュー

アルプロジェクトです。深沢橋ではトラス橋の床版を断面分割施工により、また川端高架橋(計5工事)では各橋梁の施工条件に適した工法により、床版を更新しました。これら工事には多くの制約条件などの課題がありましたが、さまざまな構造・工法の開発や工夫によって、その課題を解決しながら工事を遂行しました。今後、担い手や予算不足がさらに加速する中、都市部の重交通路線に展開され、高難度工事が増加していきます。これに対応すべく、工期短縮による交通規制の最小化、生産性向上による省人化、環境負荷や工費の低減できる技術の開発を進めていきます。

2023年4月、IIKはIISの水門・鉄管および制振・免震・防災に係る事業、明星電気(株)の放流警報・テレメータ・水門制御関連事業(以下、水管理事業)を承継しました。これにより、水門を中心とする鉄構事業において、建設から点検・修繕、機能向上、更新といったライフサイクルにわたる全体の事業とともに、周辺の水管理事業を1社で担うことになりました。近年、気候変動にともなう水災害は年々増加し、国民の生命や財産を脅かしています。これらの問題解決に迅速に対応するとともに、ダム・河川を軸とした水管理事業を強化し、利水・治水の両面から管理者・地域住民のニーズに即した新たなソリューションの提供を目指していきます。

IIS・IIKは橋梁・水門を軸に安全・安心な社会インフラの実現に向け、グローバルかつライフサイクルにわたり貢献していきます。国内のみならず、グローバル展開している海外インフラの建設・保全プロジェクトについても本技報にてご紹介していきます。今後も引き続き、社会課題に対して真摯に取り組み、幸せな社会生活に向けて技術開発をはじめ、各プロジェクトの遂行を加速してまいります。今後とも、皆さまのご指導・ご鞭撻のほどよろしくお願いいたします。

高速大師橋更新工事

— 高速道路リニューアル事業 —

SATO Tomoaki SHIJI Kenichi ISHIHARA Shinkichi
佐藤 友明* 志 治 謙 一** 石 原 晋 吉*
ISHIWARI Hirotaka WAKE Hiroyuki KAWAMORI Taiichiro
石 割 大 貴* 和 気 弘 幸** 川 森 泰 一 郎***

1. はじめに

首都高速1号線の多摩川渡河部に位置する高速大師橋は(図-1)、1968年の開通から50年以上が経過していた。1日約8万台と多くの自動車交通による過酷な使用状況であることや、建設当時、多摩川の流れを阻害しないよう橋脚の間隔を長く、橋桁を軽量化したことにより、橋がたわみやすい構造になっていること等から、橋梁全体に1,200カ所以上の疲労き裂が発生していた(図-2)。日々、点検・補修を繰り返し行ってきたが、新たな疲労き裂の発生が確認されており、構造物の長期的な安全性を確保する観点から橋梁全体を疲労き裂が発生しにくい構造へ造り替えることとした。

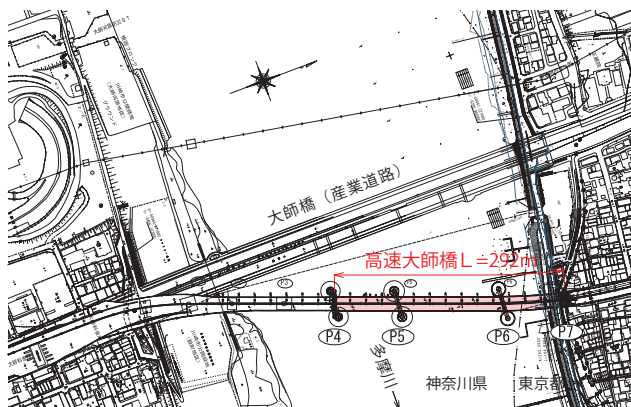


図-1 位置図

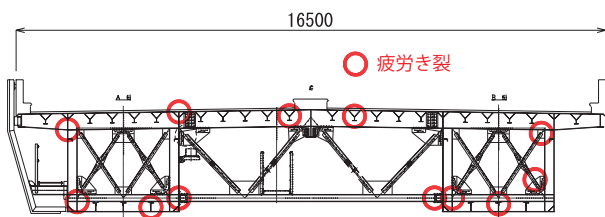


図-2 既設橋断面図(損傷状況)

2. 橋梁概要

既設橋は3径間連続鋼床版箱桁橋であったが、新設橋は3径間連続鋼床版箱桁ラーメン橋となった(図-3)。疲労き裂などの損傷を防止し、耐久性を向上させるため、鋼床版は開断面リブとし、主桁ウェブと横桁(横リブ)接合部は全断面溶接、ファイレット構造を採用した。また、維持管理を容易にするため恒久足場を設置する計画である。

橋梁の架け替えにともない橋脚も全て再構築した。河川部のP4、P5、P6は鋼・RC複合ラーメン橋脚とし、既設橋脚の上下流側に新たに基礎と柱を建設した。P4は仮横梁で上部構

造を仮受けし、既設橋脚撤去後に支承位置の本設横梁を架設する。陸上部のP7はT型RC橋脚である(図-4)。

以下に、高速大師橋の橋梁諸元を示す。

発注者：首都高速道路株式会社

受注者：大成・東洋・IHI・横河高速大師橋更新事業
異工種共同企業体

路線名：高速神奈川1号横羽線

施工箇所：東京都大田区羽田二丁目、羽田三丁目
神奈川県川崎市川崎区殿町一丁目

工期：2017年6月28日～2025年5月31日

橋長：292.031m

支間長：78.816m+132.012m+79.504m

幅員：18.2m(全幅員)

構造形式：3径間連続鋼床版箱桁ラーメン橋

(P5、P6橋脚剛結構造)

鋼重：約4,100t

適用基準：平成24年版道路橋示方書他¹⁾²⁾

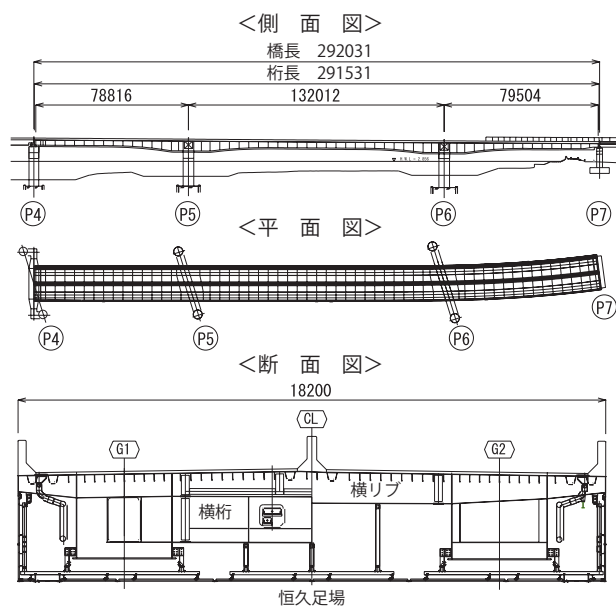


図-3 新設橋上部工一般図

3. 架け替え工事の概要

現在の橋を撤去し、同じ場所に新しい道路橋を架け替えるためには通常であれば工事期間は年単位となるが、首都圏全体の交通影響を鑑み、通行止め期間をできる限り短縮させるため、横取り一括架設工法を採用し、橋梁全体を架け替える計画とした(図-5)。

* (株)IHIインフラシステム 橋梁技術本部 工事部
** (株)IHIインフラシステム 橋梁技術本部 エンジニアリング部

*** (株)IHIインフラシステム 事業戦略本部 戦略第1部

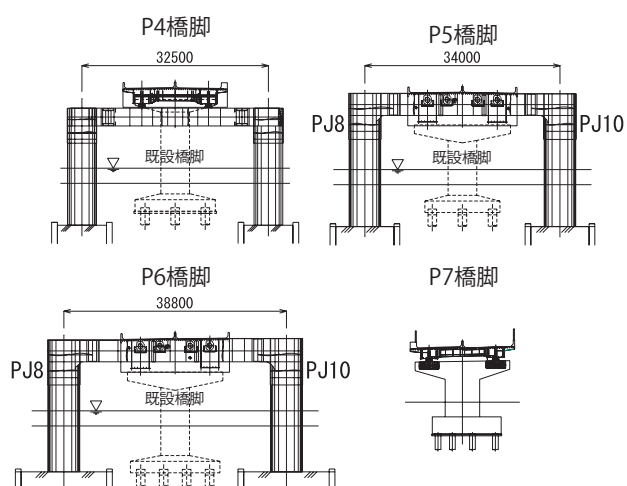


図-4 新設橋橋脚一般図

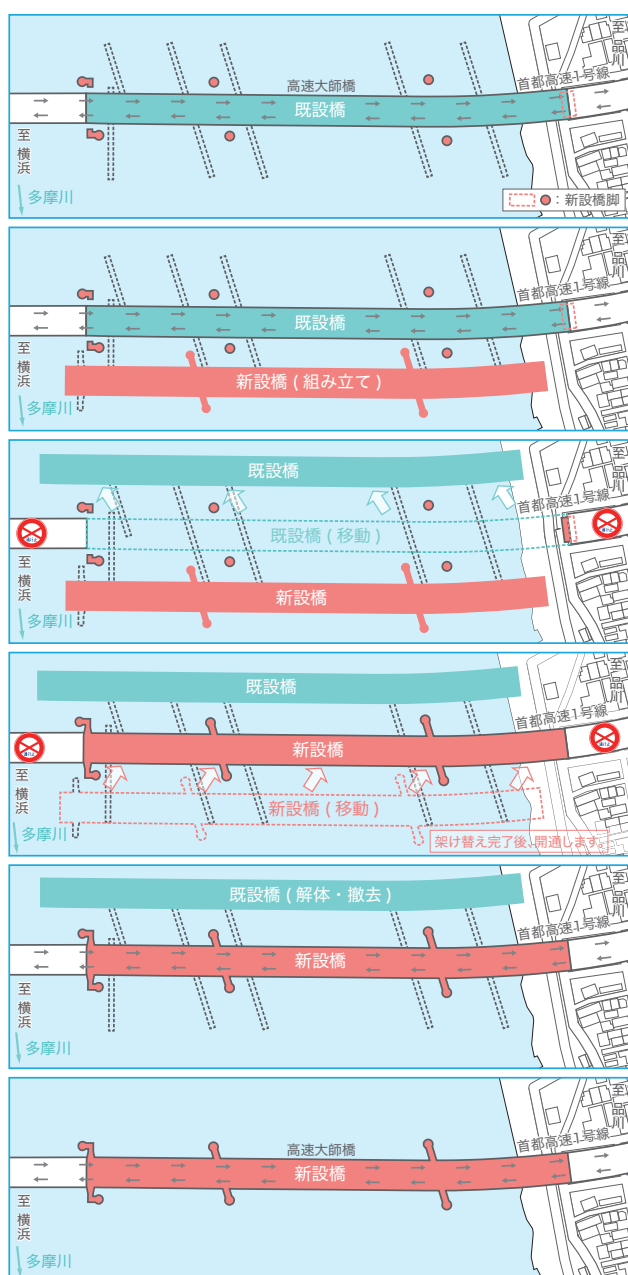


図-5 施工ステップ³⁾

4. 更新桁の設計

4-1. 構造形式

河川内橋脚(P4～P6)は耐久性の確実な確保、維持管理費の縮減を図ると同時に工事コストの低減を図る観点からH.W.L+1.5mより下側をRC橋脚とし、鋼製柱と一体化して鋼製横梁に接続させた複合橋脚構造を採用した。RC支柱部には、高耐久埋設型枠PICフォームを併用した(図-6)。

また、横取り移動時既設橋脚と干渉しないよう橋軸直角方向には門型ラーメン構造を採用した(図-6)。その際河川阻害率を極力小さくするため、柱配置を流心方向としたが、既設上部工支承線は桁に対して90度であるため支承で受けるP4横梁はクランク形状とした(図-7)。

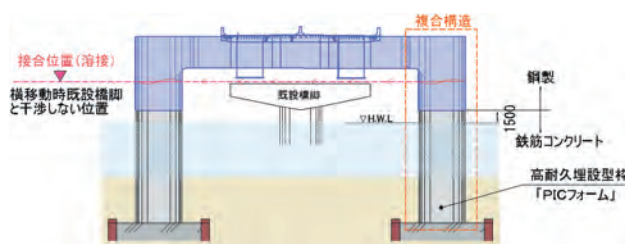


図-6 橋脚構造(中間支点)

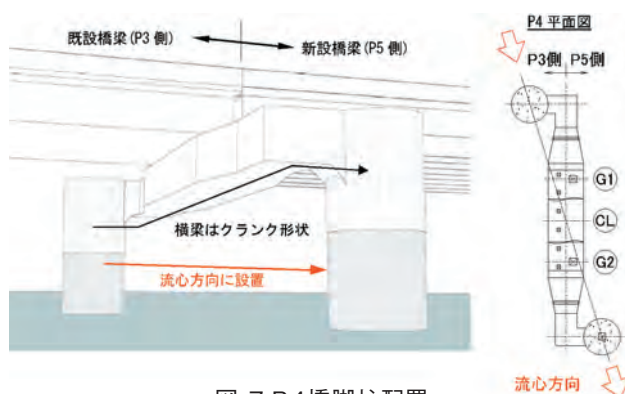


図-7 P4橋脚柱配置

4-2. 耐震設計方針

本橋ではL2地震に対して動的解析照査を実施したが、その際河川内における地震後の復旧の難しさを考慮し、上部工及び隅角部を含む橋脚とも塑性化をさせない設計とした。基礎については復旧がさらに困難となるため、柱基部の終局耐力の1.1倍の力に対して塑性化させない方針とし、より大きな耐力を持たせた。

4-3. 仮設橋脚

本工事では既設橋供用中に新設橋脚の施工を行うが、そのために桁端両側の橋脚(P4、P7)で隣接のPC上部工も一時的に支える構造が必要であった。その結果、P4、P7橋脚位置でそれぞれ仮橋脚を既設橋脚と干渉ないように施工し、段階別に上部工の受け替えを行うこととした(図-8、9)。

なお、仮橋脚に対しても地震時動的解析を実施し、L2地震時の耐震性を確保させた(仮設橋脚に対しては塑性化を許容する設計)。

2024年7月時点で、P4橋脚はSTEP2(ただし、既設RC橋脚は撤去前)、P7橋脚はSTEP4の状態である。

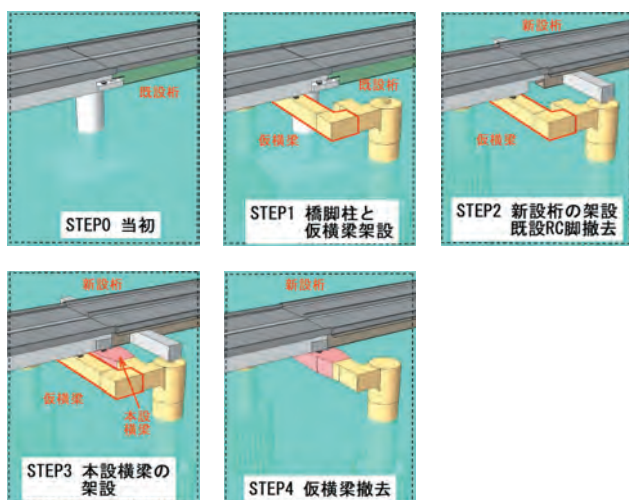


図-8 P4橋脚受け替えステップ

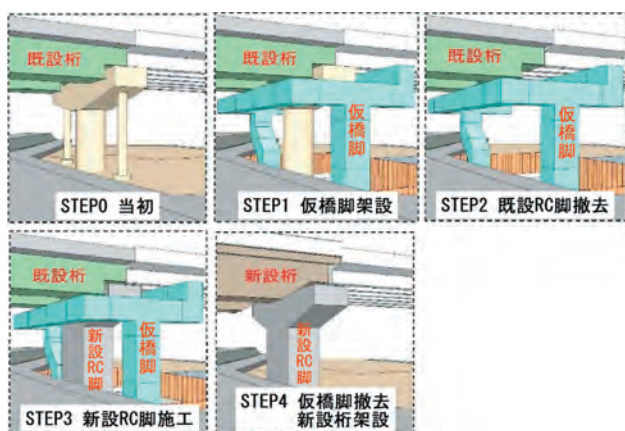


図-9 P7橋脚受け替えステップ

4-4. 維持管理性の向上

維持管理性の向上のため、橋梁全面に恒久足場を設置することとした。さらに、桁高が高い中間支点近傍では床版下2.2mの位置に通常より幅広(通路幅1.9m)の点検通路を設置し、車線直下全範囲の鋼床版下面の点検ができるようにし、維持管理性に配慮した(図-10)。

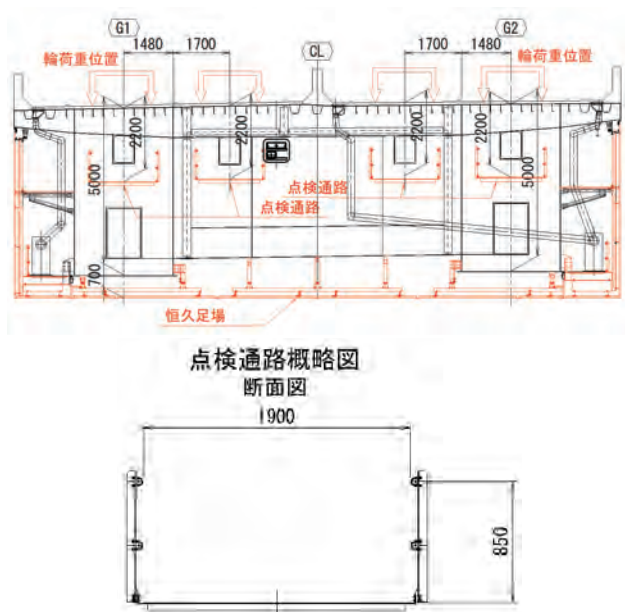


図-10 中間支点近傍上部工断面

5. 支点受け替え

5-1. 施工方法

P7橋脚では新橋脚構築のため仮橋脚への受け替えを行った。仮橋脚で荷重を偏載すると大きな路面段差を生じるため、受け替え(荷重移行)は鋼桁2主桁とPC桁6主桁を同時にジャッキアップする方法で行った(図-11)。

1回目のジャッキアップでは仮支承と沓座の間に調整プレート挿入した。この後、仮支承と調整プレートを溶接し、鋼桁既設支承の溶接ビードを切除去した。これらの準備作業完了後、2回目のジャッキアップを行って鋼桁とPC桁の既設支承を撤去した。

5-2. 管理方法

路面段差の管理値は発注者との協議により3mmとした。受け替え前に車線規制を行って本線の状況を確認したが伸縮装置がゴム継手で前後の舗装には轍により凹凸があるため、橋面上での段差測定はできないと判断した。いずれにせよ交通解放した状態での作業となるため、鋼桁端部とPC桁端部にエンコーダーを取り付けて段差確認を行うことにした。

エンコーダー計測値とジャッキ反力値は集中管理室にモニター表示したが、通行車両の影響で数値が常に変動するため慎重に管理を行った。また、PC桁は不等沈下すると構造物にダメージを与える恐れがあるため、細心の注意が必要であった。

以下に受け替え時のジャッキ反力値とエンコーダー測定値を示す(表-1～表-3)。活荷重を含む全荷重は数値変動があるため中央値である。

表-1 ジャッキ反力

	死荷重(kN)		全荷重(kN)	
	計画値	実測値	計画値	実測値
鋼桁側	625	625	1,654	800
PC桁側	672	720	1,222	900

表-2 鋼桁側エンコーダー測定値(単位:mm)

	G1L	G1R	G2L	G2R
初期値	0	0	0	0
1回目ジャッキアップ	+8	+8	+8	+8
調整PL挿入後	+2	+2	+2	+2
2回目ジャッキアップ	+15	+15	+15	+15
既設支承撤去後	-2	-2	-2	-2

表-3 PC桁側エンコーダー測定値(単位:mm)

	G1	G2	G3	G4	G5	G6
初期値	0	0	0	0	0	0
1回目ジャッキアップ	+8	+8	+8	+8	+8	+8
調整PL挿入後	0	0	0	0	0	0
2回目ジャッキアップ	+15	+15	+15	+15	+15	+15
既設支承撤去後	-2	-3	-1	0	-1	0

5-3. 高さ調整

支点高さの調整は沓座(鋼製台座)と支承の間に挿入する調整プレートで行った。仮橋脚に反力を導入し、先に設置した沓座天端と仮支承下面の高さの現場実測値になじみ(鋼桁+2mm、PC桁+3mm)をプラスして調整プレートの板厚を決定した。

1回目のジャッキアップで、PC桁の死荷重反力が計画値より大きくなった。荷重バランスが計画値通りではないため、エンコーダー測定値も鋼桁側がプラスになった。鋼桁側の支承は縁が切れていたが、PC桁はパッド沓と密着している状態だった。このまま作業を進めると路面段差の管理値をオーバーする可能性があったため、発注者と協議してPC桁側は調整用ライナーを製作して挿入することにした。

5-4. 落橋防止対策

受け替え中、PC桁は桁かかり長が十分確保され、かつ支点上横桁に変位制限があるため、落橋防止対策は不要であった。鋼桁も桁かかり長は確保されているが、横断方向の拘束がないため、仮支承台座上にずれ止めを溶接固定した。

5-5. 受け替え後の状況

活荷重に着目し、L荷重を鋼桁側のみ載荷したケースで解析を行うと28.6mmの路面段差が発生する。実際の交通状況で鋼桁側のみ車両が満載になることはない、現実的な荷重ケースとしてT荷重を鋼桁側のみ載荷して解析を行うと路面段差は2mmであった。

受け替え後にエンコーダーで鋼桁とPC桁の段差を観察したが、活荷重による変動は最大2mm程度であり、ほぼ解析値通りだった。路面段差で問題は発生しなかったが、受け替え後は桁端部が片持ち状態(自由端)となるため、都市部で採用する場合には騒音、振動を考慮して慎重な検討が必要である。

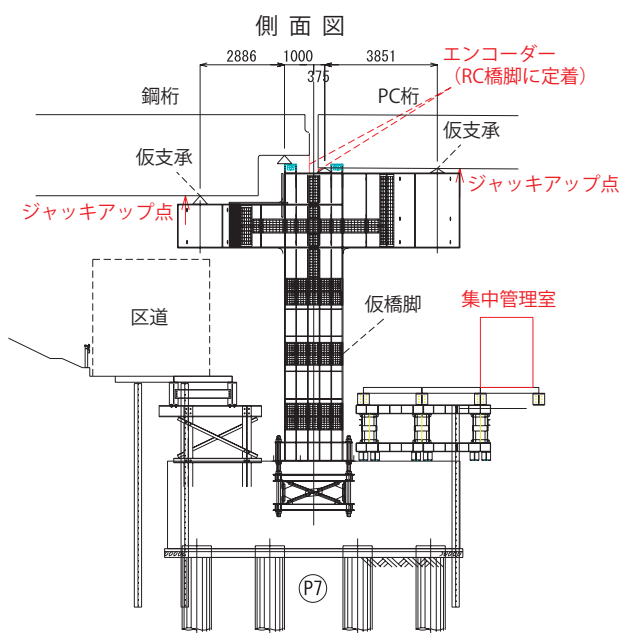


図-11 受け替え要領図

6. 通行止め工事

6-1. タイムスケジュール

通行止め工事のタイムスケジュールを以下に示す。通行止め期間は開通までには検査などの手続きを含めて14日間が設定された。

表-4 タイムスケジュール

	2024年5月					6月									
	27日	28日	29日	30日	31日	1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日	8日	9日	10日
端部橋桁の撤去	←	→													
既設橋橋取り		←	→												
新設橋橋取り			←	→											
端部橋桁の架設 位置調整・橋脚現場溶接				←	→										
舗装・区画線・付属物										←	→				
検査・点検等														←	→

6-2. 横取り一括架設

(1) 概要

まず最初に、既設橋を上流へ約33m横取りし(写真-2)、次に下流に架設した新設橋を上流へ約33m横取りした(写真-3)。既設橋は河川の流心方向に設置した軌条梁と同じ方向に横取りする1方向横取りであったが、新設橋は東京側の民地を避けて川崎側へセットバックしたため、上流方向と橋軸方向の2方向横取りを行った(図-12、図-13、写真-1)。横取り時間短縮のため、横移動には連続運転が可能なダブルツイングジャッキを、縦移動にはクレビスジャッキ(引・押複動型ジャッキ)を使用した(表5~7)、異種ジャッキの大規模横取りは実績がないため、実物大試験を実施して同調性に問題がないことを確認した。

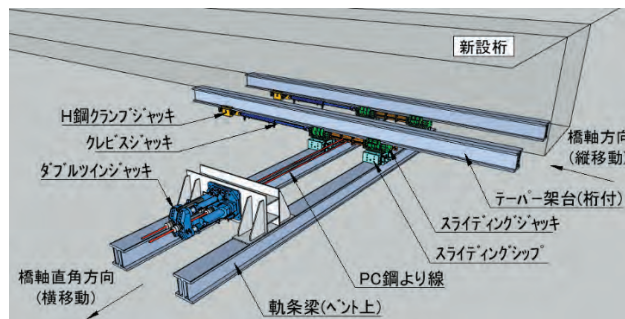


図-12 横取り装置



写真-1 横取り装置

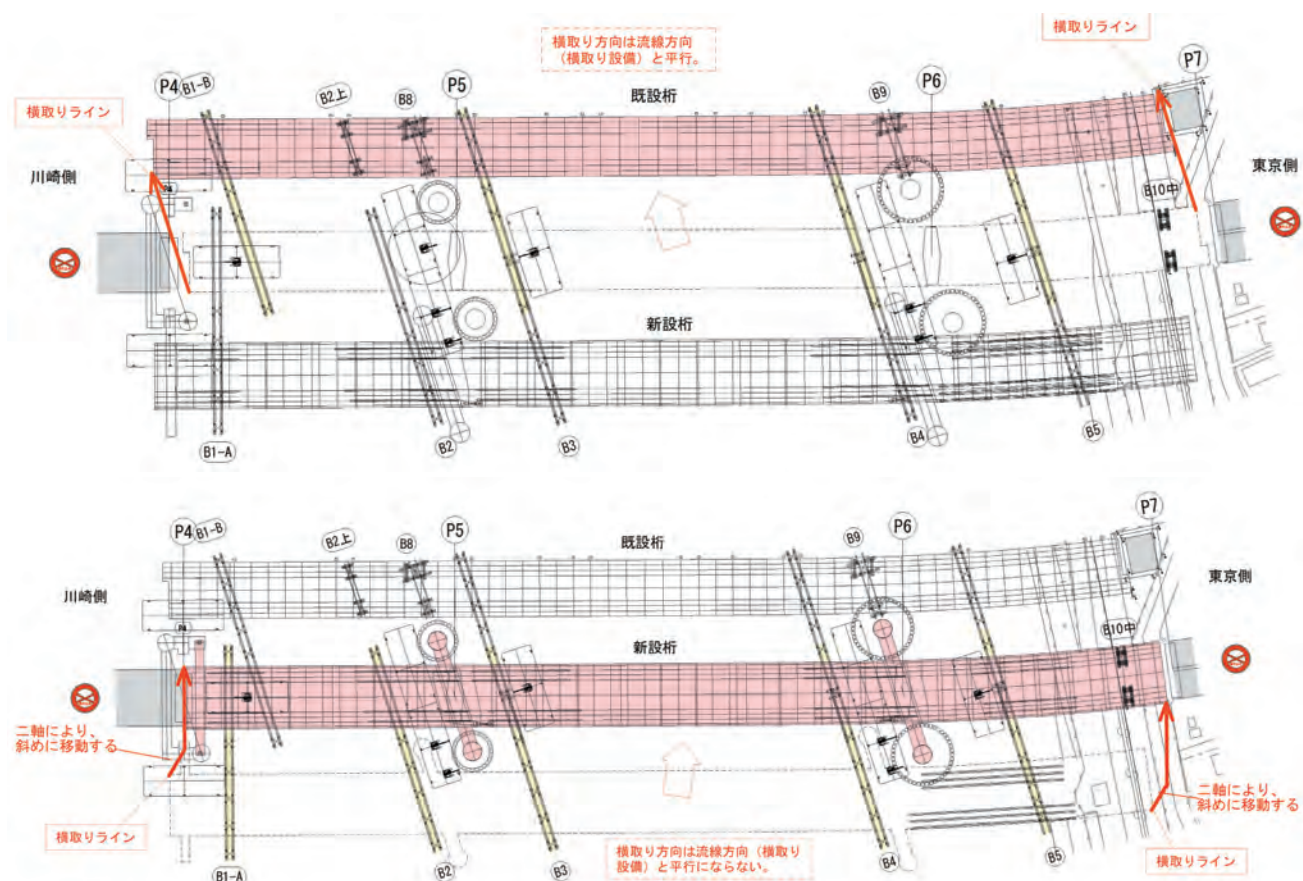


図-13 横取り架設計画図³⁾



写真-2 既設橋横取り後（提供：首都高速道路株）



写真-3 新設橋横取り後（提供：首都高速道路株）

表-5 横取り計画概要

項目	単位	既設橋	新設橋
橋梁質量	t	3,759	4,580
支点数	箇所	4	5
横取り距離	m	33.0	32.8
ジャッキアップ	mm	150	なし
ジャッキダウン	mm	なし	550
横取り装置	-	1軸横取り装置	2軸横取り装置
x 方向	使用機械	-	引・押複動型油圧ジャッキ
	能力	-	(押し) 500(引き) 200
	台数	-	20
y 方向	使用機械	-	ダブルツインジャッキ
	能力	1,500	1,500
	台数	4	5

※x方向：橋軸方向、y方向：横断方向

表-6 所要時間比較(既設橋)

項目	当初計画	実施計画
y方向使用ジャッキ	引・押複動型油圧ジャッキ	ダブルツインジャッキ
サイクル数	27.5回	1回
所要時間	487min(8h7min)	89min(1h29min)

表-7 所要時間比較(新設橋)

項目	当初計画	実施計画
x方向使用ジャッキ	引・押複動型油圧ジャッキ	引・押複動型油圧ジャッキ
y方向使用ジャッキ	引・押複動型油圧ジャッキ	ダブルツインジャッキ
サイクル数	28.3回	17回
所要時間	894min(14h54min)	340min(5h40min)

(2) 軌条設備

新設橋は桁高変化に対応するため、桁下に橋軸方向の軌条となる柱と梁材で構成したテーパー架台を取り付けた(図-14)。

横断方向は河川内に架設桁を6箇所設置し、この上に軌条梁を固定した。架設桁・軌条梁は大荷重が作用するため専用機材を製作した(図-15)。

架設桁の基礎構造はφ600～800の鋼管杭とした。打設方法は桁下以外がバイプロハンマ工法で陸地側はウォータージェット工法を併用した。桁下はウォータージェット併用鋼管圧入パイラー工法とした。杭頭上部は荷重を確実に伝達するため、杭頭ジャケットを製作して使用した。

横取り時の主桁反力を以下に示す(表-8、表-9)。仮設備は本反力値に基づき設計を行った。

主桁反力の最大値は14,782kNであるが、出発抵抗を10%とした場合の所要牽引力は1,478kNとなり、ダブルツインジャッキ能力1,500kNにほぼ等しい。摩擦抵抗を低減するため、軌条梁とテーパー架台には板厚9mmステンレス板を取り付けた。新設橋横取りで使用する軌条梁の材料のみ#400相当の鏡面仕上げとし、それ以外の材料は表面処理を2Bとしたが、摩擦抵抗に顕著な差が生じて管理を難しくした。滑り面の表面処理は統一した方がよい。

表-8 既設橋主桁反力(単位:kN)

支点名	G1	G2	合計
B1-B	2,894	2,789	5,683
B3	6,598	6,335	12,983
B4	4,581	3,757	8,338
B5	5,047	4,837	9,884
合計			36,838

表-9 新設橋主桁反力(単位:kN)

支点名	出発時			到着時		
	G1	G2	合計	G1	G2	合計
B1-A	3,026	3,337	6,363	2,425	2,732	5,157
B2	4,144	3,390	7,534	2,491	1,830	4,321
B3	4,388	5,439	9,827	6,065	6,958	13,023
B4	8,047	6,735	14,782	6,076	4,874	10,950
B5	3,184	3,191	6,375	5,847	5,583	11,430
合計			44,881			44,881

(3) 台車設備

新設橋の台車は2方向より荷重が作用するため平面的に剛な構造とし、かつ構造高を抑える必要があったため、井桁構造の専用フレームを製作して使用した(図-16)。ダブルツインジャッキの牽引力を伝えるPC鋼より線はG1台車に定着し、G1台車とG2台車はH鋼梁材で連結した。

台車上側には横取り用の油圧ジャッキ・スライディングシップ4台を、台車下側には降下用の油圧ジャッキ4台を設置した。降下時のジャッキ支持点は架設桁の横桁とし、横取り開始前にサンドルを設置した。仮受け点は架設桁主桁とし、横取り完了後にスライディングシップと軌条梁を撤去し、サンドルを設置した(図-17)。

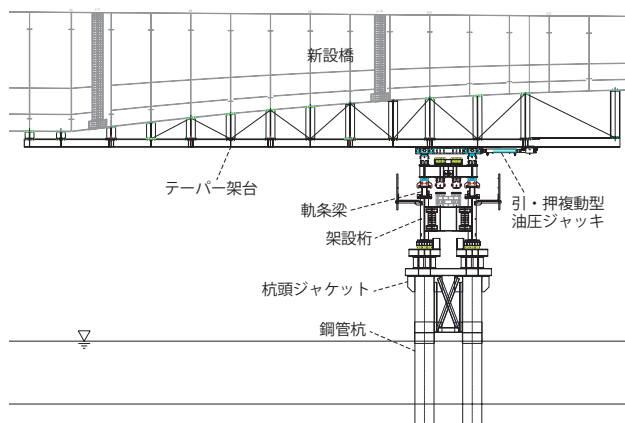


図-14 テーパー架台

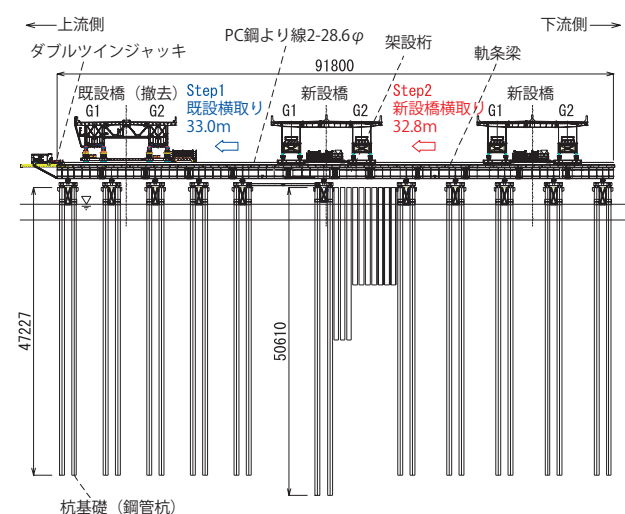


図-15 横取り設備

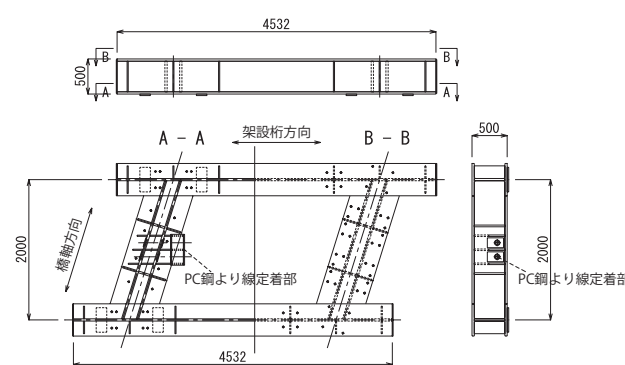


図-16 井桁フレーム

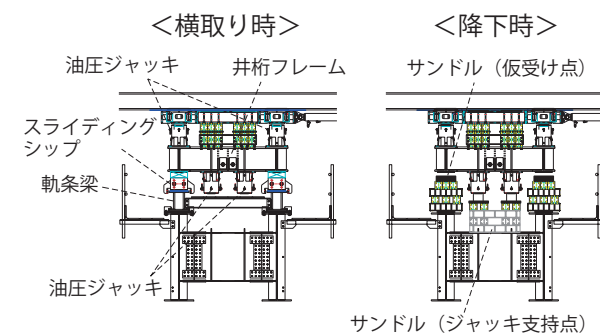


図-17 新設橋台車の組み替え方法

(4) 調整装置、仮固定方法

新設橋架設時の上下部連結は剛結構造のP5、P6橋脚で行う。隅角部(上側)の母材板厚を設計値の70mm、鋼製キャップ(下側)の母材板厚を設計値+25mmの95mmとして架設誤差に対応できるようにした。

位置合わせのための調整装置は各ベントに1軸調整装置を、橋脚に油圧ジャッキを配置した。ベント上の調整装置は橋梁全体の任意方向への移動用、P4とP7の調整装置は桁端通りの微調整用、P5とP6の調整装置は橋脚位置の微調整用である。P5、P6橋脚はジャッキ反力受けとして内部に十字のH鋼を配置した。

橋脚柱の仮固定は、当初エレクションピースを高力ボルトで本締めする方法で計画したが、据付け誤差への対応が困難なため専用の矢で固定する方法とした。さらにメタルタッチ部を面取り加工して溶接を行った(図-18)。

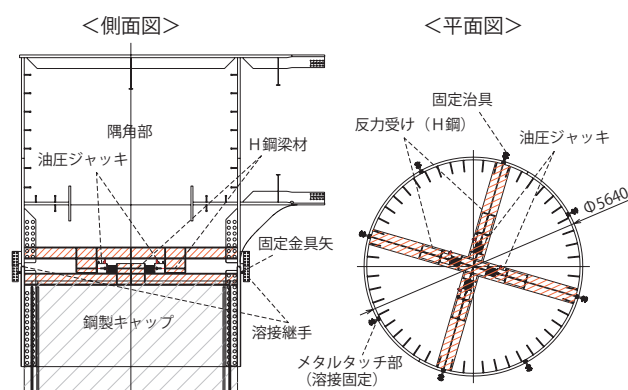


図-18 橋脚調整装置

6-3. 橋脚溶接

現場溶接施工試験で溶接作業時間をカウントし、その結果に基づき橋脚の溶接は昼夜2交代で、48時間で完了させる計画とした。各区画は原則同じ作業者が溶接を行う。

自動溶接用の円形レールは専用の機材を準備した。第1班が半自動溶接で初層中間層の7パスを溶接後、固定治具を切断撤去し、全周に円形レールを設置した(表-10)。

板厚差による段差は仕上げ時に1:1で面取りを行うが、目違いの差で面取りラインが波打たないように溶接ビード下端で段差が同じになるよう配慮した。

溶接用風防は雨仕舞いを考慮して柱全体に覆う大屋根構造とし、集中工事前にほぼ組立を完了させ、接続部のみ横取り後シート防護を行った(図-20)。

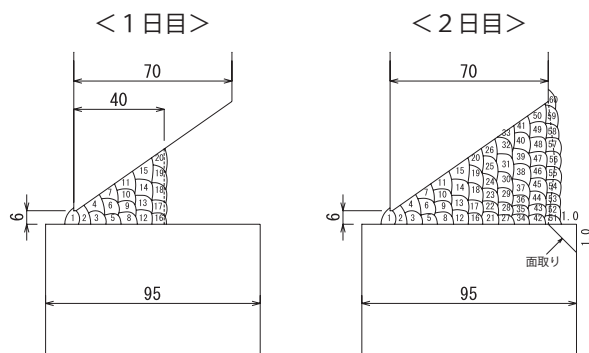


図-19 溶接積層図

表-10 現場溶接計画(概要)

施工箇所	P5、P6橋脚PJ-8、PJ-10(4継手)
1継手延長	17.5m(実長)2、117m(6mm換算)
溶接方法	炭酸ガスアーク溶接による片面裏波溶接(半自動、自動)
溶接機	CO2/MAG自動溶接機ダイナオート 自動溶接装置PICOMAX-2Z
溶接材料	ソリッドワイヤ1.2φ(YM-55C)
電力設備	1継手当たり発動発電機150KVA×2台 (昼夜で1台を交互使用)
標準開先形状	ルートギャップ6mm、板厚差12.5mm
組立時の許容誤差	ルートギャップ-3mm～+6mm、目違い-3～+28mm
裏当て材種類	セラミック裏当て材(CBM8071)
溶接順序	1周を8区画に分割し、ひとつおきの4区画を同時溶接する
鋼種	SM520C-H
板厚	70mm
開先形状	レ型
溶接姿勢	横向き
予熱温度	50℃
電流値	初層160～240A、中間層最終層220～340A
電圧値	初層18～32V、中間層最終層20～38V
溶接速度	初層4～20cm/min、中間層最終層15～60cm/min
入熱量	1パス入熱量7、000J/mm以下
パス間温度	230℃以下
積層方法	図-19
シールドガス	炭酸ガス25～50リットル/min(耐風トーチ使用)

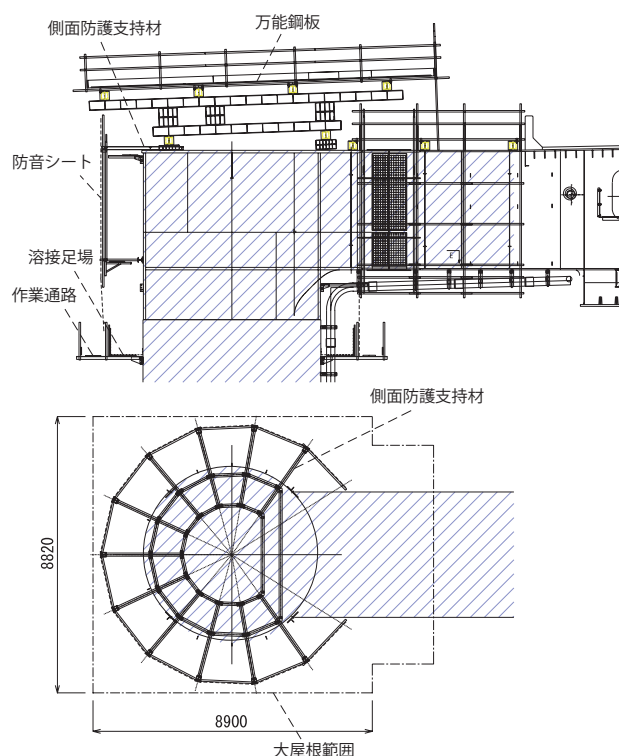


図-20 溶接風防

7. 舗装工

7-1. 施工方法

通行止め工事期間中の作業量を最小限とするため、横取り架設前に端部以外の基層(グースアスファルト)と路肩グースアスファルトとの施工を行った(図-21、図-22、表-11、表-12)。

P7側は片持ち状態となるため、横取り前後でひび割れ調査を行い、ひび割れがあった場合はエポキシ樹脂系ひび割れ含浸接着剤を注入して補修することにした。

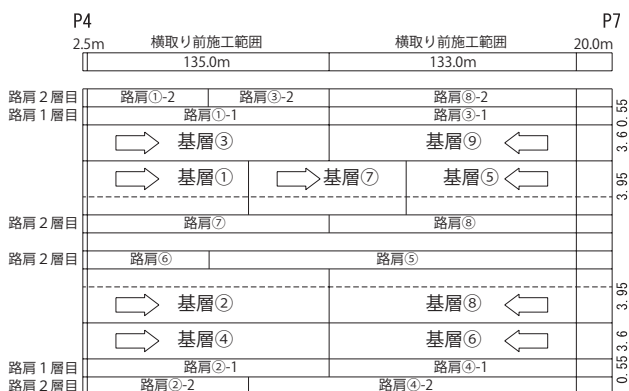


図-21 舗装区割り図(横取り前)

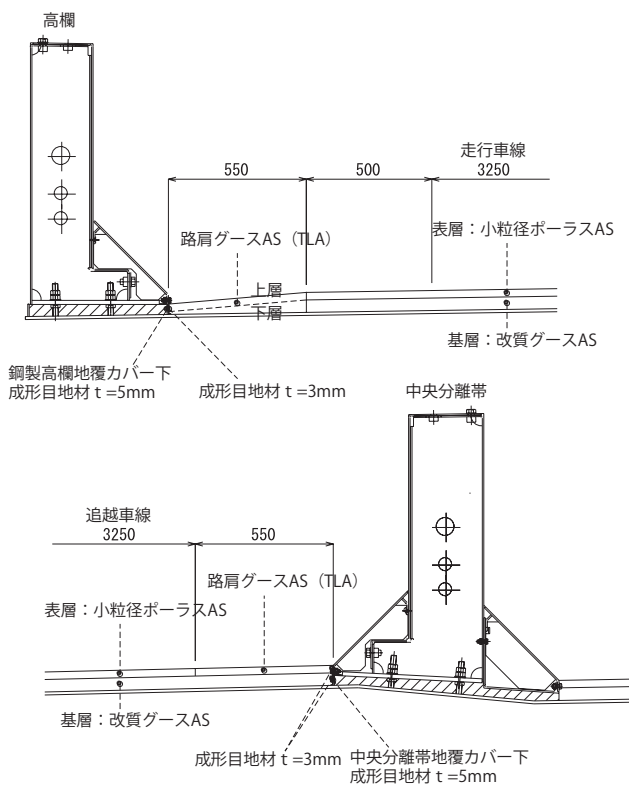


図-22 舗装構成図

表-11 新橋舗装面積(単位:㎡)

	路肩グース	基層	表層
横取り前	589.2	3,778.3	-
集中工事	41.4	327.6	4,105.9

表-12 舗装工事概要

表面処理	ショットブラストによる研掃
接着剤	研掃後4時間以内に塗布、使用量0.2L/min
基 層	改質グースアスファルト(13) 5cm
タックコート	アスファルト乳剤PKM-T、使用量0.4L/㎡
表 層	小粒径ポーラスアスファルト混合物(5) 3cm
路肩グース	グースアスファルト混合物(13)

7-2. 舗装機材搬入方法

横取り前は橋面上にクッカー車や舗装機械が直接乗り入れられないため、護岸に河川へ突き出した仮栈橋を架設し、クレーン付台船と専用の吊り枠を使って橋梁上へ楊重した。吊り枠には鋼製スロープを用意し、車両が自走して直接乗り込めるようにした。クッカー車は積載時と空荷時で重心位置が変化するため、吊り具にチェーンブロックを組み込んで調整を行った(図-23)。

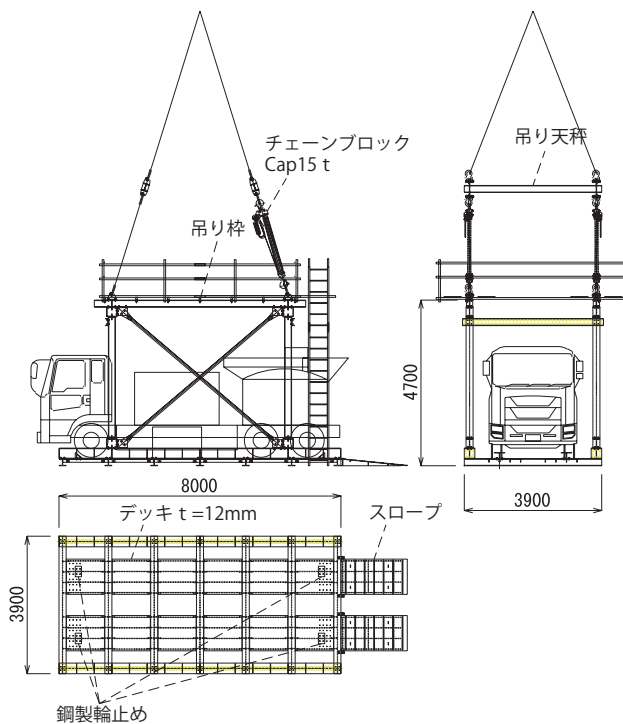


図-23 吊り枠計画図

7-3. 橋面上屋

横取り後、通行止め時の基層の施工を行う範囲には雨除けのための上屋を設置した。仮設備の増加は設置撤去手間が増えるため賛否はあったが、発注者の強い要望もあって、耐風性能を考慮した鋼製の専用機材を製作した(図-24、写真-4)。

上屋のフレームは15cm×15cmのH鋼とコンプレース(ターンバックル)で構成し、屋根材と壁材にはキーストンプレートを使用した。基本モジュールは屋根と壁で構成し、折り畳んだ状態から展開すると2車線幅の小屋になる仕組みとした。サイズは幅2m×長さ9.5mで、10tトラックで輸送可能とした。

通行止め期間中に台風の直撃を受けたが、暴風雨にも耐え破損はなかった。また、水切り等のディテールに配慮したため、雨仕舞いは良好であった。

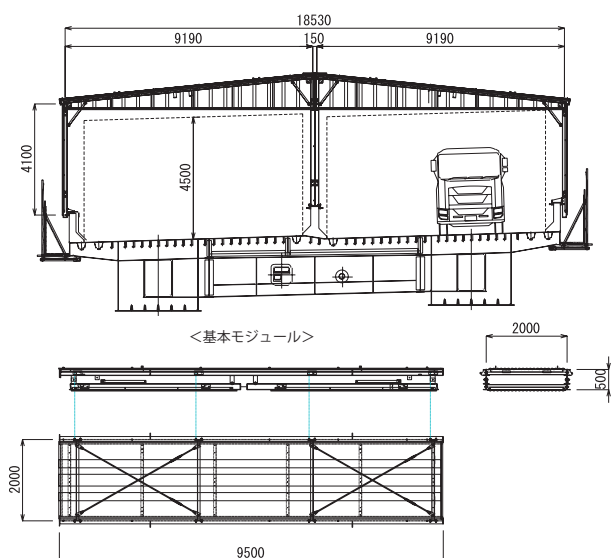


図-24 橋面上屋計画図



写真-4 上屋内での舗装作業

7-4. 付属物工

橋面では舗装のほかに、打ち残していた橋梁端部の壁高欄、伸縮装置の据付け(写真-5)、および区画線の設置などを行い6月5日18時頃までに開通に必要な全ての施工を終えた。



写真-5 伸縮装置据付け

8. まとめ

高速大師橋更新工事の設計、架設について報告した。

本工事は2016年にECI方式で公告が出され、実施設計業務を経て2017年に工事着手した。

架け替えの対象は建設から50年以上経った古い橋梁で、図面では判別できない構造も多数あり、その解明に向けて工事着手後も様々な調査・検討を行った。それらの事前対策が功を奏し、2023年5月27日から6月10日の2週間で架け替え工事を無事に完了させ、新設橋の供用を開始した(写真-6)。

最大の課題であった通行止めによる架け替え工事は完了したが、現在も既設構造物の撤去や恒久足場の設置等の現場作業を継続中で、全作業完遂まで気を緩めず、安全第一に進捗する所存である。

些細なミスでも首都圏の物流に多大な影響を与えてしまう難工事で、常に緊張感との闘いであったが、本報告が今後の同様の大規模架け替え工事を実施する際に参考となれば幸いである。

最後に、事業主である首都高速道路株式会社および共に工事を完遂した共同企業体構成会社、ご協力いただいた関連会社の皆さまには、多大なご協力とご支援をいただきました。ここに記して深く感謝の意を表します。



写真-6 通行止め工事完了 (提供: 首都高速道路(株))

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅰ～Ⅴ、2012.3
- 2) 首都高速道路株式会社：橋梁構造物設計施工要領、2015.6
- 3) 濱野康平、右高裕二、石原晋吉、竹林丈：供用後50年経過した橋梁の交通影響に配慮した横取り一括架設による更新－首都高速1号羽田線高速大師橋更新事業－、橋梁と基礎2024-1

深沢橋床版取替工事の設計・施工

— 構造形式の異なる3連橋の半断面床版取替え —

IKEGAMI Kotaro 池上 浩太郎* HOSOYA Eiji 細谷 英司** AOKI Suguru 青木 駿***
WATANABE Makoto 渡辺 誠**** YOSHIDA Masashi 吉田 政史*****

1. はじめに

深沢橋(写真-1、図-1)は、中央自動車道多治見インターチェンジ(IC)～土岐IC間にかかる、深沢川を渡河する上下線分離構造の橋梁で、床版取替え設計開始時には、1973年9月の供用開始から約50年が経過していた¹⁾。増大する交通荷重による疲労損傷や凍結防止剤の影響による床版の劣化が顕在化し、床版上面増厚や床版下面断面修復による補修工事等は実施されてきたものの、一時的な対処に過ぎない状態であったことから、その抜本的解決策として床版取替えを実施した。写真-2は、下面断面修復材と表面保護工がはく落した箇所である(床版撤去時に撮影)。

本工事において床版取替えを実施することとなったが、物流や観光の大動脈であり、土岐ジャンクション(JCT)が近く工事渋滞に伴い迂回ルートの確保が困難となる本橋の下り

線を1車線とする規制を行うことは、社会的影響が大きい。そこで上下線各2車線のうち、下り線を常時2車線確保できる幅員方向分割工法による床版取替えを実施した。

本橋は、橋梁前後にトンネルとJCTが近接しており、施工ヤードの確保が難しいことから、床版取替方法の検討も重要な課題であった。施工ヤードが狭隘で、車両の流出入方向が制限されることから、一般的なトラッククレーンによる取替えでは、工期内の床版取替完了が困難であった。そのため床版取替えを合成桁部と非合成桁部に分けて同時施工することとし、非合成桁部での床版取替えでは、新たに幅員方向分割工法に対応する床版取替機(EVO)を開発し使用した。

本稿では2022年および2023年に実施した上下線の桁補強および床版取替えの設計と施工について報告する。



写真-1 深沢橋全景(右手が土岐JCT)

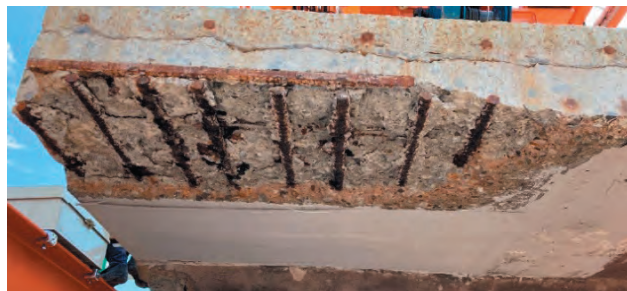


写真-2 既設床版の損傷

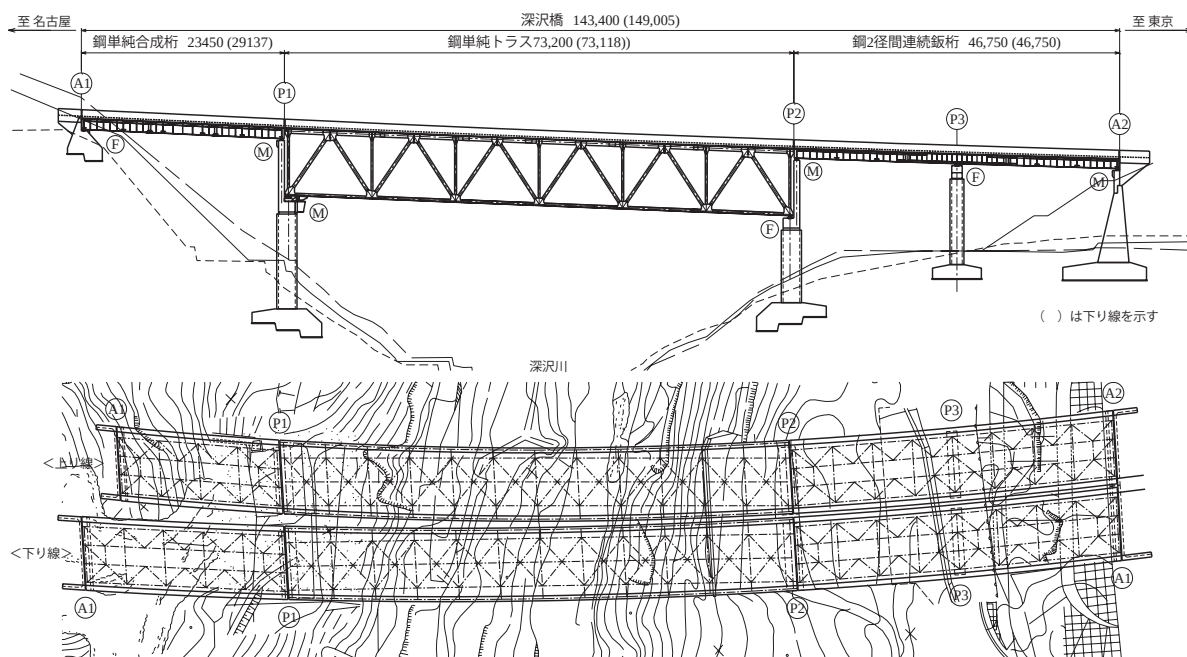


図-1 深沢橋 橋梁一般図

* (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 事業推進部
** (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 鋼保全技術部1G
*** (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 PC技術部1G

**** (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 工事1部 PC工事G
***** (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 工事1部 床版更新G

		2020			2021							2022												2023													
		1	～	12	1	～	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
調査・詳細設計																																					
下り線	桁補強																																				
	床版取替え																																				
	支承取替え																																				
上り線	桁補強																																				
	床版取替え																																				
	支承取替え																																				

図-2 床版取替工程

2. 工事概要

工事概要、主な橋梁諸元を以下に示す。

工 事 名：中央自動車道(特定更新等)深沢橋床版取替工事

発 注 者：中日本高速道路株式会社 名古屋支社

構造形式：鋼単純合成桁+鋼単純トラス+鋼2径間連続非合成桁

床版形式：RC床版⇒プレキャストPC床版

有効幅員：床版取替前：9.000m(全幅 10.450m)

床版取替後：9.905m(全幅 10.795m)

床版取替工：約3,000㎡(上下線)

桁補強工：約300t(上下線)

支取替工：48基(上下線)

桁補強工は、B活荷重対応だけでなく、鋼トラスの耐震補強および幅員方向分割工法による床版取替に対応するための補強、改良を含むもので、床版取替前にそのほとんどを完了させておく必要があった。床版取替工程を図-2に、床版取替ステップを図-3に示す。

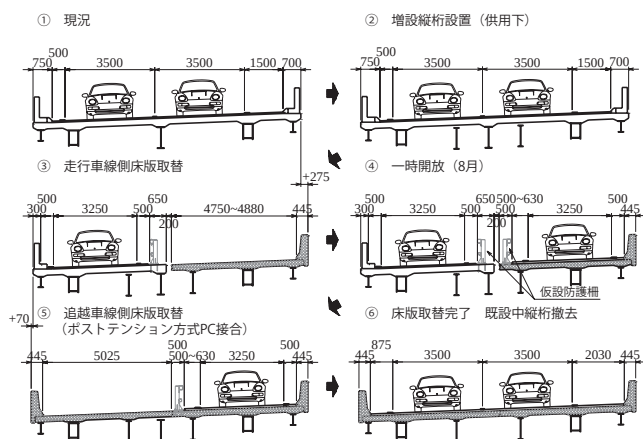


図-3 床版取替ステップ図(鋼単純トラス部)

3. 床版の設計

3-1. 床版取替計画

社会的影響を低減させるため幅員方向分割施工を採用したことにより、狭い施工帯のなかでは全断面一括工法で一般的に用いる大型クレーンは使用できないため、床版取替方法を検討する必要があった。クレーンが旋回できない施工条件のなかで、工期内に床版取替を完了させることが課題であった。

A1-P1の合成桁部では、床版はブロックジベル(馬蹄形ジベル)により主桁に接合されていたため、中間床版を吊ったまま切断(吊り切り)し、その部分を撤去する必要があった。そこで、施工帯に設置可能な50tクロールクレーンを使用して、旋回させずに前方吊りのみで対応することとした(図-4(a))。下り線では、運用車線の走行方向はA2⇒A1方向なので、A1側から床版を搬出・搬入するとき、床版を運搬するトラックの荷台側が作業位置側となる(図-5)。クレーンをA1側に向け、A1からP1方向に後退しながら床版を取り替えることとした。プレキャストPC床版(以下、PCaPC床版)の重量とクレーンの作業半径から、1日あたりの作業量を、既設床版撤去は

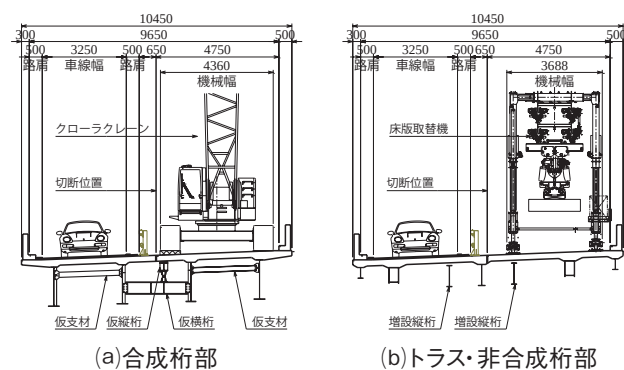


図-4 床版取替方法の選定

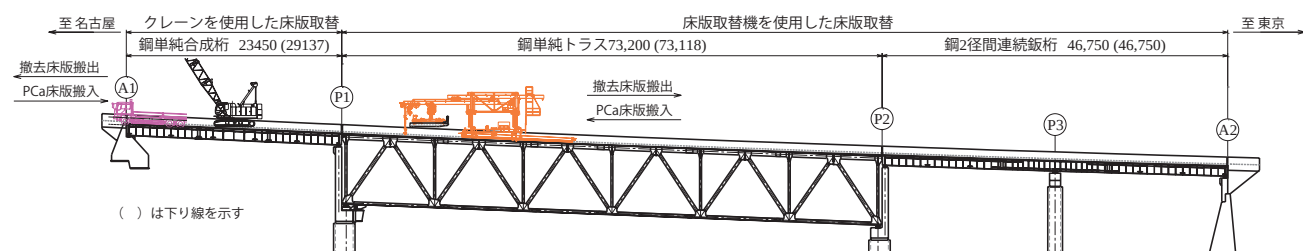


図-5 床版取替方法と範囲

約4.2m、PCaPC床版架設を2枚とし、撤去と架設を1日おきに繰り返す計画とした。施工延長は下り線で約29mであり、床版の撤去・架設を10日程度で行うこととした。

トラス部および非合成鈹桁部では、一般的に使用されることが多い床版剥離機による既設床版の撤去が可能である。A1-P1径間と同様にクレーンによる床版取替えを行う場合、クレーン能力の制約から1日あたりの取替延長が4.2m程度になる。その場合、施工長約120mの区間の床版取替えのためには30日程度を要することになり、計画工程に収まらない。そこで、本工事で、PCaPC床版3枚相当の6.3m範囲を1日で床版取替可能な床版取替機を開発することとした(図-4(b))。これにより、床版取替えに要する日数を20日程度とすることができた。床版取替機の開発にあたっては、すぐ隣を一般車両が通行している状況で、一般車への圧迫感低減のため機械高さを抑えることと、橋梁の縦横断勾配と平面線形に対応できる構造とすることが課題であった。この対策については、6. 床版取替機で述べる。

3-2. 床版厚および橋軸方向継手構造

既設床版は、完成時が210mm、取替前は上面増厚補強により240mmの厚さであった。本工事で、橋梁全体の耐震性能に影響を及ぼす上部工死荷重の低減を目的に、取替床版の厚さを完成時と同じかつ、道路橋示方書に従い算出した最小床版厚である210mmとすることとした。床版厚の低減は、桁補強鋼重の低減にもつながる。しかし、PCaPC床版の床版厚を210mmとすると、鉄筋のかぶり確保ができないことから、PCaPC床版の橋軸方向接合にD19以上のRCループ継手は適用できない。そこで、継手部の鉄筋が直線形状で床版厚に制約を与えることがなく、鉄筋径によらず床版厚を220mm以下に抑えることができるDエッジ鉄筋継手工法²⁾を採用することとした(図-6)。

Dエッジ鉄筋継手工法とは、鉄筋の端部を半楕円状に拡径加工した鉄筋「Dエッジ鉄筋」(図-7)を用いて、床版接合部に生じる応力を鉄筋直線部の付着力と拡径部の支圧力で受け持つことで、重ね継手長を短縮できるRC継手である。

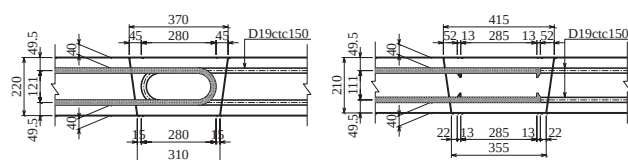


図-6 床版厚と橋軸方向継手構造

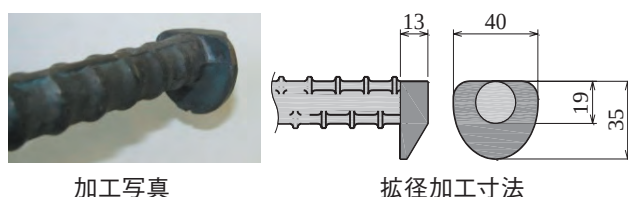


図-7 Dエッジ鉄筋

3-3. 床版の橋軸直角方向接合構造

橋軸直角方向に分割されたPCaPC床版の接合は、ポストテンション方式PC接合とすることとした。接合するPCaPC床版間にコンクリート間詰めやモルタル目地を設けた場合、その打設や硬化時間が工程を圧迫する。そこで本工事で、コンクリート製のスラブキーとガイドキーを有する接合面(写真-3)を、接着剤とプレストレスで接合する突合わせPC接合構造を採用した。図-8に示すように、2期施工側のPCaPC床版を架設、引寄せ直後に1次緊張を行い、接合面の接着剤が硬化する翌日に設計プレストレス全量を導入する。このサイクルにより、架設翌日にはPCaPC床版は全断面が一体となる。

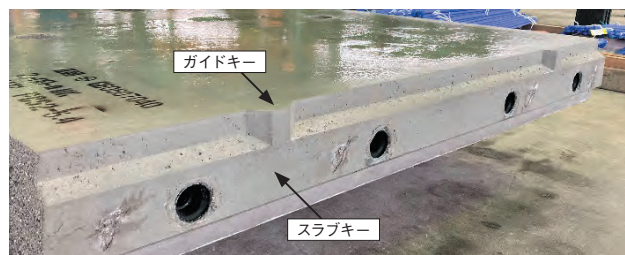


写真-3 PCaPC床版接合面

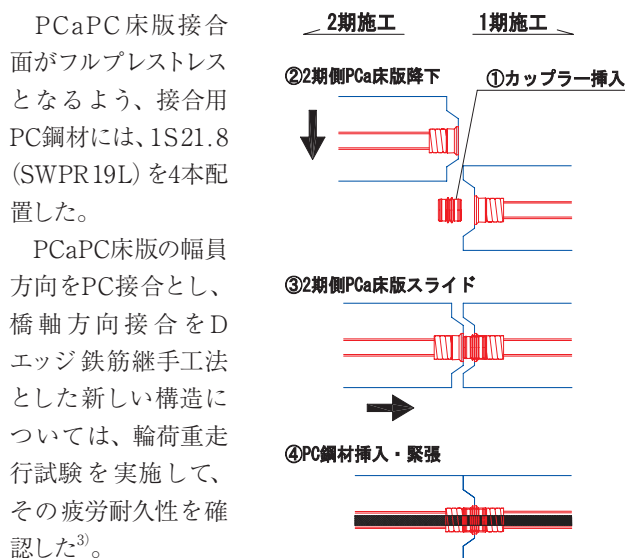


図-8 床版接合手順

4. 鈹桁補強設計

4-1. B活荷重への対応

既設構造が合成桁であるA1-P1径間では、当初は当て板のみでの補強を検討していたが、床版取替前の供用下での当て板補強は補強効率が低く、補強鋼重が増大することから、外ケーブルを使用した応力改善を併用して補強することとした。外ケーブルは、既設床版を橋軸直角方向に切断し、桁と床版の合成効果をなくしてから緊張する。また、対傾構の耐力が不足しているため、下弦材と斜材に当て板補強をするともにガセットを取り替えることとした。A1-P1の補強概要を図-9に示す。

P2-A2の2径間連続鈹桁部では、既設構造は非合成であったが補強鋼重低減を目的に合成桁として補強設計を行い、主桁の当て板補強は中間支点付近の下フランジのみとした。ただし、当て板だけでは補強板厚が過大になることから、支点付近では横桁を増設し、固定点間距離を小さくすることで曲

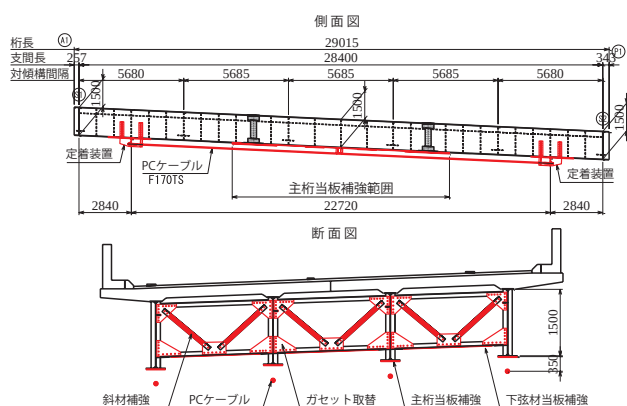


図-9 A1-P1 合成桁補強概要

げ座屈耐力を向上させて補強板厚を低減した。また、A1-P1と同様に対傾構の耐力が不足するため、下弦材と斜材に当て板補強をするとともに、ガセットを取り替えることとした。

4-2. 施工時の対応

A1-P1径間において、クローラークレーンは既設床版上で作業することになる。既設床版を橋軸方向に切断すると、中間の連続床版が片持ち床版となり、クレーン荷重が作用した場合に鉄筋応力の施工時制限値を大きく超過することから、主桁間に仮横桁と仮縦桁を設置して、取替え側の既設床版を支持することとした(図-10)。仮縦桁は、走行車線側の床版取替完了後に追越車線側に移設する。

P2-A2径間連続鉄桁部では、後述する床版取替機を使用する。床版取替機は、クレーンに比べて機械重量を小さくできるとともに、荷重を分散できる構造となっているため、既設床版の上で床版取替作業をする際の既設床版の補強は不要となった。

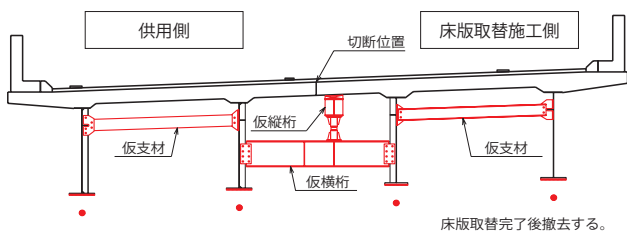


図-10 A1-P1 施工時荷重対策

5. トラス補強設計

P1-P2のトラス部では、B活荷重対応と耐震補強兼用の補強として、支点付近の下弦材と全長にわたる下横構と対傾構に当て板補強を行った。また、トラス部では、主構間で床版を支持する縦桁が中央に1列のみ配置されていることから、既設床版を切断し取替える際には、既設床版が取替床版のいずれかが支持点を失うことになる。そこで、床版取替えに先立ち床組の改良を実施することとした。既設中縦桁の両側にトラス全長にわたって縦桁を2本増設した(図-11)。既設の中縦桁は、床版取替後に撤去する。これらの上横構の改良により、床組を構成する横桁の補強は不要とすることができた。箱型断面である下弦材の当て板補強は、ワンサイドボルトを使用した。

P1-P2トラス部は、P2-A2径間連続鉄桁部と同じく床版

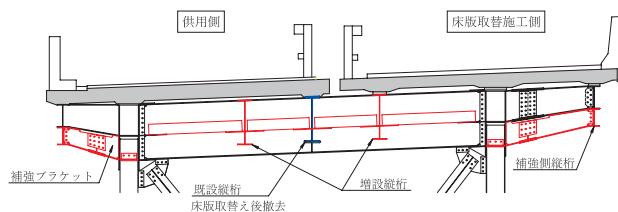


図-11 トラス床組みの改良

取替機を使用することと、増設縦桁で既設床版を仮支持できることから、既設床版の補強は不要となった。

6. 床版取替機 EVO

床版取替機の基本的な構造は、吊上げ装置を設置した滑り出し主桁を、前後4本の門形主脚で支持し、床版取替時には主桁先端を先端サポートで支持するものである。図-12に床版取替機の構造図を示す。

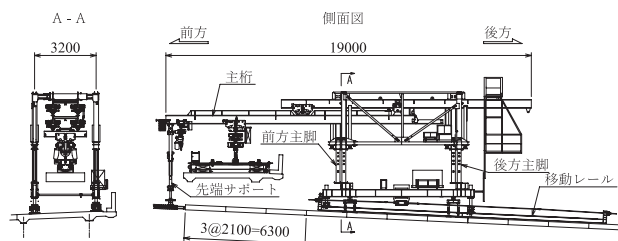


図-12 床版取替機EVO 構造図

床版取替機は、滑り出し主桁を伸ばした状態で全長が約19mとなる(移動レールを除く)。床版取替作業を行う先端サポートから移動レールまでの作業スパンは約7.5mとしている。つまり、取替機の設置1回につき、PCaPC床版(床版割付け幅は2.1m/枚)を3枚架設できる。橋軸直角方向の本体幅は約3.7mで、図-4に示す施工帯幅4.75mで平面線形に合わせた方向変更が可能な幅としている。本体全高は、運用車線を走行する車両への圧迫感を抑えることを目的として、前方主脚位置で約6.3mとした。すべての装備品を含む床版取替機の重量は21.5tで、50tクローラークレーン(約50t)の半分以下である。

本機の移動機構は、車輪構造とせず、鉛直ジャッキとツインジャッキを用いて移動する、PC橋の張出し架設用移動作業車(ワーゲン)の仕組みを取り入れた構造を採用している。これは、より厳しい平面曲率や縦横断勾配の現場でも施工できることを目的としたものである。

本機は、トレーラで指定位置に搬入された取替機本体が上部横梁に内蔵の油圧ジャッキにより主脚を左右に張り出し、さらに主脚の内臓ジャッキで主脚を伸ばして自立する。その後、16t吊りラフタークレーンを使用して、吊り装置やその他付属品を取り付けると床版取替機全体の組立てが完了となる。このため、本体の組立に大型トラッククレーンを必要としない。

施工に先立ち、取替機製作工場のヤードで実構造物の縦横断勾配を再現した坂路を造成し、資材搬入、取替機組立て、移動、床版撤去・架設といった一連の作業について試験施工を行い、改善点を洗い出し、工事前に改良をした。

7. 床版取替施工状況

7-1. 仮設防護柵設置

床版取替えに先立ち、走行車線側を規制した状態で仮設防護柵の設置を行った。仮設防護柵のベースプレート幅が350mmあるので、既設舗装を400mm幅で切削し、既設床版にコア削孔して防護柵を設置した。

7-2. 既設床版切断

P1-A2においては、走行車線側の舗装切削後、コンクリートカッターを使用して既設床版を切断した。はじめに橋軸方向に切断して断面を分割し、その後は撤去計画に合わせて橋軸方向に2m程度に分割した。壁高欄は事前撤去せずに床版と一体のまま撤去する計画として、ワイヤースで切断した。

A1-P1合成桁部においては、クレーンを使用した吊り切りにより、切断しながら既設床版を撤去した。

7-3. 外ケーブル緊張

A1-P1合成桁部において、床版を橋軸直角方向に切断して桁を橋軸方向に非合成状態としてから、桁下に配置した外ケーブルを緊張した。4主桁に1本ずつ配置した外ケーブルは、走行車線の床版取替時にその範囲の2本を、追越車線の床版取替時に残りの2本を緊張した。この緊張作業については、設計時に施工手順に合わせた断面剛性変化を考慮したステップ解析を行い、安全性を確認するとともに、キャンパー変化を算出している。写真-4に外ケーブル緊張状況を示す。



写真-4 外ケーブル緊張状況

7-4. A1-P1床版取替え(走行車線側)

A1-P1径間におけるPCaPC床版の架設状況を写真-5に示す。既設床版撤去は、中間床版はクレーンを使用した吊り切りで、桁上ブロックはブレーカを使用して破碎して撤去した。1日あたりの桁上ブロック撤去は、主桁2本、橋軸方向4.2m程度であったため、ウォータージェットの使用や水平切断に比べ、人力によるはつりが工程短縮には有利であった。PCaPC床版架設は、既設床版撤去の翌日に1日に2枚とした。架設後、PCaPC床版上面を養生し、既設床版搬出とPCaPC床版搬入のためのトラックの通路を確保した。

規制期間中の橋面での作業量を抑えて、工程短縮を図る目的で、壁高欄は間詰め部を除いて先行施工している。

上記の施工サイクルで、橋長29m、PCaPC床版枚数11枚の床版撤去架設を13日間で完了させた。

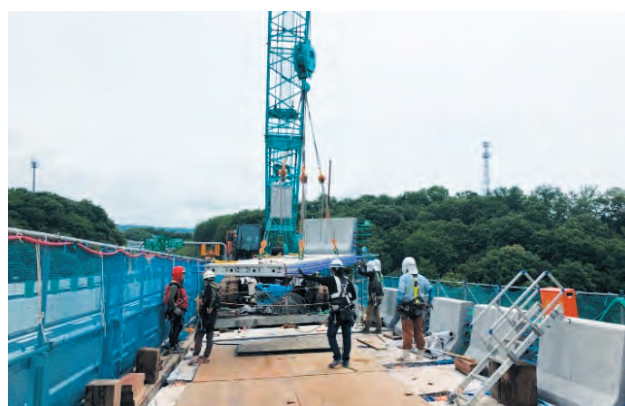


写真-5 A1-P1床版取替状況

7-5. P1-A2床版取替え(走行車線側)

トラス部と連続鈑桁部では、床版取替機を使用して床版取替えを行った。PCaPC床版架設状況を写真-6に示す。床版取替範囲(6.3m)が先端サポートと前方主脚の間に来る位置に床版取替機を設置する。



写真-6 P1-P2床版取替状況

橋軸直角方向に切断済みの既設床版は、床版剥離機を使用して桁から引きはがし、吊り装置にて吊り上げ、90°回転させて床版取替機の前脚主脚間まで移動させる。そこで専用の運搬台車に積み込み、A2側土工部(写真-6、右手奥側)まで移動させる。機械全高を低く抑える目的で吊り装置の揚程を最小化したため、荷台高さが小さい専用の運搬台車を使用している。この台車は、PCaPC床版搬入にも使用する。1カ所での床版取替えでは、PCaPC床版3枚分の既設床版撤去・搬出を連続で行う。

桁上処理の完了後、PCaPC床版の架設を連続で行う。撤去時とは逆のサイクルで、A2側から床版取替機の前脚主脚間まで移動させたPCaPC床版を吊り装置で吊り上げ、先端サポートと前方主脚の間まで移動させる。そこで90°回転させて所定位置に架設していく。

翌日の床版取替作業時には、先端サポートは架設したPCaPC床版上に位置する。

上記の施工サイクルで、施工長約120m、PCaPC床版枚数52枚の床版撤去架設を23日間で完了させた。走行車線側の床版取替えを完了させた後、走行車線側に仮設防護柵を設置した。床版防水および舗装は別工事にて施工した。写真-7は開放直前の写真であり、走行車線と追越車線は分離し、それぞれに壁高欄と仮設防護柵が設置されている。



写真-7 走行車線側床版取替(一時開放準備)完了

7-6. 追越車線側床版取替え

追越車線側の床版取替え自体は、走行車線側と同様の方法で施工した。走行車線施工時と異なる条件は、施工帯の両側を車両が走行している状況であることと、PCaPC床版の橋軸直角方向のポストテンションPC接合工があることである。写真-8に追越車線側床版取替状況を、写真-9にPCaPC床版接合部(走行車線側)を示す。



写真-8 追越車線側床版取替状況

PCaPC床版の橋軸直角方向接合は、先行架設した床版(凹面)にカップラーシースをセットし、接合する両PCaPC床版の接合面に接着剤を塗布してクレーンまたは取替機にて縦横断勾配を調整して接合箇所直近まで移動させる。その後、レバーブロックを使用して接合面が接触するまで引き寄せた。引き寄せが完了したら、高さ調整ボルトにより高さを調整し、位置を固定した後、PC鋼材を挿入して直ちに設計緊張力の40%までプレストレスを導入した。翌日、接着剤が硬化したことを確認した後、プレストレスを100%まで導入した。緊張端から接合面までの距離が短いため、セットロスによるプレストレスの損失が大きくプレストレスが不足することから、PC鋼材定着にはセットロス補正グリップを使用した。



写真-9 PCaPC床版接合部(走行車線側)

8. まとめ

本工事は、構造形式の異なる3連の橋梁を、同時に幅員方向分割工法により床版取替えを行うものであった。2022年12月には下り線の、2023年12月には上り線の床版取替えが完了した。写真-10に床版取替え完了時の深沢橋全景を示す。

詳細設計の開始と同時にコロナ禍となり、設計打合せも施工計画打合せも制限された環境下で進めてきた。その中で、幅員方向分割工法用床版取替機の開発や桁補強方法、PC床版接合方法を検討し、床版取替工を完了させることができた。

2024年8月現在、下り線の支承取替え、塗り替え塗装は完了し、検査路等附属物を施工している。上り線は、支承取替えを進めており、2025年11月に竣工の予定である。

本工事の設計、施工にかかわられた多くの皆さまに感謝すると共に、今後、引き続き展開していく高速道路リニューアルプロジェクトにおいて、本稿が同種工事を計画する際の一助となれば幸いである。



写真-10 床版取替え完了(2023年12月)

【参考文献】

- 1) 高橋勇希、吉澤順太郎、渡辺誠、池上浩太郎：中央自動車道 深沢橋床版取替工事の設計・施工、橋梁と基礎、pp.7-12、2023.6
- 2) 高木祐介、小林崇、中村定明：半楕円形状に拡径加工した鉄筋を用いたプレキャストPC床版継手の開発、プレストレストコンクリート工学会、第27回シンポジウム論文集、pp.371~374、2018.1
- 3) 小林崇、青木津雅子、池上浩太郎：半楕円状に拡径加工した鉄筋を用いた床版接合構造の疲労耐久性の検証、土木学会、第12回道路橋床版シンポジウム論文報告集、pp.149~152、2022.10

小田原厚木道路 川端高架橋床版取替工事

— 大規模リニューアルプロジェクト報告 (その2) —

KOBAYASHI Akira SUZUKI Tatsuyuki SATOHO Hideyuki
 小 林 顕* 鈴 木 辰 幸* 郷 保 英 之**
 SEKI Masatoshi TAKAI Yusuke YUASA Minoru
 関 政 利*** 高 井 祐 輔**** 湯 浅 実*****

1. はじめに

川端高架橋床版取替工事は、神奈川県小田原市に位置する小田原厚木道路と西湘バイパス上の複数橋を対象とした大規模リニューアルプロジェクト工事である。IHIインフラ技報(2021年 vol.10)にて、基本契約方式(全5工事)のうち、川端高架橋、観音寺高架橋、風祭高架橋の3橋を対象とした工事報告(その1)を投稿した。本稿は、その後続工事である、萬丈橋と早川Bランプ橋について工事報告(その2)としてまとめたものである。

萬丈橋は、開通後50年以上経過しており、これまでに縦桁増設などの床版補強が実施されてきた。また、平成7年に行われた石橋インターチェンジ改築工事に伴い、早川A～Dランプ橋が新設され、萬丈橋についても桁増設などの改築が行われた。

その後も交通量増加や車両大型化により床版下面のひび割れや遊離石灰をとまなう漏水、かぶりコンクリートの浮きや剥離が生じることとなり、現行基準に適合させるべく床版取替を含む大規模なリニューアル工事を実施することとなった。

2. 工事概要

本工事は、図-1に示すように複数個所の橋梁を対象とした基本契約方式による個別契約であり、基本契約方式の初回個

別契約である川端高架橋床版取替工事(A: 川端高架橋)に全橋梁の設計業務が含まれていた。その設計成果を基に2回目の個別契約として観音寺高架橋他1橋床版取替工事(B: 観音寺高架橋、C: 風祭高架橋)があり、その後D: 萬丈橋およびE: 早川Bランプ橋を対象とした、早川Bランプ橋他1橋床版取替工事(2019年度)、萬丈橋床版取替工事(2021年度)、萬丈橋鋼橋補強工事(2021年度)の3つの個別契約工事が実施された。



図-1 橋梁位置図 (出典: Googleマップ)

表-1に基本契約に含まれる全体工種を示すが、本稿の対象は赤枠内の西湘バイパスエリアである。施工範囲および工種は契約後の協議により一部変更となっており、ここでは最終項目のみを示している。

表-1 全体工種(着色部が初回個別契約範囲、赤枠内が3回目以降個別契約範囲で本稿の対象範囲)

