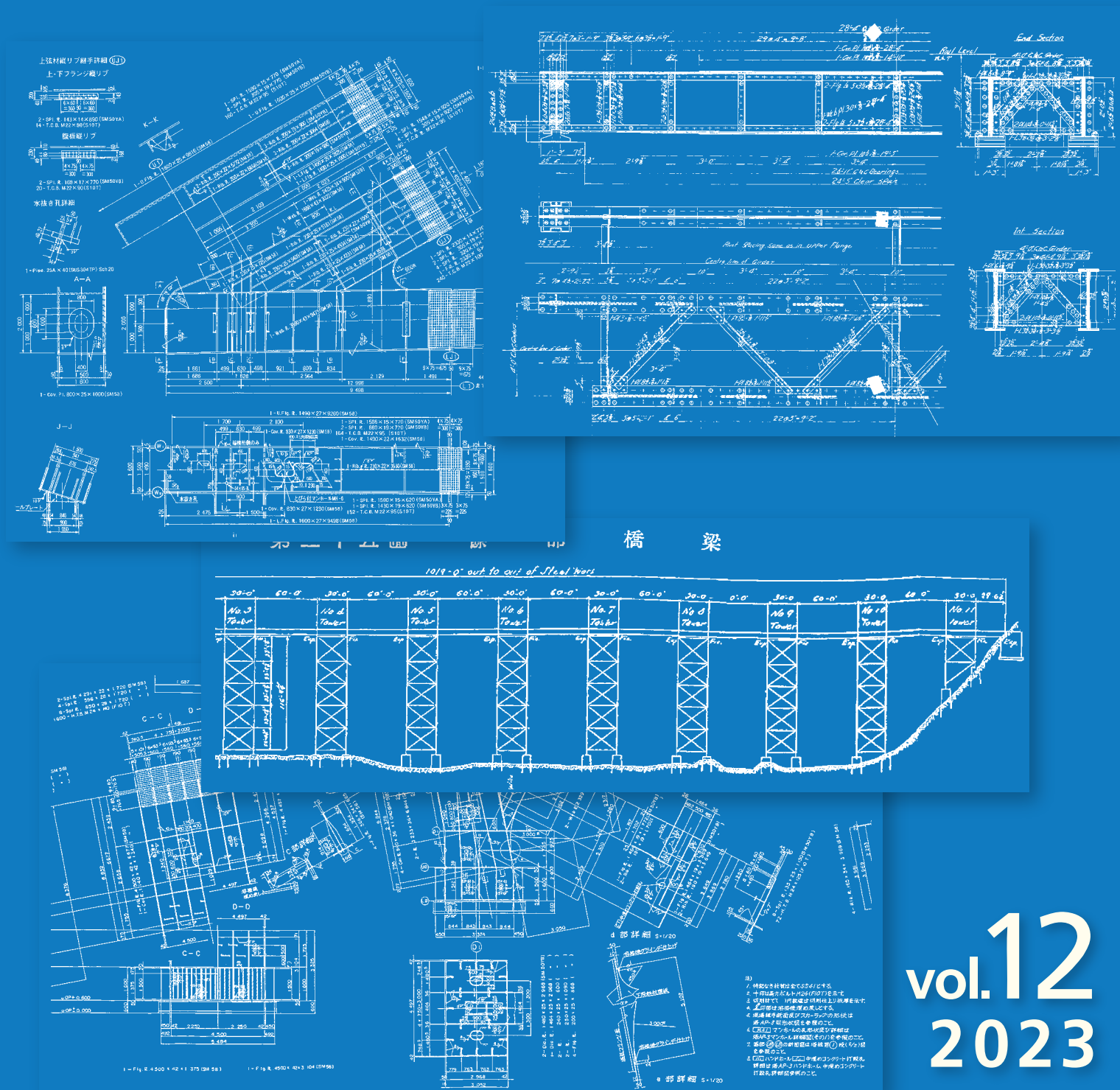




インフラ技報

IHI Infrastructure Technical Report



vol.12
2023



インフラ技報

IHI Infrastructure Technical Report

vol.12
2023



インフラ技報

IHI Infrastructure Technical Report

vol.12
2023

CONTENTS

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)

巻頭言	1	人間の強みと革新技术との共存	井上 学
竣工工事紹介	5	橋梁／水門／その他	
特集記事	29	特集記事1 ブライラ橋写真集	
	36	特集記事2 ブライラ橋を含む23kmの国道建設工事報告 プロジェクト概要	社浦 潤一／工藤 光弘／井上 学 島 宜範／相方 譲／島谷 尚哉
	38	特集記事3 ブライラ橋を含む23kmの国道建設工事報告 道路部21kmの設計・施工	古賀 彰展／島 宜範／社浦 潤一 工藤 光弘／Cetinkaya Tunc／井上 学
	46	特集記事4 ブライラ橋を含む23kmの国道建設工事報告 ケーブル架設工事	關 真二郎／武田 康太郎／村野 文哉 柳 博文／川島 大助／太田 慎也 内田 裕也／中山 真明
	52	特集記事5 ブライラ橋を含む23kmの国道建設工事報告 補剛桁の製作・架設	川野 清浩／村野 文哉／井谷 達哉 庄野 好希／關 真二郎／杉田 吏絵 中山 真明／社浦 潤一
	61	特集記事6 ブライラ橋を含む23kmの国道建設工事報告 吊橋の耐風設計	井谷 達哉／島 宜範／社浦 潤一 井上 学／工藤 光弘
	65	特集記事7 ブライラ橋を含む23kmの国道建設工事報告 リスクアナリシス	島 宜範／社浦 潤一／井谷 達哉 工藤 光弘／井上 学
工事報告	69	工事報告1 東海環状自動車道津屋川橋 工事報告 長支間曲線桁の急速送出し架設	佐々木 智弘／村岡 和郎／丸尾 茂喜 浅野 真太郎／永山 隼
	75	工事報告2 主要地方道米沢飯豊線中津川橋橋梁補修工事 工事報告 ニールセンローゼ橋のケーブル交換	大口 真司／竹嶋 竜司 木村 将浩／石橋 勲雄 下前 照
	79	工事報告3 高強度軽量2種プレキャストPC床版「スーパーHSLスラブ」の実装 国道254号16号橋 床版取替工事	郷保 英之／土橋 正和 西田 一幸
	83	工事報告4 秩父橋工事報告 供用後90年経過した鉄筋コンクリートアーチ橋の補修工事	島野 孝則／大山 尚輝
	87	工事報告5 首都高9号深川線上部工補強工事報告 現場条件(市街地)を考慮した施工事例とICT取組み事例の紹介	大石 剛／木内 一郎／横山 ゆい
	90	工事報告6 南国安芸道路 茨西高架橋 工事報告 BIM/CIM・ICTを活用した中空床版橋の施工	氏原 浩文
	92	工事報告7 防災・安全交付金 堰堤改良工事報告 裾花ダム堤頂道路拡幅に伴う開閉装置更新工事	佐藤 公／渡邊 昌史／錦 泰地
	96	工事報告8 坂口谷川水門工事報告	浅野 徹／達岡 正規／大森 久美子 松山 晃
	98	工事報告9 立野ダム常用洪水吐放流管 工事報告	田中 千喬／田原 謙一／土田 孝博
	104	工事報告10 笠堀ダム常用洪水吐油圧シリンダー更新工事報告 シリンダー更新に伴う現地施工	金吉 晃宏／中村 浩幸／坂本 浩一
	106	工事報告11 湖東平野農業水利事業 水管理施設製作据付建設工事 工事報告 湖東平野の水管理設備および永源寺ダムの放流警報設備更新工事	折田 光弘／神谷 大徹 大野 龍一／中原 大介 森川 賢一／小勝負 功希
ニュース	111	ニュース1 海外橋梁プロジェクト 海外で進行中の工事	
	113	ニュース2 国内橋梁プロジェクト 国内で進行中の工事	

ニュース

115	ニュース3	高速大師橋 高速1号羽田線を2週間の通行止めで架け替え 高速大師橋リニューアルプロジェクト
116	ニュース4	豪雨被災地の架け橋 開通目標は小学校入学式
117	ニュース5	供用開始から50年超、トラス橋の大規模修繕工事 向田川橋、根古屋橋の耐震補強工事
118	ニュース6	主塔の製作・地組立・大ブロック輸送 川崎港臨港道路東扇島水江町線主橋梁部上部工事
119	ニュース7	多軸台車を用いた一夜間での2橋同時架設 大栄JCT大栄橋およびCランプ橋新設工事
120	ニュース8	トラス橋の幅員方向分割床版取替、床版取替機「EVO」を使用 中央自動車道深沢橋床版取替
121	ニュース9	単純箱桁橋で支間長最大級の「東関東自動車道 清水地区跨道橋」 東関東自動車道水戸線（潮来～銚田）
122	ニュース10	オープンカレッジ「橋梁技術基礎講座」の取り組み 若手技術者への学びと交流の場の提供
123	ニュース11	本社エンジニアリングオフィス開設 共創を促すデザイン
124	ニュース12	土木学会田中賞をW受賞 気仙沼湾横断橋 淀川大橋大規模更新

研究論文

127	研究論文1	プレキャスト合成床版の開発	鈴木 福井	統／末次 敦史／吉田	剛／高井 有希／轟 木作	祐輔 菁 友亮
135	研究論文2	プレキャストPC床版の橋軸方向接合構造の開発 VanLoc（パンロック）の開発	高木	祐介／小林 若林	崇／池上 良幸／齋藤	浩太郎 和也
143	研究論文3	鋼上路トラス橋におけるブレース材の耐震補強に関する検討 合理的な耐震補強に向けての取り組み			山田	忠信
151	研究論文4	インフラ構造物におけるPanocaを活用した点検の合理化	細矢 藤田	征史／井上 匠／津田	麻子 久嗣	

製品紹介

159	製品紹介1	貼付型防食部材 橋の傷を「貼って」守る！	矢ヶ部 菜月／北村 耕一／井合 雄一 水篠 孝太郎／赤瀬 健一
163	製品紹介2	IIS製恒久足場 アルミ板と鋼板を組み合わせたメンテナンスフリーの恒久足場	北村 耕一／藤田 匠／竹嶋 竜司

製品広告

167	製品広告1	橋梁マネジメントサポートシステム「BMSS」
168	製品広告2	橋梁定期点検業務支援アプリ「スマホ点検士」
169	製品広告3	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システム「panoca」
170	製品広告4	デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測「デジタル配筋検査システム」 橋梁上部工3Dモデル作成システム「CIM-COMPO/CIM-BOX/CIM-PCaSLAB」
171	製品広告5	多機能床版取替機 Sphinx「スフィンクス」
172	製品広告6	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」 プレキャストPC床版接合構造「VanLoc」
173	製品広告7	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」 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」
174	製品広告8	実際の水門設備を配備した、国内初の体験型研修施設「防災・水門技術研修所」
175	製品広告9	スマートデバイス水門点検サポートシステム「GBRAIN」
176	製品広告10	利水・治水高度化技術「次世代型水管理システム」

人間の強みと革新技術との共存

(株)IHI インフラシステム
取締役

井 上 学



この原稿を書いている2023年夏の大阪は、とても暑い日々が続いています。最高気温が35度を超える日も珍しくなく、たまに最高気温31～32度の予報が出るとその日は涼しい気がするというのは、十数年前には考えられなかった感覚ではないかと思います。また、「数十年に一度の〇〇〇〇、100年に一度のレベルの〇〇〇〇」という枕詞も日常的に見掛けるようになった印象がありますが、気候変動に伴う激甚化がますます進んでいくというのは、当分は逃れようがありません。

産業革命以降の飛躍的な文明の革新に付随する利便性を手にした代わりの負の遺産ともいえる近年の急激な気候変動や災害の激甚化に加え、少子高齢化や人口減少、働き方改革などへの対応、一度築き上げられたインフラのサービスレベルを維持することの大変さ、世界中の情報交信量・スピードの飛躍的な向上、次世代の乗り物、次々と生まれる新しいアイデアと技術への適合・融合など、考慮・対応しなければいけないことは、今後、益々増加していくものと思われます。このような中、国家の基盤となる交通インフラ事業に携わる企業の1つとして、自身の在り方についても常に問い続けながら変革し続けていかなければいけないと思っています。

るところです。

近年、ChatGPTが話題になっていますが、AIが前述の問題を解決する強力なサポートツールの1つになると期待されています。そのことに異論はないのですが、一方で、我々のAIへの過度な期待についての危機感も感じているところです。コンピュータが発達し、構造計算が簡単に、かつ、高度な技術や経験の必要なしに汎用的に利用できる世の中になってきた2000年代、当時の米国構造技術者協会副会長Edwin T. Hustonが、STRUCTURE magazineにエッセイを寄稿しています。そこでは、コンピュータを用いた構造計算への過度な依存・信頼に起因する危機への警鐘と共に、それが分かっているからと言って、この流れを誰も止めることが出来ないこと、どうしたら良いか誰にも分からないこと、についてのジレンマが述べられています(“Are We Replying Too Much on Computers?”, STRUCTURE magazine, 2007. 02)。私が日常生活で感じている、世の中のAIへの過度な期待への危機感・ジレンマというのは、まさに同じようなものなのです。

これからもAIを含む新技術と上手に共存していかなければならないことは間違いありませんが、我々はAIシステムを擬人化してとらえがち

で、つまり、AIが人間的な資質があると信じ、そのシステムに全幅の信頼をおけるものだと過大評価しがちです。私自身は、AIそのものに不安や懸念を抱いているのではなく、システムの限界や脆弱性を十分認識しないまま、あまりに高い自律性を与えて利用してしまう可能性、および我々自身がそのことに大きな注意を払わない可能性に大きな懸念を抱いています。

AIやコンピュータ、機械は数えきれないほど多くのすぐれた判断を行えますが、それらは1つ1つの狭い領域に限った話です。ある日突然、訓練データに含まれていなかった事象、つまり起きる可能性が低い不測の事態が発生すると、大きな失敗や大事故・大惨事を起こすリスクを抱えています。一方、我々人間は、狭い領域ではコンピュータ等にはまるで敵いませんが、考える方法を学習できて、そうして身に着けた思考力を今後直面するどんな状況や難題に対しても柔軟に活用できる、つまり総合的な領域で才能を発揮できるという特徴があると思っています。

この違いを人間の「欠点」に着目して捉えるか、「得手・不得手」と認識して柔軟に変わるか、たどり着く先は大きく異なるのではないのでしょうか。我々人間はAIの進歩を過大評価する一方で、自身の知性の複雑さを過小評価し過ぎているようにも感じます。

この先、技術の発展によってAIやコンピュータ、機械があまりに賢くなりすぎて、それらに世界を乗っ取られるのではないかと不安に思っている人もいるかもしれません。しかし、真に恐れるべきは、AIやコンピュータ、機械は得意とする個々の狭い領域の外ではあまりに愚かなこと、

我々人間がそのことを真剣に考えないままに、それらが重要な判断ができるほどの高度な知能を持っているかのように錯覚してしまうこと、ではないかと思います。ある意味、我々の世界は、既にそれらによって乗っ取られてしまっているのかもしれませんが…。

子ども時代に心躍らせて憧れを抱いた人型ロボットの実現は今の延長線上ではないと思っていますが、技術革新が目覚ましいAIやコンピュータ、機械とのパートナーシップは不可欠です。パートナーと上手に共存する・成長するためにまず必要なことは、相手を良く知ること・理解することというのは、多くの方に賛同いただけるのではないかと思います。

変化の幅やスピードが大きい世の中ですが、次々と出てくる革新的な技術に対して、人間が得意なことにもっと注力できる環境を整えてくれるパートナーとしてそれらと上手に付き合いながら、安全・安心・快適な交通インフラを継続的に提供できる環境に貢献していく企業であり続けたいと思っています。これまでの常識や慣例、分野にとらわれないものの考え方や、新しい技術をどん欲に取り入れようとする姿勢を大切に取組んでまいりますので、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。

竣工工事紹介（橋梁・水門・その他工事）



津屋川橋 IIS

工 事 名：令和元年度 東海環状津屋川橋鋼上部工事
所 在 地：岐阜県海津市南濃町
発 注 者：国土交通省 中部地方整備局
橋 梁 名：津屋川橋
型 式：鋼5径間連続鋼床版箱桁
橋 長：574m

支間長・支間割：63.7+117+145+159+86.7m
幅 員：11.746m
床 版 形 式：鋼床版
鋼 重：4,147t
竣 工 年 月：2023年3月

※本技報 P69の工事報告1もご参照ください。



松尾川橋 IIS

工 事 名	一般国道 170号 松尾川橋(西行)橋梁上部工事(その2)	支間長・支間割	46.8+48.0+45.0+45.0+32.8m
所 在 地	大阪府和泉市若樫町地内	幅 員	11.18m
発 注 者	大阪府	床 版 形 式	合成床板
橋 梁 名	松尾川大橋	鋼 重	435.9t
型 式	5径間連続少数鈹桁	竣 工 年 月	2022年5月
橋 長	220m		



下村第5高架橋 IIS

工 事 名：(主)加古川小野線東播磨道北工区下村第5高架橋上部工事
 所 在 地：兵庫県加古川市八幡町下村
 発 注 者：兵庫県
 橋 梁 名：下村第5高架橋
 型 式：鋼5径間連続2主桁桁橋
 橋 長：285m

支間長・支間割：56.0+65.0+55.0+55.0+52.25m
 幅 員：12.65m
 床 版 形 式：RC床版
 鋼 重：1,317t
 竣 工 年 月：2023年3月



余戸西第8高架橋 IIS

工 事 名	令和2-4年度 外環空港線余戸西第8高架橋上部工事	橋 長	132m
所 在 地	自：愛媛県松山市余戸西 至：愛媛県松山市東垣生町	支間長・支間割	35.15+60.00+35.15m
発 注 者	国土交通省 四国地方整備局	幅 員	9.69m
橋 梁 名	余戸西第8高架橋	床 版 形 式	RC床版
型 式	3径間連続箱桁	鋼 重	413t
		竣 工 年 月	2022年6月



真名川橋 IIS

工 事 名	大野油坂道路真名川橋上部工事	支間長・支間割	38.8+44.5+2@47.0+44.5+38.8m
所 在 地	福井県大野市堂本地先～下麻生嶋地先	幅 員	12.9m
発 注 者	国土交通省 近畿地方整備局	床 版 形 式	合成床版
型 式	6径間連続少数鈑桁	鋼 重	590t
橋 長	263m	竣 工 年 月	2023年3月



南海橋 IIS

工 事 名：南海橋(2)上部建設工事その2
 所 在 地：東京都大田区平和島五丁目地内～同区昭和島一丁目地内
 発 注 者：東京都
 橋 梁 名：南海橋
 型 式：3径間連続鋼床版箱桁
 橋 長：161.9m

支間長・支間割：48.5+63.0+48.5m
 幅 員：12m
 床 版 形 式：鋼床版
 鋼 重：752.9t
 竣 工 年 月：2022年5月



小禄道路橋脚(P24、P25) IIS

工 事 名	：令和2年度 小禄道路橋梁下部工(P24、P25)工事	工 種	：鋼製T型橋脚2基
所 在 地	：沖縄県豊見城市瀬長地内	鋼 重	：302t
発 注 者	：内閣府 沖縄総合事務局	竣 工 年 月	：2023年3月
橋 梁 名	：小禄道路橋(P24・P25)		



本荘中橋 IIS

工 事 名	：(一)加古川水系東条川 本荘中橋上部工事	支間長・支間割	：23.1m
所 在 地	：丹波篠山市今田町本荘町	幅 員	：5.2m
発 注 者	：兵庫県	床 版 形 式	：RC床版
型 式	：鋼単純合成鈹桁	鋼 重	：19t
橋 長	：23.1m	竣 工 年 月	：2022年5月