路線	橋 梁 名	径 間	床版取替 (PC床版)	床版 増厚	桁補強	桁連結	支承 取替	落橋 防止	付属物	塗替 塗装	はく落 防止	ひび割れ 補修等	ボルト 取替	詳細 設計
小田原厚木道路	川端高架橋 (上り線)	A1 - P1	-	-	-	-	○	○	-	○	○	○	-	○
		P1 - P9	-	-	-	○	○	-	○	○	○	○	-	
		P9 - P13	○	-	○	-	○	○	○	○	○	○	-	
		P13 - P33	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	
	川端高架橋 (下り線)	A1 - P14	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○
		P14 - P34	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	-	
西湘バイパス	観音寺高架橋 (下り線)	A1 - A2	○	-	○	○	○	-	○	○	○	○	-	○
	風祭高架橋 (Aランプ)	P4 - P4-6	○	-	○	-	○	○	○	○	○	○	-	○
	萬丈橋 (上り線)	P19 - P20 P21 - P23 P24 - P26	○	-	○	-	○	○	○	○	○	○	-	○
		P20 - P21 P23 - P24	-	○	○	-	○	○	○	○	○	○	-	
	萬丈橋 (下り線)	P17 - P20	○	-	○	-	○	○	○	○	○	○	-	
		P20 - P21	○	-	○	-	○	○	○	○	○	○	-	
		P21 - P22 P23 - P24	-	○	○	-	○	○	○	○	○	○	-	
		P22 - P23 P24 - P31	○	-	○	-	○	○	○	○	○	○	-	
	萬丈橋 (上下線)	P35 - P36	○	-	○	-	○	○	○	○	○	○	-	○
	早川Bランプ橋	P31 - PB4	○	-	○	-	○	○	○	○	○	○	-	

* (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 橋梁工事1部 床版更新G
 ** (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 PC技術部
 *** (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 鋼保全技術部

**** (株)IHIインフラシステム 橋梁技術本部 エンジニアリング部 設計第3G
 ***** (株)IHIインフラシステム 橋梁技術本部 工事部 工事東第2G

写真-1に示すように萬丈橋と早川Bランプ橋は、国道1号西湘バイパスに架かる自動車専用道路であり、石橋ICと箱根口へ向かう分岐に位置する橋梁である。萬丈橋は、小田原西ICから箱根口へ向かうランプウェイとして1970年(昭和45年)に供用され、早川Bランプ橋は1995年(平成7年)に早川ICから石橋ICの開通に伴い供用された。萬丈橋は供用後54年が経過し、早川Bランプ橋も既に29年が経過している。

本工事は、交通渋滞に配慮して大型連休を避けた期間に集中工事を行う条件であり、早期交通解放が重要な課題であることから、プレキャストPC床版(以降PCaPC床版)の採用を基本としている。また、上下線複数橋梁同時施工であるため、施工時期や重機の配置、幅員の変更など様々な課題があった。これらの対策についても本稿にて紹介する。

2-1. 川端高架橋床版取替工事概要

前述の通り、基本契約対象のうち初回の個別契約となる工事であるため詳細は工事報告(その1)を参照されたい。

ここでは工事概要のみを示す。

工 事 名: 小田原厚木道路(特定更新等)川端高架橋
床版取替工事(平成28年度)

発 注 者: 中日本高速道路株式会社 東京支社

施 工 者: IIK・IHI 小田原厚木道路(特定更新等)川端
高架橋床版取替工事(平成28年度)特定建設工
事共同企業体

施工箇所: 神奈川県小田原市

路 線 名: 一般国道271号(小田原厚木道路)

工 期: 2017年8月25日～2021年7月4日

内、床版取替期間平成30年5月14日～同7月9日
(対面交通規制工や舗装工を除く床版取替工事
実施期間)

施工範囲: 川端高架橋を含む全6橋の詳細設計および川端
高架橋上下線の全工種の施工

主要工種: 詳細設計一式

川端高架橋における床版取替工、鋼桁補強工
支取替工、桁連結工、塗替塗装工他
(以降の工事概要では発注者、施工者、施工箇
所が同様のため省略する。)

2-2. 早川Bランプ他1橋床版取替工事概要

工事範囲は、早川Bランプ橋P31-PB4の4径間連続非合成
鋼桁橋と、萬丈橋下り線P17-P20の3径間連続非合成鋼桁橋
であり、桁補強、床版取替および支取替を主な施工内容と
した3回目の個別契約工事である。早川Bランプ橋P31-PB4
の一般図を図-2に、萬丈橋(下り線)P17-P20の一般図を図
-3に示す。

工 事 名: 西湘バイパス(特定更新等)早川Bランプ橋他1橋
床版取替工事(2019年度)

路 線 名: 一般国道1号(西湘バイパス)

工 期: 2019年11月20日～2021年12月18日

内、床版取替期間2021年4月2日～同6月29日(交
通規制工や舗装工を除く床版取替工事実施期間)

施工範囲: 早川Bランプ橋P31-PB4および萬丈橋(下り線)
P17-P20の床版取替工、支取替工などの施工

主要工種: 床版取替2,520㎡、鋼桁補強27.2t、
支取替27基、塗替塗装442㎡

【早川Bランプ橋P31-PB4】

橋梁形式: (施工前) 鋼4径間連続RC床版非合成3主鋼桁橋
(施工後) 鋼4径間連続PC床版合成3主鋼桁橋

橋 長: 135.3m

支 間 長: 34.7m+47.4m+21.6m+30.7m

幅 員: 7.4m～9.1m

床 版 厚: (施工前) 210mm、(施工後) 220mm

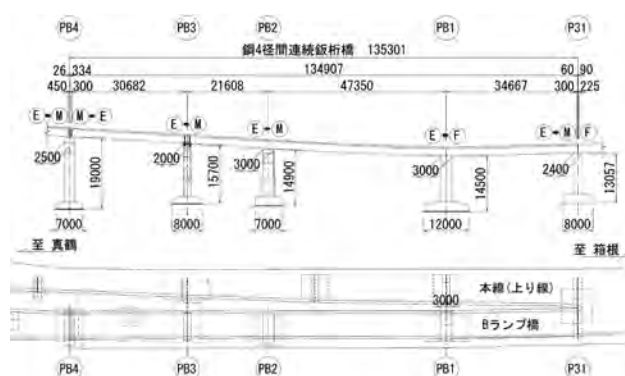


図-2 早川Bランプ橋P31-PB4一般図



写真-1 全体平面(床版取替範囲ならびに時期)

(出典: Googleマップ)

【萬丈橋(下り線) P17-P20】

橋梁形式: (施工前) 鋼3径間連続RC床版非合成2主桁桁橋
(施工後) 鋼3径間連続PC床版合成2主桁桁橋

橋 長: 163.8m

支 間 長: 51.5m+60.0m+51.5m

幅 員: 8.477m~8.750m

床 版 厚: (施工前) 190mm、(施工後) 220mm

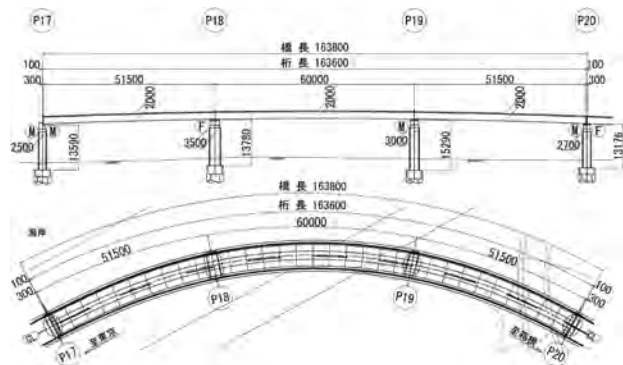


図-3 萬丈橋(下り線) P17-P20一般図

2-4. 萬丈橋床版取替工事概要

対象となる橋梁は、萬丈橋上り線P19-P26、下り線P20-P31、上下線P35-P36の全13径間であり、下り線P20-P21が単純合成箱桁橋である以外、全て単純合成鉄桁橋であった。本工事は4回目の個別契約工事であり、施工手順を考慮するうえで床版取替より支承取替を先行しなければならない1支承線分の施工と、同じく先行施工する端部補強を加えた他、早川Bランプ橋他1橋床版取替工事の工事範囲における塗替塗装も含んでいる。萬丈橋における各径間の橋梁形式等を表-2に示す。

工 事 名: 西湘バイパス(特定更新等)萬丈橋床版取替工事
(2021年度)

工 期: 2021年8月11日~2022年12月3日

内、床版取替期間2022年1月5日~同3月5日、
同5月9日~同7月4日(交通規制工や舗装工を除く
床版取替工実施期間)

施工範囲: 萬丈橋の床版取替工、支承取替工などの施工

床 版 厚: (施工前) 190~240mm、(施工後) 220mm

主要工種: 床版取替3,159㎡、鋼桁補強95.0t、

支承取替8基、塗替塗装10,987㎡

2-5. 萬丈橋鋼橋補強工事概要

前述した萬丈橋床版取替工事の施工範囲における支承取替、落橋防止システム、塗替塗装、検査路および橋梁補修を主たる工種とした5回目の個別契約工事である。

工 事 名: 西湘バイパス(特定更新等)萬丈橋鋼橋補強工事
(2021年度)

工 期: 2021年10月28日~2024年4月14日

主要工種: 支承取替114基、塗替塗装14,384㎡

検査路73.2t

3. 早川Bランプ橋の設計・施工

3-1. 施工計画

早川Bランプ橋は、小田原厚木道路方面から石橋ICに向かうランプウェイにあり、湯河原・熱海方面の観光地へのアクセスルートになっていることから、休日を中心に渋滞が発生しており、週末交通開放を考慮した計画¹⁾とした。

PCaPC床版同士の接合方法をループ継手によるRC接合とする場合、間詰め部の鉄筋・型枠工が施工工程上のクリティカルとなり、昼夜間施工にて11週間を要し、場所打ち床版・壁高欄施工を加えると、通行止め規制期間が長期化する懸念があった。そこで、工程短縮対策として、PCaPC床版同士の橋軸方向にPC接合する工法を採用することで、間詰め部の施工をモルタル充填、PC鋼材の配線および緊張のみとする構造とした。また、2台のクレーンを用いた2パーティー施工とすることで、62枚の床版を平日5日間で最大10枚ずつ取り替え、施工期間を昼夜間施工の7週間に短縮することができた。

床版架設に使用するクレーンは、平日5日間の施工サイクルで施工範囲が10.5m程度となる120tクレーンを選定した。その結果、1週間に1パーティー当たり最大で床版幅2.1mの床版を5枚架設可能となった。図-4に床版取替順序と週あたりの取替枚数を示した割付図を示す。

床版取替順序については、中間支点近傍を先行施工した場合、後に施工する床版自重や施工時荷重による負曲げモーメントが作用するため、支間部から設置する順序とした。落とし込み架設となるPB-2およびPB-1支点部では、床版据付けの施工誤差を考慮して、それぞれ両端の床版を誤差吸収調整版として2.0m幅に縮小し、間詰め幅を若干広げることとした。

表-2 萬丈橋概要(下り線P17~P20を除く)

萬 丈 橋	上り線						
	㊦P19-P20	㊦P20-P21	㊦P21-P22	㊦P22-P23	㊦P23-P24	㊦P24-P25	㊦P25-P26
構造形式	鋼単純合成	鋼単純合成	鋼単純合成	鋼単純合成	鋼単純合成	鋼単純合成	鋼単純合成
主桁本数	3主鉄桁	4主鉄桁	4主鉄桁	5主→4主鉄桁	6主鉄桁+1主箱桁	8主→7主鉄桁	5主→4主鉄桁
橋長(m)	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0
支間長(m)	0.90	20.90	20.90	20.90	20.90	20.90	20.90
床 版	RC→PC	RC+増厚	RC→PC	RC+増厚	RC→PC	RC→PC	RC→PC

萬 丈 橋	下り線				上下線		
	㊦P20-P21	㊦P21-P22	㊦P22-P23	㊦P23-P24	㊦P24-P31	㊦P35-P36	㊦P35-P36
構造形式	鋼単純合成	鋼単純合成	鋼単純合成	鋼単純合成	鋼単純合成	鋼単純合成	鋼単純合成
主桁本数	2主箱桁	4主鉄桁	5主鉄桁	6主鉄桁	3主鉄桁	3主鉄桁	3主鉄桁+1箱桁→4主鉄桁
橋長(m)	51.1	40.0	34.0	35.0	35.0	35.0	35.0
支間長(m)	50.9	39.9	33.9	34.9	34.9	34.9	34.9
床 版	RC→PC	RC+増厚	RC→PC	RC+増厚	RC→PC	RC→PC	RC→PC

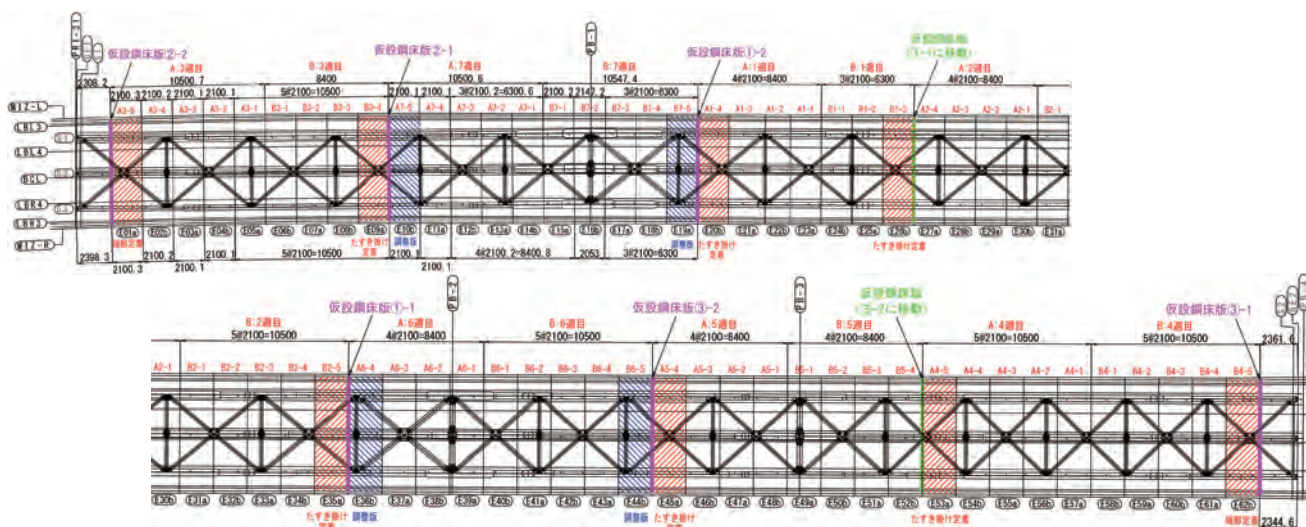


図-4 早川Bランプ橋床版割付(A、Bはパーティ名)

週末交通開放時、既設床版と新設床版の施工境界部に生じる遊間を仮覆工する必要があったため、本橋では車両通行による荷重を確実に支持できる仮設鋼床版を採用した。仮設鋼床版の固定は図-5のように、山形鋼を用いた鋼桁とのずれ止めに加え、ねじ式クランプおよび帯ワイヤーによる鋼桁との固定や樹脂アンカーによる既設床版との固定を行うことで、鋼床版のずれによる舗装ひび割れを生じさせない計画とした。

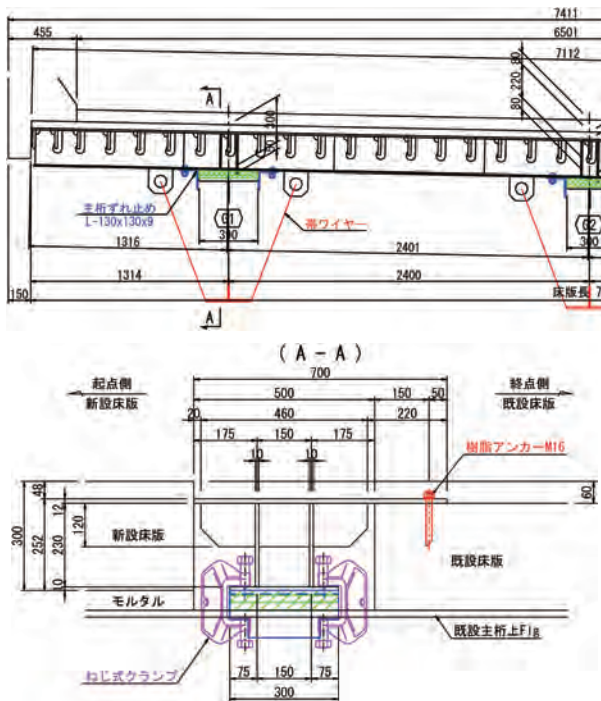


図-5 仮設鋼床版固定方法

3-2. 詳細設計

(1) PCaPC床版

週末交通開放を行うには、間詰め部のモルタル充填後、即日の緊張作業を行う必要があるため、1時間で圧縮強度30N/mm²を発現可能な超速硬化高強度無収縮モルタルを使用し緊張強度を確保した。また版下モルタルおよびスタッド孔の後埋めモルタルについては緊張後の充填となるが、翌日には交通開放可能な強度を確保する必要があるため、同様の超速硬化無収縮モルタルを使用した。

週末交通開放を行うには、平日5日間の施工サイクルごとに緊張を行う必要があるため、たすき掛け版を採用した。図-6に示すように緊張作業空間をPCaPC床版下面側にすることで、既設床版および新設床版と隣接した状態での緊張を可能とした。その際にはPCaPC床版下面側の定着突起が鋼桁部材と干渉しないように、対傾構上の配置を避けるとともに、対傾構から緊張作業空間分の離隔を確保した。

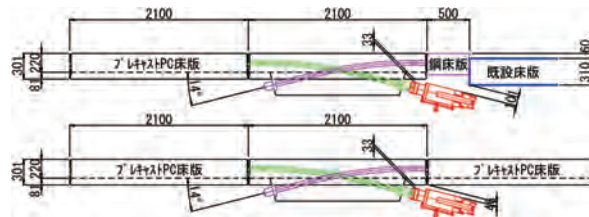


図-6 緊張作業空間

PC鋼材本数を決定するにあたり、本橋では床版橋軸方向の引張応力度制限値に対して、床版作用のみを考慮する主方向支間部ではフルプレストレスとし、床版作用と主桁作用を重ね合わせる中間支間部では曲げひび割れを発生させない制限値とした。その結果、主方向支間部にて1S28.6が10本、中間支間部にて14本必要となった。図-7に最大14本配置となった中間支間部を示す。

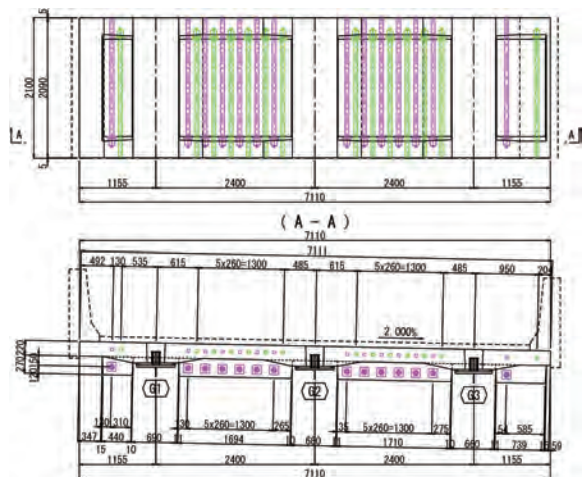


図-7 橋軸方向PC鋼材配置

(2) 桁補強概要

早川Bランプ橋は非合成桁設計であったため、床版取替時の重機荷重に対する主桁の耐力は十分であった。しかし、完成系において非合成桁のままではB活荷重に対して応力超過が発生し、桁補強が広範囲に必要となったため、床版取替後は合成桁として設計することとした。また、床版に橋軸方向PCを配置することから主桁作用との重ね合わせ時にも床版にひび割れを発生させない状態(表-3におけるランクBの状態)が期待できるため、中間支点上の断面照査でも床版コンクリート断面を有効とすることで、主桁補強量を更に低減することができた。

表-3 中間支点上の床版設計ランク²⁾

ランク	プレストレス (PS)	荷 重						要求性能
		死荷重	PS	クリープ	乾燥収縮	温度差	活荷重	
A	フルPS	○	○	○	○	○	○	引張応力を許さない
B		○	○	○	○	○	○	ひび割れを許さない
C	パーシャルPS	○	○	○	○	△	△	引張応力を許さない
D		○	○	○	○	△	△	ひび割れを許さない
E	PSなし	△	-	△	△	△	△	ひび割れ幅を制限

注) 1. ○印の組合せにおいて、各制限を満足させる。
2. △印の組合せにおいて、ひび割れ幅制限を行う。
3. プレストレス (PS) は支点上のジャッキアップダウンによるプレストレスを示す。

前述のとおり施工中は部分的に床版を取り替えながら交通一時解放するため、床版取替済みの合成桁部と既設の非合成桁部が同一橋梁に混在することになる。合成桁断面については完成系での照査を行っているため、応力上問題となることはないが、非合成桁として活荷重満載にて照査した場合は前述のとおり許容応力度に対して応力超過が発生する。この超過に対する補強を行うことも考えられたが、施工中のみの一時的な補強となるため、交通一時解放時の車両走行範囲に制約を設けることで活荷重による発生応力を低減する案を検討した。その結果、図-8のような規制条件下では許容応力度以下に抑えられることが確認できたため、補強量を低減する合理的な設計施工方法として本規制案を採用した。

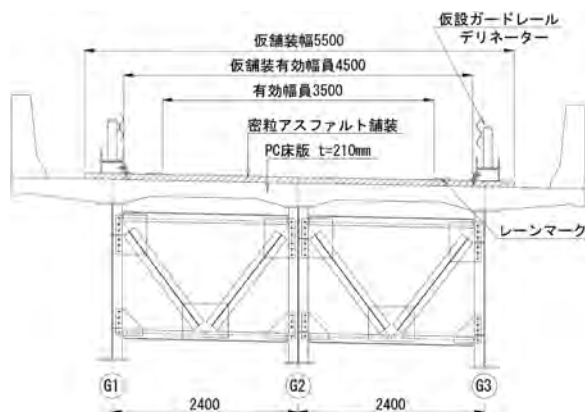


図-8 交通一時解放時の車線規制

床版取替時の重機選定の結果、主桁間隔を超えて張り出し床版側にアウトリガーを配置する必要があることがあった。既設RC床版に対してこの位置で載荷した場合、許容値を超過したため、張り出し床版部の支持材として仮設ブラケットを設置した。このブラケットはクレーン配置に合わせて設置位置を計画したが、部材を転用することで仮設材の製作数量を低減し、床版取替完了後には撤去した。

3-3. 施工概要

(1) 実際の施工条件と施工サイクル

工事契約後の規制協議において、通行止め規制による施工も可能となったが、施工方法の大幅な変更は詳細設計のやり直しとなるため、計画通りの施工サイクルで工事を進めることとした。ただし、ゴールデンウィーク期間のみ一時的に交通開放するよう集中工事工程を見直し、4月は1～3週目の床版取替を、5月以降に4～7週目の床版取替と場所打ち床版の施工を行った。写真-2にPCaPC床版架設状況を示す。



写真-2 早川Bランプ橋PCaPC床版架設状況

4. 萬丈橋の設計・施工

4-1. 施工計画

(1) 新規床版取替機を用いた床版取替計画

萬丈橋下り線P19-P21の2径間の上空に早川A、Bランプ橋が架橋されており、上空制限が約5mとなっている。そのため、この区間の床版取替を行うには標準的なクレーンによる工法が適用できず、床版取替機を使用した施工が必要であった。しかし、川端高架橋床版取替工事受注当時にIIKが保留していた床版取替機は、機高7.0mと高く、当該径間で使用することは困難であったことから、本橋の現場条件下で使用可能な床版取替機の新規開発を行う方針とした。

当該径間は2主箱桁橋で、全ての既設床版撤去後に箱桁上面の内面仕様の塗替塗装を行い、その後PCaPC床版の架設となる工程であった。そのため、床版取替機としては1枚ずつ架設することができ、箱桁ウェブ上に設置した軌条を走行する構造とすることが可能であった。これらの条件にて機高を抑えた床版取替機「スフィンクス」(写真-3参照)を開発し、本工事に適用した。

(2) 幅広幅員に対する分割施工計画

上り線P24-P25、上下線P35-P36においては、床版取替後の総幅員が最大19.5m程度となり、床版重量が昼間に運搬可能な20tを超えることになった。夜間運搬限定となると、集中工事での施工工程に支障が出ることから、床版を分割することで昼間運搬にて計画した。

上り線P24-P25では分岐部にマウントアップを設置することで本線側とONランプ側の車線を完全に分断して、幅員分割目地部に輪荷重が載らない状態とした。一方の上下線P35-P36

(図-9)に床版取替前の断面図を示す)では幅員分割目地部を中央分離帯の直下に設定した。いずれも目地部の直上に輪荷重の載荷がないことから、接合構造はPC構造ではなく、Dエッジ鉄筋継手(端部を半楕円状に拡径加工し、接合部に生じる応力を直線部の付着力と拡径部の支圧力で受け持たせることで、重ね継手長を短縮させたRC継手)を用いたRC構造を採用した。

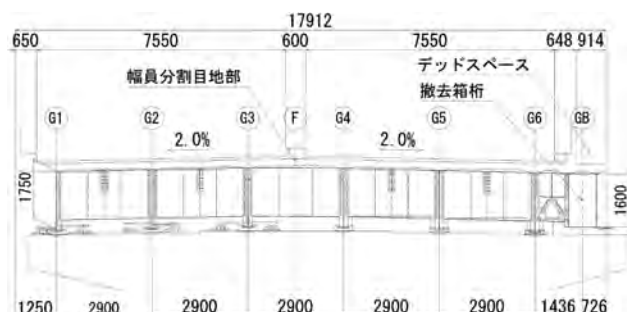


図-9 上下線P35-P36の床版取替前断面

(3) 道路幅員変更への対応

萬丈橋上下線P35-P36には、改築工事後の車線変更により生じたデッドスペースが存在していた(図-9参照)。これをなくすことは、PCaPC床版の面積、施工費、維持管理範囲の縮減に繋がる。当該部は改築工事にて追加された上り線側の箱桁部直上であったことから、箱桁を鉋桁に取り替え同スペースを削除した。

主桁取替は既設床版を撤去してからの施工であり、集中工事中に行う必要があった。また、橋梁下には市道がありバントの設置が困難であったため、一括撤去した既設箱桁の切断および一括架設する新設主桁の接合は既設床版上で行う計画とした。また、施工用のクレーンは250tオールテレーンクレーンとし、作業半径が小さくなるように下り線側に配置する計画とした。

(4) 防錆対策

早川ランプ橋および萬丈橋は、海岸線近傍の塩害地域である。床版厚は、鉄筋コンクリート構造の間詰め部のかぶり厚で決まるため、ループ筋D19の場合、塩害対策区分S、I、IIともにかぶり70mmで床版厚275mmとなり、塩害対策区分Ⅲではかぶり60mmで床版厚255mmとなる。既設床版厚が190mmの橋梁もある中で新設床版厚を275mmに増厚することは、死荷重増加による主桁や下部工に与える影響が非常に大きいことが懸念された。そこで、床版上面・下面ともに塩化物イオンの浸透に対して拡散方程式による照査を行った上で、橋軸直角方向鉄筋をエポキシ樹脂塗装鉄筋に、橋軸直角方向PC鋼材をエポキシ樹脂被覆PC鋼材にすることで、床版厚を標準値の220mmに抑えることとした。

鋼部材の塩害対策は、対策範囲を海岸線から200m以内とし、1連の橋梁の場合は、200m以内となる箇所が一部であれば全てを対策範囲とした。対策の内容は、新設検査路など適用可能な部材はアルミニウム合金とし、その他のめっき部材は防食性の高い溶融亜鉛アルミニウム合金めっきを採用した。また、塗替塗装への対策としては、旧塗膜除去後に鋼材表面の付着塩分量を測定し、一定値以上の塩分が付着している箇所は水洗いによる残存塩分の除去を行う計画とした。

4-2. 詳細設計

(1) PCaPC床版

連続合成桁の場合、設計要領第二集[橋梁保全編]において、中間支点付近の引張応力を受ける床版の橋軸方向鉄筋量は、コンクリート断面積の2%以上と記述されている。橋軸方向のループ鉄筋の配置間隔はパイプリータ挿入スペース確保のため150mmにする必要があり、コンクリート断面積の2%以上の鉄筋量とするためには、ループ鉄筋径をD19からD22にランクアップすることとなり、必要曲げ直径の計算から床版厚を220mmから240mmに増厚する必要があった。そこで、対象となる下り線P17-P20の床版厚の増厚を避けるために、中間支点部の橋軸方向継手にループ鉄筋ではなく、前述のDエッジ鉄筋継手(継手長15D、D:鉄筋径)を適用することで床版厚を220mm一定とした。

上り線P24-P25、上下線P35-P36は幅員分割目地部に於いてDエッジ鉄筋継手を用いた。幅員方向に用いる際は継手長が12Dのため、重ね継手(30D)を用いた場合に比べて場所打ちの目地幅を縮小することができた。

(2) 主桁補強概要

上下線P35-P36では上下線を分割した片側交通解放下での床版取替施工および一部主桁の取替施工があったため、主桁照査ではそれらの施工状況を再現したステップ解析を行った。各ステップにおける各部材の照査を行うことで、許容値を超過する箇所を特定し、効果的な補強となるように補強材を設置するタイミングを考慮した設計も行った。また上下線の分割位置では、仮縦桁を設置することで床版取替施工中の床版応力超過を解消した。

上下線を分割施工としたことで、床版取替中の上下線間の剛性や荷重状態が大きく変化し、荷重分配横桁へ作用する断面力が一時的に大きくなるステップがあることが判明し、荷重分配横桁の補強が必要となった。ウェブに取り付けるT型のフランジ補強のみでは、この応力超過を解消することが困難だったため、部分的に横桁下フランジ下側に増設桁を設置して断面剛性を大きくすることで応力の低減を行った。図-10に荷重分配横桁補強図を示す。

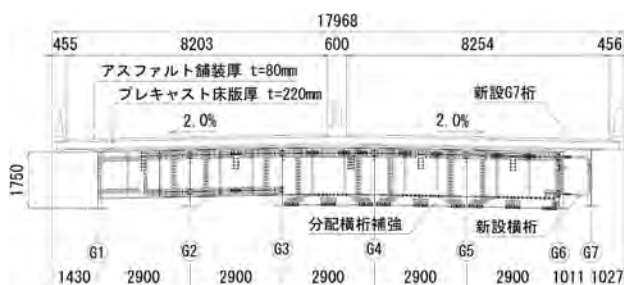


図-10 荷重分配横桁の補強

下り線P20-P21は、鋼単純合成2主桁橋で上下フランジ厚が薄い構造であったことから、現況状態での応力超過が他橋と比較しても大きく、床版撤去時の応力超過が著しく大きくなる橋梁であった。そのため、床版取替のための事前対策が必要となったが、床版撤去前に桁補強を行っても著しい改善は得られないことから、支間部にバントを設置して、ジャッキアップによ

る荷重コントロールを行いながら床版取替および桁補強を行う工法を採用した。設計にあたっては、各施工ステップにおけるベント支持状態でのジャッキアップ量や反力調整を解析に考慮しながら床版撤去を安全に行えるように照査を行った。通常、桁補強部材は、既設桁本体分の荷重が載荷された状態で設置することになるため、既設桁の自重分を負担することはできない。しかし、ベントを利用したジャッキアップにより既設桁本体荷重を一時的に開放し、その状態で補強部材を取り付け、ジャッキダウンにより、補強部材にも既設本体荷重を一部負担させるようにして、既設部材の発生応力を更に低減させることが出来た。その他、フランジの許容応力度の低減を小さくするために追加の縦リブを設置し、既設縦リブの剛度不足のための当て板補強なども行った。図-11に主桁に対する補強詳細を示す。

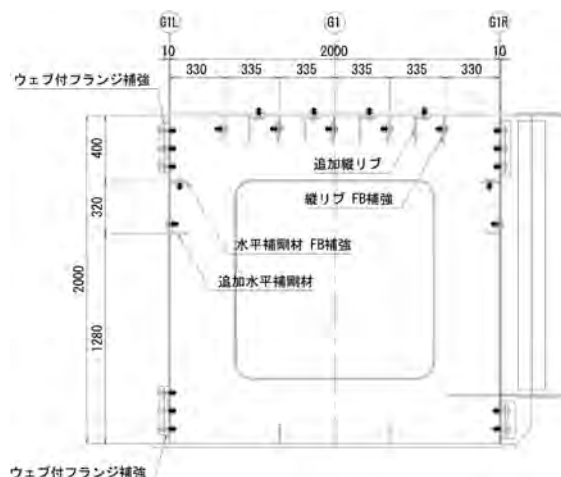


図-11 桁補強標準断面

4-3. 施工概要

(1) 上空制限下での床版取替施工

床版取替機スフィンクスは、小田原市内のPCaPC床版事前施工ヤードにおいて、実際の縦横断勾配でも走行可能であることを確認するための試験施工を行った。スフィンクスを用いた施工箇所は平面曲率150mにすり付く区間であったため、1本あたりの長さ2mの軌条をつなぎ合わせて箱桁ウェブ上に設置して対応した。スフィンクスによる床版取替状況を写真-3に示す。架設箇所とPCaPC床版荷取り箇所の移動距離にもよるが、最大5枚/日の施工能力であった。



写真-3 スフィンクスの床版取替状況

P19-P20は非合成箱桁橋の一部であり、既設のずれ止めがスラブアンカーであったことから、スフィンクスの吊り金具に床版剥離機の機能を付加して全断面で既設床版を剥離して撤去した。一方のP20-P21は合成箱桁で剥離機による撤去が困難であり、上空制限下で施工するため、13tラフタークレーンを使用して小割の吊り切り撤去を行った。写真-4に既設床版撤去状況を示す。



写真-4 既設床版撤去状況

(2) プレキャスト壁高欄施工

上下線P35-P36では、工程短縮を目的としてプレキャスト壁高欄であるDAK式壁高欄を採用した。工場および仮置きヤードにおいて水切りまで一体化したPCaPC床版を製作し、橋軸方向の床版相互をPC接合とすることで、架設完了した床版上から壁高欄の建込みを行った。

場所打ち床版部では横締め定着部を切り欠いた状態で壁高欄を横締め緊張前に設置していくことにより、壁高欄コンクリート打設までの工程を1日短縮した。また、壁高欄コンクリートの現場打設範囲が、伸縮部と床版改良部のみとなり、壁高欄脱型と遮音壁等の設置を並行作業できることから、雑工完了までの工程をさらに1日短縮できた。

なお、上り線においては、平面線形に対応するため1ブロック長が2mで下り線側の約半分の長さであった。高さ調整ボルトは両端部の設置で共通のため、1本当りに作用する荷重が減少して摩擦が少なくなり、壁高欄ブロックが滑動しやすくなったため位置調整に苦勞し、想定外に時間を要した。小分割する際には今後注意が必要である。写真-5にDAK式壁高欄架設状況を示す。

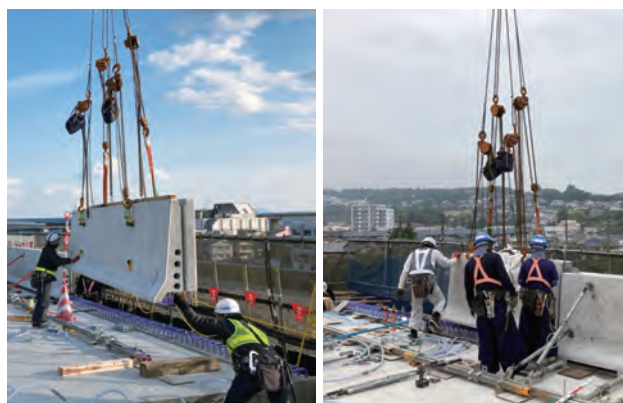


写真-5 DAK式壁高欄架設状況(左:4mタイプ、右:2mタイプ)

(3) 主桁取替施工

2022年春施工の集中工事にて4-1.(3)で述べた主桁取替を施工した。新主桁用の支承は、集中工事での短時間で支承取替が困難であったことから、仮のゴム支承を設置にて対応した。既設箱桁撤去、新主桁架設は同一のクレーンで一括架設した。写真-6に新主桁架設状況を示す。

新主桁は約5°の角度を有する折れ桁であったため、回転調整用のワイヤーを配置して鉛直状態で主桁を吊り上げて安定した状態で架設した。支承上への設置後は横桁にて仮止めすることで回転防止対策とした。なお、この箇所の横桁は、隣接する既設主桁の床版撤去によるキャンパー誤差が大きくなることを懸念し、床版撤去後に位置確認をしてからボルト孔をあけて取り付けることとしていた。結果として設計値に近いキャンパーであったため、ほぼ設計位置でのボルト取り合いで問題なく施工することができた。



写真-6 新主桁架設状況

(4) 飛来塩分対策

既設桁に残存している塩分量の調査は、旧塗膜剥離後に行った。付着塩分量の測定方法は、電気伝導度法にて行い、50mg/m²以上の箇所は塩分除去を行うこととした。

測定した結果、萬丈橋下り線P17-P20は付着塩分量が規格値を大幅に超えていた。特にP17-P19の海岸に近い箇所に付着塩分量が多かった。

付着塩分除去は、高圧洗浄機(水量13.3L/分以上かつ圧力13Mpa以上)を用いて水洗いにて除去することとし、詳細な方法を定めるため、試験面積50×50cm程度にて試験施工を行った。試験から得られた水温と洗浄時間による除去量の関係を表-4、表-5に示す。

表-4 常温水と温水及び洗浄時間による除去率

洗浄時間 (秒)	洗浄水量 (L)	洗浄前a 付着塩分濃度 (mg/m ²)	洗浄後b 付着塩分濃度 (mg/m ²)	除去量c=a-b 付着塩分濃度 (mg/m ²)	除去率c/a 付着塩分濃度 (%)	平均
常温水	3秒	0.36	72.0	40.9	31.1	43.2%
	6秒	0.72	108.1	37.9	70.2	64.9%
	8秒	0.96	190.5	65.5	125.0	65.6%
温水	3秒	0.36	96.9	43.4	53.5	55.2%
	6秒	0.72	147.2	77.9	69.3	47.1%
	8秒	0.96	154.3	61.2	93.1	60.3%

表-5 洗浄時間と付着塩分量の推移

洗浄時間 (秒)	洗浄水量 (L)	洗浄前a 付着塩分濃度 (mg/m ²)	洗浄後b 付着塩分濃度 (mg/m ²)	除去量c=a-b 付着塩分濃度 (mg/m ²)	除去量累計 付着塩分濃度 (mg/m ²)
常温水	5秒	0.	156.6	94.4	62.2
	10秒	1.2	94.4	58.0	36.4
	15秒	1.8	58.0	38.3	19.7
	20秒	2.4	38.3	10.3	28.0

これらの結果から、水温による差異はないと判断して常温水を使用することとし、部位毎の付着塩分量と洗浄時間の設定を行ったのち、各区画において洗浄時間及び洗いムラがないかを確認しながら洗浄を行った。写真-7に水洗い状況を示す。



写真-7 水洗い状況

5. まとめ

川端高架橋に始まる基本契約方式(全5工事)の工事完了に伴い、(その2)として、萬丈橋および早川Bランプ橋の床版取替工事ならびに支承取替工事に関する工事報告をした。インターチェンジにおける交通規制や交差するランプ橋への配慮に加え、海岸部であることへの配慮、全期間中のコロナ禍対応など様々な難局を乗り越え、2017年(平成29年)8月より約7年半続いた大規模リニューアルプロジェクト工事を完成することができた。先行、IHIインフラ技報(2021年 vol.10)の(その1)を含め、本報告が今後の類似工事における設計、施工の参考となれば幸いである。

最後に、本工事の設計、施工にあたり、多くのご指導とご協力を頂いた中日本高速道路会社の方々および関係各所の皆様に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1)交通開放を考慮した床版取替工事の設計・施工-早川Bランプ橋-: 第31回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、p17-20、2022.10
- 2)財団法人 高速道路技術センター:PC床版鋼連続合成2主桁橋の設計・施工マニュアル、3.7、p52、2002.3

阪神高速16号大阪港線 阿波座付近の鋼桁大規模修繕工事

— 縦目地解消のために既設上下部工を架替え・活用した設計・施工概要 —

INOTSUME Norio
井 爪 規 夫*

TAGASHIRA Goshi
田 頭 剛 史**

IDE Hirokazu
井 手 寛 和*

WADANO Shingo
和田野 晋 悟***

TSUBOTA Shinichi
坪 田 慎 一****

NAGAYAMA Syun
永 山 隼*****

1. はじめに

阪神高速16号大阪港線西行阿波座付近(図-1)は、東大阪線および1号環状線から神戸・天保山方面へ向かう交通の合流部であり慢性的な渋滞が発生していた。その対策として1997年に3車線から4車線に拡幅している(図-2)。

その際、既設RC橋脚の耐力の懸念、街路の制約条件により、拡幅桁の支点は既設桁の支点と一致させることが困難であったため、既設橋脚間に新たに鋼製橋脚を設けて拡幅桁のみを支持した。そのため既設桁と拡幅桁は連結せず、路面は縦目地を設置して連続化させている。しかし、それぞれの桁の支点位置が異なるため、活荷重によるたわみ差が生じ、これに起因した縦目地の損傷が多く発生し、走行性への悪影響や騒音発生などが生じていた。これまで種々の対策を講じてきたが、抜本的な解決とはならなかったことから、本工事では、縦目地を撤去して床版を連続化し、縦目地損傷に起因する不具合を解消する大規模修繕工事を行うこととなった。



図-1 阿波座拡幅部位置図 (出典:阪神高速道路(株) リニューアルプロジェクトH.P)

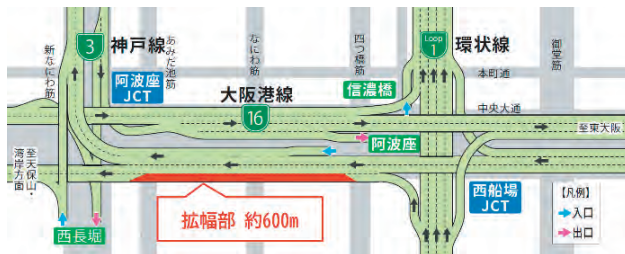


図-2 阿波座拡幅範囲図 (出典:阪神高速道路(株) リニューアルプロジェクトH.P)

本稿は縦目地解消のための大規模修繕工事に際して、都市部における高速道路供用下という制限、狭隘な施工ヤードにおいて、既設構造物の架替え、流用などを実施した工事の概要と、設計・施工に関して課題解決のために実施した工夫について報告する。

2. 橋梁概要

本工事の施工範囲は、図-3に示すように東上P-38R橋脚から東上P-54橋脚までの約600mの区間である。このうち、東上P-38R～東上P-49(以降区間①)は鋼4主連続合成鈹桁橋、東上P-49～東上P-50(以降区間②)はなにわ筋交差点上に架かるバチ形状の鋼単純2主鋼床版箱桁橋、東上P-50～東上P-54(以降区間③)は鋼3主連続合成鈹桁橋、鋼単純4主合成鈹桁橋である。

これらに並列する既設拡幅桁は、RC橋脚間に設置された逆L型の鋼製橋脚に支持される桁であり、鋼単純合成箱桁橋および鋼単純鋼床版箱桁橋である。

工事概要を以下に示す。

発 注 者: 阪神高速道路株式会社

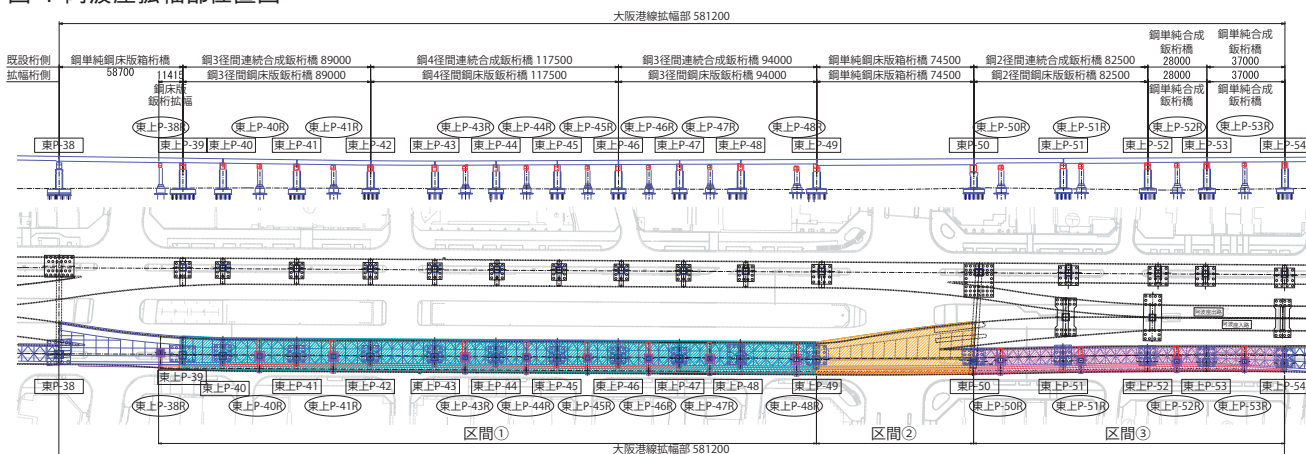


図-3 全体一般図

* (株)IHインフラシステム 橋梁技術本部 工事部 工事西第1G
** (株)IHインフラシステム 橋梁技術本部 エンジニアリング部 設計第1G
*** (株)IHインフラシステム 事業戦略本部 戦略第3部 技術第2G

**** (株)IHインフラシステム 事業戦略本部 橋梁統括部 国内プロジェクト管理G
***** (株)IHインフラシステム 橋梁技術本部 西伸部プロジェクト部

路線名：大阪府道 高速大阪東大阪線
 施工箇所：大阪市西区立売堀3丁目～阿波座2丁目付近
 工期：2020年8月29日～2025年6月30日
 橋長：区間①11.4m+89m+117.5m+94m
 区間②74.5m
 区間③82.5m+28m+37m
 幅員：区間①15.5m、区間②25.3m、区間③12.25m

3. 構造改良の検討

3-1. 設計方針

対象区間の本線部は1973年に完成した橋梁であり、当時の活荷重TL-20で設計されていることから、現行基準では耐力超過が懸念されたため、表-1に示す方針とした。

表-1 設計方針

項目	内容
応力超過	当時の鋼道路橋施工便覧の引張材は30%圧縮材は20%の超過程度では補強を行わない方が良いという記載をもとに15%超過を許容
荷重	B活荷重レーン載荷 検査路、遮音壁の実荷重を採用
地震耐	RC橋脚の負担軽減構造の採用
基礎	常時照査は満足 柱基部の耐力向上を行わない場合は照査不要

縦目地の解消においては、既設拡幅桁の掛け替えおよび改築、拡幅桁の支点位置、地震時水平力の低減に関する設計が課題となる。



写真-1 施工前 現地状況

3-2. 既設拡幅桁の架替えおよび改築の検討

縦目地損傷や騒音発生を抜本的に解消するため、縦目地撤去を前提として検討を実施した。

(1) 区間①

区間①は高速上の車線数が4車線あり、区間②、③と比較して交通影響が比較的小さいため、架替えを前提とした。

(2) 区間②

区間②については街路交差点上にあり、通行規制による社会的影響が大きいことから、既設拡幅桁を流用し、街路交通への影響低減を図った。

(3) 区間③

区間③は環状線からの合流区間であり、本線規制の影響

が非常に大きいと想定されるため、施工期間の短縮を目的に、既設拡幅桁を流用する案を3案と架替え案を検討した。

3-3. 既設拡幅桁の架替え・流用比較

区間③は環状線からの合流区間であり、本線規制の影響が非常に大きいと想定されるため、施工期間の短縮を目的に、既設拡幅桁を流用する案を3案と架替え案を検討した。

案①：横桁追加

案②：横桁追加+支点増設

案③：横桁追加+支点増設+拡幅桁改良+床版連結

架替え案：拡幅桁の撤去・新設

これらは、本線桁と拡幅桁の支点条件を合わせるために支点増設を行い、縦目地部は可能な限り解消しつつ、残さざるを得ない場合は縮小構造とする方法である。また、増設支点は、活荷重のみの分担とした。

検討の結果を以下に示す(表-2)。流用案はいずれも縦目地が残る、もしくは重量や規制の面で架替え案に劣る。

表-2 比較結果一覧

	案①	案②	案③	架替え
たわみ差	18mm	3mm	4mm	4mm
縦目地	△縮小	△縮小	○省略可	○省略可
規制期間	5.5ヶ月	7ヶ月	17.5ヶ月	16ヶ月
その他		床版NG 支承NG	桁NG 死荷重増	

工事の主たる目的である縦目地の解消が可能で、かつ、本線規制による交通影響の期間を最小にできる架替え案を採用した。

3-4. RC橋脚の拡幅による支点位置の統一

縦目地における損傷・騒音の最大の要因は、橋軸方向の支点位置が異なることにある。現況の縦目地構造を再現した格子解析によると、現況構造における最大たわみ差は約50mmであった。また同解析で支間を合わせることで、この差が3mmまで低減され、更に横桁の連結を行うことで約1mm程度まで低減されることがわかった。

以上により、図-4に示すようにRC橋脚の梁部を拡幅し、拡幅桁の支点位置を既設桁に統一することで上部工の縦目地を撤去して床版を連結する構造を基本とした。これに伴い、既設桁の死荷重に加え、これまで鋼製橋脚で支持されていた拡幅桁の死荷重も合わせてRC橋脚のみで支持することとした。

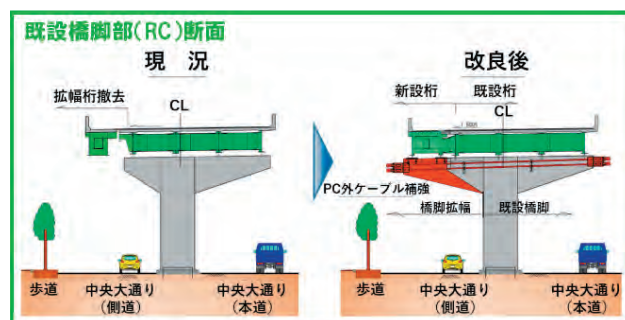


図-4 RC橋脚拡幅

3-5. 鋼製橋脚拡幅による地震時水平力の低減

支点統一により、RC橋脚の支持荷重が増加し、それに伴いRC橋脚の地震時水平力が大幅に増大する。RC橋脚だけでは耐震性の確保ができないため、既設鋼製橋脚を図-5に示す通り拡幅し、常時鉛直荷重は支持せず、地震時のみ機能する水平力分担構造を設けることで、地震時にRC橋脚に作用する水平力を軽減させ、耐震性能を確保することとした。

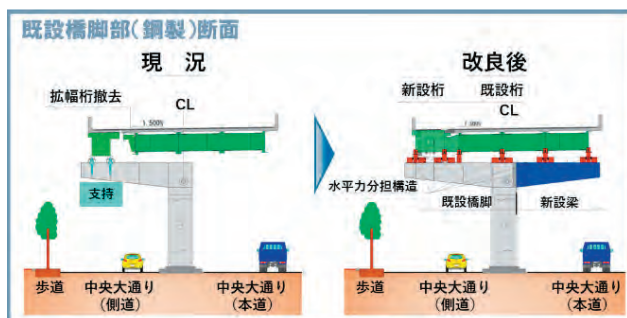


図-5 鋼製橋脚拡幅

4. RC橋脚の拡幅

4-1. 拡幅方法の比較

RC橋脚の拡幅にはRC梁と鋼製梁が考えられる。RC梁構造の場合、既設張出はりの根元断面における上側引張鉄筋の常時応力度が許容応力度を超過するため、外ケーブルによる補強が必要となった。鋼製梁の場合、既設張出はりの根元断面における上側引張鉄筋の応力度超過が原因となって、15橋脚のうち2橋脚だけが外ケーブル無しで設計可能となり、他の橋脚は外ケーブルが必要となった(図-6)。

鋼製梁による軽量化は補強および耐震上で有利になるが、上部工反力も含めた全体の地震時水平力で比較すると、大きな優位性はなかった。また、鋼製梁の製作コストが高いこと、および既設RC梁と鋼製梁との間に設ける接合部が不可視部分となって維持管理面で不利となることから、すべての橋脚をRC構造+外ケーブル形式とした。

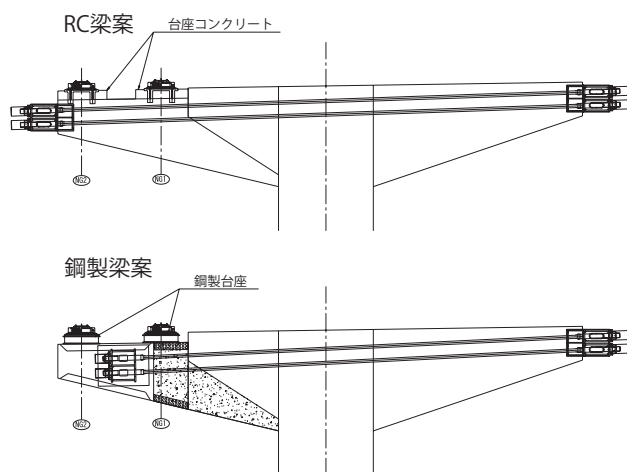


図-6 RC橋脚拡幅方法の比較検討

使用材料は、PC鋼材はSEEE工法の外ケーブルF-TS型（低リラクセーション品）を採用した。既設鉄筋と新設鉄筋との継手はエンクローズ溶接継手を採用し、土木学会「鉄筋定

着・継手指針2007版」にしたがい、突合せアーク溶接継手の信頼度はⅡ種とし、継手部における許容値は応力集中を考慮して全強の0.8倍とした。施工方法は、写真-2に示すように固定支保工一括施工とし、プレストレス導入後に支保工を撤去するものとし、プレストレス導入前の荷重作用は考慮していない。



写真-2 RC橋脚拡幅時支保工

4-2. 既設拡幅桁供用下での橋脚梁拡幅

高速道路上の規制期間を短縮し交通影響を低減するため、既設桁を撤去する前に、RC橋脚梁拡幅および鋼製橋脚の梁拡幅を行った。

しかし、RC橋脚梁拡幅施工時には、鉄筋や型枠の組立等で、既設拡幅桁が支障となり施工が困難となるため、施工スペースを確保するために梁部材は上部工の横断勾配を考慮して、拡幅桁下端よりもやや低い位置で設定し、高さ調整のための台座コンクリートを設けた(図-7)。

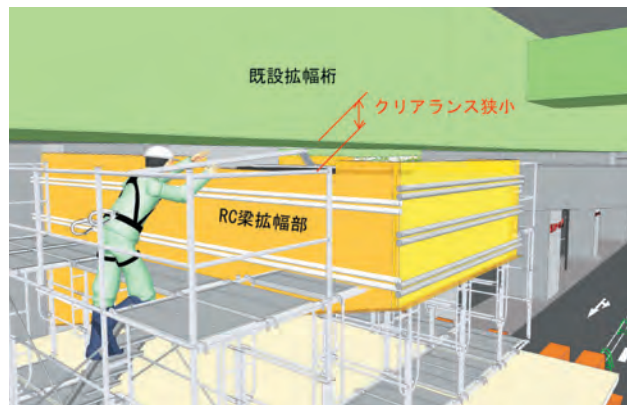


図-7 RC拡幅時の施工スペース

RC橋脚梁部の拡幅は、梁端部の鉄筋をはつり出す必要があるため、躯体への悪影響を低減し、工事振動を抑制するためウォータージェット工法を採用した。コンクリートの打ち込みは、橋脚梁部に打ち継ぐため、梁下面が狭間で締固めが困難であり、未充填箇所が発生することが懸念された。このため、ブリーディングの発生が少なく、自己充填性に優れる高流動コンクリート(27-65-20BB(膨張材入り))を採用した。また、打ち込み時には狭隘部にコンクリート充填判定装置「スカセンサー」を設置するとともに、一部に透明型枠を採用し充填確認を実施した(図-8)。

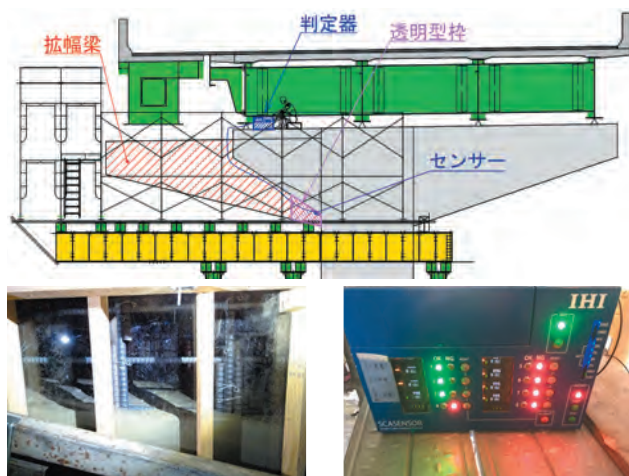


図-8 コンクリートの充填確認

4-3. PC外ケーブルの設置・緊張

RC梁の曲げ耐力を補完するために設置するPC外ケーブルの設置状況を、図-9、写真-3に示す。建物が近接するため、PCケーブルとワイヤーロープを接続し、クレーンで吊り上げたケーブルをウィンチ・クレーンで巻き取り、定着装置まで引き込みを行った。引き込み時はローラーコンベアを架台上に設置し、施工性を向上させた。

緊張作業は片引きとし、ケーブル4本の緊張速度の違いにより橋脚への偏心力が発生しないように4連式油圧ポンプ1台にて4本同時に緊張した。また、油圧ジャッキの圧力を5MPa毎に加圧させ、ケーブルの伸び量を管理しながら約2,750kN/本のプレストレスを導入した。

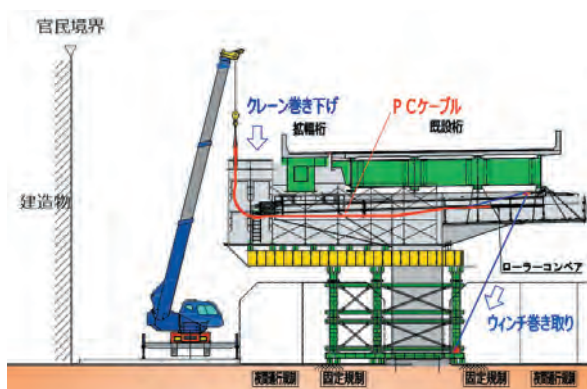


図-9 PC外ケーブル設置状況

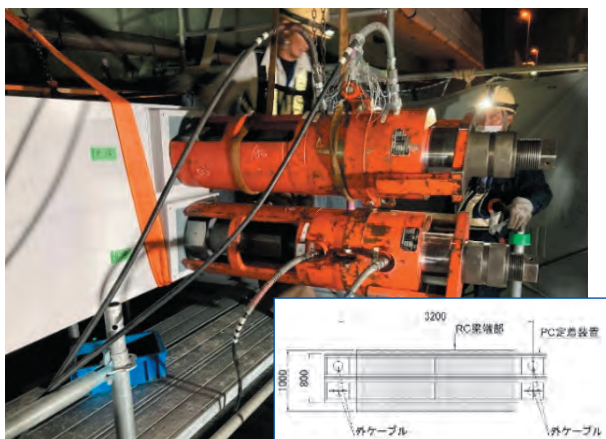


写真-3 PC外ケーブル緊張状況

5. 鋼製橋脚の拡幅

逆L字型の既設鋼製橋脚を拡幅してT字型とすることで、全ての桁が地震時の水平力を分担して抵抗できるようにした。鋼製橋脚梁の架設時は、上部工による空頭制限がありクレーン架設が困難なため、多軸台車上にテーブルリフトを設置したリフトアップ架設を実施した。夜間通行規制での作業のため、既設橋脚との添接作業に時間制約があった。調整作業に時間を要した場合、交通規制の開放が遅延する懸念があることから、拡幅梁を仕口部と拡幅梁部で2分割し、それぞれ多軸台車で別の日に夜間架設した。(図-10)

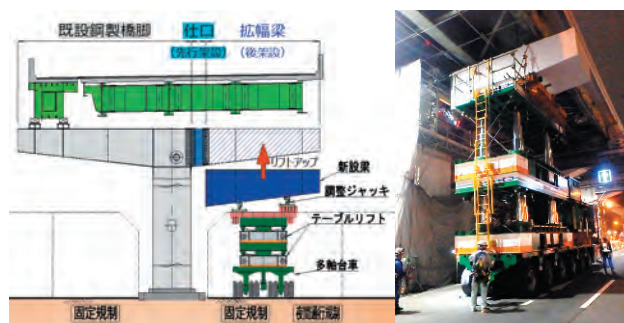


図-10 拡幅梁架設

5-1. 支圧接合用高力ボルト

既設脚のやせ馬や腐食、変形、傷等により、摩擦接合が適さないと考え、支圧接合用高力ボルトを採用した。しかし、支圧接合の場合、ボルト挿入時の打ち込みによる騒音が懸念であった。そこで、事前に支圧接合用高力ボルト挿入時の騒音試験を行い、施工計画に反映させることとした。(写真-4)

試験結果は環境音70dBに対し、打ち込み+10dB、アトラ+10dB、ドリフトピン+40dB、インパクト+30dB、エスパーピン+20dB、リーマ+30dB程度であった。

以上より、支圧接合用高力ボルトは現場あてもみ+エスパーピンを採用し、騒音発生を極力低減することとした。



写真-4 騒音試験

5-2. 水平力分担構造

鋼製橋脚上での水平力の分担は、図-11のように橋軸方向、橋軸直角方向ともに固定するブラケットを設けて地震時の水平力を負担する構造とした。

既設桁の撤去と、梁の拡幅で鋼製橋脚が変形するため、水平力分担構造は、拡幅桁の撤去および拡幅梁架設後に計測を行い、ブラケットの製作に反映させた。

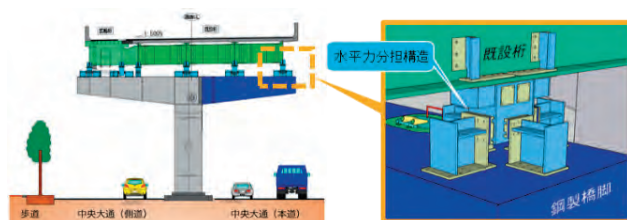


図-11 水平力分担構造

6. 上部工改築

縦目地解消のために、区間①・区間③の拡幅桁は撤去し、新設桁に架替え、支点位置を統一することでたわみ差を解消し、床版を連続化させる。区間②は交通量の多い交差点上にあり、桁の架替えに伴う交通規制は社会的影響が非常に大きい。そこで、当該区間だけは桁を架替えせず、既設桁を流用して支点位置を統一する構造に改造することで、一般道路への交通影響を最小限に抑えた。

6-1. 架替え部(区間①・区間③)

6-1-1. 床版形式

上部工の概略設計結果から、RC床版では常時で杭基礎の支持力が超過する結果となり、上部工質量を極力減らす必要があったため鋼床版を採用した。

これは、既設本線桁を支持するRC橋脚が、街路中央分離帯との位置関係から、杭基礎配置が柱に対し偏心しているためであり、新設桁の荷重で、柱の偏心曲げモーメントは小さくなるものの、RC床版の場合では杭基礎における支持力が偏るからである。(図-12)

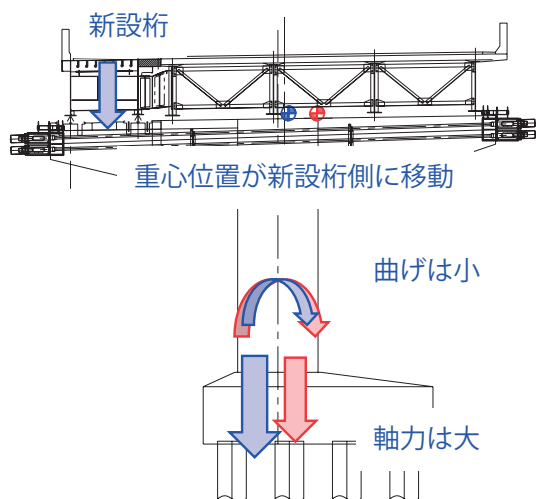


図-12 RC橋脚の偏心量

鋼床版の採用について、車線の輪荷重載荷位置を避けて桁を配置し、横リブ縦リブの交差部はスカラップの溶接仕上げを行い、疲労耐久性に配慮した。

6-1-2. 既設拡幅桁の撤去

既設拡幅桁は拡幅したRC橋脚を仮受け点として利用し、ガス切断およびボルトの撤去により、高架上で15t～45tの部材に分割してクレーンにて撤去した。撤去作業は夜間に中央大通側道(撤去桁下の街路)を通行止めにして作業ヤードを確

保し、220t吊オールテレーンクレーン(以下220t吊A/C)を用いて路下に吊り下ろした(写真-5)。橋脚拡幅同様に空頭制限があるため、横取り設備、多軸台車を使用して高架下に仮置きし(写真-6、7)、トレーラーで運搬できる大きさに切断解体したのちに搬出した。



写真-5 既設拡幅桁撤去



写真-6 横取りによる仮置き



写真-7 多軸台車による仮置き

6-1-3. 新設拡幅桁の架設

新設拡幅桁は、撤去した既設拡幅桁の搬出後、高架下で地組立を実施し、220tA/Cで架設した。

架設箇所の直近に地組スペースを確保できる範囲は、撤去と同様に横取り設備を設けた。夜間に高架下へ横取りして側道を開放し、夜間架設時にふたたび側道へ横取りしてから架設した(図-13、写真-8)。交差点上など一部の範囲では、スペース確保のため、多軸台車で運搬も実施した(写真-9)。

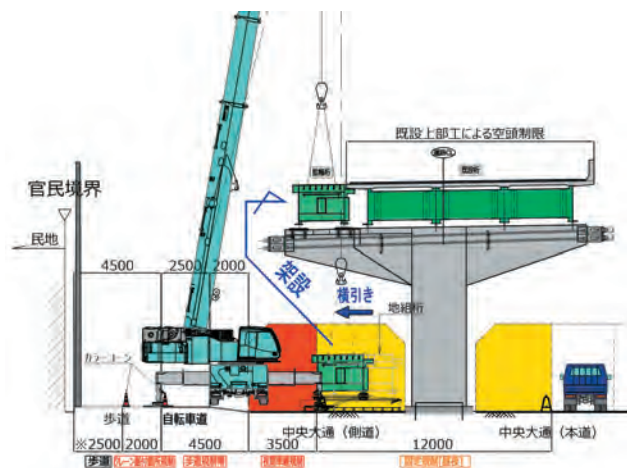


図-13 新設拡幅桁架設断面図

ビニロン繊維を混入した短繊維コンクリートとし、ひび割れ幅の低減を図った。

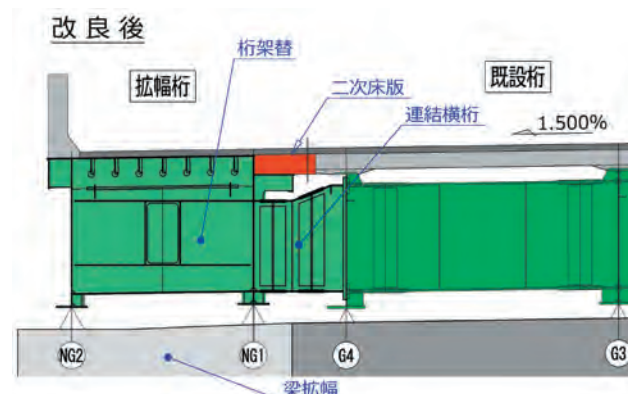


図-14 改良後断面



写真-8 220t吊A/Cによる架設

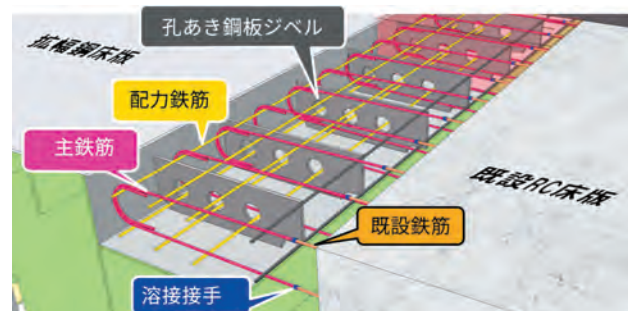


図-15 二次床版構造



写真-9 多軸台車による架設桁の運搬



写真-10 二次床版コンクリート打ち込み

6-1-4. 床版連結

新設する鋼床版とRC床版の接続部(以下、二次床版という)は、図-14、図-15に示すように、孔明き鋼板ジベルによる複合構造とした。

既設RC床版の端部を全長にわたって100mmはつり出し、主鉄筋をエンクローズ溶接により接合し延長した。

また、二次床版と鋼床版の界面のはく離防止のため、側面に頭付きスタッドを施工した。二次床版のコンクリートは、供用路線からの振動による有害なひび割れを防止するため、

6-1-5. 橋面舗装

二次床版は横断方向には約800mmの範囲である。基層の継ぎ目を多くすることは維持管理上望ましくないことから、床版施工後に舗装を行う方法に変更し、基層は鋼床版上面のグースアスファルトを二次床版上まで延長し、一体で施工した。二次床版のコンクリートに対し、グースアスファルトの舗設温度が高温であるため、プリスタリングの懸念がある。また、異種床版の接合部分であり維持管理上耐久性が求められることから、対流動性・ひび割れ抵抗性を向上し、舗設温度の低い高耐久グースアスファルト混合物を使用した。施工時、一部にプリスタリングが発生したが、発生箇所は目視で数か所程度であり早急に処理することで良好に仕上げる事ができた。



図-16 拡幅部の舗装構成



写真-11 基層グースAs舗設

6-1-6. 新設桁の製作

直線桁で支間長が短いことから鋸桁を選定し、既設桁との剛度差が小さくなるよう、桁高を確保した。また、既設桁への影響を確認するため、既設桁の工事履歴を考慮したステップ解析を行い、既設桁の応力上問題ないことを確認した。

また、既設桁は過年度の工事や変形の影響を受けているためか、路面高さが低いことが計測して判明した。新設の鋼床版を設計値通り据えてしまうと、舗装厚および横断勾配を確保できなくなるため、エレベーションを格点ごとに計測し、新設桁を低く据えることで舗装厚を確保した。既設桁の通りおよびエレベーションを反映して横桁の製作に対応した。

6-2. 桁流用部(区間②)

区間②は、拡幅桁・本線桁ともに支間の比較的に長い鋼床版箱桁であり、拡幅桁は支間長約96mの1主箱桁、本線桁は支間長約73.5mの曲線と斜角を有する2主箱桁である。異なる支間を有する拡幅桁と本線桁とが、支間中央で3本の横桁で連結されている構造であった(図-17)。

本線桁の支間に合わせ拡幅桁を切断して流用し、東上-49と東-50に新たな支点を構築した。既設の縦目地は全て撤去し、既設同士の間を落とし込む鋼床版を施工した。既設拡幅桁は、残キャンバーにより高低差が生じるため、連結部の鋼床版を横断方向に折り曲げて接続した。さらに、全格点で横桁を連結し、双方の桁を一体化させて縦目地を解消した。

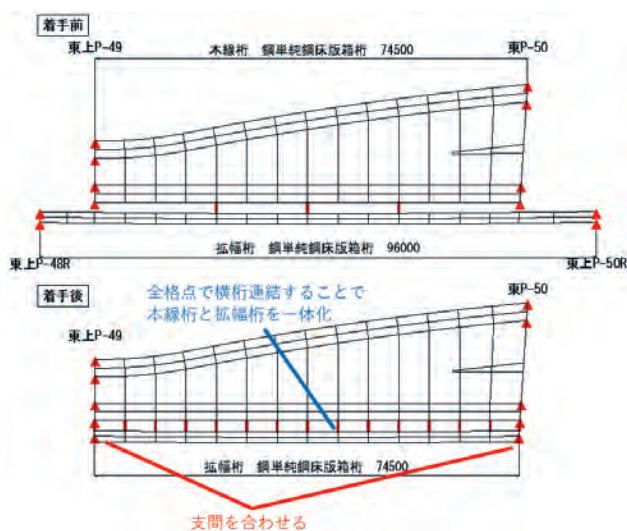


図-17 区間②一般図

6-2-1. 流用する拡幅桁のキャンバー調整

拡幅桁には製作キャンバーが設けられており、桁切断後は支間長が短くなるため、既設拡幅桁のキャンバー(図-18 A、B)に対して、死荷重たわみ(図-18 C)が小さくなり、結果としてキャンバーが残る。(図-18 D)格子解析の結果より、最大約180mmの高低差が両者の桁で発生することが分かった。これを解消するために、支間中央で高さを合わせ、支点位置で拡幅桁を下げ、高さの差分だけ舗装厚で調整する構造とした。また、連結部は既設桁同士をつなぐ鋼床版のため、それぞれの既設添接孔位置および横リブ間隔で3次元座標を計測し、製作に反映した。

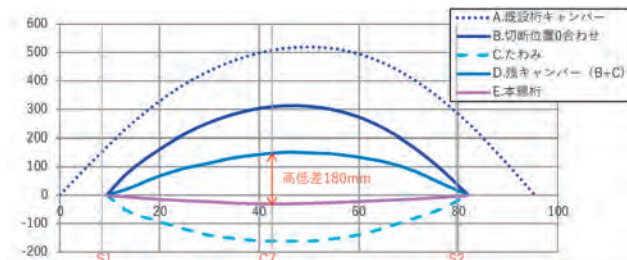


図-18 残キャンバー

6-2-2. 施工ステップ

拡幅桁は支間が短くなった分、応力に余裕ができるため、できるだけ本線桁に負担させないような施工ステップとした。具体的には、壁高欄・軌条設備や支点補強による荷重は横桁連結前に拡幅桁に載荷し、連結後の後死荷重による本線桁の負担を減らし、残キャンバーが小さくなるようなステップとした。(図-19)

また、実施工では残キャンバーが解析値と異なることが予想できたため、以下の方針とした。

表-3 残キャンバーへの対応

残キャンバー	対応策
小さい場合	支点部に嵩上げが必要となる →モルタルや調整PLで高さ調節
大きい場合	支点部を下げる必要があるが、橋脚を拡幅済みのため下げられない →拡幅桁にカウンターウェイトを載荷し、残キャンバーを小さくする

設計段階では、残キャンバーが大きくなり支点を下げられないリスクに対応するため、解析上で500kNの荷重を載荷した場合と載荷しない場合で設計を行った。カウンターウェイトは拡幅桁の許容応力度内である50mm分(500kN)を最大として見込んだ。

これにより、既設桁にキャンバー誤差があったとしても、解析値で想定していた高さに合わせて施工できるように工夫した。

	モデル図	荷重・荷重状況と概要
再現+規制		【現況】 鋼床版 鋼重 料金所 舗装 遮音壁 検査路 鋼製壁高欄 【本工事】 ・仮設防護欄 ・足場 → 拡幅部撤去 → 撤去 → 撤去 → 撤去 → 縦目地撤去 ・横桁撤去
桁分離 桁切断		本線桁への負担を減らすため 横桁連結前に下記を載荷する。 ・RC壁高欄 ・軌条設備 ・横桁 ・支間中央に500kNを載荷
横桁連結		・検査路 ・中鋼床版 ・拡幅部舗装 ・足場撤去 ・仮設防護欄撤去 ・支間中央に500kNを除荷

図-19 解析ステップ

6-2-3. 連結鋼床版の架設

本線桁と拡幅桁のキャンバー差による高低差をすりつけるために、折り曲げた鋼床版を落とし込み架設する。鋼床版は幹線道路の交差点上となり、作業半径と吊り上げ重量の制約から、街路へクレーンを据え付けての架設が困難であり、橋上に軌条設備を設置し、写真-12に示すようにクレーン台車により架設を実施した。



写真-12 橋上クレーン台車

6-2-4. 調整コンクリート

区間②の舗装は表層で40mm、基層で最大約160mmとなるが、鋼床版で使用するグースアスファルトは可撓性が高いため、舗装厚が厚くなると轍掘れが懸念される。

そこで本区間では、舗装厚が120mmを超える範囲につ

いて、鋼床版上の基層で多くの実績があるSFRC舗装を参考にした短繊維補強コンクリートを、調整コンクリートに採用した。

調整コンクリートのずれ止めには、厚さ60mm以上(スタッド40mm+かぶり20mm)の区間では頭付きスタッドを設置し、鋼床版と調整コンクリートの一体化を図った。

また、ひびわれ対策として、調整コンクリート範囲の走行レーン全面にCFRP格子筋を補強材として配置した(図-20、写真-13)。

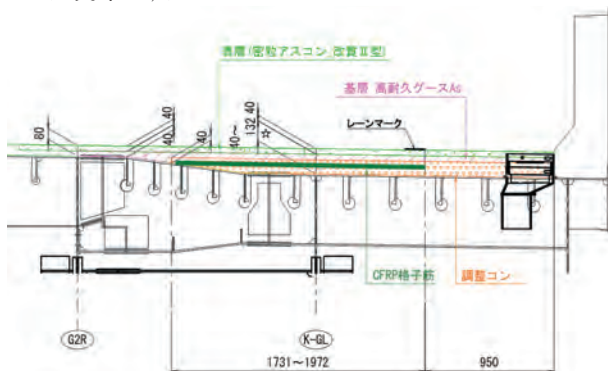


図-20 区間②舗装断面図



写真-13 スタッド・CFRP格子筋配置

7. まとめ

縦目地解消のための大規模修繕工事の設計・施工について報告した。本稿では、上部工はB活荷重載荷に対しての耐力不足、下部工は常時・地震時の耐力不足という技術的な課題があったが、これらの課題に対し、上部工の死荷重低減や既設鋼製橋脚に水平力を分担させる手法を適用し、課題を解決した。

本報告が、今後同様の橋梁の設計、施工を実施する際に、参考となれば幸いである。

最後に、阿波座縦目地解消の設計・施工にあたり、ご指導、ご協力を頂いた阪神高速道路(株) 管理本部 大阪保全部 改築・更新事業課の皆様に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 田中邦彦、平野正大、藤原勝也：阿波座縦目地解消にかかる大規模修繕工事の設計概要、阪神高速道路第53回技術研究発表会論文集、2021.5

海外で進行中の工事

海外橋梁プロジェクト



① Braila橋(ルーマニア)



全景

橋 梁 名：ブライラ橋
 事 業 主：ルーマニア道路インフラ公社
 橋 梁 形 式：吊橋
 最大支間長：1,120m
 契約形態/契約者：デザインビルド/IIS・WeBuild 甲型JV
 施 工 期 間：2018年12月ー

トピックス

- ★元請けとしてWebuild社(伊国)と甲型JVで施工、下請けとして単独でケーブル・桁架設工事を施工
- ★吊橋を含む第1期区間が2023年7月6日に開通済、2期区間工事もほぼ完了
- ★ドナウ川を渡る吊橋(2km)の他、接続道路約21kmも施工
- ★スリップフォームによるコンクリート塔柱施工
- ★メインケーブルは素線強度1,860MPaのAS施工
- ★S字ワイヤと乾燥送気システムを組み合わせたケーブル防錆
- ★桁上配置のストランドジャッキによる桁架設(直吊、スイング)

② 第2ボスポラス橋ハンガー交換工事(トルコ)



全景



ハンガーケーブル交換作業

工 事 名：第2ボスポラス橋ハンガー交換工事
 事 業 主：トルコ道路庁
 橋 梁 形 式：吊橋
 対象ハンガー数：240本
 契約形態/契約者：デザインビッドビルド/IIS・Makyol 乙型JV
 施 工 期 間：2021年8月ー

トピックス

- ★IHIが以前施工した吊橋のハンガー交換工事、IISとしては先行して行われた第1ボスポラス橋のハンガー交換工事も施工
- ★第1ボスポラス橋施工時同様に道路を供用しながら施工中
- ★IHIグループとしてトルコで施工する8つ目の橋梁プロジェクト

③ インド貨物専用鉄道西線-15ABC(インド)



15A工区完成全景



15B工区台船架設

橋 梁 名：貨物専用鉄道(西線)、15ABCパッケージ
 事 業 主：インド貨物専用鉄道公社
 橋 梁 形 式：トラス橋
 総 支 間 数：86スパン(全12橋)
 契約形態/契約者：デザインビルド/IIS・L&T 乙型JV
 施 工 期 間：2015年10月ー

トピックス

- ★デリー・ムンバイ間の貨物鉄道路線1,500kmのうちの一部区間
- ★台船による単径間単位での大ブロック架設完了
- ★既存路線上の送り出し架設完了

④ ムンバイ・アーメダバード間高速鉄道-P4XY(インド)



現地架設現場



仮組

橋 梁 名：ムンバイ・アーメダバード間高速鉄道路線 P4パッケージ
事 業 主：インド高速鉄道公社
橋 梁 形 式：トラス橋
総 鋼 重：70,865t
契約形態(所掌)/契約者：デザインビッドビルド(製作工事)/L&T・IIS 乙型JV
施 工 期 間：2021年2月ー

- ★全長500kmにおよぶ新幹線路線の一部区間
★インド国内の複数製作会社にて製作中であり、IISは高速鉄道向け鋼橋製作経験者を品質管理者(International Expert)として現地工場へ派遣している
★鋼製支承50基を日本調達して現地工場に搬入済み

トピックス

⑤ バンガバンドゥ鉄道専用橋(バングラデシュ)



上部工の建設

橋 梁 名：バンガバンドゥ鉄道専用橋、WD2パッケージ
事 業 主：鉄道省バングラデシュ国鉄
橋 梁 形 式：トラス橋
総 延 長：2,250m
契約形態/契約者：デザインビッドビルド/IIS・SMCC 乙型JV
施 工 期 間：2020年8月ー

- ★ジャムナ川を渡る総延長4.8kmの鉄道専用橋梁の西側区間および陸上部3.8km区間
★コンクリート橋脚、トラス上部工架設完了、PC桁製作完了
★河川護岸(River Training Works)、盛土工、鉄道軌道敷設、駅舎・宿舍建設工事も現地企業と協業して施工中

トピックス

⑥ 東西経済回廊(ミャンマー)



Atrani橋主塔 建設工事とPC上部工と鋼桁地組



Zathapyin橋 主塔建設工事と鋼桁地組

橋 梁 名：東西経済回廊整備事業、フェーズ1
事 業 主：ミャンマー建設省橋梁局
橋 梁 形 式：斜張橋
支 間：470m、200m(2橋)
契約形態/契約者：デザインビッドビルド/IIS(単独)
施 工 期 間：2020年12月ー

- ★ミャンマー・タイ間をつなぐ物流・旅客輸送網の一環に位置付けられる工事
★(中国材料を使用し)ミャンマーが自国で建設した橋梁の架け替え工事として、既設橋梁(吊橋2橋と斜張橋1橋)の解体も工事範囲に含む
★現地下請を活用してジャンピングフォームによるコンクリート主塔施工中と取付道路部の盛土工中
★鋼桁は現地製作会社のJ&M社が製作し、PC桁はIHグループのI&H社でプレキャスト桁として製作中

トピックス

主な過去工事实績(2000年以降/2000年以前の完成工事数:29件)

工 事 名	国 名	新設・保守	完成年	橋梁型式	特 徴
ベトナム鉄道橋	ベトナム	新設	2000年	トラス橋	ハノイとホーチミンを結ぶ鉄道の架け替え工事
イルティッシュリバー橋	カザフスタン	新設	2000年	吊橋	当社単独による一括施工、契約納期を13ヵ月も短縮して完成
カルキネス橋	アメリカ	新設	2003年	吊橋	アメリカでの30年ぶりの本格吊橋の建設
ビン橋	ベトナム	新設	2005年	斜張橋	ハイフォン市に架かるの斜張橋を含む17径間連続桁橋、当社一括施工
Heuy P. Long橋	アメリカ	新設	2013年	トラス橋	新設トラスと既存トラスの一体化による拡張を実施
ニヤタン橋(日越友好橋)	ベトナム	新設	2014年	斜張橋	世界的にも珍しい6径間連続合成斜張橋
オスマンガーズィー橋(イズミット湾横断橋)	トルコ	新設	2016年	吊橋	中央径間1,550m、建設時世界第4位の吊橋
第1・第2ボスボラス橋大規模補修工事	トルコ	保守	2016年	吊橋	第1ボスボラス橋のハンガー形式を斜めから鉛直へ取り替える工事は世界でも例のない試み
マタディ橋送気システム設置工事	コンゴ民主共和国	保守	2017年	吊橋	乾燥した空気をケーブル内に送り込み、腐食の原因となる湿度を下げるシステムを設置
カチプール・メグナ・グムティ新橋建設及び既存橋改修工事	バングラデシュ	新設	2020年	箱桁橋	カチプール橋・メグナ橋を海外自社工場で作成、メグナ橋を送り出し工法で架設
第1ボスボラス橋 ケーブル補修工事	トルコ	保守	2020年	吊橋	発錆により塔頂サドル近傍で破断したメインケーブル素線の補強として追加ケーブルを設置
ムンバイ・トランス ハーバーリンクパッケージ1(MTHL)	インド	新設	2024年	箱桁橋	総延長約22km、ムンバイ湾を横断するインド最長の海上道路橋

国内で進行中の工事

国内橋梁プロジェクト

〈IIS 新設工事〉

No.	設備名／工事名
①	庄内橋
②	伊達橋
③	厚田IC橋
④	大師橋(工事)
⑤	東扇島主橋梁(その1)工区
⑥	高谷川高架橋
⑦	塩浜立体山側その1
⑧	与野JCT出入口上部工事
⑨	八潮PAランプ橋南工事
⑩	八潮PAランプ橋北工事
⑪	江戸崎橋
⑫	尾羽第一高架橋
⑬	清水IC第2高架橋
⑭	栄工区
⑮	川島大橋
⑯	岐阜IC中央本線東橋他7橋
⑰	岐阜IC中央本線西橋他9橋
⑱	淀川橋梁製作工事(右岸工区)
⑲	浅香山地区橋梁
⑳	高槻高架橋西
㉑	新宇川橋
㉒	伊豆七条第二高架橋他2橋
㉓	江住川橋
㉔	美濃川橋
㉕	六甲アイランド第三高架橋上部工事
㉖	本線3号橋+ON・OFFランプ
㉗	温品JCT鋼上部工事(1工区)
㉘	北条JCT第2
㉙	遠田高架橋
㉚	福光・浅利道路2号橋
㉛	津田高架橋拡幅他1橋
㉜	大鳴門橋自転車道設置工事
㉝	赤野高架橋(P9-P12)
㉞	小祿道路上部工P19-P24