関門橋補剛桁補修工事 IIS

工 事 名：関門自動車道
関門橋中央径間下関側北補剛桁補修工事
所 在 地：山口県下関市棕野町～福岡県北九州市門司区
発 注 者：西日本高速道路株式会社
橋 梁 名：関門橋
工 種：塗装塗替工、鋼床版の支承取替工、
鋼製高欄取替工、縦桁補剛材補修工
鋼 重：273t
竣 工 年 月：2022年4月



日之城橋耐震補強工事 IIS

工 事 名：中央自動車道 日之城橋耐震補強工事(2019年度)	橋 梁 名：日之城橋(上り線)
所 在 地：自)山梨県韮崎市穂坂町宮久保 至)山梨県北社市須玉町大豆生田	工 種：鋼トラス橋の耐震補強、塗替塗装、支承取替8基
発 注 者：中日本高速道路株式会社	鋼 重：64t
	竣 工 年 月：2023年3月



中津川橋補修工事 IIS

工 事 名：	令和3年度(債務負担行為工事)道路施設長寿命化対策事業(補助・橋梁修繕) 主要地方道米沢飯豊線中津川橋橋梁補修工事	橋 梁 名：	中津川橋
所 在 地：	山形県西置賜郡飯豊町大字小坂	工 種：	ケーブル取替工、マンホール蓋設置工
発 注 者：	山形県	鋼 重：	4.7t
		竣 工 年 月：	2022年11月

※本技報 P75の工事報告2もご参照ください。



萬丈橋床版取替工事 IIS

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)	橋 梁 名：	萬丈橋
所 在 地：	神奈川県小田原市前川～風祭	工 種：	床版取替工、橋梁補強工、橋梁補修工、支承取替工
発 注 者：	中日本高速道路株式会社	竣 工 年 月：	2023年2月



秩父橋橋梁補修工事 IIK

工 事 名：成瀬ダム2号橋上部工工事
 所 在 地：埼玉県秩父市阿保町地先
 発 注 者：国土交通省 関東地方整備局
 橋 梁 名：秩父橋
 工 種：断面修復工、ひび割れ注入工、橋面防水工
 橋 長：134.6m
 幅 員：6.8m
 竣 工 年 月：2023年3月

※本技報 P83の工事報告4もご参照ください。



金田一大橋外橋梁補修・補強工事 IIK

工 事 名：金田一大橋外橋梁補修・補強工事	工 種：上部工耐震補強工、落橋防止装置補修工
所 在 地：岩手県二戸市石切所～二戸市金田一 地内	橋 長：126.0m
発 注 者：国土交通省 東北地方整備局	幅 員：14.5m
橋 梁 名：金田一大橋	竣 工 年 月：2022年12月



上部工補強工事2-212 IHK

工 事 名：	(修)上部工補強工事2-212	工 種：	鋼製橋脚隅角部補強工15橋脚、 拡大ベースプレート設置工、き裂補修・補強工
所 在 地：	東京都江東区深川一丁目 他	竣 工 年 月：	2023年1月
発 注 者：	首都高速道路株式会社		

※本技報 P87の工事報告5もご参照ください。



伊勢湾岸自動車道 朝日東高架橋他2橋伸縮装置改良工事 IHK

工 事 名：	伊勢湾岸自動車道 朝日東高架橋他2橋伸縮装置改良工事(2019年度)	橋 長：	343m
所 在 地：	三重県三重郡川越町(みえ川越IC)～三重県四日市市伊坂町(四日市JCT)	幅 員：	14.5m
発 注 者：	中日本高速道路株式会社	竣 工 年 月：	2022年7月
工 種：	伸縮装置取替8基、下部工付検査路設置12橋脚		

橋 梁



県道魚梁瀬公園線 橋梁修繕(魚梁瀬大橋)工事 IIK

工 事 名	：県道魚梁瀬公園線 橋梁修繕(魚梁瀬大橋)	橋 長	：193.9m
所 在 地	：高知県安芸郡馬路村魚梁瀬	幅 員	：4.0m
発 注 者	：高知県 安芸土木事務所	竣 工 年 月	：2023年3月
工 種	：ケーブル塗装塗替工、塔頂サドルカバー交換工		



国道121号 入田沢地区災害復旧仮橋工事 IIK

工 事 名	：国道121号 入田沢地区災害復旧仮橋工事	橋 長	：34m
所 在 地	：山形県米沢市入田沢 地内	幅 員	：4.0m
発 注 者	：国土交通省 山形河川国道事務所	竣 工 年 月	：2022年10月
工 種	：運搬・設置		



応急組立橋2橋製造 IIK

工 事 名	： 応急組立橋2橋製造	工 種	： 覆工板、取付桁、手延べ桁の製作・輸送
所 在 地	： 秋田県秋田市新屋町天秤野148 秋田防災ステーション屋外ヤード	橋 長	： 最大40m
発 注 者	： 国土交通省 東北地方整備局	幅 員	： 4.0m
		竣 工 年 月	： 2023年3月



道路メンテナンス事業(橋梁)16号橋 床版取替工事 IIK

工 事 名	： 令和3年度 道路メンテナンス事業(橋梁)16号橋 床版取替工事	橋 長	： 107m
所 在 地	： 群馬県甘楽郡下仁田町大字南野牧地内	幅 員	： 9.3m
発 注 者	： 群馬県	竣 工 年 月	： 2023年1月
工 種	： 床版、伸縮装置、壁高欄撤去・架設工、スーパーHSLスラブ設置		

※本技報 P79の工事報告3もご参照ください。



中部縦貫町方高架橋PC上部工事 IHK

工 事 名	令和2年度中部縦貫町方高架橋PC上部工事	橋 長	134m
所 在 地	岐阜県高山市丹生川町地内	幅 員	10.5m
発 注 者	国土交通省 中部地方整備局	架 設 方 法	架設桁架設
型 式	(新設)PC4径間連結コンボ桁橋	竣 工 年 月	2022年12月



雄勝1号橋上部工工事 IHK

工 事 名	(仮)雄勝1号橋上部工工事	橋 長	203m
所 在 地	宮城県石巻市雄勝町雄勝字唐桑地内	幅 員	10.5m
発 注 者	宮城県	架 設 方 法	固定式支保工
型 式	(新設)5径間連続PC場所打ち箱桁橋	竣 工 年 月	2022年6月



三隅・益田道路板ヶ峠第1高架橋外PC上部工事 IIK

工 事 名	令和3年度三隅・益田道路板ヶ峠第1高架橋外PC上部工事	橋 長	106m
所 在 地	島根県浜田市三隅町岡見地内	幅 員	9.5m
発 注 者	国土交通省 中国地方整備局	架 設 方 法	架設桁架設
型 式	(新設)ポストテンション方式PC3径間連結コンボ桁橋	竣 工 年 月	2023年2月



南国安芸道路茨西高架橋上部工事 IIK

工 事 名	令和3-4年度 南国安芸道路茨西高架橋上部工事	橋 長	111.2m
所 在 地	高知県高知県南国市物部地先	幅 員	18.75m
発 注 者	国土交通省 四国地方整備局	架 設 方 法	固定式支保工
型 式	(新設)4径間連続PC中空床版ラーメン橋	竣 工 年 月	2022年12月

※本技報 P90の工事報告6をご参照ください。



六角川河口堰外機械設備修繕工事 IIK

工 事 名：六角川河口堰外機械設備修繕工事
 所 在 地：佐賀県杵島郡白石町大字福富地先
 発 注 者：国土交通省 九州地方整備局

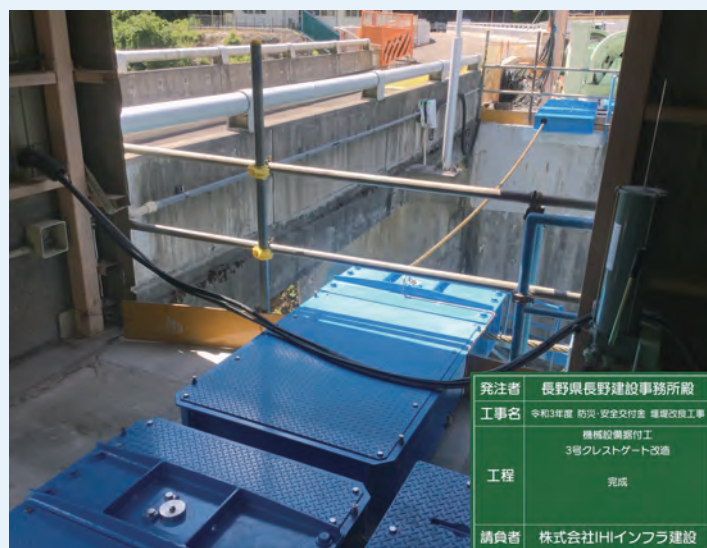
型 式：開門ゲート
 工 事 内 容：開閉装置駆動部取替、機側操作盤取替、らせん階段管理橋取替
 竣 工 年 月：2023年3月



瑞梅寺ダム放流設備改良工事 IIK

工 事 名：瑞梅寺ダム放流設備改良工事
 所 在 地：福岡県糸島市瑞梅寺864
 発 注 者：福岡県土整備事務所
 型 式：φ1700ホロージェットバルブ
 φ400ジェットフローゲート

工 事 内 容：HJB本体工場分解整備、開閉装置取替、機側操作盤取替他
 JFG機側操作盤取替、シールリング取替他
 竣 工 年 月：2023年3月



令和3年度 防災・安全交付金 堰堤改良工事(裾花ダム) IIK

工 事 名	令和3年度 防災・安全交付金 堰堤改良工事(裾花ダム)	工 事 内 容	クレストゲート開閉装置整備
所 在 地	佐賀県杵島郡白石町大字福富地先		・シーブ架台更新 ・ワイヤロープ更新 ・ワイヤロープガイド改造
発 注 者	長野県長野建設事務所		・ワイヤカバー更新 ・付属設備製作
型 式	鋼製ラジアルゲート	竣 工 年 月	2023年3月

※本技報 P92の工事報告7もご参照ください。



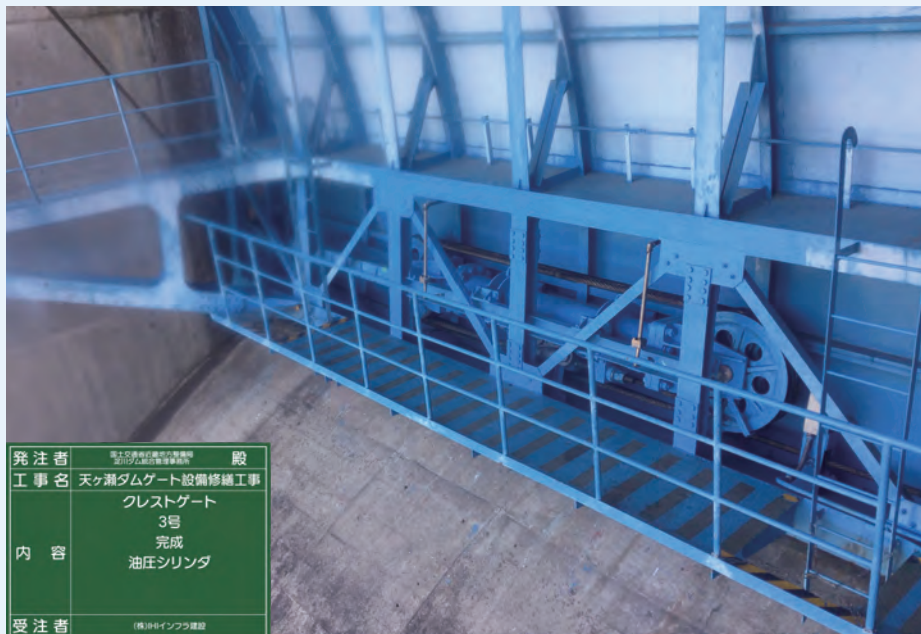
君ヶ野ダム堰堤維持(1号オリフィスゲート油圧装置等更新)工事 IIK

工 事 名	君ヶ野ダム堰堤維持(1号オリフィスゲート油圧装置等更新)工事	工 事 内 容	主放流設備油圧装置等更新等工事
所 在 地	長野県長野市大字小鍋字神白沖3479-23		・油圧装置更新 ・圧着ロック用モータ更新
発 注 者	三重県津建設事務所		・開度指示装置更新 ・開度計盤新設
型 式	圧着式ハイプレッシャーラジアルゲート	竣 工 年 月	2023年2月



東横堀川水門ラジアルゲート油圧シリンダー更新工事 IIK

工事名	東横堀川水門ラジアルゲート油圧シリンダー更新工事	工事内容	①油圧シリンダ 更新
所在地	大阪市中央区高麗1(東横堀川水門)		②防食材 取替
発注者	大阪市建設局		③予備エンジンバッテリー 取替
型式	揺動油圧シリンダレバー式	竣工年月	2022年8月



R4天ヶ瀬ダムゲート設備修繕工事 IIK

工事名	R4天ヶ瀬ダムゲート設備修繕工事	工事内容	①主ゲート 油圧ユニット更新 更新 ②主ゲート 主ローラ当たり面 整備
所在地	京都府宇治市宇治金戸地先(天ヶ瀬ダム)		③主ゲート 副開度計 更新 ④主ゲート 緩衝材 更新
発注者	近畿地方整備局 淀川ダム統合管理事務所		⑤主ゲート 支枠付梯子 更新 ⑥クレストゲート 油圧シリンダ 分解整備
型式	油圧シリンダ式鋼製ローラゲート		⑦クレストゲート 開度計 更新 ⑧クレストゲート 休止フック 更新
			⑨予備ゲート 扉体付手摺 更新
		竣工年月	2023年2月



令和2年度[第32-K2540-01号] 二級河川坂口谷川事業関連携工事(左岸扉体工) IIK

工 事 名：令和2年度[第32-K2540-01号] 二級河川坂口谷川事業関連携工事(左岸扉体工)
所 在 地：静岡県牧之原市細江地先
発 注 者：静岡県島田土木事務所

型 式：シェル構造サニットゲート
工 事 内 容：扉体、戸当り、開閉装置、点検歩廊
竣 工 年 月：2023年3月

※本技報 P96の工事報告8もご参照ください。

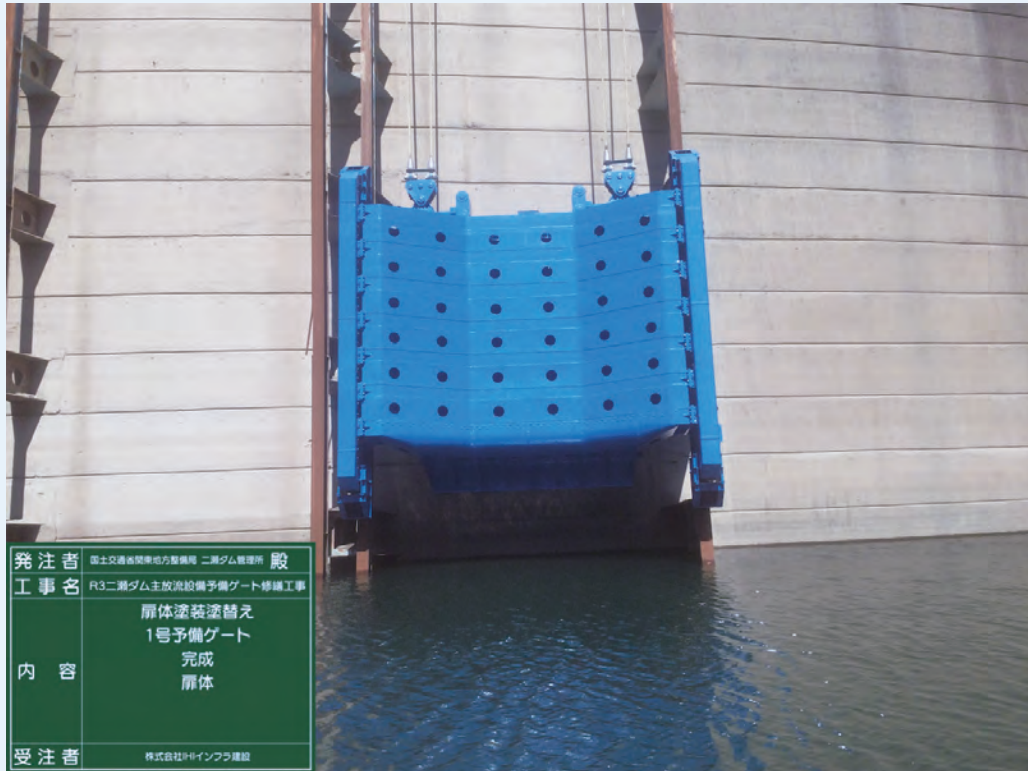


立野ダム常用洪水吐放流管製作据付工事 IIK

工 事 名：立野ダム常用洪水吐放流管製作据付工事
所 在 地：熊本県阿蘇郡南阿蘇村大字立野地先
発 注 者：九州地方整備局 立野ダム工事事務所

型 式：鋼製矩形断面溶接管(一面ベルマウス)
工 事 内 容：放流管(整流板、スクリーン含む)、戸当り(試験湛水用ゲート)
竣 工 年 月：2023年1月

※本技報 P98の工事報告9もご参照ください。



R3二瀬ダム主放流設備予備ゲート修繕工事 IIK

工事名	R3二瀬ダム主放流設備予備ゲート修繕工事	型式	異形キャタピラローラゲート
所在地	埼玉県秩父市大滝地先	工事内容	扉体塗装替え、水密ゴム・ワイヤロープ取替、減速機分解整備
発注者	関東地方整備局 二瀬ダム管理所	竣工年月	2023年3月



寒河江ダム取水制水操作設備修繕工事 IIK

工事名	寒河江ダム取水制水操作設備修繕工事	工事内容	2. オリフィス副ゲート操作制御設備
所在地	山形県西村山郡西川町大字砂子関		③機側操作盤更新(1号ゲート)
発注者	東北地方整備局 最上川ダム統括管理事務所		④充水バルブ操作盤更新(1号ゲート)
型式	摺動式高圧ラジアルゲート		3. 取水制水ゲート開閉装置
工事内容	1. クレストラジアルゲート操作制御設備		⑤ワイヤロープ取替(2号ゲート)
	①機側操作盤 製作及び仮置固定(1号ゲート・2号ゲート)	竣工年月	2023年3月
	②開度計更新(開度発信機)(1号ゲート・2号ゲート)		



令和3・4年度大川ダム低水放流設備修繕工事 IHK

工 事 所 在 発 注 型	名：令和3・4年度大川ダム低水放流設備修繕工事	工 事 内 容：低水放流設備
	地：福島県会津若松市大戸町大字大川字李平地先	①主ゲート シールリング更新 ②油圧ユニット更新(防油堤含む)
	者：北陸地方整備局 阿賀川河川事務所	③主ゲート 機側操作盤更新 ④副ゲート 機側操作盤更新
	式：ジェットフローゲート	竣 工 年 月：2023年3月



三田三丁目複合棟制振装置 IIK

工 事 名	三田三丁目複合棟制振装置	型 式	レール式1軸アクティブ方式(リニアモータ駆動型)
所 在 地	東京都港区三田三丁目11番2他	可動マス質量	X方向:59.8t、Y方向:58.9t
施 主	三田三・四丁目地区市街地再開発組合	有効ストローク	X方向:±2,500mm、Y方向:±2,000mm
設 計	株式会社久米設計	設 置 台 数	X方向:2基、Y方向:1基
管 理	株式会社日本設計	竣 工 年 月	2023年2月
施 工	株式会社大林組		



西新宿五丁目北地区A棟制振装置 IIK

工 事 名	西新宿五丁目北地区A棟制振装置	型 式	レール式1軸アクティブ方式(リニアモータ駆動型)
所 在 地	東京都新宿区某所	可動マス質量	X方向:30t、Y方向:60t
施 主	某事業組合	有効ストローク	X方向:±2,000mm、Y方向:±2,000mm
設 計	某共同企業体	設 置 台 数	X方向:1基、Y方向:2基
管 理	某共同企業体	竣 工 年 月	2023年3月
施 工	某共同企業体		

IHI インフラ技報 vol.12
IHI Infrastructure Technical Report 2023

特 集 記 事



ブライラ橋全景



アンカレッジの掘削



アンカレッジ上部躯体の施工



雲に包まれるプライラ橋



主塔基礎の掘削



主塔基礎フーチングの施工





塔頂水平梁の吊上げ



主塔施工遠景



塔頂サドル架設



メインケーブル架設時遠景



メインケーブルワイヤ引出



メインケーブル夜間施工期間中のライトアップ



メインケーブルワイヤ架設中の
キャットウォーク



メインケーブルワイヤ
アンカレッジ定着部

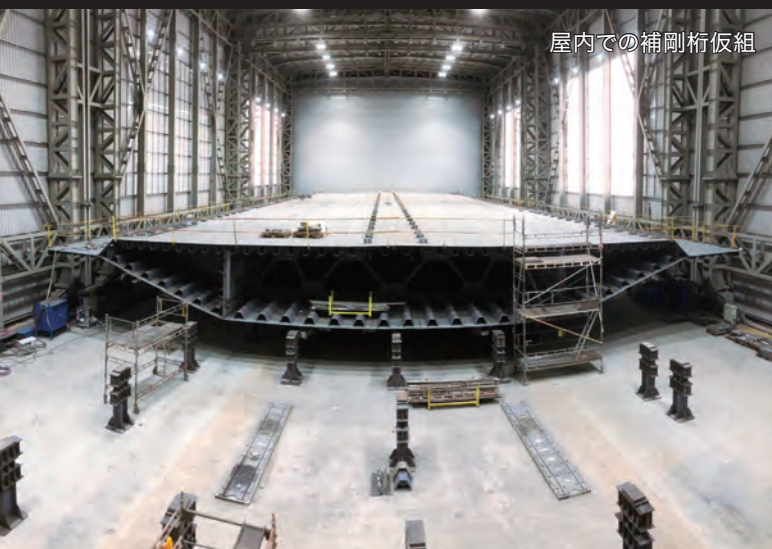




補剛桁パネル製作



補剛桁ブロック組立



屋内での補剛桁仮組



ドナウ川上の補剛桁
直下吊り架設



各径間で並行する補剛桁架設

台船上からの補剛桁スイング水切り



多軸台車による補剛桁の陸上運搬



主塔部補剛桁
メガブロック架設



補剛桁閉合ブロック架設



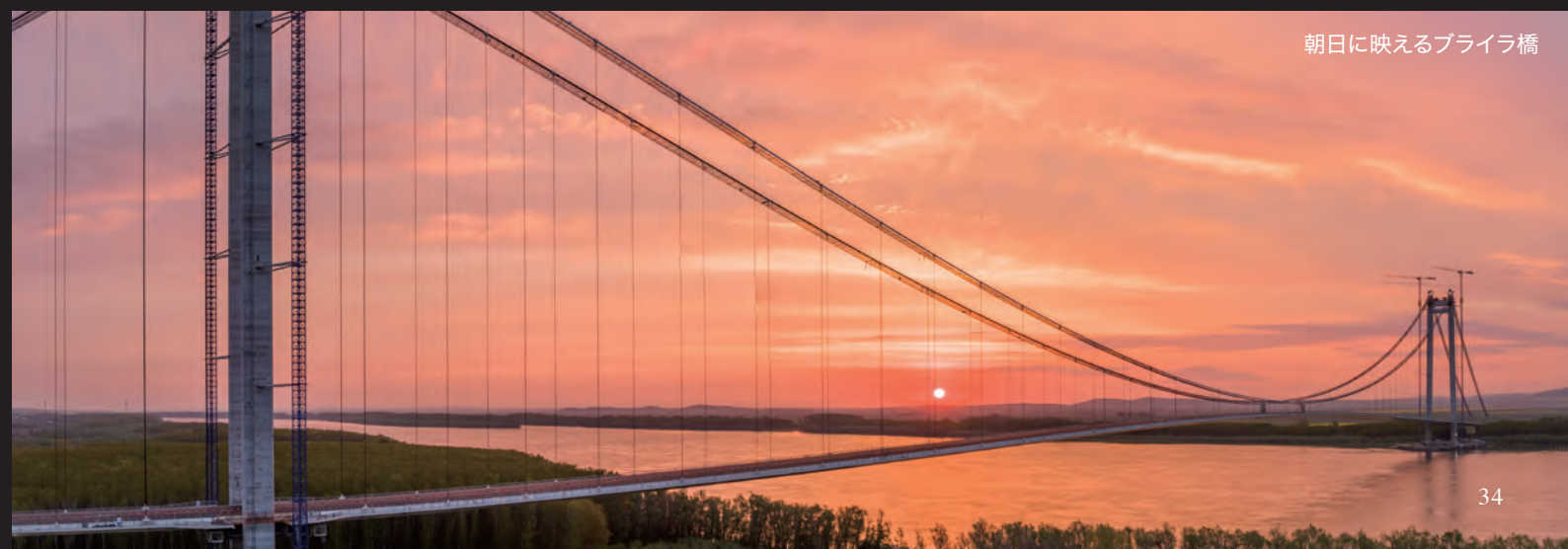
補剛桁 防水層施工



アスファルト施工



朝日に映えるブライラ橋





アプローチ橋とインターチェンジ



道路盛土部の施工



PC桁高架橋



既存鉄道線路横断橋



ブライラ側吊橋起点からブライラ橋を臨む

ブライラ橋を含む23kmの国道建設工事報告

— プロジェクト概要 —

SHAURA Junichi KUDO Mitsuhiro INOUE Manabu
 社 浦 潤 一* 工 藤 光 弘** 井 上 学***
 SHIMA Takanori SAGATA Yuzuru SHIMATANI Naoya
 島 宜 範* 相 方 譲* 島 谷 尚 哉****

1. はじめに

2023年7月6日、ルーマニア国東部(図-1)において、ドナウ川を跨ぐ吊橋ブライラ橋(写真-1、ブレイラ橋とも)を含む長さ11kmの国道が開通した。

本工事は、ルーマニア国東部のブライラ地方とトゥルチャ地方を結ぶ23kmにわたる国道のDesign & Buildプロジェクトである。IHIインフラシステムは、イタリアのゼネコン・Webuild社(旧Astaldi社)と共同企業体(甲型JV)を構成し、2018年にプロジェクトを開始した。

本稿ではプロジェクトの概要とルーマニアにおける意義について紹介し、特集にある別稿では本プロジェクトの特徴である「道路部の施工」、「ケーブル架設工事」、「補剛桁の製作・架設」、「耐風設計」、「リスクアナリシス」の5編について報告する。なお、「吊橋の設計概要・アンカレッジおよび主塔の施工」については既報¹⁾を参照いただきたい。



図-1 位置図



写真-1 ブライラ橋全景

2. プロジェクト概要

本橋は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位を誇る。工事概要と工事内容を以下に示す。

工 事 名:ブライラ地区におけるドナウ川を跨ぐ吊橋の設計および施工

発 注 者:ルーマニア道路インフラ公社
 (CNAIR、運輸インフラ省の一機関)

エンジニア:Metroul社・Italrom Indinerie
 Internationala社・Pegaso Ingineria社・
 Arex Lider Company社の4社JV(MIPA)

請 負 者:Webuild-IHIインフラシステムJV

施工箇所:ルーマニア・ブライラ県・トゥルチャ県

契約工期:設計12ヵ月+施工36ヵ月、
 保証期間・完成後120ヵ月

橋 長:1974.3m

支 間 長:489.650m+1120.000m+364.650m

幅 員:31.7m(桁幅)、片側2車線

設計条件:ユーロコード、ルーマニア基準、他

施工工種:鋼3径間連続吊橋

長さ6kmの片側2車線の国道

長さ15kmの片側1車線の国道

道路管理事務所・料金所

その他、鋼橋・PC橋・カルバートや、道路運営に必要な全ての電気・機械設備を含む

鋼 重:21,000t(吊橋補剛桁)

ケー ブ ル 重 量:7,200t(メインケーブル・ハンガー)

コンクリート体積:200,000m³(アンカレッジ・主塔)

契約金額:20億ルーマニアレイ(契約当時約550億円)

うち75%はEUファンドを使用

3. プロジェクトの経緯と意義

ドナウ川の下流域に橋を架ける構想は1980年代に遡る。1996年の調査でブライラ県がその架橋地点として選ばれたのち、2001年に日本プラント協会によって、JETROの実現性調査(Feasibility Study, FS)支援スキームを利用した初のFSが行われた。当時は円借款を利用した案件化が想定され、2003年にもルーマニア企業による調査が行われたが、2007年にルーマニアがEUに加盟したこともあり、立ち消えとなった。その後、運輸省(現:運輸インフラ省)が2015年に提示したルーマニア交通マスタープラン(図-2)で、東部地域からルーマニア最大の港湾都市であるコンスタンツァに至るルートが示され、本橋が組み込まれた。これを受けて再度2015年にFSが実施され、2017年の入札公示へつながった。入札は、ルーマニアの公共調達ガイドラインに準拠した国際競争入札であり、中国企業グループとの競合があったが、技術・価格・総合評価

* (株)IHIインフラシステム 海外プロジェクト本部 プロジェクト部 ブレイラPJG

** (株)IHIインフラシステム 事業戦略本部 戦略第1部 長大橋推進G

*** (株)IHIインフラシステム 橋梁技術本部

**** (株)IHIインフラシステム 事業戦略本部 戦略第2部

で競り勝っての受注となった。

架橋地点は、欧州17カ国を流域に持つドナウ川が最後に黒海に流れ込む最下流地域であり、黒海からの河川交通量の多い地点である。一方ドナウ川を隔てたブライラ県とトゥルチャ県の間にはフェリーしか渡河手段が無く、悪天候時には遠く片道100kmも離れた橋を渡らなければならなかった。本橋の開通によって、ライフラインの安定性確保と、ドナウ川をはさんだ地域の経済発展に寄与することが期待されている。

なお、本橋を含む国道2S号線は欧州自動車道のE87号線（ウクライナのオデーサからモルドバ・ルーマニア・ブルガリアを經由し、トルコのアンタルヤを結ぶルート）に組み込まれ、欧州の幹線道路としての役割も果たしている。

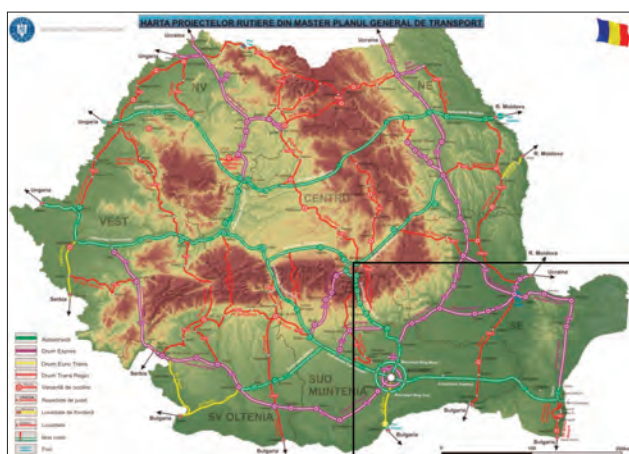


図-2 幹線道路整備計画図²⁾

上段：ルーマニア全域、下段：南東部拡大

4. まとめ

本プロジェクトはIHIグループとして初めてのルーマニア案件であり、2000年完工のカザフスタン・イルティシュ河橋以来となる、吊橋・道路・付帯設備全ての設計・施工を行った工事であった。2018年に契約調印・詳細設計、2019年着工、2020年主塔施工、2021年ケーブル施工、2022年桁架設、と、天候やお客様との協議に悩まされた部分もあるが、無事交通開放を迎えることができた。

開通式典はトゥルチャ県側にある料金所敷地内において、ルーマニアの大統領、首相、契約当時の首相、在ルーマニアの日本国大使、また日本からも外務大臣政務官がご列席されるなど、多くの関係者を招いて行われた(写真-2参照)。

開通後の様子であるが、先にも記載の通り、本プロジェクトはEUファンドを利用していることから、当面の間は無料開放されているということもあり、連日それなりの交通量がある。また、トゥルチャ県側には国内有数の採石場があることから、大型ダンプトラックの通行が多いため、今後は道路管理者による構造健全性モニタリングシステムを用いた維持管理が重要であると考えられる。



写真-2 式典会場

本プロジェクトの施工中には、2020年初頭から世界的に広がったCOVID-19のパンデミック、2022年2月から続くロシアによるウクライナ侵攻など、想定外の環境の変化があった。幸いにもプロジェクトがストップするような非常事態には至らなかったが、物価の上昇・物資不足・重機の手配困難など、世間一般と同様に大きな影響を受けた。

現在はCOVID-19による渡航制限も無く、ウクライナ侵攻が終わった訳ではないが、将来必須となる復興事業案件の話も聞こえてきており、ルーマニア・ウクライナ間の国境(ドナウ川)に新たに架橋するというアイデアもある。また、東欧各国間の物流強化のため、隣国ブルガリアとの間のドナウ架橋案もあり、ルーマニアを取り巻く道路インフラ事業がにわかに活況を呈してきている。

本橋は、交通開放は行ったものの、塔頂の付帯設備設置、タワークレーンの撤去などまだ作業が残っているため、しばらくの間は平日夜間に全面通行止のもと作業が行われる。また、残りの道路部12kmの施工、仮設事務所や工事道路の撤去も含めて、2023年末までの完工を目指している。

最後に、本プロジェクトの遂行にあたっての、CNAIR、MIPA、Verifier、その他社内外の皆様の多大なるご支援とご協力に深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 島 宜範、井谷 達哉、社浦 潤一、古賀 彰展、杉田 史絵、工藤 光弘、井上 学、ルーマニア・ブレイラ橋の設計および施工 -設計概要およびアンカレッジ・主塔の施工-、IHIインフラ技報Vol.11, pp.121-136, 2022.11
- 2) Ministerul Transporturilor, Master Planul General de Transport al Romaniei, Ministerul Transporturilor, 2015

ブライラ橋を含む23kmの国道建設工事報告

— 道路部21kmの設計・施工 —

KOGA Akinobu SHIMA Takanori SHAURA Junichi
古賀 彰展* 島 宜 範** 社 浦 潤 一**
KUDO Mitsuhiro INOUE Manabu
工 藤 光 弘*** Cetinkaya Tunc**** 井 上 学*****

1. はじめに

本稿では、ルーマニア東部における国道建設工事のうち、吊橋であるブライラ橋区間2kmを除いた、21kmの道路部の設計・施工について報告する。なお、本区間は道路部と称しているが、後述のとおり、吊橋以外の橋梁・カルバート等も含んでいる。

2. 道路部概要

国道はブライラ県ブライラ市(Braila)郊外を起点とし、対岸のトゥルチャ県ジジラ地区(Jijila)を結ぶメイン道路19kmと、途中8km地点から分岐し、スマルダン地区(Smardan)へ至る接続道路4.4kmの、全長23.4kmからなる。その中には、以下の構造物が含まれる。

吊橋・1橋
橋梁・46カ所(鉄道横断橋含む)
溝渠・23カ所
カルバート・71カ所
ロータリー(ラウンドアバウト)・5カ所
料金所・1カ所
コントロールセンター・1カ所

メイン道路は、0km地点から、途中で接続道路が分岐する8km地点までは片側2車線、8km地点から終点の19km地点までは片側1車線、接続道路は全線片側1車線となっている。図-1にプロジェクト全体図を示す。

2023年7月6日に第1期の交通開放が行われ、2番目のラウンドアバウトからブライラ橋を通過して4番目のラウンドアバウトまで7km、および4番目のラウンドアバウトから南側に分岐して

スマルダン地区方面に向かう接続道路4kmの計11kmが一般供用されている。残りの1番目のラウンドアバウトから2番目のラウンドアバウトまで1km、および4番目のラウンドアバウトからジジラ地区への11km、計12kmは2023年内の交通開放を目指して工事が行われている。

2-1. 設計

道路部の詳細設計には、ルーマニアの設計コンサルタントTecnica社を起用した。

設計速度はメイン道路・接続道路とも最高80km/hとなっている。ルーマニアの基準によると、2車線部はクラス2道路、1車線部はクラス3道路とされており、それぞれ平地における最高速度が120km/hおよび100km/hであるが、入札前に行われた道路安全性評価によって低く設定されている。なお、クラスによる違いは最高速度の違いのみである。また、道路設計交通量は2035年時点で14,500台/日(吊橋部)の想定である。

道路構成は全線に亘ってほぼ同一で、図-2のとおり、道路高さによって路床部分で調整した。

2-2. 地盤改良

本プロジェクトの特徴として、ドナウ川堤防内の沖積地における土木工事ということが挙げられる。そこで、道路基礎部分(路床の下側)に対する地盤改良工を全線で行った。表-1に地盤改良工の種類を、図-3にそれぞれの分布を示す。地質条件・道路線形によって8通りに設定されている。なお、表-1および図-3の色はそれぞれ対応している。また、図-3内の灰色部は橋梁などである。



図-1 プロジェクト全体図

(出典:プロジェクト詳細設計資料)

* (株)IHIインフラシステム 海外プロジェクト本部 エンジニアリング部 テクニカルG
** (株)IHIインフラシステム 海外プロジェクト本部 プロジェクト部 ブレイラPJG
*** (株)IHIインフラシステム 事業戦略本部 戦略第1部 長大橋推進G
**** (株)IHIインフラシステム 海外プロジェクト本部 プロジェクト部 第2ボスボラス橋PJG
***** (株)IHIインフラシステム 橋梁技術本部

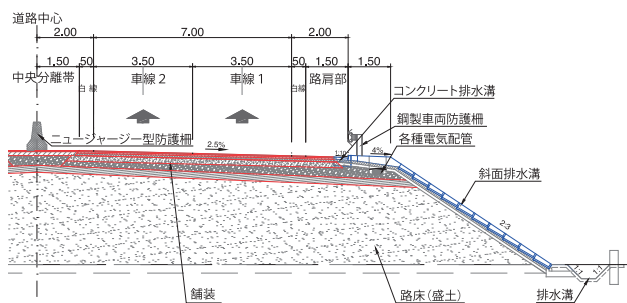


図-2 一般的な道路構成

表-1 地盤改良の種類

工 法	土質改良	ジオグリッド	砕石置き換え	ストーンコラム	砕石層	擁 壁	延 長
1	X						1.9km
2	X	X					0.3km
3		X	X				2.3km
4		X		X			0.5km
5					X		14.5km
6		X			X		1.1km
7			X		X		2.1km
8		X	X			X	0.1km



図-3 地盤改良の分布(概略)

3. 施工

道路工事は、地元(ブライラの隣町ガラツ)に本社を有するTancrad社に一括発注し、2021年7月に始まった。しかし、その後同社から、本プロジェクトから撤退したいとの申し出があり種々の交渉の結果、2022年1月下旬に全道路工事が一時中断となった。施工体制の再構築を経て、2022年5月下旬からWebuild-IHIインフラシステムJV(以降JV)による直接施工として再開した。

3-1. 着工命令

本プロジェクトではライフライン(電線やガスパイプラインなど)移設が客先所掌となっており、その調整や移設設計に非常に時間がかかったため、全工区が一括で引き渡されることが無く、特に工程上クリティカルとなる吊橋部の主塔・アンカレッジ周りの土地を初めとし、下のように全4期に分かれて建設許可を受領した。

第1期:ブライラ/ジジラ主塔・ジジラアンカレッジ

第2期:ブライラアンカレッジ・ブライラ/ジジラアプローチ橋

第3期:メイン道路2.56km-4.15km/11.98km-16.45km

第4期:残り全工区(接続道路、電気・機械等含む)