〈IIS 保全工事〉

No.	設備名／工事名
①	皆瀬川橋(上り線)補強工事
②	中野橋耐震補強工事
③	名港東大橋耐震補強工事
④	名港中央大橋斜材ケーブル補修
⑤	基佐屋1:佐屋下り線床版取替
⑥	阿波座拡幅その1工事
⑦	関空連絡橋耐震工事
⑧	池田宝塚特定更新(その2)
⑨	池田宝塚特定更新(その3)
⑩	蒲刈大橋上部工耐震補強工1期工事

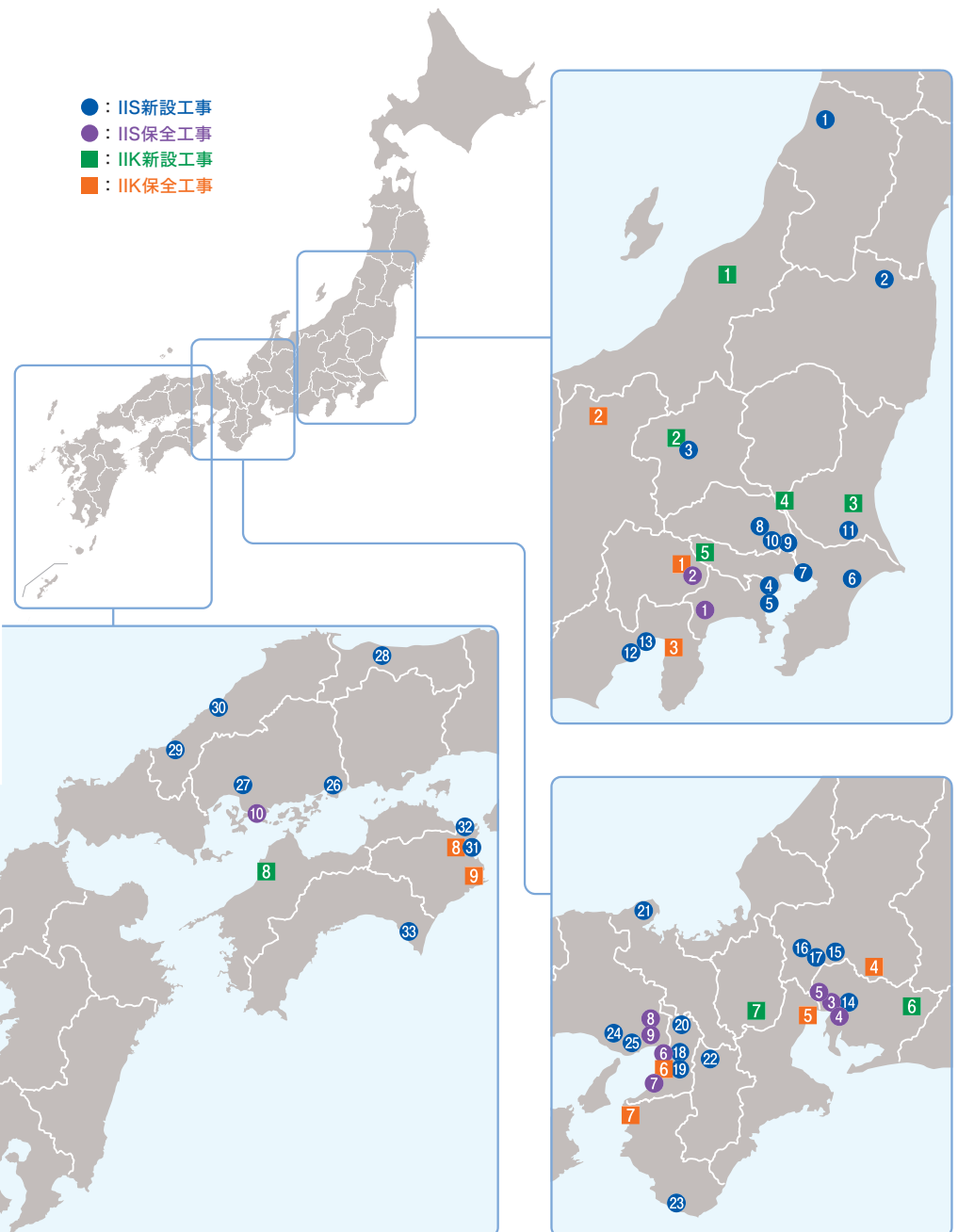
〈IIK 新設工事〉

No.	設備名／工事名
①	白川大橋
②	厚田跨道橋
③	玉里高架橋
④	日下部橋
⑤	大船寺田高架橋
⑥	設楽ダム4号橋
⑦	池田高架橋他2橋設計・工事
⑧	南吉田第5高架橋
⑨	松浦2号橋(A1-P1)
⑩	六月田橋(P15-P20)

〈IIK 保全工事〉

No.	設備名／工事名
①	鶴川大橋耐震補強工事
②	R5国道18号長野大橋修補補強工事
③	向田川橋他1橋鋼橋補強工事
④	深沢橋床版取替工事
⑤	長島高架橋伸縮改良工事
⑥	新木津川大橋耐震対策工事-8
⑦	松島高架橋他9橋橋梁更新工事
⑧	末広大橋橋梁修繕工事
⑨	R5那賀川大橋(下り)耐震補強工事

- : IIS新設工事
- : IIS保全工事
- : IIK新設工事
- : IIK保全工事



※2024年9月時点の進行工事を示す



⑳ 高槻高架橋 桁降下完了



① 皆瀬川橋 座屈拘束ブレース設置



⑦ 松島高架橋他9橋橋梁更新工事



⑤ 東扇島 中段ブロック架設



⑧ 南吉田第5高架橋



① 鶴川大橋耐震補強工事

国内で進行中の工事

水門プロジェクト

〈IHK 新設工事〉

No.	設備名／工事名
①	閉伊川水門
②	成瀬ダム取水設備
③	荒川第二調節池排水門
④	新川河口自然排水樋門
⑤	新丸山ダム常用洪水吐放流設備
⑥	淀川大堰閘門
⑦	早明浦ダム上流仮締切
⑧	野村ダム上流仮締切
⑨	黒川第一発電所水圧鉄管

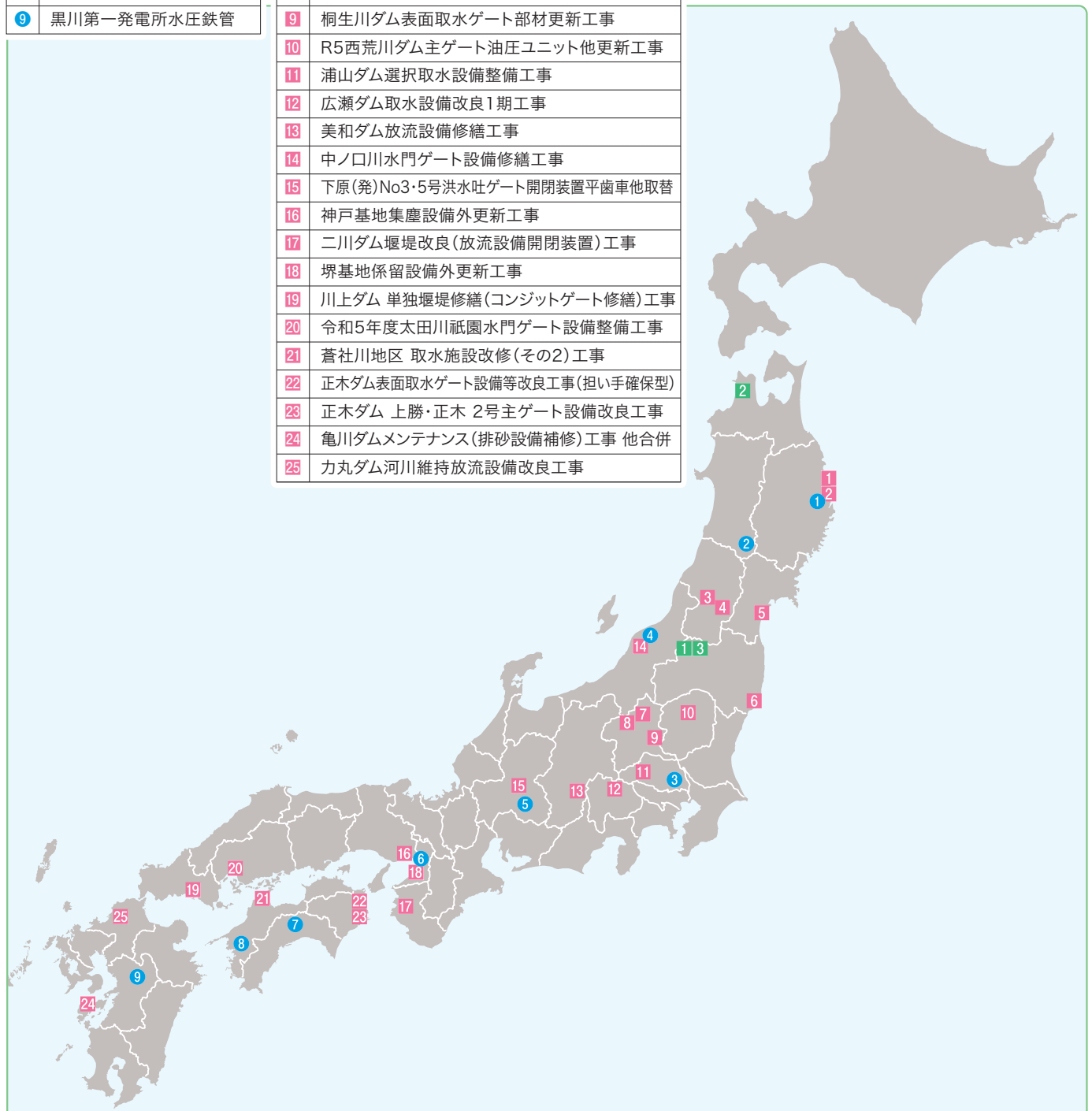
〈IHK 保全工事〉

No.	設備名／工事名
①	小本漁港水門補修(その1、その2)工事
②	二級河川小本川筋小本川水門機械設備更新(その3)工事
③	寒河江ダムオリフィスゲート修繕工事
④	蔵王ダム取水・放流設備改修・更新工事
⑤	阿武隈大堰関連施設維持修繕等工事
⑥	小名浜港ケーソン進水設備更新及び修理
⑦	奈良俣ダム表面取水設備整備工事
⑧	R6藤原ダム表面取水設備開閉装置他修繕工事
⑨	桐生川ダム表面取水ゲート部材更新工事
⑩	R5西荒川ダム主ゲート油圧ユニット他更新工事
⑪	浦山ダム選択取水設備整備工事
⑫	広瀬ダム取水設備改良1期工事
⑬	美和ダム放流設備修繕工事
⑭	中ノ口川水門ゲート設備修繕工事
⑮	下原(発)No3・5号洪水吐ゲート開閉装置平歯車他取替
⑯	神戸基地集塵設備外更新工事
⑰	二川ダム堰堤改良(放流設備開閉装置)工事
⑱	堺基地係留設備外更新工事
⑲	川上ダム 単独堰堤修繕(コンジットゲート修繕)工事
⑳	令和5年度太田川祇園水門ゲート設備整備工事
㉑	蒼社川地区 取水施設改修(その2)工事
㉒	正木ダム表面取水ゲート設備等改良工事(担い手確保型)
㉓	正木ダム 上勝・正木 2号主ゲート設備改良工事
㉔	亀川ダムメンテナンス(排砂設備補修)工事 他合併
㉕	カ丸ダム河川維持放流設備改良工事

〈IHK 水管理工事〉

No.	設備名／工事名
①	会津北部農業水利事業水管理施設改修工事
②	津軽北部二期農業水利事業水管理施設改修工事
③	国営施設応急対策事業雄国山麓地区水管理施設改修工事

- : IHK新設工事
- : IHK保全工事
- : IHK水管理工事



※2024年9月時点の進行工事を示す



① 関伊川水門



④ 新川河口自然排水樋門



⑥ 小名浜港ケーソン



⑪ 二川ダム



⑫ 太田川祇園水門ゲート



⑬ 会津北部農業水利事業水管理施設



写真-1 ブライラ橋全景

ニュース4

ブライラ橋を含む全長23kmの国道建設工事

構想から40年、 ドナウ川最下流域にかかる橋が開通

欧州有数の河川であるドナウ川は最下流域に橋が架かっておらず、フェリーによる渡河が行われていた。しかし悪天候でフェリーの運航が休止されると100km上流の橋まで迂回しなければならず、ライフラインの強靱化・経済の活性化が望まれていた。2018年の設計開始から5年を経て、2023年7月6日にブライラ橋を含む前後合わせて12kmの区間が開通した(写真-1)。開通式には日本からも外務大臣政務官が列席されるなど、日本・ルーマニアの強固なパートナーシップの象徴の1つとなった。

本橋はルーマニア東部のブライラ県とトゥルチャ県を繋ぐ全長23kmの国道工事の一部であり、吊橋・道路・コントロールセンターなど国道の運営に関わる全ての構造物に対する設計・施工を行った。高い地下水位に対応した排水システムを併用しながらの掘削(写真-2)、スリップフォーム工法を用いた24時間連続のコンクリート主塔施工(写真-3)、AS(エアスピニング)工法によるメインケーブル架設、ストランドジャッキを用いた桁架設(写真-4)など、これまでに確立された技術と新たなアイデアを組合せ、効率的な施工を行った。



写真-2 アンカレッジ掘削



写真-3 スリップフォーム工法による主塔建設



写真-4 ストランドジャッキによる桁架設



写真-1 トラベラークレーン架設状況

ニュース5

バングラデシュ バンガバンドゥ鉄道専用橋

河川幅4,800mのJAMUNA River 支間100mのトラスをトラベラークレーン架設

本工事は、1998年に開通したジャムナ多目的橋（道鉄併用橋）の約300m上流に並行して複線の鉄道専用橋を架設し、ジャムナ川を挟んで東西にあるBangabandhu Setu East StationとBangabandhu Setu West Station間の軌道を、旧橋から新橋へと切替える工事である。また、本工事は2014年にバングラデシュのハシナ首相（当時）からの支援要請により実現に至っており、IHIインフラシステムとしては、「カチプール・メグナ・グムティ新橋建設及び既存橋改修工事」に続く大型プロジェクトである。

東西2工区に分けて発注され、東側はWD1工区、西側はWD2工区であり、IHIインフラシステムは、三井住友建設（株）と乙型JVを構成し、西側のWD2工区の施工を行っている。

工事延長は約6,075mあり、その内訳は、橋梁区間2,250m、盛土区間1,275m、改築区間2,550mとなっている。

現在19,200t、23径間のトラス橋の架設が完了し、工期末の完成に向けて橋梁上および陸上部の軌道工事や駅舎の建設工事を急ピッチで進めている。（写真-5、6）



写真-2 橋梁区間



写真-3 盛土区間



写真-4 改築区間



写真-5 レール フラッシュバット溶接



写真-6 プラットフォーム建設

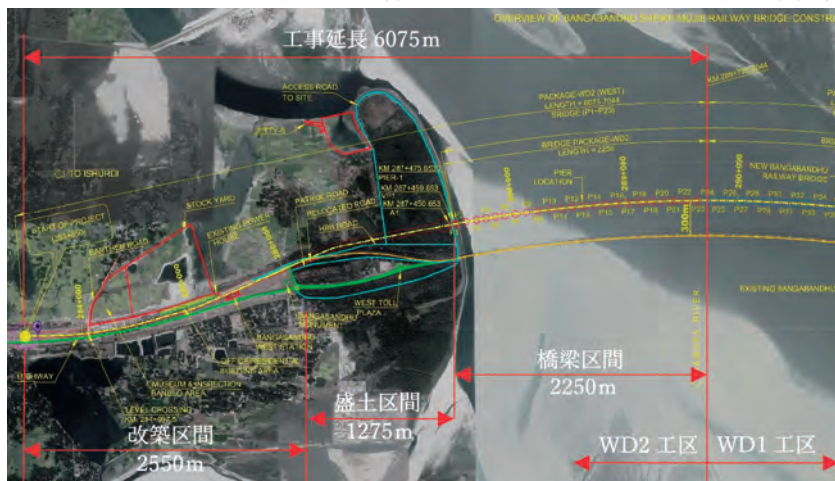


図-1 工事施工範囲



写真-1 GAD15仮組立状況(130m+100m連続スパンの100m側)

ニュース6

トータル鋼重65,000tのトラス橋28橋を全量インド国内で製作 インド初の高速鉄道プロジェクト

インドでは、急速な経済成長に伴う国内移動者の急増に対応するため、インドの第2の都市であるマハラシュトラ州のムンバイと、商工業都市であるグジャラート州のアーメダバードを結ぶ同国初の高速鉄道プロジェクトが進行中である。この総延長508kmの区間に建設される鋼トラス橋28橋(総重量65,000t)の製作・輸送工事をインド最大手ゼネコンであるL&Tと共同で進めている。日本の新幹線と同水準の厳しい精度が求められる鋼桁をインド国内で製作する工事である。IHIインフラシステムの役割は、①鋼製支承の日本からの調達・輸送、②橋梁製作工場への溶接エキスパートの派遣である。①では、全50基の鋼製支承を日本で調達し、インドへの海上輸送を完了させた。②では、豊富な橋梁製作経験を有するモノづくりのエキスパートをインド全土に点在する複数の製作工場に派遣し、日々品質確保に努めている。



写真-3 鋼トラスブロック塗装状況



写真-2 鋼トラスブロック製作状況



写真-4 GAD1967現地架設状況(架設は当該工事所掌外)



写真-1 第2ボスポラス橋全景

ニュース7

第2ボスポラス橋のハンガー交換プロジェクト

長大吊橋の全ハンガー240本を 交通規制無しで交換

第2ボスポラス橋は、主径間1,090m、全幅39.4m、片側4車線のイスタンブールのヨーロッパ側とアジア側を結ぶ主要幹線道路上に位置する吊橋である(写真-1)。本吊橋の1日の平均交通量は約20万台であり、1988年の開通以来35年以上大きな交通負荷にさらされてきた。そのような状況下、2015年12月に支間中央の最も短いハンガーにおいてハンガー全体が変形していることが確認されたため、全ハンガーの緊急調査を実施した結果、素線の腐食と破断を伴う損傷の大きなハンガーが支間中央に集中していることが判明した。その後の経過観察により、損傷が時間の経過とともに進展していると判断し2021年6月に240本全てのハンガーの取替えを緊急工事として実施することが決定された。

1箇所あたりのハンガー取替えは次のステップで実施された(図-1)。

- ① 既設ラッピングワイヤの撤去、仮ハンガーシステムの設置、ジャッキにより仮ハンガーに張力を導入
 - ② 既設ハンガーと既設ケーブルクランプの撤去
 - ③ 新ハンガーと新ケーブルクランプの設置、仮ハンガーから新ハンガーへの張力移行
 - ④ 仮ハンガーシステムの撤去、ラッピングワイヤの復旧
- 上記のサイクルを4チーム同時に30回繰り返して、約1年で合計120本のハンガーを交換することができた。

国内においても長大吊橋の全ハンガーを交換した実績は希少で、難易度の高い工事であったが、技術的な問題を克服し、最小限の交通規制で安全に施工を終えることができた。吊橋のハンガーとケーブルクランプ全体が最新のシステムに交換されたことによって、吊橋全体の耐久性が向上され、寿命の大幅な延長が期待できる。

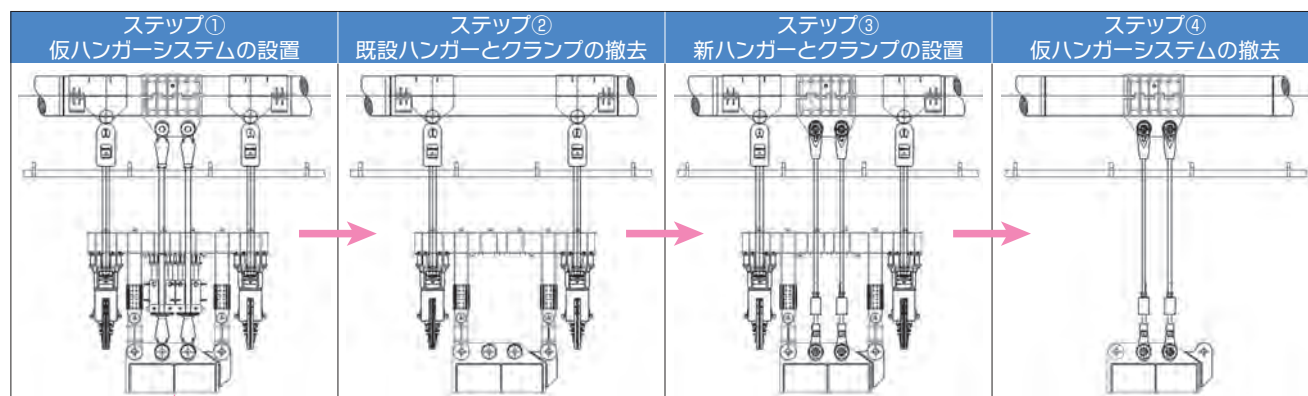


図-1 交換サイクルの概略ステップ



写真-4 中段ブロックの架設状況

ニュース8

川崎港臨港道路東扇島水江町線主橋梁部上部工事

主塔中段ブロックの浜出し・架設

本橋は、神奈川県川崎市の京浜運河に架かる中央支間525mの複合斜張橋である。IHIインフラシステムが製作、地組した主塔中段ブロック（鋼重1,500t）は、最大板厚77mmの多角形断面が3次元的に形状変化する等、製作難易度の高い構造である（写真-1）。本構造を高い要求品質、厳しい工程で製作するため、工場は品質を段階的に確認しながら作業効率を上げる製作手順を追求し、2024年5月に浜出した（写真-2、3）。中段ブロックの架設は、3,000t吊FCIによる大ブロッカー一括架設である。台船からFCIで中段ブロックを吊り上げ、建て起こし後に、下段ブロック上に設置する（写真-4）。架設作業は、中段ブロックが高い精度で製作できていたため、計画した作業時間内に終わることができた。



写真-1 中段ブロックの地組完成状況



写真-2 中段ブロックの浜出し



写真-3 浜出し時の工場関係者の様子



写真-1 キャリアデザインの講義にて

ニュース9

教育機関への出前講座

未来の橋梁技術者育成に向けた取り組み

IHIインフラシステムでは、大学をはじめとした教育機関にて出前講座を行っている。近年、土木系学科における橋梁に関する研究は縮小傾向にあり、橋梁技術者の育成は難しいものとなりつつある。多くの人に橋梁業界のことを理解してもらい、興味を持ってもらうことで、未来の橋梁技術者育成の一助となるようにしたい考えだ。

海外での吊橋建設や国内の保全工事など様々な実務を経験した若手技術者が講師となり、自らの体験談を交えることで、受講生に将来の自らが働く姿をイメージしてもらいやすくする。インフラとしての橋梁を守り続けていくためにも、今後もこうした草の根活動を続けていく。



写真-2 トルコでの吊橋架設の経験を語る



写真-4 ルーマニアでの吊橋架設の経験を語る



写真-3 真剣なまなざしで聴講する学生たち



写真-5 講義終了後はアンケートを実施



写真-1 座学の様子

ニュース10

若手技術者への学びと交流の場の提供

オープンカレッジ 「橋梁技術基礎特論」の取り組み

IHIインフラシステムと芝浦工業大学は、社会人向けオープンカレッジ「橋梁技術基礎特論」を2024年度も開催する。

橋をつくり、橋を守ることに関わる若手技術者へ学びと交流の場を提供することを目的とし、産官学の垣根を越えた若手の交流によって業界の活性化を目指す。開催地は芝浦工業大学豊洲キャンパス（東京都江東区）。

カリキュラムは模型製作実習や現場見学を含む全9回で、毎年10～11月に開催。受講生たちは交流を深めながら実務者として必要な橋梁技術の基礎を学んでいく。

2024年度で3期目に入り、これまでに自治体、コンサルタント、橋梁メーカーなどから参加した計55名が修了している。

文部科学省が推奨する履修証明プログラムにも登録し、新人向け技術研修の新しいカタチとして定着させていく。



写真-2 製作中の模型（鋼床版箱桁）



写真-4 現場見学



写真-3 模型製作実習

芝浦工業大学 豊洲キャンパス

芝浦工業大学 社会人リカレントプログラム
橋梁技術専門コース

橋梁技術基礎特論

芝浦工業大学では、社会人の学びに合わせたプログラムを提供しています。
※受講生は専攻コースと所属学部・学科を指定し、1科目単位を履修します。
※参加費は受講料と教材費（別途）です。

開催時期 2024年10月2日開講～11月27日修了（全9回）
毎週水曜日
時 間 17:00～18:40（第5限）
開講先 芝浦工業大学 豊洲キャンパス
受 講 料 70,000円（税込）※教材費別
申 込 締切 2024年9月10日（火）

講座概要
橋梁の設計、建設、維持管理の業務に携わるための基礎的な技術を集中して学びます。基礎で橋梁を構築する基礎知識や設計・製作・管理を学ぶ。橋梁技術者を目指す若手技術者のための実践的なプログラムです。
※本講座は芝浦工業大学大学院修士課程の科目で履修認定は本学科目と見なされます。

※参加費は受講料と教材費（別途）です。
※受講生は専攻コースと所属学部・学科を指定し、1科目単位を履修します。

受講生募集要項（要項）

10/2 開講の挨拶・P・C 橋の基礎（設計概論）	11/13 18:00～19:00 課題実習（橋梁模型製作Ⅰ）（終日）
10/9 17:00～18:40 橋の製作・P・C 橋の製作（品質管理）	11/14 18:00～19:00 課題実習（橋梁模型製作Ⅱ）（終日）
10/16 17:00～18:40 橋梁の架設	11/20 17:00～18:40 維持管理・保全工事
10/23 17:00～18:40 P・C 橋の架設	11/27 17:00～18:40 テスト
10/30 18:00～19:00 現場見学（半日）	卒業式

※卒業式は12月10日（月）18:00～19:00に開催予定です。
※詳細は、受講生募集要項（要項）をご覧ください。

講師紹介
芝浦工業大学 社会人講師
内田 幸一
※19年インフラ系 新事業推進室 室長

社会人リカレントプログラムのご案内
芝浦工業大学は、社会人の学びに合わせたプログラムを提供しています。
※受講生は専攻コースと所属学部・学科を指定し、1科目単位を履修します。
※参加費は受講料と教材費（別途）です。
※受講生は専攻コースと所属学部・学科を指定し、1科目単位を履修します。

写真-5 パンフレット



写真-1 ブライラ橋全景

ニュース11

ブライラ橋、高速大師橋の架け替え工事

土木学会田中賞をW受賞

株式会社IHIインフラシステムは、令和5年度土木学会田中賞（作品部門）を2件受賞した。

新設案件としてルーマニア国東部のブライラ県とトゥルチャ県を繋ぎドナウ川を跨ぐ吊橋、既設案件として、東京都と神奈川県を流れる多摩川に架かる首都高速大師橋の架け替え工事が選出された。

ブライラ橋（写真-1、2）は、橋長1974.3mの鋼3径間連続吊橋であり、ドナウ川の河口から約165kmの地点に位置するルーマニア

初の長大橋梁であり、中央径間長はEU第3位の1,120mになる。

デザインビルドで完遂させた総合エンジニアリング力が高く評価され受賞した。

大師橋は、橋長292mの3径間連続鋼床版箱桁ラーメン橋であり、多摩川渡河部に位置する首都高速1号線の橋梁である。

橋梁の架け替えに伴い橋脚も全て再構築し、橋梁を2週間の通行止めで架け替えた技術力を評価され、「最優秀作品賞」に選出された。



写真-2 ドナウ川上の補剛桁直下吊り架設



写真-3 既設橋横取り後



写真-4 台車リフトアップ架設

インド貨物専用鉄道橋工事における紛争解決の活動

— Dispute Adjudication Board (DAB) の有効性と問題点 —

NAKAMURA Yukio

中村 幸男*

SETOYAMA Rinako

瀬戸山 里南子**

1. はじめに

我々の海外工事の多くを占めるODA案件を始めとする海外建設工事の中で避けては通れない問題として、工期延伸(EOT)の要求や追加工事費(Additional Cost)の求償が挙げられる。求償に際しては、発注者の代理人として設計/施工監理に従事するエンジニア***との間で紛争になる場合が多く見受けられる。当該工事に於いても数多くの紛争が発生し、これを契約約款であるFIDIC Plant and Design Build(通称Yellow Book) 1999 Ed.に基づき、紛争裁定委員会(Dispute Adjudication Board、以下「DAB」と称す)に付託して、その裁定(Decision)を仰いだ事象をここに記載すると共にその運用上の問題点や有効性を提起するものである。

2. 工事概要

当該工事はJICA資金援助に基づくインド貨物専用鉄道西回廊約1,500km建設の内、河川や既存の旅客鉄道を跨ぐ大小12の鉄道橋建設工事を地域別に3つのプロジェクト(CTP-15A、B&C)にて設計施工請負(Design-Build Contract)したものである。橋長は1.5km(30スパン)の上路橋から49m(1スパン)の下路跨線橋に至る長短2種類のワーレントラス橋である。

以下に、当初案件概要を示す。

発注者:インド鉄道省傘下 貨物専用鉄道公社
(DFCCIL)

請負者:IIS-L&T共同企業体(コンソーシアム)

設計施工監理者(エンジニア***):OCG-OCI-NK-NKI-RITES
コンソーシアム

契約工期:2015年10月15日~2019年10月9日(48ヵ月)

瑕疵担保期間:契約工期後~2021年10月9日(24ヵ月)

原契約金額:105百万インドルピー(邦貨約180億円)

橋梁形式:ワーレントラス(上路橋1橋、下路橋11橋)

〈主要工種概算数量〉

鋼 重:28,000t

基礎・下部工用コンクリート:260,000m³

鉄 筋:25,000t

石 張 工:560,000m²

IISは橋梁上部工、L&Tは橋梁基礎、下部工、他土木工事をそれぞれ責任所掌としている。

各パッケージの代表的な橋梁の完工写真を下に示す。



写真-1 15-A Ulhas橋 完工写真



写真-2 15-B Narmada橋 完工写真



写真-3 15-C Yamuna橋 完工写真

3. FIDICにおける紛争解決法の変遷

2002~2014年に掛けて施工されたベトナムのビン橋やニャッタン橋工事の契約約款であるFIDIC Redbook 1987 4th Ed.の紛争解決法は67.1条[Engineer's Decision]に基づき、請負者と現地エンジニア(Resident Engineer)***や発注者との紛争はエンジニア(The Engineer)***が裁定を下

* (株)IHIインフラシステム 海外プロジェクト本部 アジアプロジェクト部 DFCプロジェクトG

** (株)IHIインフラシステム 海外プロジェクト本部 管理部 業績管理G

*** (株)IHIインフラ建設 防災・水門営業G

す。これに異議がある場合は56日間の和解協議を経て仲裁 (Arbitration) にて紛争解決する規定になっているが、エンジニア(The Engineer)***と権限委譲された現地エンジニア***が同じコンサルタント会社所属であることから現地エンジニア***の意見や決定がその裁定に反映される矛盾は否めない。また、この契約約款はエンジニア***の中立性と公平性確保を理想として作成されたものであるが、いかに契約条件を厳しく設定してもこれらを成就することは困難であった。そこで、1999年にFIDICは紛争解決法を全面的に改訂してエンジニア***の紛争解決機能をDABに置き換えたのである。当該プロジェクトの契約約款は紛争解決法としてこのDABが規定されている。なお、このDABは2010年からDB(Dispute Board: 紛争委員会)と呼称変更されたが、内容的には同じものである。現在施工中のバングラデシュのBBD工事やミャンマーのEWECI工事(共にFIDIC MDB Harmonised Edition 2010、通称Pink Book)では紛争解決法としてDBが規定されている。なお、どちらも1960年中期の米国発祥のDRB(Dispute Review Board: 紛争審査委員会)に由来するものである。

4. 当該プロジェクトにおけるDABの適用

当該工事に於けるDABは契約約款20.2条[Appointment of DAB]特記事項により請負者と発注者(以後「両当事者」と称す)から選出されたメンバーおよび彼等によって選出された議長計3名の中立な専門家や弁護士等で構成され、両当事者と各メンバーにて三者契約を結び、その費用は両当事者にて折半した。なお、このメンバーは両当事者により1名選出の場合もある。DABは一般的に両当事者／エンジニア***間の紛争の有無に関わらず着工から一定の期間内に定期的に行う(Standing DAB)が、当該工事では紛争の勃発に応じて行うAd-Hoc DABが採用された。契約約款20.4条[Obtaining DAB's Decision]に準拠した紛争とはエンジニア***の査定、決定、指示、意見や評価に起因して主に請負者からこれらに異議異存が生じた場合にDAB申請するが、我々はこれらをより明確にする為に契約約款3.5条[Engineer's Determination]

にて必ず「エンジニア決定」を求めてからこの申請を実施した。

DAB手順は先ず請負者側から異議申請書(Statement of Case: SOC／事案陳述書)をDAB各メンバーおよび発注者宛(コピーをエンジニア***宛)に発出した。その後、発注者側からSOCに対する意見書(Response to SOC: RSOC／事案陳述書への反論書)が数週間以内に同様の手順にて発出された。更にこのRSOCに対して請負者側は必要に応じて第二訴答(Rejoinder／反論書への再答弁書)を提出することができる。これらの書類が揃った段階で、DABによる審問(Hearing)が行われるが、DAB裁定(Decision)がSOCから84日以内に履行されなければならないという規定から、審問の実施は数回に限られた。DAB裁定は書面にて両当事者に配信され、その裁定に不服を持つ当事者は当該裁定日から28日以内に裁定不服通知(Notice of Dissatisfaction: NOD)をDABおよび他当事者に出さねばならない。これを怠ると当該裁定が両当事者に対して最終且つ法的拘束力を持つ事になる。NODが規定期日以内に発出された場合は、契約約款20.5条に準じて両当事者間で和解(Amicable Settlement)に向けた協議が執り行われる。基本的にこの期間は56日と規定されているが、両当事者合意のもとに延長・短縮も可能である。これが不調に終わった場合、どちらの当事者からも契約約款20.6条規定に準じて仲裁(Arbitration)を申請することができる。

仲裁判断(Arbitral Award)が最終且つ法的拘束力を持つ最終紛争解決法であり、両当事者はその仲裁判断に従わなければならないが、DAB裁定が発出されてから和解に至るか、または、仲裁判断が発出されるまでの期間はDAB裁定が暫定的にその拘束力を持ち、両当事者ともにその裁定を即時に遵守せねばならない。図-1はこれらの規定と手順の流れを示したフローチャート(【参考文献】1)のDFCCIL Journal June 2020に掲載)を日本語訳したものである。

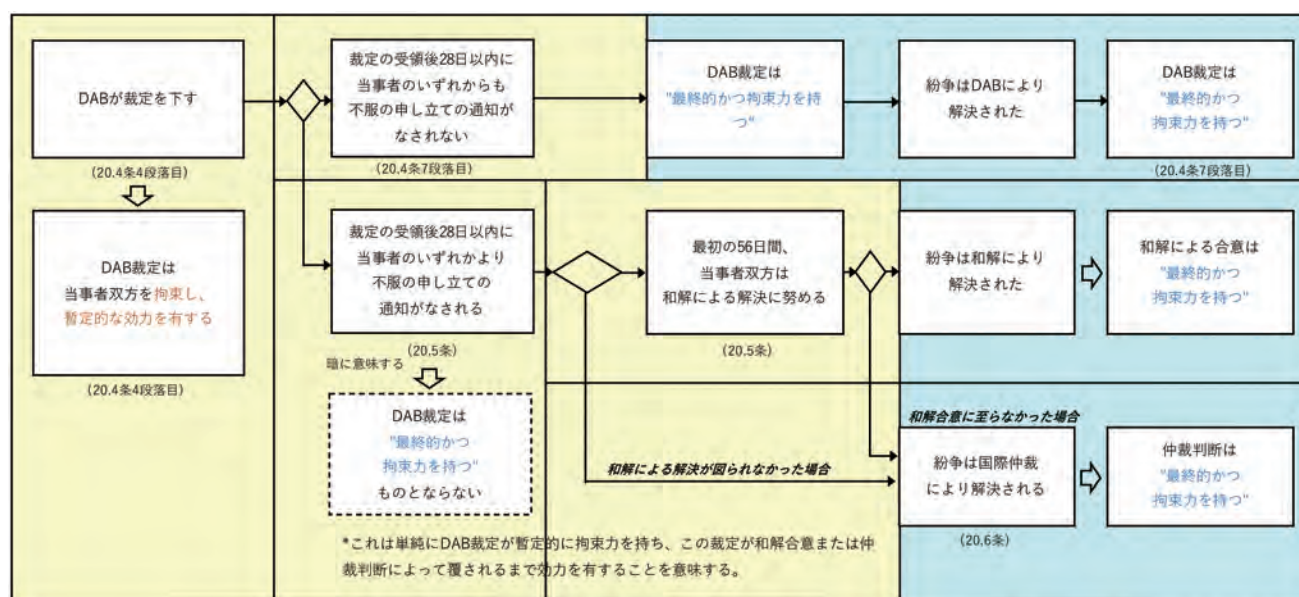


図-1 FIDICに基づく紛争解決フローチャート(DFCCIL Journal June 2020より抜粋和訳)

5. 当該プロジェクトに於けるDABの問題点と有効性

当該工事では2015年10月の着工当初から設計／施工監理者であるエンジニア***が決まっておらず、提出した詳細設計図書の査定と承認が大幅に遅れた。エンジニア***およびそのスタッフの現場在場が開始されたのが翌年4月からであり、少なくとも6カ月の遅延を来した。詳細設計図書の提出承認を規定

する中間工期(MS-1)は3工事ともに2016年6月であった為、この遅れ(他責)を契約約款8.4条[EOT for Completion]および20.1条[Contractor's Claim]にて延伸(EOT)クレームし、契約約款3.5条にてエンジニア決定を求めた。その結果は請負者の自責を理由に3工事ともにその工期延伸日数ばNil(ゼロ)”の決定であった。その後も工期延伸クレームはNil”決定が続いた。

表-1 紛争裁定委員会付託事案の包括勝敗表(発注者 対 請負者)

DAB Win-Lose Standings(DFCCIL vs IIS-L&T Consortium)

Legend (凡例) : ● : Win (勝訴) ▲ : Draw (差し戻し) ✖ : Lose (敗訴)							
Dated: 31/ 12/ 2023							
No.	CTP	Subject	DFCCIL	IIS-L&T	Decision	Date	NOD (if any)
1	15C	EOT-1	✖	●	1. 137 days to be extended. 2. D/D to be released 3. Interest @ 12% p.a. to be paid	22-02-2019	18-03-2019 (by DFCCIL)
2	15C	EOT-2	✖	●	1. 306 days to be extended. 2. D/D to be released 3. Interest @ 12% p.a. to be paid	16-04-2019	07-05-2019 (by DFCCIL)
3	15C	EOT-3	✖	●	1. 472 days to be extended. 2. D/D to be released 3. Interest @ 12% p.a. to be paid	20-04-2019	07-05-2019 (by DFCCIL)
4	15A	EOT-1	✖	●	1. 205 days to be extended. 2. D/D to be released 3. Interest @ 12% p.a. to be paid	18-06-2019	11-07-2019 (by DFCCIL)
5	15A	EOT-2	✖	●	1. 378, 345 & 338 days for MS-1, 2B & 4 resptly to be extended. 2. D/D to be released 3. Interest @ 12% p.a. to be paid	05-07-2019	31-07-2019 (by DFCCIL)
6	15B	EOT-1	✖	●	1. 162 days to be extended. 2. D/D to be released 3. Interest @ 12% p.a. to be paid	18-07-2019	14-08-2019 (by DFCCIL)
7	15B	EOT-2	✖	●	1. 318 days to be extended. 2. D/D to be released 3. Interest @ 12% p.a. to be paid	31-07-2019	23-08-2019 (by DFCCIL)
8	15C	EOT-4*/RFD-4 (Exposure Condition Variation): monetary claim	●	✖	Contractor not entitled to Variation by following Severe /Extreme exposure condition	02-09-2019	24-09-2019 (by IIS-LT Consortium)
9	15A	RFD-3 (Deduction of Inspection Charges): monetary claim	✖	●	1. Return the inspection fee levied to & deducted from the Contractor amounting 15,853,701Rs. 2. Financing Charge amounting 8% p.a. to be paid on 5,284,567Rs. each for IPC40, 41 & 42.	05-11-2019	02-12-2019 (by DFCCIL)
10	15C	RFD-5 (EOT-5:Delay in Superstructure design approval): monetary claim	✖	●	Total 764 days incl. EOT-1, 2, 3 & 5* (*determined by the Engineer as 161days) to be extended with a single EOT-5 : 161days.	23-12-2019	20-01-2020 (by DFCCIL)
11	15C	RFD-6 (EOT-7:Delay in Inspection Agency & Inspection Charges): monetary claim	✖	●	1.Total 587 days MS-2, 3 & 4, 980 days in those MSs and 764 days for MS-1 (remains unchanged) 2. Inspection fee levied amounting 5,452,936 Rs. To be refunded to the Contractor with 8% p.a. interest	27-01-2020	24-02-2020 (by DFCCIL)
12	15C	RFD-7 (EOT-9: Delays & Variation in Yamuna Guide Bund Works): monetary claim	✖	●	1. EOT-9 : accepted to extend to MS-1: 26.11.2018 / MS-2:21.06.2020 /MS-3: 23.03.2022 / MS-4: 15.06.2022 2. Additional Cost : entitled to be paid in accordance with mutual agreement in between Parties.	30-06-2020	21-07-2020 (by DFCCIL)
13	15A	RFD-8 (VO-3A:RFO-07; Contractor's Claim: 63.4 Cr. vs Engineer's Determination: 30.4= Cr. / 33 Cr. difference): monetary claim	✖	●	1. Contractor's claim amount to be paid time to time accordingly; 2. In the event of failure to make payment within 60 days from this decision, financial interest amounting 10% p.a. to be paid. 3. This is the decision of majority (2 vs 1)	17-08-2022	13-09-2022 (by DFCCIL)

Sensitivity: LNT Construction Internal Use

そこで、当該エンジニア決定に異議を唱え、DABにその裁定を求めるSOCを2018年から順次申請した。当初のDABはDABメンバー、両当事者ともに不慣れであった為、SOC、RSOC、Rejoinderに2か月近く掛かったことに加えて3か月にも及ぶ審問(4回)が行われた。その結果、裁定は請負者の主張を全面的に擁護／承認するものであった。

その後、設計変更(VO)工事の過小評価や請負者雇用の検査機関による上部工検査費の不払い等の追加費用支払いに絡む紛争によるDABが2018年から2022年に掛けて行われた。それら13事案中の12事案が請負者有利の裁定となった。前頁の表-1はその概要を纏めたものである。

我々請負者の抱える最大の問題点は、発注者がDAB裁定を遵守しないことである。前述のようにDAB裁定は最終且つ法的拘束力は持たないまでも、契約約款20.4条規定には裁定発出と同時にこの裁定が両当事者を暫定的に拘束することが謳われている。これに対して、発注者は「NODを申請しているのでDAB裁定に従う必要はない」との誤った解釈しており、さりとて和解や仲裁を申請する意向が全く見られないことである。

NOD申請は次(和解または仲裁)に進む為の必要条件ではあるが、DAB裁定を反故にできる必要十分条件ではないのである。FIDIC契約約款の規定はYellow、Pink、Redに関わらず、エンジニア決定が出されれば、両当事者とも当面その決定に従わなければならない。それに異議異存を唱える当事者はDAB申請、その裁定が発出されれば両当事者とも当面その裁定に従わなければならない。その裁定に不服を唱える当事者はNOD申請後に和解に向けて他当事者に協議を持ち掛け、それが不調に終われば仲裁申請、その仲裁判断が最終且つ法的拘束力を持って両当事者を最終拘束するものである。発注者のDAB裁定に従わないばかりか次のステップにも進まない行為は明らかに契約不履行または違反に該当するものと考えられる。その意味ではDAB運用が有効になされているとは言いがたい。

そこで今後は既にエンジニア決定されている工期延伸(EOT)に伴うその延伸経費(Prolongation Cost)等の3工事に共通する追加コストのうち、当初実行予算に大きなインパクトを与えている紛争案件については、これらを纏めて契約約款20.6条[Arbitration]や20.8条[Expiry of DAB Appointment]規定を基に請負者側から仲裁を申請する予定である。なお、仲裁申請においては費用対効果を十分に検討／考慮して実施する所存である。

6. まとめ

当該工事で運用されたDABの有効性と問題点を述べてきたが、DABは発注者と請負者の両当事者がその規定と運用を十分理解した上で、それらを真摯に遵守して初めて有効となるものとする。そこで紛争が未だ勃発する前のDAB／DBメンバー選定や合意書作成時に発注者とこれらを十分協議して当該関連契約約款20条[Claims, Disputes and Arbitration]の解釈と運用に関する基本合意書(Memorandum of Understanding ; MOU)を作成して置くことをお勧めする。

特に、当該工事で問題となっている契約約款20.4条[Obtaining DAB／DB Decision]の相互理解と履行遵守はプロジェクト遂行上、極めて重要な事項と史料する。

【参考文献】

- 1)Shiv Kumar:Need to strengthen the mechanism of the Dispute Resolution in the Contracts through the Dispute Adjudication Board、The DFCCIL Journal VII June 2020
- 2)FIDIC Works of Civil Engineering Construction 4th Edition 1987
- 3)FIDIC Plant and Design Build 1st Edition 1999・同翻訳版
- 4)FIDIC MDB Harmonised Edition 2010

【備考】

エンジニア***、The Engineer***、現地エンジニア(Resident Engineer)***の違いを以下に記載する。

エンジニアとは設計施工監理者のことで、The Engineerや現地エンジニア(Resident Engineer)を総称したEngineerの和訳である。The Engineerとは設計施工監理者の法人代表を示すもので、当該プロジェクトに法人代表から全権委任された自然人(1名)を示す。現地エンジニア(Resident Engineer)とは、The Engineerからその権限の一部(または大半)を委譲された現場常駐のエンジニア(自然人:1名～数名)を示すものである。The Engineerは契約約款3.5条に規定される「決定(Determinations)」以外の権限を現地エンジニアに委譲できるが、「決定」権限を委譲する場合は当該権限に関する発注者と請負者双方の事前承認を必要とする。

新名神高速道路 宇治田原第一高架橋(鋼上部工) 工事

— 暫定2車線構造から完成3車線構造への上部構造抜本的な変更 —

NAKAMATSU Hiroshi
中 松 裕*

TANAKA Keisuke
田 中 啓 介**

SHIMAMOTO Yasumichi
島 元 保 道***

ASANO Shintaro
浅野 真太郎****

1. はじめに

新名神高速道路は名古屋市から神戸市に至る延長174kmの高速道路であり、このうち本事業は大津JCT～城陽JCT間の新規建設を行うものである。

本事業により、既に開通済みの亀山JCT～大津JCT間および城陽JCT～八幡京田辺JCT間と接続し、さらに京奈和自動車道とも接続することで、高速道路ネットワークの機能強化や災害・事故時の名神高速道路等と相互代替機能の発揮が見込める。

本工事は、新名神高速道路の京都府と滋賀県の県境付近に位置し、片側3車線の鋼橋上部工2橋(上り線、下り線)を建設する工事である。

なお、事業全体の見直し前後の構造形式は以下のとおりである。

【設計変更前：暫定(片側)2車線構造】

《上り線》

幅 員:10.650m

構造形式:鋼6径間連続少数鉸桁橋

床版形式:PC床版

鋼 重:597.2t

《下り線》

幅 員:10.650m

構造形式:鋼単純箱桁+鋼4径間連続少数鉸桁橋

床版形式:PC床版

鋼 重:882.9t

【設計変更後：完成(片側)3車線構造】

《上り線》

幅 員:15.150m

構造形式:鋼6径間連続鋼床版箱桁橋

床版形式:鋼床版

鋼 重:1,993.5t

《下り線》

幅 員:15.150m

構造形式:鋼5径間連続鋼床版箱桁橋

床版形式:鋼床版

鋼 重:2,230.0t



図-1 施工位置図 (出典:西日本高速道路(株) HP)

2. 橋梁概要

本橋の特徴として、発注当初は「暫定2車線構造」であったが、詳細設計直前に「完成3車線構造」の事業許可を国土交通大臣より受けたため、上部工構造および下部工構造の見直しが必要となった。

以下に、宇治田原第一高架橋の橋梁諸元を示す。

発 注 者:西日本高速道路株式会社 関西支社

路 線 名:高速自動車国道 近畿自動車道 名古屋神戸線

施工箇所:京都府綴喜郡宇治田原町禅定寺～岩山

工 期:2020年9月9日～2024年4月9日

橋 長:275.5m(上り線)

294.5m(下り線)

支 間 長:48.5m+38.5m+3@49.0m+38.5m(上り線)

71.5m+60.0m+2@57.5m+45.0m(下り線)

近接する宇治田原トンネルの施設物添架のために、壁高欄外側に張り出し鋼床版を設置している。

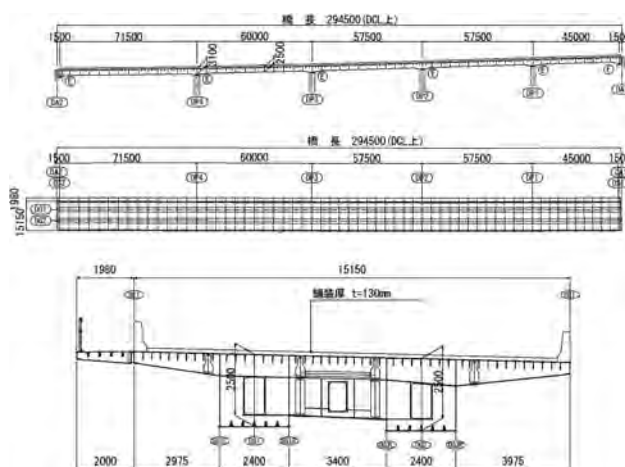


図-2 上部工一般図(下り線)

* (株)IHIインフラシステム 橋梁技術本部 エンジニアリング部 設計第2G

** (株)IHIインフラシステム 橋梁技術本部 工事部 工事東第2G

*** (株)IHIインフラシステム 橋梁技術本部 工事部 工事西第2G

**** (株)IHIインフラシステム 橋梁技術本部 エンジニアリング部 計画第1G

3. 鋼床版箱桁への構造変更

当初、構造形式は暫定(片側)2車線のPC床版2主桁桁橋であり、将来形の片側3車線に拡幅する際には、下部工の基礎補強および横梁拡幅を行い、上部工に増し桁および床版拡幅を行う計画であった。(図-3)

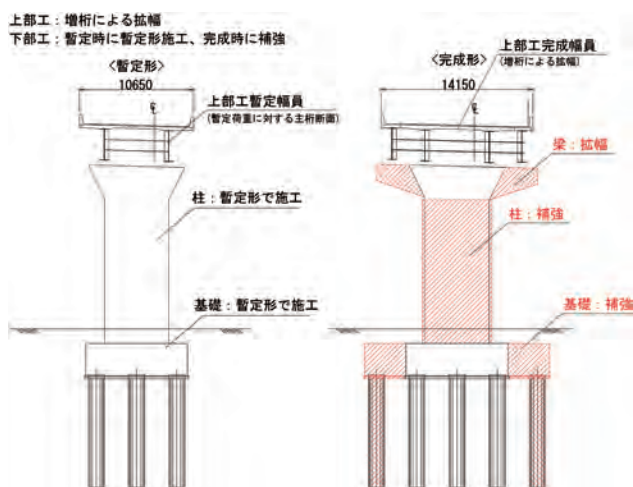


図-3 拡幅計画図

しかしながら、本工事を受注した段階で片側3車線の事業認可が下りたため、暫定形で施工済みの下部工を拡幅することなく、また支承位置の変更なしで完成形に対応できる構造を検討した。完成(片側)3車線化することにより、活荷重が増加するため、死荷重を基本設計以下の状態に抑える必要があることから、死荷重軽減が一番期待できる鋼床版形式を採用した。(図-4)

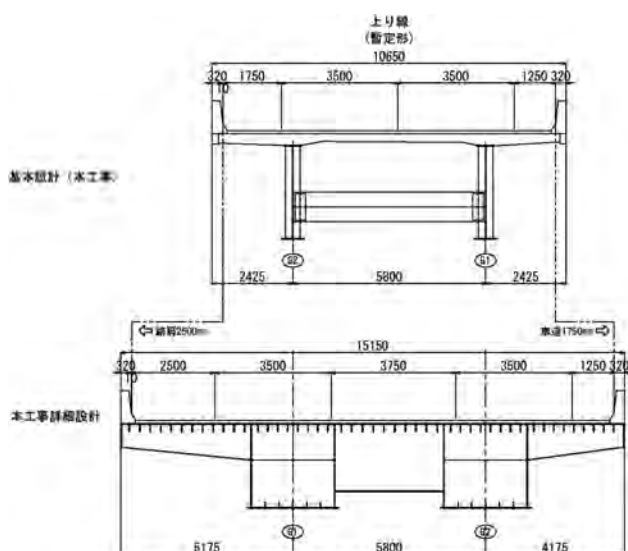


図-4 鋼床版形式

検討の結果、鋼床版を採用することにより3車線上部工を設計した場合においても、当初計画されていた暫定2車線よりも死荷重が軽くなることを確認できた。(表-1)死+活荷重で比較した場合でも、ほぼ暫定2車線と同程度となるため、鋼床版形式を採用することにより、下部工の補強を行うことなく、完成3車線化が可能となった。

表-1 反力比較表

			A2	P5	P4	P3	P2	P1	A1
完 成	G1	死	1,480	2,970	2,450	3,060	2,930	2,920	1,120
		活	1,880	3,040	2,940	3,130	3,100	3,000	1,710
		死+活	3,360	6,010	5,390	6,190	6,030	5,920	2,830
	G2	死	1,370	2,720	2,270	2,800	2,690	2,690	1,040
		活	1,580	2,570	2,500	2,650	2,620	2,540	1,440
		死+活	2,950	5,290	4,770	5,450	5,310	5,230	2,480
比 較 (暫 定 と)	全死荷重合計(率)		2,850	5,690	4,720	5,860	5,620	5,610	2,160
	G1	死荷重増加(率)	-470 (0.759)	-1,130 (0.724)	-900 (0.731)	-1,240 (0.712)	-1,070 (0.733)	-1,180 (0.712)	-280 (0.800)
		死荷重増加(率)	-530 (0.721)	-1,280 (0.680)	-980 (0.698)	-1,400 (0.667)	-1,210 (0.690)	-1,310 (0.673)	-360 (0.743)
	G2	死荷重増加(率)	-1,000 (0.740)	-2,410 (0.702)	-1,880 (0.715)	-2,640 (0.689)	-2,280 (0.711)	-2,490 (0.693)	-640 (0.771)
		全死荷重合計増加(率)							
	全死荷重合計増加(率)								

4. 路面凍結に対する検討

一般的に鋼床版は路面凍結が生じやすいとされている。本橋の架橋位置の宇治田原町では冬季気温が氷点下を記録する場所であるため、路面凍結の対応についても検討を行う必要があった。

4-1. HFRC舗装の採用

鋼床版の上面に50mmのHFRC舗装を施工し、その上に80mmのアスファルト舗装をおこなう計画とした。(図-5)この対応により、コンクリートの蓄熱の影響で、通常の鋼床版+アスファルト舗装よりも路面凍結に対して有利になることが期待できる。

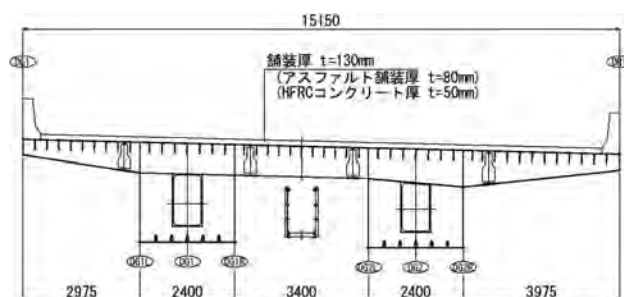


図-5 HFRC舗装

4-2. 熱収支解析

路面の凍結制御に配慮した鋼床版の計画の妥当性を評価する一環として、FEMによる熱伝達解析を実施した。

(1) 解析モデル

本検討では主桁形式・床版種類及び、舗装構成の違いが外気温に応じて変化する路面温度にどのような影響を与えるか比較するため以下のモデルで比較をおこなった。(図-6)

パターン①-1 鋼床版(開断面リブ) 箱桁:アスファルト舗装+HFRCコンクリート

パターン①-2 鋼床版(開断面リブ) 箱桁:アスファルト舗装のみ

パターン② PC床版鉄桁:アスファルト舗装

解析モデルは桁・床版・舗装をそれぞれソリッド要素によりモデル化し解析ソフトABAQUSを用いて解析をおこなった。

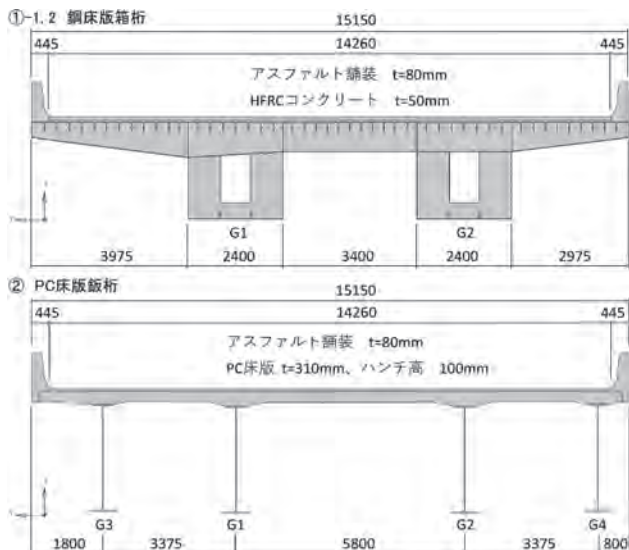


図-6 解析モデル

(2) 解析条件

解析に用いた材料熱特性を表-2に示す。解析で考慮する放射の項目を図-7に、正味の放射量である純放射 R_n (W/m²)は放射収支として式(1)で表す。

$$R_n = (St - Sr) + (Ld - Lu) \dots \dots \dots \text{式(1)}$$

解析は、外気温・日射・放射(放射冷却)を考慮した、48時間の非定常熱伝達解析とした。外気温は、施工場所の宇治田原で計測された冬季のデータを用いた。(1/30～2/1)(図-8)日射については、宇治田原の日射データが無い為、日射データがある一番近い奈良市のデータを使用した(1/30～2/1)

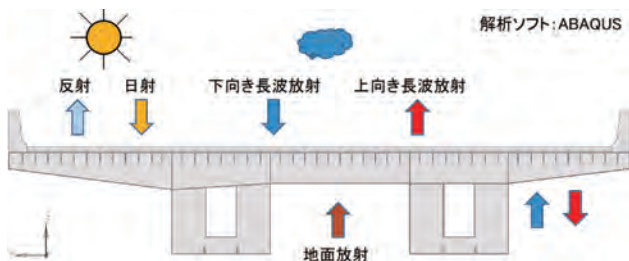


図-7 放射イメージ図

表-2 材料特性

	熱伝導率(W/m・K)	比熱(J/kg・K)	密度(kg/m ³)
アスファルト舗装	0.74	920	2,120
HFRCコンクリート	1.50	1,050	2,300
コンクリート床版	2.70	1,155	2,500
鋼材	50.00	460	7,800
地盤	3.45	795	2,650

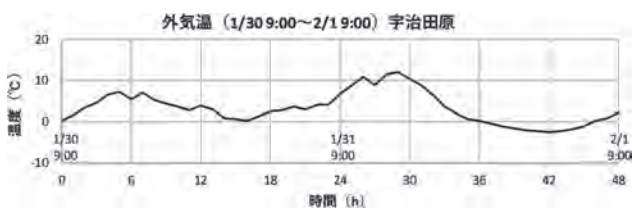


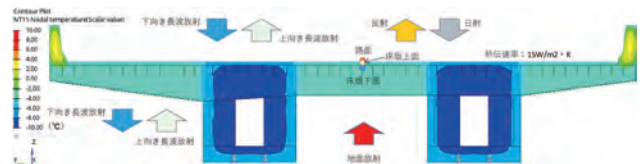
図-8 外気温

(3) 解析結果

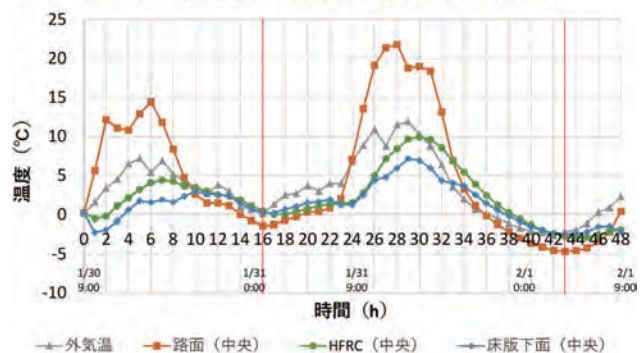
舗装面等の熱伝達解析結果について、以下に示す。

- 図-9:パターン①-1の床版支間中央部
- 図-10:パターン①-2の床版支間中央部
- 図-11:パターン①-1の箱桁直上部
- 図-12:パターン①-2の箱桁直上部
- 図-13:パターン②の床版支間中央部

<鋼床版箱桁：アスファルト舗装+HFRCコンクリート>



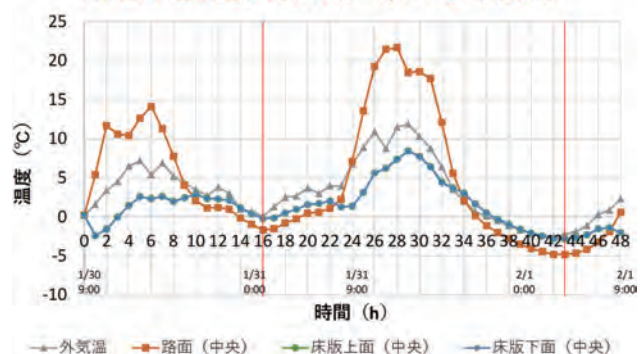
外気温と路面温度 (1/30 9:00～2/1 9:00) 宇治田原



1/31 1:00 温度(°C)	中央	2/1 4:00 温度(°C)	中央
路面	-1.41	路面	-4.63
HFRC	0.47	HFRC	-2.74
床版下面	0.18	床版下面	-2.44

図-9 ①-1床版支間中央部

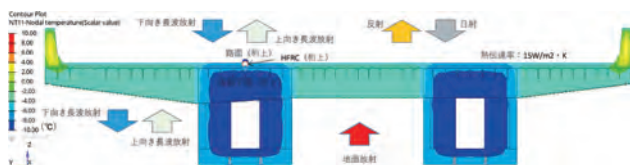
外気温と路面温度 (1/30 9:00～2/1 9:00) 宇治田原



1/31 1:00 温度(°C)	中央	2/1 4:00 温度(°C)	中央
路面	-1.67	路面	-4.80
床版上面	-0.21	床版上面	-2.80
床版下面	-0.21	床版下面	-2.79

図-10 ①-2床版支間中央部

＜鋼床版箱桁：アスファルト舗装のみ＞



外気温と路面温度（1/30 9:00～2/1 9:00）宇治田原

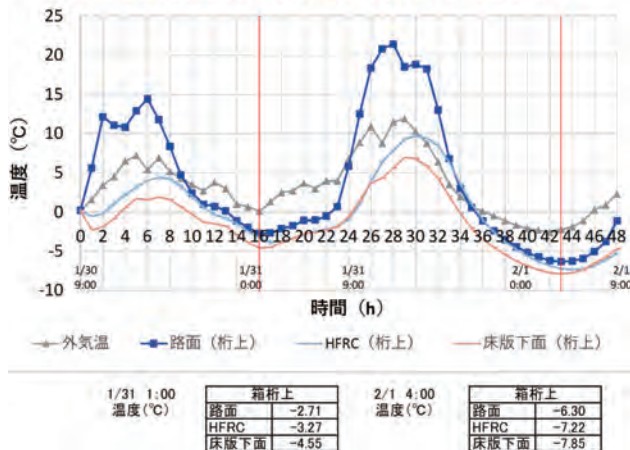
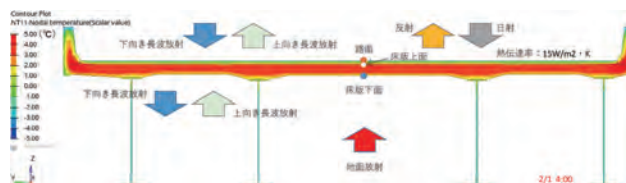


図-11 ①-1箱桁直上部

＜PC床版鉄桁：アスファルト舗装＞



外気温と路面温度（1/30 9:00～2/1 9:00）宇治田原



図-13 ②床版支間中央部

外気温と路面温度（1/30 9:00～2/1 9:00）宇治田原

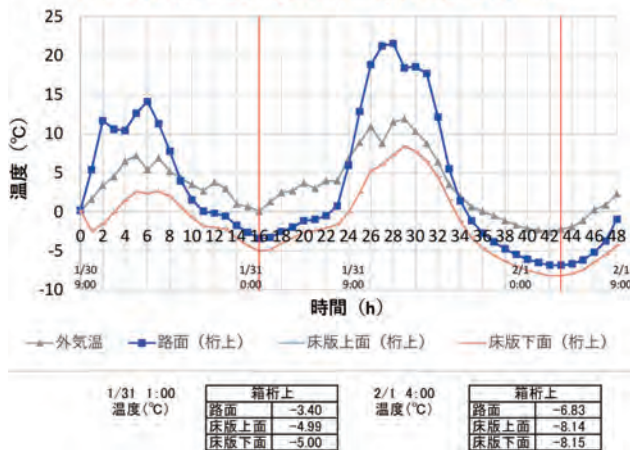


図-12 ①-2箱桁直上部

(4) 各モデル比較

1) 床版支間中央部と箱桁直上の比較

図-9より床版支間中央の最低温度は-4.6℃、図-11より箱桁直上の最低温度は-6.3℃と鋼箱桁直上は鋼床版中央より舗装面の温度が1.7℃低い結果となった。大気や地盤からの上向き放射が鋼箱桁下フランジで遮られ箱桁内部の温度が上昇しないため、箱桁直上の路面温度が低温となることが分かった。

2) HFRC コンクリートの有／無の比較

図-11よりHFRC有りの最低温度は-6.3℃、図-12よりHFRC無しの最低温度は-6.8℃と厚さ50mmのHFRCコンクリートを設けた場合の舗装面の温度は約0.5℃高い結果となった。HFRC コンクリートによる蓄熱効果が若干ではあるが確認することができた。

3) 鋼床版とコンクリート床版の比較

図-11より最低温度は-4.6℃、図-12よりコンクリート床版の場合の最低温度-2.8℃と鋼床版はコンクリート床版より舗装面の温度が約1.8℃低い結果となった。鋼床版はコンクリート床版より蓄熱量が少ないため路面温度が低下しやすいことが分かった。

5. 片ウェブジャッキアップによる応力分布の検討

中間支点のジャッキアップポイントは、橋脚幅が狭いため、箱桁の内側ウェブのみでジャッキアップする必要がある。図-14のように箱桁上の支持位置が大きく偏心するため、下フランジの応力分布に影響が出てくることが想定された。このため、中間支点部を切り出した3DモデルでFEM解析をおこない、支持点偏心の影響を確認し補強の有無を検討した。

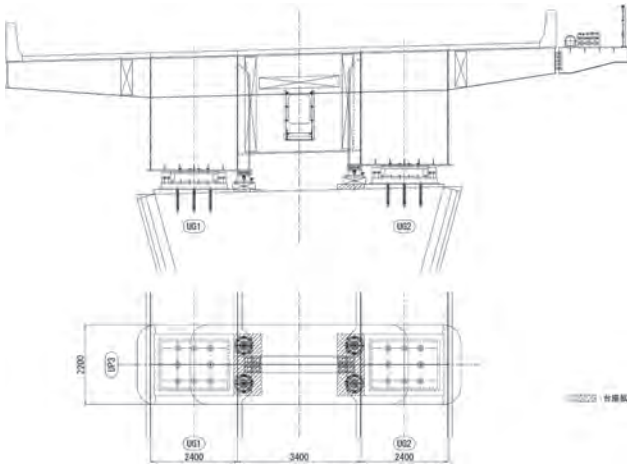
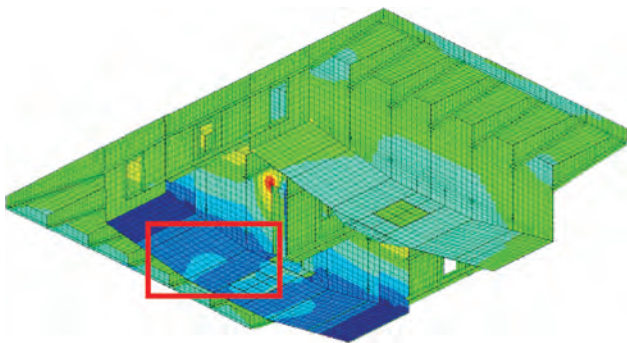


図-14 ジャッキアップ位置

FEM解析の結果、下フランジの平均応力（公称応力に相当）に対して、最大応力は約1.2～1.3倍となることがわかった。（図-15）

設計計算時の断面計算では有効幅を考慮するため、下フランジの応力は平均応力の1.13倍となることより、断面計算の結果とFEMの結果を比較すると、ジャッキアップによる支持点偏心の影響は10%程度（ $1.26/1.13=1.11$ ）の応力増加が想定される。ジャッキアップ断面力算出時には活荷重満載、架設時割り増し未考慮を考えると、10%程度の応力増加は問題ないと判断した。このためジャッキアップを偏芯させることによる下フランジへの補強は不要と判断した。



G1主桁 下フランジ 外面

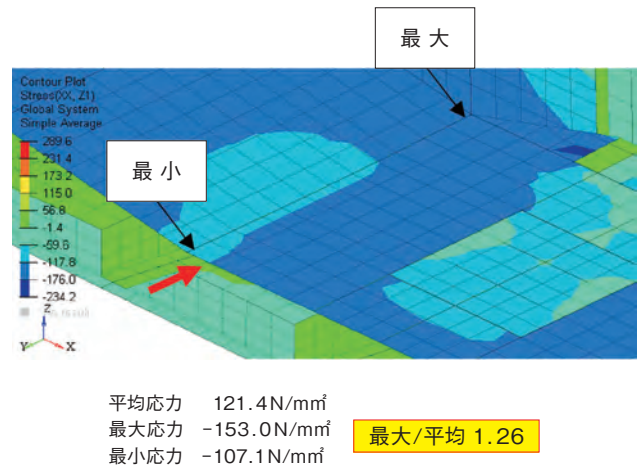


図-15 下フランジコンター図

6. 現場溶接による収縮量を考慮したキャンバー管理

本橋の現場接合は、鋼床版が現場溶接、下フランジおよびウェブが高力ボルトによる併用継手である。そのため、溶接部の収縮による影響が施工時の課題であった。

6-1. 溶接収縮量の設定

橋軸直角方向の溶接収縮量について、計画値と実施値の差異は上部工の出来形（桁のそり）に影響する。溶接収縮量は一般的に2mmとされているものの、明確な値は定まっておらず、仮に実施値が2mm以下となれば、現場溶接による上げ越しキャンバーが残る形となってしまう、鋼床版上の仕上がり高さがプラス方向のままとなってしまう。

一方で、鋼床版上の仕上がり高さの規格値がマイナス傾向を目標としていることから、溶接収縮量を1mmとして上げ越しキャンバーを設定した。（写真-1）なお、溶接収縮量1mmは当社における過去の工事実績から設定しており、本工事の現場溶接前後で収縮量を計測した結果、同様の傾向となった。よって、溶接収縮量1mmの設定は適正であったといえる。

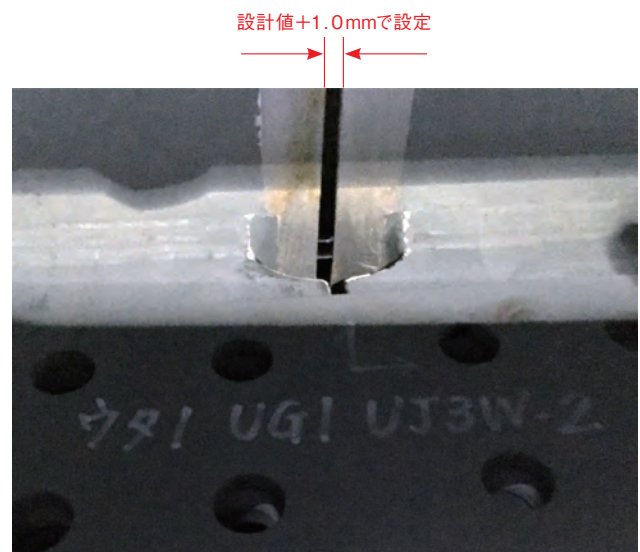


写真-1 現場溶接前（ルートギャップ）

6-2. 橋梁全体での上げ越しキャンバーを設定

一般的に各径間毎で上げ越しキャンバーを設定することが多いが、橋脚付近の継手部について上げ越し量が残ってしまう可能性があった。そこで、図-16に示すように橋梁全体で上げ越しキャンバーを設定し、写真-2のように溶接順序を考慮して3段階に分けて支点上のジャッキダウンを行い、支点反力を開放した。

なお、現場溶接と桁降下を3段階に分けて行った理由は、出来形精度の確保の他に、溶接収縮に伴い発生する鋼桁断面力を低減させる目的もあった。



図-16 上り線モデル図

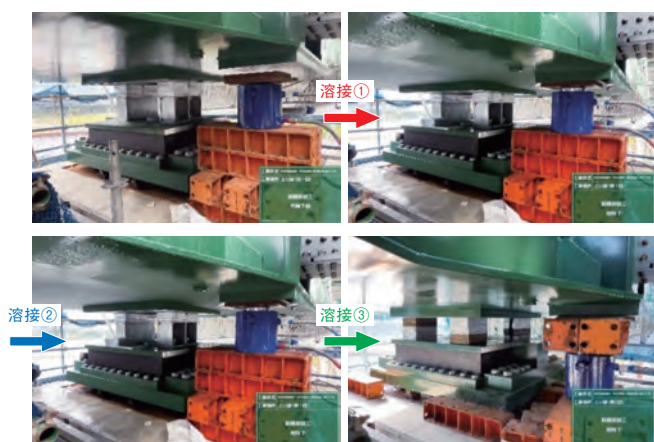


写真-2 現場溶接に伴う支点反力の解放
(左上:溶接前 右下:全溶接完了後)

6-3. 各支点上の溶接キャンバー上げ越しに対する 支点支持構造

上記6-2に伴い、支点上では最大419mmの上げ越しが発生した。そこで、支承とベースプレートの間に予め製作しておいた「仮受け架台」を設置し、桁および支承とを各々セットボルトにて連結した。(写真-3)

なお、3段階に分けて桁のジャッキダウンを行うため、仮受け架台の構造は型鋼と鋼板の組合せ構造とした。



写真-3 溶接上げ越し用仮受け架台

7. 鉸桁から箱桁構造への変更に伴う架設制約条件の対応

本工事はトラッククレーンベント工法であり、府道と町道との交差点上に位置する。(図-17)

最大3ブロック(部材長24.0m、鋼重68.0t)の鋼桁を地組立しなければならぬが、地組立ヤードが道路付近にない。また、道路上の桁架設については、道路の通行止めを行うだけでなく、橋脚や橋台などの構造物に支持させなければ交通開放ができないという安全上の制約がある。

当初の鉸桁構造から箱桁構造に変更されたことにより、「架設ブロック重量増」や「必要な地組立ヤード面積増」それに伴う「クレーン能力およびサイズ増」など制約条件がさらに増えたが、安全上の制約から1夜間で架設を終える必要があった

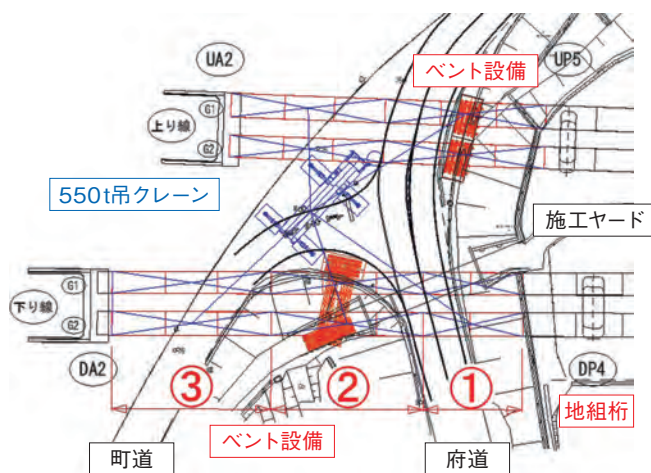


図-17 交差点付近の現場平面図

7-1. クレーンリレー 架設による道路上での地組立の省略

道路上で地組立を行う場合以下の問題が発生する。

- 地組立を行うために、終日通行止めを行わなければならない。
- 1夜間で地組桁を3ブロック架設しなければならないので、地組立と桁架設を同日に行おうとした場合、タイムスケジュール的に不可能である。
- 道路下にはライフラインなどの地下埋設物があり、クレーン据え付け位置が限定的である。

対策として、以下の施工方法を採用した。(図-18)

<桁地組立>

- (1)3ブロックの地組桁①②③は、施工ヤード内にて地組立を行う。
- (2)施工ヤードと交差点内の両方に550t吊クレーンを据え付ける。
(以下、施工ヤードは550t吊1号機 交差点架設ヤードは550t吊2号機と称する)

<夜間架設>

- (3)550t吊1号機にて地組桁②を道路上に移動させる。
- (4)道路上に仮置きされた地組桁②を550t吊2号機に吊替える。
- (5)550t吊1号機にて地組桁①を架設する。

- (6) 550t吊2号機にて地組桁②を架設する。(写真-4)
- (7) 550t吊1号機にて地組桁③を道路上に移動させる。
- (8) 道路上に仮置きされた地組桁③を550t吊2号機に吊替え架設する。

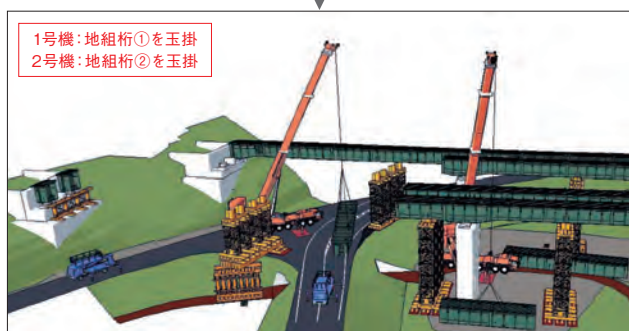
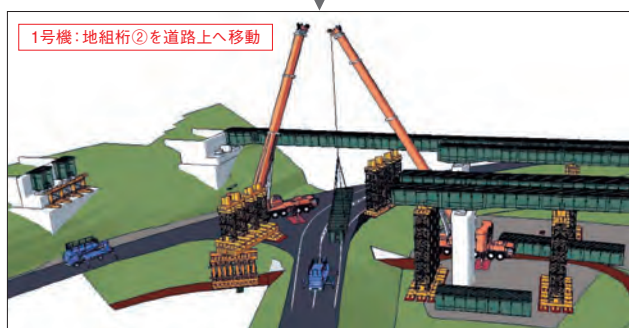
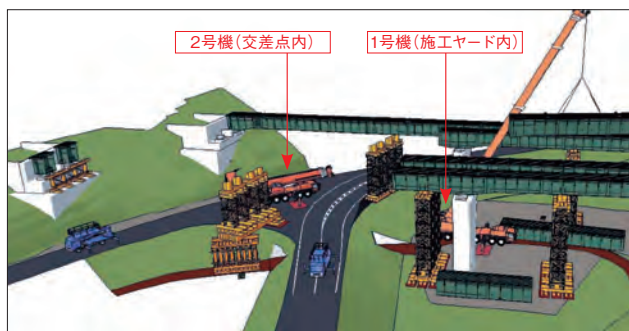


図-18 大型クレーンリレー架設3Dモデル

これらにより、各主桁を1夜間で橋台まで到達させることができた。



写真-4 大型クレーンリレー 架設

7-2. 落とし込みブロックの添接板処理

交差点上にて主桁の落とし込み架設を行わなければならない。(図-19)

一般的に、落とし込みブロックのウェブ添接板は写真-5に示すように観音開きの状態で桁を落とし込み、定位置にて添接板を閉じて主桁を連結させる。

しかし、ウェブと隣接する縦リブとの間隔が240mmしかなく、添接板の幅が480mmであるため観音開き構造とならない。そのため、主桁ブロックを落とし込み後に、添接板を人力で取り付ける必要があった。

そこで、添接板を1枚構造から2枚構造に変更し、縦リブと干渉するものとそうでないものに分け、接合時間の短縮を図った。(図-20、写真-5)

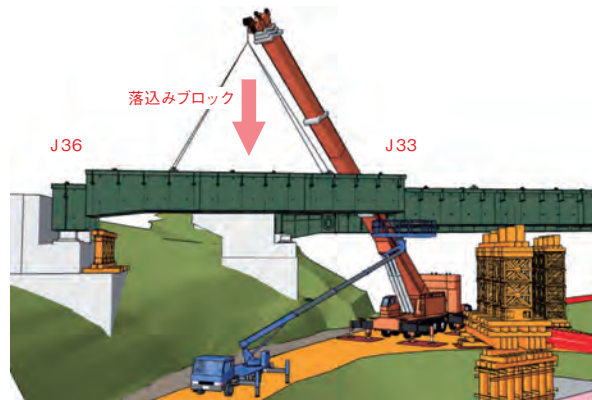


図-19 交差点上の落とし込み架設(3Dモデル)

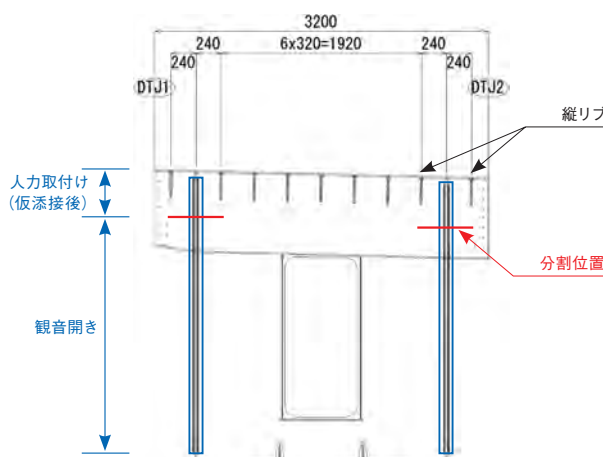


図-20 添接板の分割



写真-5 添接板 観音開き状況

また、分割構造とすることで、人力取付けの添接板重量が80kg/枚であったものが14kg/枚となったため、挟まれ災害発生リスクを低減することができた。

8. まとめ

宇治田原第一高架橋の設計、架設について報告した。本工事は、PC床版から鋼床版へ構造形式が変更となったため、鋼床版の疲労や路面凍結についての見解を求められた。これらについて検討を行うことで、疲労対策や凍結防止対策について知見を深める良い機会となった。また、現場溶接について新たな収縮量の設定や、架設現場の工夫により十分な出来形を確保することが出来た。

本報告が、今後同様の橋梁の設計・架設を実施する際に、参考となれば幸いである。

最後に、宇治田原第一高架橋の設計・架設にあたり、ご指導、ご協力を頂いた西日本高速道路株式会社新名神京都事務所の方々をはじめ、関係者各位に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 福田 雅人、植村 亮太、中松 裕、Gankhuu Khurelbaatar
：鋼床版の凍結抑制に関する解析的検討、土木学会第77回年次学術講演会、2022.9

南環川西高架橋上部工事

— 3Dモデル、鉄筋プレファブ化、MRデバイスを活用した生産性向上を目指した取組み —

TANAKA Shinya UENO Masashi SAKAGUCHI Taichi
田中 慎也* 上野 雅** 坂口 太一**
KATOU Syun KAWADA Hiromasa
加藤 俊*** 川田 博正***

1. はじめに

川西高架橋は、国道192号徳島南環状道路(徳島県徳島市上八万町川西)に架けられる橋梁の一つである。徳島南環状道路は、徳島外環状道路35kmのうち、国道192号のバイパスとして国で施行する延長9.5km(徳島市国府町観音寺～八万町大野)の道路である。完成時は4車線の自動車専用道路として時速80km/hで設計されており、インターチェンジを通じて利用する形態となる。当面は暫定2車線(一部側道を利用)として早期開通を目指している。

本橋は、図-1に示すように、P8端支点横桁に「打ち下ろし部」と「落橋防止壁」、橋脚上には「落橋防止突起」を有する。前者2箇所は過密配筋の部位である。加えて、構造配置に起因した狭隘なスペースでの施工となり、特に鉄筋組立では作業効率の低下が懸念された。これを解決するために、①3Dモデルの活用により i) 鉄筋プレファブ化の部位選定と生産性の向上及び現場作業の省力化、ii) 鉄筋組立手順を工事関係者間で共有、②MR(複合現実) デバイスを活用することで、i) 作業イメージの共有、ii) 干渉チェック、iii) 若手作業員への技術伝承、以上を図ることとした。

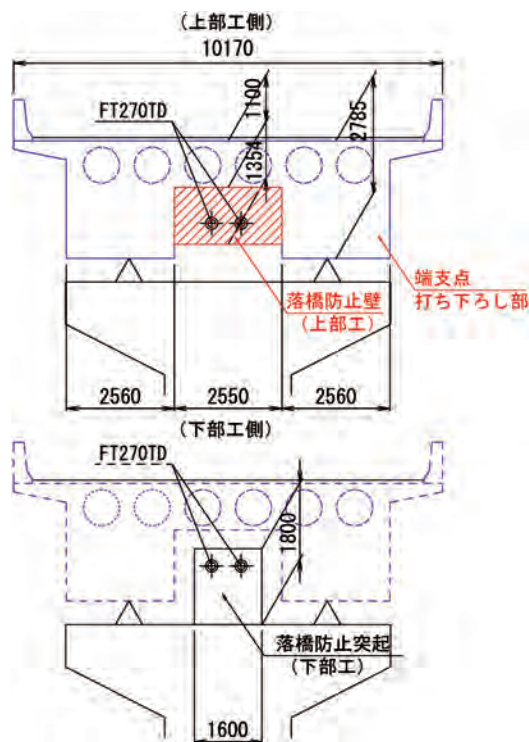
本稿は、工事におけるプレファブ鉄筋の実装、3DモデルやMRデバイスの活用について報告を行うものである。生産性向上の検証では、プレファブ化しなかった場合も想定して、作業時間の比較を行った。

2. 工事概要

川西高架橋の橋梁諸元を表-1、橋梁一般図の側面図ならびに断面図を図-1に示す。川西高架橋は、PC4径間連続中空床版橋である。図-1に示すように、P8端支点横桁に打ち下ろし部を有し、打ち下ろし部に挟まれる形で、落橋防止壁を有する構造である。

表-1 橋梁諸元

工 事 名	令和4-5年度 南環川西高架橋上部P8-A2工事
発 注 者	四国地方整備局 徳島河川国道事務所
工事場所	徳島県徳島市上八万町川西地先
工 期	令和5年4月～令和6年3月
構造形式	PC4径間連続中空床版橋
橋 長	94.600m
支 間	18.100m+2@25.200m+25.050m
有効幅員	標準部：9.280m、非常駐車帯部：12.780m



〈断面図(P8端支点横桁)〉

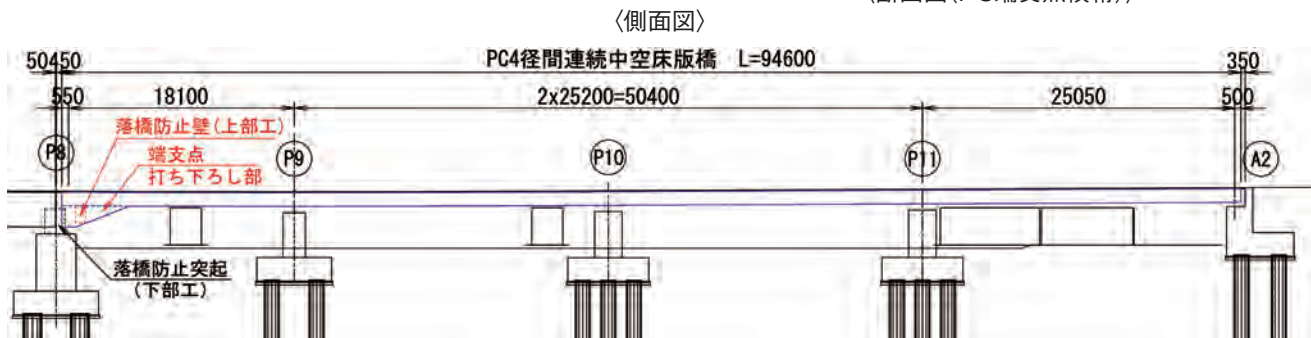


図-1 橋梁一般図

(単位:mm)

* (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 PC技術部1G
** (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 工事1部 PC工事G
*** (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 事業推進部 企画G

3. 3Dモデルの活用と鉄筋プレファブ化

3-1. 検討概要

端支点打ち下ろし部は、図-2に示すように落橋防止壁を有し、落橋防止壁からは太径鉄筋D29が打ち下ろし部へ突出しており、主桁鉄筋や横桁鉄筋と錯綜する状況であった。そのうえ、鉄筋組立は狭隘なスペースでの作業となるため、現場作業の効率低下が懸念された。また、設計担当者の見落としによる部材の干渉は、鉄筋組立など現場工程がある程度進んで発覚した場合、大幅な作業の手戻りが発生し、工期に収まらなくなる可能性がある。3Dモデルを活用することで、現場着手前に、鉄筋組立手順の決定、干渉や鉄筋組立不可能箇所での鉄筋加工変更を行った。また、鉄筋組立の検討においては、現場作業効率の向上を模索し、落橋防止壁の鉄筋にプレファブ化を採用するものとした。

3-2. 鉄筋プレファブ化の検討

図-3に鉄筋プレファブ化の検討フローを示す。以降に検討フローの詳細を示す。

(1) 3Dモデルの作成

設計図より、図-4に示す端支点打ち下ろし部の3Dモデルを作成した。この3Dモデル化は、鉄筋(主桁鉄筋、横桁鉄筋、落橋防止壁の鉄筋)、PCシース、定着具、円筒型枠、落橋防止壁、落橋防止装置、支承について行った。

(2) 鉄筋組立手順の検討

3Dモデルを用いて、主桁、横桁、落橋防止壁におけるすべての鉄筋(軸筋、横方向鉄筋、スターラップなど)の組立手順を明確にした後、その手順の確認とプレファブ鉄筋の範囲の決定を目的に、検討会議を実施した。落橋防止壁を含む打ち下ろし部が狭隘なスペースであり、傾斜のある型枠面での効率の悪い作業となるため、落橋防止壁における鉄筋のプレファブ化を検討会議で決定した(図-5)。さらにプレファブ鉄筋の一部である太径鉄筋D29が横桁スターラップのフックと干渉し、プレファブ鉄筋の落とし込みができないことがわかった(図-6)。このため、スターラップの分割を行い、フックを含む鉄筋をプレファブ鉄筋の落とし込み後に配置するよう変更した。

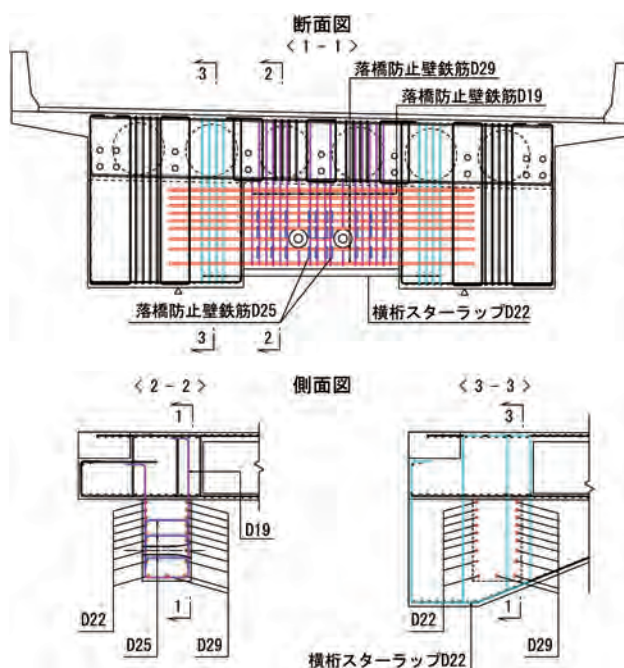


図-2 端支点打ち下ろし部の配筋

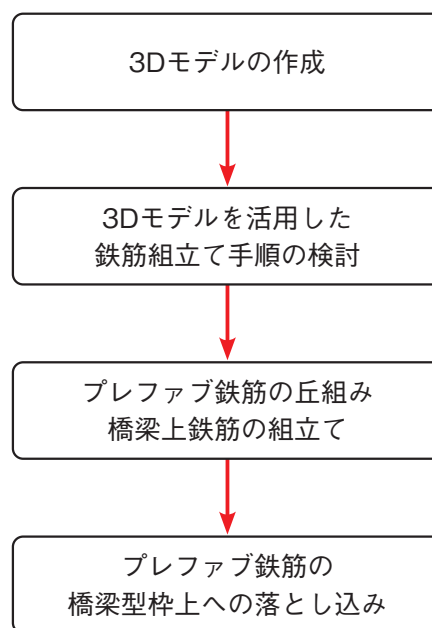


図-3 鉄筋プレファブ化の検討フロー

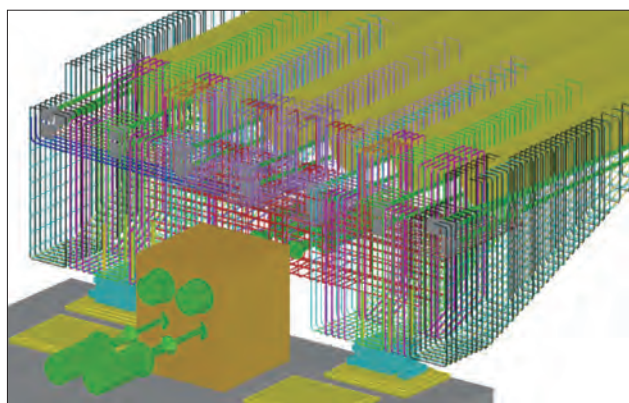


図-4 端支点打ち下ろし部の3Dモデル

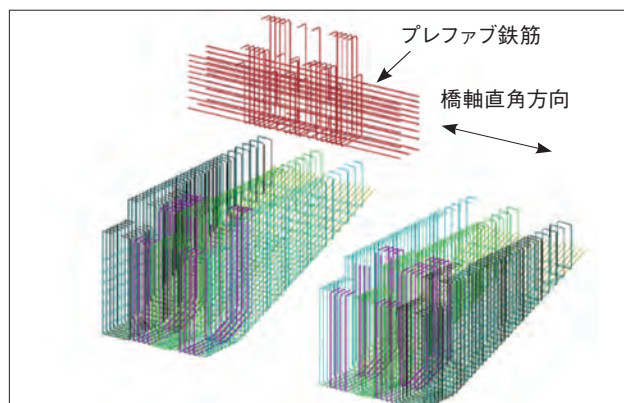


図-5 落橋防止壁のプレファブ鉄筋

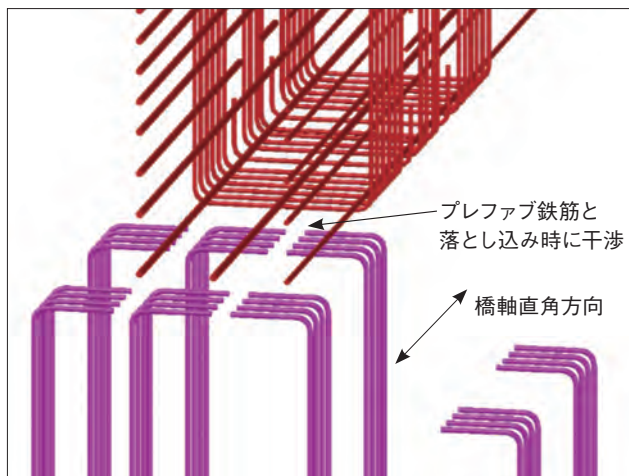


図-6 プレファブ鉄筋と横桁鉄筋の干渉



写真-1 プレファブ鉄筋の落とし込み状況

(3) プレファブ鉄筋の丘組み

落橋防止壁のプレファブ鉄筋は、現場ヤード内で丘組みを行った。地上での丘組みにより、主桁鉄筋、横桁鉄筋などとの干渉が発生せず、高所からの鉄筋の受渡しも不要であるため、狭隘な空間、傾斜面での作業を回避でき、作業効率の向上のみでなく安全性も向上できた。丘組みは、型枠内一連の鉄筋組立作業とは別に事前に行うことが可能であり、組みあがりブロック化した鉄筋群は当該空間にジャストインタイムで落とし込むことが可能である。

(4) プレファブ鉄筋の落とし込み

丘組み後、橋梁型枠上にプレファブ鉄筋の落とし込みを行った(写真-1)。吊り上げ時のプレファブ鉄筋の変形を防止するための補強筋を配置するとともに、結束線をクロスに配置し(写真-2)、強固に固定したことで、プレファブ鉄筋を所定の位置に配置することができた。



写真-2 結束線のクロス配置

3-3. 生産性向上の検証

プレファブ化施工による生産性向上を検証するため、落橋防止壁の鉄筋工における標準施工とプレファブ化施工との作業時間を表-2のように比較した。標準施工では、長尺鉄筋の上下受け渡し作業を行うため、過去の実績より作業員は4名を想定し、鉄筋組立時間には、1人当たり、スターラップ18本を2分/本、長尺鉄筋19本を3分/本、幅止め筋30本を10分と想定し、作業時間を算出した(本橋特有の打ち下ろし部での作業効率低下も考慮)。一方で、プレファブ化施工では、鉄筋受け架台の組立・解体、鉄筋組立、型枠上への落とし込み、補強鉄筋の取り外しなどの作業があるため、表-2のように発生した作業人数と作業時間を集計した。この結果、標準施工の総時間(実績)が24,720秒(412分)に対し、プレファブ化施工の総時間は17,220秒(287分)となり、約30%の現場作業の省力化が可能となった。

表-2 作業時間の比較(標準施工とプレファブ化施工)

	作業内容		作業人数(人)	作業時間(min/人)	総時間(s)
標準施工	①	落橋防止装置用隔壁部の鉄筋組立	4	103min 0s	24,720
プレファブ化施工	①	丘組み(鉄筋受け架台組立)	3	5min 36s	17,220
	②	丘組み(鉄筋組立)	3	76min 10s	
	③	丘組み(鉄筋受け架台解体)	2	4min 25s	
	④	落とし込み(クレーン操作)	1	5min 30s	
	⑤	落とし込み(作業員)	4	5min 30s	
	⑥	落とし込み(補強鉄筋の取り外し)	1	5min 22s	
生産性向上効果(秒)					7,500
生産性向上効果(%)					33.0

※総時間＝作業人数×一人あたりの作業時間

一方で、実橋においてプレファブ化を活用し、今後さらなる省力化を目指す上での問題点も明らかになった。鉄筋組立時において、吊り上げ時の変形防止用の結束線をクロス配置にしたり、結束箇所を多くしたため、当初想定した計画よりも時間・人員を要することとなった。今後は、プレファブ鉄筋同士の固定方法を一部自動鉄筋結束機を使用し、作業速度を上げるなどの工夫が必要と考える。

3-4. MRデバイスの活用

(1) 作業イメージの共有

鉄筋組立などの作業手順の関係者間での共有、若手作業員への技術伝承を図ることを目的に、MRデバイスを活用した(図-7)。鉄筋組立手順で作成した3DモデルをMRデバイスに取り込み、実現場での鉄筋組立手順のイメージを作業員に共有してもらうことで、作業手順の理解度が向上し、作業の手戻りがなく鉄筋組立が可能となった。

(2) 現地での干渉チェック

3Dモデル内での干渉チェックは事前に実施しているが、現地には型枠セパレーターなどモデル化していない細かい仮設材もある。これらはMRデバイスを用いて、干渉チェックを実施した。即ち、MRデバイスに3Dモデルを投影することで、型枠に設置されたセパレーターと鉄筋の干渉が確認できる。これより施工前にセパレーターを干渉しない位置に変更した。3Dモデル上での取り合い確認だけでなく、MRデバイス活用による鉄筋以外の型枠用金物等、現地における干渉チェックは不可欠である。

(3) 建設業への担い手確保

一般国道192号徳島南環状道路事業への理解を深めてもらうとともに建設業への担い手を確保するため、大学生を対象に現場見学会を開催した(写真-3)。現場説明会においては3Dモデルを活用し、鉄筋組立手順をMRデバイスに投影して、作業イメージを共有して実施工を疑似体験することで建設業の魅力を伝えることができた。

4. まとめ

本工事は、風雪などの悪天候に見舞われたが、2024年3月に無事竣工を迎えた(写真-4)。本工事で試行した3Dモデルを活用した鉄筋組立手順の決定や落橋防止壁における鉄筋プレファブ化などの取組みは、生産性向上に寄与できると考える。本橋では、落橋防止壁鉄筋のみの部分的なプレファブ化を試行したが、今後、適用範囲を拡げることで、さらなる省力化が期待できる。本報告が今後の同種工事の参考になれば幸いである。

本工事の施工に多大なご指導、ご協力をいただきました国土交通省四国地方整備局の方々に、深く感謝の意を表します。

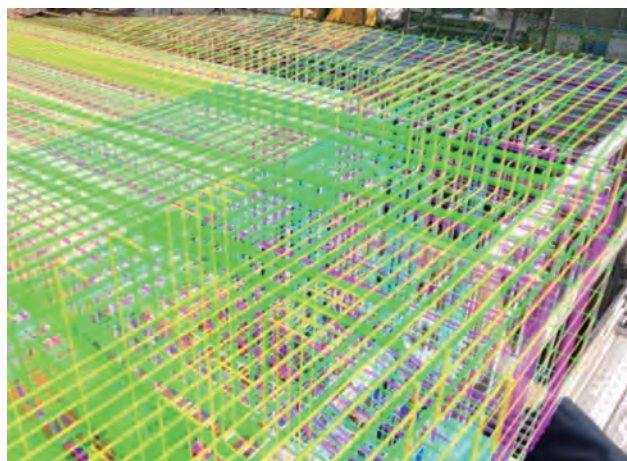


図-7 MRデバイス内における現地映像



写真-3 現場見学会



写真-4 完成写真(起点側より)

麻生の浦大橋2号橋(ニールセンローゼ橋)におけるケーブル取替工事

OGATA Yui い* KATO Makoto 加藤 誠** KONNO Katsufumi 近野 勝富美**
OKUNO Sota 奥野 颯**

1. はじめに

麻生の浦(おうのうら)大橋2号橋(写真-1、図-1、図-2)は、三重県鳥羽市浦村町に位置するバスケットハンドル型ニールセンローゼ橋である。本橋は、1972年(昭和47年)の架橋から50年以上経過しており、ケーブル腐食の進行が確認され、耐荷力の低下が懸念された。そのため、本工事では全64本のケーブルのうち腐食の激しい8本のケーブル取り替えを実施した。

ケーブル取替時に仮設ケーブルを使用せず、全ケーブルではなく8本のみを取替える施工方法は過去に事例がない工事であった。本稿では施工手順およびそれに伴う検討事項について報告する。

2. 工事概要

本橋は、2019年に実施した定期点検等において、ケーブル被覆材の破損および素線の腐食(写真-2、写真-3)が確認された。緊急対応として片側交互通行による荷重の制限を目的とした交通規制が実施された。

その後、詳細調査を行った結果、素線の腐食率を考慮した耐荷性能照査により、山側の2本と海側の2本の合計4本(腐食率:17.3%~7.8%)のケーブルを取り替えれば、交通規制の解除が可能と判断された。

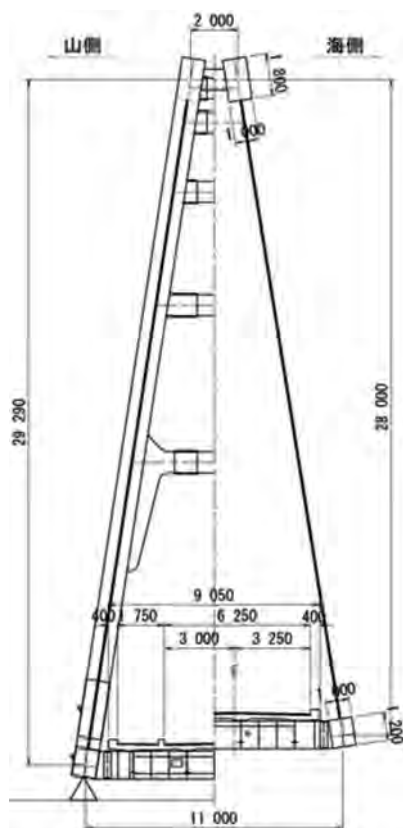


図-1 上部工断面図



写真-1 全景写真



写真-2 腐食状況
(ケーブル0215)



写真-3 腐食状況
(ケーブル0217)

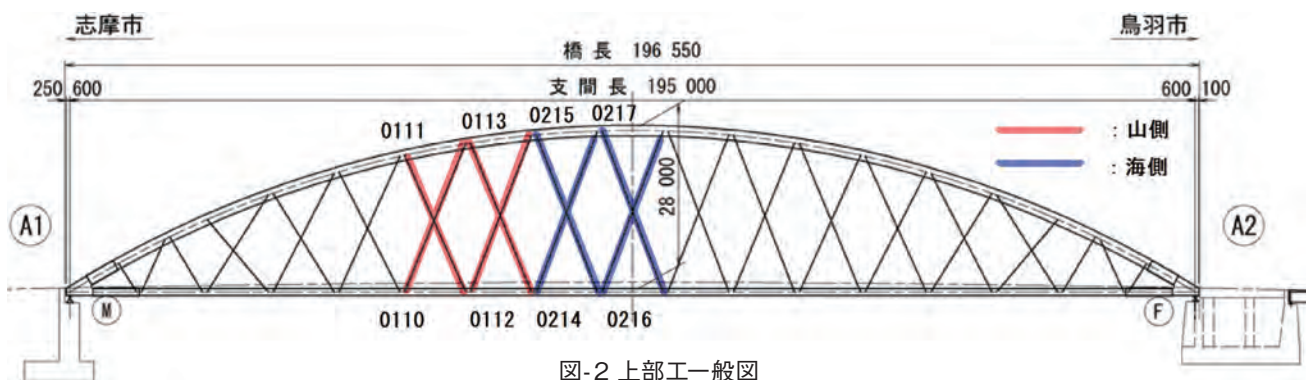


図-2 上部工一般図

* (株)IHIインフラ建設 鋼保全技術部 2G
** (株)IHIインフラ建設 橋梁工事1部 鋼橋工事G

本工事では、これら4本とこれに交差する4本を加えた計8本のケーブル取替を実施した。

関係機関との協議により、本橋の全面通行止め期間は約1か月となり、短期間で施工を行う必要があった。そのため、ケーブルを1本撤去した状態においても耐荷性能照査を満足することを確認し、本工事は仮設ケーブルなしで施工した。

以下に、本工事の施工概要を示す。

工 事 名：麻生の浦大橋2号橋橋梁補修工事

所 在 地：三重県鳥羽市浦村町

工 期：2022年7月25日～2023年10月12日

発 注 者：三重県志摩建設事務所

構造形式：単純鋼下路式ニールセンローゼ桁

工事数量：ケーブル取替8本、マンホール設置2か所、
交点クランプ撤去・設置4か所

3. 施工手順選定のための検討項目

本工事では、施工上の安全性確保のため、以下に挙げる項目について検討を行い、施工手順および施工工程を計画した。

- (1)足場架設時のケーブルの耐荷性能照査
- (2)ケーブル取替に対する管理値(張力・路面高)の設定
- (3)ケーブル撤去時のケーブルの耐荷性能照査
- (4)温度変化の影響

本稿では(1)、(3)、(4)について紹介する。

3-1. 足場架設時のケーブルの耐荷性能照査

補剛桁のマンホールは下フランジ側に設置されていることから、ケーブル取り替え前に、桁内へ進入するための足場を架設する必要があった。

足場架設は全面通行止めが行えない期間に行ったため、足場架設を片側ずつ行い、反対車線には車両を通行させた(図-3)。

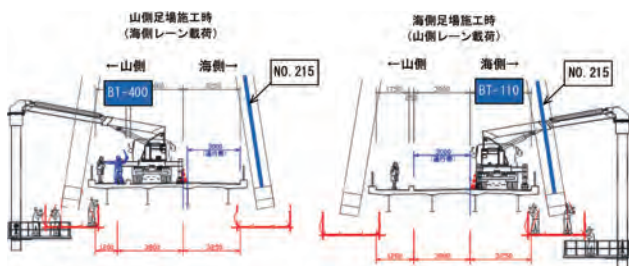


図-3 足場設置図

このような状況下において、ケーブル耐力に安全上の問題がないか確認するため、最も厳しい荷重条件を選定し、腐食を考慮したケーブル耐力で安全率2.8(3.5/1.25:3.5はハンガーケーブルの安全率、1.25は施工時荷重の割増係数)を確保できるのか検討を行った。

最も腐食率の大きいケーブルNo.0215付近に橋梁点検車を配置する場合が最も厳しい荷重条件と考え、以下の荷重条件で立体骨組み解析(解析プログラム:APOLLO Analyzer)を行った(図-4)。

①山側架設時:ケーブルNo.0215付近にBT-400(250kN)

+海側レーンに活荷重TL-20

②海側架設時:ケーブルNo.0215付近にBT-110(80kN)

+山側レーンに活荷重TL-20

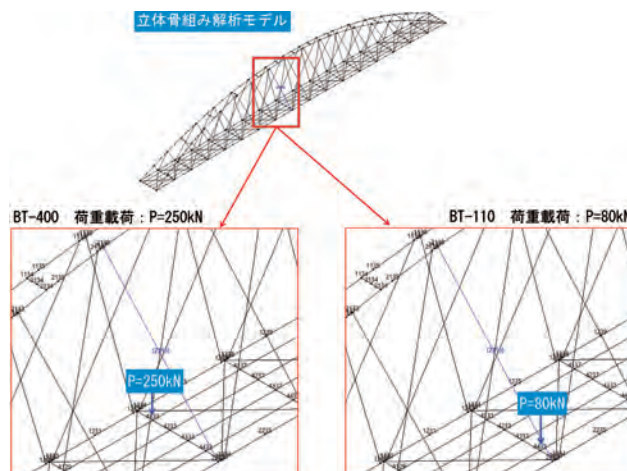


図-4 立体骨組み解析モデル図

その結果、最も腐食率の大きいケーブルNo.0215において、安全率2.91となったため、全ケーブルで許容安全率2.8以上確保できることが確認できた(表-1)。したがって、本工事における足場架設時は、片側交互通行を実施しながら、橋梁点検車を使用して施工することとした。

表-1 立体骨組み解析結果

荷重条件	死荷重	橋体・足場(設置後)・橋梁点検車	
	橋梁点検車	BT-110	BT-400
	活荷重(TL-20)	山側レーン載荷	海側レーン載荷
ケーブルNo.0215	発生張力(kN)	406.1	463.6
	破断荷重(kN) (腐食率考慮)	1,350	1,350
安全率		3.32	2.91
許容安全率(※)		> 2.80	> 2.80

(※)はハンガーケーブルの安全率3.5を施工時荷重の割増係数1.25で除した値

3-2. ケーブル撤去時のケーブルの耐荷性能照査

ケーブル撤去時には、アーチリブ側定着部の撤去作業を行う上で必要な30m高所作業車(8t)とアーチリブ側のケーブルソケットを掴むための16tクレーン(19.9t)、補剛桁側のケーブルソケットを掴むための4.9tクレーン(14.4t)を橋面上に配置した。

これらの重機配置を考慮した際に、ケーブル撤去前の状態で各ケーブルが所定の耐力を有しているか、さらに、ケーブルNo.0215を撤去し張力が再配分された状態で各ケーブルが所定の耐力を有しているかを検討した。

ケーブルNo.0215を撤去する際の重機配置を図-5に示す。このような重機配置を立体骨組み解析で再現し、重機の影響により増減する張力を算出した。算出した張力を設計張力に加算し、腐食を考慮したケーブル耐力と比較した結果、全ケーブルの安全率2.8を確保できることが分かった(表-2)。

ケーブルNo.0215の撤去直後についても、立体骨組み解析で再現し、張力を算出した結果、安全率2.8を確保できた(表-3)。

この2つの結果から、橋体の安全性が確認できたため、1本目のケーブル撤去時は図-5に示す重機配置でケーブルを撤去することとした。

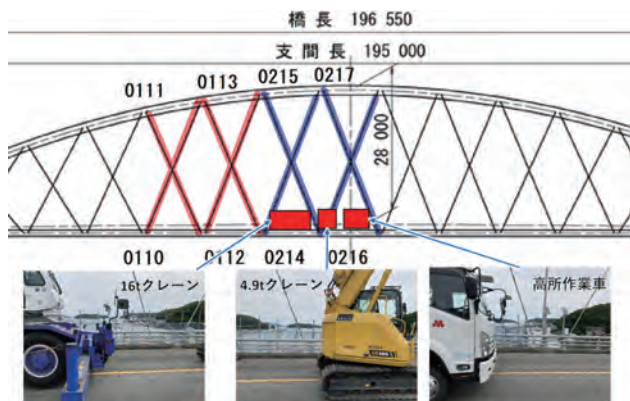


図-5 ケーブルNo.0215撤去時の重機配置図

表-2 重機を考慮した解析結果(ケーブル撤去前)

	設計張力(a)	重機による影響値(b)	(a)+(b)	破断荷重(腐食率考慮)	安全率	判定
0110	281.36	-20.12	261.24	2,810	10.8	OK
0111	259.26	21.76	281.02	1,846	6.6	OK
0112	273.08	-16.66	256.42	2,481	9.7	OK
0113	259.54	30.88	290.42	2,149	7.4	OK
0214	268.13	24.98	293.11	2,810	9.6	OK
0215	260.62	56.05	316.67	1,350	4.3	OK
0216	264.46	65.98	330.44	2,810	8.5	OK
0217	264.46	3.5	267.96	1,621	6	OK

表-3 重機を考慮した解析結果(No.0215撤去直後)

	撤去時張力(a)	重機による影響値(b)	(a)+(b)	破断荷重(腐食率考慮)	安全率	判定
0110	266	-20.06	245.94	2,810	11.4	OK
0111	279	22.3	301.3	1,846	6.1	OK
0112	291	-17.08	273.92	2,481	9.1	OK
0113	253	36.1	289.1	2,149	7.4	OK
0214	296	28.85	324.85	2,810	8.7	OK
0215	—	—	—	—	—	—
0216	351	84.89	435.89	2,810	6.4	OK
0217	356	21.69	377.69	1,621	4.3	OK

3-3. 温度変化の影響

本工事では1本ずつ撤去・設置を行うが、作業量を考慮すると、撤去作業と設置作業を同日で行うことが困難なため、撤去時と設置時で気温差が生じる可能性がある。

そこで、温度変化による張力および鉛直変位の影響を把握するため、温度解析により影響値を算出した。

その結果、変位にも張力にも大きな差異がないことがわかった(表-4)。したがって、温度が10℃以内の変動であれば、安全上問題ないと考え、撤去作業と設置作業を別日で行う工程とした。

表-4 温度解析結果

	10℃あたりの張力増加量(kN)	10℃あたりの鉛直変位量(mm)
0110	-0.00	0.10
0111	0.00	0.11
0112	-0.00	0.11
0113	-0.00	0.11
0214	0.00	0.11
0215	0.00	0.12
0216	-0.00	0.12
0217	0.00	0.12

4. 施工手順および工程

3章で述べた検討結果をもとに、計画した施工手順を図-6、施工工程を表-5に示す。

4-1. 施工手順

本工事では取り替える8本のケーブルは、既設ケーブルの張力を解放・撤去から新設ケーブルの設置までを1本ずつ行い、このサイクルを繰り返して施工した(写真-4、写真-5)。

また、取り替えるケーブルの順序は、腐食率の大きい海側のケーブルから行う方針として、[海側]0215→0217→0214→0216→[山側]0111→0113→0110→0112の順序で施工を実施した。

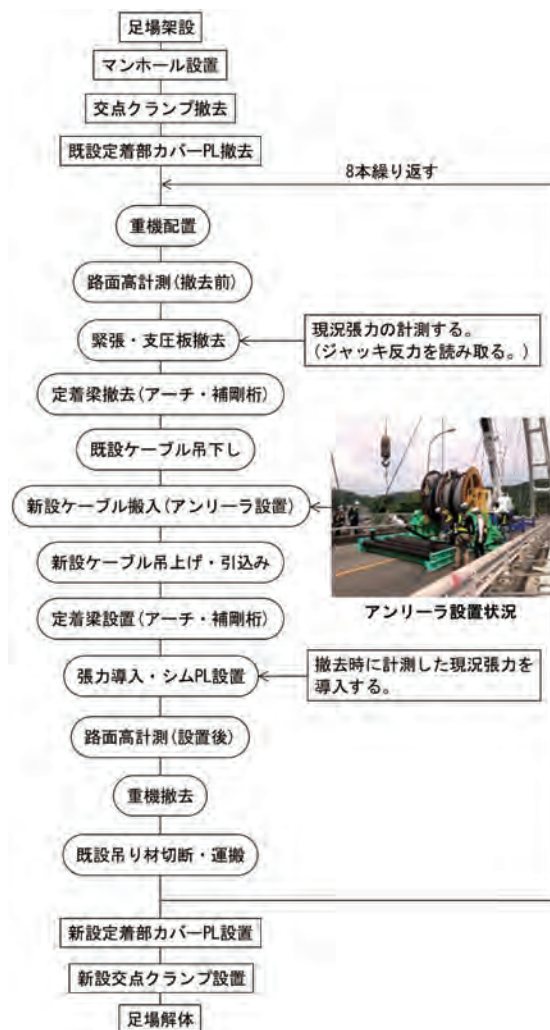


図-6 施工フロー図

[illegible]

その結果、路面高は-3mm～+2mmに、導入張力は現況張力の-6.4%～+8.5%に全個所収めることができ、安全に施工することができた。

その結果、計画した工程どおりに進めることができ、取り替え作業回数を重ねるごとに効率を上げることができたため、先行した海側より後に施工した山側の工程のほうが予定より早く進めることができた。

最後に、本工事を無事に竣工できたことに対し、ご指導、ご協力を頂いた三重県志摩建設事務所の方々と関係部署の各位に深く感謝の意を表します。

小田原厚木道路他 伊勢原管内鋼橋補修工事(2023年度)

HIRAGA Takayuki
平賀 高之*

KOORI Motoaki
郡 元章**

1. はじめに

本工事は、小田原厚木道路および西湘バイパスにおいて損傷した鋼橋の調査点検、詳細設計および補修を行う工事である。また、伊勢原保全・サービスセンター(NEXCO 中日本 東京支社)としては初めてMe守り契約方式が採用された工事である。

Me守り契約方式とは、管内に点在する鋼橋の小規模な補修工事において対象橋梁と工事期間(最大5年間)を定めた基本契約を締結後、受注者が作成する実施予定計画に基づき、年度単位で実施可能な詳細設計と補修工事に対して個別契約を締結して工事を行う方式である。年度ごとに個別契約した詳細設計と施工を繰り返しながら工事を進めていくのが特徴である。

受注者側のメリットは業務執行体制にあわせた計画の立案が可能で、年度工事量の安定的な確保、計画的な技術者の配置・人材育成が可能であり、発注者側のメリットは計画的な補修により、変状・損傷箇所のストックを確実に削減することができることにある。

本工事では3年間で10橋を対象に補修を行う。図-1に対象橋梁位置図を示す。



図-1 対象橋梁位置図

2. 工事概要

初年度となる2023年度工事では、2橋(酒井高架橋、平塚IC橋)の詳細設計と施工、2024年度施工の5橋(森戸高架橋、酒匂川橋、早川橋、風祭高架橋、萬丈橋)の詳細設計を実施した。以下に工事概要を示す。

発注者: 中日本高速道路株式会社 東京支社
伊勢原保全・サービスセンター
工期: 令和5年6月30日～令和6年3月31日
工事場所: 小田原厚木道路
(自) 神奈川県 小田原市 板橋
(至) 神奈川県 厚木市 酒井

西湘バイパス

(自) 神奈川県 中郡 二宮町 二宮

(至) 神奈川県 小田原市 風祭

施工内容: 酒井高架橋(補修対象13箇所)

鋼桁補修工257kg(6.26㎡(g-3塗装系)を含む)

塗装補修工6.51㎡(c-3塗装系)

平塚IC橋(補修対象1箇所)

鋼桁補修工48kg(0.97㎡(g-3塗装系)を含む)

足場工1式

剥離剤用養生設備工1式

立入防止柵撤去設置工1式

敷板工1式

交通保安要員1式

詳細設計A1(酒井高架橋、平塚IC橋)

詳細設計B1(森戸高架橋、酒匂川橋、早川橋、
風祭高架橋、萬丈橋)

写真-1に塗装補修工の施工前・施工後、写真-2に鋼桁補修工の施工前・施工後を示す。



写真-1 塗装補修工の施工前・施工後



写真-2 鋼桁補修工の施工前・施工後

3. 詳細設計と施工

3-1. 調査点検

調査点検は梯子、高所作業車を使用して近接目視により実施した。ハンマーを用いて腐食部分を除去した後、腐食範囲、腐食減厚量、腐食要因等を記録する。腐食要因のほぼすべてが、伸縮装置あるいは中央分離帯からの漏水によるものであり、主桁ウェブ、下フランジ、支点上補剛材に減厚をとまう

* (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 鋼保全技術部 1G

** (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 工事1部 床版更新G

損傷が確認された。写真-3に主桁端部の腐食状況を示す。



写真-3 主桁端部の腐食状況

3-2. 補修方法の判定要領

腐食損傷箇所は支点反力を受ける箇所であり、補修方法を塗装補修とするか、当て板補修とするかは、過年度の基本設計成果において採用している基準を参考に、以下の判定要領で行った。

- (1)判定項目1(断面欠損(鋼板が消失している状態の有無))判定NGの場合⇒当て板補修
- (2)判定項目2(腐食減厚を考慮した抵抗断面において、十字柱部の許容応力度超過の有無。または、対象箇所の建設当時の設計計算書が存在せず支点反力が不明の場合は、各部位の断面減少率が閾値を満足しているか(①支点部の耐力低下、②支点上補剛材とWEBの柱座屈、③ソールPL前面の局部座屈)の3点について断面減少率を算出)判定NGの場合⇒当て板補修
- (3)判定項目2が判定OKの場合⇒塗装補修

図-2に補修方法判定フローを示す。

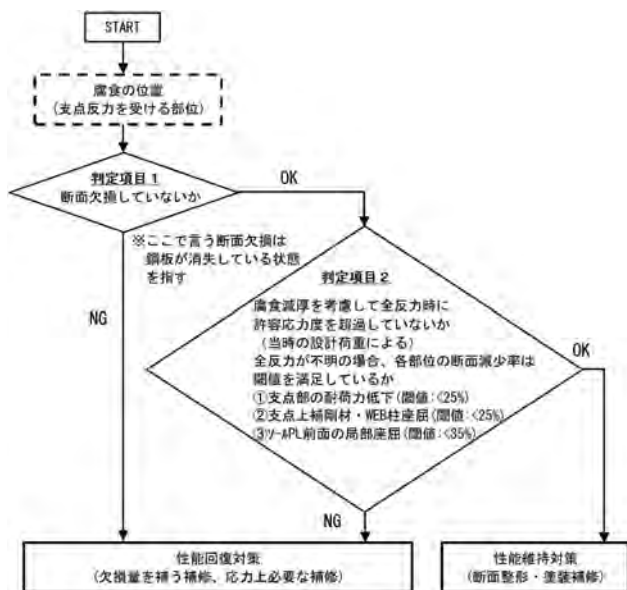


図-2 補修方法判定フロー

3-3. 補修計画の改善

最適な補修計画を立案するため、工事・設計・調達・製作の各担当者による補修方法検討会議を開催し、意見を出しあった。

酒井高架橋は施工延長が約1kmあり、補修対象が13箇所と点在している。塗装補修工において箇所ごとの塗装範囲が極少量であるのに対して、ブラスト設備、ブラストの粉じん養生、スプレー塗りの飛散養生や塗料ロスが実塗装作業の労力に見合わないほど過大となるため、発注者と協議し、ブラスト処理

をブラスト面形成動力工具に、スプレー塗りをハケ塗りに変更した結果、過大な養生設備を削減することができた。施工性を考慮した仕様に変更することにより、コンプレッサー等の大型機材の運搬が減り、点在している補修箇所への段取り変えが容易になるなど、現場作業短縮につながる改善を行った。

また、大型機材が不要で人力のみでの作業が増えることで高架下への工事車両進入も減らせることができ、立入防止柵撤去設置工や敷板工などの施工ヤード整備に関わるものも最小限に抑えられた。

現場工程短縮や工事金額を最小化することで、当初含まれていなかった腐食損傷している支承や落橋防止装置の塗装補修を実施でき、予防保全にも寄与することができた。

3-4. 施工での創意工夫

鋼桁補修工の止水処理において、当て板設置直後に止水処理を行うと、仮に止水処理材が経年劣化等で剥がれた際に素地が露出し、防錆効果が損なわれてしまう。本工事では協力業者と工程を調整し、下塗塗装完了後に止水処理を行った。止水処理材が剥がれても鋼材は下塗塗膜で被覆されており、防錆効果は損なわれないことで品質低下の防止を図った。

図-3に止水処理の概略図、写真-4に止水処理状況を示す。

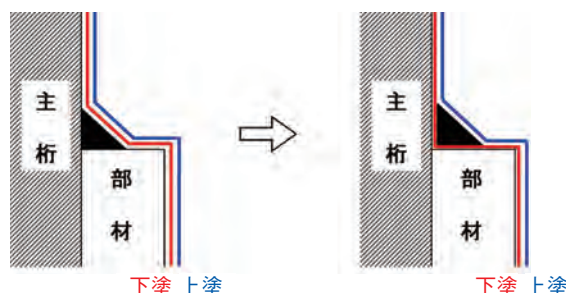


図-3 止水処理の概略図



写真-4 止水処理状況

4. まとめ

鋼橋の小規模な補修箇所が点在する工事において、施工性を考慮した詳細設計と施工での創意工夫について報告した。本報告が、今後同様の工事を実施する際に、参考となれば幸いです。

最後に、伊勢原管内鋼橋補修工事に携わり、ご指導、ご協力を頂いた皆様に深く感謝の意を表します。

東海環状大安2高架橋2PC上部工事

— AR締固め管理システムを活用した床版コンクリート施工 —

HIRAOKA Masaharu
平岡 正晴*

ARAI
新井 堅斗**

Kento
加藤 俊**

KATOU
加藤 俊**

IWASE Masayoshi
岩瀬 真淑***

TANAKA Shinya
田中 慎也****

1. はじめに

一般国道475号 東海環状自動車道は、愛知県豊田市を起点とし、同瀬戸市、岐阜県岐阜市及び大垣市等の主要都市を経て三重県四日市市に至る、延長約153kmの高規格道路（一般国道の自動車専用道路）である。中京圏の放射状道路ネットワークを環状道路で結び、広域ネットワークを構築する本事業により、環状道路内の渋滞緩和、地域経済の活性化、災害に強い道路機能の確保が期待できる。その中において大安2高架橋2PC上部工事は、図-1に示す東海環状自動車道大安I.C～いなべI.C間におけるPC上部工の新設工事である。

本橋の特徴として11mの幅員を有する床版コンクリートの施工があげられる。コンクリートは打設直後の弱材齢時から自己収縮が生じる。そのうえ床版コンクリートは部材厚が薄く比表面積が大きいいため、外気の影響により乾燥しやすく、乾燥収縮量は大きい。自己収縮や乾燥収縮は主桁とPC板に拘束されて、ひび割れの発生要因となる。特に弱材齢時はコンクリート強度が十分に発現しておらず、ひび割れ抵抗性が小さいため、発生リスクが高い。即ち弱材齢時における床版コンクリートのひび割れ抑制が課題となる。

対策としては、床版コンクリートを密実で高品質なものとするのが弱材齢時のひび割れ抵抗性を向上させることに繋がる。これを達成するためコンクリート施工管理にAR（拡張現実）締固め管理システムを活用することとした。

本稿では、大安2高架橋2PC上部工の工事のうち、主に床版コンクリート施工について報告する。

2. 橋梁概要

大安2高架橋2PC上部工は図-2に示すように、橋長219m（6@36.5m）のPC6径間連結コンボ橋である。各径間同一の橋梁構造であり工場製作された1主桁5ブロックのセグメントブロック桁を現場に搬入し、PC緊張接合により一体化させ、大型クレーン2台を使用した相吊り架設による設置を行う。その後、プレキャストPC板を主桁間に敷設し場所打ちコンクリート床版施工を行う。

以下に、橋梁諸元を示す。

発注者：国土交通省 中部地方整備局 北勢国道事務所

路線名：一般国道475号 東海環状自動車道

施工箇所：三重県いなべ市大安

工期：令和4年3月16日～令和6年5月28日

構造形式：ポストテンション方式PC6径間連結コンボ橋

橋長：219.000m

支間長：36.5m+36.5m+36.5m+36.5m+36.5m+36.5m

幅員：内回り：10.750m（暫定）外回り：10.750m

斜角： $\theta=90^{\circ}00'00''$

道路規格：第1種第2級・B規格

V=100km/h（完成）、V=80km/h（暫定）

荷重：B活荷重

平面線形：A=750～R=3000

支承：免震支承

使用材料：・鋼材 SWPR7BL、12S12.7

・コンクリート 主桁 50N/mm²

床版 30N/mm²



図-1 位置図

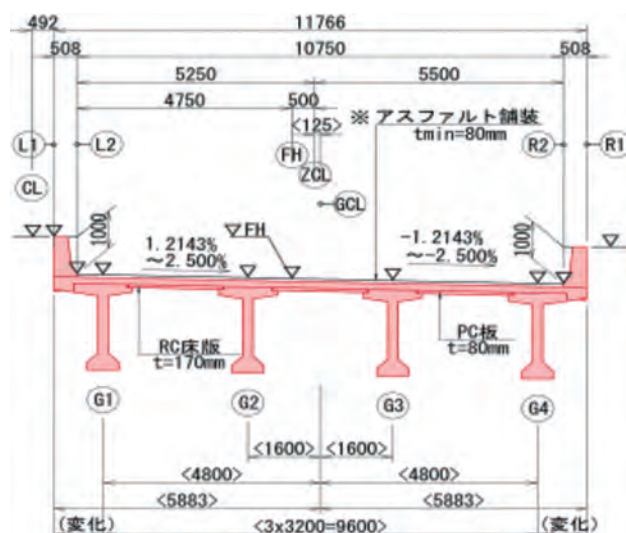


図-2 上部工一般図

* (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 工事1部 PC工事G

** (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 事業推進部 企画G

*** (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 事業推進部 DX推進G

**** (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 PC技術部 1G

3. AR締固め管理システムの活用

本工事にて実施した、床版コンクリート施工のAR締固め管理システムの活用について、以下に詳細を述べる。

3-1. AR締固め管理システム

(1) 概要

床版コンクリートの締固めは、打設位置広範囲の組立て済み鉄筋へのマーキング等によりパイププレート挿入位置を明示する。その上で作業は同時複数人で行う。作業員は他の締固め完了箇所を「相互」に把握することなく自身の作業を進めていく。管理者はマーキングに準じ、締固め位置と締固め時間の管理をパイププレート1台毎に行うため、多くの労力を要することとなる。また重複締固めや締固め施工漏れが生じないように統括的な視点による管理が必要となる。AR締固め管理システムの採用で、締固め管理の効率化・省力化、密実で高品質なコンクリート施工の2点にターゲットを置いた。

(2) 実施方法

図-3にAR締固め管理システムの施工フローを示す。以下に、各施工ステップの詳細を述べる。

- 1) 作業員1名につき1台、「AR施工状況管理システム」アプリをインストールしたスマートフォンを装着する(写真-1)。
- 2) コンクリート標準示方書に準拠し、締固め間隔は400mm(振動影響範囲であるパイププレートの直径の10倍)、締固め時間は5秒以上として管理する。また、締固め時におけるスマートフォン装着箇所(手首)からパイププレート振動部までの距離を作業員毎に計測し、オフセット量として登録する(写真-2)。
- 3) 基準のARマーカーを読み込み、打設範囲平面図と実構造物を重ね合わせる(写真-3)。
- 4) 締固め作業員は、スマートフォンの画面を確認しながら、着色されていない箇所の締固めを行う(写真-4)。管理者は、管理用パソコンで全パイププレートの締固め状況を統括管理し、締固め未実施・締固め不足区間を作業員に指示する(写真-5)。
- 5) 全ての範囲が着色されたことを管理者が確認後、締固めを完了する(図-4)。

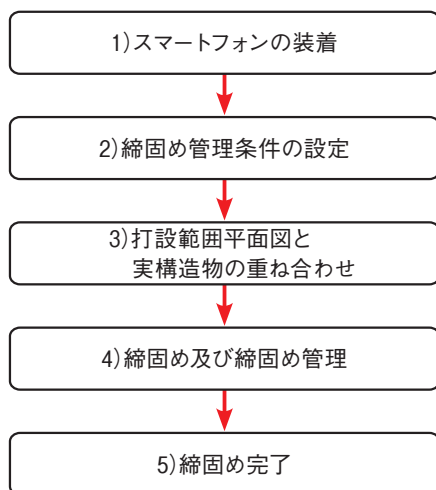


図-3 実施フロー



写真-1 スマートフォン装着



写真-2 オフセット設定

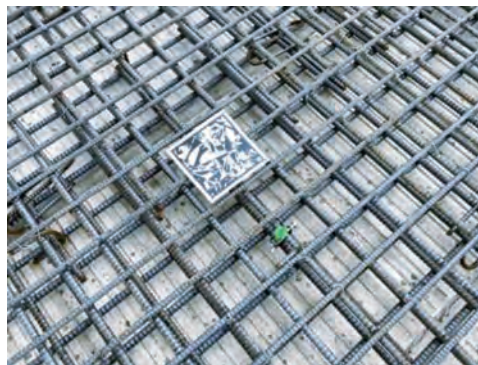


写真-3 ARマーカ



写真-4 確認画面



写真-5 管理用パソコン

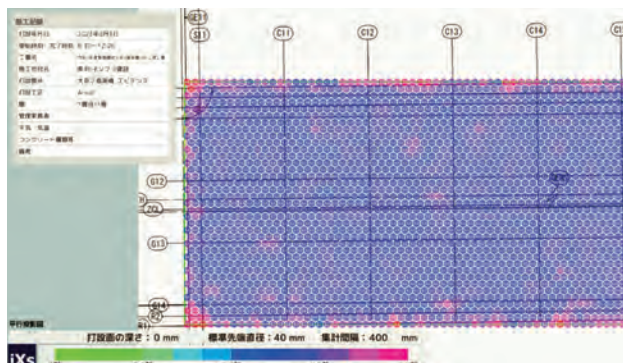


図-4 締固め管理結果 締固め時間は各位置とも5秒以上となっている

(3)効果

管理者はこれまで1台のバイブレータを使用した締固め箇所毎に、締固め間隔・位置と時間の管理を行っていたが、本システムを利用することでコンクリート打設位置の全体が把握できる上、画像を通して複数箇所・複数台で行われる締固めの管理を同時に統括することができた。また、バイブレータ操作員は手元のスマートフォンに自他を含めた締固め状況が表示されることから、指示により重複締固めおよび締固めの施工漏れを確実に回避できた。さらに、締固め時間も管理できることから、密実なコンクリート形成が可能となった。加えて、締固め作業状況が見える化されており、それを記録として残すこともできる。

床版コンクリートの養生完了後に実施したひび割れ調査(写真-6)の結果では、ひび割れの発生は確認された。また透気係数試験(写真-7)においても、全ての範囲で良好な結果¹⁾が得られた(写真-8)。これらより床版コンクリートの品質確保に効果あったと考える。



写真-6 ひび割れ調査状況



写真-7 透気試験状況



写真-8 透気試験値 KT0.001以下、優判定

4. まとめ

広範囲の床版コンクリート施工のひび割れ対策として、AR締固め管理システムを活用した施工管理を実施した。その結果として、効率的な管理、ひび割れを抑制した高品質な床版コンクリートを形成することができた。さらに張出し床版を除いて、床版下面の目視確認ができない本構造では、施工時に締固めの範囲と時間をリアルタイムで管理し、画像調書として記録保存を行える本システムは、コンクリートの健全性を担保するためにも有効であると考えられる。

写真-9に主桁架設状況を、写真-10に完成した全景を示す。本報告が、今後同様の床版コンクリート施工を実施する際に、参考となれば幸いである。

最後に、大安2高架橋2PC上部工事橋の施工にあたり、ご指導、ご協力を頂いた国土交通省中部地方整備局の方々に深く感謝の意を表します。



写真-9 主桁架設状況



写真-10 完成写真(終点側より)

【参考文献】

- 1) 井上翔、秋山仁志、岸利治、魚本健人: 現場簡易透気試験による実構造物コンクリート表層の透気性評価とその相互比較、第35回 土木学会関東支部技術研究発表会

令和3年度～令和5年度 村山北部国営施設機能保全事業 新鶴子ダム取水設備他改修工事

ISHIZUKA Masahiro
石塚 真寛*

YAMAGUCHI Tatsuya
山口 達也*

YOSHIDA Keita
吉田 圭太**

HAYASHI Yuji
林 裕 二***

1. はじめに

新鶴子ダムは、図-1に示す地点に位置している。本工事の主たる改修設備である取水設備は、約3,400haの農業用水を確保するため、最大流量8.553m³/s、維持放流量1.010m³/s、および緊急放流量56.0m³/sの放流を確保することを目的として昭和62(1987)年に完成した。

本工事は、竣工後34年が経過し、村山北部国営施設機能保全事業計画に基づき、老朽化が進んでいた制水ゲートおよび緊急放流ゲートの扉体等を改修することによって設備の機能維持および信頼性の確保を図るものである。

写真-1に改修工事前の制水ゲートの扉体、緊急放流ゲートの扉体状態を示す。

制水ゲートおよび緊急放流ゲートは設備竣工後、扉体の整備は実施されておらず、腐食による扉体の老朽化(発錆および減肉)が深刻な状態であることから本工事を実施することとなった。本稿では、主に制水ゲート扉体更新について報告する。



図-1 位置図 (出典: Googleマップ)



写真-1 改修工事前 制水ゲート扉体(左)、緊急放流ゲート扉体(右)

2. 工事概要

発注者: 農林水産省

工事名: 令和3年度～令和5年度 村山北部国営施設
機能保全事業 新鶴子ダム取水設備他改修工事

施工範囲: ①制水ゲート 扉体更新

②緊急放流ゲート 扉体更新

③取水ゲート ワイヤロープ更新

④放流設備 機側操作盤、超音波流量計盤、
照明分電盤更新

⑤取水設備 機側操作盤、自動制御盤、計装盤、
貯水位計更新

工期: 令和3年10月12日～令和6年2月28日

施工場所: 山形県尾花沢市大字鶴子地内

3. 各部の概要・特徴

3-1. 構造

制水ゲートの扉体は充水バルブ付きスライドゲート+リフティングビームで構成されており、既設の扉体およびリフティングビームの材質はSS400、SM400のSS系材料、摺動板はC2801P、扉体付充水バルブはSUS304、CAC403にて製作されている。

扉体のスライドゲートは桁構造となっており、扉体後面に摺動板が設けられている。摺動板は扉体に作用する水圧荷重を戸当り金物へ伝達させる役割がある。

扉体に設けられている充水バルブは開閉装置によってリフティングビームを少し上昇させることにより開閉可能な構造となっており、下流側の充水を行う役割がある。また、扉体充水バルブ部にはスクリーンが設けられており、充水時に流木等が混入してダムの下流側にある発電所の水車が損傷しないように配慮された設計となっている。

本工事では、充水バルブ付扉体およびリフティングビームの扉体一式(図-2)の製作および据付を行なった。

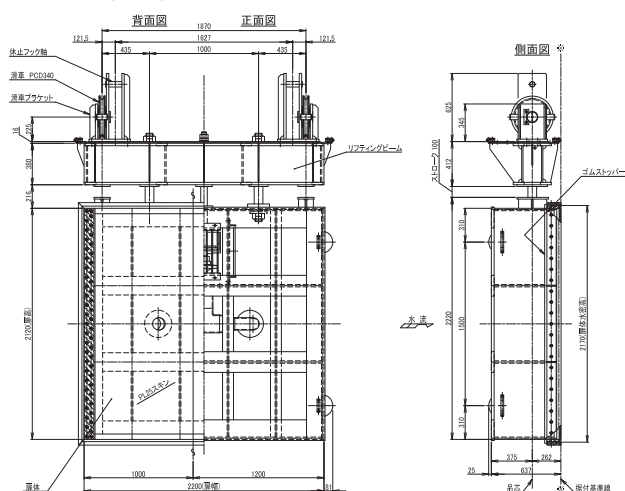


図-2 扉体組立図

* (株)IHIインフラ建設 水門事業部 工事計画部

** (株)IHIインフラ建設 水門事業部 制御部

*** (株)IHIインフラ建設 水門事業部 設計部

3-2. 材質

本工事の扉体およびリフティングビームの材質には主としてSUS304を採用し、扉体スキムプレートには二相ステンレス鋼のSUS821L1、摺動板には青銅鋳物のCAC403を採用した。

SUS821L1の採用理由は、扉体の材質にSUS304を採用するにあたり照査した結果、発注図の扉体スキムプレートの板厚が既設から3mm厚くなり、上下流ともに横主桁のフランジ幅が30mm短くなるなど既設図と異なっていた。すなわち、新規扉体重心が吊芯とのずれが大きくなることから扉体が傾斜することが懸念された。扉体重心を吊芯に近づけるため、スキムプレートや扉体主桁フランジの板厚検討を行なった。図-3に扉体重心位置図を示す。

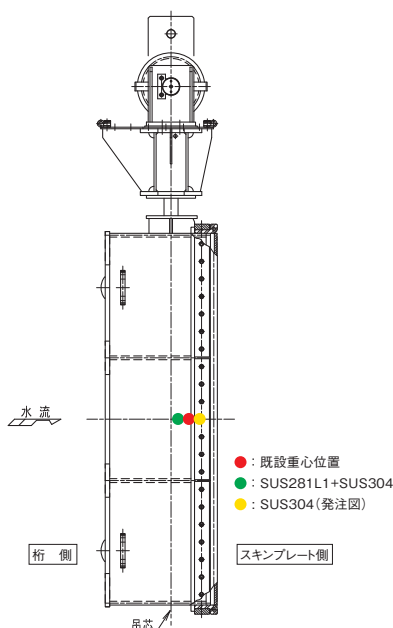


図-3 扉体重心位置図

4. 操作制御設備

4-1. 概要

盤を設計するにあたり、非常停止等、安全装置として必要なものを追加したが、操作感が既設の盤と比べて変わらないよう、盤面の表示灯やボタン・スイッチの配置は極力同じになるように配慮した。

4-2. 操作場所・種類

放流設備・取水設備ともに、機側操作盤による機側操作およびダム管理棟または用水管理センタからの遠方操作が可能である。

放流設備は機側操作盤が2面あり、1・2号ゲート機側操作盤と3・4・5号ゲート機側操作盤の構成となっている。各主ゲートの機側・遠方操作、各副バルブの機側操作に加え、3号副バルブ以外は遠方からの閉操作が可能である。図-4に放流ゲートの操作種類を示す。

取水ゲート機側操作盤では、取水ゲート、制水ゲート、緊急放流ゲート、点検台及びコンプレッサ(凍結防止装置)の操作を行うことができる。このうち、取水ゲート、制水ゲート及び緊急放流ゲートは機側だけではなく遠方でも操作が可能である。図-5に取水ゲートの操作種類を示す。

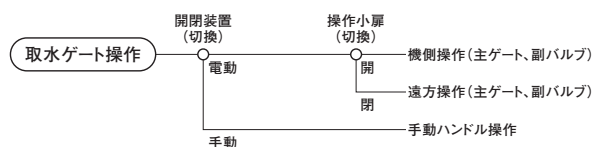


図-4 放流ゲート操作種類

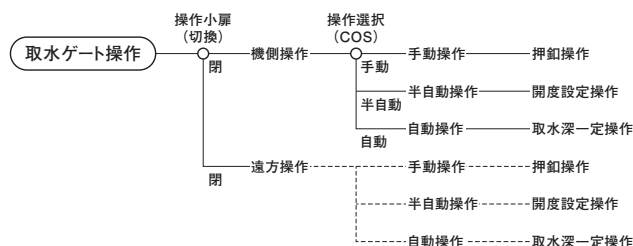


図-5 取水ゲート操作種類

4-3. 機側操作盤構成

放流設備および取水設備の機側操作盤について、ともに制御回路の主要な部分は有接点リレーで構成している。

ただし、取水設備の開度設定操作や取水深一定操作を担う制御回路部分は、現在開度・取水深と目標値の比較演算処理を行うため、計算処理機能を有したPLC(プログラマブルロジックコントローラ)で構成している。PLCは、上述の比較演算処理機能のほかに、開度及び水位データの入力検定処理や自動制御盤面に設置されたタッチパネルと通信を行っている。タッチパネルの画面は設備データの表示や操作で使用する設定値の確認や変更を行う操作画面や故障履歴画面で構成されている。図-6に取水設備自動制御盤タッチパネル画面を示す。



図-6 取水設備自動制御盤タッチパネル画面

5. 工場製作

5-1. 扉体製作手順

製作手順としてスキムプレートを定盤で板継し、各桁の小組立ブロックを組み込んだ。その後ブロック反転し機械加工を行い、寸法溶接外観検査後に水密ゴムの取り付けを行った。

5-2. 制水ゲートの製作

前述のとおり、充水装置の止水には弁体と呑口部の水密ゴムの当りが重要であるため、扉体とリフティングビームの通りを精度良く製作することが必要であった。そのため、扉体とリフティングビームは溶接の熱影響による歪を小さくするため、扉体を傾けた状態で溶接を行い、のど厚をキープする工夫を行いながら脚長管理を徹底した。溶接検査後に扉体とリフティングビームの平面仮組を行い、充水装置の芯出し・充水

装置ロッド孔を仕上げ加工した。その後、立体仮組を行い、天井クレーンでリフティングビームを動作させ充水装置の機能確認を行った。写真-2・3に充水装置確認状況を示す。



写真-2 運転確認

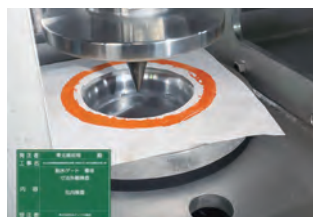


写真-3 水密ゴム当り確認

6. 現場据付

6-1. 制水ゲートおよび緊急放流ゲート扉体更新

本設備は農業用水設備であり、5月～9月の期間は圃場へ湛水する必要があることから、工事は非洪水期間である10月～4月に施工した。

当初、堤頂道路上にクレーン、運搬用トラックを配置し制水ゲートおよび緊急放流ゲートの撤去・据付を行う計画であったが、調査の結果、施工に必要な重機類および扉体の総重量50tに対し、堤頂道路の最大積載荷重は30tであり、堤頂道路上でのクレーン作業が不可能であることが判明し、施工計画の変更を余儀なくされた。

施工計画を再検討した結果、ユニフロート台船と大型クレーンを使用し施工する計画とした。まず、ダム左岸側広場に200tクロークレーンを設置し、ユニフロート台船(9隻)を湖面に吊り降して組立て、台船上には扉体撤去・据付用の仮設吊り架台を設置した。写真-4・5に台船の搬入状況および組立完了状況を示す。



写真-4 台船搬入状況



写真-5 台船組立完了

6-2. 制水ゲート・緊急放流ゲート扉体撤去

扉体は、スクリーン内に格納されており、まずはスクリーンの仮撤去を行った。扉体は、ユニフロート台船に設置した仮設吊り架台を使用し、外水側に移動、台船によりダム左岸広場前まで曳航後200tクロークレーンで吊り上げ、扉体を切断し4tトラックにて搬出した。図-7・図-8および写真-6に扉体搬出要領を示す。



図-7 扉体搬出要領図



図-8 曳航要領図 (出典:国土地理院地図)



写真-6 撤去・搬出状況

6-3. 制水ゲート・緊急放流ゲート扉体据付

新たに工場製作した扉体は、200tクロークレーンにより、輸送トラックからユニフロート台船上への荷下ろし作業が伴うが、その際、輸送トラック上での扉体の引き起こし作業が必要となった。より安全に引き起こし作業を行うため、新規扉体には吊りピースではなく、マルチアイボルトを使用した。マルチアイボルトは、ボルト・ナット固定で容易に取外し可能で、吊り角度の自由度が広い利点があったため引き起こし作業に採用した。引き起こした扉体は、ユニフロート台船上へ荷下ろし後、据付位置近傍まで曳航し、ユニフロート台船に設置した仮設吊り架台を使用して据付後、仮撤去したスクリーンを復旧した。写真-7～写真-10にマルチアイボルト取付状況、扉体引き起こし状況、扉体搬入状況、扉体・スクリーン据付状況を示す。



写真-7 マルチアイボルト取付状況



写真-8 扉体引き起こし状況



写真-9 扉体搬入状況

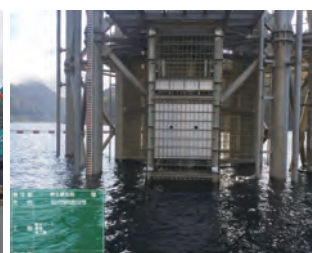


写真-10 扉体・スクリーン据付状況

6-4. 取水ゲートワイヤロープ更新

取水ゲートのワイヤロープ更新も同様に、非洪水期間の10月～4月に施工する必要があり、他工種との工程の兼ね合いから、施工を12月～4月に施工を行った。

本ゲートは、一本のワイヤロープを引き回す形式で、ワイヤロープの尻手がドラム両端に接続される特殊な形式であった。さらに、豪雪地帯であるにも拘わらず、施工時期が冬季となり、朝・昼・夕の除雪作業を行いながらワイヤロープ更新作業を行うこととなった。図-9にワイヤロープ掛け図、写真-11に積雪状況を示す。

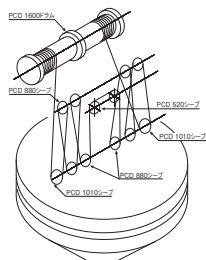


図-9 ワイヤロープ掛け図



写真-11 積雪状況

ワイヤロープの撤去・組み込みにあたり、ゲートを休止フックに掛け、取水設備管理橋にはワイヤロープ撤去・組み込みのための仮設備を設置した。楔パイプで上下2段の枠を組み立て、下段には新規ワイヤロープ組み込み用のローラコンベヤ、上部に既設ワイヤロープ撤去用のコンパネを配置した。また、機側操作室内には単管パイプにより門型構を仮設し、ワイヤロープガイド用の滑車を配置した。写真-12に仮設備設置状況を示す。

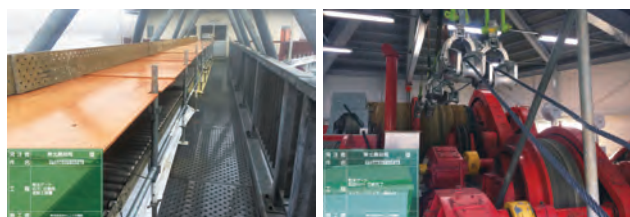


写真-12 仮設備設置状況

6-5. 既設ワイヤロープ撤去

既設ワイヤロープの撤去は、前述した仮設備とワイヤロープ撤去用の電動ウインチを使用し、ゲート操作を行いながら操作室内よりワイヤロープを引き出し、1.5m程度の人力で搬出可能な重量・長さで切断しながら撤去した。写真-13に撤去状況を示す。



写真-13 既設ワイヤロープ撤去状況

6-6. 新規ワイヤロープ組込み

前述した仮設備とメッセンジャワイヤロープを使用し、ゲート操作を行いながら機側操作室内へ新規ワイヤロープを引き込み、ワイヤドラムへ組み込みを行った。写真-14に機側操作室内への引き込み状況を示す。



写真-14 新規ワイヤロープ引き込み状況

6-7. 取水設備・放流設備機側操作盤他更新

既設の操作盤類は、機側操作室内の梁を利用し、ナイロンスリング、シャックル、1tチェンブロックを仮設し、既設操作盤類に取り付けられた吊環を使用して撤去した。写真-15に撤去状況を示す。



写真-15 撤去状況

据付は、撤去と同様に機側操作室の梁を利用し、ナイロンスリング、シャックル、1tチェンブロックを仮設し、新規操作盤類に取り付けられた吊環を使用した。また、据え付け完了後にはゲート操作を行い、電動による機側・遠方試運転および対向試験を行い、運用可能であることを確認後、施工を完了した。写真-16に施工完了状況を示す。



写真-16 施工完了

7. まとめ

村山北部国営施設機能保全事業 新鶴子ダム 取水設備他改修工事の設計、製作、据付について報告した。

扉体をSUS材で製作し、防食対策を実施したことで、製作工場での塗装、現場での補修塗装やそれに伴う検査を省略することができた。

本工事は、施設を運用しながらの現場施工であったが、村山北部土地改良区殿や関連する業者間の連携等様々な調整業務を行い、無事故・無災害で工事を完遂することができた。

本報告が、今後同様のダム・水門の設計、製作、据付を実施する際の参考になれば幸いである。

最後に、本工事の施工にあたり、多くのご指導、ご協力をいただいた、東北農政局西奥羽改良調査管理事務所殿および工事関係者の皆様に深く感謝の意を表します。

令和4年度 美和ダム放流設備修繕工事

— 3次元計測機を使用した現場留意点の確認 —

KITAHARA Taiga YAMAMURA Tetsuya SUGA Kazuyuki
 北原 大河* 山村 哲矢** 須賀 一行***

1. はじめに

美和ダムは、天竜川水系三峰川の美和湖に昭和34年に建設された重力式のコンクリートダムである。

美和湖は中央構造線(断層)の近傍に位置し付近にはマグマ貫入が見られる溝口露頭や、上流にはゼロ磁場地点で有名な分杭峠がある。三峰川流域は古くから土砂崩落が多く水害にも悩まされていたが、ダム建設により下流域は安全性が向上している。

本工事はクレストゲートと角落しゲートの水密ゴム更新工事である。

2. 工事概要

工事概要を以下に示す。

工 事 名: 令和4年度美和ダム放流設備修繕工事

所 在 地: 長野県伊那市長谷非持345

発 注 者: 国土交通省 中部地方整備局

天竜川ダム統合管理事務所

工 期: 令和4年3月23日～令和5年2月29日

対 象: 表-1に設備概要、表-2に工事内容を示す。

表-1 設備概要

①クレストゲート

形 式	鋼製ラジアルゲート
寸 法	径間10.0m×扉高7.756m
水密方式	前面三方ゴム水密
開閉方式	ワイヤロープウインチ式
揚 程	8.5m (非常上限)
開閉速度	0.3m/min

②角落しゲート

形 式	プレートガータ構造鋼製多段式角落しゲート
寸 法	径間8.40m×扉高9.35m
水密方式	後方4方ゴム水密
開閉方式	20tラフタークレーン

表-2 工事内容

種 別	細 別	単 位	数 量	施工内容
クレストゲート	扉体	門	1	水密ゴム 更新
角落しゲート	扉体	段	8	水密ゴム 更新

3. 施工上の課題と対策

クレストゲート水密ゴム取替作業には、資材の搬入経路および作業エリア確保のためにクレスト面上に仮設足場の計画が必要である。しかし、クレスト面上は急勾配であるため詳細な現地調査が不可能であった。そこで3次元計測機を用いた形状計測を使用し、クレストゲートの位置関係の把握および足場設置検討に活用した。

4. 使用機材

今回の計測では、ダム堤体、クレストゲート、戸当たり部など広範囲の計測が必要となったため、据え置き型の3Dレーザースキャナーを使用した。また、計測および後述するデータ処理は、株式会社IHI検査計測に依頼し、同社が所有する機材を使用した。



写真-1 計測機

表-3 据置型3Dレーザースキャナー 機材仕様

型 番	測定範囲	範囲誤差
FocusX130	0.6-130m	±2mm

5. 3次元計測およびデータ処理

3次元計測を用いたデータ作成を以下に示す。

(1) 現地3次元計測

クレストゲートを含む構造物全体の3次元計測を行った。複数の位置での計測結果を、ターゲットを参照して位置合わせを行い、一つの点群データとして合成した(図-1)。



図-1 3次元計測による点群データ

* (株)IHIインフラ建設 防災・水門事業部 工事2部 中部工事G

** (株)IHIインフラ建設 防災・水門事業部 工事計画部

*** (株)IHIインフラ建設 防災・水門営業G

(2) 3次元CADとの合成モデリング

今回の計測条件では3次元計測が不可能だったダムのコ
ンクリート躯体部と仮設足場を、土木図と計画図から3次元
CADによりモデリングした。これらを点群データと合成する
ことで、既存の構造物と計画図の合成モデルを作成した(図
-2)。また、元の足場計画図との比較検証を実施した(図-3)。

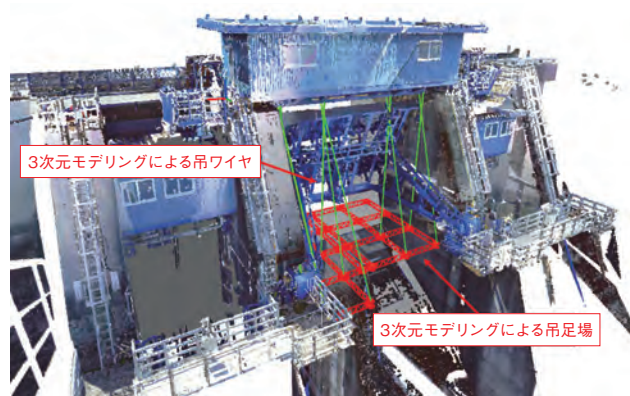


図-2 合成3次元データ

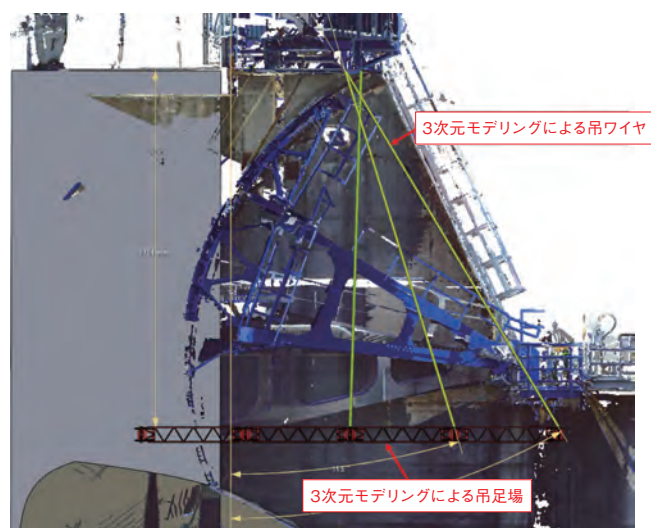
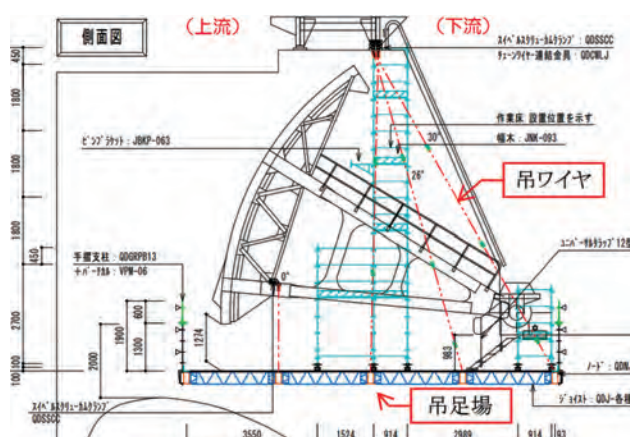


図-3 足場計画図と合成3次元データとの比較

6. 3次元モデルによる施工計画の干渉シミュレーション

(1) 計画足場とゲートとの干渉確認

仮設足場の吊ワイヤと垂直梯子背籠との干渉の恐れがある
ことを確認したため、後述する着工前会議で要注意箇所とし

て作業員へ注意喚起を行った。参考までに現地足場仮設後
の実際の写真と比較する(図-4)。



図-4 3次元モデルによる干渉恐れ箇所と仮設後写真

(2) クレーンによる資材荷下ろし時の干渉確認

上流側、下流側からクレーンを使って資材を荷下ろしする際
に、既設の開閉装置室建屋との干渉がないか、仮設足場との
距離間などを確認した。

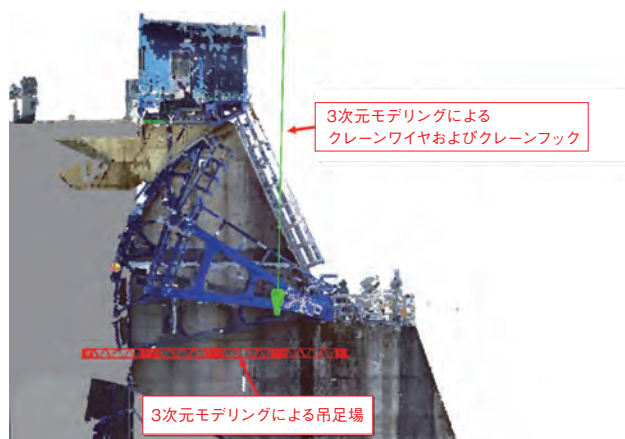


図-5 下流側荷下ろし時の干渉確認

7. 着工前会議での利用

上記のシミュレーション結果を動画にした。動画にすること
でCADソフトの操作不要で扱いやすく、誰が見ても分かりや
すい資料とした。この動画を使用して、着工前会議で作業員
へ説明したことで、足場仮設時の注意点を共有し、共通認識
を容易に形成することができた。

8. まとめ

令和4年度美和ダム放流設備修繕工事のクレストゲート水
密ゴム取替作業での足場仮設および資機材搬入時の様々な
課題を入念な現地調査や、3次元計測、3次元CAD、それら
の合成モデルを使用した詳細検討を行い、発注者および協力
会社と協議・調整することにより、無事故無災害にて完工する
事が出来た。

最後に、美和ダム工事の設計、製作、据付にあたり、ご指
導、ご協力頂いた中部地方整備局天竜川ダム統合管理事務
所および仮設計画に御尽力いただいた、株式会社IHI検査計
測の御担当者様ならびに工事関係者各位に深く感謝の意を
表します。

和賀中央農業水利事業 水管理施設製作据付工事

— 水管理施設の新設工事 —

FUKUMOTO Masaki KAMOSHIDA Hodaka KOSYOUBU Kouki
 福本 将希* 鴨志田 穂高* 小勝負 功希*

1. はじめに

和賀中央農業水利事業の事業区域は、岩手県南西部に位置し、和賀川下流部左岸に展開する北上市、花巻市にまたがる水田地帯である。

本地区の水利施設は、整備後約40年が経過し、施設の老朽化及び寒冷な気候条件による性能低下により農業用水の安定供給に支障を来すとともに、施設の維持管理に多大な費用と労力が必要となっている。このため、老朽化した施設を改修するとともに、上堰下堰間の用水再編を行うことにより、農業用水の安定供給と維持管理の軽減を図っている。

本工事は、用水路付近に設置されたゲート、バルブ、除塵機等の監視操作設備を新設するものであり、監視操作対象は、点在する17箇所の設備である。監視に必要な水位・流量データは、各設備の水位・流量計信号を本システムへ取り込むこととし、新たに水位計13台、流量計3台を設置した。(図-1)

本工事報告では、納入した水管理システムの特徴と、施工上で工夫した点を紹介する。



図-1 位置図 (出典: 国土地理院地図)

2. 工事概要

発注者: 農林水産省 東北農政局
 工事名: 和賀中央農業水利事業
 水管理施設製作据付工事
 工期: 2021年(令和3年)7月27日～
 2023年(令和5年)12月8日
 施工場所: 岩手県北上市和賀町長沼地内他
 工事範囲: 表-1のとおり

表-1 工事範囲一覧表

名称	施工箇所	内容	備考
親局設備	中央管理所 (岩手中部土地改良区)	新設	データ処理装置、 監視操作端末装置、 WEBサーバ装置等
子局設備 (TM/TC)	子局2 下堰分水工 子局8 赤坂導水路分水工	新設	全2箇所
子局設備 (TM)	子局1 石羽根取水口他	新設	全15箇所
圧力式 水位計	子局2 上堰、下堰 各1台	新設	計2台設置
電波式 水位計	子局 3他 上堰幹線6台 子局11他 下堰幹線7台	新設	計13台設置
超音波 流量計	子局 2 下堰分水工1台 子局13 長根支線用水路1台 子局15 下堰金栗分水工1台	新設	計3台設置
監視 カメラ	子局1 石羽根取水口2台	新設	カメラボール、 転落防止柵含む

3. 水管理システムの特徴と機能

各設備の遠隔監視・操作は、中央管理所にて行うことができる。また、PCやスマートフォン等により、Webにて遠隔監視を行うことができる。

水管理システムは、中央管理所にデータ処理装置と監視操作端末装置を1台ずつ設置している。この装置は二重化対応しており、各々の装置から遠隔監視・操作が可能である。これにより、一方の装置が故障しても監視操作を継続して行うことができる。

水管理システムは以下に示す機能を有している。

3-1. 広域状態監視機能

全域監視画面上に示された各設備の状態監視を行うことができる。各設備の状態アイコンや、計測信号も表示される。(図-2)

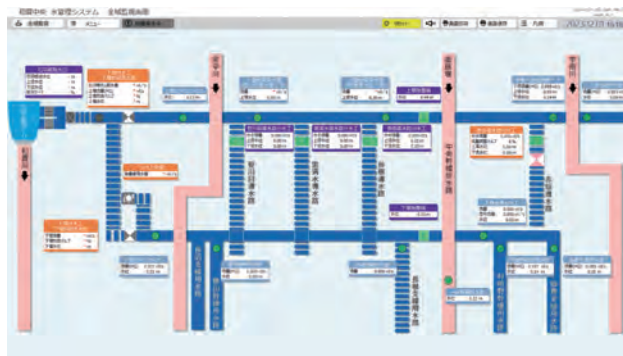


図-2 全域監視画面

* (株)IHIインフラ建設 防災・水門事業部 制御情報システム部

3-2. 操作機能

本システムでは、TM/TC機能(遠方監視／遠方制御機能)を有する施設2箇所について、監視およびバルブ操作が可能である。

操作方法は、手動制御および開度設定値制御、流量設定値制御の3つの機能を有している。(図-3)



図-3 施設監視画面(操作画面)

3-3. データ記録・集計機能

履歴画面では、指定した期間のゲート運転開始・停止時間と故障の発生・復帰時間を一覧表示にて確認することができる。(図-4)

各設備の水位・流量を記録しているほか、記録した各データは、トレンドグラフとして表示する機能と、1分値・日報・月報としてCSVデータとPDFデータに変換して保存する機能も有している。



図-4 総合履歴画面

4. 工場製作

工場では、遠隔に設置するデータ処理装置や監視操作端末装置と、現場に据え付けるテレメータ局盤との組合せによるシステム機能確認・収容筐体・その他各装置の試験を実施した。

現場据付環境に近い状態での組合せ試験を行うことで、システムの不備や取り扱い信号の問題点を抽出して修正することができた。(写真-1)

また、段階確認を遠隔臨場にて実施し、スマートフォンおよびWeb会議システムの活用により、工場内の機器類を遠隔からリアルタイムで配信し、映像と音声により構成品の員数・外観・型式を確認していただいた。



写真-1 工場組合せ試験状況

5. 施工上で工夫した点

本工事と並行して、水路改修工事やゲート設置工事等が施工されていたため、10社以上との工程調整を実施した。工程調整会議や現地確認の実施により、大きな遅延なく作業を完了させることができた。

また、本地域は豪雪地域であり、土木工事や機器据付作業は降雪前に実施する必要があった。

そのため、灌漑期のうちに通水に影響しない範囲で土木工事を先行して実施し、降雪前にすべての据付作業を完了することができた。

6. まとめ

東北農政局の和賀中央農業水利事業水管理施設製作据付工事について報告した。

本工事は、関連工事の進捗状況に工程が左右される場面が多くあったが、協力会社の助力もあり、無事工期内に工事を完了させることができた。

最後に本工事の施工にあたり、発注者である東北農政局のご担当者様をはじめ、多くのご指導とご協力を頂いた工事関係者に深く御礼申し上げます。



写真-2 完成写真(中央管理所)

十六橋水門監視制御装置更新工事

— 十六橋水門管理所および猪苗代土木事務所の監視制御装置他更新工事 —

ONO Ryuichi KONO Syuhei MIURA Eiji
大野 龍一* 河野 修平* 三浦 栄次*
FUKUMOTO Masaki
福本 将希*

1. はじめに

十六橋水門は図-1に示す福島県耶麻郡猪苗代町と会津若松市をまたがる猪苗代湖から流れる阿賀野川水系日橋川の上流に建設された16門の水門となる。

猪苗代湖の湖水はほとんどが利水であり、農業や水力発電、飲料水に用いられ、十六橋水門と小石ヶ浜水門の併用により猪苗代湖の水位を調整している。また、その歴史と景観を重視された建造物でもあり、現在では日本遺産にも指定される。

本工事では十六橋水門管理所より水門設備の管理・遠隔操作を行うシステムおよび十六橋水門の機側操作盤に加え、猪苗代土木事務所から十六橋水門の監視を行うシステムについても更新を行った。