道路部についてはさらに細分化され、第3期・第4期の全区間が、2021年7月から2022年12月の間に14回・31区間に分割されて、着工命令が発出された。そのため、長い区間を通しての連続施工ができず、効率的な施工・重機配置が困難であった。

3-2. 地盤改良工

まず表層土の除去を行った後、道路下部の地盤改良を行った。以下、各方法について概説する。なお層厚等の詳細は割愛する。

(1)土質改良

本プロジェクトではドロソル(Dorosol)とよばれる水硬性バインダー材(Special hydraulic binder)を使用した。写真-1にドロソルの混合状況を示す。



写真-1 土質改良

(2)ジオグリッドによる補強

写真-2に示すように、ジオグリッドは合成樹脂製の網目状補強材で、(1)の土質改良や後述の砕石層などと組み合わせて使用した。盛土の高さによって、ジオグリッドを複数層敷設した箇所もあった。



写真-2 ジオグリッド

(3) 碎石による置き換え

(1)の土質改良では既存の土にバインダーを混ぜ合わせることで強度を確保したが、(3)では既存の土を碎石層に置き換えることで十分な強度を確保した。

(4) ストーンコラム工法

本工法は、振動したロッドを地盤孔内に挿入すると共に碎石を投入し、地盤を締め固め、密度を増加させる工法である(図-4および図-5)。起点から1.5km付近の高い盛土区間、アプローチ橋の手前、その他橋梁付近など、支持荷重の大きい箇所に設定している。業者は、Keller社(ドイツ)とZublin社(ドイツ)を起用した。

特にプライラ側のアプローチ橋手前部は地盤改良範囲が広く、計1,818本を1mないし2mピッチでの施工が必要であった(写真-3)。

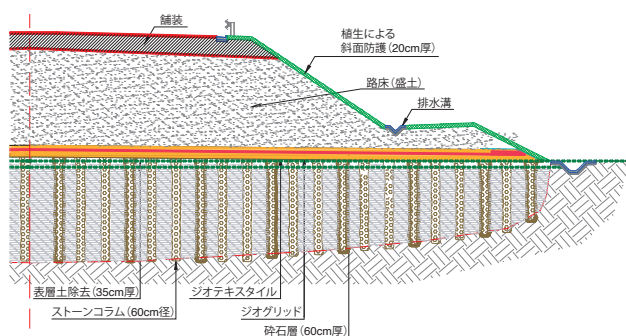


図-4 地盤改良工-7: ストーンコラム

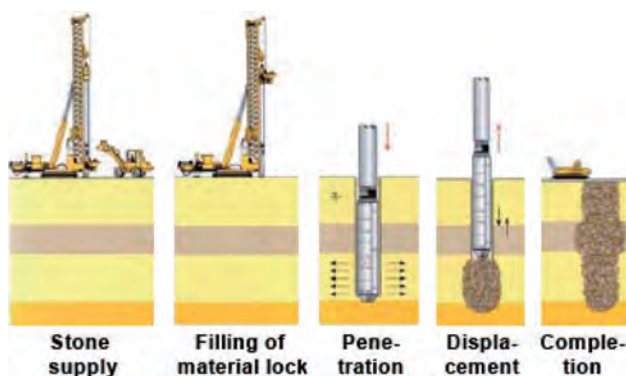


図-5 ストーンコラム工法¹⁾



写真-3 ストーンコラム施工

(5) 碎石層

地盤改良の中で最も広く、黄土質の層が無く地下水位が高い範囲に適用されている工法である(写真-4)。地盤面での耐力を向上し、堤体(盛土部)への水の浸透を防ぐ役割がある。



写真-4 碎石層

(6) 擁壁

橋梁へのアプローチ部に採用した工法である。充填材料としてバラストを使用し、厚さ40～50cmごとにジオグリッドを敷設し、地盤補強としている。側面にはMaccaferri社(伊)のプレキャストパネルを配置して側圧に対応している(図-6)。

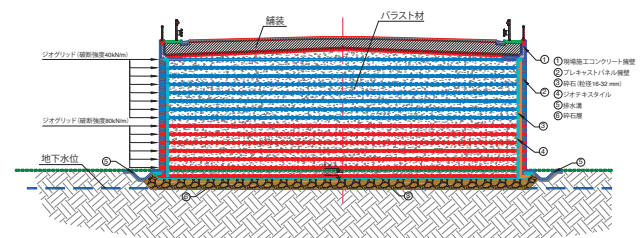


図-6 擁壁工



写真-5 擁壁工

3-3. 盛土工

地盤改良工に続いて、盛土施工(写真-6)を行った。施工数量は下表-2の通りである。稼働日平均で約3,000～4,000m³/日の施工効率であったが、冬から春にかけて悪天候のため稼働日自体が数えるほどしかなかった。

土工の主な施工機械は、プライラ側はActive社(ルーマニア)のものを使用し、ジジラ側はRomway社(トルコ)のものを使用した。

表-2 盛土数量

	盛土材(土)	圧密部地盤改良材 (碎石・バラスト材)
ブライラ側	約50万m ³	約10万m ³
ジジラ側	約90万m ³	約20万m ³
計	約140万m ³	約30万m ³



写真-6 盛土工

(1)土取り場(Borrow pit)

前に述べた通り、Tancrad社が途中で離脱したため、JVで土取り場を確保する必要が生じた。土取り場は、いくつにも分かれた土地の多数の所有者との交渉など、使用許可を取得するのに時間がかかった。また考古学的調査も要求された。

ブライラ側は、土取り場No.11(約35万m³、2022年8月より使用)を確保した。2022年5月から7月まではTancrad社所有の土取り場(Silistea)から土を使用した。

ジジラ側は、土取り場No.10(約50万m³、2021年11月より使用)とNo.12(約50万m³、2022年11月より使用)を確保した。図-7にそれぞれの位置を、写真-7および8に様子を示す。



図-7 土取り場の位置 (出典:Googleマップ)



写真-7 ブライラ側 土取り場No.11



写真-8 ジジラ側 土取り場No.12

5. 舗装

5-1. 舗装の構成

道路の舗装は、路床の上に路盤、アスファルト混合物の順に構成される。路盤は3層で60-70cmの厚さがあり、アスファルト混合物も3層で18cmの厚さとなっている。図-8に一般的な舗装構成を示す。

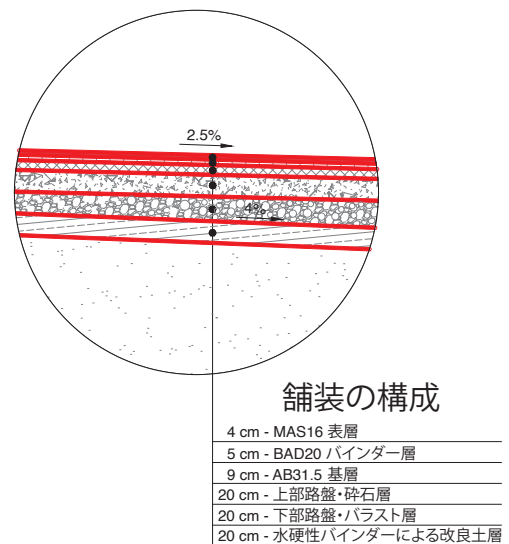


図-8 舗装の構成

5-2. 路盤施工

路盤は路床に引き続き施工した。施工後はISC(Inspectia de Stat in Constructii)と呼ばれる国家機関による立会検査を受けた(写真-9)。



写真-9 路盤施工後の立会検査

5-3. アスファルト舗装施工

アスファルト舗装施工の下請け会社はルーマニア国内から3社、Mithrass社、Assfalti社、Astalrom社を起用した。路盤との接着性を確保するため、基層施工前に路盤の上に瀝青プライマーを施工後(写真-10)、舗装の施工を行った(写真-11)。



写真-10 アスファルト施工前の瀝青プライマー



写真-11 アスファルト舗装

ブライラ側のアスファルトはガラチにあるCitadina社のプラントから供給、ジジラ側のアスファルトは、現場ヤードの敷地内にJVのプラントを建てて供給した(写真-12および写真-13)。なおプラントはおおよそ100t/時の現場施工に対応可能な製作容量を有していた。



写真-12 JVアスファルトプラント

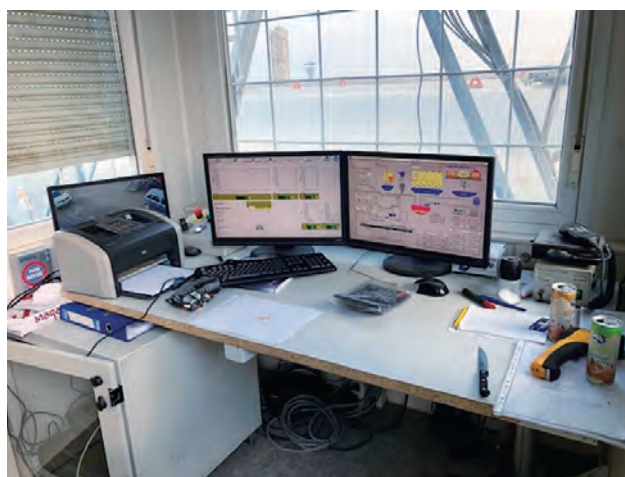


写真-13 JVアスファルトプラント管理室

なお、ルーマニア基準では打設時の温度および転圧中の温度が規定されているため、低気温時のアスファルト施工に際しては事前に道路表面を熱することで作業を進めた(写真-14)。



写真-14 アスファルトヒーター

6. その他構造物

6-1. 橋梁

本国道に含まれている橋梁のうち比較的規模の大きいもの15カ所の形式・寸法と橋台および橋脚の基礎杭のサイズ・数量を表-3に示す。

表-3 各橋梁まとめ

Nr	位置	型式	支間長(m)	杭基礎
メイン道路				
1	0+389	鋼6径間連続 4主鈑桁橋 (並列2橋)	30+4@ 40+30 =220	橋台22-Φ1,200×38m 橋脚12-Φ1,200×40m 橋脚12-Φ1,200×40m 橋脚12-Φ1,200×40m 橋脚12-Φ1,200×40m 橋脚24-Φ1,200×38m
2	1+085	単径間40主 PC桁橋	24	橋台9-Φ1,200×20m 橋台9-Φ1,200×20m
3	1+759	単径間4主 PC桁橋(並列2橋)	31	橋台20-Φ1,500×40m 橋台20-Φ1,500×40m
4	2+409	単径間6主 PC桁橋(並列2橋)	30	橋台8-Φ1,200×25m 橋台8-Φ1,200×25m
5	3+222	単径間6主 PC桁橋(並列2橋)	30	橋台6-Φ1,800×40m 橋台6-Φ1,800×40m
6	4+540	鋼2径間連続 4主鈑桁橋	2@45 =180	橋台29-Φ1,500×42m 橋脚10-Φ1,500×42m
7	6+653	鋼2径間連続 4主鈑桁橋	2@45 =180	橋脚10-Φ1,500×35m 橋台28-Φ1,500×35m
8	7+814	単径間11主 PC桁橋(並列2橋)	31	橋台8-Φ1,200×35m 橋台8-Φ1,200×35m
9	9+496	単径間11主 PC桁橋	21	橋台5-Φ1,200×30m 橋台5-Φ1,200×30m
10	11+234	単径間6主 PC桁橋	36	橋台4-Φ1,800×44m 橋台4-Φ1,800×44m
11	11+779	単径間6主 PC桁橋	37	橋台12-Φ1,500×42m 橋台12-Φ1,500×42m
12	17+271	2径間14主 PC桁橋	2@29 =58	橋台12-Φ1,500×39m 橋脚8-Φ1,500×33m 橋台12-Φ1,500×39m
接続道路				
1	2+534	単径間6主 PC桁橋	36	橋台4-Φ1,800×36m 橋台4-Φ1,800×36m
2	3+230	単径間6主 PC桁橋	37	橋台12-Φ1,500×32m 橋台12-Φ1,500×32m
3	3+507	3径間14主 PC桁橋	29+28+ 29=86	橋台12-Φ1,200×34m 橋脚8-Φ1,200×34m 橋台12-Φ1,200×34m

鋼橋は3橋ともFincantieri社(イタリア)の工場で製作、その他のPC桁橋はルーマニア国内でSonaco社にて製作し、現地に搬入・架設を行った。床版はほぼ全ての橋梁において、現地ヤードで製作したプレキャスト床版と、現場打ちコンクリート床版の組み合わせを採用した。一部、プレキャスト床版無しでPC桁上に直接現場打ち床版を採用した橋梁もある。

橋台・橋脚および現場ヤードで製作したプレキャスト製品などのコンクリートは、ブライラ側はプロジェクトの0km付近に位置するCRH社(ルーマニア)のコンクリートプラントから、ジジラ側は2022年6月30日まではTancrad社が現場付近に建設したコンクリートプラントから、同社の撤退後となる2022年7月1日からはJVが現場ヤード内にプラントを建てて供給した(写真-15)。



写真-15 JVコンクリートプラント

写真-16に本プロジェクトにおける一般的なPC桁橋を示す。



写真-16 PC桁橋(接続道路km3+507)

また、15カ所の橋梁の中で、橋長270mと最も規模が大きい跨線橋(Km0+389)について、その特徴的な桁架設の概要を紹介する。

跨線橋はブライラ市と隣町のガラツを結ぶ国鉄を跨ぐように架かっており、全7径間のうち中央の径間で国鉄の複線をオーバーパスしている。既存のコンクリート製架線柱がちょうど新設桁と干渉するため撤去、その両側に鉄製の架線柱を新設した。また、橋梁と国鉄の交点に重なるように上空を高压電線が通っている三線交差となっているため、その桁架設には注意を要した。

桁架設作業は夜間(22:00-05:00)に行った。終電通過後、作業前に桁の真下にある鉄道架線の電力を遮断、また橋梁上を横切る高压電線(220KV)の電力も遮断し、250tクレーンを使用して桁架設を行った(写真-17および写真-18)。



写真-17 跨線橋・桁架設状況



写真-18 跨線橋架設完了後

6-2. コントロールセンター(CIC)

本プロジェクトで建設される国道2S号線は既存の高速道路との接点が無いため、独自のコントロールセンターが設けられている。起点から2.8km地点、終点方向右側に約15,000㎡の敷地があり、管理棟・デポ・維持管理車両の車庫が配置されている(写真-19)。

管理棟内にはコントロールルームがあり、吊橋周辺の各所に設けられた監視カメラ映像の他、各種構造モニタリングセンサー、吊橋のメインケーブル・桁のための乾燥送気システムの状況などが表示されている(写真-20)。



写真-19 コントロールセンター



写真-20 コントロールルーム

6-3. 料金所

ドナウ川右岸、ブライラ市側からブライラ橋を渡って約1kmの位置に料金所が設けられている(写真-21)。片側3車線ずつ、自動収受システムおよび係員による手動での料金収受に対応した構造となっている。

なお前稿でも言及しているが、本プロジェクトはEUファンドを利用していることから、開通後5年間は無料開放されており、前述のシステムは稼働していない。



写真-21 料金所

6-4. ラウンドアバウト

前述の通り、本プロジェクトでは計5ヵ所のラウンドアバウトが設置され、既存道路との接続が行われた。

道路構成的には一般的な道路部とは変わりはなく、出入路を含めて道路照明が設置されている。写真-22に現在供用されている2番目のラウンドアバウトを示す。



写真-22 ラウンドアバウト

なお、工事施工中、2番目のラウンドアバウトとコントロールセンターとの間に、ラウンドアバウトが1つ追加され、新設される隣町ガラチへのバイパス道路の分岐部となった。契約交渉の結果、当ラウンドアバウトの建設は隣接工区の所掌となり、該当するJV契約区間300mは所掌外となった。

6-5. その他

本プロジェクトでは起点部・終点部付近において、工事着工時に考古学調査を行った(写真-23)。出土した数点の土器等はプライラ市の博物館に展示されている。



写真-23 考古学調査

また、土工区間の路肩部は排水溝を兼ねるコンクリート縁石が設けられているが、これは専用の機械を使用して現場打ちコンクリート施工とした(写真-24)。



写真-24 路肩部排水溝の連続打設機

7. まとめ

本稿ではルーマニア東部における国道建設工事のうち、プライラ橋を除く道路工事について紹介した。途中、下請の撤退という、道路工事がほぼ中断するような事態も発生したが、無事に第1期交通開放を達成、現在は残りの道路完工に向けて鋭意進捗している。また、コロナ禍・ウクライナ侵攻の情勢変動を受けて、アスファルトの材料入荷が遅れる、重機の手配が困難になる、など少なくない影響はあったが、現場封鎖などの非常事態に至ることなく、工事を進めることができた。

道路工事は吊橋のような長大鋼構造物とは違い、現地状況の違いに影響される部分はあるが、今後のプロジェクトにおいて、参考にしていただけたら幸いである。

【参考文献】

- 1) M. Bouassida, L. Hazzar: Comparison between stone columns and vertical geodrains with preloading embankment techniques, 6th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, Aug 2008

ブライラ橋を含む23kmの国道建設工事報告

— ケーブル架設工事 —

SEKI Shinjiro 関 真二郎* TAKEDA Kotaro 武田 康太郎** MURANO Fumiya 村野 文哉*** YANAGI Hirofumi 柳 博文****
KAWASHIMA Daisuke 川島 大助**** OTA Shinya 太田 慎也**** UCHIDA Yuya 内田 裕也***** NAKAYAMA Masaaki 中山 真明**

1. はじめに

本橋のメインケーブル架設は、2000年にカザフスタン共和国で完工したイルティッシュ河橋工事以来となる、エアスピニング(以下、AS)工法を採用した。AS工法は、架橋現場でワイヤをスピニングホイール(以下、SW)と呼ぶ滑車に掛け、このSWが両アンカレッジに設置されたストランドシュー間を所定回数往復することで、数百本のワイヤ束のストランドを現場で形成することを繰り返し、最後にそれらのストランドをまとめてケーブルにする工法である。

本稿では、AS工法によるメインケーブル架設を中心に、ケーブル架設工事全般について述べる。図-1に吊橋一般図を示す。

2. メインケーブルワイヤ製作／輸送／現地保管

メインケーブルは、パラレルワイヤ形式を採用し、そのワイヤに亜鉛めっき鋼線を用いた。メインケーブル諸元を表-1に、断面構成を図-2に示す。

亜鉛めっき鋼線は日本で全量製作し、海上輸送時の経済性や現地ハンドリング性を考慮して約2t毎にコイル化した。製作されたコイルは、3層からなる防錆梱包を施し、運搬時の形状保持のため、スチールフレームに2コイルずつ収めた。

これらのコイルは40FTコンテナに12個搭載した状態で海上輸送し、荷崩れを回避するため、現地保管ヤードにてコンテナから取り出した。保管ヤードでは、雨天時の水／泥／砂等の付着による腐食を防止するため、仮置エリアのみ砕石で嵩上げ、かつ地面とコイルとの間に一定の隙間を設け、耐久性の高いターポリンシートで覆った状態で屋外保管した(写真-1)。最初のコイル現地到着日から、1年以上経過後のメインケーブル架設開始となったが、ワイヤに錆等の腐食は見られず、健全な状態を維持することができた。

表-1 メインケーブル諸元

ワイヤ (亜鉛めっき鋼線)	引張強さ	1,860MPa
	直径	5.38mm
ストランド	ワイヤ本数	544本
	直径	140mm
メインケーブル	ストランド 本数	中央径間：16本
		ブライラ側径間：16+2本
		ジジラ側径間：16+2本
	直径	中央径間：561mm
		ブライラ側径間：571mm
		ジジラ側径間：579mm
メインケーブル総重量(2本分)		6,775t

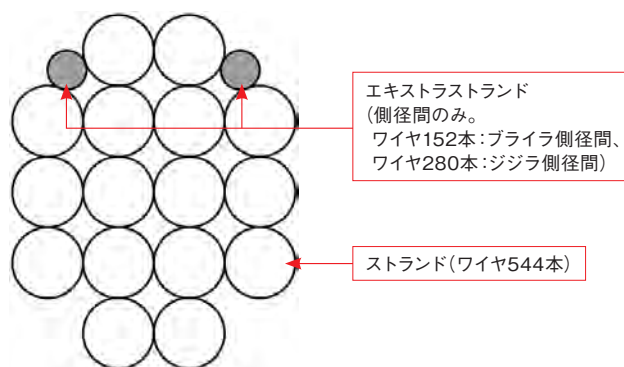


図-2 メインケーブル断面構成

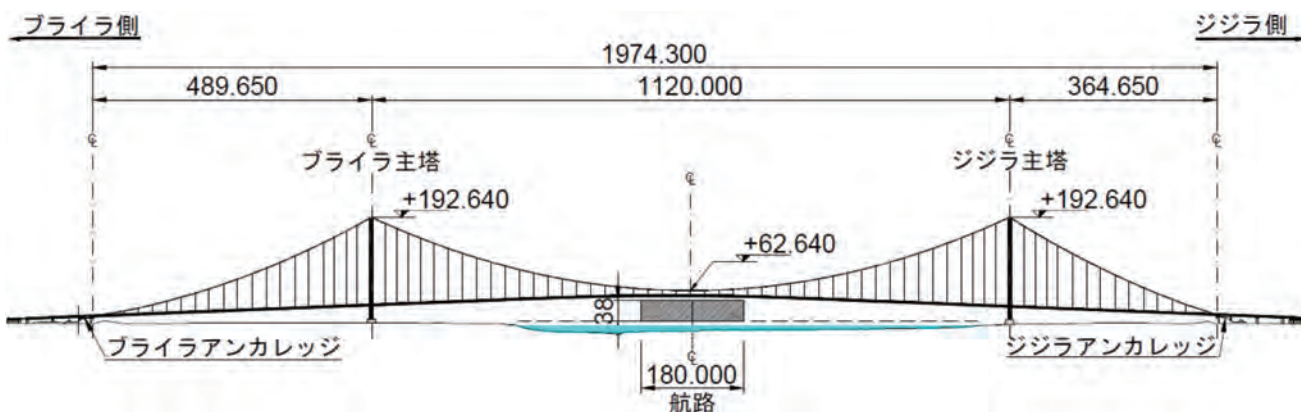


図-1 吊橋一般図

*(株)IHIインフラシステム 海外プロジェクト本部 プロジェクト部 ブレイラPJG
 *(株)IHIインフラシステム 海外プロジェクト本部 プロジェクト部 東西経済回廊PJG
 *(株)IHIインフラシステム 海外プロジェクト本部 エンジニアリング部 プロポーザルG
 *(株)IHIインフラシステム 海外プロジェクト本部 プロジェクト部 アジアエンジニアリングセンター
 *(株)IHIインフラシステム 海外プロジェクト本部 プロジェクト部 バンガバンドゥPJG
 *(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 エンジニアリング部 計画第1G



写真-1 ワイヤコイル保管状況



写真-2 塔頂サドル架設状況

3. ケーブル架設工事

ケーブル架設工事は、各主塔／アンカレッジが2021年3月末から5月末の間に断続的に引き渡され、順次仮設構造物とサドルの架設を開始した。キャットウォーク(以下、CW)システムを同年7月末に完成させ、8月中旬よりAS工法によるストランド架設を開始し、12月中旬に完了した。その後、ケーブルコンパクション、ケーブルクランプおよびハンガー架設を行い、2022年2月中旬より補剛桁架設を開始した。同年6月末の補剛桁架設完了後、ケーブルラッピングを開始し9月中旬に完了、ハンドロープ架設は、アンカー定着金物の設置タイミングに合わせ、2023年1月に完了した。桁防水／舗装工、およびケーブル現場塗装は、冬季の低温期間を避けて実施したため、CW解体は、同年5月から開始し、6月末に全仮設構造物の解体を完了した。

3-1. サドル、ストランドシュウの架設

(1) 塔頂サドル

吊橋は、全死荷重が載荷された状態でケーブル水平力が中央径間側と側径間側でつり合うように一般的に設計される。しかし、メインケーブルのみ架設された状態では、完成形の塔頂サドル位置ではケーブル水平力はつり合わず、塔頂サドルでメインケーブルワイヤのすべりが発生することが懸念される。このため、メインケーブルの架設時からケーブルの水平力のつり合いが要求され、この平衡状態を保つ位置まで塔頂を偏心させる必要がある。本橋は、コンクリート主塔であったため、主塔自体をCWロープ等の外力で変位させようとすると、この外力が過大となり、かつ主塔基部のひび割れも懸念されたことから、塔頂において主塔とサドルを結合せず、サドルのみあらかじめ必要なセットバック量だけ変位させ設置する方法を取った。

塔頂サドル重量は約44tであり、タワークレーンの最大吊能力を超過していたことから、塔下に設置した20t引きウインチのロープを塔頂に向けて転向し、4条繰り込みしたウインチロープで、主塔頂部に結合した鋼製ベースプレート上のセットバック位置に架設した(写真-2)。メインケーブル架設完了後、所定の桁架設が進捗した段階で、写真-3に示すとおり、能力1,000tの油圧ジャッキ2基を用いて、潤滑剤を塗布したベースプレート上を滑らせ、設計位置までセットフォワードを実施した。その後、塔頂サドルとベースプレートは現場溶接で接合した。

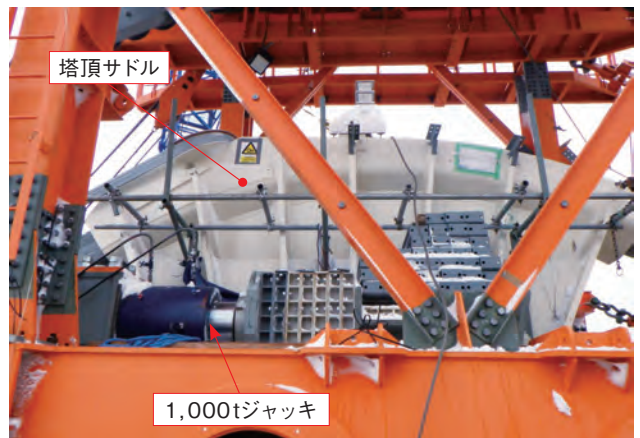


写真-3 塔頂サドルセットフォワード状況

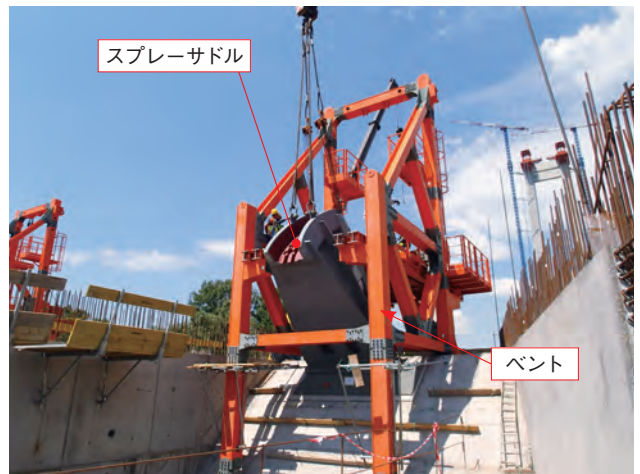


写真-4 スプレーサドル架設状況

(2) スプレーサドル／ストランドシュウ

スプレーサドルは、スプレーベースプレートを先行設置した後、写真-4に示すとおり、モバイルクレーンにて架設した。トータルステーションで位置計測を行い、ベントとスプレーサドルを鋼製ロッドで連結し、ジャッキを用いて角度を調整した。

ストランドシュウは、写真-5に示すとおり、テンションロッドとシュウ本体を専用治具で一体化した状態でモバイルクレーンにて架設した。AS時の作業スペースを確保するため、ASの進捗に合わせ、下層から順次架設した。ストランドシュウの据付精度は、レーザーポインターとターゲットプレートを用い管理した(写真-6)。



写真-5 ストランドシュー 架設状況



写真-7 CWロープ沈設渡河状況

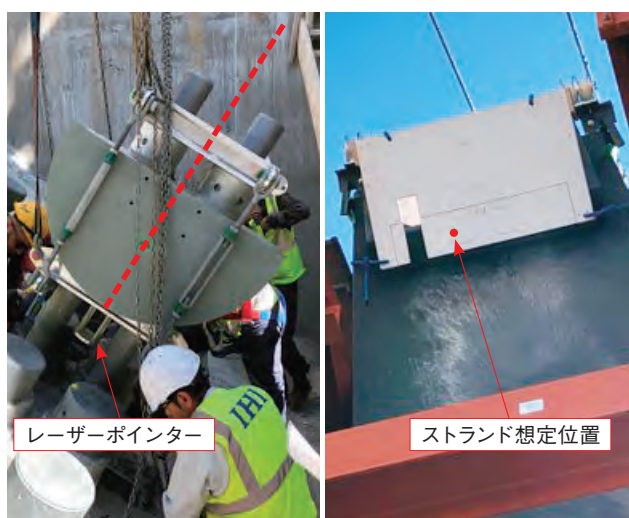


写真-6 ストランドシューの据付精度管理



写真-8 CW連続床出し状況

3-2. CWシステム／ASシステムの配置

(1) CWシステム

CWシステムは、直径33.5mmの構造用スパイラルロープ12本(フロアロープ10本、ハンドロープ2本)で構成され、ロープは施工時の形状調整を容易にするため、各径間で分断する構造とした。CW定着部は、暴風時の変形に追従できるよう、鉛直方向軸周りと橋軸直角方向軸周りに回転可能なユニバーサル仕様とした。クロスブリッジの配置は、AS時のスプレッド抑制のため、CWの折れ線傾向が過度にならないよう、その間隔を決定した。

中央径間CWロープは、ジジラ塔頂で定着後、写真-7に示すように台船上に設置したアンリーラーからCWロープを河川内に解き出しながら沈設し、対岸へ渡河後、プライラ主塔から伸ばしたウインチロープと接続し、巻き上げることでサグアップし、プライラ塔頂で定着した。CW床組みは、写真-8に示すとおり、ウインチで先端引張／後方おしみを取りながら、塔頂から中央径間中央に向けて連続床出した。

(2) ASシステム

ASシステムは、ワイヤをコイルからウインチドラムに巻き取るリーリング設備、ワイヤの引き出し張力を一定に保ちつつ

SWにワイヤを供給するアンリーリング設備、SWが取り付けられたロープを駆動させるホーリング設備から構成され、これらの制御／操作室、および主要機材は、ジジラアンカレッジ背面に配置した(ASヤードと呼ぶ。写真-9)。図-3にASシステム模式図を示す。

リーリング設備は、写真-10に示すとおりアンコイラー、テンショナー、U/Rウインチ(リーリングウインチ)で構成され、計4ライン配置した。

アンリーリング設備は、U/Rウインチ(アンリーリングウインチ)、カウンターバランスタワー(以下、CBT)、SW、各種シーブで構成される。

ホーリング設備は、駆動装置、ホーリングロープ、水平緊張装置、トラムウェイシステム、各種シーブ／ガイドローラーで構成され、南北のメインケーブルラインに1セットずつ配置した。駆動装置は、2ドラム型の摩擦駆動ウインチで、ホーリングロープを巻き付け、発生する摩擦力で、ロングスプライスにてホーリングロープをエンドレス化したループ式ロープを駆動させた。これらの設備は、アンリーリング設備と一体の制御システムで管理し、本橋では、4本のメインケーブルワイヤを同時に架線する方法を採用したため、8台中4台のU/Rウインチ、CBT、片ラインのホーリング設備を連動させた。

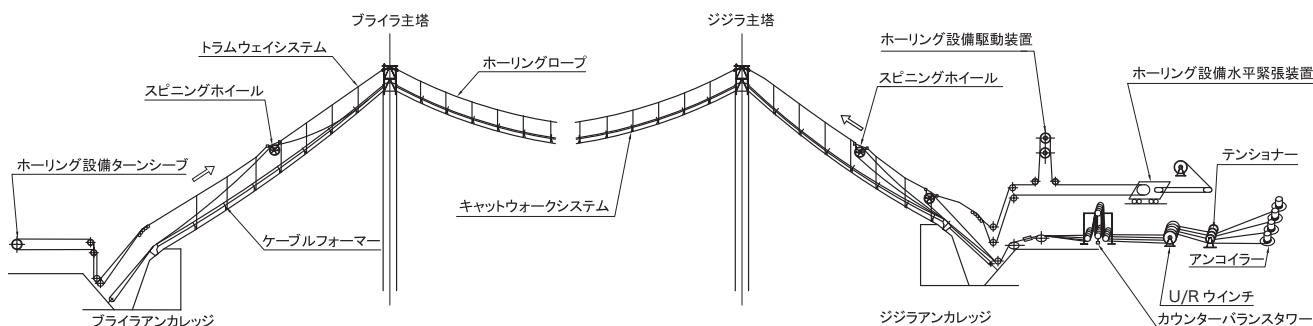


図-3 ASシステム模式図



写真-9 ASヤード全景



写真-10 リーリング設備

3-3. メインケーブルの架設

(1) リーリング／アンリーリング作業

リーリング作業は、操作盤でリーリング速度を設定し、テンショナーで検出したワイヤの通過速度を基に、アンコイラーとU/Rウインチ双方の回転速度を調整する制御／運転システムを導入した。アンコイラーは上方巻解きかつ駆動式(回転速度制御)とすることで、アンコイラー部で張力が発生することを防ぎ、過去の工事で課題となったコイル内でのワイヤの引っ掛かりによる作業停止およびワイヤ損傷がなくなり、安定したリーリング作業が可能となった。U/Rウインチドラムのワイヤ巻き取り容量は約10t(5コイル分)で、アンコイラーで新しいワイヤコイルに交換した際は、ジョイントスリーブを用いて継線した。

アンリーリング作業は、操作室で入力した速度情報を基に、U/Rウインチ、ホーリング設備駆動装置を連動させ、CBTのフローティングシブに設置したセンサーから得た情報を用いて、U/Rウインチの回転速度を調整することで、安定したアンリーリング作業を可能とした。

(2) AS作業

本工事では、風の影響を受けにくい低張力多点支持工法を採用した。この工法はフリーハング張力よりも低い張力(185-200kgf)を架線ワイヤに導入し、ワイヤ重量の一部を写真-11に示すケーブルフォーマーを介してCWに負荷させながらワイヤを引き出し、ストランドを形成する工法である。したがって、CWはワイヤ重量の一部を負担することから、ワイヤ架線本数が増

えるに伴い、CWの沈下量が増加していき、架線されるワイヤ間にサグ差(スプレッド)が生じる。このスプレッドへの対策として、全クロスブリッジ位置にウェイトを事前搭載し、ワイヤ架設進捗に従って、AS架設ラインから、もう一方のラインにウェイトを段階的に移設することで、ワイヤ荷重を相殺する手法を採用した。ウェイトには、写真-12に示すとおり、クロスブリッジに設置した水タンク内の不凍液を使用し、電動ポンプでウェイト移設を行った。CWの除荷荷重は、流量計で記録／管理した。

AS作業は、エキストラストランドを除き、1メインケーブル当たり16本のストランド架設を8ステップ(2本同時)で、南北のケーブルに対して交互に行った。一方のケーブルライン上で、写真-13に示すように、ホーリングロープに取り付けられた2基のSWが往復することで、4本のワイヤが架設された。2本分のストランドに対する合計1,088本のワイヤの架設終了後、別班にて、ストランドコンパクションとサグ調整の作業に入るとともに、もう一方のケーブルライン上で直ちにAS作業を開始する要領とした。AS作業は、開始直後は作業要領習熟のため日勤のみで行い、2週目から二交代制で行った。

AS設備はすべてASヤード内の制御／操作室でコントロールした。AS作業中は、SWが高速走行するため、安全性を高める目的で、その接近をスピーカー型警報機と回転灯で作業者に知らせるアラート設備と非常停止スイッチをCW上と各サドルに設けた。また、各サドルでの作業状況がASヤードに設置した操作室内のモニターで把握できるようモニタリングシステムを構築した。



写真-11 ケーブルフォーマーによるワイヤ支持状況



写真-12 クロスブリッジ上ウェイト移設

(3) ストランドサグ調整作業

AS作業1ステップ終了毎に、ストランドのコンパクションとサグ調整作業を行った。この作業は、工程上、他方のCW上でAS作業を行っている間に完了させる必要があった。

ストランドコンパクションとストランドのサグアップは日中に行った。ストランドコンパクションは、専用治具をコードレス電動インパクトレンチで締め付け、円形に仕上げた後、ポリアミド製結束バンドでバンディングする方法とした。これにより、従来式の油圧ジャッキと鉄製結束バンドでのコンパクションと比較し、作業効率が向上した。

サグ計測および調整は、ストランド温度のばらつき差が小さい夜間に行った。計測は、トータルステーションでフリーハング形状を実測する絶対サグ測量と、調整が完了した基準ストランドと被調整ストランドの相対高さを水平器／スケールで計測する相対サグ測量を行った。計測／調整作業順序は、中央径間から両側径間、両アンカースパンの順とした。中央径間調整時は、プライラ主塔を固定点とし、ジジラ塔頂に設置したストランド引込設備を使用して、ジジラ側からストランドを繰り出した。側径間／アンカースパンのサグ調整は、ストランドシュにセットしたジャッキ設備を用いてアンカースパンの導入張力を緩め、スプレーサドル上のストランドを側径間側に滑動させた。

3-4. メインケーブルコンパクションとケーブルクランプの架設

ケーブルコンパクション作業は、プレコンパクションを行った後に、本コンパクションを行った。



写真-13 AS作業状況

プレコンパクションは、掛矢とレバブロックを用い、日照によるワイヤ配列の乱れの影響が少ない夜間を実施した。プレコンパクションの目標空隙率は既往AS工事を参照し30%とした。

本コンパクションは、写真-14に示す200tジャッキを6台取り付けたコンパクションマシン4機を使用し、昼夜二交代制で行った。本橋のケーブルクランプは横割れであったため、本コンパクション後の形状を縦長に整形することとした。ケーブルクランプ位置での設計空隙率は20%であった。

ケーブルコンパクション完了後、ケーブルクランプ位置の計測とマーキング作業を実施した。位置計測はトータルステーションにて実施した。ケーブルクランプは、トラムウェイロープに設置したキャリア(トラムウェイキャリアと呼ぶ)を用いて架設地点まで運搬した。クランプをマーキングに合わせ設置した後、油圧式のボルトテンショナーにてクランプボルトの締め付けを行った。ボルト1本あたりの設計軸力は750kNで、各クランプに2本ずつ配置した検査ボルトの軸力を超音波軸力計にて測定し、設計軸力以上であることを確認した。軸力測定は、桁架設前、桁架設後、ケーブルラッピング前、CW解体前にも実施し、必要に応じて再締めを行った。

3-5. ハンガーの架設

ハンガーは、直径7mmの垂鉛めつき鋼線を用いたパラレルワイヤストランドを高密度ポリエチレンで被覆したNEW-PWSを適用した。両端ソケットはピンタイプでそれぞれケーブルクランプおよび補剛桁にピン連結する構造であった。ハンガーは日本で製作し、現地まで海上輸送した。

ハンガー架設時、コイルから解き出す際に、ハンガーによりが入るのを避けるため、主塔基部に設置したターンテーブル上にハンガーコイルをセットし、ターンテーブルを回転させながら、タワークレーンでハンガー先端を鉛直に巻き上げ展開した。ハンガーは塔頂まで吊上げ後、トラムウェイキャリアから電動チェーンブロックで吊下げられたハンガー運搬用吊天秤にセットし、写真-15に示すとおり塔頂から架設地点までCW床下を通して運搬した。架設地点まで運搬後、吊天秤を巻き上げ、ピンを挿入しケーブルクランプへの定着を完了させた。中央径間中央とアンカレッジ付近のピンには、付加応力を作用させないため、球面滑り軸受けおよびブッシングを設置した。