本書では、本工事における工事内容について紹介する。

2. 工事概要

発注者：株式会社会津電気工事

工事名：河川工事(監視制御装置更新)十六橋水門

工期：令和4年9月1日～令和6年3月22日

施工場所：福島県会津若松市湊町大字赤井地内外

- 工事範囲：①ダム管理制御設備： 1式
②気象観測装置： 1式
③ゲート機側操作盤： 4式
④ネットワークカメラ設備： 2台
⑤放流警報装置： 1式

本工事は運用中のシステム更新工事であり、システム更新作業時は十六橋水門の運用／管理における影響を最小限に抑える必要があった。また、基本的には管理データの欠測をさせることが出来ないこともあり、既設システムでデータを収集しながら新システムの調整およびシステムの切替えを行う工事となる。

また、十六橋水門管理所では十六橋水門の他、東京電力猪苗代総合制御所、福島県庁の河川流域統合情報システムおよび裏磐梯三湖管理設備とも情報をやりとりしており、広域に設置される各雨量局の雨量データおよび近隣水門の流量などのデータを受信し、十六橋水門に関する必要情報についてはデータ送信を行う。そのため、システム更新後も各関連装置とのデータ通信を行うことから、既設システムの通信処理を分析することが重要であった。



図-1 施工箇所(位置図) (出典：国土地理院地図)

3. システムの構成

本システムは十六橋水門管理所を基点とし、既設の関連システムを通じて他設備との情報通信を行っている。

また、通信方式は関連装置に応じた通信方式でデータを送受信しており、通信処理は装置に応じて個別に確認しながら調整を行っていった。更新後のシステム構成は図3-1の通りである。

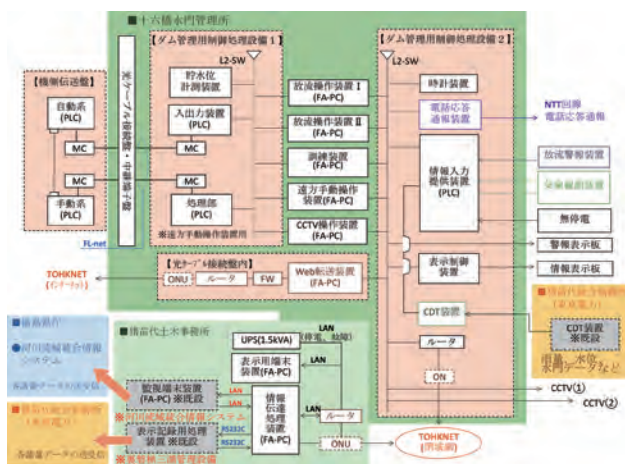


図-2 システム構成(概略)

* (株)IHIインフラ建設 制御情報システム部 水管理エンジニアリングG

4. システム機能

本システムの機能は下表の通り。

表-1 ダム管理制御設備機能一覧

機 能	機 能 概 要
監視機能	- ダム水文量およびテレメータ水文量表示 - 設備状態監視(システム構成)
表・グラフ表示機能	水文量、水位、雨量、気象の各計測データを帳票形式またはトレンドグラフ形式で表示
状況図機能	各画面の模式図に以下の情報を表示 - 周辺雨量、ゲート放流量・開度、河川水位 - ゲート状態など
履歴情報機能	- 発生した故障および警報を表形式で履歴表示 - 演算定数変更履歴表示
ゲート操作機能	十六橋水門の制御設定を行う。 (開度設定値一回限り、定開度放流)
帳票出力機能	日報、月報、年表、洪水調節報告などの各帳票出力を行う。
休止・保守機能	各計器データの値および雨量・水位局の休止・保守設定を行う。
水門緒元機能	貯水量演算テーブルや諸元定数を表示
警戒判定機能	雨量、水位、放流量などの各計測値に対し、警報となる閾値を設定
演算設定機能	各種演算処理に使用する演算テーブルや、定数および演算条件などを設定
データ保存機能	システムの管理データ、正分データをCSV形式で保存を行う
メール送信設定	警報発生時のメール送信者の登録および有効/無効を設定

また、上表における機能画面の一例を以下に示す。

(1) 水門水文量表(表・グラフ表示機能)

収集した水文量データを帳票形式で表示させる。表示する日時は任意で設定が可能。



図-3 水門水文量表画面

(2) 制水門放流状況図(状況図機能)

十六橋水門の放流量を表示し、ゲートの状態を模式図で表示させる。ゲートの状態により、該当ゲートの色に変化。



図-4 制水門放流状況図画面

(3) 十六橋水門管理所 遠隔操作

本システムは十六橋水門の各ゲートを管理所より遠隔操作を行う機能を有している。操作はシステム画面による半自動制御「開度一回限り方式」および「定開度放流方式」のほか、操作ボタンによる手動操作を可能とする。

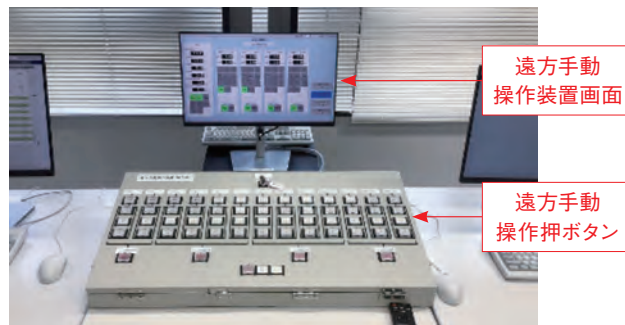


写真-1 遠方手動操作装置

5. まとめ

本工事では、システム更新後も既設関連システムとの情報通信を行う必要があることから、既設の通信方法、データ更新周期のタイミングおよび送受信データの内容を既設システムと合わせる必要があるという技術的な課題があった。そのため、現場では各施設の調査を行い試行錯誤で通信テストを繰り返すことで課題解決を行っていった。また、更新作業においては運用中の設備ということもあり、作業時間などの制約もある中で無事に工事が遂行できたことは、ひとえに工事関係者の多大なご協力によるものである。

最後に本工事の施工にあたり、発注者である会津電気工事様や猪苗代土木事務所様の関係者各位をはじめ、多くのご指導とご協力を頂いた工事関係者に深く御礼申し上げます。



写真-2 十六橋水門管理所システム(完成)

中筋川ダムオリフィスゲート設備改良工事

— 気候変動に対応するためのダム再生事業 —

YASUI Hajime MATSUMOTO Koichi HARADA Ken
安井 孟* 松本 康一* 原田 健**
KATAOKA Dai
片岡 大***

1. はじめに

中筋川ダムは、高知県宿毛市の一級河川四万十川の一次支流である中筋川に建設されたダムである。景観設計を取り入れた堤体下流面は階段形状を有し、自然との調和とクレスト面からの越流水の減勢を兼ねた設計となっている。

中筋川流域は全国有数の多雨地帯かつ、台風常襲地帯に位置する。加えて、南北を山地に囲まれた雨の流れ込みやすい地形と、本川四万十川との合流部に向けて河床勾配が緩やかになる低奥型地形により、水害が頻発してきた。そして近年の気候変動による洪水被害のさらなる激甚化に対応するため、中筋川ダムにおいて既設オリフィスゲートを特別防災操作等による流水の貯留操作が可能なゲート設備に改良することを目的とし、既設撤去・製作・据付を行うこととなった。図-1に本設備の位置を示し、写真-1に工事前後の設備外観を示す。

当社は、既設設備の撤去および新設設備の設計・製作・据付を受注している。本工事は、2021年3月に受注し、2023年6月に完了した。本稿では、工事概要および更新後の設備に関する設計、工場製作、現地据付について報告する。

2. 工事概要

工 事 名：令和2-4年度 中筋川ダムオリフィスゲート

設備改良工事

所 在 地：高知県宿毛市平田町黒川地先

発 注 者：国土交通省 四国地方整備局

施工範囲：扉体、戸当り、開閉装置、スクリーン、空気管、
点検架台、連絡歩廊、オフセットパネル、
下流保護板、機側操作盤

工 期：2021年3月2日～2023年6月30日



図-1 位置図 (出典：国土地理院地図)

3. 設備仕様

3-1. 設計条件

表-1に本設備の仕様を、図-2に本設備の正面図を示す。

3-2. 使用材料

扉体および戸当り、スクリーン、点検架台、連絡歩廊、オフセットパネル、下流保護板にはSUS304を使用し、空気管にはSUS821L1を使用した。開閉装置は普通鋼材を使用し、防食は塗装によるものとした。



写真-1 設備外観(着工直後および工事完了後)

表-1 設備仕様

ゲート型式	ステンレス鋼製ローラーゲート
純径間×有効高	2.000m×2.202m
ゲート敷高	上段オリフィスゲート：EL.74.100m 下段オリフィスゲート：EL.72.100m
基礎地盤高	EL.25.000m
設置数	上段オリフィスゲート：1門 下段オリフィスゲート：1門
設計水位	サーチャージ水位 EL.94.000m 設計洪水水位 EL.96.500m
操作水位	EL.96.500m
設計震度	0.12
波浪高	風波浪高：0.400m 地震波浪高：0.200m
水密方式	後面4方および中間ゴム水密
開閉方式	電動ワイヤロープウインチ式 1モータ1ドラム
揚程	上段オリフィスゲート：19.800m 下段オリフィスゲート：21.800m
開閉速度	上段オリフィスゲート： (主電動機) 0.30m/min (予備電動機) 0.19m/min 下段オリフィスゲート： (主電動機) 0.30m/min (予備電動機) 0.13m/min
操作方式	機側・遠方操作
電源	AC 3相、220V、60Hz

* (株)IHインフラ建設 防災・水門事業部 設計部 詳細設計G

** (株)IHインフラ建設 防災・水門事業部 制御情報システム部 水管理システムG

*** (株)IHインフラ建設 防災・水門事業部 水門プロジェクト部 水門プロジェクトG

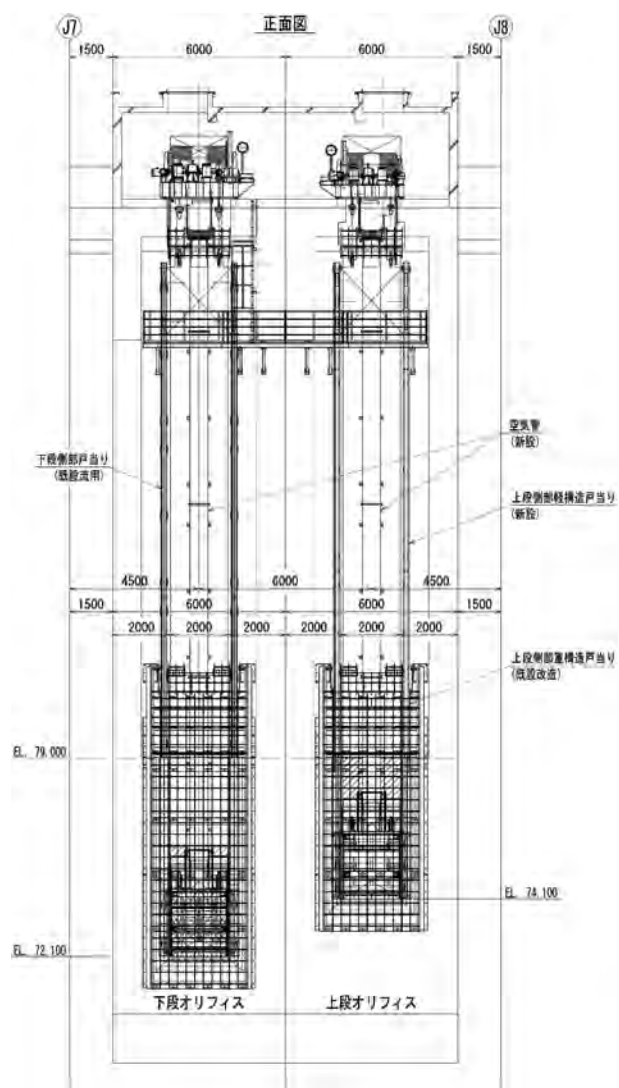


図-2 オリフィスゲート設備正面図

3-3. 本工事の特徴

(1) 扉体共通構造

新設扉体は特別防災操作時に中間開度放流を行うことが見込まれる。更新にあたり水理模型実験が実施され、振動やキャビテーションが生じない扉体形状が採用された。

水密形式は後面4方水密であるが、中間開度放流時に扉体と上部戸当りとの水密を行うため、中間水密ゴムを有しており、開閉時の摩擦抵抗を低減することを目的として、側部および上部、中間部水密ゴムは表面にUPE(超高分子ポリエチレン)シートを貼り付けたものとした。¹⁾

(2) 上段オリフィスゲート

図-3に上段オリフィスゲート設備断面図を示す。既設上段オリフィスゲートは従来ゲートレス状態であり、別途管理地に保管された角落しスライドゲートおよびその重構造戸当りが埋設された状態であった。本工事にあたり、重構造戸当りローラ踏面のみ新設し、埋設部は流用することとした。しかし、スライドゲートの支圧荷重に対して設計された重構造戸当り埋設部は、ローラゲートのローラ荷重に対しては強度が不足する。そのため新設ゲートでは、扉体片側に3個のローラを取り付け荷重の分散を行った。

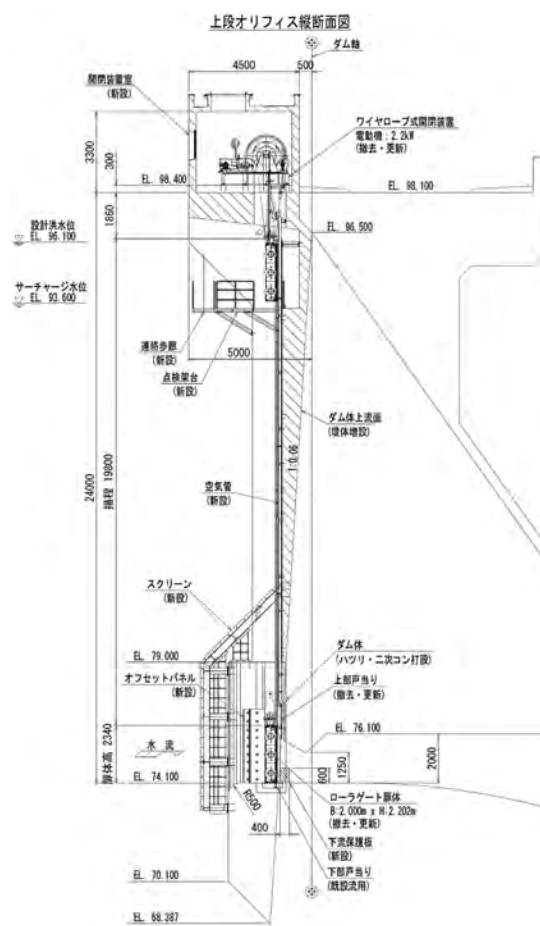


図-3 上段オリフィスゲート設備断面図

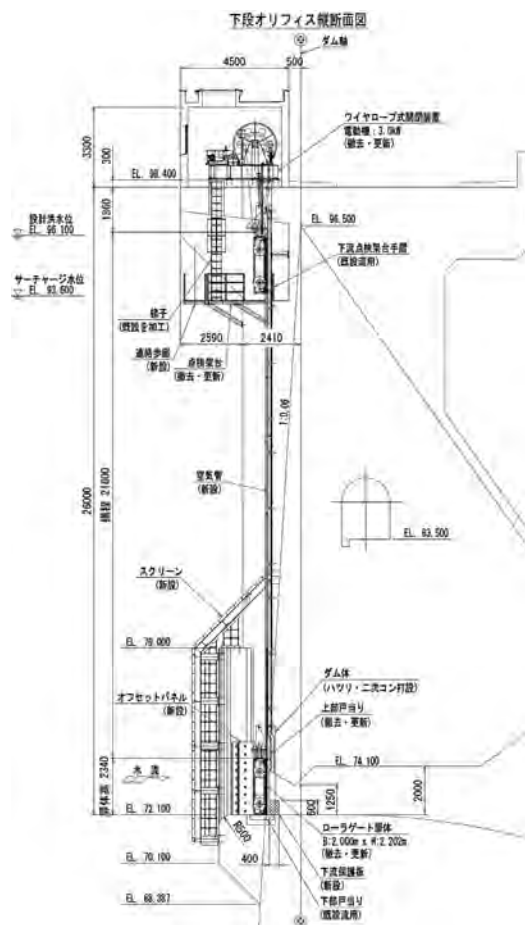


図-4 下段オリフィスゲート設備断面図

(3) 下段オリフィスゲート

図-4に下段オリフィスゲート設備断面図を示す。既設下段オリフィスゲートは、従来非洪水期にダム管理水位を洪水期の水位に対して2.0m上昇させるために運用されるローラーゲートであった。既設ゲートでは、自重降下可能水深を6.0mと設定していたことに対して、新設ゲートでは、設計洪水水位(特別防災操作)である24.6mとしたため、ローラの回転摩擦抵抗が大幅に増加し扉体の締め切り力が不足するおそれがあった。そのため、桁断面に板厚40mmのステンレス鋼厚板を使用したほか、カバープレート、カウンタウェイトを追加し扉体重量増を図った。

ローラ材質はマルテンサイト系ステンレス鋼(SCS5)を使用した。上段ゲート同様に流用する重構造戸当り踏面は、材質がマルテンサイト系ステンレス鋼(YUS410WH)であるため、ローラ材質はこれに対応させることとした。

(4) 上段および下段オリフィスゲート共通構造部

(a) 戸当り・オフセットパネル・下流保護板

上部戸当りは、中間開度放流時に扉体中間水密ゴムによる水密が可能となるよう、天端方向に長い形状へ変更した。上部戸当りと扉体水密ゴムとの取り合いを図-5に示す。また、放流時に戸溝周辺における水流の乱れを防ぐオフセットパネルを戸溝直上流部に設置した。さらに、戸当り下流壁面が負圧となりコンクリートが剥離することを防ぐため、下流保護板を戸溝下流部に設置した。

(b) スクリーン

スクリーン天端は、扉体をスクリーン内から点検位置まで引き上げるため、スクリーンパネルの開閉機構が必要であった。そこで、一部のパネルを扉体上に搭載し、扉体とともに引き上げる可動スクリーンとすることで、追加の開閉装置なしで扉体を通過させる構造とした。可動スクリーン周辺の構造を図-6に示す。

また、スクリーン内部点検のため点検タラップを取付け、管理水位付近時にダム湖巡視船よりアクセス可能な構造とした。写真-2に点検タラップ外観を示す。

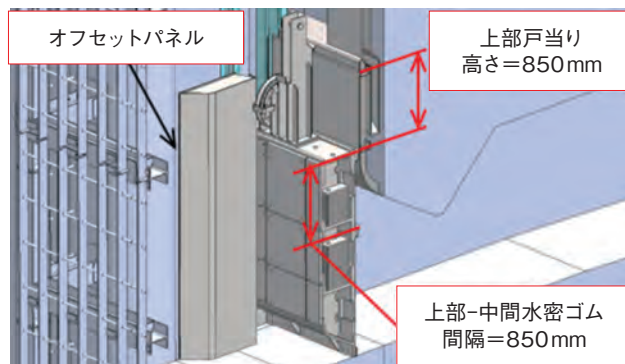


図-5 上部および中間部水密構造

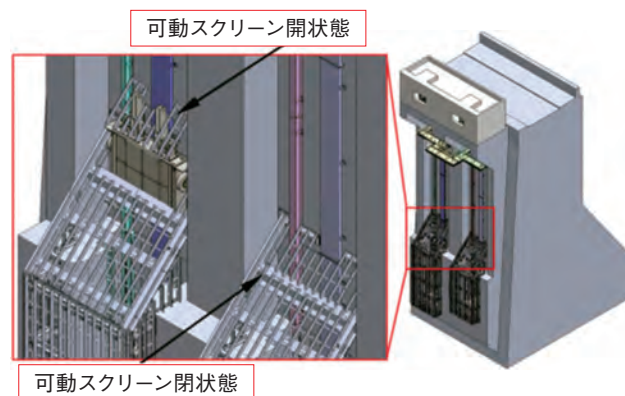


図-6 可動スクリーン部周辺構造



写真-2 点検タラップ外観

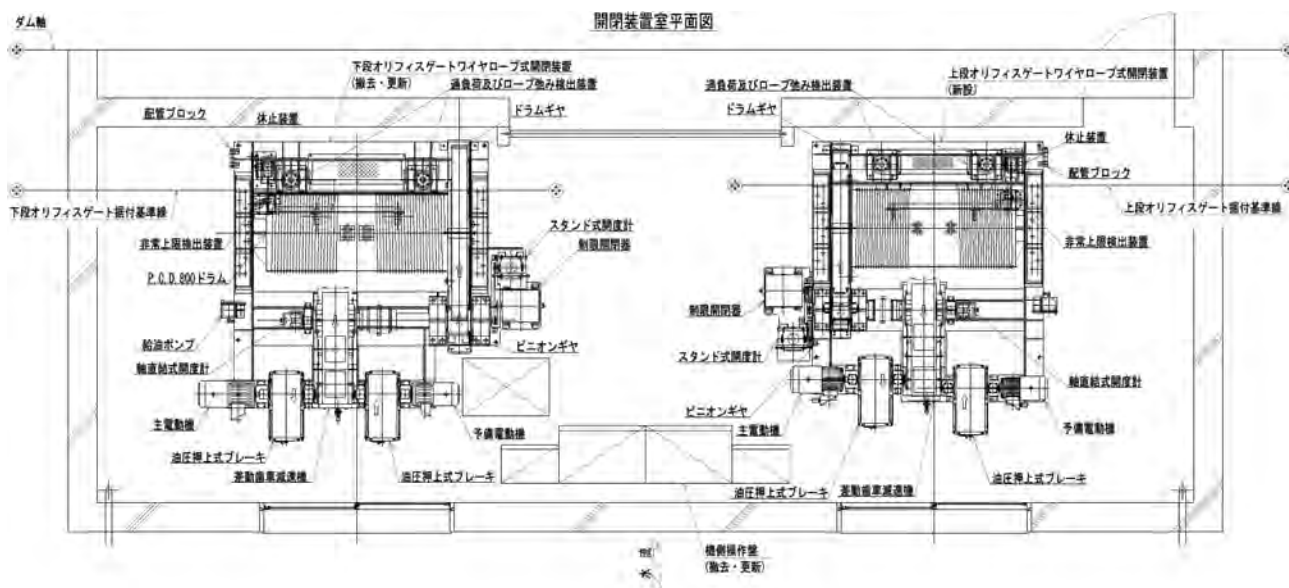


図-7 開閉装置室平面図

(5)電気設備

防錆処置として、機械台に搭載する機器類と機械台切
 削面との隙間はコーキング材を全周に塗布し、さらにこ
 の上から塗装を行った。開閉装置の塗装色は、視覚的に
 一目で識別できるよう上段用、下段用で別々の色彩を採
 用した。

新たに設置する空気管はダム堤体上流面に露出させて配置する計画とし、堤体面と扉体の隙間に収まるように矩形断面とした。設計水位においても強度を満足させるため、強度に優れるSUS821Lを採用した。

下段オフィスゲート側点検歩廊は、新設ゲートの扉体幅に対応するため設備を更新し、上段オフィスゲート側は点検歩廊を新設した。両歩廊間は連絡歩廊によりアクセスが可能である。扉体点検のため取り外し取り外し手摺は、差込みボルトにより簡便に着脱が可能な構造とし、取付部にはがたつき防止策を施した。

図-8に動作図、図-9に操作方式図を示す。ゲート操作は、機側操作盤での操作の他、ダム管理所から操作することができる。機側操作盤では、通常操作と休止操作を切替えることができ、通常操作時は全揚程(下段ゲート:21.80m上段ゲート:19.80m)に対し、水理全開である2.20mまでの開閉とした。

また、予備電動機を備えており、主電動機故障時は予備電動機にて操作できるものとなっている。

機側操作盤は、屋内設置のため銅板製屋内閉鎖自立型とした。機側操作盤外観を写真-3に示す。また、機側操作盤の制御回路は「リレー回路」を採用した。ダム管理所への信号の入出力は機側伝送装置(施工範囲外)を介して通信し、機側操作盤～機側伝送装置間はメタルケーブルで信号の受け渡しを行う方式とした。

開度計は主開度計にエンコーダ式、そして副開度計にシンクロ式と、異なる方式を採用することで、開度計の同時故障する確率を低減するものとした。これらの信号はそれぞれ盤内の変換器でデジタル信号に変換し、機側・遠方にてデジタル表示できるものとした。開度計外観を写真-4に示す。





写真-3 機側操作盤



写真-6 既設扉体撤去(下段ゲート)

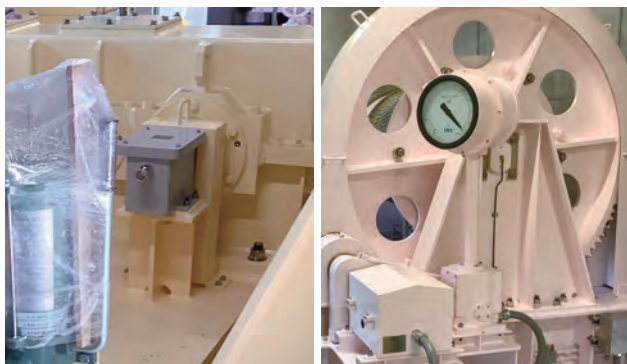


写真-4 エンコーダ式およびスタンド式開度計



写真-7 新設扉体吊込(下段ゲート)

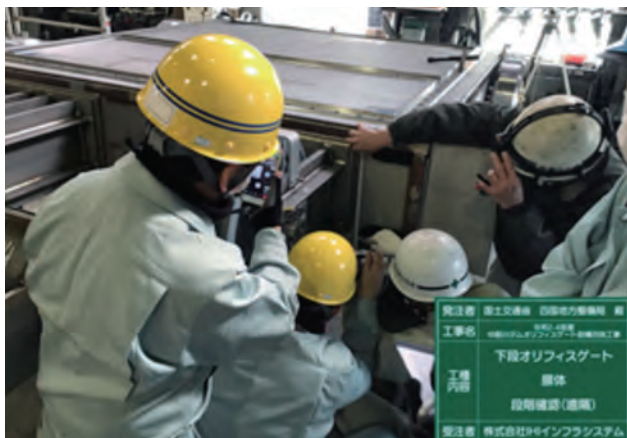


写真-5 遠隔臨場実施状況(下段・扉体)

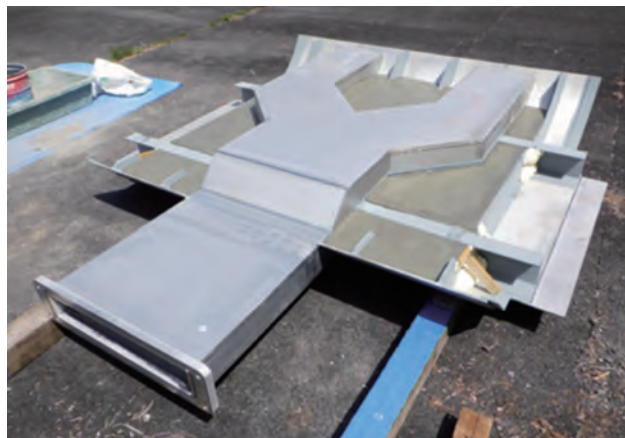


写真-8 上部戸当り裏面先行打設(上段・下段ゲート)

4. 工場製作

本工事の製作期間は、次の通りである。

- ・下段オリフィスゲート: 2021年8月～2022年4月
- ・上段オリフィスゲート: 2022年6月～2023年1月

新型コロナウイルス感染拡大防止の観点から、極力接触を避けての対応が求められた期間であった。そのため、段階確認の1回当りの対象設備をまとめ、遠隔臨場を積極的に採用・実施することで、接触機会の低減を図った。実施した段階確認回数は、次の通りである。

- ・下段オリフィスゲート: 4回(設備毎に行うと7回)
- ・上段オリフィスゲート: 5回(設備毎に行うと7回)

この全てにおいて遠隔臨場で実施した。

扉体については、現場技術員1名の立会いのもと、監督員、主任監督員による、遠隔臨場も同時に実施した。検査風景を写真-5に示す。



写真-9 上部戸当り吊込(上段・下段ゲート)

5. 現場据付

5-1. 据付工程

現場施工は、中筋川ダムの洪水期を避け、2022年2月～6月、2023年1月～4月の2期に分けた。また、関連工事(開閉装置室建屋工事)の進捗に柔軟に対応して工程を変更し、錯綜作業を回避して現場施工を行った。

5-2. 扉体 既設撤去・据付

扉体の既設撤去・新設据付作業は、堤体上流側へ張り出した開閉装置室建屋の直下で行った。扉体を、建屋直下へ安全かつ効率的に引き込むために、作業床と治具を設置した。(写真-6、写真-7)

5-3. 上部戸当り据付

上部戸当り裏面には空気管を配置しており、狭隘な構造となっている。そのため、据付前に上部戸当り裏面へコンクリートを打設し、空隙が発生するリスクを回避した。(写真-8、写真-9)

5-4. 開閉装置 既設撤去・据付

関連工事との工程調整の結果、下段ゲート開閉装置は建屋建設前に、上段ゲート開閉装置は建屋建設後に据付となった。上段ゲートにおいては、据付位置までレールを設置し、チルトンクおよびレバールックを使用して建屋シャッター部から搬入する横引き工法を採用した。開閉装置据付完了後、ワイヤリング、点検架台・スクリーンの据付、無水状態での機能確認を行い、本工事におけるすべての現地作業を無事故・無災害で終了した。(写真-10、写真-11)

6. まとめ

中筋川ダムの新設設備の設計・製作・据付について報告した。本工事は、一部既設設備を流用した既設ダム改造工事であり、難易度の高い工事であった。製作据付時の精度管理、細かな工程調整、そして入念な事故防止対策を実施し無事故・無災害にて完工することができた。

さらに工事完成後、四国地方整備局渡川ダム統合管理事務所の事務所長表彰を受賞することができた。本報告が今後同種工事の施工の参考となれば幸いである。

最後に、本工事の施工にあたり多くのご指導、ご協力を頂いた四国地方整備局殿および工事関係者に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 浅野徹、福島憲明、吉川真路：低摩擦ゴムの高圧ゲートへの適用に関する研究、IHI Infrastructure Technical Report vol3, pp.73-78、2014.10



写真-10 開閉装置吊込(下段ゲート)

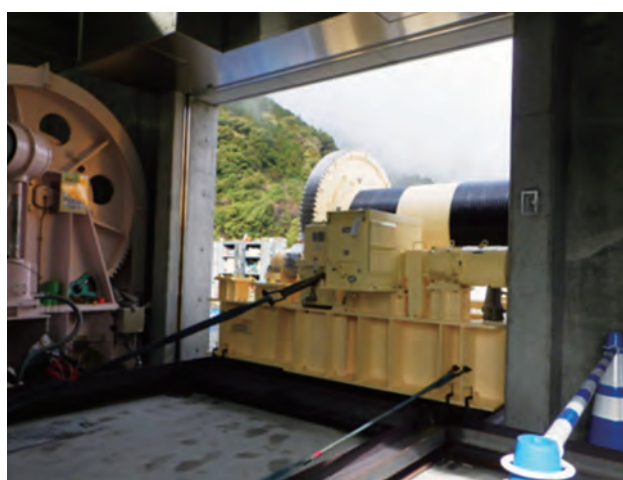


写真-11 開閉装置横引き(上段ゲート)

合志川山城堰ゲート設備工事

— 3Dモデル活用により施工性の向上を実現 —

ASANO Toru 浅野 徹* YAMASHITA Hayato 山下 勇人** FUKUSHIMA Noriaki 福島 憲明***
OMORI Kumiko 大森 久美子*** AZUMAYA Toshihiko 東谷 俊彦*** SUZUKI Kai 鈴木 海允****

1. はじめに

本工事は、既設の利水を目的とした固定堰を、可動堰に改築することで河川の流下能力を確保し、洪水被害の防止・軽減を図ることを目的としている。

当社は、扉体、戸当り、開閉装置、付属設備の設計、製作、据付、試運転調整までを受注している。本工事は、2020年10月に受注し、2023年12月に完了した。設計、製作、据付に関して新たな取り組みや工夫した項目について報告する。

2. 工事概要

工 事 名：合志川山城堰ゲート設備工事

所 在 地：熊本県熊本市北区植木町米塚地先

発 注 者：国土交通省 九州地方整備局菊池川河川事務所

施工範囲：扉体、戸当り、開閉装置、付属設備の設計、製作、

防食、輸送、据付、試運転調整まで

工 期：2020年10月15日～2023年12月15日



図-1 位置図 (出典：Googleマップ)



写真-1 全景(下流側)

3. 設備概要

3-1. 設備仕様

表-1に本設備の仕様を示す。

表-1 設備仕様

扉 体 形 式	魚腹式ステンレス鋼起伏ゲート (軸ねじり方式)
門 数	3門
純 径 間	25.000m
扉 体 高	3.050m
起 立 角 度	75度
越 流 水 深	0.5m
水 密 方 式	前面3方ゴム水密
開 閉 装 置 方 式	油圧シリンダ式
シリンダ本数	2本/1門
油圧ユニット数	1基(3門分)
開 閉 時 間	30分程度/1門あたり
操 作 方 式	機側/遠方押釦操作、電気式自動倒伏操 作、機械式自動倒伏装置による自動倒伏 およびバルブ手動解放による倒伏
電 源	動力系：AC 200V 60Hz 3φ 3W 制御系：AC 100V 60Hz 1φ 2W

3-2. 使用材料

本設備の扉体材質には周辺環境を考慮して耐食性、耐磨耗性を向上することを目的とし、二相系ステンレス鋼(SUS821L1)を採用した。表-2に主要部の材質を示す。

表-2 主要部の材質

部 材 名 称	材料名・材質
スキムプレート	二相系ステンレス鋼(SUS821L1)
背 面 板	二相系ステンレス鋼(SUS821L1)
端 板	二相系ステンレス鋼(SUS821L1)
横 桁	ステンレス鋼(SUS304)
縦 桁	ステンレス鋼(SUS304)
排 砂 板	ステンレス鋼(SUS304)
ト ル ク 軸	析出硬化系ステンレス鋼(SUS630-H1150)

* (株)IHIインフラ建設 防災・水門事業部 設計部 詳細設計G

** (株)IHIインフラ建設 制御情報システム部 水門制御設計G

*** (株)IHIインフラ建設 防災・水門事業部 水門プロジェクト部 プロジェクト管理G

**** (株)IHIインフラ建設 防災・水門事業部 工事3部

4. 本工事の特徴

(1) 高強度材料の使用

扉体の材質について前項に記載した通り二相系ステンレス鋼(SUS821L1)を採用した。

採用理由は耐食性、耐摩耗性の向上だけではなく、高強度材料を使用することで重量を低減し、製作時・据付時における施工性向上を図ることも目的としていた。

(2) 3Dモデルの有効活用

扉体内部は構造が複雑で狭隘部が多数存在していたため如何にして溶接や組立などの作業スペースを確保するかが課題となった。その対策として、3Dモデルを活用し、製作および据付検討会を実施した。そこで得られた有効な情報を設計に反映し、よりシンプルな構造にすることで、工場、現場共に円滑に施工することができた。

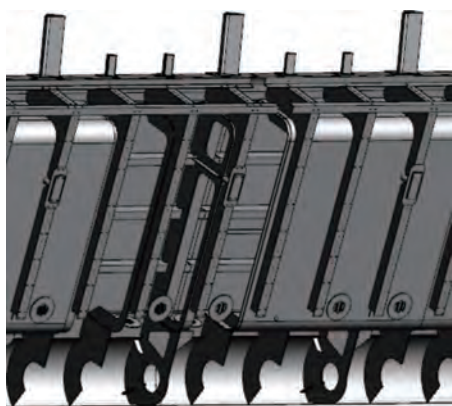


図-2 扉体3Dモデル

(3) 操作制御設備

本設備は機側操作盤によりゲートの操作を行うが、ゲートは1門毎の運転となり、複数門の同時操作は不可となっている。通常操作時は、油圧ポンプの選択を「連動」および「交互」に切換えて操作を行うが、点検操作時に油圧ポンプのみを任意で運転したい場合は、「単独」に切り換えて操作が可能である。

また、本設備は堰上流水位計が高水位(T.P.28.65m以上)を検知すると、電氣的に段階倒伏する自動倒伏運転を行うことが可能である。さらにT.P.28.75m以上に水位が上昇するとフロート式の機械式自動倒伏装置が作動し、ゲートを3門とも倒伏させる。

ゲートを自動倒伏運転させる場合、事前に下流河川区域内および周辺の人へ放流を周知する必要があるため、警報装置(パトライト・ストレートホーン)を設けている



写真-2 機側操作盤



写真-3 放流警報装置

5. 工場製作

本工事重要構造であるトルク軸部の工場製作について以下に説明する。

本工事のトルク軸は、トルクが大きいためスプラインによるトルク伝達構造とした。現場での施工性を考慮して、スプライン加工後に工場にて扉体端部ブロック、トルク軸、トルクアームの勘合確認を行い、一品ごとに全起立時の天地芯をマーキングした。

上記の工夫により、現地ではマーキングを基準として扉体端部ブロックおよびトルクアームにトルク軸を挿入することでスムーズに据付ができた。



写真-4 トルク軸勘合確認



写真-5 仮組立全景

6. 現場据付

6-1. 扉体据付

3ブロックに分割された扉体の据付手順を以下に示す。

- ①スプライン加工したトルク軸とトルクアームの据付
- ②扉体端部(左右岸)ブロックをトルク軸へ挿入
- ③扉体端部(左右岸)ブロック間に中央ブロックを吊り込んでブロック間を溶接

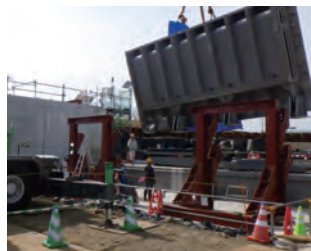


写真-6 扉体据付状況



写真-7 トルク軸挿入状況

6-2. 油圧ユニット据付

操作室建屋完成後、油圧ユニットの設置を行った。床面に仮設鋼材レール設置した後、レールを使用して搬入・設置を行った。



写真-8 油圧ユニット搬入状況



写真-9 レール設置状況

7. まとめ

最後に、本工事の施工にあたり、多くのご指導とご協力をいただいた国土交通省 九州地方整備局菊池川河川事務所および工事関係者各位に深く感謝の意を表します。

東横堀川水門マイターゲート扉体改修工事

— 仮締切設備を使用した二相ステンレス鋼製の扉体への更新工事 —

YASUI Hajime ASANO Toru KAWAI Koji
安井 孟* 浅野 徹* 河合 廣治*

OHMORI Kumiko NAGAMOTO Tomio
大森 久美子** 永元 富翁***

1. はじめに

東横堀川水門は、大阪府大阪市中央区の東横堀川に株式会社栗本鐵工所が建設した閘門設備である。図-1に本設備の位置を示す。本設備は、上流側閘門であるマイターゲートと、下流側閘門であるサブマージラジアルゲートにて閘室を形成している。これにより、淀川方面(北側)である本川下流側の土佐堀川と東横堀川間で水位が異なる状態でも船舶を通航させることが可能となっている。

また、東横堀川は大阪湾方面(南側)である本川上流側にて道頓堀川と接続しており、さらにその先の木津川との合流点に位置する道頓堀川水門にて河川を締め切ることが可能である。両水門間で連携することで、東横堀川-道頓堀川全体の水位を調整する役割を果たしている。本設備のうち上流側閘門であるマイターゲートは、扉体回転軸部と主桁溶接部の損傷が生じ補修工事を実施した経緯がある。近年は東横堀川における舟運需要が高まっており、運転回数増化に伴い扉体への負担も増加していくことが見込まれる。そのため、竣工(平成11年)から24年と比較的新しいものの、扉体を更新することとなった。図-2に本工事における更新対象設備を示す。

当社は、既設扉体の撤去および新設扉体、工事に用いる仮締切設備に関する設計・製作・据付を受注している。本工事は、2022年3月に受注し、2024年3月に完了した。本稿では、工事概要および更新後の設備および仮締切設備に関する設計、工場製作、現地据付について報告する。

2. 工事概要

工 事 名: 東横堀川水門マイターゲート扉体改修工事

所 在 地: 大阪府大阪市中央区高麗橋1丁目2-5

発 注 者: 大阪市建設局

施工範囲: 扉体、トルクアーム、掃流装置、仮締切設備

工 期: 2022年3月2日～2024年3月29日

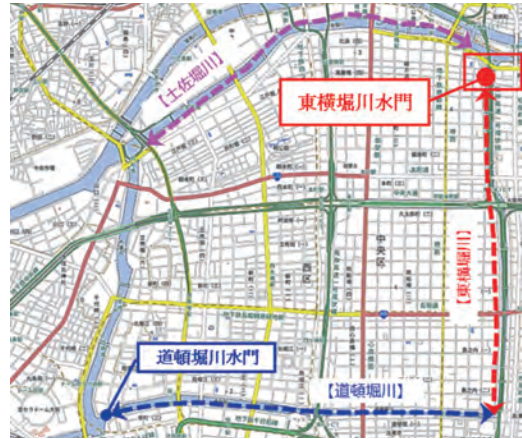


図-1 位置図 (出典: 国土地理院地図)

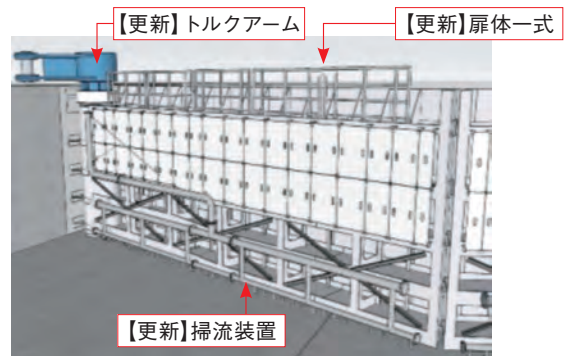
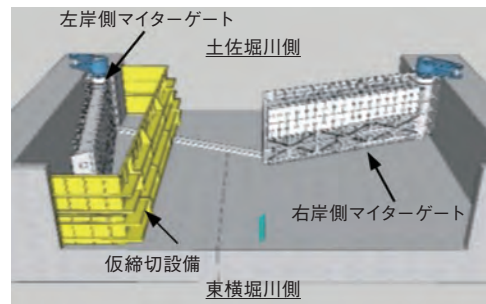


図-2 更新対象設備

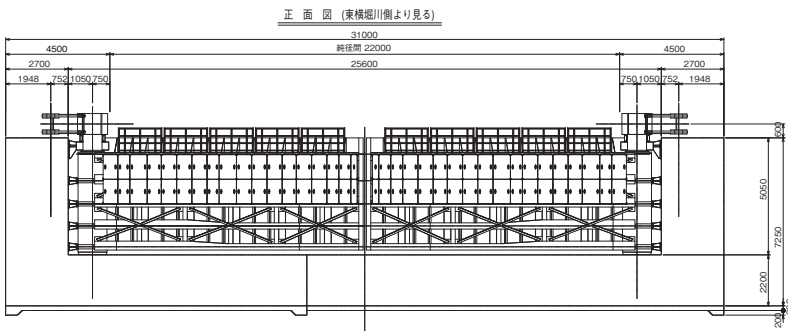
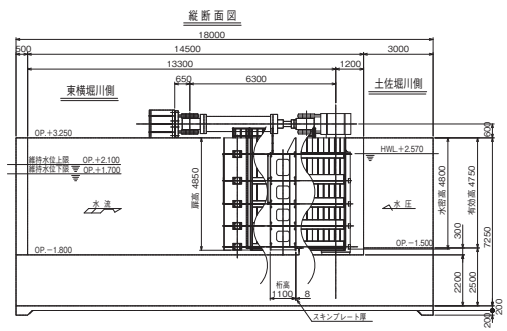


図-3 設備全体図



* (株)IHインフラ建設 防災・水門事業部 設計部 詳細設計G

** (株)IHインフラ建設 防災・水門事業部 水門プロジェクト部 水門プロジェクトG

*** (株)IHインフラ建設 防災・水門事業部 工事3部

3. 設備仕様

3-1. 設計条件

図-3および表-1に本設備の仕様を示す。

表-1 設備仕様

ゲート型式	ステンレス鋼製マイターゲート
純径間×有効高	22.000m×4.750m
設置数	1門
設計水位	平時(case1) 土佐堀川 OP. -1.500m
	東横堀川 OP. +2.100m
	平時(case2) 土佐堀川 OP. +2.570m
	東横堀川 OP. +1.700m
	地震時(case1) 土佐堀川 OP. +0.359m
	東横堀川 OP. +2.297m
操作水深	地震時(case2) 土佐堀川 OP. +2.771m
	東横堀川 OP. +1.514m
	(case1) 内外水位差 0.300m
	(case2) 土佐堀川 OP. +1.800m
	東横堀川 OP. +2.100m
	(case2) 土佐堀川 OP. +2.570m
	東横堀川 OP. +1.700m
設計震度	0.20
ゲート敷高	OP. -1.500m
水密方式	正面3方および扉間ゴム水密
開閉方式	油圧シリンダ・揺動シリンダレバー式
扉体回転角度	70deg.
開閉速度	開方向から閉方向共、全開から全閉まで2分
操作方式	機側電動および遠方操作
電源	動力電源：3相、440V、60Hz
	操作電源：単相、100V、60Hz

3-2. 使用材料

新設扉体の扉体材質は主に二相ステンレス鋼製である。既設扉体は普通鋼製であるが、常に扉体在水中にあり塗り替えが困難であること、設置場所が感潮河川であること、既設扉体と同等以上の強度を有する材料を使用すること、扉体軽量化による環境負担を軽減することを目的とし、強度と耐食性に優れたSUS323Lを採用した。一方、仮締切設備は普通鋼材とし、工事用クレーン船の吊能力を考慮しSM490材を使用することで重量軽減を図った。

3-3. 本工事の特徴

(1) 扉体

(a) 既設扉体損傷原因の解消

既設扉体では、扉体に回転トルクを伝達する扉体端部のトルクチューブと扉体主桁フランジ部で亀裂が生じた経緯がある。

新設扉体では、扉体分割位置をH字状の4分割とし、端部ブロックであるトルクチューブ部に現地継手がない構造とすることで、各主桁へ均等に荷重が伝達される構造とした。

溶接継手部の形状は、裏当てを設け確実に溶け込ませることに加え、スカラップを溶接にて埋戻すことで応力集中が生じないように配慮した。

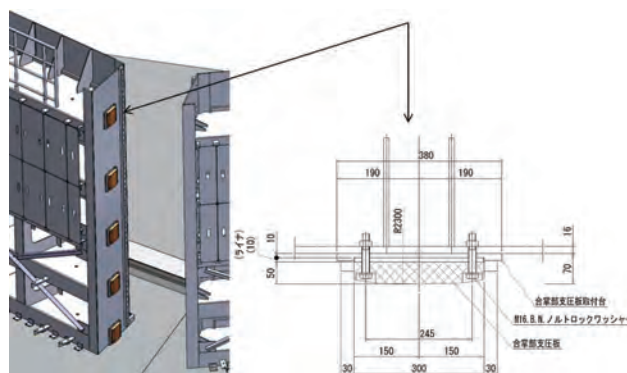


図-4 新設扉体支圧板形状

(b) 扉体回転部の継手の設計

既設扉体では、トルクチューブ・トルク軸・トルクアーム間をそれぞれキー結合としていた。新設扉体では、接触面の有効率を考慮したうえでも十分な支圧面を確保できるようにスプラインによる接合を採用した。

(c) 異種材料溶接継手の検討

扉体トルクチューブ(SUS323L)とスプラインボス(SUS630-H1150)は異種材料溶接継手となる。実績のない溶接継手であるため、IHI技術開発本部およびIHIインフラシステム堺工場と連携し溶接施工試験を行い、溶接条件を決定することとした。

試験の結果、溶接材料は母材強度との差が生じない溶接材料を採用し、溶接熱ひずみを最小限とするよう入熱量を設定した。SUS323Lの σ 析出による脆化、鋭敏化防止およびSUS630-H1150の低温割れ回避のため、予熱、パス間温度および後熱を管理した。溶接後、サンプルを採取し引張試験および硬さ試験を行い、要求される設計強度を満足することを確認した。

(d) 合掌部の設計

既設扉体では、左右岸の扉体の合掌部にはそれぞれCAC603製の平板状の支圧板が取り付けられており、面接触となる構造であったため、過去に合掌時のわずかな速度差から、支圧板の角部が対岸側支圧板に食い込む事象が発生していた。新設扉体では、合掌時の食い込みを回避するため、支圧面側はR形状とし、材質は鉛フリーであるCAC403を採用した。新設扉体の支圧板形状を図-4に示す。

(e) ボルトゆるみ止めの実施

本設備は、扉体合掌時に生じる振動からボルトの緩みが生じることがあり、既設扉体では一部ボルトの脱落が確認されている。新設扉体では、ゆるみ止め部品を適宜使用し、機械的なボルトのゆるみ防止対策を施した。

(2) トルクアーム

トルクアームは、アーム部(SM570)とスプラインボス部(SCM435)との溶接構造である。本溶接継ぎ手に関してもIHI技術開発本部と連携し事前に溶接条件の検討を行った。検討の結果、割れ防止の観点からSM570はPMC値を抑えた材料を使用した。また、SCM435側の低温割れ対策として、後熱および非破壊検査を実施することとした。

防錆対策として、スプラインボス部にある現地吊り込み用の

アイボルトは施工後六角ボルトに付け替えを行ったのち、全周をコーキング材による隙間埋めとタッチアップ塗装を行った。

(3) 掃流装置

掃流装置は岸壁上のポンプから岸壁側面側と扉体付き側の2系統に分岐する。扉体側へ分岐する配管は、扉体の開閉にスムーズに追従するよう、45°エルボとフレキシブルホースにより接続する構造とした。

(4) 仮締切設備

本工事に際し、左右岸にある扉体を片側ずつコの字状に締め切りドライ施工を行うため仮締切を設計した。施工に用いるクレーンの吊能力を考慮し、扉体は上下流隅部と中央部からなる3ブロックをさらに上下2段に分割した計6ブロックとした。

水密形式は3方水密であり、岸壁および河床コンクリート面を水密面とすることに加え、河床にある既設扉体底部戸当り金物部にて300mmの段差を跨ぐ構造となる。そのため、確実な水密が求められた。

水密性向上対策として、事前に潜水調査を行い、既設構造物の出来形計測および河床の堆砂状況・異物の有無を確認した。岸壁は凹凸のある化粧型枠による仕上げが施されているため、側部水密部は岸壁に固定した仮設の水密金物に膜状のゴムをボルト止めし、これを扉体と接合することで水密を行った。下部水密部は河床コンクリートの凹凸に追従可能なよう、平ゴムをジャッキボルトで押し付け可能な構造とした。仮締切の水密部形状を図-5に示す。

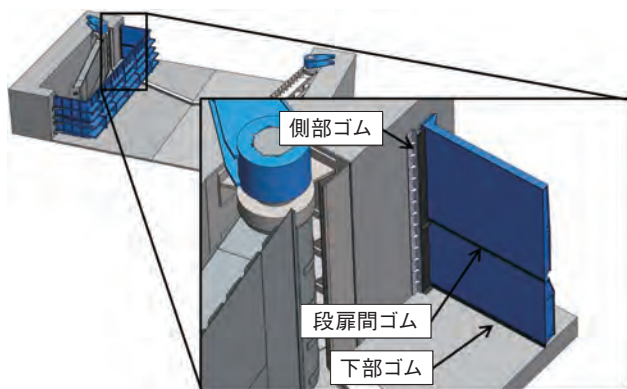


図-5 仮締切水密部

4. 工場製作

本項においては、主要製作構造物である扉体、仮締切設備の工場製作について以下に説明する。

4-1. 扉体

(1) 回転部の精度管理

本工事のトルク軸はトルクが大きいと、トルクアームとの間はスプラインによるトルク伝達構造としている。

現場での施工性を考慮して、スプライン加工後に工場にて扉体端部ブロック、トルク軸、トルクアームの勘合確認を行い、左右岸ともに扉体全閉時の扉体中心線をマーキングした。

また、溶接構造のトルクチューブは扉体回転軸を兼ねており、荷重支持点となる4箇所の回転摺動部は、既設の軸受部



写真-1 トルク軸のスプライン加工



写真-2 マーキング状況



写真-3 トルクチューブ加工後

との取合いのために機械加工が必要であった。トルクチューブの製缶誤差がそのまま回転摺動部の加工代となるため、その加工代を考慮した素材板厚を設定し、かつ、機械加工後の外径許容差は既設軸受の精度から、 $\phi 1270\text{mm}$ に対して $+0 \sim -0.5\text{mm}$ と厳しい許容差を設定し製作を行った。

これらの管理により、現地でのスムーズな据付と既設軸受との確実な取合いを実現することができた。

(2) 下部水密ラインの平行度

扉体下部水密ゴムラインと既設下部戸当りとの上下方向平行度誤差が大きい場合は、据付時に水密ゴムと既設下部戸当りが正常に取り合わないおそれがあった。

したがって、下部水密ゴムラインの上下方向平行度誤差は

ゴム座ボルト孔中心を基準に $\pm 5\text{mm}$ 以内として管理した。

また本工事では既設の下部支承を流用するが、トルクチューブボスとの取合いが合わない場合、支承が損傷する可能性がある。そのため、最も回転軸寄りのボルト孔中心は、回転軸下部ボス孔加工部の天面から $50\pm 5\text{mm}$ 以内となるように管理した。寸法管理箇所を図-6に示す。上記の管理により、現地にて既設構造物と確実に取合い据付することができた。写真-4に仮組全景を示す。

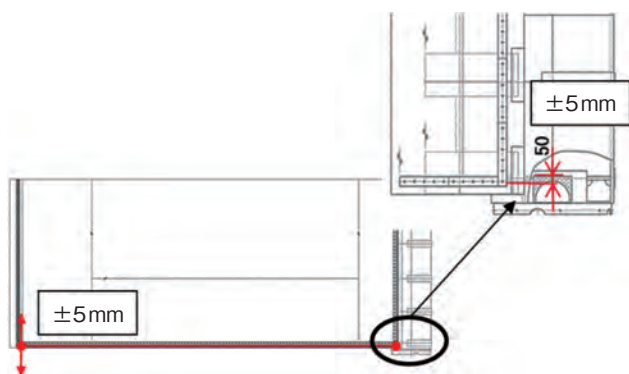


図-6 扉体下部水密線天地方向の寸法管理



写真-4 扉体仮組立全景

4-2. 仮締切設備

(1) 上下段搭載確認

現地での作業や、水密部の機能性に問題ないことを確認するため、工場にて上下段それぞれの仮組立確認を行った後、実際に搭載確認を行った。(写真-5、写真-6)

工場で搭載した際に、無理な力をかけずに搭載できること、水密ゴムの圧縮代が10mm確保できたことを確認でき、現地でもスムーズに据付ができた。

(2) 扉体間水密ゴムの接着および長さ調整

仮締切設備扉体間の水密ゴムは、現場での作業を削減するため、工場にて仮組立時の出来形に合わせて長さ調整を行い、水密ゴムを扉体に取り付けて現場へ発送した。このことにより、現場での水密ゴム調整作業を削減できた。(写真-7)



写真-5 仮締切設備仮組立全景



写真-6 上下段搭載状況



写真-7 水密ゴム取付状況

5. 現場据付

(1) 施工概要

本工事は、東横堀川航路封鎖期間(2023年5月8日～2024年2月28日)内に施工を完了させる必要がある。施工は施工箇所へ陸上から大型重機がアクセス出来ないため、クレーン船(75tテレスコピッククローラークレーン)にて行った。同様に製品輸送についても台船による水上輸送とした。また仮締切設置によるドライ施工とし、片側ずつ半川締め切りを行い左岸側、右岸側の順に既設設備撤去・新設設備据付作業を行った。(写真-8、写真-9)



写真-8 クレーン搬入・積替(75tTCC)

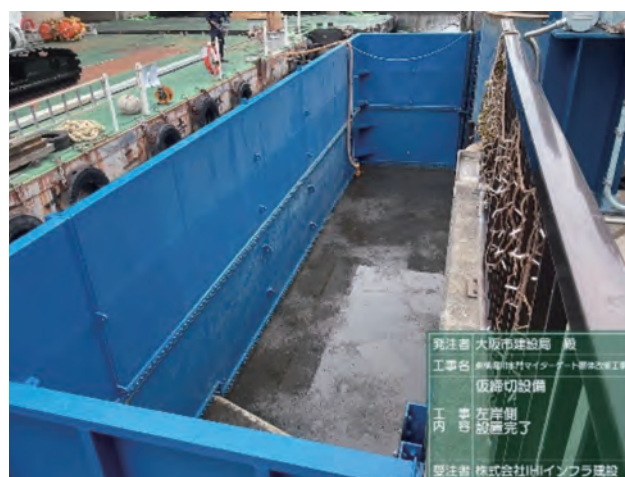


写真-11 仮締切内排水・止水

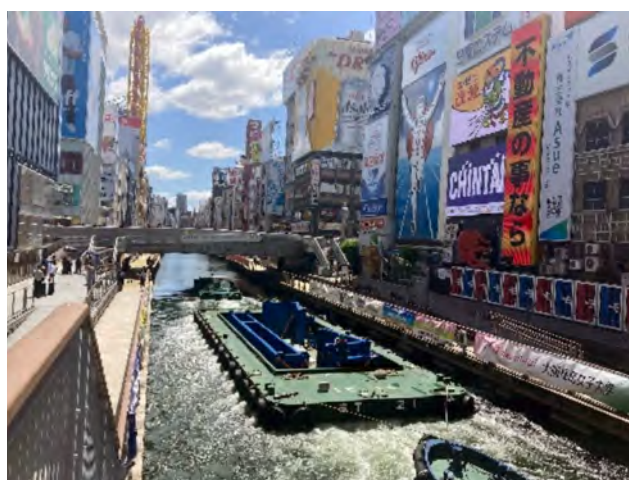


写真-9 製品水上輸送(えびす橋付近)



写真-12 左岸側 既設扉体撤去



写真-10 左岸側仮締切設置



写真-13 撤去品搬出・現地出航

(2) 仮締切設置

施工に際し、仮締切設備(1段あたり3ブロック×2段の計6ブロック)の設置を潜水作業により行った。

仮締切設備は既存のコンクリート水路に設置することとなるため、着手前に事前潜水調査を行い、計測結果を設計形状に反映することで施工に影響のない範囲で止水することが出来た。(写真-10、写真-11)

(3) 既設設備撤去

既設設備の撤去は狭い仮締切内において扉体进行操作することなく切断作業等を行うため、扉体を開度15°程度で保持し、スキンプレート側と主桁側へ同時にアクセスできる状態にて撤去作業を行った。扉体(スキンプレートブロック)⇒トルクアーム⇒スパーサ・支承(既設流用)⇒扉体(回転軸ブロック)の順にガス溶断し順次クレーン船にて撤去した。撤去品は荷台船へ積み込み、水上輸送により搬出した。(写真-12、写真-13)



写真-14 右岸側 扉体トルク軸挿入



写真-17 完成(下流より見る)



写真-15 右岸側 扉体ブロック吊込



写真-16 調整試運転

(4) 新設設備据付

新設設備の据付は撤去と逆手順にて行った。新設扉体のトルク軸は現地での組込が必要であった。扉体回転軸ブロックとの嵌め合い部はスプライン加工されており挿入作業はクレーンで設置位置まで楊重し、挿入は10tチェンブロックを使用し慎重に行った。(写真-14、写真-15)

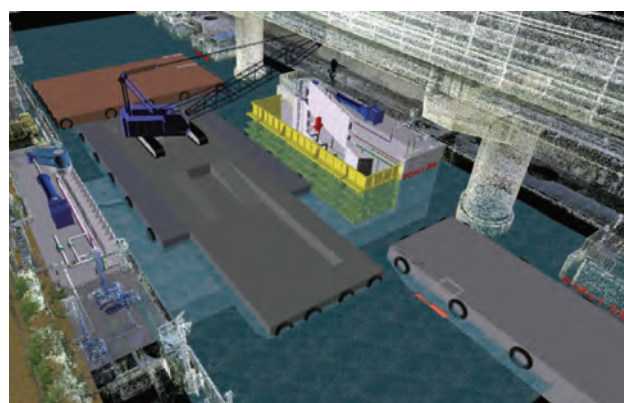


図-7 点群データと3Dモデル統合による据付計画検討

(5) 現場の取り組み

本現場は非常に狭隘であり、かつ右岸側設備は阪神高速高架下での作業となることから、計画着手前に3Dスキャナによる現地の点群計測を行い高架下空間の位置関係を把握することで据付計画に反映した。(図-7)

6. まとめ

東横堀川水門マイターゲートの新設扉体、仮締切設備に関する設計・製作・据付について報告した。本工事は、希少なマイターゲートの改修工事であり、一部既設設備を流用する難易度の高い工事であった。事前の入念な現地計測や製作・据付時の精度管理の徹底、細かな工程調整、そして入念な事故防止対策を実施し無事故無災害にて完工することができた。(写真-16、写真-17)

さらに工事完成後には、大阪市の優良成績工事として認定いただいた。本報告が今後同種工事の施工の参考となれば幸いである。

最後に、本工事の施工にあたり多くのご指導、ご協力を頂いた大阪市建設局殿および工事関係者に深く感謝の意を表します。

立野ダム試験湛水用ゲート製作据付工事

YOKOYAMA Makoto
横山 慎*

OMORI Kumiko
大森 久美子**
TAKAHASHI Tsuyoshi
高橋 剛***

TAHARA Kenichi
田原 謙一**

1. はじめに

立野ダムは、洪水被害を防ぐことを目的とした洪水調節専用のダム(流水型ダム)として、熊本県を流れる一級河川白川に建設された曲線重力式コンクリートダムである。

本工事は、別途施工した常用洪水吐放流管工事に続き施工した、試験湛水用ゲートの製作据付工事であり、2024年3月15日に完成したので、その施工内容を報告する。

2. 工事概要

発注者:国土交通省 九州地方整備局 立野ダム工事事務所

工事名:立野ダム試験湛水用ゲート製作据付工事

所在地:左岸 熊本県菊池郡大津町大字外牧地先

右岸 熊本県阿蘇郡南阿蘇村大字立野地先

施工範囲:制水設備(上段試験湛水用ゲート2門、下段試験湛水用ゲート1門¹⁾)、放流設備(下段スクリーン1基)、付属設備(空気管、戸当り部保護設備、リフティングビーム他)の設計、製作、防食、輸送、据付、撤去
1)試験湛水用ゲート戸当りは別工事に施工

工期:令和3年11月13日～令和6年3月15日

総質量:263t

設置目的:試験湛水時に止水を確保すること。

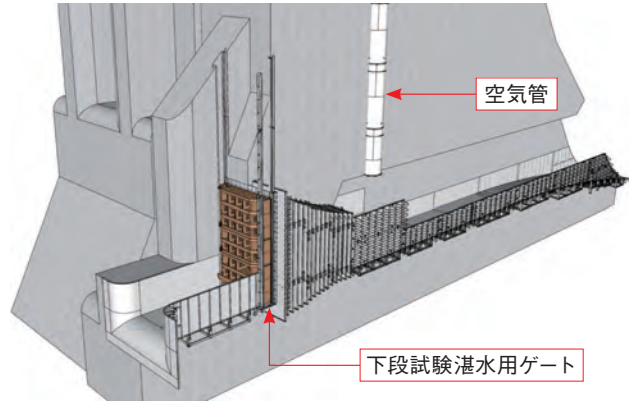


図-2 下段試験湛水用ゲート模式図

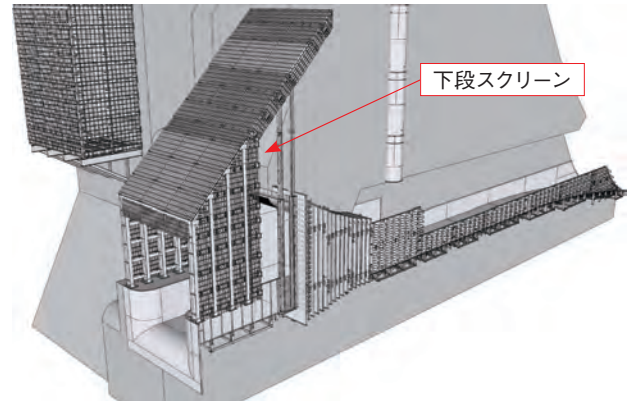


図-3 下段スクリーン模式図

3. 設備概要

3-1. 設計条件

設計洪水位:EL.281.000m

サーチャージ水位:EL.276.000m

風波浪高:0.50m

地震時水平震度係数:0.12

基礎地盤標高:EL.195.000m

3-2. 設備仕様

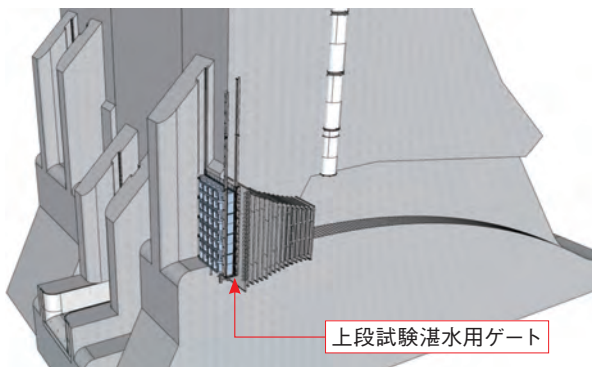


図-1 上段試験湛水用ゲート模式図

表-1 主要諸元

上段試験湛水用ゲート	形式	4段角落しゲート
	数量	2門
	寸法	幅5.000m×高8.930m
	敷高	EL.217.000m
	水密方式	後面四方ゴム水密
	開閉方式	自走式クレーンによる吊り込み
下段試験湛水用ゲート	形式	3段角落しゲート
	数量	1門
	寸法	幅5.000m×高8.930m
	敷高	EL.203.500m
	操作水位	EL.206.500m
	水密方式	後面四方ゴム水密
	開閉方式	自走式クレーンによる吊り込み
戸当り部保護設備	形式	ステンレス鋼製保護装置
	数量	1基

* (株)IHIインフラ建設 防災・水門事業部 設計部 詳細設計G

** (株)IHIインフラ建設 防災・水門事業部 水門プロジェクト部 水門プロジェクト管理G

*** (株)IHIインフラ建設 防災・水門事業部 工事3部

下段 スクリーン	形 式	ステンレス鋼製固定式スクリーン
	数 量	1基
	寸 法	有効幅9.500m×有効高24.100m
	バー間隔	200mm(板厚中心間)
上下段 空気管	形 式	ステンレス鋼製空気管
	数 量	3基
	管 径	φ1.800mm

3-3. 使用材料

扉体は試験湛水開始時に自走式クレーンにて据付けるため、重量低減し吊能力に余裕を持たせることを目的とし、スキンプレートには高強度のSM570材を使用した。常時設置となる、スクリーン、空気管、戸当り部保護設備はステンレス鋼とした。表-2に各設備の主要使用材料を示す。

表-2 使用材料

使 用 箇 所		材質・規格
上下段 試験湛水用ゲート	扉体	SM490、SM570
	支圧板	SUS304、オイレスFF-GH
	水密ゴム	CR
リフティングビーム	主要部材	SS400、SUS304
下段スクリーン	スクリーンバー	SUS821L1
	受桁	SUS821L1
	アンカ金物	SUS821L1
上下段空気管	管胴	SUS304
	ステイフナ	SM400
戸当り部保護設備	主要部材	SUS821L1

3-4. 本設備の概要・特徴

(1) 上段試験湛水用ゲート

上段試験湛水用ゲートはトラック輸送による一般の輸送制限サイズを考慮し、4段分割(1段当たり2.5m)の鋼製スライドゲートとした。塗装仕様は、試験湛水時のみ使用することを考慮し、無機ジンクリッチペイント(膜厚75μm)とした。

(2) 下段試験湛水用ゲート

下段試験湛水用ゲートの最下段扉は、常時の河川流入量である16.1(m³/s)を流下させながら設置・撤去する必要があったため、最下段扉は、輸送制限内の3.5mとし、扉体設置時に、平常時流量でも越流せず水位低下放流設備(別工事にて施工)側に流入水が流れる高さとした。また、流水下での設置・撤去となるため、ダウンプル力を低減することを目的に、扉体最下端桁は30°切り上げた形状とした。

塗装仕様は、ダム運用後の維持管理時にも使用することを考慮し、機械工事塗装要領(案)・同解説のC-2仕様(ジンクリッチペイント+エポキシ樹脂系+ポリウレタン樹脂系)とした。

扉体に設置する支圧板には、樹脂製のオイレスFF-GHを使用し、据付・撤去時の摺動抵抗低減をはかった。

(3) 戸当り部保護設備

常時河道として流入水が流れる下段放流管(別工事にて施工)の試験湛水用ゲート戸当り部には、転石等による損傷防止と、戸溝による水流の乱れ防止のため、戸当りを覆う保護設備を設置した。戸当り部保護設備は、戸溝内の段差部に支圧金物を引掛けることで、水圧荷重に抵抗する構造とした。

(4) 下段スクリーン

下段スクリーンは、洪水時に流木・塵芥等により、洪水吐が閉塞することを防止するため、上流側の水路にはパネル・受桁を設置しない構造としており、別工事にて施工した上段スクリーンとは構造が異なっている。ただし、その他設計条件は上段と同様であり、その特徴はIHIインフラ技報Vol.12「立野ダム常用洪水吐放流管」に記載のとおりのため、紙面の都合上割愛する。

4. 工場製作

4-1. 試験湛水用ゲート扉体

角落しは、L形ゴムを使用した三方水密構造を前提とした管理値が機械工事施工管理基準(案)に定められているが、本工事の扉体は、側部水密ゴムにPゴムを適用し、最上段扉体は上部水密を有する四方水密構造のため、機能を満足するために、機械工事施工管理基準(案)四方水密スライドゲート扉体の施工管理基準を適用した。



写真-1 扉体仮組立検査全景

4-2. リフティングビーム

本工事の試験湛水用ゲート扉体は、リフティングビームにより扉体を自動着脱し現地据付・撤去を行う計画であり、現地にて確実に施工できることを確認するため、工場にてリフティングビームの動作確認を実施した。動作確認は①フックの自動着脱確認②扉体吊重心位置(扉体の傾き)の確認の2点をメインに行い、現地での戸溝内への扉体吊込～設置まで、問題なく実施できることを確認した。



写真-2 リフティングビーム自動着脱確認状況



写真-4 吊り込み状況

5. 現場据付

5-1. 下段スクリーン

下段スクリーンの据付はスクリーン柱部外面に枠組み足場を設置し、100tR/Cを用いて行った。据付は柱部、梁部、スクリーンパネルの順で行い、梁と柱は溶接にて接合した。下段スクリーン据付後、仮排水路から下段放流管へ転流し、河川の流れを切り替えた。

5-2. 戸当り部保護設備

戸当り部保護設備の施工は①転流前の設置作業、②試験湛水前の撤去作業、③試験湛水後の設置作業の計3回行った。

転流前の設置時は枠組み足場の組み立てを行い、100tR/Cを用いて行った。試験湛水前の撤去時および試験湛水後の再設置時は試験湛水用ゲートの設置作業および撤去作業と連続して本作業を行うため、220tAT/Cを用いて行った。



写真-3 試験湛水前撤去状況

5-3. 上段試験湛水用ゲート

上段試験湛水用ゲートの据付は天端橋梁上に130tAT/Cを設置して行った。

扉体の吊り込みの際はウェイトバランス型吊治具、電動チェーンブロック、リフティングビーム、扉体の順番に玉掛けを行った。



写真-5 吊り込み状況

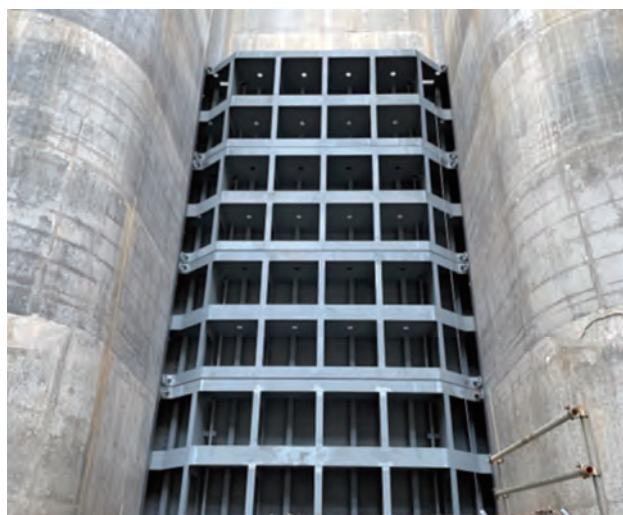


写真-6 上段試験湛水用ゲート設置完了

101

雄物川下流新波川排水樋門ゲート設備新設工事

MATSUURA Hisaji 松浦 久慈* YAMAGUCHI Tatsuya 山口 達也** KATAOKA Dai 片岡 大***
NUMAZAWA Yubu 沼澤 祐武**** MATSUOKA Kazuhiro 松岡 和弘****

1. はじめに

本工事は、河川激甚災害対策特別緊急事業の一環として、一級河川雄物川の下流部に新波川排水樋門ゲート設備を新設するものである。設置場所の雄物川と新波川の合流部では度々大規模な氾濫が生じており、その対策として進められている堤防の増設と連動した工事となっている。

写真-1のように全5門の排水樋門で構成されており、雄物川本川の水位上昇時に閉操作を行い、水位低下後に開操作を行う。

本稿では、工事概要および設計、工場製作、現地据付について報告する。



写真-1 設備全景 (雄物川本川側から見る)

2. 工事概要

工 事 名: 令和3～4年度雄物川下流新波川排水樋門ゲート設備新設工事

所 在 地: 秋田県秋田市雄和繁地内

発 注 者: 国土交通省 東北地方整備局
秋田河川国道事務所

工事内容: 扉体、戸当り、開閉装置、操作制御設備、電源設備、付属設備等の設計、製作、据付、現地試運転調整

工 期: 2021年9月22日～2024年3月29日

設備用途: 雄物川本川から新波川への逆流防止

3. 設備仕様

3-1. 設計条件

表-1に本設備の仕様を示す。

表-1 設備仕様

数 量	5門
形 式	二相ステンレス鋼製ローラゲート
純 径 間	6.600m
有 効 高	4.300m
水 密 方 式	後面四方ゴム水密
開 閉 方 式	電動ラック式(連動型)
開 閉 能 力	400kN
開 閉 速 度	0.30m/min
揚 程	4.400m(操作時) 5.050m(保守点検時)
操 作 方 式	機側操作及び遠方操作

3-2. 使用材料

本設備の扉体・戸当りには主に二相ステンレス鋼を使用した。二相ステンレス鋼はSUS304などの従来のオーステナイトステンレス鋼に比べて、強度や耐食性に優れているため、近年は多くの工事で用いられている。

表-2 使用材料

区分名称	部 材	材 質
扉 体	主要部 その他	SUS821L1 SUS304
戸 当 り	主要部 その他	SUS821L1 SUS304



図-1 位置図

(出典: 国土地理院地図)

* (株)IHIインフラ建設 防災・水門事業部 設計部 詳細設計G
** (株)IHIインフラ建設 防災・水門事業部 制御情報システム部 水門制御設計G
*** (株)IHIインフラ建設 防災・水門事業部 水門プロジェクト部 プロジェクト管理G

**** (株)IHIインフラ建設 防災・水門事業部 工事3部

3-3. 設備の特徴

本設備の扉体は水平方向に2分割とした。鉛直方向で分割すると斜めに傾けた姿勢でトレーラに積載する必要が生じ、更に主桁部で多くの現場突合せ溶接箇所が生じてしまう。そのため、水平方向で分割することにより輸送時の安定性向上と、溶接箇所削減による現場組立工程の短縮を可能にした。

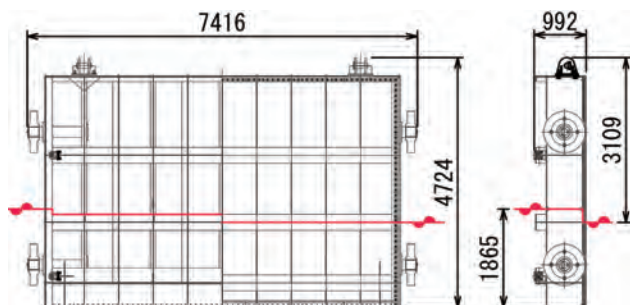


図-2 扉体の分割位置と輸送外寸

4. 工場製作

4-1. 扉体の製作状況

扉体の工場製作フローを以下に示す。

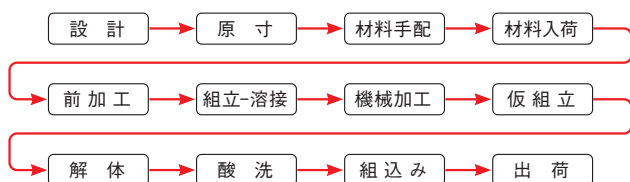


図-3 工場製作フロー

各部材を小組立し、芯出しのための仮組立を行ったのちに、機械加工を実施し、再度、仮組立を実施して各部の出来形精度を確認した。



写真-2 工場溶接



写真-3 工場仮組立

5. 現場据付

5-1. 戸当りの据付

本設備の戸当りには側部カバーが設けられ、上下流部材が一体となっている。二次コンクリートの箱抜きスペースが狭いため、側部カバーに打設用の穴を設けることにより、充填状態を確認しながらの打設を可能にした。



写真-4 打設穴



写真-5 打設完了

5-2. 扉体の据付

降雨、降雪の対策として全天候型の仮囲いを設け、上下に2分割された扉体の組立・溶接を行った。扉体の溶接部はストロングバックとドリフトピンで固定し、仮組立時の寸法の再現性を高めた。その後、70t吊ラフテレーンクレーンを使用して一体吊込にて据付を行った。



写真-6 扉体端部桁の溶接状況



写真-7 仮囲い



写真-8 扉体の据付

5-3. 開閉装置の据付

開閉装置本体据付後、ラック棒を吊り込んで扉体と連結し、試運転調整を行った。

5-4. 管理橋の据付

ヤードにて地組立・溶接を行い、220t吊オールテレーンクレーンを使用して一括架設を行った。

6. まとめ

新波川排水樋門ゲート設備新設工事の設計、工場製作、現場据付について報告した。

最後に、本工事の施工にあたり、多くのご指導とご協力をいただいた東北地方整備局秋田河川国道事務所殿および工事関係各位に深く感謝の意を表します。

総合区民ホール制振装置設置工事

— 塔状構造物への既設制振装置の置換え対応 —

NAGAI Hisashi KAZAMA Mutsuhiro HIROKAWA Seiji
長 井 悠* 風 間 睦 広* 広 川 清 司*

SUZUKI Tatsuya SHIGEKIYO Ryouta
鈴 木 達 也* 重 清 涼 太*

1. はじめに

江戸川区総合区民ホールはタワーホール船堀と呼ばれ、最高高さ115.2mの展望塔を有する、区のランドマークの一つである。

展望塔は鉄骨造の塔状構造物であり、構造減衰比が小さいため強風時に揺れやすく、対策として建設時から他社のパッシブ式制振装置(TMD)が設置されていた。しかし、竣工から20年以上が経過し、かつ、2011年の東北地方太平洋沖地震の影響を受けていることから、制振性能の低下が見られ、強風時には展望室への立入りを制限するようになっていた。

本工事の目的は、既設の制振装置を当社のフルアクティブ式制振装置に置換え、展望塔の風揺れに対する居住性を改善することである。

当社は一次協力会社として、制振装置の設計、製作、工場試運転、現地組み立て、現地調整を実施した。工事概要を表-1に示す。

2. 制振装置仕様

制振装置は、可動マスが動く際の慣性力によって建物を制振する機器であり、当社の製品はリニアモータを用いて可動マスを駆動させる。

本工事の制振装置の仕様を表-2に示す。また、引渡し時の装置本体の外観を写真-1に、制振装置の配置図を図-1に示す。制振装置は展望塔頂部の制振装置置場内に配置し、2方向の揺れを抑制するために1軸の装置を2台設置した。

3. 設計

設計条件として特徴的だったのは下記の3点である。

また、設計に際して現地調査を実施し、設置箇所や搬入経路の実際の状況を確認しながら設計を進めた。

●既設の床開口(図-1参照)から搬入可能なこと

当社の通常の制振装置は、可動マスのみ分割可能であり、フレーム・ステージ部分については一体のままで搬入している。

本工事では、階下からの搬入時、一辺600mm未満の床開口を通す必要があったため、ステージを分解して搬入することとし、フレーム部も分解・現地再組み立てが可能な設計とした。装置自体が小さいこともあり、全ての部品を200kg以下に分割し、小型のホイストで搬入できるようにした。

フレーム・ステージ部分にはモータやリニアガイドが配置されているため、組み立て時の精度確保が重要となる。社内での設計レビューの他、製作を依頼した協力会社にも意見を募り、工場製作や現地での施工性も考慮した設計を行うことができた。

表-1 工事概要

工 事 名	総合区民ホール制振装置設置工事
工 事 場 所	東京都江戸川区船堀4-1-1
発 注 者	江戸川区
施 工 者	戸田建設株式会社東京支店
工 期	2022年5月25日～2024年1月19日 (製作も含めた工事全体の工期)

表-2 制振装置仕様

項 目	諸 元
制 振 方 式	1軸リニアモータ駆動型 フルアクティブ式制振装置
可 動 マ ス 質 量	350kg / 台
最大ストローク	±350mm
装 置 寸 法	2026mm×760mm×383mm
装 置 総 質 量	約850kg / 台
設 置 台 数	2台



写真-1 引渡し時の装置本体外観

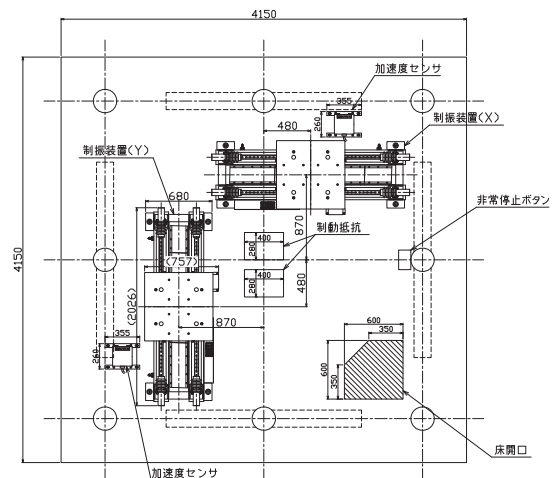


図-1 装置設置配置図(展望塔頂部の制振装置置場)

●レベル2地震動に対しても重大な損傷が無いこと

高層ビルと比較してレベル2地震動に対する設置階床の応答加速度が大きく、約4Gであったが、そのような揺れに対しても、装置自体が重大な損傷を受けないことはもちろん、建物に対して影響を与えないことを強く求められた。

この要求に対しては、通常実施している強度検討の他、地震波によって動作軸方向に力を受けた場合の制振装置の挙動について検討した。具体的には、ダイナミックブレーキの能力を考慮した時刻歴応答計算により、動作軸方向に検討用応答波を入力したときの可動マスの応答変位を算出した。ここで、可動マスの応答変位が有効ストローク内で収まらない一部の地震波においては、バッファで運動エネルギーを吸収する設計とした。複数回衝突しても効果を発揮できるオイルバッファを採用し、安全性を高めた。

●制御盤は展望室内に設置するため、安全かつ目立たないものとする

安全のため、換気扇は、回転部分に外から指などが入らない形状のものを選定し、高い位置に配置した。大地震時の転倒対策として、床アンカーだけでなく天井からも固定する計画とし、固定材の施工は戸田建設殿に実施頂いた。

外観を目立たせないため、計器用の覗き窓は廃し、周囲の壁と同じ色で塗装した。塗装色は製作前に日塗工の色見本帳を現地に持参して色合わせを実施し、江戸川区の担当者に決定頂いた。

4. 製作

製作期間が半導体不足の時期と重なり、PLCやインバータ等の電気部品が長納期化したことで、材料・部品の手配から出荷までに約14か月を要した。

一方で、工場組み立て、試運転、出荷前検査については順調に進めることができた。新規設計の分割構造においても一つの問題も起きなかった。本工事の制振装置は、今後、分割構造の小型制振装置を設計する際のベースとしたい。

また、組み立て作業時には、現地組み立てを担当する協力業者にも来場頂き、作業手順の確認や現地組み立てを意識した出荷時の積み込み方など、意見交換を行った。(写真-2)

5. 現地工事

5-1. 輸送・搬入

製品輸送における当社の所掌範囲は、現地地下駐車場でのおトラック渡しまでであり、そこから展望塔頂部の制振装置置場への搬入は戸田建設殿に実施頂いた。とはいえ、既設のエレベータや営業中の施設廊下を台車に乗せて搬送する計画であり、一部には階段やラダーを通過してホイスで揚重する箇所もあったことから、当社でも事前に搬入経路を確認して製品の分割・養生内容の検討や、揚重方法について協議・情報提供した他、作業当日もSVを派遣した。

5-2. 現地組立

部品を搬入頂いたあと、現地で制振装置を組み立て、架台の上に固定する作業を実施した。(写真-3)

通常の制振装置案件では、可動マスのみ分割して搬入してい

るが、本工事では、ほぼ部品単位に解体して搬入したため、工場での組み立てと同様の手順で作業を行った。リニアモータの可動子-固定子間の隙間管理(写真-4)やボルトのトルク管理(写真-5)についても、工場で使用している機材を持ち込んで、同じ方法で実施した。