写真-14 ケーブルコンパクション状況



写真-16 ケーブルラッピング状況



写真-15 ハンガー運搬状況

3-6. メインケーブルの防錆

補剛桁架設完了後、メインケーブルの防錆作業を行った。本橋のメインケーブルは、以下に示す多重式防錆を採用し、②：亜鉛めっきS字ワイヤによるケーブルラッピング以降を現地で施工した。

- ①メインケーブルワイヤ：亜鉛めっき鋼線
- ②ケーブルラッピング：亜鉛めっきS字ワイヤ
- ③ラッピング後の現場塗装(表-2 参照)
- ④メインケーブル内への乾燥送気システム設置

表-2 現場塗装仕様

塗装工程	仕 様	乾燥膜厚(μm)
下塗り	エポキシ樹脂塗料	150
上塗り	ポリウレタン樹脂塗料	50
滑止め塗装	珪砂	—

メインケーブルのラッピング作業には、写真-16に示すラッピングマシンを4機使用した。亜鉛めっきS字ワイヤは日本で製作し、ボビンに巻いた状態で海上輸送した。クランプ間毎にボビンに巻かれたS字ワイヤを使い切るよう、ボビンへの巻き量を製作時に設定し、クランプ間でのボビン交換、および

それに伴うワイヤ継線が発生しないように計画することで、作業効率と気密性の向上を図った。

乾燥送気システムの送気設備は、アンカレッジ、補剛桁および主塔の塔頂水平梁の中に設置した。給気口と排気口にはセンサーを取り付け、吊橋を管理するコントロールセンターに常時情報を送信し、メインケーブル内の相対湿度が40%以下となるようSCADA(監視制御システム)によって制御する。

4. まとめ

本稿では、ブライラ橋のケーブル架設工事全般について報告した。冒頭に示した通り、IHIグループとして、約20年ぶりにAS工法を採用したメインケーブル架設であったが、計画段階からAS工法経験者参画の元、若手技術者が実計画を行うことで、AS工法の技術継承、そして、これまでのAS作業の課題であったリーリング作業効率向上に見られるような技術発展・改良も達成した。

本架設工事には、IHIグループ内外問わず、日本の吊橋ケーブル架設の歴史とも言える、多くの特殊機材や積み重ねられた制御システム理論を用いている。今後は、本工事での経験を活かし、ケーブル架設技術の更なる向上のため、これらの機材やシステム設計をベースに、如何に高度化・合理化を図っていけるかが課題と言え、この発展に努めていきたいと考える。

最後に、本工事の遂行にあたり、計画当初から多くの技術的なご指導を頂くとともに、現地に多大なご協力・ご支援を関係各所から頂きました。ここにすべての関係された皆様に心からお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) Tatsuya Idani, Takanori Shima: Braila bridge: Design and construction of the cable system, IABSE SYMPOSIUM 2023年4月
- 2) 井谷達哉、村野文哉、柳博文、關真二郎、中山真明、社浦潤一：ルーマニア・ブレイラ橋の設計・施工—ケーブルシステム、橋梁と基礎 2023年9月号

ブライラ橋を含む23kmの国道建設工事報告

— 補剛桁の製作・架設 —

KAWANO Seiko
川野 清浩*

MURANO Fumiya
村野 文哉**

IDANI Tatsuya
井谷 達哉*

SHONO Yoshiki
庄野 好希***

SEKI Shinjiro
関 真二郎*

SUGITA Rie
杉田 吏絵****

NAKAYAMA Masaaki
中山 真明*****

SHAURA Junichi
社浦 潤一*

1. はじめに

ブライラ橋では補剛桁の製作を2019年に開始した。製作はルーマニア国内の造船所で行ったが、吊橋はおろか一般橋梁の製作も未経験であったため、日本およびイタリアの技術者を工場に常駐させ、指導を行いながら製作をすすめ、21,000tの補剛桁を約2年で製作した。現地架設では、ドナウ川の様々な地形的制約がある中、直下吊りおよび陸上部への荷揚げを4か月で行った。本稿では、特に苦労した補剛桁の製作と架設に焦点を当て報告する。

2. 製作

2-1. 製作工場

ブライラ橋補剛桁は、イタリアの橋梁メーカーであるFincantieri Infrastructure社に発注し、同グループ傘下のVard Braila造船所で製作された。(写真-1) 発注範囲は材料調達を含む製作および現地輸送である。Vard Braila造船所はドナウ川に面し、架橋地点の9km上流に位置する総敷地面積500,000㎡を有するルーマニア東部ブライラ市の造船所である。橋梁製作は未経験のため、パネルライン、仮組立工場、塗装工場の新設および保管ヤード拡張等の設備投資を行った。実績工程を以下に示す。

製作開始	2019年11月15日
仮組立完了	2021年11月26日
塗装完了	2021年12月22日
輸送開始	2022年 2月16日

当初の製作工期は24か月であったが、新型コロナウイルスの流行により27か月に延長された。当初工期は4か月のバッファを考慮していたため、工期延長後も架設工程に遅延を発生させることなく輸送を開始することができた。



写真-1 Vard Braila造船所 全景

2-2. 材料

鋼材はEN規格材料をルーマニア最大の製鉄所であるLiverty Steel Galati社から、トラフはイタリアのMetal Camuna社(鋼材はMetinvest社)から購入した。

鋼材は黒皮材を購入し、Vard Braila造船所で切断を行う前に鋼材用のブラスト・塗装ラインでブラスト処理後、ショッププライマー(20μm)を塗布した。トラフはMetal Camuna社からショッププライマー塗布済の製品を購入した。

2-3. トラフ製作

12.5m長さの孔明けおよび開先加工済のトラフをパネル製作前に板継溶接しブロック長と同じ25m長さとした。取付けおよび板継溶接を一貫して行うため、回転機構を有する板継治具を製作した。回転機構により常に下向で溶接でき、溶接品質の向上が図れた。(写真-2)

デッキプレートとトラフの溶接については、のど厚と溶込みについて以下の要求を満足する必要があった。

1. のど厚はトラフの板厚7mm以上
2. トラフ板厚方向の未溶着深さ2mm以下

施工試験を行った結果、開先角度35°、ルートフェイス2mmの開先形状とし、Metal Camuna社で加工した。

2-4. パネル・コーナブロック製作

補剛桁を構成する最小パネルであるシングルパネルを製作後にシングルパネルを複数枚繋げたスーパーパネルとコーナブロックの小組立を行った。

2-4-1. シングルパネル

デッキ、ボトム、ウォークウェイの各シングルパネル(幅1,396mm~2,958mm、長さ25m)は本工事のためにイタリアから購入したパネル組立・溶接装置を使用して製作した。



写真-2 トラフ溶接治具

* (株)IHIインフラシステム 海外プロジェクト本部 プロジェクト部 プレイラPJG
** (株)IHIインフラシステム 海外プロジェクト本部 エンジニアリング部 プロポーザルG
*** (株)IHIインフラシステム 製造部

**** (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1G
***** (株)IHIインフラシステム 海外プロジェクト本部 プロジェクト部 東西経済回廊PJG

組立定盤に配材されたプレートは、定盤に6個搭載された位置決めガイドにより組立定盤中芯に自動で配置された後テンプレートを使用してトラフの位置決めを行った。

トラフ溶接は6電極サブマージアーク溶接機により、最大で同時に3本のトラフ溶接を行った。溶接歪による変形抑制のため、定盤下に設置した油圧ジャッキにより逆歪を与えた状態で溶接を行った。(写真-3、写真-4、写真-5)

のど厚および溶込み量の確認のため、ブロック長120m毎(4.8ブロック毎に1回)に実物大のトラフを使用して溶接施工試験を行い定期的に溶接条件の確認を行った。



写真-3 トラフ位置決め用テンプレート



写真-4 6電極サブマージアーク溶接機



写真-5 逆歪による溶接変形対策

トラフとデッキプレートの溶接については、トラフ内面側の過大溶込み(メルトスルー)の懸念があるため、ファイバースコープ付き台車を使用し、全数検査を行った。過大溶込みは台車に搭載した回転式切削バイトを操作員がモニターで微調整しながら慎重に切削除去した。(写真-6)

2-4-2. スーパーパネル

パネルラインで生産された各シングルパネルはデッキプレート、ボトムプレート、コーナブロックそれぞれのスーパーパネル定盤に搬送された後、子組立を行った。(写真-7) デッキプレートおよびボトムプレートの板継溶接は下向き姿勢による片面溶接で行い、初層のみCO₂半自動溶接、中間層、最終層はサブマージアーク溶接により溶接した。

(使用溶材 半自動溶接: Fluxofil 19HD φ1.2mm、SAW: AS35 φ3.2/AS461 いずれもLincoln electric製)(写真-8)

2-4-3. コーナーブロック

コーナブロックは補剛桁生産工程において最もクリティカルとなる構成部材のため、専用の組立・溶接定盤を4基設置



写真-6 トラフ内面検査装置

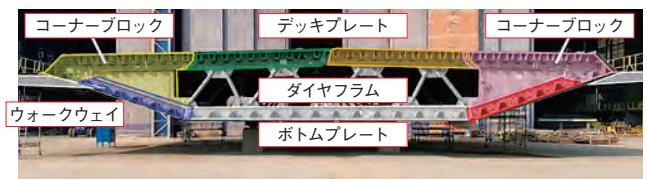


写真-7 スーパーパネル構成



写真-8 サブマージアーク溶接によるパネル板継状況

し、月間6ブロック生産するために1ブロックを10日で生産する計画とした。コーナブロックはワークウェイと取合う隅角部に溶接量が集まるため、隅角部を拘束する機能を持たせ溶接歪による変形を低減した。(写真-9、写真-10)

2-5. ブロック製作

当初生産工場3棟のうち2棟を使用する計画としたが、工程遅れのため2020年7月から3棟体制とし、3ブロックを同時製作した。当初14日サイクルでブロック生産を計画したが、習熟効果が現れた2020年9月以降は11日サイクルをターゲットとした。

組立定盤はH型鋼を5m間隔で配置し、ダイヤフラム位置をサポートする構造とし、SPMT(Self Propelled Modular Transporter)をブロック直下に進入させるため、部分的に撤去可能な構造とした。(写真-11)

ブロック精度向上のため、以下の対策を実施した。

デッキプレート、ボトムプレートの板継ぎによる溶接歪対策として、1m間隔で拘束用プレートを取付けて溶接を行い、溶接歪による変形を最小限に抑えた。(写真-12)

補剛桁の重要部材であるハンガープレートピン孔芯の誤差を最小とするため、ブロック溶接完了後にハンガープレートを取付けた。(写真-13)

ダイヤフラムから桁端までの張出し長がブロック両端で4.2mと0.8mと異なるため、溶接歪量の差が大きくなりデッキプレートの取合い不良が16ジョイントで発生した。取合い精度

向上のため以下の対策を実施した。

- ①張出し長4.2m側のデッキレベルを10mm下げて溶接
- ②デッキプレートの端部400mmを溶接残しとし、仮組立時に隣接ブロックと取合い確認後に溶接
- ③計測回数の追加によるステップ毎の精度管理
- ④溶接変形抑制のため縁端にフラットバーを設置(張出し長4.2m側のみ)

ブロック長およびルートギャップの精度確保のため、ブロック両端に切断代を設定し、ブロック完了後に片側、仮組立時に反対側を切断した。



写真-11 ブロック組立定盤



写真-9 コーナブロック定盤



写真-12 溶接歪拘束用プレート



写真-10 隅角部拘束治具



写真-13 ハンガープレート取付け状況

2-6. 仮組立

仮組立は仮組立工場2棟を使用し、2020年4月9日から2021年11月26日までの19.5か月間に全43回実施した。

仮組立における主な検査項目を表-1に示す。

標準ブロックの仮組立は3ブロックを連結して実施し、端部ブロックは次回の仮組立の基準ブロックとし、全長およびハンガー間隔について累積管理を行った。(写真-14)

仮組立検査はデッキプレートとボトムプレートの温度差が4℃以下となる条件で行い、気温の上昇する夏季は早朝5:00から検査を行った。現地用のマッチングピースは検査合格直後に、取付けおよび溶接を行った。(写真-15、写真-16)

仮組立用サポートのうち4か所(1ブロックあたり)は油圧ジャッキで水平および鉛直方向に可動式とし、ブロックの通り、レベル調整、ルートギャップ調整作業の効率化を図った。(写真-17)

トラフのmisalignment精度確保のため、デッキトラフとデッキプレートの溶接端部500mmは溶接残しとし、隣接ブロック間のトラフ取合いを確認した後、溶接を行った。

2-7. 塗装・保管・輸送

補剛桁の塗装のため、補剛桁2ブロックを収容できる長さ54m、幅36m、高さ7mのブラスト・塗装工場を新設した。暖房・除湿装置完備のため雨天、低気温等の天候に左右されずに施工でき、冬季における工程の平準化に効果を発揮した。(写真-18)

本工事では全86ブロック分の保管場所として約70,000㎡が必要だったが、Vard Braila造船所の保管場所では21ブロック分のエリアが不足するため、隣接する軍とガラツ市のDamen造船所の所有地をリース契約し保管場所を確保した。

写真-1 Vard Braila造船所 全景

検 査 項 目	許容値
ハンガーピン孔間隔	±33mm
ハンガーピン孔鉛直方向の偏差	±55mm
ルートギャップ	3～8mm
トラフのmisalignment	板厚の10%
デッキトラフとスプライズプレートの密着度	0.5mm

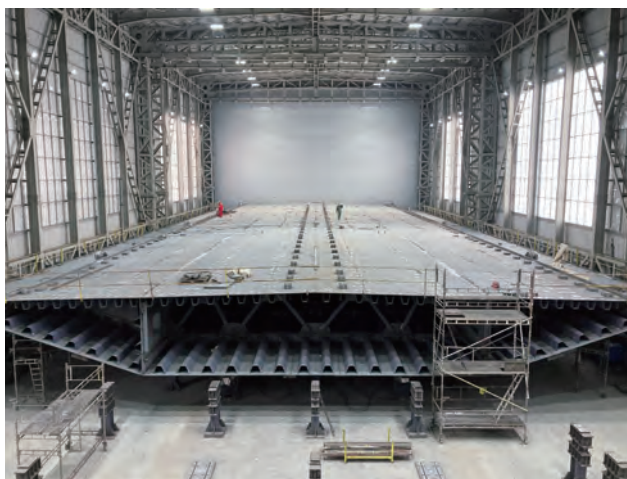


写真-14 仮組立状況



写真-15 現地架設用マッチングピース(デッキ面)



写真-16 デッキPL2次切断状況



写真-17 油圧ジャッキによる位置調整機能付サポート

架橋地点への輸送はオスマン・ガーズィー橋で使用した自航台船2隻を使用した。船舶昇降装置により、台船をクレーン下に陸揚げした後、100tジブクレーンの相吊り作業(4台もしくは2台)により補剛桁を搭載した。(写真-19) 補剛桁を2ブロック搭載後、再度昇降装置により台船をドナウ川に進水した後、現地へ輸送した。(写真-20)



写真-18 ブラスト・塗装工場



写真-19 ジブクレーンによる相吊り



写真-20 昇降装置によるバージ進水

3. 架設

本工事の補剛桁の現地搬入及び荷揚げは、2022年2月より開始され、同年3月に直下吊りが始まった。最終ブロックの閉合は同年6月に行われ、現場継手部の仕口溶接は同年9月に完了した。補剛桁架設の下請け工事は、Webuild-IHIインフラシステムJVからIHIインフラシステムが単独で受注した。本報

告では、補剛桁架設の主要工種である桁ブロックの台船から陸上部への荷揚げと直下吊りについて報告する。

3-1. 架設概要

(1) 架橋地点の地形的特徴

架橋地点のドナウ川水位は年に5～6m程変動し、年によっては、海拔が高い側径間範囲の陸地も河川範囲となる。本工事では施工効率向上のため、中央径間の主塔近傍と側径間に、年間を通して水没することのない工事用道路を下部工施工時に造成した。これにより、アンカレッジ付近の一般道、仮設ヤードから主塔基部への資機材の陸上輸送が可能となった。一方、この工事用道路造成によって、補剛桁の陸上架設範囲が全橋長の約6割を占めた。

(2) 架設フロー

補剛桁は、架設地点から南に約9km離れた地点にある製作工場から自航台船により架設地点まで輸送された。台船には桁2ブロックが搭載され、基本架設サイクルとして、1日に2ブロックの荷取りを行った。また本工事では、係留なしで一定水準の定点保持を可能とするDPS(ダイナミックポジショニングシステム)が搭載された自航台船を使用した。輸送後の桁ブロックの架設フローを以下に示す。

- ①自航台船により、桁ブロックを工事用道路縁端まで輸送、定点保持。
- ②荷揚げ設備により、桁ブロックを台船から水切り。
- ③荷揚げ設備により、桁ブロックを陸側ヘスイング。
- ④荷揚げ設備により、桁ブロックを工事用道路上にて待機中の多軸台車に降下。
- ⑤多軸台車により、桁ブロックを陸上の直下吊り地点まで移送。
- ⑥直下吊り設備により、桁ブロックを目標高度へ吊上げ。
- ⑦桁ブロックをハンガーに定着し、既設ブロックと仮ヒンジ連結。

以上が、陸上架設範囲の桁ブロックの架設フローである。一方、河川上架設範囲の桁ブロックについては、上記の②～⑤の手順が不要となり、吊上げ地点直下において台船を定点保持し、直下吊りを行った。荷揚げ設備及び直下吊り設備の構造概要については、3-2、3-3で言及する。



写真-21 架設現地 俯瞰写真



写真-22 荷揚げ状況



写真-23 直下吊り状況

(3) 架設ステップ

箱桁式吊橋の補剛桁架設ステップでは、架設系と完成系の形状差を抑えるため、支間中央または桁端から主塔へと架設を進め、閉合は主塔近傍で行われることが一般的である。一方、本工事では、以下に記す制約①～③によって、非対称かつ変則的な架設順序を採用せざるを得なかった。

①中央径間の閉合箇所

本工事では、陸上範囲の桁ブロックが過半数を超えるため、桁架設の終盤まで荷揚げ作業が継続した。

そのため、荷揚げ箇所の桁ブロック架設を先行して完了することができず、中央径間の閉合は、主塔近傍ではなく荷揚げ地点で実施する必要があった。(図-1)

②主塔部におけるメガブロック架設

主塔周りの3ブロックは、完成時にハンガーと連結されない。本工事ではこれらを隣接ブロックと工事用道路上で地組溶接し、桁架設中盤にメガブロックとして吊り上げた。本メガブロックの総重量は約1,100tに達し、各岸の中央径間及び側径間に配備された直下吊り設備を集約して吊上げを実施した。(図-2)

③桁端部におけるメガブロック架設

桁端の2ブロックもまた完成時にハンガーと連結されない。本工事ではこれらを隣接ブロックと仮設ベント上で地組溶接し、桁架設中盤にメガブロックとして吊り上げた。地組溶接中のメガブロックと吊上げブロックの干渉を避けるため、桁端から4番目のブロックは閉合ブロックとし、メガブロック架設完了後にこれを架設した。(図-3)

以上の施工的制約に加え、中央径間と側径間のメインケーブル張力差によって生じる主塔の過剰変位や、塔頂サドル上でのメインケーブルの滑りを発生させない、さらには閉合に要する強制力を抑制する等の設計的制約も考慮され、本工事の補剛桁架設ステップが決定された。結果として、補剛桁の架設順序は一方方向には進まず、橋梁全体で6箇所の閉合ブロックを有し、直下吊り設備の長距離移設が度々発生した。(図-4)

(4) マルチストランドジャッキの採用

本工事の荷揚げ設備、直下吊り設備の揚重機には、国内の既往吊橋工事で使用されてきたウインチではなく、欧州や中国で使用実績の多いマルチストランドジャッキを採用した。マルチストランドジャッキを採用することにより、吊上げに要する設備一式を一箇所に集約でき、ウインチ式設備を採用した場合に必要な索道の設営、解体時間を省略できるため、工程面で有利となる一方、吊速度は比較的低速(15～40m/h)となる。

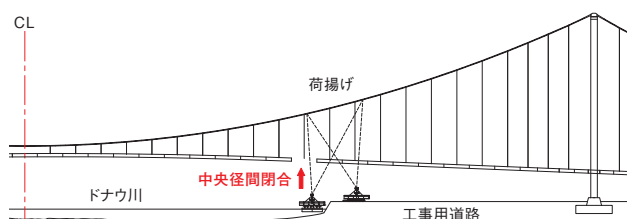


図-1 中央径間閉合箇所

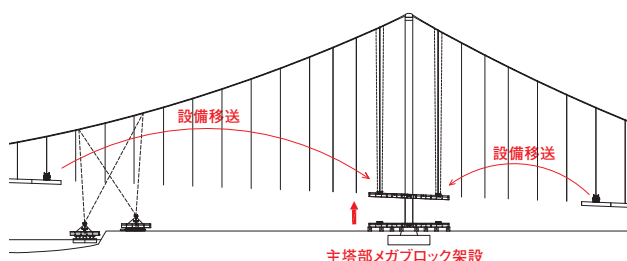


図-2 主塔部メガブロック架設

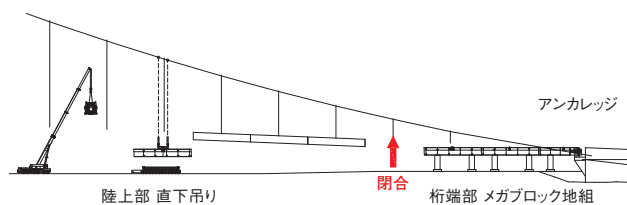


図-3 桁端部閉合箇所

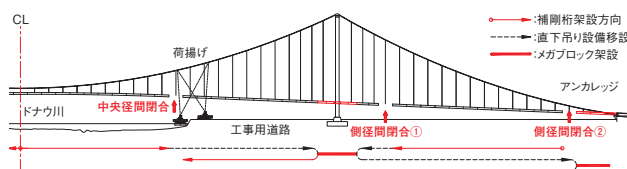


図-4 直下吊り設備 移設距離

3-2. 荷揚げ

(1)設備概要

本工事の荷揚げ設備の設計にあたっては、補剛桁側に、吊能力300tのマルチストランドジャッキ4基、油圧ポンプ、発電機、作業足場及びこれらを搭載する鋼製フレーム材を集約し作業拠点とした。設備を一箇所に集めることで、少人数による資機材の点検、管理が可能となった。また荷揚げ時、主要吊材であるスパイラルロープと、桁ブロックの水平姿勢保持を目的とする斜材ステイロープを用いて、荷揚げ設備と桁ブロックを連結した。

(2)スイング軌跡の管理

荷揚げの実施工に先立ち、マルチストランドジャッキのメインケーブル側定着部となる仮クランプ位置と河川の浚渫量を決定するため、荷揚げする全桁ブロックに対して、スイング軌跡の事前確認を行った。スイング軌跡に影響を及ぼす主なパラメーターを以下に列挙する。(図-5)

- ①マルチストランドジャッキの仮クランプ位置
- ②自航台船の接近限界 ← 河川水位・浚渫量
- ③多軸台車の接近限界 ← 工事用道路形状・地耐力
- ④補剛桁架設の進捗に応じたメインケーブルの変位
- ⑤荷揚げ荷重によるメインケーブルの変形
- ⑥自航台船の喫水変動
- ⑦橋梁全体構造の温度

これらパラメーターの推定と、陸側・河川側のストランドの水平方向の力のつり合いを基に、全ステップのスイング軌跡を算出し、マルチストランドジャッキの仮クランプ位置と浚渫量を決定した。⑤の影響は桁架設初期に顕著となるが、ケーブル桁架設が進行するにつれて、メインケーブルの剛性が向上し変位も減少していく。鉛直方向だけでなく橋軸方向の変位も生じるため、台船からの桁ブロック水切りや、多軸台車への桁ブロック降下時には、惜しみ設備を配備し、水平方向の安定性確保に注意を払った。

3-3. 直下吊り

(1)設備概要

本工事では3-1で言及した通り、直下吊り設備の長距離移設を架設期間中に複数回行う必要があった。この移設作業によって補剛桁架設の全体工程が遅延することのないよう、直下吊り設備の機動性を向上させることが設備設計上の重要課題であった。従来式のメインケーブル上集約型直下吊り設備(写真-25)を採用した場合、重量のあるガントリー型設備を勾配を有するメインケーブル上で横行させる必要があり、その移設と固定作業に多大な労力を要する。

そこで本工事では、国際的にも数例の実績しかない桁側集約型の直下吊り設備を採用し、関連設備一式(吊天秤、ジャッキ、ストランドリコイラー、油圧ポンプ、発電機)をユニット化することで、小型かつ機動性に優れた直下吊り設備を実現した。設備移設の際には、本ユニットを河川上では専用の降下装置(写真-26、写真-27)、陸上ではモバイルクレーンを使用し、既設の補剛桁上から河川上または陸上に降下し、台船またはトラックによる迅速な移設を可能とした。



写真-24 荷揚げ設備 詳細

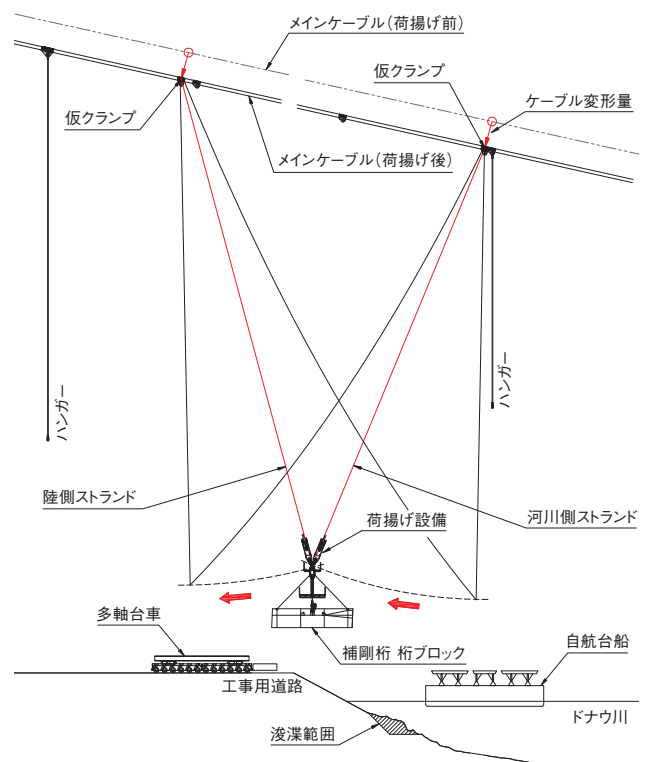


図-5 荷揚げ設備によるスイング軌跡



写真-25 オスマン・ガーズィー橋 直下吊り設備
(メインケーブル集約型)



写真-26 直下吊り設備 桁上ユニット



写真-28 仕口調整作業



写真-27 直下吊り設備 降下装置

(2)吊上げ時の勾配調整

本工事の直下吊り設備では、吊能力200tのマルチストランドジャッキ4基を橋軸方向の前後に2基ずつ配置し、これらを吊天秤を介して、ハンガーケーブル定着点の仮設用孔に連結した。これにより、架設用吊金具や補剛桁の補強を追加することなく、4点吊りの架設スタイルを再現でき、既設ブロックとの連結時に必要となる勾配調整作業を、ジャッキのストローク調整により迅速かつ繊細に実施することが可能となった。(図-6)

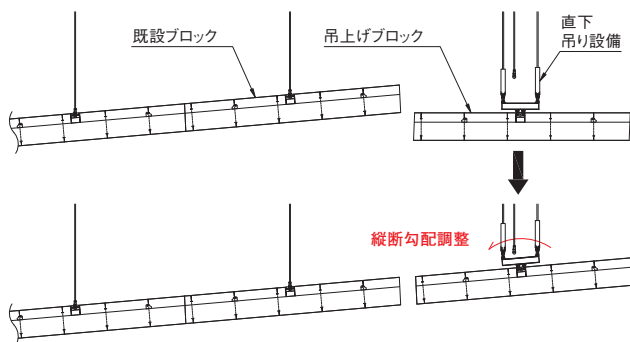


図-6 直下吊り設備による勾配調整

3-4. 現地継手部の接合

補剛桁の閉合後、現地継手73ジョイントの溶接を開始した。閉合時は補剛桁上面のみをピン結合した状態のため、写真-28に示すように下フランジに油圧ジャッキを設置し仕口調整をした後に溶接を行った。

現地継手の接合手順は下記のとおりである。

- ① 仕口調整
- ② ボトムプレート溶接
- ③ デッキプレート溶接
- ④ コーナーブロック溶接
- ⑤ ウォークウェイ溶接
- ⑥ 後付け部材溶接
- ⑦ 塗装
- ⑧ トラフボルト添接

現地継手の接合はブライラ側およびジジラ側の両アンカレッジ側から中央径間中央に向かって行った。複数のパーティーを動員し、下フランジの溶接および非破壊検査が完了したことを確認した後、隣接するジョイントの接合作業を行っていった。2022年の7月から開始し、9月末に全ての接合作業が完了した。

4. 舗装・付属物

4-1. 床版防水システム

(1) 防水層

床版防水システムの防水層には塗膜系を使用した。プライマー層、アクリル防水層、舗装接着層の3層で構成されている。ルーマニアではシート系が一般的に用いられているため、施工にあたっては鋼床板への塗膜系防水層の適用に対するルーマニア技術承認の取得が必要であった。

防水層の施工は2022年12月に開始した。(写真-29) 施工にあたっては、塗布面の温度が露点温度より3℃以上高いことが製品の施工要求であったが、冬季の朝方は蒸気霧が発生するため湿度が高く露点温度も上がるため、施工のボトルネックとなった。また積雪もあったことから1月～2月中旬は作業中止とし、2月下旬から本格化し2023年3月下旬に作業を完了した。

(2) 舗装

舗装は維持管理における入手性を考慮し、ルーマニアの標準仕様を採用することとした。防水層保護アスファルト3cm、基層4cm、表層4cmの3層構成で、舗装厚さは計11cmあり、総重量は約12,000tである。

鋼床板上面はガードレールを設置するための台座が約1.5mピッチで配置されているため、施工は図-7、写真-30に示すように3回分けて行った。



写真-29 防水層の施工

4-2. 付属物

(1) 支承・伸縮装置

支承は機能分離型の鋼製支承を採用した。アンカレッジ部では鉛直方向および橋軸直角方向を固定、主塔部では橋軸直角方向のみを固定している。

伸縮装置はモジュラー式であり、片側最大1.26mの移動量に対応する。移動量は使用限界状態(SLS)で、荷重は終局限界状態(ULS)で設計した。

(2) 排水装置

ドナウ川河川敷内は環境保護地域に指定されており、雨水を直接ドナウ川に排水することが禁じられていた。そのため、桁内に排水管を設置し、排水枳から排水管、アンカレッジ内のタンクへと雨水を導水し、油水分離後にドナウ川に排水することとした。

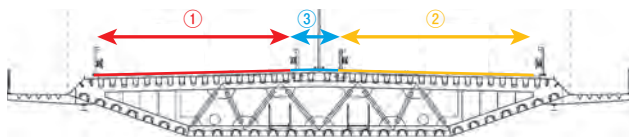


図-7 舗装施工順序



写真-30 舗装の施工状況

4-3. 荷重載荷試験

ルーマニアの建設基準に従い、道路開通前に各橋梁において荷重載荷試験(静的試験および動的試験)を実施した。

静的試験では、橋梁の主構造部材がクリティカルとなる荷重状態を再現し(写真-31)、吊橋においては13ケースの試験を行った。荷重には総重量40tのダンプトラックを用い、最もトラック台数が多いケースでは、吊橋全線に渡って60台が並んだ状況が再現された。

動的試験では、40tのダンプトラックを所定の速度で走らせ、支間中央に高さ約3cmの段差を乗り越えることで橋を加振し、その振動計測を行った。トラックの速度は時速10km、30km、50km、70kmの4ケースを実施した。

静的試験および動的試験結果が設計で想定された範囲内にあることを確認した後、道路の開通を行った。

5. まとめ

本稿ではルーマニアで建設された吊橋・ブライラ橋の補剛桁の製作および施工を中心に報告した。

補剛桁の製作では製作立ち上げ期において、ブロック溶接の歪過多により仮組立工程での取り扱い不良が発生したが、拘束治具の追加や溶接残しを行うことで仮組立工程での調整作業を大幅に削減し、現場架設工程に影響を与えることなく製作を完了することができた。

現地での架設では、ドナウ川の地形的制約上、非対称かつ変則的な架設順序を取らざるを得なかったため、直下吊り設備の長距離移設を架設期間中に複数回行う必要があったが、桁上に直下吊り設備を集約したユニットを設置することで設備の機動性が向上し、設備移設が工程のボトルネックとなることを防ぐことができた。

本報告が今後同様の吊橋の補剛桁製作および施工の参考となれば幸いである。

最後に、ブライラ橋の補剛桁の製作・現地施工が行われた2019年～2023年は新型コロナウイルス(COVID-19)やロシアによるウクライナ侵攻などがあり、日々の情勢が目まぐるしく変わる中での工事であったが、その様な中でも多大なるご指導・ご協力を頂いたルーマニア道路インフラ公社(CNAIR)をはじめとした関係者の皆様に深く感謝の意を表します。



写真-31 静的荷重載荷試験の状況

ブライラ橋を含む23kmの国道建設工事報告

— 吊橋の耐風設計 —

IDANI Tatsuya SHIMA Takanori SHAURA Junichi
井谷 達哉* 島 宜範* 社 浦 潤一*
INOUE Manabu KUDO Mitsuhiro
井上 学** 工藤 光弘***

1. はじめに

吊橋は一般的な橋梁と比較して支間長が長く柔構造であるため風の影響を受けやすく、耐風安定性の検討結果より各部材の形状および構造が決定される場合がある。本稿ではブライラ橋の詳細設計にあたって実施された耐風設計および風洞試験について報告する。

2. 本工事における耐風設計の流れ

ブライラ橋はDesign & Build案件のため、詳細設計は請負者所掌であり、設計期間が1年間で非常に短い中、効率的に耐風設計を進める必要があった。この1年間の中には、以下に示す4つの設計ステージが含まれる。

1. 設計要領書の作成
 2. 道路安全性評価用設計
 3. 建設許可評価用設計
 4. 詳細設計
- } 1st フェーズ
} 2nd フェーズ

このうち、3の建設許可評価設計の時点では構造物の主要な寸法や必要断面が確定していなければならないが、細部の詳細が含まれている必要はない。そのため、耐風設計を2つの段階に分け、概形を確定させるための1stフェーズと、詳細設計の結果を反映した最終確認となる2ndフェーズに分けて風洞試験を行った。

3. 設計基準の策定

設計要領書の作成にあたり、ルーマニアの国立気象研究所と共に気象条件(気温、降水量、風速、風向)の調査を実施した。架橋地点から約10～20kmの位置にあるブライラ気象台とガラツ気象台の1981年～2017年のデータを収集し評価を行った。調査の結果、冬季に強風が吹くことがあるが風速10m/s(高度10m)を超えることは稀であること、風向については北及び南西(橋軸方向に対して約22度)の風が卓越していることが分かった。図-1にガラツ気象台における風向風速分布を示す。

設計風速等の策定にあたってはデンマーク工科大学作成のWAsPエンジニアリングプログラムを用い、高度10mで27.6m/s、高度200mで43.0m/sを設計基準風速とした。(再現期間100年、10分間平均風速)。

空力安定性に関しては、プロジェクト特記仕様で以下の状態が要求された。

- 風速60m/sで減衰定数が0.5%以上
- 風速70m/sで減衰定数が0%以上

なお、EN等の基準に沿って設計基準風速から算出したフラッター照査風速は56m/sであるため、それに比べて高い耐風安定性が求められた。

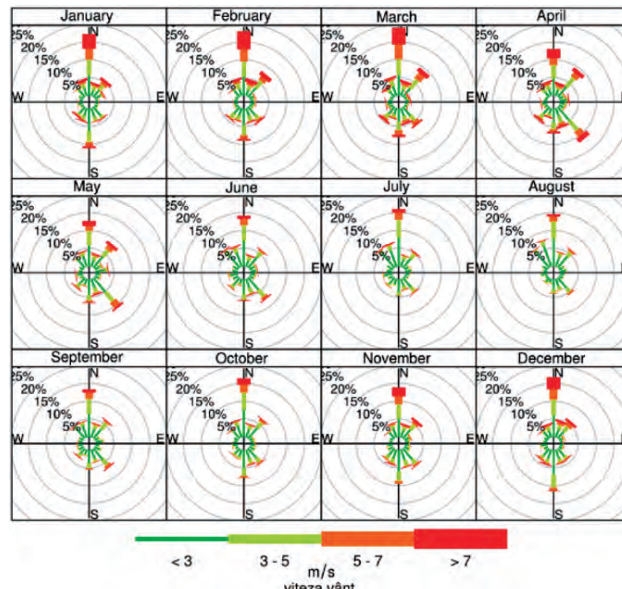


図-1 風向風速分布(ガラツ気象台)

4. 風洞試験

1stフェーズでは、補剛桁と主塔の2次元模型による、ばね支持試験、静的空気力計測試験を実施し、主要寸法の決定を行うこととした。風洞試験期間を短縮するため補剛桁と主塔は別の風洞施設で製作・試験することとし、補剛桁はデンマークのFORCE technology、主塔は英国のRWDIで実施した。

2ndフェーズは、細部構造を反映した補剛桁の2次元模型によるばね支持試験・静的空気力計測試験、主塔単体の3次元模型試験のほか、全橋模型試験を計画した(4-2(2)に詳述するが、主塔の3次元模型試験は省略した)。全橋模型試験はイタリアのPolitecnico di Milanoの風洞施設で実施した。

4-1. 補剛桁の耐風設計

(1) 1stフェーズ

補剛桁の最適断面形状を決定するため、入札図書内に示された参考図面を基本とし、桁高および検査車レールの有無をパラメータとしたばね支持試験を行った。桁高は参考図面にある3.5mのほか、3.2mおよび3.0mの3種類の模型を作成した(表-1)。

試験は2.6×1.8mの境界層風洞で実施し、写真-1に示す1/75の縮尺模型を用いた。試験には一様流を用い、3種類の迎角(-2°、0°、+2°)で試験を行った。図-2に示す試験結果のとおり、全てのケースでフラッター照査風速を上回る結果が得られたが、桁高が低くなるほどフラッター発現風速が低く

* (株)IHIインフラシステム 海外プロジェクト本部 プロジェクト部 プレイヤPJG

** (株)IHIインフラシステム 橋梁技術本部 取締役

*** (株)IHIインフラシステム 事業戦略本部 戦略第1部 長大橋推進G

表-1 試験結果とSelberg式との比較(迎角0°)

桁高	検査車レール	凡例	試験結果(m/s)	Selberg式(m/s)
3.5m	有	C1	>85	93
	無	C2	>85	93
3.2m	有	B1	>86	89
	無	B2	>84	89
3.0m	有	A1	81	82
	無	A2	80	82



写真-1 補剛桁2次元模型(1/75)