写真-2 工場組み立て作業時の意見交換



写真-3 現地組み立て作業

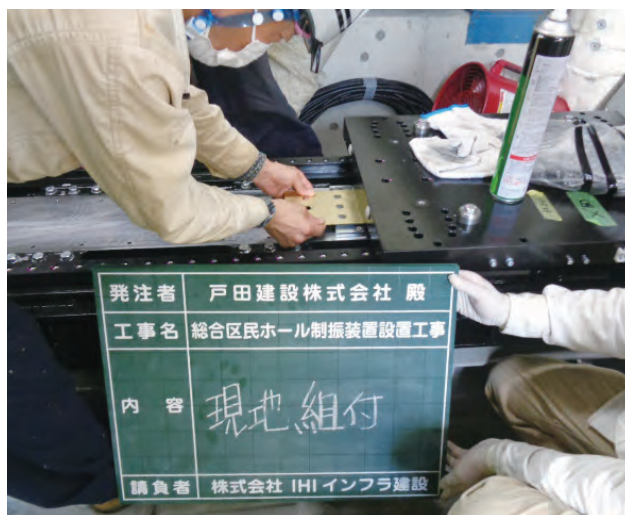


写真-4 リニアモータの隙間管理



写真-5 固定子締結ボルトのトルク締め



写真-6 制振装置の機内配線作業



写真-7 制御盤再組み立て

5-3. 現地配線・制御盤組み立て

制振装置本体の組み立て完了後、続けて機内配線作業を実施した。(写真-6)

ここで、制御盤-制振装置置場の配線配管は当社の所掌外として電源と併せて支給頂き、当社では制振装置置場内での配線と、制御盤への引き込みのみを実施した。これは、制御盤と装置本体を別の部屋に設置したことから、盤-装置間の配管敷設には壁の貫通や防火区画処理が必要であり、当部門での施工実績が無かったためである。

また、制御盤も搬入時に分割・解体したことから、配線作業と並行して、現地で組み立てを行った。(写真-7)

5-4. 現地調整

制振装置が効果を発揮するためには、建物の実際の振動特性に合わせて調整する必要がある。そのため、制振装置単体の動作確認を終えた後、展望塔の振動を計測し、制振装置の調整を実施した。

計測試験の結果、展望塔自体の減衰比は約0.25%であり、鉄骨造の高層ビル(制振部材などが無ければ一般に減衰比は1%前後)と比較して小さい値であった。実際に、現地施工の期間中にも風速10m/s程度の風で揺れを体感しており、揺れやすい構造であることを確認している。

調整後、制振性能の評価のため、自由振動試験を実施した。目標とする制振時の等価減衰比は、X方向(東西)で6.1%、Y方向(南北)で5.2%であり、試験の結果、全て満足することを確認した。なお上記の目標減衰比は、設計用に受領した風荷重データに対し、応答加速度の最大値を半減させる条件で算出したものである。

X方向の自由振動試験で得られた、加速度と可動マス変位の時刻歴データを図-2に示す。グラフは加振停止時刻を0秒とし、その後停止した場合(非制振)と制振動作した場合(制振時)を重ねてプロットしており、制振により揺れが早く収束することが見て取れる。

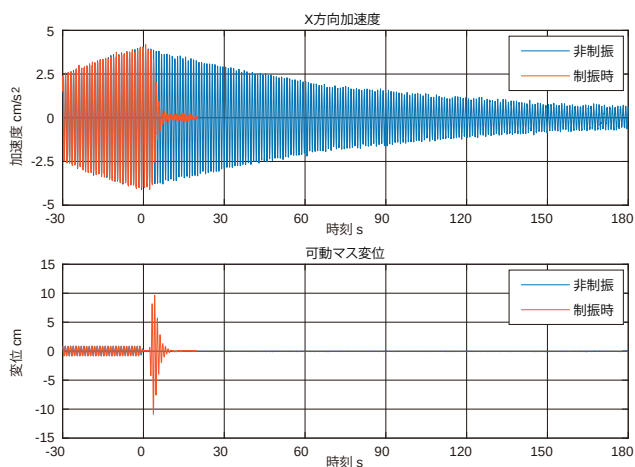


図-2 自由振動試験結果(X方向)

6. まとめ

総合区民ホール制振装置設置工事の設計、製作、現地工事について報告した。本工事は、他社の制振装置からの置き換えを行った初の案件であり、搬入経路の制約が非常に大きかったが、関係者の尽力により、特段の問題なく完成させることができた。

制振装置は2023年12月の運用開始後、頻繁に稼働し、効果を発揮しているデータが得られている。実際、年始の強風時にも展望塔の営業を続けることができたことと発注者や施設管理者からも喜び頂けており、当社の技術がお客様の役に立っていることをとても嬉しく思っている。

最後に、本工事の遂行に当たりご指導、ご協力を頂いた江戸川区や戸田建設株式会社の皆様、ご尽力頂いた協力会社の皆様に、深く御礼申し上げます。

矩形断面鋼部材の耐震性能向上に向けた取組

— 橋梁用高性能鋼の活用と改良構造の提案 —

TAKESHIMA Natsumi
竹嶋 夏海*

OKADA Seiji
岡田 誠司**

1. はじめに

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震により道路橋は橋脚の倒壊や落橋などの甚大な被害を受けた。鋼製橋脚に関しては補剛板、鋼管の局部座屈や変形等、大きな被害を受け、そのうち2基は倒壊に至っている。このことから、道路橋の鋼製橋脚については塑性域における耐荷力性能、および変形性能を考慮して設計されるようになった。例えば道路橋示方書は、平成14年のレベル2地震動に対する非線形履歴モデルの設定により求められる耐震性能およびその限界値が明確に規定された。その後の改定で新たな知見に基づき評価方法の見直しが図られ、適用範囲の拡大が続けられている。

昨今インフラの建設、維持管理コストを削減することを目的に多様な構造や新材料が期待されている。そのような中、より自由度の高い設計を行うこと、また高性能材料の適用等を促進するため、設計基準の見直しが行われている。

長大橋梁、都市内橋梁では、建築限界による部材断面の小型化、長支間の吊構造を合理的に設計するための死荷重低減を目的とし、高張力鋼の使用が検討され、採用されてきた。橋梁用高降伏点鋼板であるSBHSは産学連携プロジェクトにより開発され、2013年にJIS¹⁾に規定された。従来鋼と比べ高強度かつ製作性に優れており、今後の長大橋梁、都市内橋梁への適用が期待されている。

平成29年に改定された道路橋示方書・同解説V耐震設計編²⁾(以下道示Vとする。))においてSBHSを使用した鋼製橋脚はSBHSの降伏比が高いことから塑性域における変形能が低いとされていること、最大荷重観測後に急激な荷重低下などの可能性があることなどが指摘されている。本研究では、

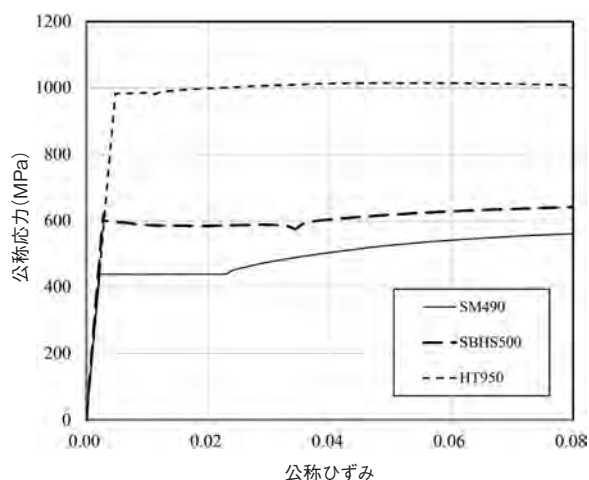


図-1 応力-ひずみ曲線

図-1に示す応力-ひずみ関係を有する鋼材を用いて載荷試験を行った。まず鋼製橋脚を想定して、SBHS500を用いた矩形断面部材の正負交番載荷試験を実施した。軸力下の曲げ耐力および変形性能評価に関する検討を従来鋼であるSM490の既往文献から抽出した結果とともに示した。また、さらなる耐力および変形性能向上の可能性を検討するため、母材(SBHS500)よりも超高強度鋼の縦リブを適用したハイブリッド構造の供試体でも同様の試験を行い、両者を比較した。

2. 実験概要

2-1. 供試体概要

供試体の構造諸元は表-1に示す。参考に既往文献のS-21-15⁴⁾も示す。表に示す各パラメータは道路橋示方書 II編 鋼橋・鋼部材編³⁾(以下道示IIとする。))および道示Vに従い式(1)～(6)により算出した。フランジとウェブの厚さと幅は幅厚比パラメータである R_R 、 R_F は道示IIおよびVに示される値の上限値相当になるように設定した。載荷高さ h は、細長比パラメータ λ が既設橋脚の実績を基に、下限値相当となるように設定

表-1 パラメーター一覧

			供試体		既往文献
			Homo-No.1	Hy-No.1	S-21-15 ⁽¹⁾
構造寸法	鋼種	web, flg	SBHS500	SBHS500	SM490
		rib	SBHS500	HT950	SM490
	降伏点	σ_y (N/mm ²)	500	500 / 885	314
	フランジ幅	B_F (mm)	462	462	536
	フランジ厚	t_F (mm)	6.25	6.25	6.00
	パネル数	n	4	4	4
	ウェブ幅	B_W (mm)	462	462	536
	ウェブ厚	t_W (mm)	6.25	6.25	6.00
	辺長比	B_W / B_F	1.00	1.00	1.00
	リブ幅	B_r (mm)	46	46	60
	リブ厚	t_r (mm)	6.25	6.25	6.00
	載荷高さ	h (mm)	1,518	1,518	1,779
	断面2次モーメント	I (×10 ⁴ mm ⁴)	49,901	49,901	76,184
構造パラメータ	断面積	A (×10 ² mm ²)	151.56	151.56	171.84
	補剛材剛比	γ_I / γ_I^*	1.00	1.00	1.19
	細長比パラメータ	λ	0.26	0.26	0.21
	幅厚比パラメータ	R_R	0.50	0.50	0.45
		R_F	0.50	0.50	0.42
R_S		0.61	0.61	0.63	
入力値	軸力比	N / N_y	0.15	0.15	0.15
	軸力	N (kN)	1,080	1,080	2,695
	水平力	P_y (kN)	567	567	421
	水平変位	δ_y (mm)	6.7	6.7	5.0

* (株)IHIインフラシステム 新事業推進室 研究開発部 研究開発第1G

** (株)IHIインフラシステム 新事業推進室

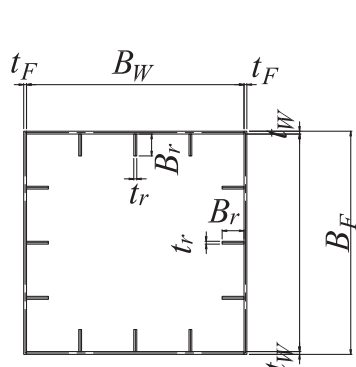


図-2 供試体外形図(左: Homo/Hy-No1、右: S-21-15)

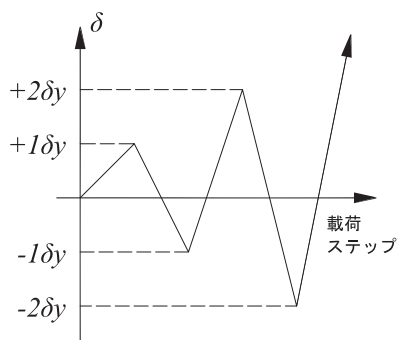


図-4 荷重方法(荷重漸増荷荷)

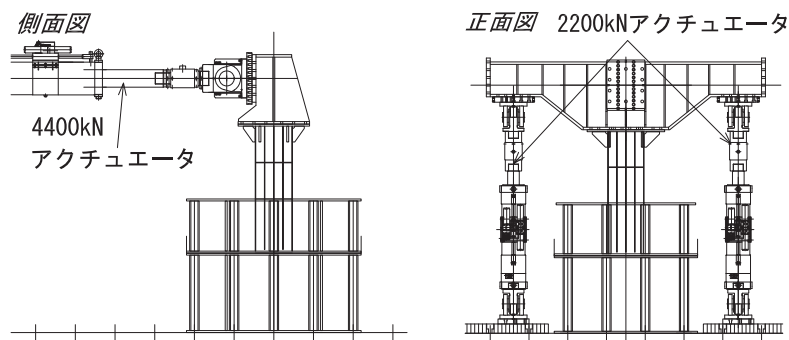


図-3 試験概要図

した。供試体は図-2に示す同一構造2体(Homo-No.1、Hy-No.1)の他、それらと細長比パラメータ、幅厚比パラメータの近い既往の実験データ⁴⁾を参考に記載した。Homo-No.1とHy-No.1はウェブとフランジにSBHS500を用いた矩形断面であることと、荷重高さは共通である。Homo-No.1は従来の設計手法に基づき縦リブも同一材質をしているが、Hy-No.1は、縦リブの材質をSBHS500より強度の高いHT950とした。

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}} \cdot \frac{l}{r} \dots \text{式(1)}$$

$$R_F = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \cdot \frac{12(1-\mu^2)}{\pi^2 k_F}} \dots \text{式(2)}$$

$$R_R = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \cdot \frac{12(1-\mu^2)}{4\pi^2 n^2}} \dots \text{式(3)}$$

$$R_s = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \cdot \frac{12(1-\mu^2)}{\pi^2 k_R}} \dots \text{式(4)}$$

$$\gamma_l = \frac{I_l}{bt^3} \dots \text{式(5)}$$

$$\gamma_l^* = \begin{cases} 4\alpha^2 n(1+n\delta_l) - \frac{(1+\alpha^2)^2}{n} & (\alpha < \sqrt[4]{1+n\gamma_l}) \\ \frac{1}{n} \left[\left(2n^2(1+n\delta_l) - 1 \right)^2 - 1 \right] & (\alpha \geq \sqrt[4]{1+n\gamma_l}) \end{cases} \dots \text{式(6)}$$

表-1に示す降伏点は材料規格値を示す。ここで、 l は有効座屈長(供試体高さ h の2倍)、 r は断面二次半径、 μ はポアソン比

($=0.3$) k_F および k_R は座屈係数、 n は補剛板が補剛材により区切られるパネル数、 E はヤング係数($200,000\text{N/mm}^2$)を示す。

2-2. 実験概要

Homo-No.1とHy-No.1は愛知工業大学の耐震実験センターで実施した。試験概要・設備配置は図-3に示す。鉛直力の荷重は、供試体上部に設置した剛な軸力荷重梁と、その両端に接続した2,200kNアクチュエータにより、一定軸力 N を導入した。その後、水平力を図-4に示す降伏水平変位を漸増させた荷重ステップにより導入し、試験を行った。水平変位は式(7)に、水平力は式(8)に示す。材料試験より供試体使用する鋼材の応力-ひずみ関係は図-1に示すとおりであるが、 P_y 、 δ_y は表-1に示す規格値から算出する。水平力の荷重は反力トラスに固定した4,400kNアクチュエータにより導入した。水平荷重の荷重速度は 0.1mm/s とした。供試体基部は反力床にアンカーボルトで剛に固定した。

$$\delta_y = \frac{P_y h^3}{3EI} \dots \text{式(7)}$$

$$P_y = \left(\sigma_y - \frac{N}{A} \right) \cdot \frac{W}{h} \dots \text{式(8)}$$

試験中は鋼板表面のひずみをあらかじめ設置したゲージにより計測した。また水平変位は水平アクチュエータと逆側にワイヤー変位計を設置して計測した。鉛直変位は両ウェブ面に平行となる位置にワイヤー変位計を設置して計測した。また、供試体基部パネルに面外変形が観測された後、各荷重ステップにおける面外変形を、対象箇所を平行に当たった鋼棒により指金を用いて計測を行った。

3. 試験結果及び考察

3-1. 試験結果

Homo-No.1は $+8\delta_y$ 、Hy-No.1は $+7\delta_y$ に到達した時点で載荷試験を終了した。ヒステリシスループは最大水平荷重までおおむね正負対称であった。

3-2. Homo-No.1とHy-No.1の比較

正方向載荷時における各ステップの変位と水平荷重の包絡線を図-5に示す。Hy-No.1は $5\delta_y$ 近傍、Homo-No.1は $4\delta_y$ 近傍で最大水平荷重に到達した。最大水平荷重は図中に四角点により示している。Hy-No.1はHomo-No.1に対し、最大水平荷重が10%程度上昇し、最大水平荷重時変位は25%程度増加している。最大水平荷重後、両者の変位の進展における劣化勾配は、Hy-No.1はHomo-No.1に比べ緩やかであることが、図-5よりわかる。

供試体・基部パネルのフランジにおける面外変形の計測位置を図-6に、最大水平荷重発生以降の面外変形の推移を図-7に示す。もっとも変形量が多い、基部パネルの中央部の変形を記載した。ダイヤフラム-供試体基部の中間部が最も変形量が大きくなっている。

中央は最大水平荷重までは5mm～8mm程度と微小であり、最大水平荷重以降は面外変形が急激に進展している。い

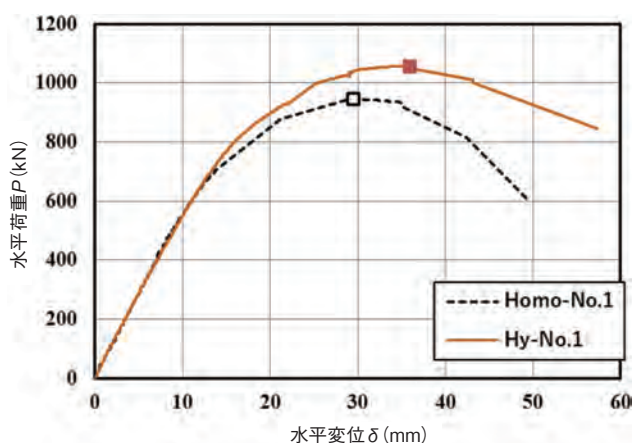
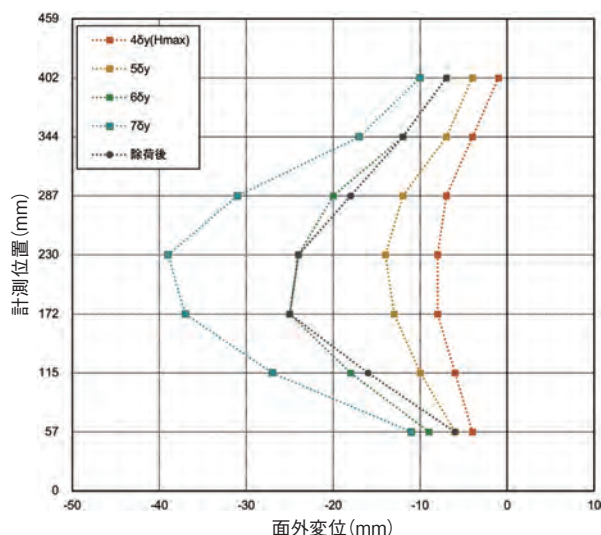


図-5 包絡線比較(Homo-No.1、Hy-No.1)



ずれの供試体においても、変形は一波かつ外側に大きく変形していることがわかる。これは計測位置の内側に縦リブが設置されていることによると考えられる。また面外変形量は、Homo-No.1に比べHy-No.1は変形量が小さく、変位の進展が緩やかである。写真-1および写真-2には載荷試験後の4面の状況を示す。P、M面がフランジであり、A、B面がウェブである。また、いずれの供試体においても、正方向載荷時にP面が圧縮となる方向に載荷した。P面を見ると、Homo-No.1は基部パネル全体が座屈しており、Hy-No.1は縦リブ間の座屈が大きいことがわかる。これらより強度の高い縦リブを用いることにより、補剛されたフランジ座屈を抑制させ、断面としての変形性能が向上していると推察する。

また、いずれの供試体においてもウェブ面(B面)の角溶接近傍の基部が大きく凸に変形していることがわかる。これは、フランジ角溶接近傍の内側への面外変形の進展に伴い、角溶接に拘束されたウェブ面側が外側に押し出されるように変形したと考えられる。

3-3. Homo-No.1とS-21-15の比較

今回得られた実験結果をもとに、Homo-No.1(SBHS500製供試体)とS-21-15(SM490製供試体)⁴⁾の2体に関して包絡線の比較を行ったものを図-8に示す。S-21-15は細長比パラメータ λ 、幅厚比パラメータ R_R および R_F がS-500に近いことから

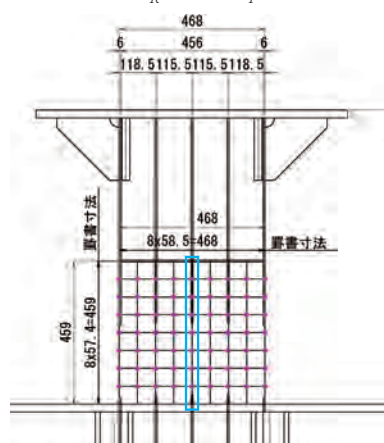


図-6 面外変形 測定位置

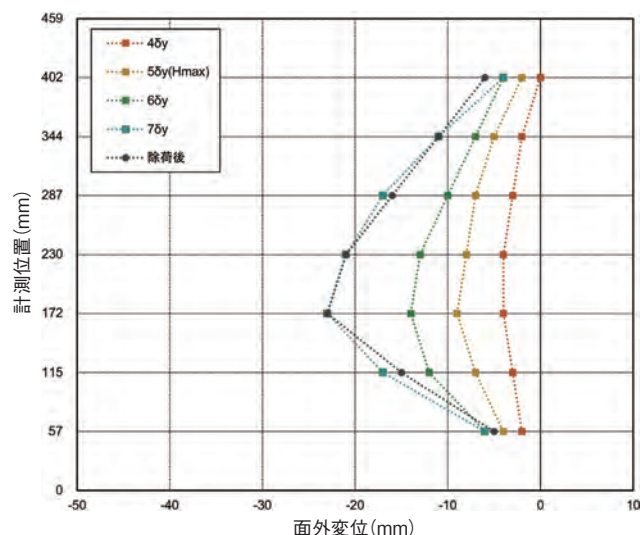


図-7 最大荷重発生後の面外変形の進展状況(左:Homo-No1、右:Hy-No1)

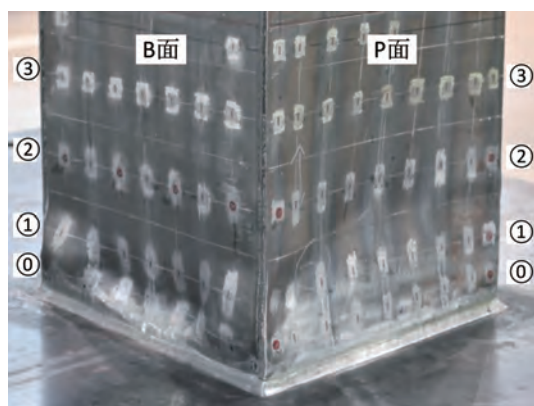


写真-1 実験終了後の供試体外面 (Homo-No.1)

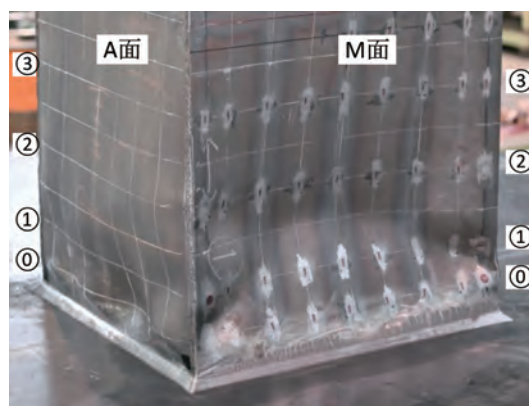


写真-2 実験終了後の供試体外面 (Hy-No.1)

鋼種による比較の対象とした。また、最大荷重観測点はそれぞれ◇、○で示した。

Homo-No.1はS-21-15に比べ、最大荷重が大きい一方、最大荷重観測後の水平荷重が低下の勾配が大きいことがわかる。低下勾配の違いは耐久性能評価に影響があると考えられるが、本比較は限定的な結果である。断面寸法、降伏応力 σ_y などの違いによる影響も考えられるため、引き続きケーススタディを行う必要がある。

4. まとめ

本研究では鋼製橋脚を想定して、SBHS500を用いた矩形断面部材の正負交番荷重試験を実施した。軸力下の曲げ耐力および変形性能評価に関する検討を従来鋼であるSM490の既往文献から抽出した結果とともに示した。また、さらなる耐力および変形性能向上の可能性を検討するため、母材(SBHS500)よりも超高強度鋼の縦リブを適用したハイブリッド構造の供試体でも同様の試験を行い、両者を比較した。実験の結果、以下の事項が明らかとなった。

- (1)縦リブに超高強度鋼を用いることにより、最大水平荷重の上昇及び最大水平荷重後の変形性能が向上することが分かった。
- (2)従来鋼SM490製供試体による過去の実験データを用いて包絡線の比較を行った結果、SBHS500製供試体はSM490製供試体に比べて最大荷重観測後に急激な荷重低下がみられることが分かった。

本研究の成果は限定的なものであるため、性能評価には引き続きデータ取得が必要である。今後は更なる実験データの

収集と解析の実施によりケーススタディを行う。

最後に、本研究の実施にあたり、ご指導、ご協力を頂いた早稲田大学・小野教授および愛知工業大学・鈴木教授と嶋口助手に深く感謝の意を表します。

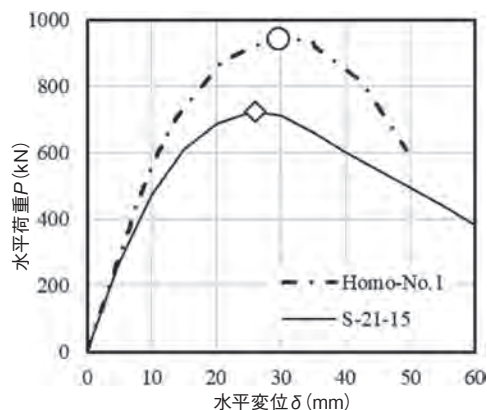


図-8 包絡線比較 (Homo-No.1, S-21-15)

【参考文献】

- 1) JISG 3140: 2021、橋梁用高降伏点鋼板
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編、丸善出版株式会社、2017。
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋・鋼部材編、丸善出版株式会社、2017。
- 4) 岡田 誠司、小野 潔、谷上 裕明、徳永 宗正、西村 宜男：高圧縮軸力が作用する矩形断面鋼部材の耐震性能評価に関する研究、土木学会論文集A、Vol.66、No.3、pp.576-595、2010.9

画像診断とBIMを活用した長大橋点検業務の高度化

HATTORI Kotaro
服部 浩太朗*

OKI Keiichi
大 木 奎 一**

1. はじめに

高度経済成長期に建設された多くのインフラは老朽化しており、点検に必要な技術者不足とそれに伴う長時間労働が問題となっている。この背景から、点検の効率化と自動化が求められている。橋梁の点検は、現行のプロセスが技術者の手作業に依存しており、その非効率性は否定できない。海峡部に位置する腐食環境下の長大橋では、損傷の多くが腐食に起因し、広範囲に点在している。そのため、損傷の位置の記録と計測には多大な時間が費やされている。

本研究では、この問題に対処するため、長大橋を対象に、常設の点検作業車を使用して補剛桁下面を撮影し、画像診断技術を活用して腐食部の位置や面積を自動的に計測する手法を開発した。また、その結果を3DモデルであるBIM(ビルディング・インフォメーション・モデリング)に反映させる管理手法を提案する¹⁾⁻⁵⁾。

今回は、本州四国連絡高速道路株式会社(以下、本四高速)が管理する橋梁を対象に長大橋での実証実験を行い、その有効性について検証した。

2. 対象橋梁と点検方法

2-1. 対象橋梁

本四高速が管理する大島大橋(写真-1)で実証実験を行う。大島大橋は本州と四国を繋ぐ自動車専用道路で海上に位置する長大橋の1つであり、日本国内では最初に鋼箱桁を補剛桁に採用した長大吊橋である。橋梁概要および平均交通量を表-1に示す。

大島大橋の補剛桁部には常設の点検作業車が搭載されている。この点検作業車による点検は、作業車を操縦する人と、現物を直接視認しながら点検する人が必要であり、桁外面を複数人で点検している。

2-2. 点検フロー

図-1は、本研究で提案する点検フローを示す。本四高速の過去の点検データと本研究で撮影した動画を静止画に変換した画像の一部を学習データとする。学習データとは、機械学習モデルを訓練するために必要な情報で、今回は撮影画像と画像編集ソフト等で抽出した腐食部の画像(二値画像)を使用

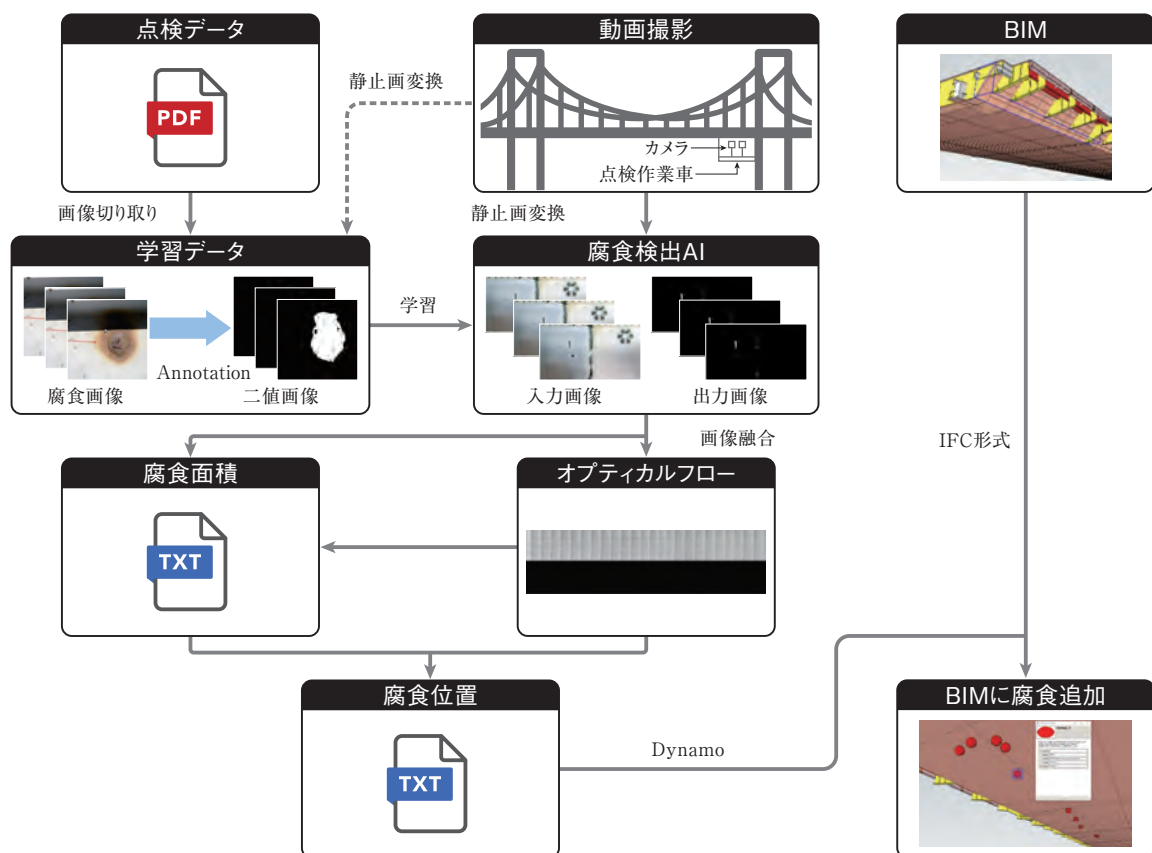


図-1 点検フロー

* (株)IHIインフラシステム 新事業推進室 研究開発部 研究開発第1G

** (株)IHIインフラシステム 新事業推進室 DX・GX推進部 DX推進G



写真-1 大島大橋

表-1 橋梁概要および平均交通量

構 造 形 式	単径間補剛箱桁吊橋
支 間 中 央	556.2m
幅 員	23.7m
下フランジ幅	17.0m
平 均 交 通 量	9,656台/日(2022)

する。未知の画像に対して機械学習モデルを適用し、腐食部の検出を行う。このモデルを腐食検出AIと定義する。腐食検出AIにより得られた出力画像と入力画像から、腐食面積を抽出する。さらに、オプティカルフロー⁶⁾という画像融合技術を用いて、腐食位置を特定する。腐食位置と腐食面積をテキストデータとして保持し、事前に作成したBIMとテキストデータを連携させて腐食情報を属性情報としている。

2-3. 撮影方法

本節では、点検作業車を用いた箱桁の補剛桁下面の画像取得方法を提案する。

点検作業車は点検や補修を考慮して補剛桁下面から一定の高さを維持した距離に取り付けられており、図-2のブラケット下面の軌条桁に沿って橋軸方向に移動する。

写真-2で示す点検作業車にカメラを設置し、図-2の補剛桁下面を撮影した。橋軸直角方向の撮影範囲は、1つのカメラで約2m程度である。下フランジ幅は17mあるため、撮影範囲を設定する必要があった。そのため、腐食が多く見られる下フランジの縦シームの現場溶接継手を本研究の撮影範囲に選定した。鮮明な画像を撮影するために、写真-3に示すように三脚を用いてカメラを固定した。点検作業車を橋軸方向に移動



写真-2 点検作業車(地上から撮影)



写真-3 カメラ設置状況

させつつ、カメラで動画撮影を行うことで、効率的な点検が可能となった。カメラの角度は被写体に対して正面を向くように設定し、撮影倍率は固定とした。

3. 画像診断技術

3-1. 機械学習

本研究では、画像内の特定のピクセルが腐食しているかどうかを判定するために、教師あり機械学習の一種であるSemantic segmentationを採用する。Semantic segmentationとは、画像の各ピクセルにラベル付けをしていく手法である。教師あり機械学習では、人間が事前に準備した入出力データを学習データとして提供し、機械は入力と出力の関係を学習する。これにより、未知の入力データに対して出力を予測することができる。

本研究では、入力用に事前に準備された腐食画像と、腐食領域とその他の領域を区別する二値画像(写真-4)を用意し、これを学習データとして用いる。この学習により構築される腐食検出AIによって、訓練に使用されなかった未知の腐食画像においても、ピクセルレベルでの腐食範囲の判定が可能となる。

使用した入出力データは、本四高速が保有する2014年から2022年の明石海峡大橋を含む長大橋群点検データである。これらのデータは、PDF化された点検データの画像から切り出し、腐食部にアノテーションを施したものである。アノテーションとはデータ(本研究の場合は画像)に情報を付与するタグ付けの作業を指す。項目別の腐食画像枚数を表-2、各項目の腐

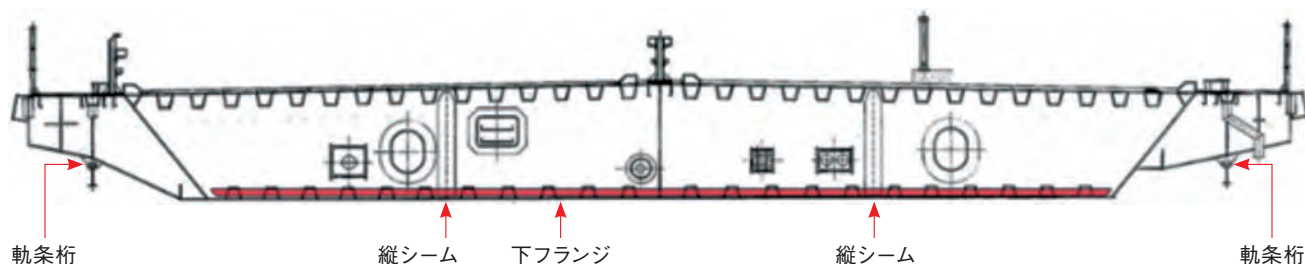
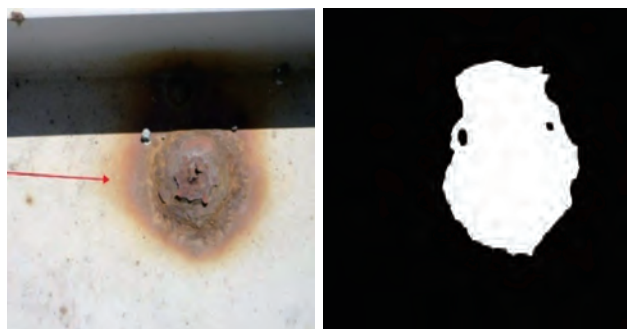


図-2 補剛桁断面



(a) 腐食画像 (b) 二値画像

写真-4 入力データの例

表-2 項目別画像枚数

項 目	画像枚数
鋼 材	1,813
高 力 ボ ル ト	2,079
ケ ー ブ ル	8
合 計	3,900

食画像例を写真-5に示す。画像内の赤枠や矢印は腐食位置を示しており、理想的にはこれらの要素は機械学習におけるノイズとなり得るため、除去することが望ましい。しかしながら、今回使用した画像は過去の点検記録であり、画像に直接矢印が記入されていたため、部分的な削除が困難であった。その結果、これらの要素を含む形で入出力データとして使用した。

本研究では、全らが開発したCutMix⁷⁾を改良した手法⁸⁾を用いてデータ拡張を行った。データ拡張とは、元のデータを変換し新しいデータを生成する手法であり、これにより学習データの効率的な増強が可能となる。CutMixは、写真-6のように画像の一部を切り取って他の画像に挿入することでデータ拡張を行う手法である。

3-2. 精度評価

精度評価とは、腐食検出AIの性能を評価する手法である。本研究では精度評価に、機械学習で頻繁に使用される混同行列を採用した。表-3に示すように、TPは真陽性、FNは偽陰性、TNは真陰性、FPは偽陽性を表す。これらの混同行列の値から、5つの指標(正解率、適合率、再現率、特異度、F値)を計算し評価を行った。これらの指標は、以下の方程式(1)から(5)で定義される。

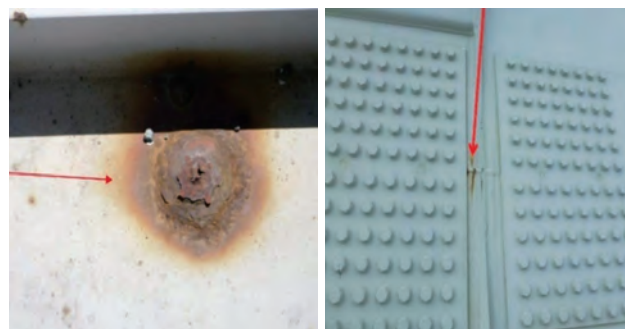
$$\text{正解率} = \frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN} \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

$$\text{適合率} = \frac{TP}{TP + FP} \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

$$\text{再現率} = \frac{TP}{TP + FN} \dots\dots\dots \text{式(3)}$$

$$\text{特異度} = \frac{TN}{FP + TN} \dots\dots\dots \text{式(4)}$$

$$\text{F 値} = \frac{2 \times (\text{適合率} \times \text{再現率})}{\text{適合率} + \text{再現率}} \dots\dots\dots \text{式(5)}$$



(a) 鋼桁 (b) 主塔外面

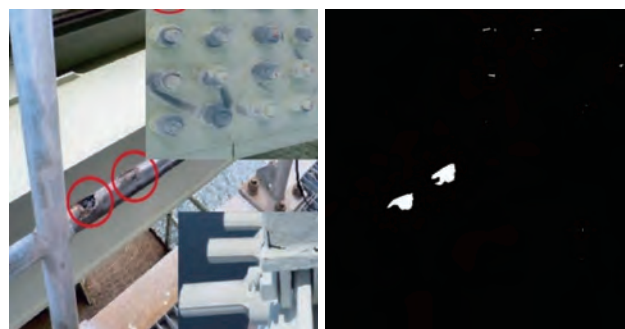


(c) 主塔内面 (d) アンカーボルト



(e) 高力ボルト (f) ケーブル

写真-5 各項目の腐食画像例

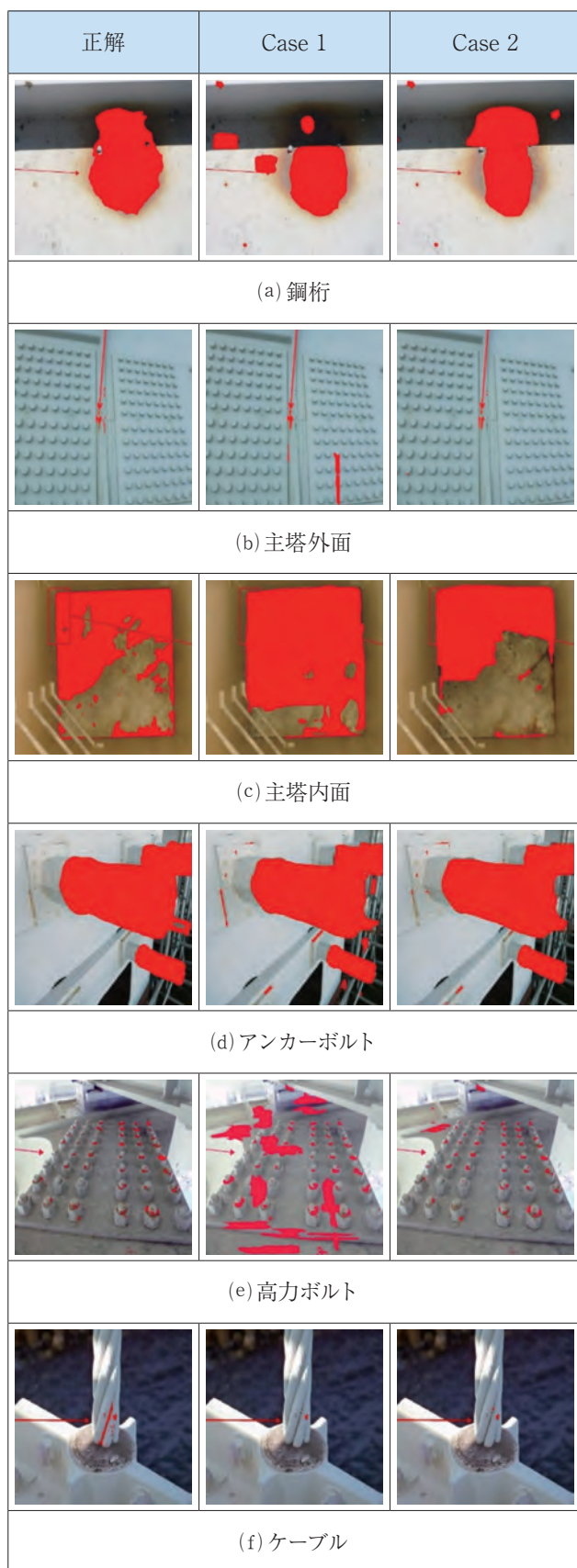


(a) 腐食画像 (b) 二値画像

写真-6 CutMixによる入出力データの例

表-3 精度評価のための混同行列

結果 \ 予測	腐食あり	腐食なし
腐食あり	TP	FP
腐食なし	FN	TN



適合率と再現率はトレードオフの関係にある。適合率が高まると、一般的に再現率は低くなる傾向があり、反対に再現率が高まると、適合率が低くなる傾向がある。このような関係性を考慮し、再現率と適合率の調和平均を取るF値により

評価する方法が一般的に用いられる。F値は0から1の間の値を取り、1に近いほど精度が良いとされる。

本研究では、データ拡張前の学習データをCase1、データ拡張後の学習データをCase2として、これらの指標による精度評価を実施した。ただし、精度評価に使用する画像は未知のデータに対する検証のため、学習データには含まれていない。詳細は参考文献4)、5)を参照のこと。

式(1)から(5)を用いて算出したCase1とCase2の結果を表-4に示す。再現率を除く評価値では、Case2のCutMixデータの方が高い結果となった。写真-5の腐食画像の精度評価の結果を写真-7に示す。腐食領域を赤でマークし、左から順に正解データ、Case1、Case2を表示している。正解データは、鋼橋の専門技術者が腐食部をアノテーションしたものである。写真-7の(a)の桁では、Case1では影になっている部分の腐食が検出できていないのに対し、Case2では影になっている部分も検出できており、正解データに近い傾向が見られる。(b)の主塔外面および(d)のアンカーボルトでは、どちらも腐食を検出できているが、Case1では腐食がない部分も多く検出している。(c)の主塔内面では、腐食領域をどちらも検出しているが、Case2の方が正解データに近い。(e)の高力ボルトでは、ボルト頭部のみ腐食として検出されるべきところ、Case1では誤検出が多く見られた。一方、Case2では一部誤検出があるものの、概ね正解データと一致している。(f)のケーブルでは、素線同士が接する部分に沿って腐食が分布しているが、Case1、Case2ともに検出できていない。これは表-2で示すケーブルの画像が少ないことが原因であると考えられる。CutMixによる学習データの拡張が行われても、学習データとしては不十分であったと推測される。今回の対象となる補剛桁では問題はないと考えられるが、対象構造物にケーブルが多く含まれる場合は、腐食画像のサンプルを増やすか、あるいはデータ拡張により学習データを増やす必要がある。表-4および写真-7の結果から、CutMixを用いたデータ拡張が本モデルにとって効果的であることが確認できる。

表-4 精度評価の結果

	Case1	Case2
正解率	0.945	0.962
適合率	0.408	0.515
再現率	0.833	0.808
特異度	0.950	0.968
F値	0.548	0.629

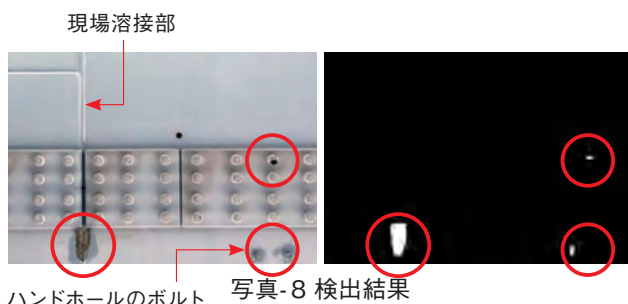
3-3. 腐食検出AIによる検出結果

CutMixの学習データを用いて、2-3で撮影した動画を静止画にしてから画像診断を行った。1フレームずつ静止画にすると、膨大なデータとなることが懸念される。一方でオーバーラップ率0%にすると、画像端部に腐食がある場合、正確な腐食面積を得られないため、オーバーラップ率が50%程度になるように静止画を取り出した。オーバーラップ率とは、1フレーム前後の画像の重なる割合を示す。今回50%に設定することで、同じ被写体を必ず2回撮影することになる。その結果、一

方が画像の端部に位置していても、もう一方は画像の中央に位置する画像が撮影可能となる。

点検作業車の速度から1フレーム毎の移動量を算出することで、オーバーラップ率を計算した。点検作業車の速度を一定とした状態で、オーバーラップ率50%を確保した。

腐食検出AIによる検出結果を写真-8に示す。オリジナル画像と二値画像をそれぞれ左右に並べて、腐食が検出できているかどうか確認した。現場溶接線上の腐食、ボルト頭の腐食等、肉眼でとらえるべき腐食が検出できていることがそれぞれの画像から確認できた。



3-4. オプティカルフローによる画像融合

広範囲に点在する腐食を1つ1つ直接BIMに転記するのは非効率的であると考える。そこで、本節では転記の省力化を実現するために、位置を特定しBIMへ自動転記するためのオプティカルフロー手法の改良を提案する。

オプティカルフローは、時間的に連続する2つの画像フレーム間での各点の光学的な動きを指し、観測者と観測されるシーンとの間で視覚的に発生する物体(表面、エッジなど)の動きを画像に投影することで観察される。オプティカルフローを用いた画像推定では、連続するフレーム間で画像内の物体の輝度が概ね変化しないこと、および隣接するピクセルが類似して動くことが仮定される。

本研究では、補剛桁下面を動画撮影によりスクリーニングし、その動画を静止画に変換した。一般的にオプティカルフローでは物体移動を追いかけるが、本研究では逆に、視点であるカメラの移動を、静止点から抽出するために用いるという工夫をした。オプティカルフローを利用してこれらの画像を融合することで、腐食領域をマッピングできるかどうかを検討した。

補剛桁下面の撮影動画から静止画を取り出し、あるフレームの画像とその10フレーム後(1/3秒後)の画像を用いて、オプティカルフローによる特徴点(移動前後の輝度が変化しない点)を抽出した(写真-9)。写真-9(b)の赤い矢印は、写真-9(a)の画像から特徴点の移動量(ベクトル)を示す。今回ベクトル量の平均を移動量として、画像融合を行うこととした。



(a) あるフレームの画像 (b) 10フレーム後の画像
写真-9 オプティカルフローを用いた特徴点計算

3-5. 輪郭追跡処理および膨張処理による腐食面積算出

二値化した画像のピクセルから、白色部分の境界を検出する技術を輪郭追跡という。この技術を用いることで境界部の内側に入った面積、周辺長などの様々な特徴を算出することができる。

輪郭追跡処理は図-3のように左上のピクセルから順番に追って、最初に検出した白色のピクセルを起点とする。1ピクセル分上下左右斜めに隣接したピクセルで色判定を行い、白色がある方向に境界線を生成し、左下から半時計周りに判定を行う。

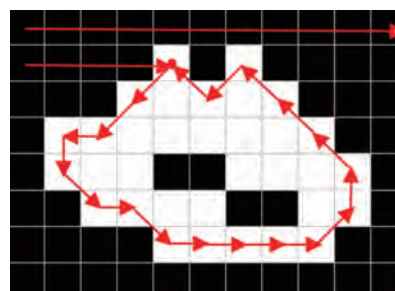


図-3 輪郭追跡処理の手順

輪郭追跡処理で算出される腐食面積はピクセル同士が隣接している場合に限る。そのため、点在している腐食は個々に計上される。実際に腐食の数量を計上するときは、点在する腐食はデータ管理上グループ化して1つの腐食として計上している。このグループ化は腐食同士の離隔が50mm以内のものを1つのグループとして計上し、その計算には膨張処理を用いる。

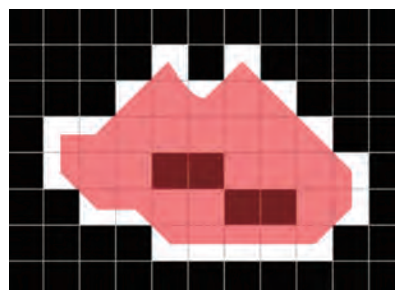


図-4 腐食面積

腐食面積は輪郭追跡処理で算出する。腐食面積は図-4の赤い領域から赤い領域内の黒いピクセル、すなわち健全部分を控除することで腐食面積を算出することが可能である。しかし、健全部分の面積が微小な場合、刷毛で腐食部と健全部分をまとめて補修することを鑑み、赤い領域を腐食面積として計上する。ただし赤い領域内の健全部分の面積が大きい場合は、黒い部分に輪郭追跡処理を実施して、腐食面積から除外する。

膨張処理とは、二値化した画像の白いピクセル領域を増加させる処置である。境界線の各ピクセルを中心に膨張処理を行い、膨張処理で重なった白い領域は1つの腐食領域とみなす。膨張処理により1つの腐食領域にした後、膨張領域で図心を算出する(図-5)。(b)の各ピクセルからの膨張円であり、例では半径1ピクセルとしている。(c)および(d)の三角形のマークは図心位置を示す。腐食領域は膨張処理前の面積とし、図心は膨張領域後とする。

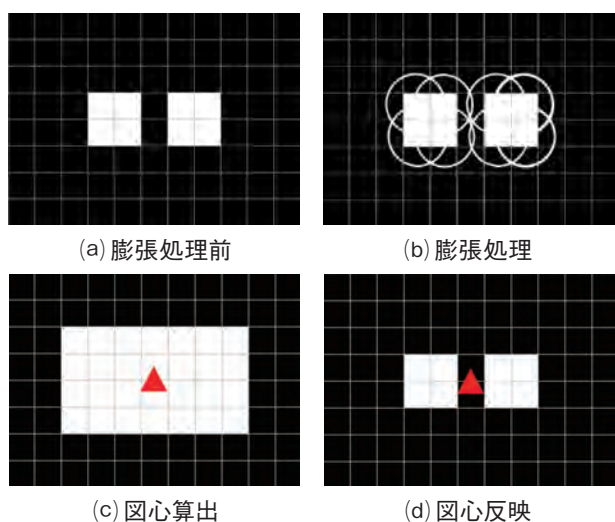


図-5 膨張処理による腐食のグループ化と図心算出

4. 腐食面積と腐食の図心の算出とBIMとの連携

腐食位置とBIMと連携することで1つのデータでまとめて管理できるため、補修数量の算出および補修計画策定の迅速化や点検・補修の履歴管理の一元化につながる。

4-1. 画像融合による腐食面積と腐食の図心の計算

静止画に切り取った後に、オプティカルフローによって画像を融合した結果を写真-10に示す。オリジナル画像を上、二値画像を下に並べる。オリジナル画像に対してオプティカルフローによる画像融合を行った。オリジナル画像と二値画像は、オリジナル画像と同じ移動量で二値画像も画像融合を行う。画像融合により、重複する範囲については後のフレームの画像を採用する。1フレーム毎にオプティカルフローを実施す

ると、画像融合の境界線が大量に入り、腐食部が鮮明に見えなくなるため、画像融合するフレームの閾値を設定した。今回は、橋軸方向の画像サイズが2/3以上移動した場合に次の画像を融合することにした。

次に腐食面積および腐食の図心の算出方法について説明する。腐食部の位置・面積などの情報はピクセル単位になっており、BIMに反映するためには長さ単位への変換が必要である。長さ単位に変換する方法として、カメラの焦点距離 f 、レンズから被写体までの距離 L とイメージセンサの幅 w 、長さ h から被写体の幅 W 、長さ H を算出する。

$$W = w \times \frac{L}{f} \dots\dots\dots \text{式(6)}$$

$$H = h \times \frac{L}{f} \dots\dots\dots \text{式(7)}$$

画像上の腐食部の図心 $P = (P_x, P_y)$ と式(6)、(7)の L 、 f を用いて長さ単位に変換した腐食の図心 (x, y) を算出する。

$$(x, y) = \frac{L}{f} (P_x, P_y) \dots\dots\dots \text{式(8)}$$

写真-10の画像では、補剛桁の継手部が撮影されており、継手部間の長さは図面から24mとなっている。写真-10の継手部間の画像を抽出し、画像サイズを計測する。写真-10の赤枠部を抽出し拡大した画像を写真-11に示す。

写真-11の二値画像に対して、輪郭追跡処理および膨張処理を実施し、腐食面積および腐食の図心を計算する。腐食の図心を写真-11のオリジナル画像に反映した結果を写真-12に示す。写真-12の赤い三角マークが図心位置を示し、各三角マークに番号を振った。表-5に番号に対応する腐食の図心お

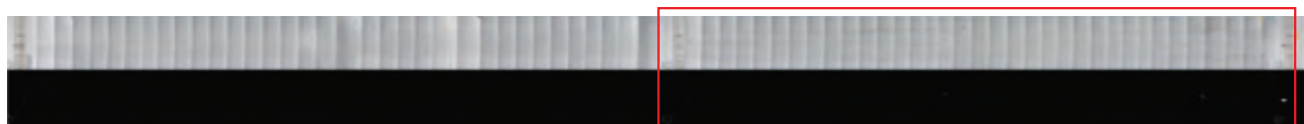


写真-10 オプティカルフローによる画像融合

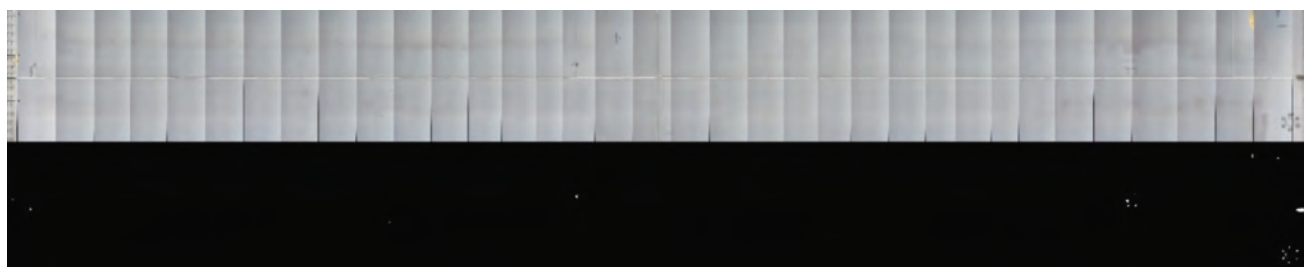
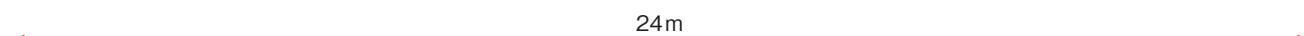


写真-11 ブロック単位での画像融合結果

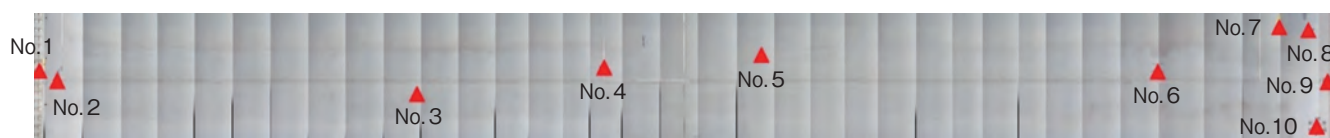
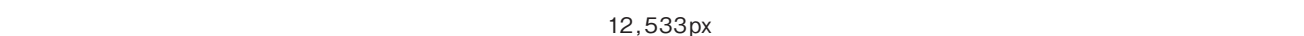


写真-12 輪郭追跡処理と膨張処理による腐食の統合

よび腐食面積を示す。橋軸方向 $L/f=1.915$ 、橋軸直角方向 $L/f=1.808$ とする。 L/f の詳細は参考文献4)、5)を参照のこと。

表-5 腐食位置

No.	P_x (px)	P_y (px)	x (mm)	y (mm)	面積 (px)	面積 (mm ²)
1	55	554	105	1,002	38.5	126
2	227	646	435	1,168	132	431
3	3,674	774	7,036	1,399	47.5	155
4	5,469	523	10,473	946	282.5	923
5	6,978	399	13,363	721	7.5	25
6	10,778	563	20,640	1,018	696.5	2,277
7	11,943	133	22,871	240	170.5	557
8	12,221	160	23,403	289	188	615
9	12,406	657	23,757	1,188	2,100	6,865
10	12,302	1,091	23,558	1,973	1,057	3,455

オプティカルフローによる画像融合により、画像からどの継手間に腐食が発生しているか特定可能であり、継手付近またはブロック中央付近など、概ね特定することが可能となった。

4-2. BIMへの反映方法

画像診断より算出した腐食部の図心をBIMに反映するためには、座標変換が必要である。BIMの座標(X , Y)を回転行列および平行移動を用いて以下の式で算出する。

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ -y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \end{pmatrix} \dots\dots\dots \text{式(9)}$$

θ は回転角、 $a=(a_x, a_y)$ は回転原点を示す。

式(9)を用いてBIMの座標系に変換する。表-6に式(9)に代入する値を示し、表-7にBIMの座標系にした腐食位置を示す。腐食の名称と座標はスプレッドシートで管理し、BIMはIFC形式に変換する。IFC(Industry Foundation Classes)形式は、BIMを保存する際の一つのファイル形式である。この形式はデータの互換性があるため、異なるBIMソフトウェアでの編集が可能であり、属性データも引き継がれる。腐食のアイコンはBIMで事前に用意し、その後、Autodesk社のDynamo(ビジュアルプログラミング言語)を使用して、図-6の

ように腐食情報をBIMに反映する。

BIMには表-7で示す座標と腐食情報を提供し、それをBIMに含まれる構造区分や部材名と関連付ける。図-7にBIMの例を示す。BIMには腐食位置のアイコンを設け、そのアイコンより構造区分、部材名、腐食といった情報がテーブル形式で得られる。

表-6 式(9)に代入する値

θ	180°
a_x	73,841mm
a_y	2,850mm
X	$-x+73,841$
Y	$y+2,850$

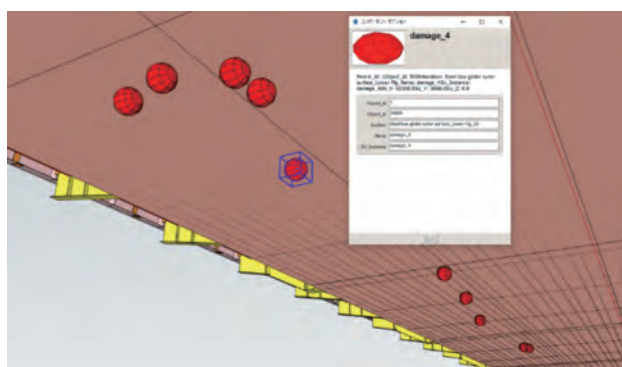


図-7 BIMに腐食情報を反映

表-7 腐食の座標

No.	x (mm)	y (mm)	X (mm)	Y (mm)
1	105	1,002	73,736	3,852
2	435	1,168	73,406	4,018
3	7,036	1,399	66,805	4,249
4	10,473	946	63,368	3,796
5	13,363	721	60,478	3,571
6	20,640	1,018	53,201	3,868
7	22,871	240	50,970	3,090
8	23,403	289	50,438	3,139
9	23,757	1,188	50,084	4,038
10	23,558	1,973	50,283	4,823

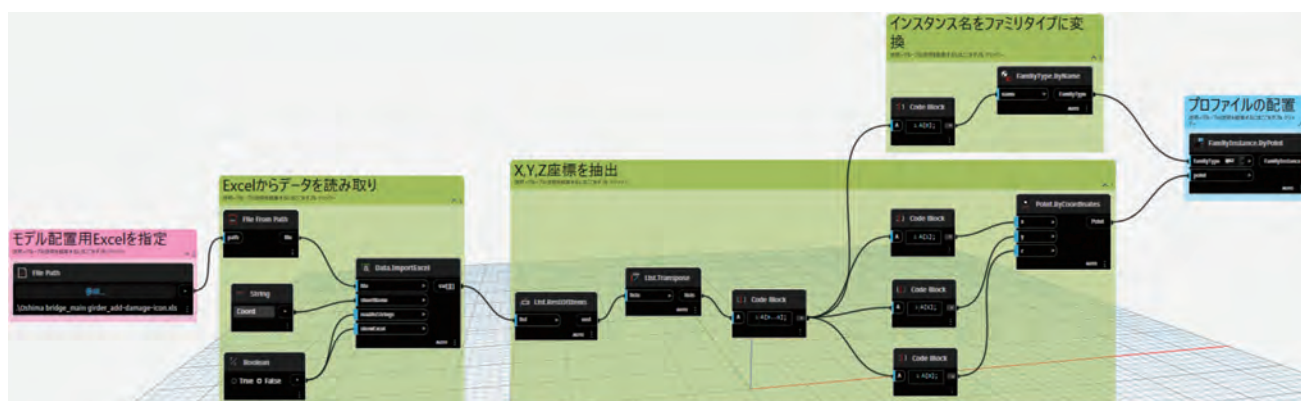


図-6 DynamoによるIFCとスプレッドシートの連携

4-3. 本手法の適用性

本節では、他の橋梁や他の部位への提案した点検手法の適用性について述べる。

大島大橋の補剛桁下面の撮影では今回提案した手法が有効であることがわかった。この技術は、点検作業車を有する長大橋の補剛桁外面を対象としている。カメラを点検作業車に搭載し、撮影面に対してカメラを正面に向けて撮影する必要がある。大島大橋の補剛桁ウェブでは、カメラを三脚で固定し、ウェブ面に対してカメラを正面に向けることが可能である。そのため、ウェブの角度によらず撮影が可能である。さらに、点検作業車の移動方向に平行に配置されたトラスの上弦材、下弦材、斜材などの側面については、本手法が有効であると考えられる。日本には明石海峡大橋、瀬戸大橋のような長大橋が数多く存在する。さらに、日本だけでなく海外にも多くの長大吊構造橋梁などがある。

ただし、点検作業車の移動方向に直交する部材(横桁、ブラケット、対傾構など)については、部材側に管理番号を付与するなど、画像から部材が特定できる工夫が必要になる可能性がある。また、複雑な構造では撮影による死角が発生するため特にトラス構造など画像取得方法の更なる検討が必要である。

5. まとめ

本研究では、点検作業車を用いた桁外面の新たな撮影方法を提案し、また実際の橋梁での実験によりその有効性について検証した結果、以下が明らかになった。

- (1) Semantic segmentationによる機械学習モデルの構築、そしてCutMixを用いたデータ拡張により、高精度な検出が可能となった。
- (2) 輪郭追跡処理や膨張処理により必要な単位でグループ化し、腐食面積、腐食位置を算出が可能となった。
- (3) BIMとの連携により、視覚的に確認できる優位性に加え、構造区分や部材名との連動、腐食情報の一元化が可能となった。

今後の更なる高度化として、点検調書の作成の省力化・自動化が挙げられる。取得した損傷の位置や大きさの記録に加え、損傷の原因や健全性診断の支援である。その解決策として、深谷らが行っているVQA(Visual Question Answering)を用いた研究⁹⁾とBIMとの連携を行っていくことを検討している。

今回点検作業車に搭載したカメラは代表地点のみで撮影したが、今後は橋軸直角方向にカメラを複数台設置して同時に撮影を行い、補剛桁下面全体をマッピングする検証も必要である。また、補剛桁ウェブや鋼床版裏面、トラス部材、ケーブルなどへの拡張も行い、本手法の有効性をさらに検証し、点検業務の省力化へ向けた取組をしていく。

最後に、本研究の実施にあたり、ご指導、ご協力を頂いた本州四国高速道路株式会社の方々、本四高速ブリッジエンジニアリング株式会社の方々、JBトールシステム株式会社の杉山様、東京大学の全特任准教授に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 服部浩太郎、大木奎一、杉山剛史、全邦釘: Deep learningを用いた画像診断による長大橋の鋼桁外面腐食の検出手法、土木学会第79回年次学術講演会、2024.
- 2) 大木奎一、服部浩太郎、杉山剛史、全邦釘: オプティカルフローによる鋼桁外面腐食の位置取得の検討、土木学会第79回年次学術講演会、2024.
- 3) 全邦釘、山口和範、杉山剛史、津田久嗣、服部浩太郎、金野幸治: AI-BIM/CIMを適用した長大橋の次世代維持管理システムの開発、橋梁と基礎、2024.08.
- 4) 服部浩太郎、大木奎一、杉山剛史、全邦釘: 画像診断による長大橋の補剛桁下面の腐食検出とBIMとの連携、AI・データサイエンス論文集、Vol.5, 2024.
- 5) Hattori, K., Oki, K., Sugita, A., Sugiyama, T. and Chun, P. J.: Deep learning-based corrosion inspection of long-span bridges with BIM integration, Heliyon, Vol.10, Issue 15, e35308, 2024.
- 6) Lucas, B. D. and Kanade, T.: An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision, Proc. of the 7th international joint conference on Artificial intelligence, pp.674-679, 1981.
- 7) Yun, S., Han, D., Oh, S. J., Chun, S., Choe, J. and Yoo, Y.: CutMix: Regularization Strategy to Train Strong Classifiers with Localizable Features, Proc. of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, pp.6023-6032, 2019.
- 8) Kubo, S., Yamane, T., and Chun, P. J.: Study on Accuracy Improvement of Slope Failure Region Detection Using Mask R-CNN with Augmentation Method, Sensors, Vol.22, Issue 17, 6412, 2022.
- 9) 深谷壮太、全邦釘、長井宏平: 橋梁点検調書の損傷写真と所見を用いた損傷診断 VQA の開発、AI・データサイエンス論文集、Vol.4, Issue 3, pp.490-500, 2023.

FSグリッド(FRPサポートグリッド)の開発

— FRP部材による既設RC床版の延命化工法 —

KOBAYASHI Kensuke
小林 拳祐*

UCHIDA Tatsuhiko
内田 達大*

ARAKI Miyu
荒木 美柚*

YAMAZAKI Toshihiro
山崎 敏宏**

NAKAMURA Sadaaki
中村 定明***

1. はじめに

我が国で本格的な道路整備が始まって半世紀以上が経過した。近年、大型車両の増加や厳しい環境下での老朽化などに起因する橋梁の損傷が加速度的に増加している。特に、車両を直接支持する床版は、当初想定していなかった変状や損傷が現れるようになった。例えば、1970年代には鋼橋の鉄筋コンクリート床版(以下、RC床版)の押し抜きせん断破壊による損傷が、高速道路をはじめ主要な橋梁に散見されるようになった¹⁾。この損傷原因として、RC床版の厚さと鉄筋量の不足が指摘され、現在では大型車両の混入率に応じた設計荷重の見直しや床版厚を確保することが規準化されている。その結果、現在のRC床版の耐久性向上につながっている。しかし、既設RC床版のなかには、旧設計基準で建設され、その劣化が進行しているものも多数存在し、その結果利用者の安全性を損なうことになりかねない現状がある。そこで、高速道路や国道といった主要道路において、RC床版の取替工事が急ピッチで実施されている(図-1)。

床版取替工事では、交通規制を伴うため、経済的損失が大きく、路線によっては迂回路が確保できず応急的な処置で対応するしかないケースもある。また、床版取替工事費用の増加や、交通規制の制約による工期の長期化と集中工事による人手不足が生じるなどの理由から、床版取替工事の発注も厳しくなっている。

IHIグループでは、このような状況を解決する方法として繊維強化プラスチック(Fiber Reinforced Plastic、以下、FRP)を用いた、『FSグリッド(FRPサポートグリッドの略称)』の開発を行った。FSグリッドの主な特長は以下のとおりである。

- 床版下面からの補強で、交通規制を最小限にできる
- 軽量であることから鋼主桁の補強量が少なく、耐震性能への影響が少ない
- 非金属であるため耐腐食性に優れる
- 設置が簡単で通年施工が可能なため、床版取替工法と比較して工期短縮効果が見込める(図-2)

既設床版を下側から面で支持し、せん断補強が可能なため補強の適用範囲が広い(健全性Ⅱ～Ⅳ前半まで適用可能(図-3))



図-1 床版取替工事のイメージ



図-2 FSグリッドによる工期短縮イメージ

健全性	床版 損傷状況	工法 効果	炭素繊維補強 鋼板接着工法	FSグリッド	床版 取替工法
判定区分			曲げ補強	曲げ・せん断 補強	
I (潜伏期)	橋軸直角方向 ひび割れ				
II (進展期)	格子状の ひび割れ	↑↓		↑ 損傷範囲が広い 対応可能な	
III (加速期)	ひび割れ網細化 角落ち、スリット化	↑↓			↑↓
IV (劣化期)	抜け落ち			↓	

図-3 床版補強工法との比較

本研究開発では、FSグリッドのRC床版延命化工法としての効果を確認することを目的として、以下の順序で試験を実施した。

① 接合部の性能確認試験

①-1 接合部引張試験

①-2 接合部リラクセーション試験

①-3 接合部静的破壊試験

①-4 接合部疲労試験

② 横桁・縦桁耐荷力試験

③ 輪荷重走行試験

試験状況の一部を写真-1に示す。



全景



輪荷重走行試験



耐荷力試験(縦桁3点曲げ)



接合部疲労試験

写真-1 各種性能確認試験状況

* (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 鋼保全技術部 1G

** (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 鋼保全技術部 2G

*** (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部

2. FSグリッドの構造

FSグリッドは、床版下面に補強材を設置するアンダーデッキパネル工法の一つである。FSグリッドの概略図を図-4に示す。補強材となる縦桁と横桁は、引抜成形(図-5)によって作成されたFRP部材であり、材質はガラス繊維強化プラスチック(以下、GFRP)、ガラス繊維と炭素繊維を複合したハイブリッドFRP(以下、HFRP)の2種類を使用する。2種類の繊維を使用する理由は、高い引張強度が必要な部材にHFRP、それ以外にGFRPを使用するためである。

引抜成形するため、同一断面の連続成形および複雑断面・閉断面の成形が可能となり、量産性が高い部材となる。いずれの部材もエポキシ樹脂をマトリックスとした。ここで、樹脂のマトリックスとは、樹脂成分や強化プラスチックにおける連続相(母材)を形成する樹脂成分のことを指す用語である。

FSグリッドは、ダブルウェブ断面の縦桁とI形断面の横桁(図-6)を格子状に配置し、床版下面から既設床版を支える構造である。

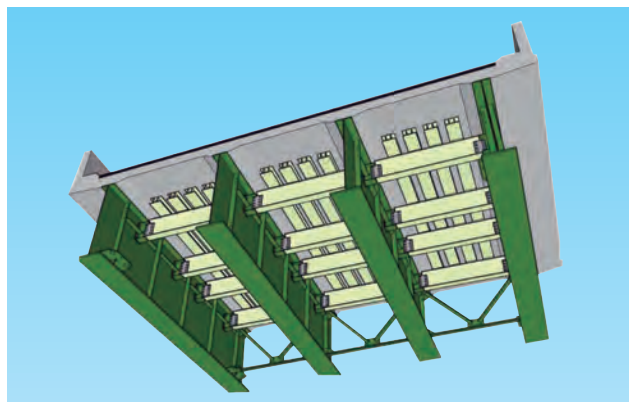


図-4 FSグリッドの概略図

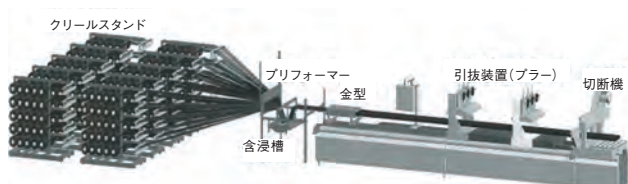


図-5 FRP引抜成形(製作順:左から)

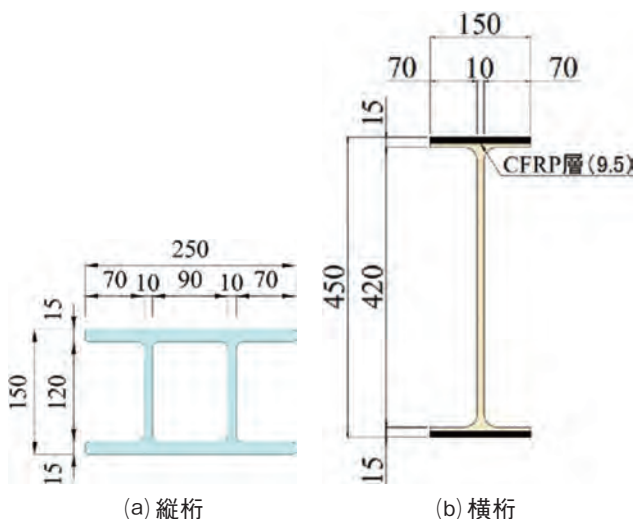


図-6 FRP主要部材断面

主要な構成部材を以下に示す。

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

3. 要素実験および輪荷重走行試験

3-1. 接合部の構造および実験

(1) 接合部構造の検討

土木構造用FRP部材の接合方法には、せん断支圧接合を用いることが多い。しかし、本構造は道路橋設計に用いる自動車荷重(以下、活荷重)を考慮する必要がある、FRP部材は鋼材に比べ材料強度が相対的に小さく、支圧強度やせん断強度を満足させるため部材厚が過大となってしまう。そこで、GFRP板と鋼板の接合部の継手耐力を向上させる方法として、鋼板接着で補強されたGFRP板と鋼添接板による接合方法(図-7)を考案した²⁾。この接合に用いるボルトとして、普通ボルトに比べ、継手耐力の向上と現場での施工性の効率化を図ることのできる高力ボルトを採用した。

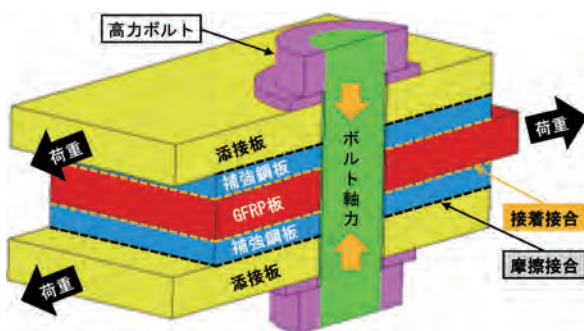


図-7 鋼板接着によるGFRP継手補強の概念図²⁾

(2) 材料物性値

表-1にGFRP板およびエポキシ樹脂接着剤の材料物性値を示す。この表はGFRP板の異方性の特徴を示している。

表-1 材料物性値²⁾

(a) GFRP板(引抜成形材)

項目	記号	単位	値
弾性係数	E_{11}	N/mm ²	30,000
	E_{22}	N/mm ²	15,000
	E_{33}	N/mm ²	3,000
せん断弾性係数	G_{12}	N/mm ²	6,000
	G_{23}	N/mm ²	4,000
	G_{31}	N/mm ²	4,000
ポアソン比	V_{12}	-	0.3
	V_{23}	-	0.05
	V_{31}	-	0.05
引張強度(0°)	σ_{tu}	N/mm ²	350
せん断強度	τ_u	N/mm ²	108

(b) エポキシ樹脂接着剤(コニシE258R)

項目	記号	単位	値
弾性係数	E_a	N/mm ²	3,400
ポアソン比	V_a	-	0.38
引張せん断接着強さ	τ_a	N/mm ²	25

(3) 接合部の引張試験²⁾

1) 試験体および検討パラメータ

横桁添接部とGFRP板の接合方法としては、支圧接合と摩擦接合が考えられる。摩擦接合とした場合、鋼板とGFRP板の接触面はすべり係数の確保が難しいため、FSグリッドではGFRPの横桁に補強鋼板をエポキシ樹脂で接着接合し、鋼材同士が摩擦接合で接するようにした。これにより、GFRP部材の孔部の支圧破壊を抑制するとともに、鋼添接板と補強鋼板の間のすべり係数を確保できる構造とした。

継手耐力を確認するため、接合部の引張試験を行った。試験は、補強鋼板の厚さ(0、3.2、6mm)、ボルト列数(1、2列)および接合方法(摩擦接合、支圧接合)をパラメータ(表-2)として検討を行った。試験体数は、各供試体とも3体とした。

表-2 引張試験パラメータ²⁾

試験体名	接合方法	ボルト列数	補強鋼板の厚さ(mm)	試験数
R1-NB	支圧	1	なし	3
R1-FA	摩擦	1	6	3
R1-BA	支圧	1	6	3
R2-FA	摩擦	2	6	3
R2-BA	支圧	2	6	3
R1-FA3.2	摩擦	1	3.2	3

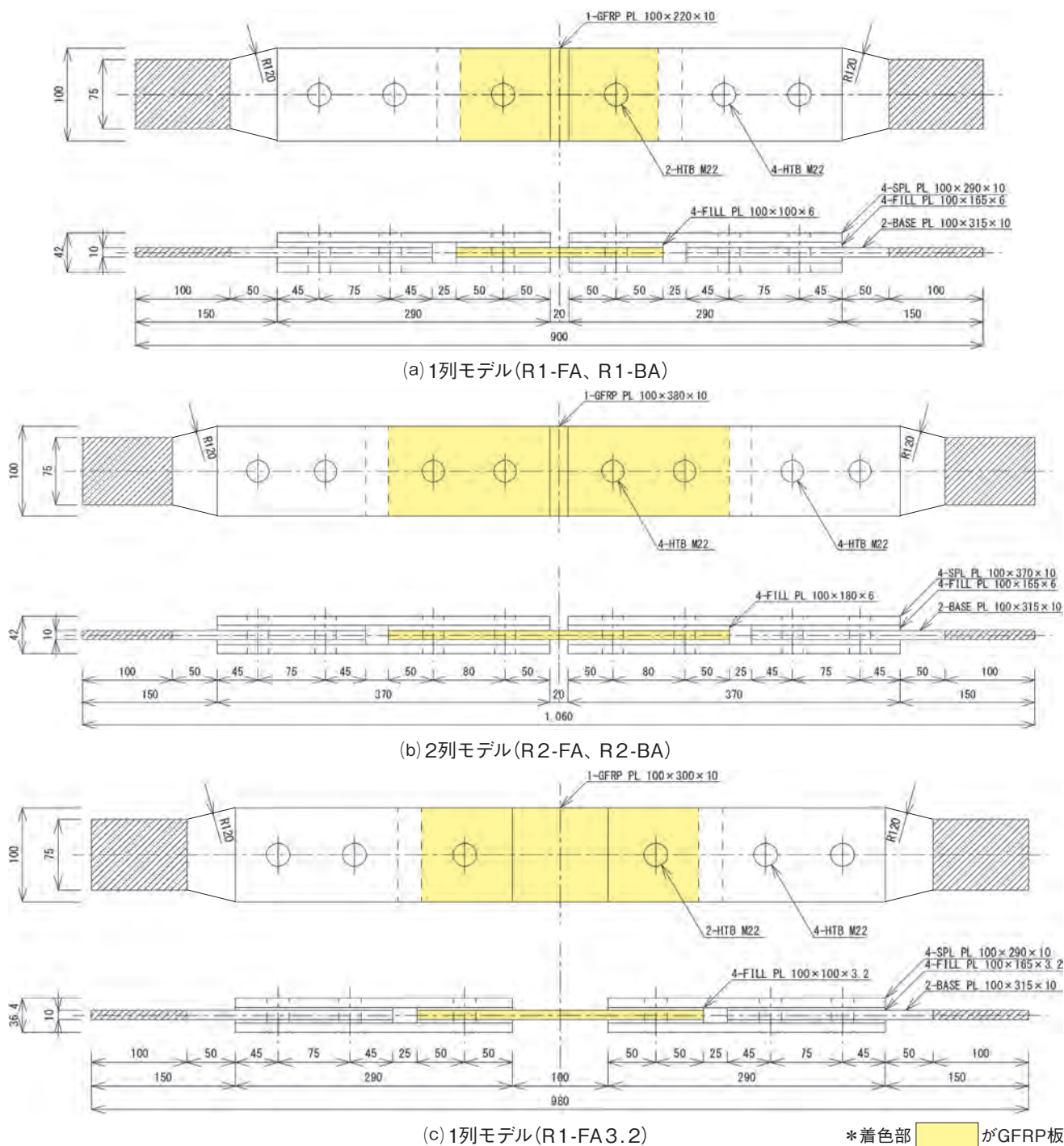


図-8 GFRP継手試験体²⁾の一部修正して使用

図-8に試験体の形状を示す。ここで、図中の着色部がGFRP板で、引張試験ではGFRP板を直接引っ張ることができないため図のような試験体形状とした。この時、GFRP板の接合部となる両面に補強鋼板をエポキシ樹脂接着剤で接合することで、GFRP板の孔周辺が補強され、支圧破壊の先行が抑制される。

試験体は、摩擦接合にはトルシア形高力ボルト(M22S10T)を、支圧接合には支圧接合用高力ボルト(M22B10T)を使用した。摩擦接合には、通常の鋼部材のボルトの呼び径に2.5mmを加えた孔径で、トルシア形高力ボルトの適用が可能となる。

摩擦接合は、GFRP板と補強鋼板の接着接合部の耐力評価も重要となるため、はく離挙動にも着目して実験を行った。なお、摩擦接合は、支圧接合と比較して現場での施工性の向上が期待できるという利点がある。

2) 試験結果および考察

① 破壊形式

表-3に各実験シリーズにおける破壊形式別の破壊荷重を示す。表中には、観察された各試験体の初期はく離荷重、各破壊モード(支圧破壊、せん断破壊、純断面引張破壊)の最大荷重および各シリーズの平均値(3体)を示す。また、写真-2に初期はく離の発生状況、写真-3に各試験体の破壊状況を示す。

補強鋼板ありの試験体は、写真-2のように補強鋼板とGFRP板の間にはく離が生じることが実験より明らかとなった。初期はく離発生荷重は、最大荷重に対して、十分小さいことがわかる(表-3)。しかし、耐久性の観点からは初期はく離はできる限り発生を遅らせることが望ましい。

写真-3に試験体の破壊形式を示す。写真-3(a)の支圧

破壊は、GFRP板のボルト孔の縁端で生じる破壊で、ボルト軸部がGFRP板に接して潰れ変形した状態で、加えて写真-3(a)ではせん断破壊も見られる。写真-3(b)の接着破壊は、補強鋼板とGFRP板の間の接着剤が完全にはく離する破壊形式で、接着層内の材料破壊で、GFRP板の表面に接着剤が薄く残る状態であったため、接着剤内部で破壊が生じる凝集破壊と判断できる。写真-3(c)、(d)の純断面引張破壊は、GFRP板のボルト孔を起点として軸方向に裂ける形式で、ボルト孔による断面欠損箇所が発生していることがわかる。

② 補強鋼板の有無による影響

支圧接合において、補強鋼板の有無による比較結果(R1-BA、R1-NB)を示す(図-9(a))。荷重-変位関係において、初期勾配は補強鋼板の有無にかかわらず、同じである。補強鋼板なしのR1-NBでは、載荷荷重100kN付近で支圧破壊が発生した。支圧破壊後も載荷荷重は増加し、せん断破壊に至る。一方、補強鋼板ありのR1-BAでは、補強鋼板がボルト軸部の支圧力を負担するため、GFRP板の支圧力が相対的に小さくなり、支圧破壊に至る載荷荷重が増加することがわかる。このことから補強鋼板が、継手の耐力増加に有効であるといえる。

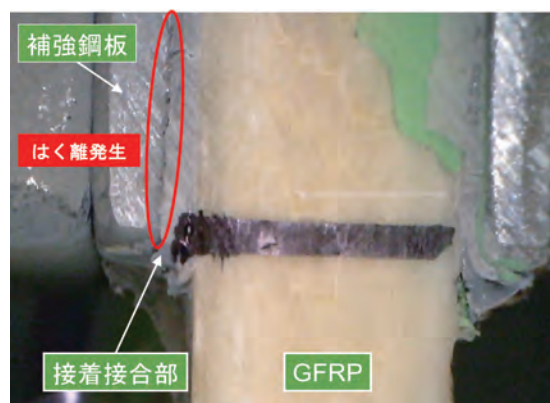
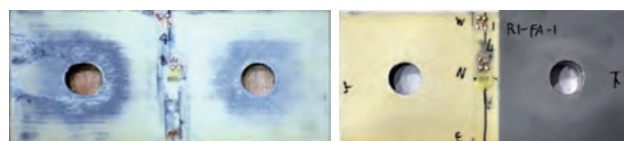


写真-2 初期はく離の発生状況(R1-FA3.2-2)

表-3 各実験シリーズにおける破壊形式別の破壊荷重²⁾ (単位:kN)

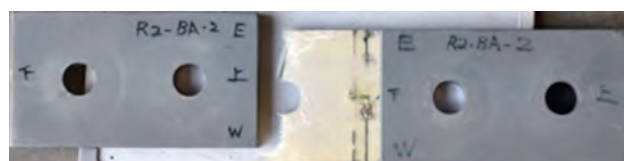
試験体名	初期はく離 荷重 Pdbo	支圧破壊 荷重 Pb	接着破壊 荷重 Pdb	せん断破壊 荷重 Ps	純断面引張 破壊荷重 Pt
R1-NB-1	-	95.4	-	171.3	-
R1-NB-2	-	102.9	-	167.4	-
R1-NB-3	-	104.2	-	171.4	-
平均値	-	100.8	-	170	-
R1-BA-1	85.3	199	195.4	3	-
R1-BA-2	97.5	-	3.2	3	-
R1-BA-3	96.5	177.5	-	-	-
平均値	93.1	188.25	195.4	-	-
R1-FA-1	108.4	-	184.4	-	-
R1-FA-2	91.7	-	185.4	-	-
R1-FA-3	99.9	-	188.2	-	-
平均値	100	-	186	-	-
R2-BA-1	123.6	-	-	-	223.4
R2-BA-2	125.4	-	-	-	209.9
R2-BA-3	132.2	-	-	-	218.3
平均値	127.1	-	-	-	217.2
R2-FA-1	121.3	-	-	-	219.7
R2-FA-2	116.2	-	-	-	218
R2-FA-3	108.3	-	-	-	211.3
平均値	115.3	-	-	-	216.3
R1-FA32-1	123.1	-	182.8	-	-
R1-FA32-2	110.9	-	180.8	-	-
R1-FA32-3	113.5	-	182.7	-	-
平均値	115.8	-	182.1	-	-



(a) 支圧破壊+せん断破壊 (支圧接合・補強鋼板なし: R1-NB-1) (b) 接着破壊 (摩擦接合: R1-FA-1)



(c) 純断面引張破壊(摩擦接合: R2-FA-3)



(d) 純断面引張破壊(支圧接合: R2-BA-2)

写真-3 各試験体の破壊形式²⁾

③ 支圧接合と摩擦接合の比較

図-9(b)にボルト1列配置の支圧接合(R1-BA)と摩擦接合(R1-FA)の結果を示す。R1-BAは、R1-FAと比べて、初期はく離発生荷重は若干小さかったが、ほぼ同じ荷重であった。破壊形式では、R1-BAは支圧破壊が支配的で、R1-FAは接着破壊となることがわかった。破壊時の載荷荷重は、R1-BAがR1-FAより若干大きくなることがわかった。これは、高力ボルトの締付けによる摩擦強度は支圧接合、摩擦接合とも同じであるが、支圧接合では摩擦強度に達した後、GFRP板と補強鋼板のボルト孔の支圧力で抵抗するため、破壊荷重が若干増加したと推察する。両者の破壊形式は、支圧破壊と接着破壊で異なるものの、荷重-変位関係はほぼ同じであり、補強鋼板と鋼添接板の接合部(無機ジンクリッチペイント塗布による摩擦接合)でのすべりは確認されなかった。このことから、補強鋼板接着を併用した摩擦接合は支圧接合と同等の強度を有することがわかった。現場施工では、施工時にボルトをハンマーで母材に打ち込む支圧接合より、拡大孔で対応可能な摩擦接合が有効であると考えられるため、摩擦接合を採用することとした。

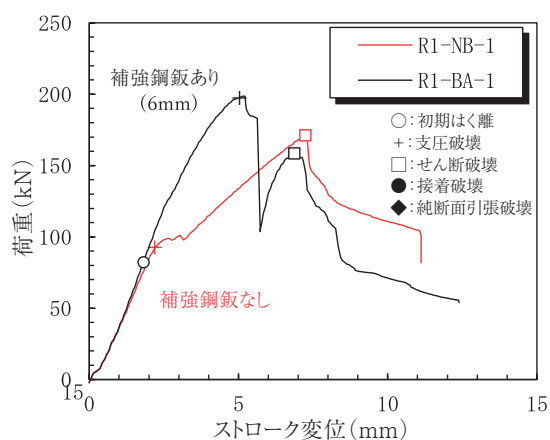
④ ボルト列数の影響

図-9(c)に摩擦接合におけるボルト1列配置と2列配置の結果を示す。この図に見られるように、ボルト列数を1列から2列に増やすことで、初期はく離荷重および破壊荷重は増加しているが、破壊荷重の増加は列数に比例しな

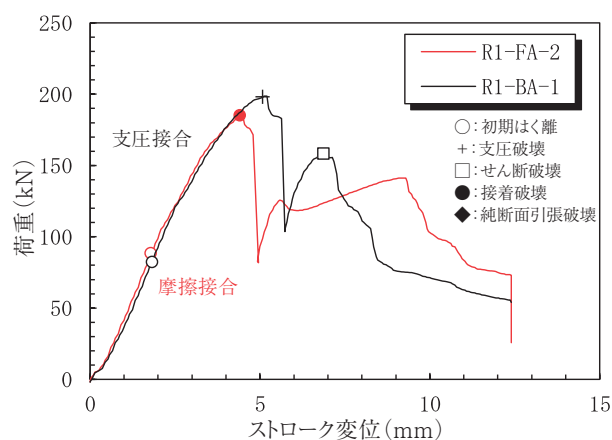
いことがわかる。これは、支圧接合(R1-BA、R2-BA)でも同様な結果(表-3参照)となっている。この理由として、写真-3(c)および(d)からボルト列数が2列の場合、摩擦接合および支圧接合とも純断面引張破壊となっていることから、今回の試験条件では2列以上の場合、接合方法に関係なく、破壊荷重はGFRPの材料強度で決定されるためと推察される。

⑤ 補強鋼板厚さの影響

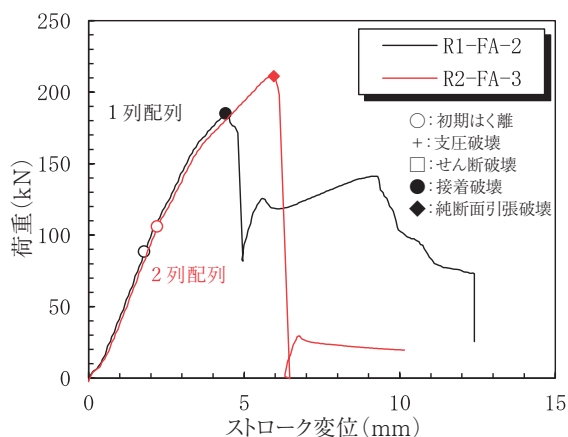
図-9(d)に摩擦接合における補強鋼板の厚さを6mm(R1-FA)および3.2mm(RA1-FA3.2)とした場合の結果を示す。この図から補強鋼板の厚さが薄いR1-FA3.2では、R1-FAと比べてストローク変位が大きくなり剛性が低下したことがわかる。しかし、全体としての挙動は類似していること、両者とも破壊形式が接着破壊であることがわかった。補強鋼板を6mmから3.2mmに薄くした場合、初期はく離荷重は平均で約15%増加することがわかった。一方、接着破壊時の最大荷重は、ほぼ同じであった。初期はく離荷重が増加した理由としては、補強鋼板の剛性が低下したことにより接着部に発生する局部応力の減少が推定される。本稿では紙面の関係上記載しないが、この傾向はFEM解析からも確認することができた。補強鋼板は薄いほど添接部の構造上有利となることが判明し、現在2.3mmでも同様な結果が得られるか検討中であり、結果については今後発表していく予定である。



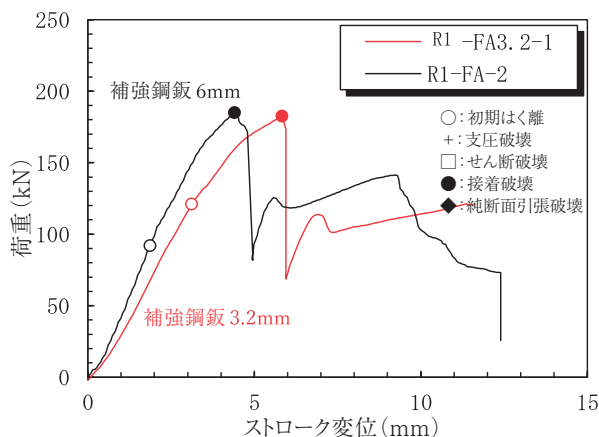
(a) 補強鋼板の有無による比較



(b) 支圧接合と摩擦接合による比較



(c) ボルト列数による比較



(d) 補強鋼板の厚さによる比較

図-9 荷重-ストローク変位の関係²⁾

(4) 接合部のリラクセーション試験⁴⁾

1) 試験概要

実構造物において、継手部が摩擦接合として機能するためには、高力ボルトに所定の設計ボルト軸力が保持される必要がある。接合部は摩擦接合を採用するが、高力ボルトの締付けにより、GFRP板、接着層にクリープ変形が生じ、ボルト軸力の低下が懸念される。既往の研究では、20～30%低下する可能性が指摘されている³⁾。その他の軸力変動の要因としては、気温の変動およびボルトのリラクセーションが挙げられるが、これらが複合的に作用し合って軸力が変動すると考えられる。そこで、FSグリッド接手部を模擬した試験体により長期的にボルト軸力の変化を計測し、リラクセーション特性を把握した。

2) 試験片および検討パラメータ

図-10に試験片および厚さ計測の位置を示す。寸法は80×80mmとしGFRP板(厚さ10mm)の両面に厚さ3.2mmの銅板(SS400材)をエポキシ樹脂接着剤(コニシE258R、厚さ0.4mm)で接着した。硬化・養生(1週間)後、銅添接板(厚さ9mm)を両側から六角高力ボルト(M22 F10T)で接合する。六角高力ボルトを使用した理由としては、ボルト軸力を計測するためボルト内部にひずみゲージを設置するためである。ボルト孔の直径は24.5mmであり、補強銅板の摩擦接合面、銅添接板の両面には無機ジンクリッチペイント(膜厚75μm)が塗布されている。表-4にGFRPの材料物性値を、写真-4に試験の状況を示す。図-11および表-5に、製作と作業の工程で想定する施工期間(シナリオ)と実験シリーズをそれぞれ示す。まず、GFRP板と補強銅板の接着・硬化後に、設計ボルト軸力の63%(普通ボルト相当の軸力130kN)にて予備締めし、仮固定する養生期間(N1)を設定する。養生期間の完了後、仮固定のボルトを取り外し、部材の出荷・運搬を想定した期間(N2)、現場でHFRP桁を既設鋼桁に接合する本締め後の供用期間(N3)を設定した。N1、N2の各期間の組合せを5ケース設定し、接合部材の厚さ、長期間のボルト軸力の計測を行った。なお、本締めでは、設計ボルト軸力(205kN)の10%増しの225kNを、トルクレンチを使用して導入した。ボルト軸力は、埋込み型ひずみゲージを用いて計測した。

3) 試験結果および考察

図-12および図-13に、ボルト軸力および設計ボルト軸力に対する比率と経過時間の関係を示す。図-12より、図-11に示したシナリオ通りに、ボルト軸力が導入されていること、経過時間が500時間(約3週間)までは、ボルト軸力は200kN程度が保持されていることがわかる。また、予備締め、本締めに関わらず、締付けから1時間以内で、ボルト軸力の低下が顕著であることもわかる。接着・養生は約30℃(室温)、1週間であったため、完全に硬化した状態で、予備締めの養生期間N1(1～7日)となり、本締め時には全ての試験片で接着剤の硬化に差異はなかったと推察される。軸力導入率は、実験シリーズのケースa、b、c、d、eのいずれもN1、N2の期間に依存せず、本締め時の導入軸力に依存する傾向であった。

図-13および表-6から、軸力を110%導入してから210日経過時点の軸力導入率は、91～95%で推移している。この結果か

ら、設計供用期間を100年として軸力を想定したところ、設計上必要な軸力の約90%になることがわかった。

表-4 GFRPの材料物性値⁴⁾

弾性係数 (kN/mm ²)	0°方向 E_L	30
	90°方向 E_L	15.0
面内せん断弾性係数 (kN/mm ²)	G_{LT}	6.0

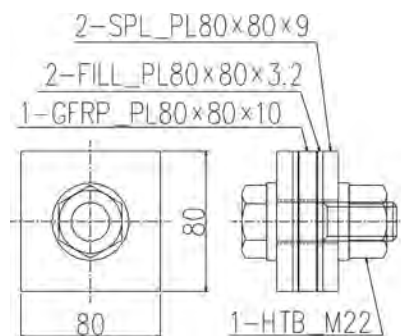


図-10 試験体および厚さ計測位置⁴⁾



写真-4 リラクセーション試験の状況⁴⁾

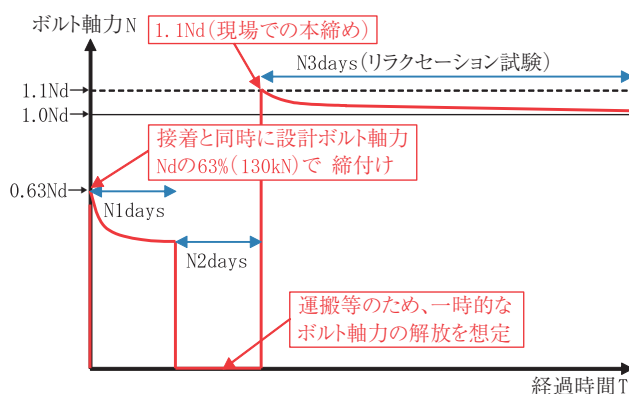
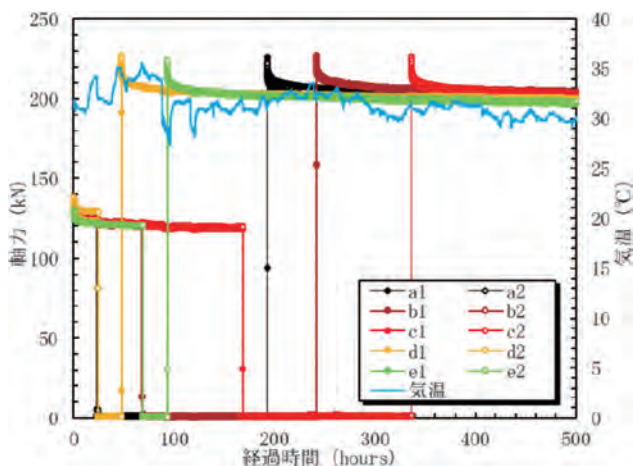


図-11 製作・作業工程から想定する試験期⁴⁾

表-5 試験ケースおよび計測日数⁴⁾

ケース	試験片数	試験片名	日数		
			N1	N2	N3
a	2	a1、a2	1	7	継続
b	2	b1、b2	3	7	継続
c	2	c1、c2	7	7	継続
d	2	d1、d2	1	1	継続
e	2	e1、e2	3	1	継続

図-12 経過時間におけるボルト軸力の変化⁴⁾表-6 設計軸力に対する比率の変化⁴⁾

試験片	直後	1時間	30日	60日	90日	120日	150日	180日	210日
a1	107.8	105.1	97.7	97.2	96.0	95.6	94.2	93.9	94.6
a2	108.2	102.8	95.2	94.5	93.1	92.7	91.1	90.9	91.8
b1	110.8	105.6	98.2	97.2	95.9	95.4	94.1	94.0	94.5
b2	110.8	106.4	98.8	97.9	96.7	96.2	94.9	94.7	95.2
c1	110.6	104.9	97.9	96.6	95.3	94.8	93.4	93.2	93.8
c2	110.0	103.9	96.5	95.4	94.0	93.4	91.9	91.6	92.3
d1	110.4	104.8	96.4	95.6	94.3	93.8	92.3	92.0	92.7
d2	110.8	104.2	97.0	96.4	95.3	94.9	93.7	93.4	94.1
e1	108.9	103.3	95.1	94.4	93.0	92.4	90.9	90.5	91.2
e2	109.4	103.5	96.1	95.4	94.3	93.9	92.6	92.3	92.8

※各計測時における比率の最大・最小の比率を濃淡で示す。

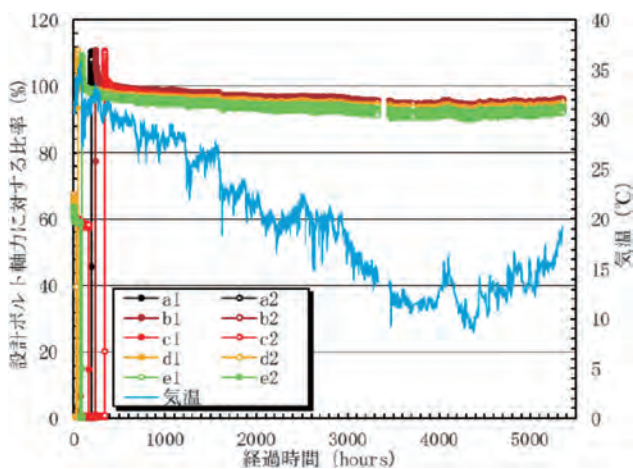


図-13 経過時間における設計軸力に対する比率の変化⁴⁾

この結果を考慮して、必要な軸力の80%を添接部の設計軸力として考慮することとした。また、実験室内の温度変化とも強い相関が確認されており、今後は道路橋示方書で規定されている鋼構造の温度変化(寒冷な地方の-30~50℃)における軸力変動の影響や、より長期間の軸力変動の挙動を観測していく予定である。

(5) 接合部の静的破壊試験⁵⁾

1) 試験概要

継手引張試験で検討した鋼板接着によるFRP接合方法を使用して、HFRPの横桁と鋼主桁を高力ボルトで接合させた実物大の試験体を製作し、接合部の耐力を実験的に検討した。

2)試験体および試験方法

図-14にHFRP桁と鋼桁の接合部試験体の概要図、図-15に接合部詳細および写真-5に試験体のセットアップ状況を示す。接合部を支点間に1箇所設け、HFRP桁と鋼桁をウェブ(GFRP)で接合した桁試験体を製作した。試験体は、支間長2,500mmのI形断面桁であり、4点曲げ載荷により、高力ボルトによる接合部の静的耐力を検証した。

試験シリーズは、FRPのクリープ変形に伴う高力ボルト軸力の低下を考慮して、高力ボルトに導入する軸力をパラメトリックに検討した。M22F10Tの高力ボルトの適用を想定し、設計軸力(205kN)を100%として、100%、80%、60%の3ケースを設定し、それぞれ2体ずつ試験体を用意した。表-7に、静的載荷試験の試験シリーズを示す。

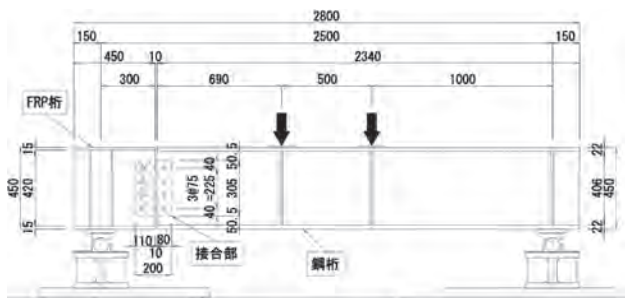


図-14 接合部試験概要図⁵⁾

表-7 接合部静的載荷試験シリーズ⁵⁾

試験体名	ボルト軸力	試験体数	接合部材
100A/B	100%	2	HFRP桁-鋼桁
080A/B	80%	2	HFRP桁-鋼桁
060A/B	60%	2	HFRP桁-鋼桁

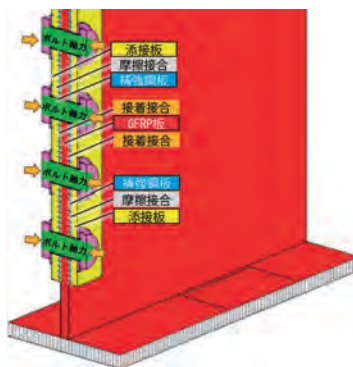
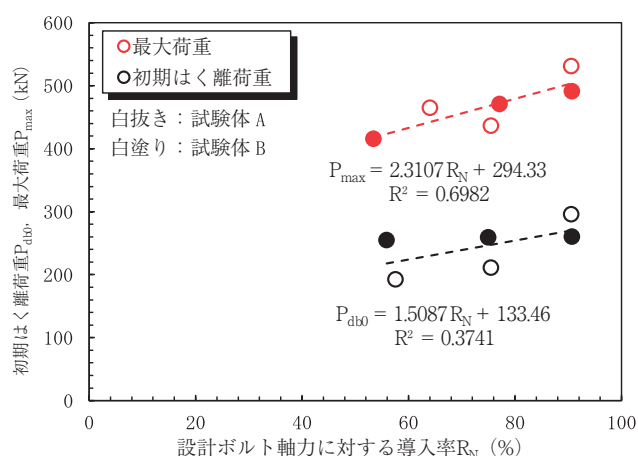


図-15 接合部詳細⁵⁾

写真-5 試験体セットアップ状況⁵⁾

表-8 接合部静的載荷試験結果⁵⁾

試験体名	初期はく離時		最大荷重時		破壊形式
	荷重 (kN)	軸力導入率 (%)	荷重 (kN)	軸力導入率 (%)	
100A	295.5	90.6	530.8	90.6	すべり／はく離
100B	260.2	90.7	490.8	90.7	すべり／はく離
080A	210.9	75.5	436.1	75.5	はく離
080B	258.9	75.0	470.8	77.1	すべり
060A	192.2	57.6	464.8	64.0	すべり
060B	245.9	55.9	415.5	53.4	すべり

図-16 ボルト軸力と初期はく離荷重、最大荷重の関係⁵⁾

3) 試験結果および考察

表-8に、初期はく離荷重、最大荷重および破壊形式を示す。破壊形式としては、補強鋼板と鋼添接板の間で生じるすべり破壊およびGFRPウェブと補強鋼板の間で生じた接着接合部の破壊が生じる。接着接合部について、ボルト軸力の導入率が低いほど摩擦接合におけるすべり破壊が先行する傾向にあることがわかった。また、図-16より初期はく離荷重は、ボルト軸力が大きいほど高くなる傾向がみられ、最小で192kN、最大で296kNであった。また、最大荷重について、080Aでは436kNで完全はく離であったが、080Bは471kNですべり破壊であり、完全はく離は生じなかったことから、破壊形式にもばらつきがある。また、最大荷重とボルト軸力の関係についても概ね線形関係にあることがわかる。これらの結果から、初期はく離荷重・最大荷重は、ボルト軸力と相関があるといえ、初期はく離荷重が大きい試験体ほど完全はく離荷重も大きい傾向にあるといえた。最大荷重は、試験体によるばらつきはあるものの、ボルト軸力と概ね線形関係にあるといえたが、破壊形式が異なるにもかかわらず線形関係となる理由は不明であった。

(6) 接合部の疲労試験⁵⁾

1) 試験概要

(3)の静的破壊試験で使用した接合構造の疲労挙動を把握することを目的とした試験を行った。

2) 試験体および試験方法

疲労試験の試験体は静的載荷試験と同じとした(図-14)。載荷試験機は、2軸構造物載荷試験機(動的荷重容量±750kN、ストローク容量±200mm)を使用した。載荷方法

は静的載荷試験と同様に4点曲げ載荷とし、載荷速度は荷重容量に応じて2Hzまたは3Hzとした。荷重範囲は3ケースとし、後述する試験体080A/Bおよび060A/Bの静的載荷試験結果より、最大荷重の平均値($P_{max_ave}=446\text{kN}$)を参照して、次のように決定した。最も小さい荷重範囲の080F1シリーズは、接着接合部の疲労限(接着接合部の破壊荷重の20%)を想定したもので、 P_{max_ave} の20%に相当する90kNを最大荷重とした。最も大きい荷重範囲の080F3シリーズは、 P_{max_ave} に安全率1.7で除した262kNを最大荷重とした。また、中間の荷重範囲の080F2シリーズは、080F1と080F3の平均である176kNを最大荷重とした。最大荷重と最小荷重の荷重比Rは一般的な値である0.1とした。3ケースの最大荷重に対して、荷重比Rを考慮して、最小荷重、荷重範囲を設定した。

試験体数は各シリーズそれぞれ1体ずつ用意した。なお、疲労試験における高力ボルトの軸力はリラクセーション試験の経過を考慮して設計軸力(205kN)の80%とした。導入軸力は、ボルト軸部にひずみゲージが埋め込まれた高力ボルトを使用して、常時監視した。ボルト軸力は、80%±5%の範囲内となるよう適宜、試験を停止して増し締めを行い、軸力が一定となるように管理した。表-9に、疲労試験の試験シリーズを示す。

3) 試験結果および考察

表-10に、各試験シリーズにおける初期はく離が発生した載荷回数と破壊形式を示す。表中の載荷回数1回とは、疲労試験の開始前の静的載荷の時点で生じたことを示すものである。破壊は、最大繰返し回数(200万回)に達するまでに、疲労試験の継続が困難な状況となった時点で判定し、その時の破壊形式と繰返し回数とした。

試験体080F1および080F2では、200万回に達するまで、完全はく離やすべり破壊は生じなかった。

一方、試験体080F3の場合、62万回で想定範囲外の鋼桁と鋼添接板のボルト接合部ですべりが生じ、疲労試験の継続が困難となったため、試験を終了した。この時、HFRP桁のウェブと補強鋼板との接着接合部に完全はく離や、補強鋼板と鋼添接板のボルト接合部にすべり破壊は生じていなかった。

表-9 接合部疲労試験シリーズ⁵⁾

試験体名	搭載荷重(kN)	荷重範囲(kN)	試験体数
080F1	Max:90	81	1
	Min:9		
080F2	Max:176	158.4	1
	Min:17.6		
080F3	Max:262	235.8	1
	Min:26.2		

表-10 破壊形式と繰返し回数⁵⁾

試験体名	初期はく離	破壊形式・繰返し回数
080F1	Max:90	—
080F2	Min:9	—
080F3	Max:176	鋼桁側すべり・約62万回

鋼桁側が先行してすべりが生じた要因としては、HFRP桁側ではボルトの導入軸力が一定になるように、適宜増し締めを行って管理したが、鋼桁側は管理を行わなかったことから、ボルト軸力が相対的に低下したこと、また、前述したように、鋼桁側では、鋼桁ウェブと添接板との間に若干の肌すきがあったことが考えられる。

また、肌すきが生じた原因として、補強鋼板の厚さを3.2mmとしていたことが原因と考えられた。そのため、補強鋼板の厚さを2.3mmに変更して再試験を実施している。この結果については、結果が出次第追加の報告を行う予定である。

3-2. 横桁・縦桁の耐荷力試験⁶⁾

(1) 試験概要および試験方法

FSグリッドの主要部材である横桁および縦桁の静的載荷試験を実施し、必要な要求性能を満足するかを検証した。

FRP部材には、フランジにCFRP(炭素繊維補強プラスチック)とGFRP、ウェブにGFRPからなるHFRP(複合繊維補強プラスチック)横桁、フランジ・ウェブともにGFRPからなるGFRP縦桁(図-6参照)を用いる。図-17に横桁および縦桁の構造一般図を、表-11にHFRP横桁およびGFRP縦桁の部材ごとの材料物性値を示す。各FRP部材を支間長2,500mmで単純支持し、油圧ジャッキにて載荷を行った。載荷条件は、3点曲げ載荷に加え、支間中央に純曲げを与える4点曲げ載荷とし、表-12に載荷ケースを示す。曲げ載荷実験のセットアップの一例として、図-18にHFRP横桁の4点曲げ載荷(ケース2)を示す。

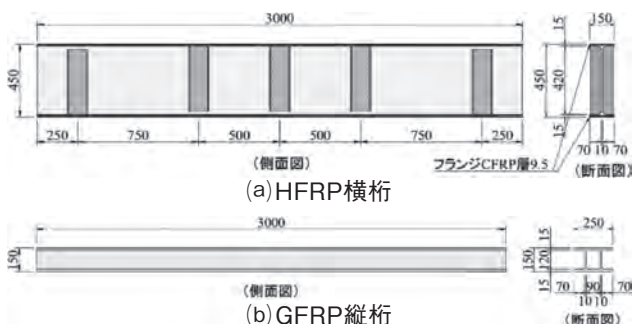


図-17 横桁および縦桁の構造一般図

表-11 材料物性値

材料物性値		HFRP横桁		GFRP縦桁	
		フランジ	ウェブ	フランジ	ウェブ
弾性係数 (kN/mm ²)	E_{11}	98.3	29.9	36.6	28
	E_{22}	14.9	23.8	15.3	21.6
	E_{33}	3	3	3	3
せん断 弾性係数 (kN/mm ²)	G_{12}	4.6	7.5	4.7	7.1
	G_{23}	4	4	4	4
	G_{31}	4	4	4	4
ポアソン比	ν_{12}	0.3	0.2	0.27	0.3
	ν_{23}	0.05	0.05	0.05	0.05
	ν_{31}	0.05	0.05	0.05	0.05

表-12 載荷ケース

載荷ケース	1	2	3	4	5	6
FRP桁	HFRP横桁		GFRP縦桁			
載荷スパン(mm)	0	1,000	0	1,000	500	1,500
載荷方法(mm)	50kNずつ漸増終局まで				150kNまで3回載荷	

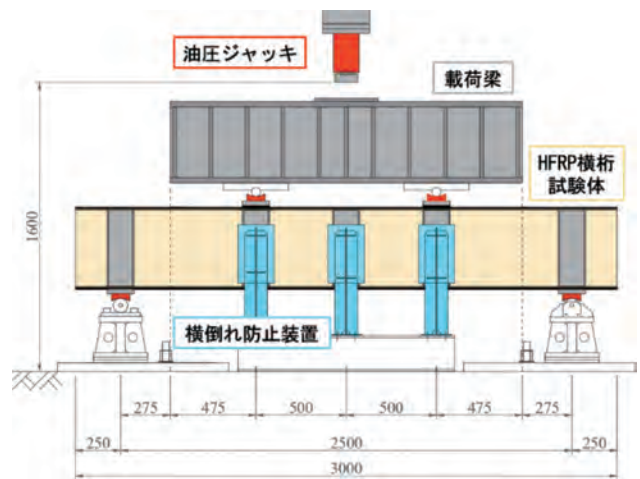
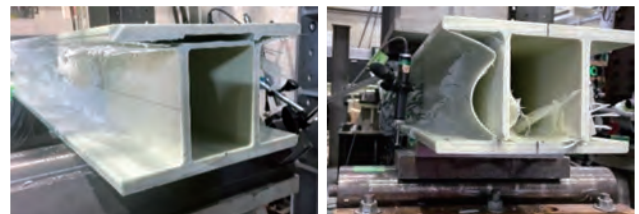


図-18 HFRP横桁4点曲げ載荷実験のセットアップ⁶⁾



(a) 横桁3点曲げ載荷(ケース1) (b) 横桁4点曲げ載荷(ケース2)



(c) 縦桁3点曲げ載荷(ケース3) (d) 縦桁4点曲げ載荷(ケース4)

写真-6 破壊の状況写真⁶⁾

(2) 試験結果および考察

写真-6に、HFRP横桁、GFRP縦桁の3、4点曲げ載荷による破壊の状況を示す。曲げ載荷実験より、HFRP横桁の最大荷重は、3点曲げ載荷で548kN、4点曲げ載荷で845kNとなり、脆性的かつ瞬間的に破壊した。破壊形式は、3点曲げ載荷で上フランジ載荷直下での曲げ圧縮破壊(写真-6(a))、4点曲げ載荷で上フランジ載荷直下の曲げ圧縮破壊とフランジCFRP層/GFRP層間の層間せん断破壊の複合破壊(写真-6(b))と考えられる。

一方、GFRP縦桁の最大荷重は、3点曲げ載荷で343kN、4点曲げ載荷で391kNとなり、HFRP横桁と同様に、脆性的かつ瞬間的に破壊した。破壊形式は、3点曲げ載荷で上フランジにおけるマット層/ロービング層間およびロービング層内での層間せん断破壊(写真-6(c))、4点曲げ載荷で上フランジ、ウェブにおけるマット層/ロービング層間の層間せん断破壊(写真-6(d))とみられた。実構造を想定したFRP桁の設計荷重は、T荷重(100kN)に衝撃係数0.4を考慮した140kNを参照値として、3点曲げ載荷では140kN、4点曲げ載荷では280kN(140kN×2)と設定している。既設RC床版が約30%負担すると仮定して、破壊に対する安全率は4点曲げ載荷で1.99(=391/280/0.7)となる。

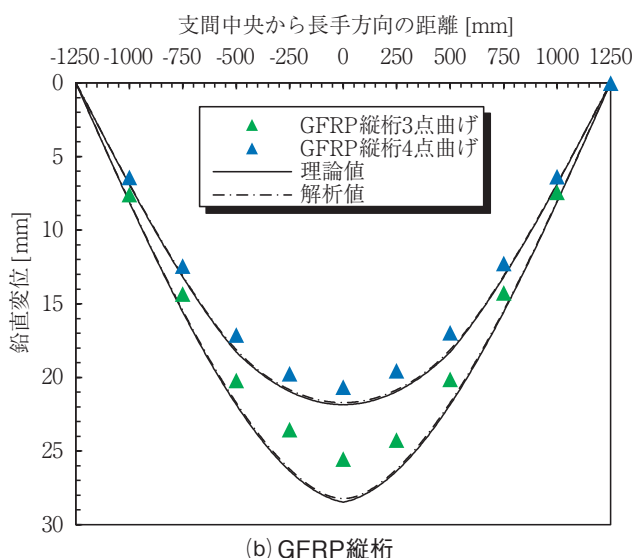
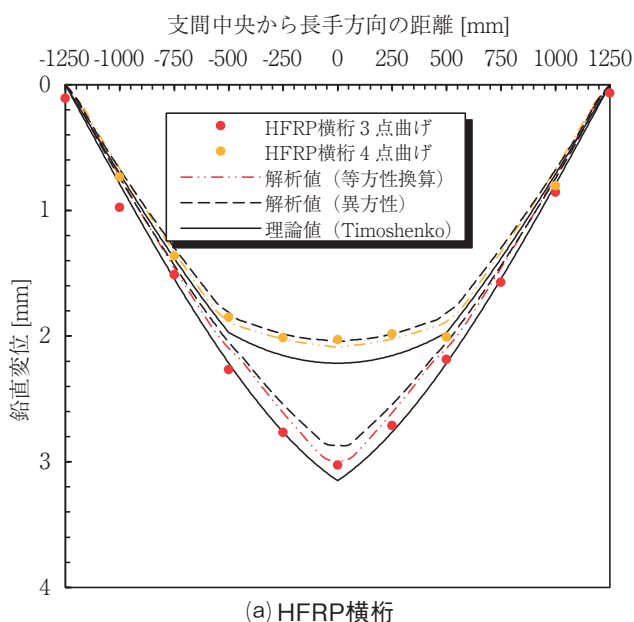
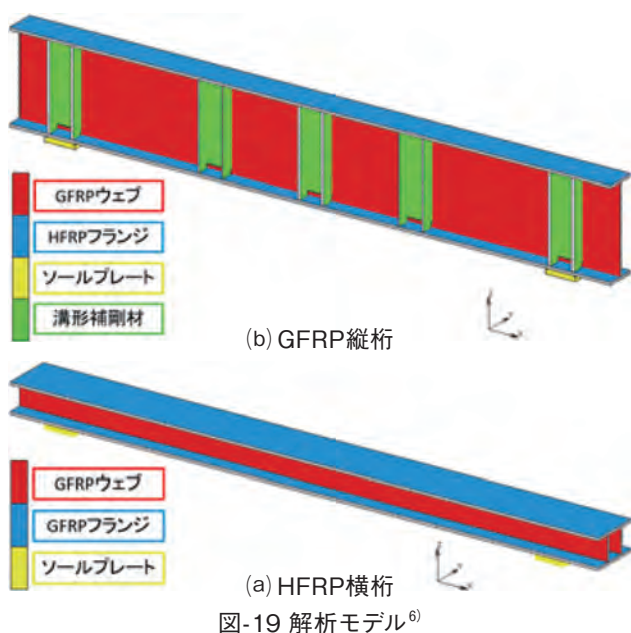


図-20 等方性に換算した材料物性値を用いた場合の100kN载荷時のFRP桁の鉛直変位分布⁶⁾

FRP部材は異方性材料であるが、解析プログラムによっては異方性を評価できないものがある。本研究では、FRP部材の異方性を等方性に換算した材料物性値を等方性シェル要素(図-19)に適用して解析を行った。図-20に100kN载荷時の鉛直方向分布を示す。これらの結果より、材料物性値を等方性に換算して、解析を行った場合、実験値と比較して、精度よくたわみの評価をすることができるとわかる。なお、異方性を等方性に換算する方法については、参考文献5)に詳述されているので参照されたい。また、この文献には、Timoshenkoはり理論に基づき、桁軸方向の弾性係数、桁面内のせん断弾性係数を用いた方法についても提案しており、実験結果を高い精度で導いているので、そちらも参考されたい。

3-3. 輪荷重走行試験

(1) 試験概要

FSグリッドによる既設RC床版の延命効果を検証するため、輪荷重走行試験(写真-7)を実施した。延命効果の検証のため、補強前の既設床版の損傷度合いおよび補強部材の配置をパラメータとした。輪荷重走行試験は、3体の損傷RC床版を模して実施した。本件は現在輪荷重走行試験を終了し、論文を投稿中のため、本稿では実験概要のみを記載するものとする。



写真-7 輪荷重走行試験の状況

(2) 試験体および試験方法

1) 試験体の製作

輪荷重走行試験を行う既設RC床版は、昭和47年の道路橋示方書・同解説(以下、47道示)で設計されたRC床版(以下、RC47)を用いた。RC床版の試験体は、長さ4,500mm×幅2,800mm×厚さ200mmとする。主鉄筋としてD19を上段250mm、下段125mm間隔、配力鉄筋として上段200mm、下段100mm間隔で配置した。

2) 輪荷重走行試験

① 一次载荷

所要のひび割れが生じるまで輪荷重を走行させ、初期損傷を与える。初期载荷として、157kNを5万回载荷し、19.6kNずつ漸増载荷し、所定の劣化度に至るまで载荷をくり返す。

②二次載荷

一次載荷終了後、FSグリッドによる補強を実施する。その後、試験体を再セットし、走行試験を再開する。初期荷重を157kNとして、10万回走行ごとに78kNずつ荷重を増加し、破壊に至るまで試験を継続する。破壊に至らない場合、40万回で試験を終了し、床版を切断して損傷状況を確認する。

3) 今後の予定

既設RC床版の初期劣化の程度に応じて、FSグリッドによる延命効果を検証する予定である。

4. まとめ

FSグリッドのRC床版延命化工法としての効果を確認することを目的として各種性能確認試験を実施した。得られた結果を以下に列記する。

- ①GFRP板と鋼板の接合部の継手耐力を向上させる方法として、鋼板接着で補強されたGFRP板と鋼添接板の接合方法を考案し、性能確認試験を実施した。
- ②接合部の引張試験より以下の結果が得られた。
 - ・補強鋼板は接合部の耐荷力増加に有効である。
 - ・補強鋼板接着を併用した摩擦接合は支圧接合と同等の強度を有する。
 - ・ボルト列数を1列から2列に増やすことで、初期はく離荷重および破壊荷重は増加するが、破壊荷重の増加は列数に比例しない。2列以上の配列の場合、破壊荷重はGFRPの材料強度で決定される。
 - ・補強鋼板の厚さは最大荷重には、ほとんど影響しないが、初期はく離荷重は厚さ薄いほど大きくなる。
- ③接合部のリラクセーション試験から、ボルト軸力の80%を添接部の設計軸力とする必要がある。
- ④接合部の静的破壊試験より、初期はくり荷重、最大荷重および破壊形式を把握することができた。ボルト軸力が小さいほど、摩擦接合におけるすべり破壊が先行する傾向が見られた。初期はく離荷重および最大荷重はボルト軸力と概ね線形関係が見られた。
- ⑤接合部の疲労試験より、載荷荷重が最も大きい試験体において、鋼桁と添接部の間で想定外のすべり破壊が生じた。補強鋼板の厚さに問題があったと考え、厚さ3.2mmを2.3mmに変更して検討中である。
- ⑥横桁および縦桁の静的載荷試験より、FRP桁は設計荷重を大きく上回っており、桁として十分な曲げ耐荷力を有することが確かめられた。また、FRP材の変形挙動について材料物性値を変換することで等方性材料として解析可能であることを検証した。

謝辞

本研究を進めるにあたり、中村一史東京都立大学准教授、松井繁之大阪大学名誉教授には、多大なるご指導および、貴重なご意見をいただいた。東京都立大学 梶原淳生氏および小野寺涼氏には実験、解析にご尽力いただいた。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理、森北出版、2007.
- 2) 小野寺涼、中村一史、小林拳祐、花村光一、新倉利之：鋼板接着で補強されたGFRP板の高力ボルト継手に関する引張試験、土木学会論文集、Vol.79、No.14、22-14006、2023.
- 3) 岩崎初美、松井孝洋、小林拳祐、中村一史：ハイブリッドFRP部材と鋼部材の高力ボルト接合に関する強度特性、土木学会、構造工学論文集、Vol.64 A、pp.768-778、2018.
- 4) 山崎敏宏、小林拳祐、小野寺涼、中村一史、栗津和弘、新倉利之：補強鋼板を接着したGFRP板と鋼板の高力ボルト接合部のリラクセーション試験、土木学会、第78回年次学術講演会講演概要集、Vol.78、CS6-11、2023.
- 5) 小野寺涼、中村一史、小林拳祐、花村光一、新倉利之：ハイブリッドFRP桁と鋼桁の高力ボルト接合部の静的耐力と疲労耐久性の評価、土木学会論文集、Vol.80、No.14、23-14012、2024.5.
- 6) 梶原淳生、中村一史、小林拳祐、花村光一、新倉利之：引抜成形FRP桁の曲げ特性に関する実験的検討と等方性材料に基づいたたわみの評価、土木学会論文集、Vol.80、No.14、23-14011、2024.5.

水門用ERBシステム(Energy Regenerating and Backup System)の開発(第2報) 実証試験による性能と長期安定性の検証および付加機能による信頼性の向上

— 停電時にも水門開操作を実現できるシステム、およびそのシステムを既設水門に付加する改造技術の開発 —

IMASEKI Masanori KAZAMA Mutsuhiro HAYANO Tetsuo
今 関 正 典* 風 間 睦 広* 早 野 哲 央**
ITO Akira BABA Koji SUZUKAWA Wataru
伊 藤 章*** 馬 場 浩 史**** 鈴 川 渉****

1. はじめに

近年、スーパー台風などの大規模災害の発生頻度が高まっている中、商用電源の喪失や交通途絶を原因として水門が開閉できず、本来の治水機能が発揮できない事態が指摘されている。そのため、従来の原則であった機側操作は見直しが進んでおり、交通途絶および電源喪失に対しては、水門の遠隔操作化を推進し、水門扉の自重降下を実装することで、正常な機能を発揮できるための対策が講じられ始めている。

しかしながら、多くの既設水門においては、自重降下によって水門を開めた後、まだ停電から復旧していない時期に水門を開けて内水を排除しなければならない状況も発生し得ることが分かってきた。この事象に対し、ビル用制振装置で培ってきたERBシステムの技術¹⁾²⁾をバックアップ電源に適用することで、水門設備に特化した蓄電バックアップシステムを開発し、適用できることを実証した。

前報³⁾では開発の過程のうち設計から初回試験までを詳述したが、本報では前報の要旨と、その後行った長期性能確認試験と付加機能による信頼性の向上につき詳述する。

なお、本開発は、国立研究開発法人 土木研究所殿との民間提案型共同研究である。

2. ERBシステム

ERBシステムは平常時リチウムイオン電池に充電しておき、電源喪失時、水門を運転するための電力を供給するものである。水門開操作時はリチウムイオン電池に充電されたエネルギーを電力として供給する。閉操作運転時は発生する回生エネルギーを積極的に蓄電池に充電し再利用する。

また、太陽光発電を連携することによるオフグリッド化、およびEV(電気自動車)連携による水門駆動を可能にする機能を付加する事で、長期停電に対する水門運用の確実性の向上を実現するものである。

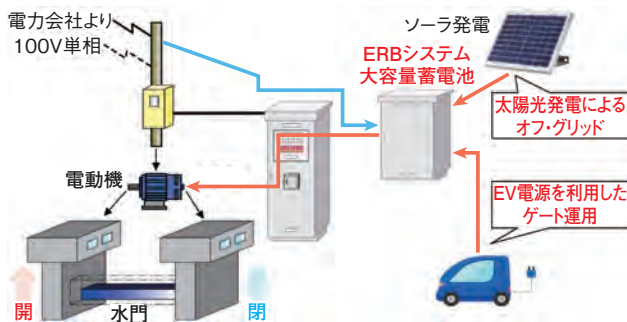


図-1 水門予備電源としてのERBシステム

3. 水門にERBシステムを適応することによる優位性

3-1. ピークシフトへの貢献

水門に対するERBシステムでは、平常時にリチウムイオン電池に充電した電源を水門の(動力および制御電源として)開閉操作に使用する。このことにより最大需要電力(電力デマンド)が抑制され、電力需要の負荷平準化(ピークシフト)への貢献が実現できる。その結果、電力基本料金の低減や、動力電源を発電機から給電する場合と比べて、騒音・振動・排気ガスが発生しないという効果が得られる。

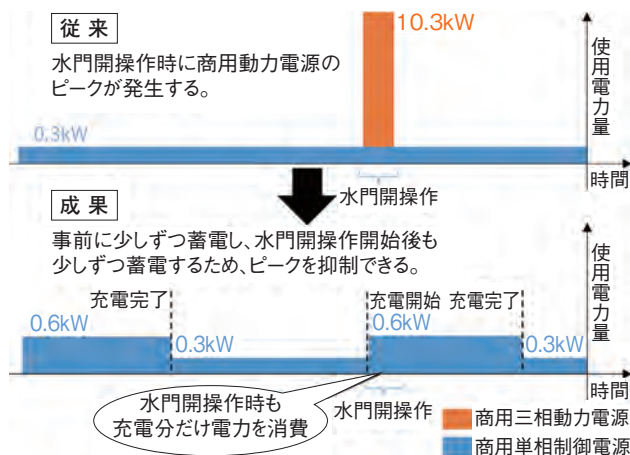


図-2 水門の電力需要

3-2. 回生電力の蓄電による水門操作の高効率化・低環境負荷化

ERBシステムには、EVでも利活用されるエネルギー回生技術を織り込んでいる。

この事により、高効率的・低環境負荷的な水門操作が実現可能と言える。

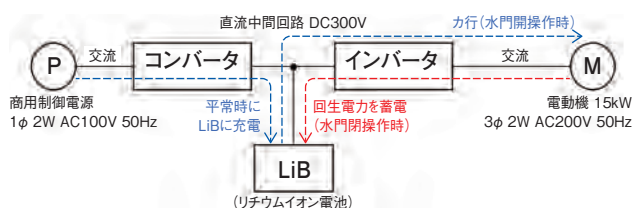


図-3 ERBシステム主回路

3-3. 商用電源喪失時にも遠隔監視(操作)の継続が可能

ERBシステムに具備した遠隔監視機能を利用し、遠隔監視を行うことが可能となる。商用電源の給電時だけでなく、リチウムイオン電池によるバックアップ運転に切り換わってからも、継続して遠隔監視することが可能であり、平常時から有事の際までを通じて遠隔監視が可能と言える。

* (株)IHIインフラ建設 振動プロジェクト部

** (株)IHIインフラシステム 品質保証部

*** (株)IHIインフラ建設 防災水門営業部

**** (株)IHIインフラ建設 制御情報システム部

3-4. 商用電源喪失後の復旧作業の省力化

従来では停電発生時に予備発電機が始動する。予備発電設備が運転した間に消費した燃料は、現場に赴き補給する必要がある。

一方、ERBシステムも停電・復電時の自動切換の流れは同様であるが、商用電源をバックアップした間の電池消費分の充電は、復電した商用電源から自動で行われる。このため予備発電設備と異なり、電源復旧後に現場に赴いて作業を行う必要がない。

3-5. 水没リスクの低減

一般的に発電機は地上階に設置される発電機室(電気室)内に設置される。このことは発電機本体や燃料の重量、排気ガス、振動・騒音の関係で、地上階に設置することに経済的合理性があるからと考えられるが、大雨・洪水により河川水位が上昇し堤防を溢水した場合、発電機室内への浸水によって予備発電設備が機能しなくなる恐れもある。

ERBシステムは、発電機に比べ軽量・コンパクトでかつ、騒音・振動や排気ガスの発生がない。水門設備の操作室にある程度のスペース(1,200×500mm／面×2面程度)があれば、地上階ではなくコンクリートピア上と同じレベルに設置が可能で、水没リスクを低減することができる。

4. 水門用ERBシステムの開発

開発に際し、制振装置の付帯設備として開発されたERBシステムを、河川用水門設備への技術転用を行う際の技術的課題が、設計・製作・工場試験および現地調整試験段階で解決されることと、実機確認(実証試験)することをもって、開発の成果とする方針で取り組んだ。また、実証試験は令和4(2022)年4月～令和6(2024)年6月までの、計8回実施した。

設計～実証試験～撤去までのフローは図-4のとおりである。また、概略の工程を表-1に示す。

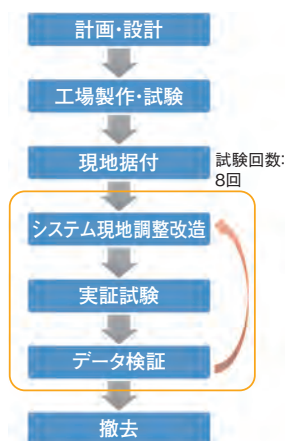


図-4 開発のフロー

表-1 実施工程表

年度	2021	2022					2023					2024
月	4～3	4～6	7～9	10～12	1～3		4～6	7～9	10～12	1～3	4～6	
計画・設計	■											
工場製作・試験		■										
現地据付			■									
実証試験			◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
撤去												■

4-1. 計画・設計

ERBシステムの設計に関しては、前報³⁾に詳述しているが、新規開発品であることから、概念設計にあたっては解決すべき技術的課題として以下の課題を洗い出した。

- (1) 既設電動機駆動方式
- (2) 既設制御設備に対する制御電源の確保
- (3) 既設機側操作盤との連携
- (4) 二重化による機器の信頼性向上

- (5) 火災予防条例への対応
- (6) 停電発生時の電源切換タイミング
- (7) 蓄電池の現場適用性
- (8) リチウムイオン電池の特性に関する対策

以上の課題につき、十分に検討を加え、理想的なシステム設計ができるように留意した。

基本設計においては概念設計の方針に従うとともに、より信頼性の高い回路構成にすることに努めた。

詳細設計においては水門操作室内に設置することを念頭に、出来る限りコンパクトなシステムを目指した。

5. 実証試験

ERBシステムの試作機製作の後、同システムが設計の意図通りに製作されていることを確認するために、盤製作工場におけるシステム単独の機能確認試験、および模擬開閉器との組合せ試験を行ったのち、実証試験を行った。

実証試験の目的は、実際に運用されている水門にERBシステムの試作機を設置し、水門運転を行い、水門の運用が出来ることを確認することと、その後2年間にわたる、システムの安定性を確認することであった。

実証試験設備として、国土交通省 東北地方整備局 山形河川国道事務所殿から元宿川水門をご提供いただき実施した。

5-1. 実証試験設備の概要

実証試験設備としてご提供いただいた元宿川水門(写真-1)の要目を以下に示す。

- (1) 扉 体 型 式: 鋼製ローラー水門(純径間 19.5m／扉高9.05m)
- (2) 揚 程: 7.50m(全開開度)(巻上高8.15m)
- (3) 設 置 数: 2門(うち、実証試験対象はNo.2水門)
- (4) 据 付 年 月: 昭和50年2月
- (5) 製 作 会 社: 石川島播磨重工業株式会社
- (6) 開閉装置型式: ワイヤロープ両端巻上式(1M2D)
- (7) 開 閉 速 度: 0.3m/min
- (8) 電 動 機: 15kW 6P(AC200V 50Hz、60分定格)
- (9) 動 力 電 源: AC200V 3φ3W 50Hz
発動発電機による電源供給
- (10) 制 御 電 源: AC100V 1φ2W 50Hz 商用電源供給
- (11) 発 電 機: AC210V 3φ3W 50Hz 100kVA、
遠方操作所に設置
- (12) 操 作 場 所: 機側および遠方



写真-1 元宿川水門

写真の説明: ①遠方操作所

②ERBシステム設置箇所

③実証試験対象の水門(No.2水門)

5-2. 現地据付工事

元宿川水門現地において、ERBシステム試作機の据付工事を行った。ERBシステム試作機は、水門左岸側操作室内に設置することとし、以下の作業を行い、据付工事を完了した。(写真-2)

- 1) 盤吊り込み
- 2) チャンネルベースおよび盤据付
- 3) 電気工事および既設機側操作盤改造工事



写真-2 据付工事完成(操作室内)

写真の説明: ①既設機側操作盤

- ②動力盤
- ③蓄電池盤
- ④切換盤

5-3. 性能確認試験

性能確認試験としては模擬的に停電状態を作り出し、ERBシステムによる電源のバックアップのもと、以下の試験を行い、システムの性能を確認した。

①停電時切り換え試験

停電時に自動的に水門動力回路が切り換わり、正常に動作することを確認した。

②手動押釦操作による水門開閉試験

全閉から全開までの開操作を行い、その後全開から全閉までの閉操作を行った。

③操作回数確認試験

①・②の試験の後、蓄電池SOC(State Of Charge)を監視しつつ、試験設備の操作(全開⇄全閉)を繰り返して、蓄電池で操作可能な回数を調査した。

④充電試験

操作回数試験(③の試験)の後、商用電源を復電し、蓄電池に正常に充電が行われることを確認した。

⑤故障発生試験

二重化した機器の故障を人為的に発生させ、待機状態の機器と速やかに切り換わることを確認した。

⑥過充電防止回路試験

蓄電池SOC100%にて閉操作する場合に過充電防止回路が働くことを確認した。

⑦遠方操作確認試験

停電状態におけるシステム動作時、遠方操作により水門が動作することを確認した。

5-3-1. 初回試験結果

以上の試験の結果、すべての試験で良好な結果が得られ、ERBシステム試作機が設計時に意図した性能を確保できていることが確認できた。(写真-3)

ここで、特筆すべきことは③操作回数確認試験において、ERBシステムにより、元宿川水門を3回開閉操作ができることを確認した。併せて、各操作における蓄電池のSOCのプロファイル(表-2)から、水門開操作時、平均して27%程度のSOC低下が確認できた。

表-2 水門操作におけるSOCプロファイル

	初期SOC [%]	終了後SOC [%]	SOC変化[%]
閉操作時(1回目)	99.8	99.7	-0.1
開操作時(1回目)	99.8	73.2	-26.6
閉操作時(2回目)	76.2	75.5	-0.7
開操作時(2回目)	75.4	48.0	-27.4
閉操作時(3回目)	48.0	49.2	1.2
開操作時(3回目)	48.1	22.3	-25.8

また、閉操作(3回目)においては電動機からはインバータを通して平均1.6kWの回生電力があり、蓄電池に対しては、ERBシステムの制御電源と、電磁ブレーキ等の補機電力を減じた0.3kW程度の電力が蓄電池に回生されている。(表-3)

また、蓄電池出力から推定できる積算電力量は、3回目の閉操作において、0.14kWhの電力量が蓄電池に回生されていることが確認できた。

この結果から、約15kWhの蓄電池容量に対し、1%程度の回生が算定できる。この値は、表-2に示された閉操作(3回目)における蓄電池SOCの変化ともほぼ符合する。

表-3 閉操作(3回目)における回生電力

	平均電力(回生)[kW]	積算電力量(回生)[kWh]
インバータ出力	-1.6	-0.69
蓄電池出力	-0.3	-0.14



写真-3 初回性能確認試験

5-4. 長期性能確認試験

ERBシステムは、リチウムイオン電池の他、インバータ・PLCなどの電子機器により構成されたシステムである。特にリチウムイオン電池は化学物質などを含むため、長期にわたる運用を考慮すると、経年劣化による容量の劣化などが懸念される。このため、システムの信頼性を検証するためには、長期間にわたる性能の評価が必要となる。

以上を鑑み、元宿川水門において、2年間にわたり性能確認試験を実施した。2回目以降の試験内容は初回試験内容のうち、以下の試験について執り行った。

- ① 停電時切り換え試験
- ② 手動押釦操作による水門開閉試験
- ③ 操作回数確認試験

5-4-1. 長期性能確認試験結果

2年間にわたる試験結果を表-4に記述する。同試験において、第4回試験における開閉回数は他の試験が3回に対し2回の開閉回数であった。これは試験期間中観測された周囲温度による水門の機械効率の変動によることが確認されている。

(1) 電動機出力と外気温

水門機械設備の効率の変化は、減速機内のオイルおよび軸受に塗布されるグリースの粘度が関係していると考えられる。このため、第2回目試験から第8回目試験で得られたデータのうち、周囲温度、および電動機出力に着目してデータを評価した。

図-5および図-6は長期試験で得られた電動機出力と周囲温度の関係をプロットしたものである。

同データより、温度低下に伴い電動機出力が上昇する相関関係がよくわかる。ここで開操作時および閉操作時の電動機出力は双方とも冬季と夏季の間で1.5から2kW程度の変動を示している。

以上の検討から、1回のオペレーションにおけるSOC減少量の変動に関しては水門機械設備の機械効率悪化に求めることができ、それぞれの季節で同様の傾向がみられた。

次に、蓄電池容量の劣化の程度を推定するため、開操作における電動機出力がほぼ同じ値を示す第3回試験と第8回試

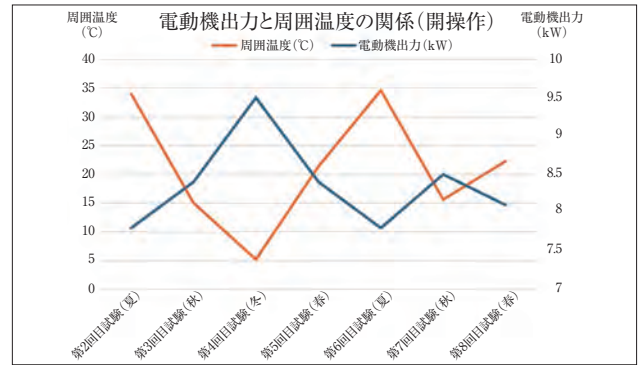


図-5 電動機出力と周囲温度の関係(開操作時)

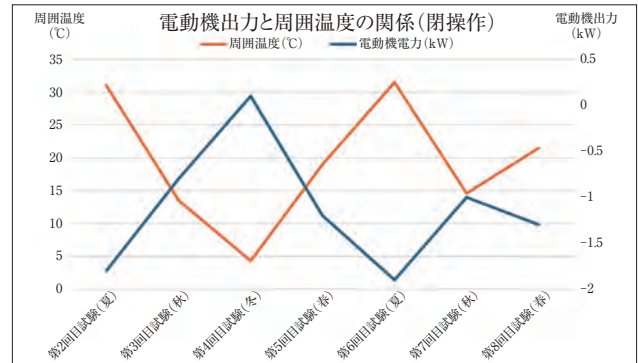


図-6 電動機出力と周囲温度の関係(閉操作時)

験結果に対して各3回の開操作における蓄電池SOC変動の平均値を比較した。

表-5 開操作における蓄電池SOCの変動比較

試 験	第3回試験	第8回試験
蓄電池SOC変動(平均)	-28.3%	-28.6%

同結果から、約2年間でリチウムイオン電池の容量劣化は1%程度の微小なものと評価できる。また、2年の間インバータ等の電気部品の不具合も見られなかった。

以上の事から、およそ2年間の実証試験でERBシステムの信頼性と長期安定性が確認できた。

表-4 長期性能確認試験結果

試験	日 程	停電切り換え試験	手動押釦開閉試験	操作回数確認試験	所 見
第1回	令和4(2022)年 4月26日～5月13日	良	良	3回	・試験を行いながら、インバータパラメータ等の初期調整が完了。
第2回	令和4(2022)年 7月25日～8月10日	良	良	3回	・周囲温度が高く、オイル・グリス等の粘度が低くなる関係から機械効率が向上したと考察される。 この結果、他の季節と比較すると、ゲート閉操作時に得られる再生電力は最大で、ゲート開操作時の力行電力は最小というデータが得られた。 ・バッテリーは、劣化を示唆する挙動・データ等もなく正常。
第3回	令和4(2022)年 10月22日～11月2日	良	良	3回	・想定のとおり、夏季データよりも、ゲート閉操作時に得られる再生電力は小さく、ゲート開操作時の力行電力は大きいデータが得られた。 ・バッテリーは、劣化を示唆する挙動・データ等もなく正常。
第4回	令和5(2023)年 1月30日～2月2日	良	良	2回	・周囲温度が低く、オイル・グリス等の粘度が高くなる関係から機械効率が低下したと考察される。 この結果、他の季節と比較すると、ゲート開操作時の力行電力は最大で、ゲート閉操作時の再生電力は最小というデータが得られた。 ・特に再生電力については、他季節では蓄電池に充電可能なほどの再生電力が得られていたが、冬季試験では制御電源やブレーキ解放電源に充当される程度の電力しか得られない結果となった。 ・バッテリーは、劣化を示唆する挙動・データ等もなく正常。
第5回	令和5(2023)年 5月8日～5月17日	良	良	3回	・温度条件の類似する第3回実証試験と同等のデータが得られた。 ・バッテリーは、劣化を示唆する挙動・データ等もなく正常
第6回	令和5(2023)年 8月28日～9月6日	良	良	3回	・温度条件の類似する第2回実証試験と同等のデータが得られた。 ・バッテリーは、劣化を示唆する挙動・データ等もなく正常
第7回	令和5(2023)年 11月6日～11月16日	良	良	3回	・温度条件の類似する第3回、第5回実証試験と同等のデータが得られた。 ・バッテリーは、劣化を示唆する挙動・データ等もなく正常
第8回	令和6(2024)年 5月27日～6月5日	良	良	3回	・温度条件の類似する第3回、第5回実証試験と同等のデータが得られた。 ・バッテリーは、劣化を示唆する挙動・データ等もなく正常

6. 付加機能による信頼性の向上

ERBシステムは蓄電池により電源をバックアップするシステムである。通常時は小さな電力で蓄電を満充電に保っており、停電時蓄電池に充電されたエネルギーを利用して水門を稼働させるものである。

ここで、停電が長期間にわたり、蓄電池充電量が枯渇した場合、水門操作が不可能となってしまう、大きな損害を起こす可能性がある。

以上の不安点を解消する必要性から、ERBシステムに付加する機能を開発した。本項においては停電が長期にわたってもERBシステムがその責務を全うできるための機能として開発された、以下の機能について詳述する。

- 太陽光発電によるオフグリッド化
- EV電池からの給電によるERBシステムの運用

6-1. 太陽光発電によるオフグリッド化

ERBシステムをオフグリッド化するにあたり、以下の施策を施した。

- 待機電力を抑制する回路を検討し、システムに改良を加える。
- 太陽光発電を付加し、消費された待機電力を太陽光発電により補完する。

このことにより停電期間が長期間に及んだ場合でも、水門の稼働が可能な状況を保持するものである。

6-1-1. 待機電力の抑制

待機電力の抑制のため、ERBシステムに対し以下の改造を施した。

- 待機時間中は、新たに付加した省エネルギーコントローラにて太陽光発電の発停制御と蓄電池および既設機側操作盤の状態監視を行う。
- 省エネルギーコントローラはVPN/LTE回線を介し、遠隔に蓄電池および既設機側操作盤の情報を送信するとともに、水門の操作が必要になった時は、遠隔からの指令でPLCを立ち上げ、ERBシステムをWake UP状態とする。
- 既設機側操作盤に対し供給するAC100V制御用電源は省電力型インバータに変更する。
- 電池管理装置BMUなど最低限のデバイスにのみ通電する。
- 結露対策のためにスペースヒータに変えて除湿器を設置する。

6-1-2. 太陽光発電の付加

(1)太陽光発電回路

太陽光発電はソーラパネルから、逐一変動する日射量から、発電を最適化させるMPPTコントローラを介しERBシステムの直流中間回路に対し給電する回路とした。(図-7)

(2)ソーラパネル

ソーラパネルに関しては、柔軟性単結晶太陽電池モジュールを選定した。同モジュールの仕様を表-6、外形を図-8に示す。

接続する回路としては同モジュールを9直列のストリングを2回路並列接続しMPPTコントローラを介しERBシステムの直流中間回路に結合する。太陽電池モジュールの最大効率における出力の合計は1,530[W]である。太陽電池モジュールは、パイプクランプを使用して元宿川水門管理橋の手すりに取り付けた(写真-4)

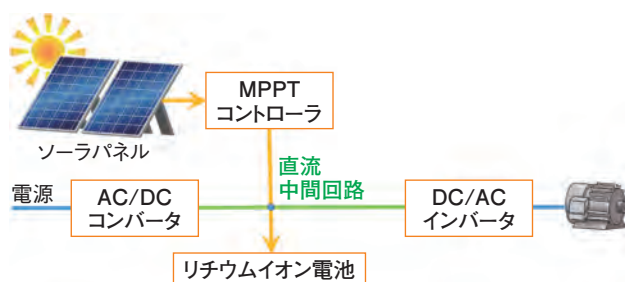


図-7 ERBシステムと太陽光発電の連携

表-6 太陽光発電モジュール電気的使用

規格／型番	単位	
最大効率(Pm)	W	85
最適動作電圧(Vm)	V	16.4
最適動作電流(Im)	A	5.18
回路電圧(Voc)	V	20.1
短絡電流(Isc)	A	5.42
モジュール効率(nm)	%	16.2

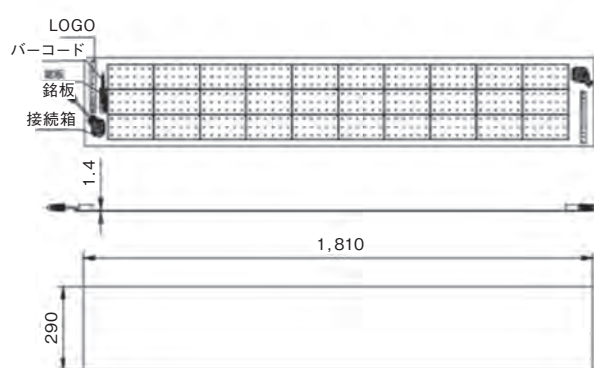


図-8 ソーラパネルモジュール外形



写真-4 ソーラパネルモジュール設置状況

6-1-3. 太陽光発電付加による効果確認試験

ERBシステムに太陽光発電設備を付加した後、約90時間にわたり、ERBシステム待機試験を行った。結果を以下に記述する。

(1)試験内容

ERBシステムに太陽光発電を付加し、待機電力を太陽光発電にて補完し、水門操作に必要な充電量を確保することにより、オフグリッドを実現できることを確認する。

(2)試験期間

自 2024年3月18日 17:00
至 2024年3月22日 10:00

(3)試験期間中の天気概況

試験期間中は太陽光発電に対し、曇りもしくは雪の不利な天候が続いた。

試験期間中の太陽光発電の発電量を図-9に示す。

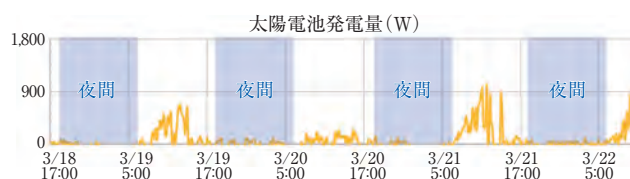


図-9 太陽光発電 発電量

同データから「NEDO 国立研究開発法人 新エネルギー・産業総合研究機構 日照量データベース」に示される日射量の年平均から計算される、試験地域における1日間の期待発電量3,450Wに対し、試験機期間中は平均して56%程度の発電量が得られた。

(4)試験結果

試験期間中観測された蓄電池SOC(電池充電率)の変動を図-10に示す。



図-10 蓄電池SOCの変動

夜間は待機電力を消費するために蓄電池SOCは下がり、昼間太陽光発電により電力の供給を受け蓄電池SOCは上昇する。

ここで着目すべきは3月20日のデータである。3月20日は気象庁発表の天気概況は「みぞれ時々雲のち雨」であり、日照時間も0時間であったが、雲を透過した太陽光により微量ではあるが発電出来ており、発電量は他の日と比較して半分程度であった。

他の日のデータと比較すると、太陽電池発電容量を現状の2倍程度の3kW程度に設定することで、曇天においても1日間のSOC減少を「0」にする事ができる。この事により、曇天が永久的に継続しても、ERBシステムと水門をオフグリッド状態にて運用可能とする事が出来ると考えられる。

なお発電容量3kWの太陽光発電は、標準的な一般家庭用太陽光発電と同規模の発電設備であり、河川用水門に設置する設備としては現実的な規模である。

以上の結果から、ERBシステムに太陽光電池を付加し、太陽光電池が発電する電力を利用し、待機電力を補完することで常に電池の充電量を確保し、必要時に水門操作を可能とするオフグリッドを達成できることを実証した。

6-2. EV(電気自動車)による駆動

ERBシステムは、通常は商用電源から充電し満充電の状態を保持し、停電時充電されたエネルギーを使用してゲートの開閉操作を行うものである。

ここで、停電期間が長期にわたり、蓄電池充電量が枯渇した場合を想定し、EVからエネルギーを供給することにより、水門を駆動する。(図-11)

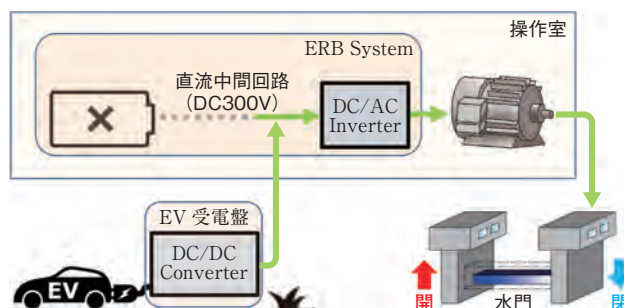


図-11 ERBシステム-EV連携 概念図

付加するシステムとしては、EVの電池の持つ電圧をERBシステムに適合する電圧に変換するDC/DCコンバータを内蔵したEV受電盤(写真-5)を付加する。EVの充電用レセプタクルより専用コネクタを接続し、受電する(写真-6)。電圧変換後、EV受電盤よりERBシステムの直流中間回路に給電する。

ただしEVからの出力は法令上10kWに制限されている。このため、インバータの発振周波数を操作することにより、電動機速度を調整し、EVの出力範囲内に収めるよう設定する。



写真-5 EV受電盤



写真-6 EVからの受電状況

また、水門降下時の回生電力に関しては、ERBシステムの蓄電池に積極的に充電する回路とした。

6-2-1. 実証試験

本機能を実証することを目的に、動作確認試験を行った。以下に試験結果について記述する。

(1)試験日時

2024年6月5日 13:00～17:00

(2)EVの電氣的仕様

日産リーフX



主 電 池 : リチウムイオン電池

容 量 : 40kWh

電池電圧 : DC 350V

(3)試験概要

EVの充電用コネクタから、電圧変換のためのDC/DCコンバータを経由し、ERBシステムの直流中間回路部に接続する。ERBシステムのDC/ACインバータを介して電動機を駆動し、水門を開閉する。

蓄電池充電量枯渇時を想定し、ERBシステムは3回の開閉試験後、蓄電池SOCは15%程度までに落ちた状態で試験を行った。

(4)試験結果

試験中観測された各項目に関し諸数値の値と所見を記述する。表-7に開操作試験中の計測結果、表-8に閉操作試験中の計測結果を示す。

表-7 EVによる開操作試験中に示された数値

項 目	計測結果
蓄電池SOC	変化なし
電動機出力	6.6kW (平均)
電動機回転数	760rpm (設定値)
蓄電池出力	0kW
EV出力	8.2kW (平均)
運転時間	30分
EV SOC	-15%

表-8 EVによる閉操作試験中に示された数値

項 目	計測結果
蓄電池SOC	1.2程度上昇
電動機出力	-1.6kW (平均)
電動機回転数	-760rpm (設定値)
蓄電池出力	-0.3kW
EV出力	0kW (平均)
運転時間	28分
EV SOC	変化なし

本試験では、EVから受電し水門を稼働したが、水門開操作試験ではEV蓄電池のSOCは15%低下した。また、ERBシステム蓄電池のSOCは全く変化がなく、水門開操作にかかわる全てのエネルギーがEVから供給されたことが確認された。

また、閉操作試験時はEV蓄電池のSOCに変動はなく、ERBシステム蓄電池のSOCは1.2%程度上昇している。この結果から、力行運転(開操作)においてはEVからエネルギー

が供給され、回生運転(閉操作)においてはERBシステム蓄電池に回生エネルギーが充電されていることが確認された。

以上、ERBシステムにEV受電用の回路を追加することにより、EVに搭載された蓄電池のエネルギーを利用して、元宿川水門の開閉操作が可能であることを実証した。

なお、本試験では、EVの給電容量の制限から、ゲート開閉速度を落として運転したが、必要であればEVを2台体制で臨めば定格速度における運転が可能となる。

また、降下時に関しては、EVからの給電がほぼ“0”であったことから、定格速度における運転も可能なことが解る。

その他、EVによるERBシステムに対する充電機能も確認しており、今回試作した回路を使用すればEVからERBシステムに高速充電が可能となる。その場合、蓄電池SOCが0%から100%まで50時間程度要していた充電時間は2時間程度に短縮して充電することが可能となる。

7. まとめ

制振装置で培ってきたERBシステムの技術を水門に適用することで、水門に特化した蓄電バックアップシステムとして、水門用ERBシステムを開発した。その後2年間にわたる性能確認試験を通じてシステムの安定性と信頼性を確認した。

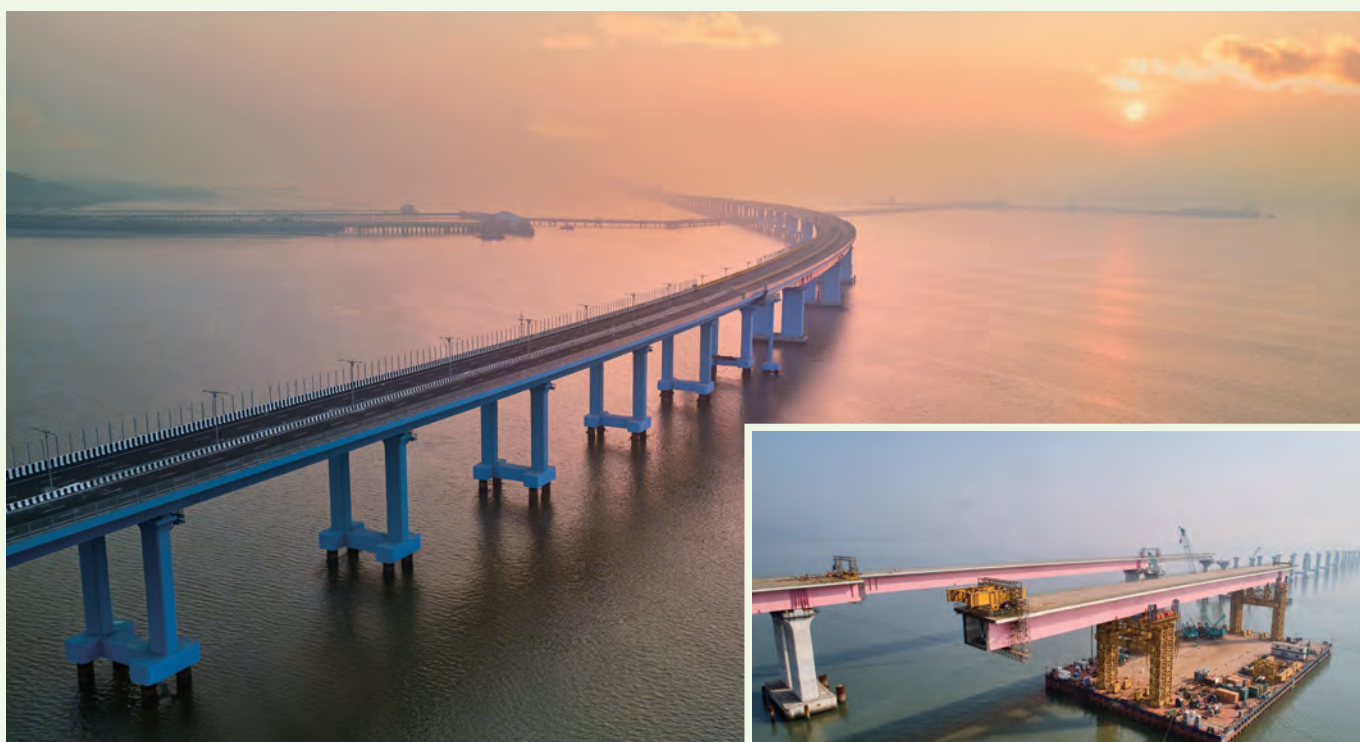
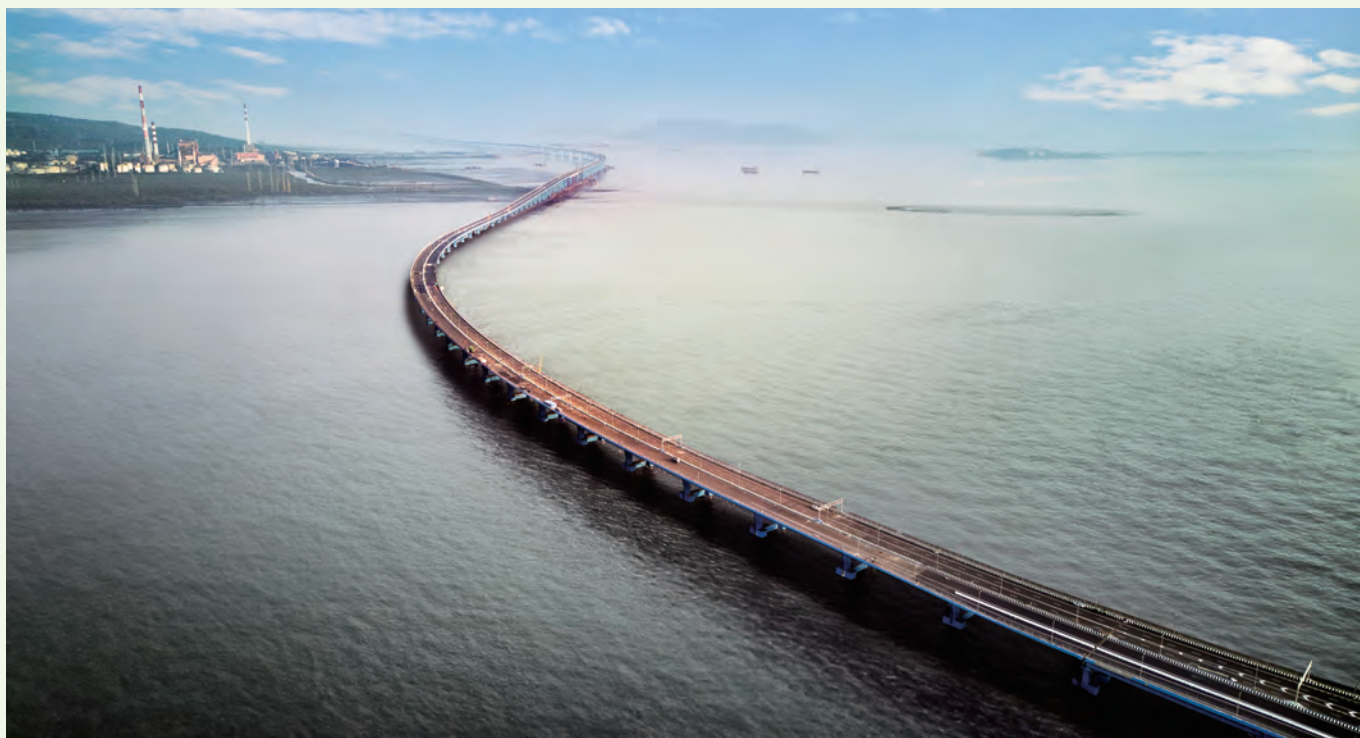
また、太陽光発電を付加することによるオフグリッド化、および蓄電池充電枯渇時におけるEVによる水門駆動方法などを付加することにより、システムの信頼性と強靱性はさらに高まったものといえる。

以上、本開発の成果として、以下が考えられる。水門設備に適用可能な蓄電バックアップシステムとして、水門用ERBシステムを開発することで、大規模停電時における水門設備の機能低下の低減に貢献でき、防災・減災、国土強靱化の一助になる。また、本技術を導入することにより、二酸化炭素を削減出来ることとなり、カーボンニュートラルへの適応についても優位性を見出すことが期待できる。

最後に、本研究の実施にあたり、ご指導、ご協力を頂いた国立研究開発法人 土木研究所殿、ならびに実証試験設備をご提供いただきました、国土交通省 東北地方整備局 山形河川国道事務所殿に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) セルフパワード・アクティブ制御による 船用減揺装置(模型船による実証実験)
(日本機械学会賞[2003年度(平成15年度) 審査経過報告])
日本機械学会誌 107(1026)、329、20040505(ISSN 00214728) (社団法人日本機械学会) 小池、裕二; 須田、義大
- 2) 船用減揺装置へのセルフパワード・アクティブ制御の適用 (制御メカトロ技術特集号)
石川島播磨技報 40(6) (通号 236)、305~309、2000/11 (ISSN 05787904)
(石川島播磨重工業株式会社技術本部管理部 [編] / 石川島播磨重工業技術本部管理部
- 3) 水門用ERBシステム(Energy Regenerating and Backup System)の開発
IHIインフラ技報、Vol.11 p.p.106-110 今関正典 他



インドMTHL IIS

工 事 名 : ムンバイ湾横断道路建設事業 橋梁建設工事パッケージ1
 所 在 地 : インド共和国 マハラシュトラ州 ムンバイ都市圏
 発 注 者 : ムンバイ首都圏開発庁
 (Mumbai Metropolitan Region Development Authority)
 橋 梁 名 : ①OSD1(North Girder) ②OSD1(South Girder)
 ③OSD2(North Girder) ④OSD2(South Girder)
 ⑤OSD3(North Girder) ⑥OSD3(South Girder)
 ⑦OSD4(North Girder) ⑧OSD4(South Girder)
 型 式 : ①②鋼3径間連続鋼床版箱桁 ③④鋼6径間連続鋼床版箱桁
 ⑤⑥鋼6径間連続鋼床版箱桁 ⑦⑧鋼4径間連続鋼床版箱桁

橋 長 : ①②320m ③④683m ⑤⑥770m ⑦⑧560m
 支間長・支間割 : ①②85+150+85m
 ③④90+150+150+86.5+86.5+120m
 ⑤⑥162+138+120+140+120+90m
 ⑦⑧100+180+180+100m
 幅 員 : 14.8m
 床 版 形 式 : 鋼床版
 鋼 重 : ①②3,000t ③④6,800t ⑤⑥8,300t
 ⑦⑧6,300t
 竣 工 年 月 : 2024年1月



根尾川橋 IIS

工 事 名：東海環状自動車道 根尾川橋他2橋(鋼上部工)工事
 所 在 地：岐阜県瑞穂市七崎～揖斐郡大野町大字下磯
 発 注 者：中日本高速道路株式会社
 橋 梁 名：①根尾川橋 ②根尾川右岸橋 ③下磯高架橋
 型 式：①鋼6径間連続非合成細幅箱桁 ②鋼2径間連続非合成箱桁
 ③鋼3径間連続非合成钣桁
 橋 長：①325m ②175m ③129m

支間長・支間割：①62.9+50+50+50+69+40.9m
 ②77+95.9m ③41.8+43+42m
 幅 員 ①11.7m ②26.2m ③33.9m
 床 版 形 式：合成床版
 鋼 重：①1,091t ②2,163t ③697t
 竣 工 年 月：2023年12月



新宿橋 IIS

工 事 名：令和3年度 建設 第B-90号 新宿橋上部工工事
 所 在 地：滋賀県大津市真野三丁目
 発 注 者：滋賀県道路公社
 橋 梁 名：新宿橋
 型 式：鋼単純鋼床版箱桁
 橋 長：76.9m

支間長・支間割：74.6m
 幅 員：26.5m
 床 版 形 式：鋼床版
 鋼 重：964t
 竣 工 年 月：2023年9月



大栄JCTCランプ橋 IIS

工 事 名	首都圏中央連絡自動車道 大栄ジャンクションCランプ橋(鋼上部工)工事
所 在 地	千葉県成田市名木～吉岡、成田市山之作～南敷
発 注 者	東日本高速道路株式会社
橋 梁 名	①大栄ジャンクションCランプ橋 ②大栄橋(下り線)
型 式	①鋼単純非合成細幅箱桁 ②鋼単純非合成鉸桁
橋 長	①45m ②40m
支間長・支間割	①43.4m ②38.4m
幅 員	①10.6m ②16.6m
床 版 形 式	合成床版
鋼 重	①119m ②118m
竣 工 年 月	2024年1月



球磨大橋仮橋 IIS

工 事 名	寛井一武線(球磨大橋)応急復旧仮設上部工その2(右岸)工事	支間長・支間割	①23.5m ②22m
所 在 地	熊本県球磨郡錦町木上地内	幅 員	①10m ②7.5m
発 注 者	熊本県	床 版 形 式	軽量床版
橋 梁 名	①球磨大橋仮橋(KP1～KP2) ②球磨大橋仮橋(KP2～KP3)	鋼 重	①82t ②119t
型 式	①鋼仮橋(鉸桁) ②鋼仮橋(トラス)	竣 工 年 月	2023年5月
橋 長	①24m ②22.8m		



丘珠横断歩道橋



新野幌横断歩道橋

丘珠横断歩道橋 IIS

工 事 名	一般国道274号 札幌市 丘珠横断歩道橋補修外一連工事	橋 長	①45.8m ②23.3m
所 在 地	①北海道札幌市東区 ②北海道江別市文京台	支間長・支間割	①14.7+13.5+17.5m ②21.5m
発 注 者	国土交通省 北海道開発局	幅 員	①1.9m ②1.9m
橋 梁 名	①丘珠横断歩道橋 ②新野幌横断歩道橋	床 版 形 式	鋼床版
橋 梁 型 式	①鋼3径間連続鋼床版鈹桁(歩道橋) ②鋼単純鋼床版鈹桁(歩道橋)	鋼 重	①27t ②23t
		竣 工 年 月	2023年11月



六甲アイランド第三PE2鋼製梁 IIS

工 事 名	大阪湾岸道路西伸部六甲アイランド第三高架橋PE2鋼製梁工事	型 式	鋼製梁
所 在 地	兵庫県神戸市東灘区向洋町地先	鋼 重	231t
発 注 者	国土交通省 近畿地方整備局	竣 工 年 月	2024年3月
橋 梁 名	六甲アイランド第三高架橋PE2鋼製梁		



米沢高架橋耐震補強工事 IIK

工 事 名	：R3国道50号米沢高架橋耐震補強工事	工 種	：鋼橋支承工、落橋防止装置工、水平力分担構造工、排水管取替、現場塗装工、仮設工
所 在 地	：茨城県水戸市元吉田町地先	橋 長	：482.5m
発 注 者	：関東地方整備局 常陸河川国道事務所	橋 幅 員	：9.45m
		竣 工 年 月	：2023年6月



新莊川橋耐震補強工事 IIK

工 事 名	：令和4-5年度 国道56号新莊川橋耐震補強工事	橋 長	：157.2m
所 在 地	：高知県高知県須崎市下分字馬越	橋 幅 員	：12.4m
発 注 者	：四国地方整備局 土佐国道事務所	竣 工 年 月	：2024年3月
工 種	：耐震補強工		



葛飾大橋補修その1工事 IIK

工 事 名	: R4国道298号葛飾大橋補修その1工事	橋 長	: 401.7m
所 在 地	: 東京都葛飾区東金町～千葉県松戸市上矢切地先	幅 員	: 12.5m
発 注 者	: 関東地方整備局 首都国道事務所	竣 工 年 月	: 2024年3月
工 種	: 支承受替工、ジャッキアップ補強工、現場塗装工 他		



葛飾大橋補修その2工事 IIK

工 事 名	: R4国道298号葛飾大橋補修その2工事	橋 長	: 401.7m
所 在 地	: 東京都葛飾区東金町～千葉県松戸市上矢切地先	幅 員	: 12.5m
発 注 者	: 関東地方整備局 首都国道事務所	竣 工 年 月	: 2024年3月
工 種	: 支承受替工、ジャッキアップ補強工、現場塗装工 他		



末広大橋橋梁修繕工事 IIK

工 事 名	：R4徳土 徳島環状線 徳・昭和 橋梁修繕工事(担い手確保型) 通称:末広大橋橋梁修繕工事	工 種	：ケーブル補修工
所 在 地	：徳島県徳島市昭和町8丁目	橋 長	：470m
発 注 者	：徳島県	幅 員	：17.25m～18.5m
		竣 工 年 月	：2023年11月



浅利橋災害応急復旧作業 IIK

工 事 名	：中央自動車道 浅利橋災害応急復旧作業	橋 長	：344.1m
所 在 地	：山梨県大月市賑岡町浅利地先	幅 員	：10.251m(走行・追越2車線)
発 注 者	：中日本高速道路株式会社 八王子支社	竣 工 年 月	：2024年3月
工 種	：桁補強工、支承補修工、支承防錆工、ブラケット工、 伸縮装置補修工、橋脚手摺取替工(工事対象橋脚1橋脚のみ)		



東関道清水地区跨道橋 IIK

工 事 名	：R4東関道清水地区跨道橋上部工事	橋 長	：60.7m
所 在 地	：茨城県潮来市清水地先	幅 員	：6.5m
発 注 者	：関東地方整備局 常総国道事務所	架 設 工 法	：固定式支保工
形 式	：（新設）PC単純箱桁橋	竣 工 年 月	：2024年2月



東海環状中西郷高架橋西 IIK

工 事 名	：令和3年度東海環状中西郷高架橋西PC上部工事	橋 長	：190m
所 在 地	：岐阜県岐阜市中西郷	幅 員	：11.766m
発 注 者	：中部地方整備局 岐阜国道事務所	架 設 工 法	：クレーン架設
形 式	：PC6径間連結コンポ橋	竣 工 年 月	：2024年3月



東海環状大安2高架橋 IIK

工 事 名	令和3年度東海環状大安2高架橋PC上部工事	橋 長	219m
所 在 地	三重県いなべ市大安	幅 員	10.75m
発 注 者	中部地方整備局 北勢国道事務所	架 設 工 法	クレーン架設
形 式	PC6径間連結コンポ橋	竣 工 年 月	2024年3月

※本技報 P71の工事報告6もご参照ください。



川西高架橋(P8-A2) IIK

工 事 名	R4-5川西高架橋上部P8-A2工事	橋 長	95.4m
所 在 地	徳島県徳島市上八万町川西地先	幅 員	10.17m～13.67m
発 注 者	四国地方整備局 徳島河川国道事務所	架 設 工 法	固定式支保工
形 式	PC4径間連続中空床版橋	竣 工 年 月	2024年3月

※本技報 P60の工事報告3もご参照ください。



赤野高架橋(A1-P5) IIK

工 事 名	：R4-5赤野高架橋上部A1-P5工事	橋 長	：145m
所 在 地	：高知県安芸市赤野	幅 員	：10.14m
発 注 者	：四国地方整備局 土佐国道事務所	架 設 工 法	：固定式支保工
形 式	：PC5径間連続ラーメン中空床版橋	竣 工 年 月	：2023年12月



西万木高架橋 IIK

工 事 名	：西万木高架橋PC新設	橋 長	：129m
所 在 地	：滋賀県高島市安曇川町青柳地先	幅 員	：10.58m
発 注 者	：近畿地方整備局 滋賀国道事務所	架 設 工 法	：クレーン架設
形 式	：PC4径間連結コンボ橋	竣 工 年 月	：2023年6月



宮ノ陣1号橋 IIK

工 事 名	宮ノ陣1号橋上りPC新設	橋 長	130m
所 在 地	福岡県久留米市宮ノ陣五郎丸地内	幅 員	12.3m～16.5m
発 注 者	九州地方整備局 福岡国道事務所	架 設 工 法	固定式支保工
形 式	PC5径間連続中空床版橋	竣 工 年 月	2023年6月



立野ダム試験湛水用ゲート製作据付工事 IIK

工 事 名	立野ダム試験湛水用ゲート製作据付工事	工 事 内 容	上段試験湛水用ゲート:2門 下段試験湛水用ゲート:1門 他
所 在 地	熊本県阿蘇郡南阿蘇村大字立野地先	竣 工 年 月	2024年3月
発 注 者	九州地方整備局 立野ダム工事事務所		
型 式	鋼製角落しゲート		

※本技報 P98の工事報告14もご参照ください。



雄物川下流新波川排水樋門ゲート設備新設工事 IIK

工 事 名	雄物川下流新波川排水樋門ゲート設備新設工事	工 事 内 容	二相ステンレス鋼製プレート ガーダ構造ローラゲート:幅6.6m×高4.3m×5門
所 在 地	秋田県秋田市雄和繫地内	竣 工 年 月	2024年3月
発 注 者	東北地方整備局 秋田河川国道事務所		
型 式	二相ステンレス鋼製ローラゲート		

※本技報 P102の工事報告15もご参照ください。



合志川山城堰ゲート設備工事 IIK

工 事 名	合志川山城堰ゲート設備工事	工 事 内 容	魚腹式ステンレス鋼製起伏ゲート (軸ねじり式):純径間 25.0m×有効高 3.05m×3門
所 在 地	熊本県熊本市北区植木町米塚地先	竣 工 年 月	2023年12月
発 注 者	九州地方整備局 菊池川河川事務所		
型 式	洪水吐ゲート(鋼製起伏ゲート)		

※本技報 P90の工事報告12もご参照ください。



東横堀川水門マイターゲート扉体改修工事 IIK

工 事 名	東横堀川水門マイターゲート扉体改修工事	工 事 内 容	鋼製マイターゲート: 純径間22.0m×有効高4.75m×1門
所 在 地	大阪府大阪市中央区高麗橋1丁目2-5	竣 工 年 月	2024年2月
発 注 者	大阪市建設局		
型 式	ステンレス鋼製マイターゲート		

※本技報 P92の工事報告13もご参照ください。



上平井水門耐震補強工事に伴う設備工事 IIK

工 事 名	上平井水門耐震補強工事に伴う設備工事	型 式	鋼製ローラゲート
所 在 地	東京都葛飾区西新小岩3丁目地内	工 事 内 容	電気設備工事・扉体洗浄装置
発 注 者	東京都江東治水事務所	竣 工 年 月	2024年3月



村山北部国営施設機能保全事業 新鶴子ダム取水設備他改修工事 IIK

工 事 名	村山北部国営施設機能保全事業 新鶴子ダム取水設備他改修工事	工 事 内 容	円形多段式ゲート ワイヤロープ更新、 制水・緊急放流ゲート 扉体更新取水・ 放流設備 機側操作盤・自動制御盤 他更新
所 在 地	山形県尾花沢市大字鶴子地内	竣 工 年 月	2024年2月
発 注 者	東北農政局		
型 式	取水ゲート(ステンレス製シリンダーゲート) 制水ゲート・緊急放流ゲート(ステンレス製スライドゲート)		

※本技報 P74の工事報告7もご参照ください。



阿武隈大堰機械設備修繕工事 IIK

工 事 名	阿武隈大堰機械設備修繕工事	型 式	シェル構造ローラゲート
所 在 地	宮城県巨理郡巨理町逢隈地内外	工 事 内 容	扉体塗替塗装・水密ゴム取替、ワイヤロープ取替
発 注 者	東北地方整備局 仙台河川国道事務所	竣 工 年 月	2024年3月



R4新潟大堰外ゲート設備修繕工事 IIK

工 事 名	R4新潟大堰外ゲート設備修繕工事	工 事 内 容	① 閘門下流ゲート 扉体塗替塗装、水密ゴム取替 他
所 在 地	新潟市西区関屋地先		② 調節ゲート
発 注 者	北陸地方整備局 信濃川下流河川事務所		開閉装置部品取替、支援システム盤製作据付
型 式	① 新潟大堰（ローラゲート）、 ② 中ノ口川水門（単葉シェル構造鋼製引上式転倒ゲート）	竣 工 年 月	2024年1月



令和2-4年度 中筋川ダムオリフィスゲート設備改良工事 IHK

工 事 名	令和2-4年度 中筋川ダムオリフィスゲート設備改良工事	工 事 内 容	上段オリフィスゲート
所 在 地	高知県宿毛市平田町黒川地先		ステンレス鋼製ローラゲート:2.0m×2.2m×1門
発 注 者	四国地方整備局 渡川ダム統合管理事務所		下段オリフィスゲート
型 式	ステンレス鋼製ローラゲート		ステンレス鋼製ローラゲート:2.0m×2.2m×1門
		竣 工 年 月	2023年6月

※本技報 P84の工事報告11もご参照ください。



真幸堰1号ゲート設備修繕工事 IHK

工 事 名	真幸堰1号ゲート設備修繕工事	工 事 内 容	開閉装置更新、
所 在 地	宮崎県えびの市大字向江地先		主及びサイドローラ工場分解整備及び取替、
発 注 者	九州地方整備局 川内川河川事務所		予備ゲート設置 撤去
型 式	シエル構造鋼製ローラゲート:純径間33.5m×扉体高3.22m	竣 工 年 月	2024年3月



寒狭川頭首工ゲート設備整備工事 IHK

工 事 名：寒狭川頭首工ゲート設備整備工事
 所 在 地：愛知県新城市玖老勢地内
 発 注 者：独立行政法人 水資源機構 豊川用水総合事業部
 形 式：シエル構造鋼製ローラゲート2門
 純径間27.5m×扉体高3.9m(1門フラップ付き)
 鋼製スライドゲート3門

工 事 内 容：洪水吐ゲート：扉体・開閉装置塗装、水密ゴム取替、扉体整備、
 ワイヤロープ取替、開閉装置（電動機、ブレーキ、開度計）取替、
 機側操作盤更新、
 取水口ゲート：扉体・開閉装置・スクリーン塗装、水密ゴム取替、
 機側操作盤取替、開閉装置B級点検

竣 工 年 月：2024年3月

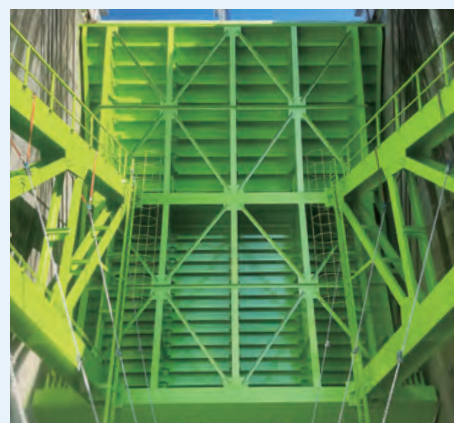


天ヶ瀬ダムゲート設備修繕工事 IIK

工 事 名：天ヶ瀬ダムゲート設備修繕工事
 所 在 地：京都府宇治市宇治金井戸地内
 発 注 者：近畿地方整備局 淀川ダム統合管理事務所
 型 式：(主ゲート)鋼製ローラゲート3.42m×4.56m
 油圧シリンダ式
 (クレストゲート)鋼製ラジアルゲート10.0m×4.367m
 油圧シリンダワイヤロープ式

工 事 内 容：(主ゲート)油圧ユニット更新1基、副開度計更新2台、
 噴流防止板更新1門
 光送受信装置撤去3架、運転支援システム盤移設3架
 (予備ゲート)扉体付手摺更新 1門
 (クレストゲート)油圧シリンダ工場整備2基、
 開度計更新2台、休止フック更新2門
 (操作制御設備)ソフトウェア改造1式、サーバ改造1式

竣 工 年 月：2024年3月



ゲート修繕工事 塩原ダム(河砂保全) IIK

工 事 名：ゲート修繕工事 塩原ダム(河砂保全)
 所 在 地：栃木県那須塩原市金沢
 発 注 者：栃木県矢板土木事務所

型 式：ラジアルゲート
 工 事 内 容：扉体塗替塗装、水密ゴム・サイドローラ取替
 竣 工 年 月：2024年3月



鹿ノ子ダム堰堤維持の内 利水放流ゲート開閉装置外修繕工事 IIK

工 事 名：鹿ノ子ダム堰堤維持の内 利水放流ゲート開閉装置外修繕工事
 所 在 地：北海道常呂郡置戸町字常元
 発 注 者：北海道開発局 網走開発建設部

型 式：ジェットフローゲート／スルースバルブ
 工 事 内 容：油圧シリンダ分解整備、シールリング取替
 竣 工 年 月：2024年3月



山堰改(改)第1号の1他 山財ダム堰堤改良工事 IIK

工 事 名：山堰改(改)第1号の1他 山財ダム堰堤改良工事
 所 在 地：愛媛県宇和島市津島町山財
 発 注 者：愛媛県南予地方局
 型 式：放流設備 主ゲートホロージェットバルブ 口径400mm

工 事 内 容：本体(アンカ金物含む)・開閉装置
 (スピンドル、ユニバーサルジョイント含む)の更新
 副ゲート 開閉装置分解整備
 竣 工 年 月：2024年3月



日吉ダム非常用洪水吐き設備外整備工事 IIK

工 事 名	日吉ダム非常用洪水吐き設備外整備工事	工 事 内 容	(非常用洪水吐き設備主ゲート1～4号)
所 在 地	京都府南丹市日吉町中地内		電動機更新4台、制動機更新4台、機側操作盤更新4面、
発 注 者	水資源機構 日吉ダム管理所		底部戸当り補修4門
型 式	(非常用洪水吐き設備) ラジアルゲート9.0m×11.65m 1M2D ワイヤロープウインチ式		(堤内排水設備)ポンプ制御盤更新1面
竣 工 年 月	2024年3月		



日吉ダム常用洪水吐き設備整備工事 IIK

工 事 名	日吉ダム常用洪水吐き設備整備工事	工 事 内 容	(常用洪水吐き主ゲート1、2号)
所 在 地	京都府南丹市日吉町中地内		油圧シリンダ分解整備2門
発 注 者	水資源機構 日吉ダム管理所		油圧ユニット部品取替2門
型 式	(常用洪水吐き主ゲート) 摺動式高圧ラジアルゲート 4.0m×4.1m 摺動式油圧シリンダ式	竣 工 年 月	2024年3月



和賀中央水管理施設製作据付工事 IIK

工 事 名	：和賀中央水管理施設製作据付工事	工 事 内 容	：親局設備(1式)、TM/TC子局設備(2式)、TM子局設備(15式)、 カメラ設備(1式)、水位計(15台)、流量計(3台)
所 在 地	：岩手県北上市和賀町長沼地内 他	竣 工 年 月	：2023年12月
発 注 者	：東北農政局		
型	式：水管理システム		

※本技報 P80の工事報告9もご参照ください。



河川(交付)工事(監視制御装置更新) IIK

工 事 名	：河川(交付)工事(監視制御装置更新)	工 事 内 容	：ダム管理用制御処理設備(1式)、気象観測装置(1式)、 ゲート機側操作盤(4面)、カメラ設備(2式)、放流警報装置(1式)
所 在 地	：福島県会津若松市湊町大字赤井地内外	竣 工 年 月	：2024年3月
発 注 者	：福島県 喜多方建設事務所		
型	式：ダム管理用制御処理設備		

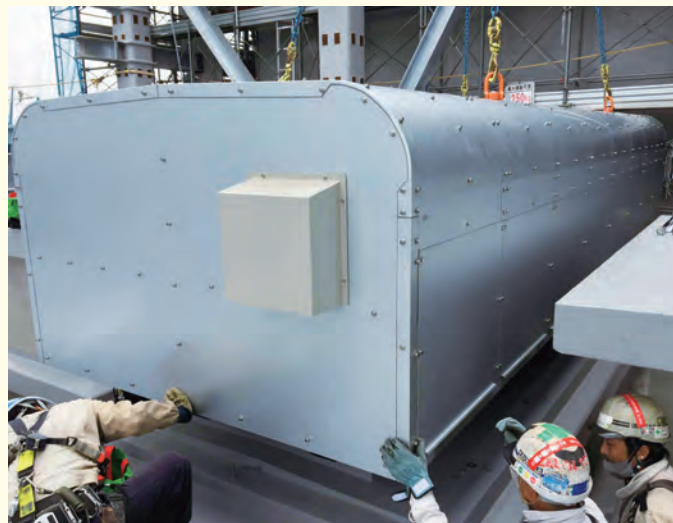
※本技報 P82の工事報告10もご参照ください。



前山池ゲート操作制御設備整備工事 IIK

工 事 名：前山池ゲート操作制御設備整備工事
 所 在 地：愛知県常滑市金十字石坂地内
 発 注 者：独立行政法人 水資源機構 愛知用水総合管理所
 型 式：ジェットフローゲート1門、スルースバルブ4門、
 スライドゲート6門

工 事 内 容：バルコン、モンピコンB級点検11門、
 機側操作盤更新2面、
 中央監視制御盤取替1面、空気弁取替2台、
 開度変換機取替1台
 竣 工 年 月：2024年3月



虎ノ門・麻布台地区第一種市街地再開発事業に係る B-2街区施設建築物等新築建築工事 IIK

ビル名称：麻布台ヒルズレジデンスA
 主：虎ノ門・麻布台地区市街地再開発組合
 計：森ビル株式会社、株式会社日本設計、清水建設株式会社
 理：森ビル株式会社、株式会社日本設計
 施：工：清水建設株式会社

型式：レール式1軸アクティブ方式(リニアモータ駆動型)
 可動マス質量：X方向20t、Y方向40t
 有効ストローク：X方向±1,500mm、Y方向±2,000mm
 設置台数：X方向2台、Y方向2台
 竣工年月：2023年9月



梅田3丁目計画(仮称)建設工事 IIK

ビル名称：JPタワー大阪
 主：日本郵便株式会社、西日本旅客鉄道株式会社、
 大阪ターミナルビル株式会社、株式会社TB
 計：株式会社日建設計
 理：株式会社日建設計
 施：工：梅田3丁目計画(仮称)建設工事共同企業体

型式：レール式1軸アクティブ方式(リニアモータ駆動型)
 可動マス質量：35t
 有効ストローク：±2,000mm
 設置台数：2台
 竣工年月：2024年3月



総合区民ホール制振装置設置工事 IIK

施 設 名	：タワーホール船堀 展望塔	型 式	：レール式1軸アクティブ方式(リニアモータ駆動型)
施 主	：江戸川区	可動マス質量	：350kg
設 計	：—	有効ストローク	：±350mm
監 理	：—	設 置 台 数	：2台
施 工	：戸田建設株式会社	竣 工 年 月	：2024年1月

※本技報 P105の工事報告16をご参照ください。



中野二丁目地区第一種市街地再開発事業 施設建築物新築工事 IIK

工 事 名	：中野二丁目地区第一種市街地 再開発事業施設建築物新築工事	型 式	：レール式1軸アクティブ方式(リニアモータ駆動型)
施 主	：中野二丁目地区市街地再開発組合	可動マス質量	：20t
設 計	：株式会社アール・アイ・エー	有効ストローク	：±1,500mm
監 理	：株式会社アール・アイ・エー	設 置 台 数	：2台
施 工	：西松建設株式会社	竣 工 年 月	：2023年6月

床版リニューアル

紹介技術の全体像

今は取替ではなく補強で延命したい
●FSグリッド

取替後の床版タイプは？

●プレキャストPC床版

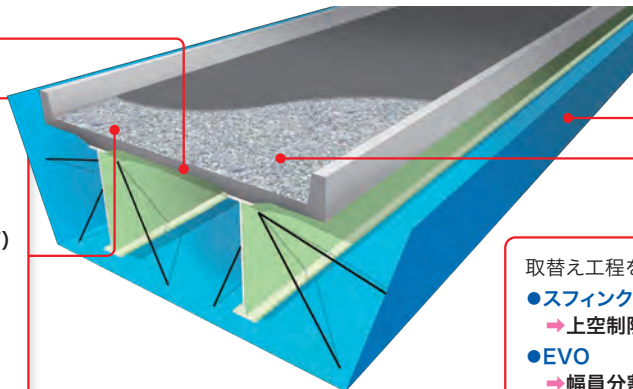
- 取替え工程を短縮したい(VanLoc)
- 床版厚を薄くしたい(Dエッジ鉄筋継手)
- 床版死荷重を軽減したい(スーパーHSLスラブ)

●鋼床版

- 取替え工程を短縮したい
- 死荷重を軽減して下部工補強を軽減したい

●鋼コンクリート合成床版

- 取替え工程を短縮したい



取替に必要な足場を早く・安全に作りたい
●ラピッドフロア

取替え工程を短縮したい

●スフィンクス

- 上空制限のある箇所で施工したい

●EVO

- 幅員分割施工したい

ラピッドフロア フロア型システム足場

技術内容

施工性を高めたシステム足場です。トラス構造のメインフレームと鋼製布板を高強度チェーンで支持した構造です。



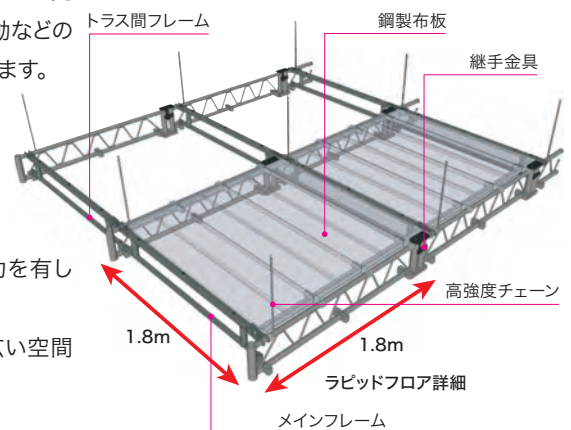
メリット

床面凹凸のないフラットな構造で、足場内での作業性に優れています。吊チェーン間隔も広いので、大型補強部材の移動などの足場内作業の効率改善につながります。メインフレームは1スパン分を安全に張り出すことができるので、組立時に高所作業車等が不要です。

IHIらしさ

- 従来の単管足場の約4倍の耐力を有します(メインフレーム)。
- 橋梁保全工事の作業に適した広い空間を確保しています。
- 高い経済性を有しています。

- 市場性のある鋼製布板を使用しています。



Dエッジ鉄筋継手 先端D形状鉄筋を用いたプレキャストPC床版用継手

技術内容

先端をD形状に拡径加工した鉄筋の使用により、継手部に作用する引張力を鉄筋の付着力と拡径部の支圧力で伝達するプレキャストPC床版の継手工法です。拡径鉄筋の有効高さとかぶりを確保しています。

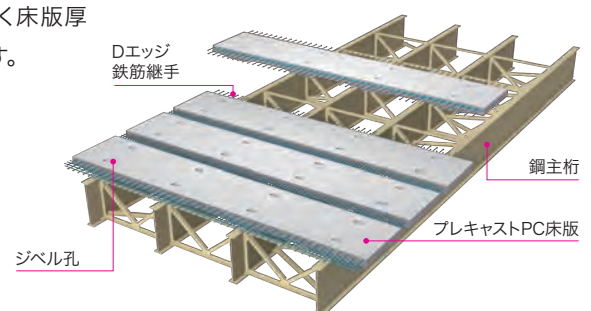


メリット

橋軸方向および橋軸直角方向への適用が可能で、橋軸方向の接合では間詰部に配置する直角方向鉄筋の施工性を向上するとともに、ループ鉄筋の加工における最小曲げ半径の制約を受けることなく床版厚を抑えて死荷重の増加を防ぎます。

IHIらしさ

橋軸方向、橋軸直角方向それぞれの接合に対して輪荷重走行試験を実施、床版の継手構造として十分な疲労耐久性を有することを確認しています。



スフィンクス

全幅員床版取替機

技術内容

既設床版の撤去から取替床版の架設まで、一台で施工ができる自走式の床版取替機です。

機械高を抑えた構造のため、上空に交差物件がある場所でも施工が可能です。

メリット

全幅員床版取替え対応用ではあるものの、道路幅員に合わせて機械幅を調節可能です。

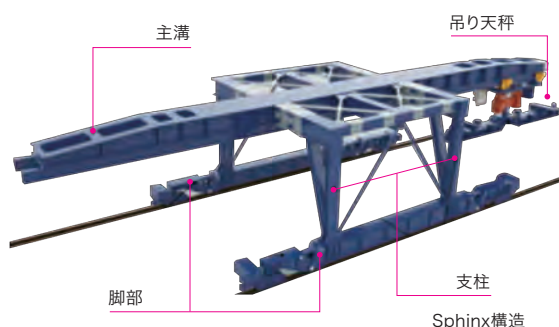
IHIらしさ

床版撤去から架設に至る一連の作業を1台で行います(効率化)。

- 重量の大きい移動式クレーンに比べ軽量で鋼桁への負担が小。
- 立体交差など上空制限下で効果的です。



新設床版架設作業



EVO

幅員分割床版取替機

技術内容

既設床版の撤去から取替架設まで、一台で施工ができる自走式の床版取替機です。

メリット

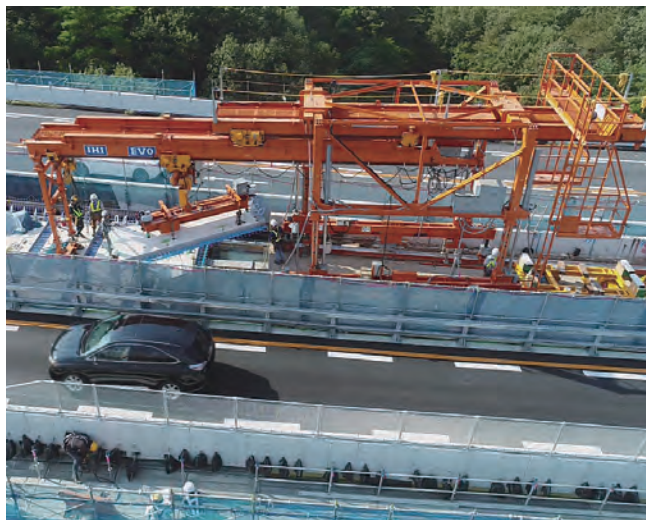
既設床版の撤去・取替床版の架設に機械の旋回動作が不要なため、約1車線分の幅員幅があれば、床版取替に関わる全ての施工が本機械で可能です。そのため、幅員方向に分割して、運用車線に近接した

位置での工事が可能となります。

取替機本体重量が小さいため、既設の桁や下部工の重量負担を最小限に抑えることができ、施工時の機械荷重を低減する必要がある工事にも適しています。さらに、鉛直ジャッキとツイングジャッキ駆動による移動機構を採用することで、車輪による移動機構では対応が難しい曲線橋や、縦横断勾配の大きい橋にも対応できます。

IHIらしさ

上部横梁の張り出し、主脚の伸縮を内蔵の油圧ジャッキで行うため、クレーンを使用せずに、運搬トレーラーから床版取替機(EVO)本体が自立します。床版取替機の移動機構にはPC箱桁橋の張出し架設時に使用する移動作業車の移動機構を応用したシステムを採用しています。



VanLoc プレキャストPC床版の機械式継手

技術内容

プレキャストPC床版の新しい形式の機械式継手です。

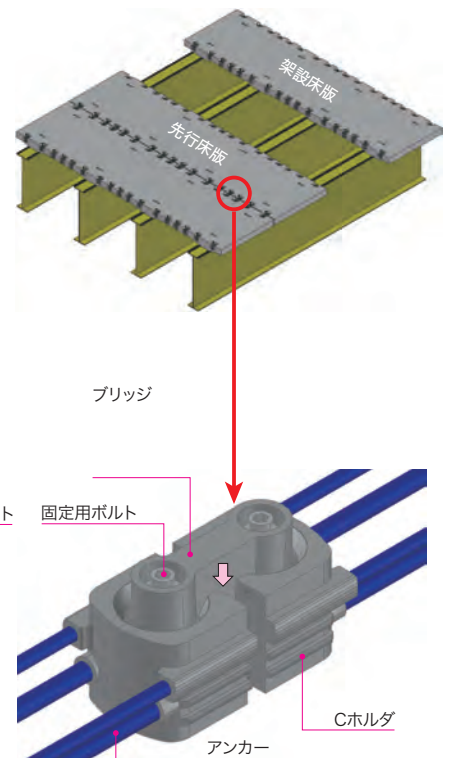
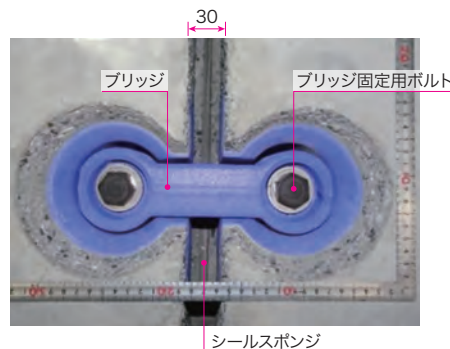
メリット

一般的なループ継手で必要となる、間詰め部の鉄筋組立・型枠組立・コンクリートの打込みを不要とすることができます。幅30mmの間詰め部には、無収縮モルタルを充填するのみで、ループ継手よりも間詰め部の施工を省力化、省人化することができます。また、床版端部からの鉄筋突出が無くなるため、運搬時の制約を受ける床版割付幅を長くすることが可能となり、プレキャストPC床版の枚数をループ継手よりも削減できます。これらにより、一般的なループ継手よりも工期短縮が可能です。また、床版端部からの鉄筋突出がないことで、鉄筋同士が干渉することが無くなるため、容易にプレキャストPC床版の架設をすることができます。

IHIらしさ

プレキャストPC床版架設時には、くさび形状の架設用部材をボルト締めすることにより、架設床版の位置を先行設置した床版に合わせ、幅30mmに引き寄せが可能となります。

- ① 接合部の型枠・鉄筋組立が不要です。
- ② コンクリート打設が不要です。
- ③ PC床版枚数を削減可能です。
- ④ 鉄筋の突出がなく、架設が容易です。
- ⑤ 架設床版の引き寄せが可能です。



スーパーHSLスラブ 高強度軽量プレキャストPC床版

技術内容

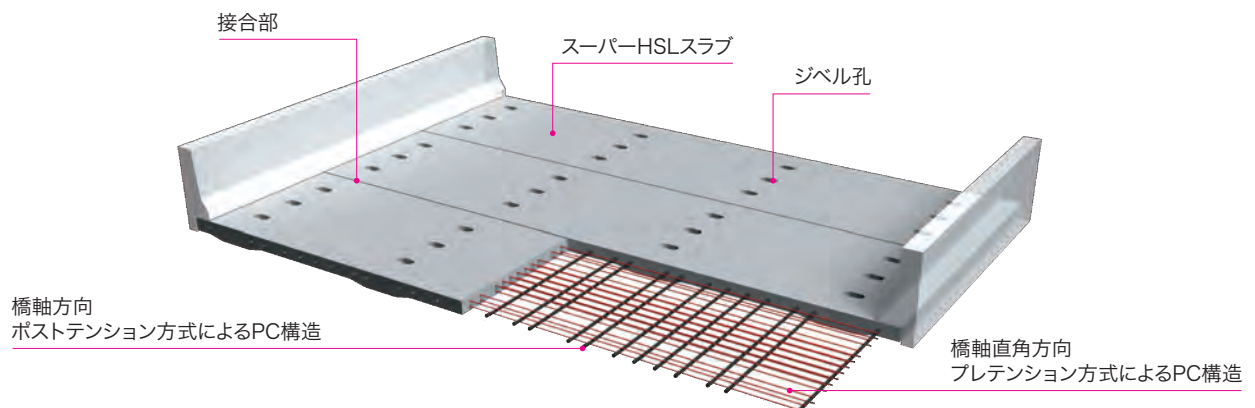
粗・細骨材に人工軽量骨材を用いた軽量コンクリート2種の使用により床版自重を軽減した鋼道路橋RC床版取替用の高強度軽量プレキャストPC床版です。

メリット

軽量コンクリート2種の使用によりRC床版に対して34%、一般的なPC床版に対しても27%床版自重を軽減、活荷重対応や幅員拡幅など床版取替に伴う下部工や既設鋼主桁の応力負担の増加を抑え、補強を簡素化することができます。

IHIらしさ

軽量骨材を絶乾状態で使用することで凍結融解や塩分浸透に対する抵抗性を確保、橋軸方向・橋軸直角方向ともPC構造とすることで輪荷重に対する押抜きせん断耐力の向上を図っています。



FSグリッド FRPによる既設床版の延命工法

技術内容

床版直下にFRPの横桁・縦桁を配置し、床版の変位を押さえることで、既設床版の延命化を可能とする技術です。

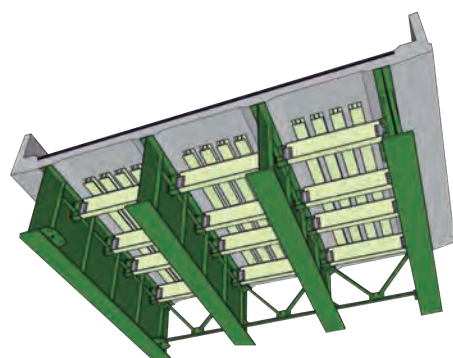
メリット

現状の床版をそのまま活用し、延命化したときに有効な技術となります。例えば、損傷している床版に対して、う回路が確保できない等の理由により床版取替ができない条件下などで活躍します。本技術は床版下面での施工となるため、規制回数の低減が可能になります。また、使用材料のFRPは軽量かつ腐食の心配がありません。炭素繊維補強工法や鋼板接合工法では対応できない劣化床版にも対応が可能であり、使用限界(劣化度0.9)に近い状態の床版で

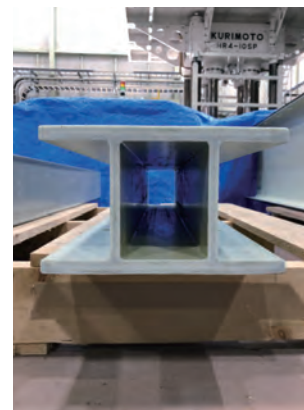
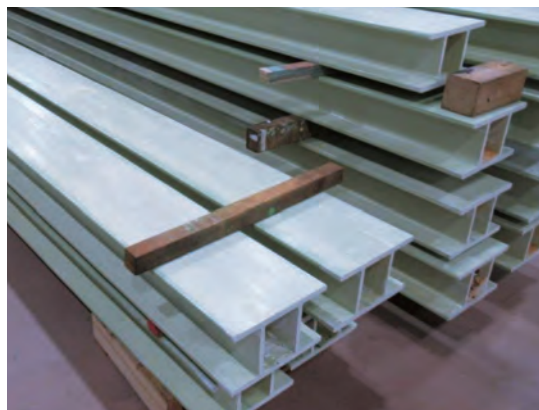
も延命効果を発揮します。本技術を採用することで、床版取替に比べてCO₂排出量を半減できるため、環境的にも優れた工法となります。

IHIらしさ

ガラス繊維を用いたGFRPをベースに、強度の必要な部位に炭素繊維を用いたハイブリッドFRP部材を採用しています。(特許出願中)



現在のFSグリッド構造イメージ



材質:GFRP(ガラス繊維強化プラスチック)



強度が必要な部位にはCFRP(炭素繊維強化プラスチック)を使用したハイブリッド断面を使用

チャンネルビーム合成床版 鋼コンクリート合成床版

技術内容

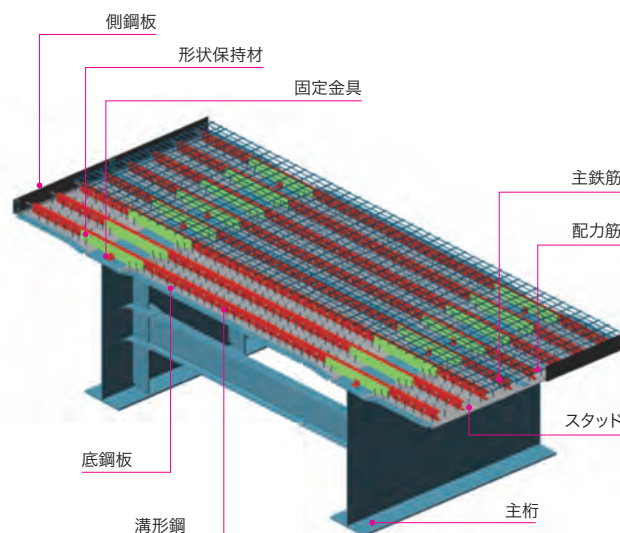
工場製作した鋼板パネルとコンクリートを、ずれ止めを介して一体化させる鋼コンクリート合成床版です。

メリット

床版支間の大きな少数主桁橋に対応可能で、PC床版と同等の高い耐力・耐久性を有します。場所打ち床版では現場での型枠工・鉄筋工を削減でき、工期短縮が可能です。また、プレキャスト床版とすることで現場でのコンクリート工も削減でき、さらなる工期短縮が可能です。

IHIらしさ

補強リブに流動孔を設けた溝形鋼を、ずれ止めには頭付きスタッドを用い、底鋼板とコンクリートを一体化します。底鋼板接合部に弊社技術のIWナットを用いることで、場所打ち・プレキャストとも床版上面からのみの接合作業が可能となり、足場の簡素化や省力化を図ることが可能です。

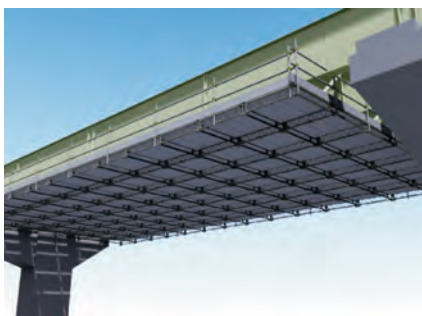


簡単な組立解体、高強度で広い作業空間が構築可能、
橋梁補修工事に適したフロア型システム足場

ラピッドフロア® Rapid Floor®

ラピッドフロア®の概要

床版取替えや橋梁補修工事の吊り足場は単管パイプと足場板で構成されるパイプ吊り足場が一般的です。近年、安全性、生産性向上のため床面をフラットに施工できるシステム足場の採用が増加しており、橋梁補修工事で使用する場合、足場上で床版取替え、補強部材等の重量物を取り扱うため、より高強度で作業スペースを広く確保できるシステム足場が求められています。このことから、高強度かつ安全性、施工性を向上させたフロア型システム足場「ラピッドフロア®」を、(株)IHIインフラシステム、日建リース工業(株)、信和(株)の3社で共同開発しました。



ラピッドフロア®(特許番号:第6957723号、第7179924号)



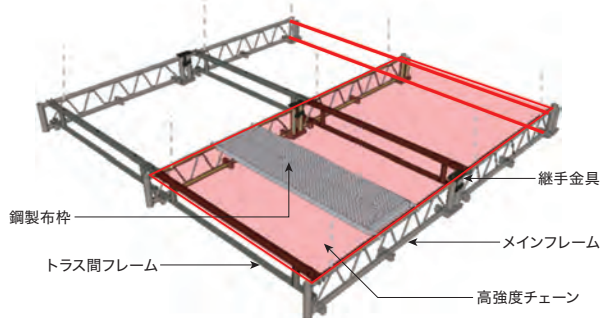
高架橋架設工事での施工例

ラピッドフロア®のコンセプト

- 1. 広空間:** 足場作業が主体となる補修工事用の吊り足場は、吊チェーンが密になりがち。補修工事でも広空間確保の構造としました。
- 2. 高強度:** 補修工事における補強部材等の重量物の搭載を想定した高強度な足場を目指しました。
- 3. 組立・解体作業の安全性、施工性が向上**
メインフレームの連結部が回転構造となっているため、足場上からの張出し施工が可能である。また、メインフレームの継手金具にはワンタッチで着脱できる独自構造を採用。横支材の連結構造にも横剛性を向上できる新構造を採用。

ラピッドフロア®の構造

- 1. メインフレーム:** 重量部の搭載に耐荷するトラスフレーム。
人力で可搬可能な軽量部材(17kg)。
- 2. 継手金具:** メインフレーム端部ジョイントに差し込み、固定し足場組立時には、組立て方向にメインフレームを回転張出しできる構造。
- 3. トラス間フレーム:** メインフレームの上・下弦材に強固に固定できる横支材。足場フレーム全体の剛性を高める機能を有します。
- 4. 鋼製布杵:** 市販(日建リース工業(株))の鋼製布杵。
隙間なく、フラットに敷設できます。
- 5. 高強度チェーン:** 一般の吊チェーンの4倍の強度を有する専用チェーン。



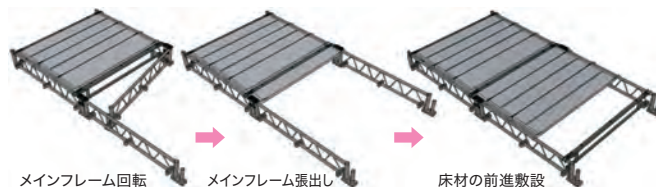
ラピッドフロア®の特徴と性能

- 1. フラットで広い作業スペース**
吊りチェーン間隔が縦横1.8mのため、足場内の作業スペースが広くとれ、作業効率、生産性向上につながる。
- 2. 従足場と比較して、約4倍※の強度を実現**
トラス構造のメインフレームと高強度チェーンを使用することにより、従来品の約4倍の強度を実現。(※標準的な足場吊りチェーンを使用した足場との強度比)
- 3. 効率性:** メインフレームの接続構造を工夫することで、少人数で簡易かつ、安全に張り出し組立ができます。
- 4. 経済性:** 床材に市販鋼製布杵を組み合わせてことができ、経済性に優位。

ラピッドフロア®の施工と安全性(強度)

施工方法

- (1)メインフレームとトラス間フレームで構成されたスタートフレーム上に鋼製布杵(日建リース工業(株))を敷設し組立て出発エリアを構築します。
- (2)出発エリア上の作業員(墜落制止用器具使用)がメインフレーム端部のジョイント部に次メインフレーム端部を差し込み継手金具を装着固定。その後、組立方向に次メインフレームを回転張り出しします。
- (3)次メインフレーム繰り出し後は、横支材を足場上から差し込み固定。
- (4)組立方向に前進するように手前から床材を敷設します。
- (5)次フレームの床材を敷設し終わったら、先端に高強度チェーンを設置。組立て作業員は1フレームラインに対し、2名程度で作業できます。



特許権者/ (株)IHIインフラシステム 東京都江東区豊洲3-1-1 豊洲IHIビル
レンタル・販売/ 日建リース工業(株) 東京都千代田区神田猿樂町 住友水道橋ビル
製造/ 信和(株) 東京都千代田区神田佐久間町1-11 産報佐久間ビル

IHI Realize your dreams

株式会社IHIインフラシステム

【お問合せ】 東京事業所
〒135-8710 東京都江東区豊洲三丁目1番1号 豊洲IHIビル
TEL.03-6204-8538 FAX.03-6204-8932
www.ihico.jp/iis/



特許第5700608号

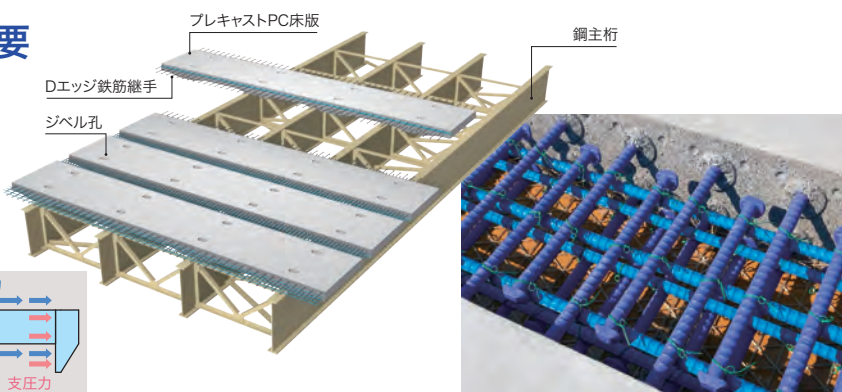
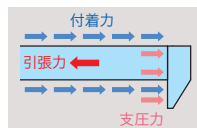
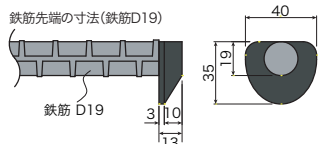
Dエッジ鉄筋継手

～先端をD形状に拡張加工した鉄筋を用いたプレキャストPC床版の継手工法～

Dエッジ鉄筋継手の概要

「Dエッジ鉄筋継手」は、熱間鍛造により先端をD形状に拡張加工した鉄筋（Dエッジ鉄筋）を用いたプレキャストPC床版の継手工法です。

継手部に作用する引張力を鉄筋の付着力と拡張加工部の支圧力で伝達します。



透明ボルトアイキャップ

～接着によるボルト防錆用キャップ～



透明ボルトアイキャップとは 特許出願中 特願第2021-087621号

透明ボルトアイキャップは、透明素材によりキャップ内部を見える化したものです。



特徴① 透明素材により
内部が見える化！

特徴② 内部の見える化により
点検業務を省力化！

特徴③ 有色の従来製品と
変わらない性能を確保！

実構造物での施工例



本製品・工法では、琉球大学他で各種確認試験を実施し、性能・耐久性を確認しています。

水切りアイドリッブ

～橋梁床版用後付け型水切り材～

特長

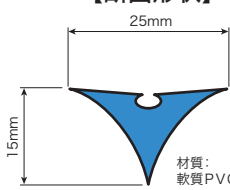
水切りアイドリッブは、橋梁床版に接着する後付け型の水切り材です。

- ▼ 後付けで鉄筋のかぶりを確保
- ▼ 床版表面の凹凸になじむ素材
- ▼ 高い耐候性

【外観】

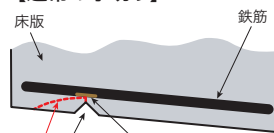


【断面形状】



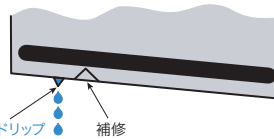
必要性

【通常の水切り】



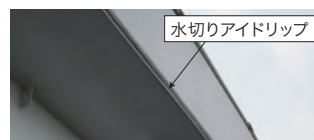
錆による膨張で発生したクラック

【水切りアイドリッブ設置】



施工例

▼ 床版水切り部



IHI Realize your dreams

株式会社IHIインフラ建設

【お問合せ】 営業本部 TEL.03-6204-8486



自走伸縮式床版取替機

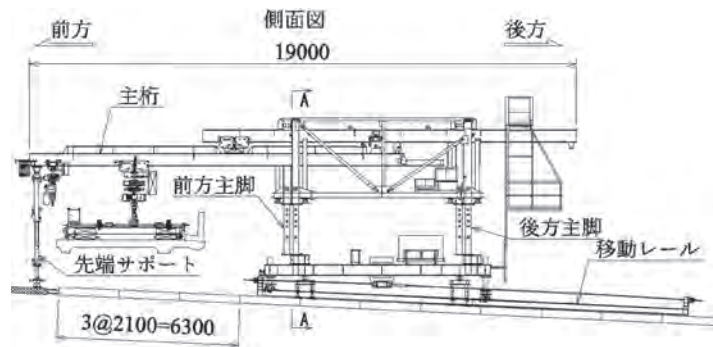
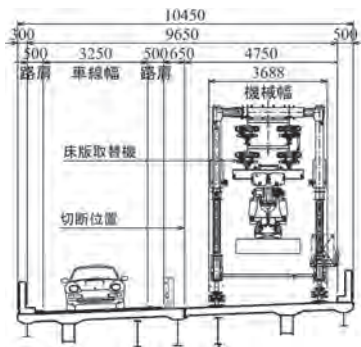
EVO

高速道路の交通を遮断することなく、**狭隘な1車線の作業帯内で安全かつ効率的に**床版取替工事を施工できる**床版取替機EVO**を開発しました。

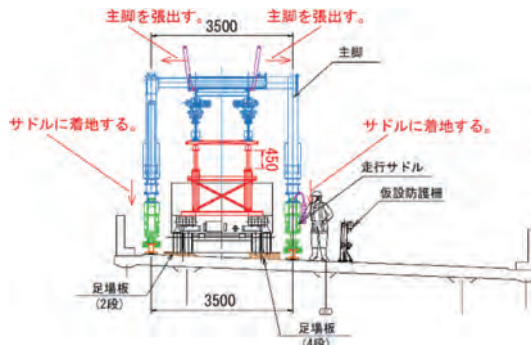
EVOは、クレーンを使用せずに床版取替にかかわる全ての施工を可能とします。



EVOは、既設床版の撤去・取替床版の架設に、機械の旋回動作が不要です。そのため、約1車線分の幅員があれば、床版取替にかかわるすべての施工が本機EVOで可能です。

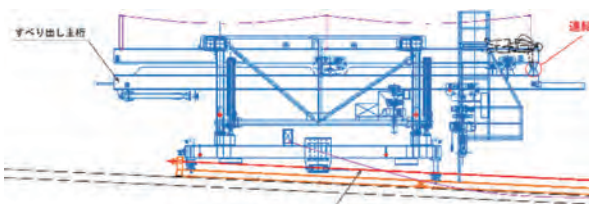


特徴① 運搬用トレーラーから**EVO本体が自立**。荷卸し・組立て用の**クレーンが不要**。

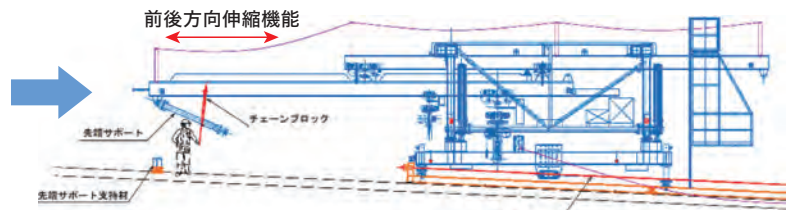


上部横梁の張り出し変形、主脚の伸縮変形を内蔵の油圧ジャッキで行います。そのため、クレーンを使用せずに運搬トレーラーからEVO本体が自立します。

特徴② 主梁は**前後にスライドして伸縮が可能**であり、**現地での組立作業が不要**です。



主梁滑り出し前(トレーラー降下後)



主梁滑り出し後(前後方向伸縮機能付き)

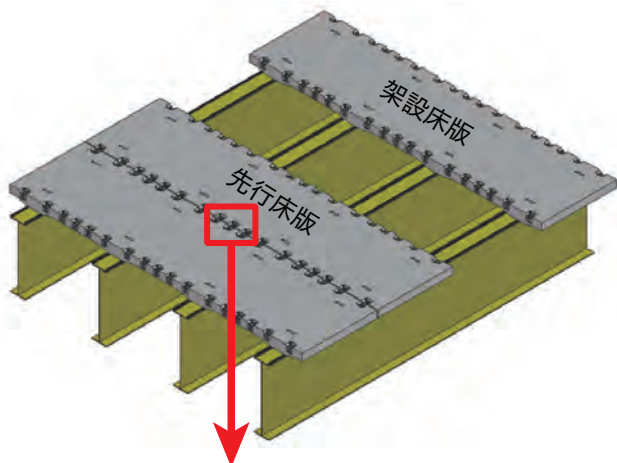
IHI Realize your dreams

株式会社IHIインフラ建設

お問合せ 営業本部 TEL.03-3699-2743
mail : iik-info_iik@ihi-g.com



概要・特長



① 接合部の型枠・鉄筋組立が不要

② コンクリート打設が不要

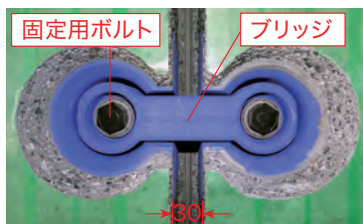
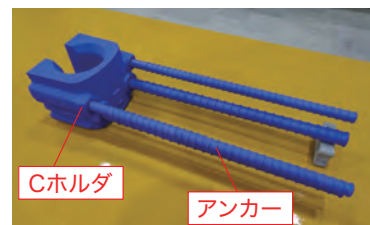
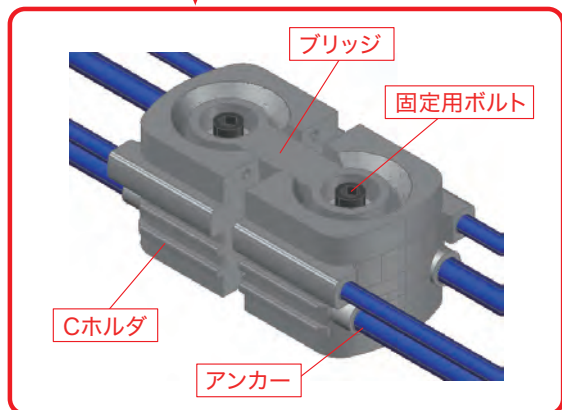
③ PC床版枚数を削減可能

ループ継手のような鉄筋による重ね継手が不要
床版幅を輸送制限(2.5m)まで長くすることが可能

④ 鉄筋の突出がなく、架設が容易

⑤ 架設床版の引き寄せが可能

逆キノコッタにより、架設床版の引き寄せが可能



施工ステップ



① 架設床版の移動



② ブリッジ設置、ボルト締め

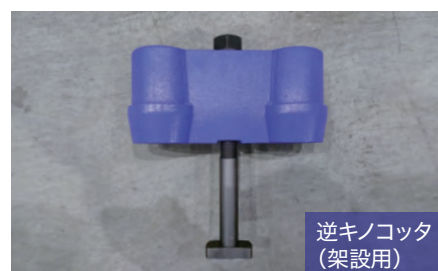


③ ブリッジ設置完了



④ 無収縮モルタル充填

架設床版の引き寄せ



逆キノコッタ
(架設用)



先行床版

架設床版の引き寄せが可能



CIM-COMPO/CIM-BOX/CIM-PCaSLAB

橋梁上部工3Dモデル作成システムは、PCコンボ橋、PC箱桁橋、プレキャストPC床版の3Dモデルを自動で作成、3Dモデルによる施工管理の高度化を支援するシステムです。



PCコンボ橋用ソフトウェア CIM-COMPO

対応：工場製作のコンボ橋、T桁橋、床版（ホロー桁）橋用
NETIS登録：KK-190036-A



PC箱桁用ソフトウェア CIM-BOX

対応：PC箱桁橋
NETIS登録：KK-210005-A



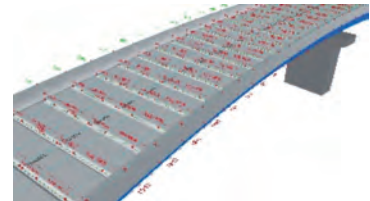
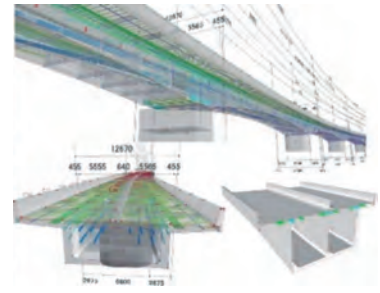
PCa床版用ソフトウェア CIM-PCaSLAB

対応：新設の鋼橋床版または床版取替工事での利用を想定したプレキャストPC床版

*橋梁上部工3Dモデル作成システムはオフィスケイワン(株)との共同開発です。



3Dモデル出力例



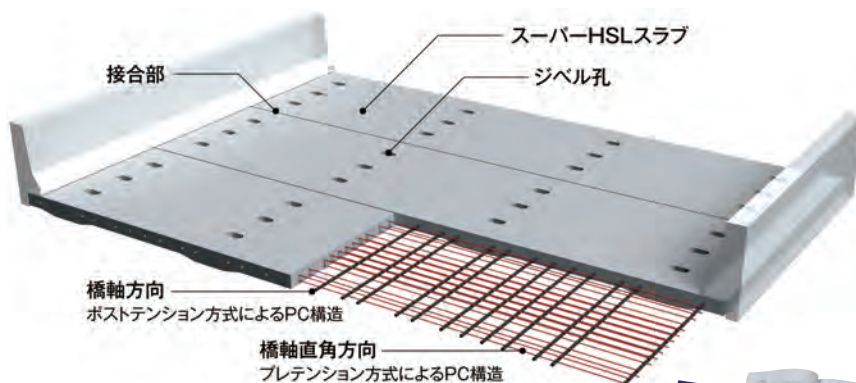
特許第6956585号

スーパーHSLスラブ

～軽量コンクリート2種を使用した道路橋RC床版取替用高強度軽量プレキャストPC床版～

スーパーHSLスラブの概要

「スーパーHSLスラブ」は、人工軽量骨材を用いた高強度軽量コンクリートの使用により、
既設RC床版に対して約34%自重を軽減できる高強度軽量プレキャストPC床版です。



技術評価報告書

「スーパーHSLスラブ」は、松井繁之大阪大学名誉教授に技術指導を頂くとともに、一般財団法人災害科学研究所より技術評価頂いております。



強く・軽く

高強度軽量コンクリート

- コンクリート強度 50N/mm²
- コンクリート単位重量 16.5kN/m³

速く・高品質

プレキャスト部材

- 省力化
- 施工性向上

高耐久性

2方向PC構造

- 橋軸直角方向プレテンション
- 橋軸方向ポストテンション

IHI Realize your dreams

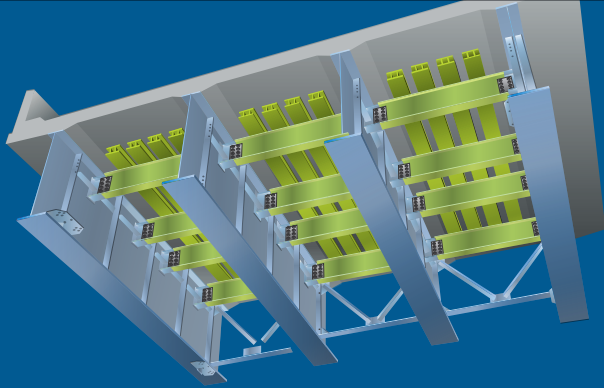
株式会社IHIインフラ建設

【お問合せ】 営業本部 TEL.03-6204-8486

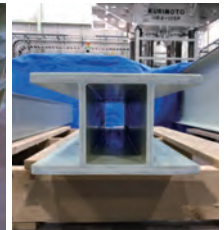
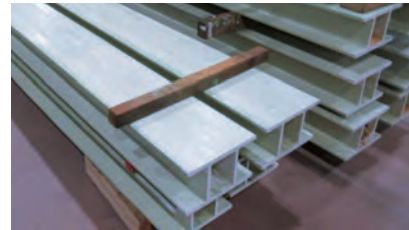


FRPによる既設床版の延命工法

床版取替工法の課題である
交通規制を大幅に低減できる
FSグリッド(FRPサポートグリッド)



▶GFRP縦桁



▶HFRP横桁

炭素繊維



▶引張試験(支圧、摩擦比較)



▶横桁・縦桁耐力力試験



▶接合部耐力力試験



▶接合部疲労試験



▶輪荷重走行試験



▶加熱試験



FSグリッドの構造

- ①桁下からの支持による確実な補強
- ②FRP部材は軽量かつ腐食の心配なし
- ③床版取替え困難な橋にも対応可能

※1 HB-FRPとは、ガラスと炭素繊維で補強されたハイブリッドFRPを示す。
※2 GFRPとは、ガラス繊維強化を示す。

【床版取替工法との比較】

工程の大幅短縮が可能
(約50%削減)

部材製作期間が短く、かつ、規制期間に左右されることなく施工が可能です。工程だけでなく作業員を減らすことができ、施工費も削減できます。

FSグリッド

製作

設置

工程短縮

床版取替工法

製作

取替

取替

集中工事期間

集中工事期間

【床版補強工法との比較】

- 床版損傷状況に幅広く対応可能
- 曲げ・せん断補強に対応可能

健全性	床版 損傷状況	工法 効果	炭素繊維補強 鋼板接着工法	FSグリッド	床版 取替工法
判定区分			曲げ補強	曲げ・せん断 補強	
I (潜伏期)	橋軸直角方向 ひび割れ				
II (進展期)	格子状の ひび割れ	↑		対応可能な 損傷範囲が広い	
III (加速期)	ひび割れ網細化 角落ち、スリット化	↓			
IV (劣化期)	抜け落ち				

IHI Realize your dreams

株式会社IHIインフラ建設

KURIMOTO
株式会社栗本鐵工所

【お問合せ】 営業本部
TEL.03-3699-2743
mail : iik-info_iik@ihi-g.com

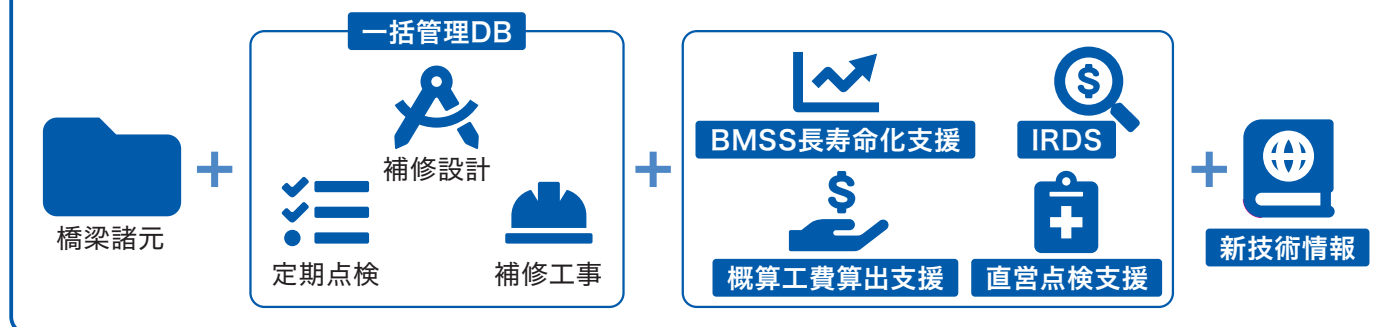




Bridge Management Support System

橋梁マネジメントサポートシステム(BMSS)は、道路管理者の一連の維持管理業務(定期点検～補修設計～補修工事)に対する様々な支援ツールを搭載しています。

BMSS (橋梁マネジメントサポートシステム)



2021年よりリリース

契約実績約40件!
管理橋梁約26,000橋

- ✓ **一括管理DB**で関連情報をすぐ確認 (R6版 道路橋記録様式対応済)
- ✓ 劣化診断・補修工法選定のサポートツール(**IRDS**)搭載
- ✓ **BMSS長寿命化支援**で優先順位やLCCを算定

推奨環境

ブラウザ: Google chrome
Microsoft edge

詳細はホームページでCheck!

BMSS



IHI Realize your dreams

株式会社 IHI 株式会社 IHI インフラシステム 株式会社 IHI インフラ建設

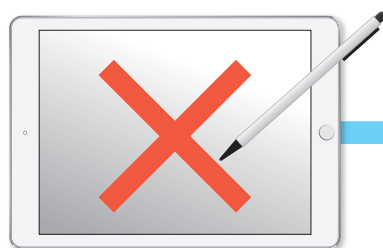
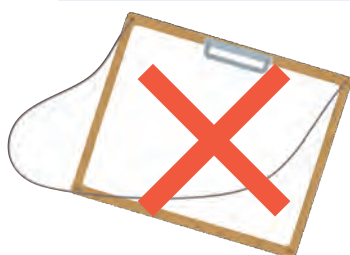
橋梁定期点検業務支援アプリ スマホ点検士®



橋梁点検を「スマホ」で効率化！

「スマホ点検士」は、道路橋の定期点検業務に関わる一連の作業をスマートフォン（現場での点検作業）／PC（事務所での準備・調書作成）で分担・連動させて業務効率化を果たすことができるシステムです。

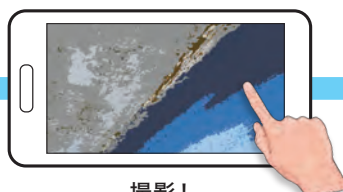
資料はコンパクトにらくらく持参！



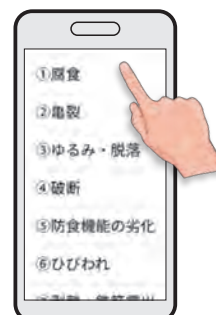
点検は簡単操作でらくらく記録！



図面をタップ！

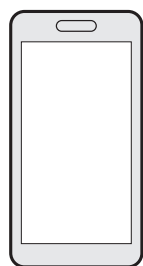


撮影！



候補から選択！

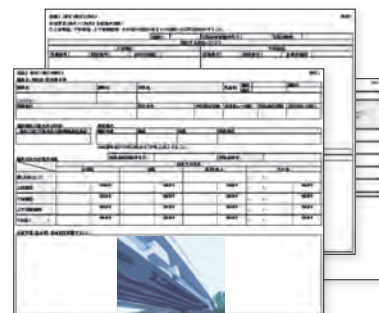
点検調書は自動でらくらく出力！



スマホ点検士（スマホアプリ）



スマホ点検士（Webアプリ）



道路橋記録様式
※令和6年度版対応

詳細はホームページでCheck!



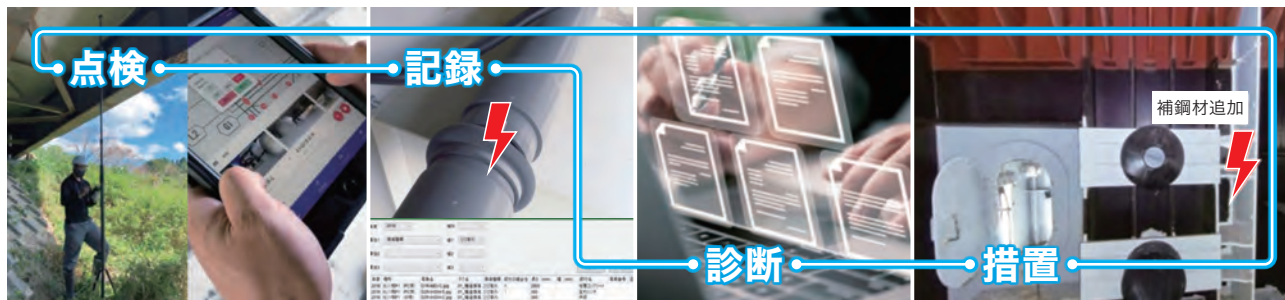
IHI Realize your dreams

株式会社 IHI 株式会社 IHI インフラシステム 株式会社 IHI インフラ建設

360度で構造物の健全度を スマートに管理するパノラマビューアシステム



一連のメンテナンスサイクルをまるっとサポート！



シーンに合わせて使い分けできる、こだわりの360度カメラ！



ナローカメラ Narrow Camera

- スマホほどの小型カメラ
- 狭隙部の撮影に最適
- 高性能なLED搭載

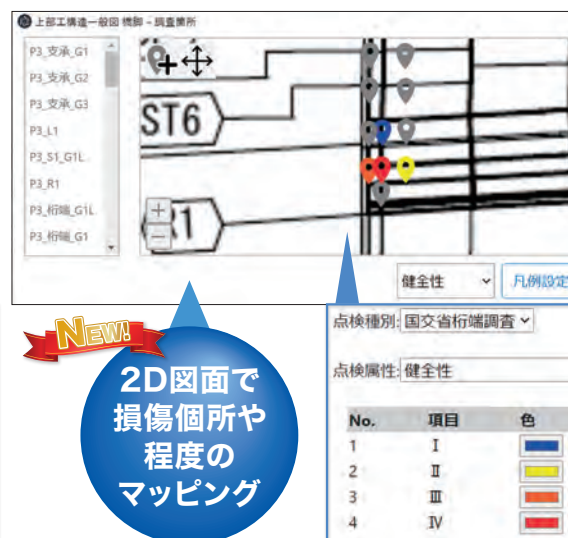


ハイレゾカメラ High Resolution Camera

- 1億2000万画素の高解像度
- 広範囲の撮影に最適
- 高性能なLED搭載



360度で構造物を点検、2D図面で損傷マッピングできる便利なビューア！



IHI Realize your dreams

株式会社IHIインフラシステム

本社 〒590-0977 大阪府堺市堺区大浜西町3番地
TEL.072-223-0981 FAX.072-223-0967
www.ihl.co.jp/iis/



AIRM 株式会社エアーム

本社 〒503-0006 岐阜県大垣市加賀野4丁目1-7
ソフトピアジャパン・センタービル9F
TEL.0584-83-1078 FAX.0584-83-1079



特願2024-095239

デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測システム

REPOLC

REPOLC(レポルク)は、「デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測の実施要領(案)」(国土交通省、令和5年7月)に準拠したクラウド型の鉄筋出来形計測システムです。

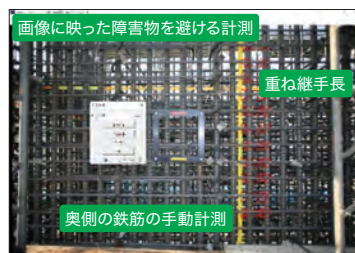
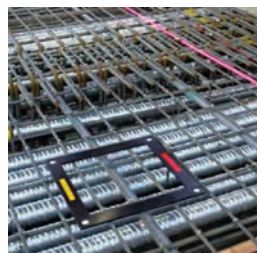


システム概要・特徴

- デジタルカメラやタブレット、スマートフォンなど、現場条件や検査範囲に合わせて撮影方法を選定、カメラ画像から鉄筋の間隔・径・本数・かぶり・重ね継手長を高精度に自動で測定します。



- 画像の任意点をクリック・タップすることで、手動で計測も可能です。
- 測定した鉄筋径・間隔より検査帳票を自動で作成します。



システム構成

情報端末: Windowsパソコン、タブレット端末(Android・iOS)など
計測機材: 校正済デジタルカメラ、画像校正用マーカープレート他

※REPOLCは内閣府の官民研究開発投資プログラム(PRISM)の枠組のもと株式会社アイティー・オフィスケイワン(株)・千代田測器(株)・インフォマティクスとのコンソーシアムで開発したデジタル配筋検査技術をクラウド化したシステムです。



橋梁架設シミュレーションシステム

Sim-BRANE

NETIS登録:KK-230075-A

「Sim-BRANE」は、従来2次元で行っていた架設計画を、3次元モデルを用いて高精度に行うことが可能な橋梁架設シミュレーションシステムです。専用の操作画面によりクレーンの基本動作や吊荷の旋回を簡単な操作で再現できるため、狭隘な施工ヤードにおける周辺構造物との離隔確認を3次元で可視化し、現場架設の安全性向上に貢献します。

■クレーンブームの起伏・旋回・伸縮を再現

登録されたクレーンモデルをワンクリックで計画位置に配置し、操作パネルのスライダーの操作で、ブームの起伏・旋回・伸縮の基本動作を再現します。

■シミュレーション結果を一括で出力

吊上げから架設完了までの一連のキーフレームを登録・編集、定格荷重の安全率やアウトリガー反力の算出、シミュレーション結果を一括で出力します。

■より安全な施工計画を支援

吊荷の過負荷や地盤の支持力不足によるクレーンの転倒リスクを可視化し、より安全な施工計画の作成を支援します。

※Sim-BRANEはオフィスケイワン(株)、(株)駒井ハルテック、川田工業(株)との共同開発システムです。



IHI Realize your dreams

株式会社IHIインフラ建設

お問合せ 営業本部 TEL.03-6204-8486



水門用蓄電バックアップシステム

ERBシステム

Energy Regenerating Back up System

スーパー台風などの大規模災害時には、大規模停電が発生する恐れがあります。水門の多くは電動機で開閉操作をおこなうため、商用電源損失（停電）時に水門の動力源が確保できなくなり、大規模災害時に水門の開閉操作ができなくなる懸念があります。

※水門用蓄電バックアップシステムの開発は、国立研究開発法人土木研究所との共同研究「停電時にも水門開操作を実現できるシステム、及びそのシステムを既設水門に付加する改造技術の開発」において実施したものです。

ERBシステムは、平常時に商用電源でバッテリーに蓄電した電力により、商用電源が喪失しても水門を開閉操作することができます。



- 既設の水門にも設置可能（建屋不要）
- 3日間停電しても水門操作が可能
- 電源は100Vの商用電源のみで200Vは不要
- 電気主任技術者の配置が不要
- 水門降下時の回生電力を再利用可能

NETIS登録番号:KT-230345-A(共同開発者:国立研究開発法人土木研究所)
特 許 番 号:P2005-37591(P4686206)、P2005-45543(P4750432)、
P2005-45546(P4634817)、P2005-148221
(P4787539)、P2006-149978(P4788908)
実用新案 登録出願中

詳しくはNETISのHPで検索

ERB



選定例：電動機容量1.5kWおよび15kW

型 番	ERB5	ERB22	備 考
対 応 電 動 機	1.5kW～5.5kW	7.5kW～22kW	AC200V
蓄 電 池 容 量	2,200Ah未満	4,800Ah未満	リチウムイオン電池
使 用 条 件	屋内-20℃～45℃		屋外仕様もあり
寸 法 ・ 質 量	動力盤(蓄電池含):約300kg 600mm×700mm×1,700mm 電源切替盤:約10kg 500mm×500mm×150mm	動力盤:約230kg 1,200mm×500mm×1,900mm 蓄電池盤:約770kg 800mm×400mm×1,900mm 電源切替盤:約220kg 700mm×400mm×1,900mm	ERB22のみシステム二重化 オプション対応時の寸法・重量です
開 閉 回 数	1回～3回		蓄電池容量にて選択可能
給 電	給電100V(低圧受電)		

IHI Realize your dreams

株式会社IHIインフラ建設

【お問合せ】 営業本部 TEL.03-3699-2743
mail: iik-info_iik@ihi-g.com



編集後記

本年度も技報第13号を発刊する運びとなりました。設計や施工をはじめとした特色ある工事や研究開発を完成させることができ、皆さまにその報告をできることを心より嬉しく思います。

特集記事では、全国の鋼橋やPC橋で取り組まれている、長寿命化や機能向上を目的とした高速道路の大規模更新・修繕・工事について取りまとめました。

本誌では、首都高速1号線の多摩川渡河部に位置する高速大師橋の架け替え工事、中央自動車道多治見ICから土岐IC間にかかる、深沢川を渡河する深沢橋の床版取替工事、小田原厚木道路と西湘バイパス上の複数橋を対象とした川端高架橋の床版取替工事、阪神高速16号大阪港線西行の阿波座付近における大規模修繕工事について、設計や施工概要など詳細に述べています。

ニュースでは、海外橋梁、国内橋梁、国内水門の進行中のプロジェクトについて、簡潔ながらもトピックスとして掲載しています。また、国内橋梁工事の中から、東扇島水江町線主橋梁部上部工事の大規模プロジェクトを取り上げました。海外橋梁工事は、ルーマニアのブライラ橋やバングラデシュのバンガバンドゥ鉄道専用橋など、新設や大規模更新プロジェクトを紹介しています。

工事報告では、国内橋梁事業の他、国内水門事業について掲載しています。既設の固定堰から可動堰へ改築した合志川山城堰ゲート設備工事、制水ゲート扉体など各設備を改修した新鶴子ダム取水設備他改修工事など、各工事における設計、製作、据付に関する新たな取り組みや工夫した項目について報告しています。

本誌では、上記以外の工事や技術開発において直面した多くの課題に対し、お客さまと協力して解決した成果をまとめました。今後も変化するニーズに迅速かつ柔軟に対応し、橋梁や水門、その他の事業を通じて社会の発展に貢献してまいります。

本技報の作成にあたり、大変多くの方々にお世話になりました。執筆者の方々、査読をいただいた方々、掲載した工事や研究に携わっていただきました多くの皆さまに編集委員一同、心より御礼申し上げます。



株式会社IHIインフラシステム

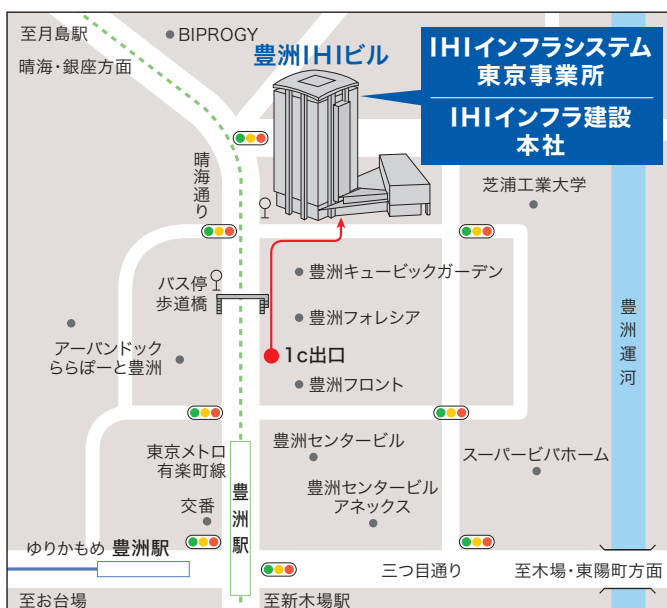
www.ihico.jp/iis/

本 社

〒590-0977 大阪府堺市堺区大浜西町3番地
TEL.072-223-0981 FAX.072-223-0967

東京事業所

〒135-8710 東京都江東区豊洲三丁目1番1号
豊洲IHIビル
TEL.03-6204-8538 FAX.03-6204-8932



株式会社IHIインフラ建設

www.ihico.jp/iik/

本 社

〒135-8710 東京都江東区豊洲三丁目1番1号
豊洲IHIビル
TEL.03-6204-8480 FAX.03-6204-8950

IHI

vol.13 2024 インフラ技報

IHI Infrastructure Technical Report

2024年11月29日 発行

発行 株式会社IHIインフラシステム

〒590-0977 大阪府堺市堺区大浜西町3番地

編集 富士フイルムシステムサービス株式会社

〒135-0061 東京都江東区豊洲3-1-1 IHIビル 5階

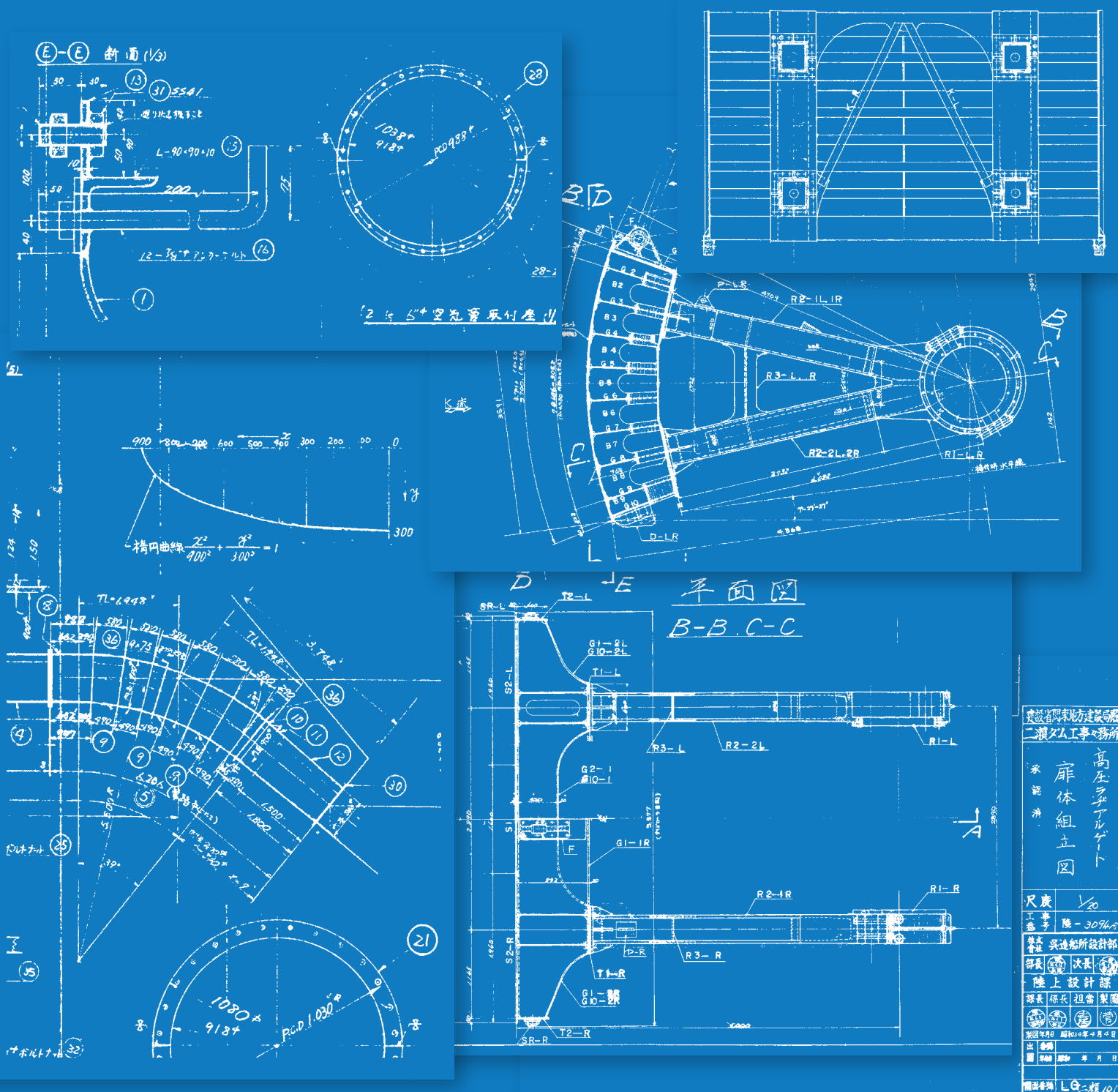
技報編集委員会

〈委員長〉● IIS 井上 学

〈委 員〉● IIS 作山 博康 徳重 雅史 社浦 潤一 安道 昌弘
牟田口 拓泉 津田 久嗣 武川 哲 竹嶋 夏海
● IIK 森内 昭 福島 憲明 風間 睦広 池上 浩太郎

(敬称略)

株式会社IHIインフラ建設
IHI Construction Service Co., Ltd.





[IHI Infrastructure Technical Report vol.13]