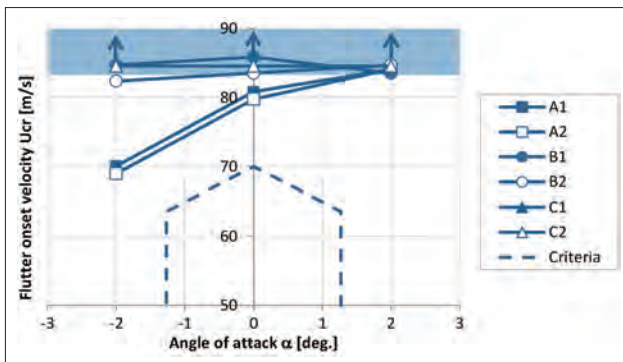


図-2 補剛桁 迎角とフラッター発現風速(一様流)

なる傾向にあり、桁高3.0mあたりが限界といえる。検査車レールの有無による応答の違いは見られなかった。また、試験結果とSelberg式によるフラッター限界風速の比較を表-1に示すが、試験結果と評価式の限界風速は概ね一致しており、試験結果の妥当性を確認した。

これらの結果を踏まえ、詳細設計による細部の変更が行われること、および経済性の観点を加味し桁高は3.2mが最適であると評価した。

(2)2ndフェーズ

2ndフェーズではガードレールや高欄等の細部(図-3)を模型に反映し、1stフェーズと同様に1/75の縮尺模型で下記の試験を行った。

- ①完成系:ばね支持試験(一様流&乱流、迎角:0°、±2°)
- ②完成系:ばね支持試験 積雪考慮(一様流、迎角:0°)
- ③完成系:静的空気力計測試験
(一様流&乱流、迎角:±10°の範囲内で1°ごと)
- ④架設系:静的空気力計測試験
(一様流、迎角:±5°の範囲内で1°ごと)
- ⑤架設系:非定常空気力計測試験(一様流、迎角:0°)

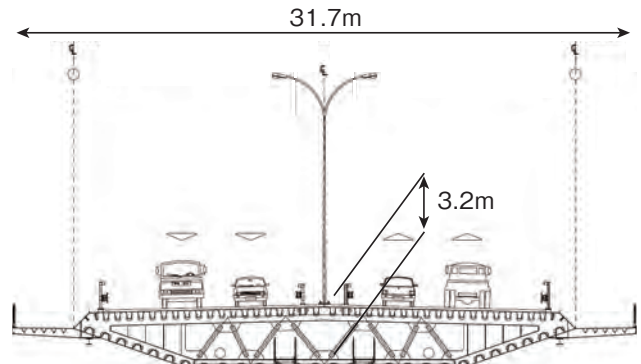


図-3 補剛桁の断面形状

完成系および架設系の模型の違いは車道部ガードレールの有無である。乱流試験における乱れ強度は7%とした。架橋地点は冬季に降雪があるが、中央分離帯の内側は除雪が困難であるため、中央分離帯内側に30cmおよび60cm積雪した状態の応答確認も行った。

試験の結果、迎角-2°の乱流中においてのみフラッターが79m/sで発現したが、照査風速は70m/sであり問題ないことを確認した。

渦励振の発現は確認されていないが、過去の同種の風洞試験において模型縮尺の違いで渦励振の発現が異なるという結果が報告¹⁾されているため、1/40模型を製作し渦励振に着目したばね支持試験も実施した。一様流および乱流中(乱れ強度7%と13%)での試験を実施し、模型縮尺の違いによる試験結果に相違がないことを確認した。

4-2. 主塔の耐風設計

(1)1stフェーズ

受注後の設計初期に行った概略設計から、主塔形状は入札図書にある参考図面の踏襲(図-4)で問題ないと判断し、風洞試験は1種類の断面のみとした。主塔は橋軸直角方向に傾いているため、標高130m位置での主塔断面および主塔間隔を代表として模型を製作した。試験には2.5×2.1mの境界層風洞を使用し、写真-2に示す1/70の模型縮尺を用いた。本橋の主塔は2つの角柱が並んだ配置でありウェイク(後流)の影響が考えられるため、2本の主塔を再現した。計測センサーは2つの塔柱の内、一方の塔柱のみに配置することとし、模型を迎角0°～180°の範囲内で5°ごとに回転させて試験を行った。表-2に示す試験ケースのうち、センサーを設置した塔柱を「計測主塔」、センサーの無い塔柱を「ダミー主塔」と呼称している。

ケース1～37の静的空気力の計測結果を確認すると、迎角80°～100°の範囲で揚力係数が負の勾配となっていることが分かる(図-5)。ギャロッピングに対する安全性を確認するため、Den Hartogの判別式を用いて評価すると、85°～95°の範囲で負の値が得られたが(図-6)、推定発現風速は135m/sであり、照査風速70m/sに対して十分高い値であった。

ばね支持試験については渦励振とウェイク振動に着目し、迎角0°、10°、170°、180°のケース38～41を実施したが、ウェイクの影響はなく、風速10m/s程度で渦励振の発現が確認された。

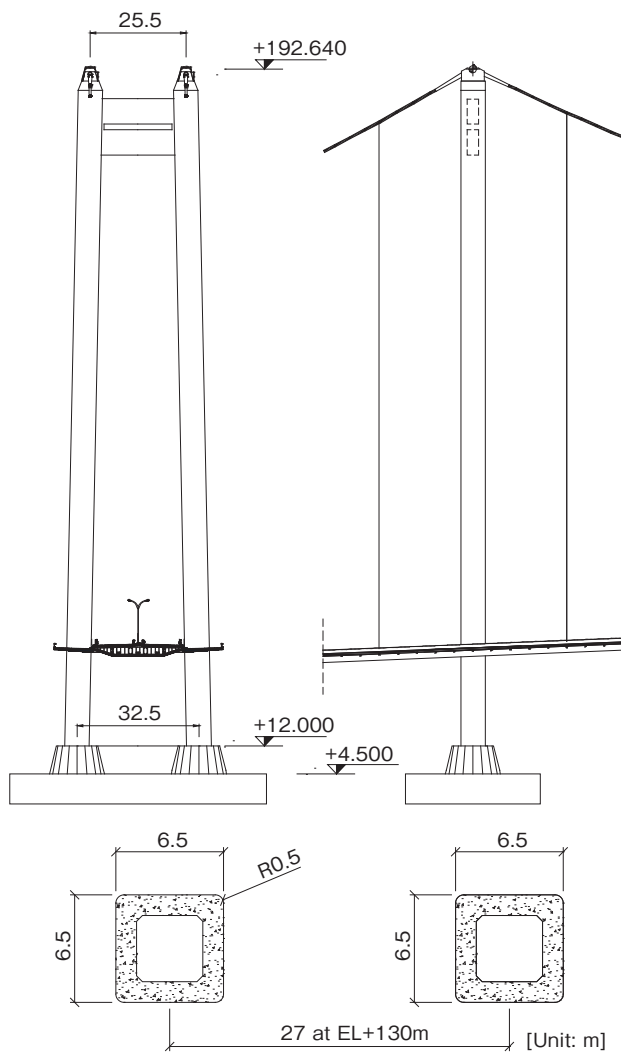


図-4 主塔一般図



写真-2 主塔2次元模型(1/70)

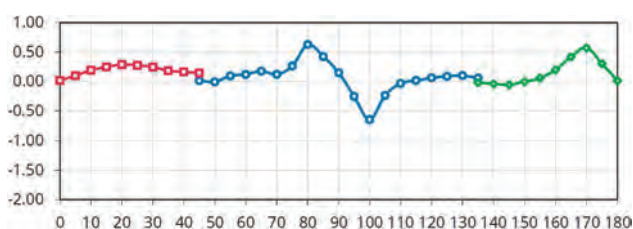


図-5 揚力係数

表-2 試験ケース

ケース 番号	主塔配置		迎角
	風上	風下	
静的空気力計測試験			
1-10	ダミー主塔	計測主塔	0°～45°
11-27	計測主塔	—	50°～130°
28-37	計測主塔	ダミー主塔	135°～180°
ばね支持試験(渦励振、ウェイク振動の応答確認) 減衰定数=0.4%			
38	計測主塔	ダミー主塔	180°
39	ダミー主塔	計測主塔	0°
40	計測主塔	ダミー主塔	170°
41	ダミー主塔	計測主塔	10°
ばね支持試験(減衰の影響把握) 減衰=0.7、1.0、1.45%			
42-44	計測主塔	ダミー主塔	180

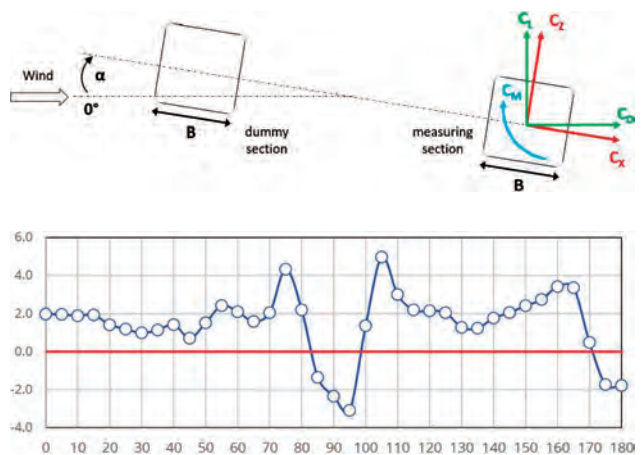


図-6 Den Hartog係数

次に渦励振の振幅を推定するため、減衰定数を0.7%、1.0%、1.45%に変化させたケース42～44の試験を行った。なお、ケース38の減衰定数は0.4%である。これより、スクルートン数を用いて図-7に示すような線形の関係が得られる。スクルートン数は、以下で定義される。

$$Sc = \frac{4\pi m \zeta}{\rho D^2}$$

m: 等価質量、 ζ : 減衰定数、 ρ : 空気密度、D: 代表幅

Eurocodeに示される減衰を参照すると、図-7で表された関係より想定振幅は0.32mであるが、主塔基部の曲げモーメントからくる塔頂許容振幅は0.65mであり構造上問題ないことを確認した。加速度については37galが想定された。加速度についての規定はないが、明石海峡大橋の建設時に用いられた許容加速度50galと比較して小さく、また、完成形においては上下端の横梁拘束によりラーメン構造となること、架設時にはタワークレーン、架設エレベータ、コンクリート型枠、仮設横梁などによる拘束および減衰が見込まれるため、渦励振が問題になるレベルにはないと判断した。なお、最終確認として全橋模型試験の主塔にもセンサーを設置し、渦励振が発生しないことを確認することとした。

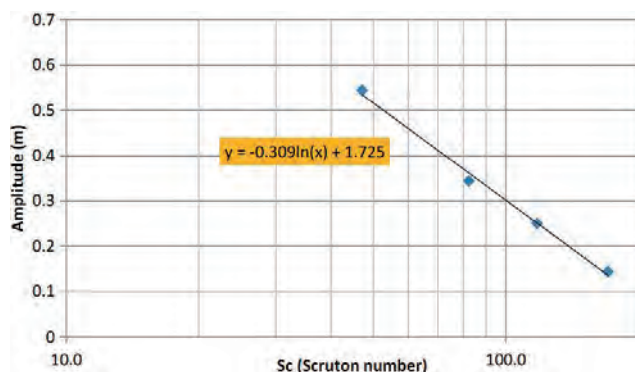


図-7 振幅とスクルートン数の関係

(2)2ndフェーズ

主塔の2ndフェーズには主塔単体の3次元模型を用いた風洞試験(非定常空気力計測試験およびばね支持試験)を予定していたが、詳細設計での構造計算の結果、主塔の外形および主塔同士の間隔は1stフェーズから変更がなかったため、2ndフェーズの風洞試験は省略することとした。

4-3. 全橋模型を用いた耐風設計

2次元模型を用いた試験によってフラッターや渦励振等に対する空力安定性は確認できたが、より実橋に近い応答を確認するため、1/150の縮尺の全橋模型を製作し試験を行った。写真-3に示す14×4mの大型境界層風洞を使用し、以下の点に着目した試験を行った。(表-3)

- ✓フラッターやギャロッピング、渦励振等の懸念された動的応答に対する最終確認
- ✓現地での風特性(風向、乱れ強度等)を反映した応答の確認
- ✓バフエッティングの影響の確認
- ✓架設系に対する耐風安定性の確認

架設系は補剛桁の架設が20%完了および65%が完了した時点の2種類を再現した。気象調査から風向は北及び南西が卓越するため、橋軸方向に対して90°と67.5°の2ケースの風向とし、乱流については補剛桁の高さで13.5%の乱れ強度となるように調整を行った。主塔の1stフェーズで懸念された渦励振の確認を行うため、主塔の構造減衰は安全側となるよう0.3%に設定した。

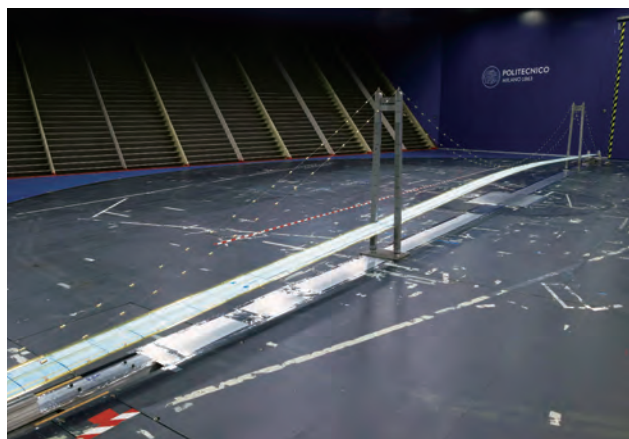


写真-3 全橋模型(1/150)

表-3 全橋模型試験 試験ケース

試験番号	模 型	風の種類	風 向
1	完成系	一様流	90°
2 (*)			90°
3			67.5°
4		乱流	90°
5			67.5°
6	架設系(20%)	乱流	90°
7			67.5°
8	架設系(65%)	乱流	90°
9			67.5°

(*)主塔の構造減衰は0.9%。それ以外は0.3%

試験の結果、完成系では風速80m/sでもフラッターは発現せず、照査風速の70m/sを満足し問題ないことを確認した。架設系に関しては、照査風速を再現期間10年で補正し、架設系照査風速60m/sでフラッターが発現しないことを確認した。

EN基準に従い静的風荷重にはバフエッティングにより生じる変動分を見込んでいるが、この全橋模型での乱流試験を利用してその妥当性を評価することとした。吊橋の主要な位置における変位および加速度の計測を行い、ピークファクター(変動する荷重の最大値を計算する際に、標準偏差の倍率として用いられる係数)が概ね一致することを確認した。

主塔の渦励振に関しては、ケース1(主塔構造減衰:0.3%、一様流)で主塔に160gal程度の渦励振が確認されたが、それ以外のケース(ケース2～5)では渦励振は確認されなかった。コンクリート主塔の構造減衰は一般的に0.5～0.8%あり、乱流中では発生していないことから、主塔の渦励振は問題にならないと評価した。

5. まとめ

本稿ではブライラ橋で実施した耐風設計について報告した。補剛桁の設計にあたっては桁高を変数としたパラメトリック試験を実施し、桁高3.2mが最適断面形状であることを確認した。主塔についてはギャロッピングの発生が懸念されたが、Den Hartog式から推定した発現風速は135m/sであり問題とならないことを確認した。

本報告が、今後同様の吊橋の耐風設計を実施する際の参考となれば幸いである。

最後にルーマニアインフラ道路公社をはじめとした関係者のご指導、ご協力に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 構造工学委員会風洞実験相似則検討小委員会：風洞実験相似則に関する調査研究、土木学会論文集 No.489/I-27、pp.17-25、1994.4

ブライラ橋を含む23kmの国道建設工事報告

— リスクアナリシス —

SHIMA Takanori SHARA Junichi IDANI Tatsuya
島 宜 範* 社 浦 潤 一* 井 谷 達 哉*
KUDO Mitsuhiro INOUE Manabu
工 藤 光 弘** 井 上 学***

1. はじめに

本稿ではブライラ橋の詳細設計時に行ったリスクアナリシスについて紹介する。なお、本稿で扱っている数値・記録は全て2018年3月の詳細設計当時のものである。

2. リスクアナリシス概要

2-1. リスクへのアプローチ

本橋は各スパン長が200mを超える長大橋であり、重要性の高い構造物であることから、詳細設計では、想定されるリスクに対して下の2通りのアプローチを行った。

- (1)EN・ルーマニア基準など、一般的な規定・基準に定義される、広く一般的に認識されている事例に対して設計を行うことでカバーされるリスク。本橋では、風荷重、温度荷重、道路交通荷重、雪荷重、地震荷重が該当する。
- (2)適用可能な規定や事例が無い、プロジェクト固有のリスク。リスク許容値を設定し、適切なリスクアナリシスを行い、評価・設計を行う必要がある。本橋では現場環境・構造物の重要度を鑑み、下の4点をリスクアナリシスの適用対象とした。

1. 道路上での火災事故
2. 船舶衝突
3. 航空機事故
4. テロ攻撃

本稿、以下の説明は全て(2)に対するものである。

2-2. リスクアナリシス要領

前述(2)で想定した事例に対するリスクアナリシスは、リスクに関するデータの収集、リスクの評価、構造物の設計への反映、という手順で行った。

データの収集に際しては、可能な限りルーマニアおよび現地状況に即した記録を採用したが、適切な情報が無い場合は、その他欧州地域のデータで代用した。

リスクの評価は、設計への反映と合わせて定義を行った。想定しうるすべての事故・リスクに対応した設計を行うと、可能性の限りなく低い極端な事象に対しても対応した構造物とせねばならず、過剰設計・不経済となってしまう可能性がある。そこで、ALARP(As Low As Reasonably Practicable)の原則に基づき、一定の発生確率を超えるリスクについては許容することとした。具体的には、想定されるリスクの供用時における発生確率の閾値をULS(Ultimate Limit State、限界状態)のものと同等であることとした。図-1にENにおける事象の1年間における発生確率と限界状態のおおよその関係を示す。

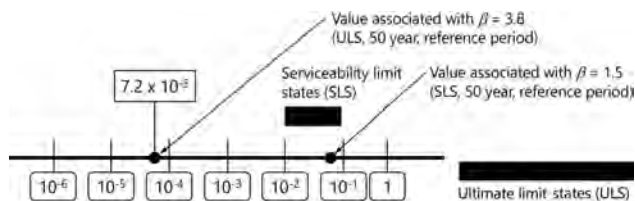


図-1 発生確率と限界状態の関係¹⁾

3. リスクアナリシス

3-1. 道路上での火災事故

吊橋において構造上問題となり得る道路上での事故の一つに火災がある。中でも、構造物の耐力に影響を与える可能性のある大規模火災に着目し、原因の一つである可燃性物質を運ぶ車両の事故について検討を行った。

欧州では国連の主導により、危険物輸送の条件などについて、欧州危険物国際道路輸送協定(ADR)が定められており、以下の9クラスに分類されている。本検討ではクラス1からクラス4までを対象とした。

- 1: 火薬類(Explosive substances and articles)
- 2: 高圧ガス(Gases)
- 3: 引火性液体類(Flammable liquids)
- 4: 可燃性物質類(Flammable solids)
- 5: 酸化性物質類
- 6: 毒物類
- 7: 放射性物質類
- 8: 腐食性物質類
- 9: その他の有害性物質

ルーマニアの国立統計研究所および交通警察のデータベースを参照し、国道における事故発生確率²⁾、道路上の事故のうち重大事故にいたる割合、重量物を運ぶ車両のうち積載物が可燃性物質である割合、などを総合的に整理したところ、本橋の全長約2km区間における大規模火災の発生確率は 1.14×10^{-6} /年となり、十分リスクは低いことから、特別な対策不要とした。

3-2. 船舶衝突

本橋はドナウ川の河川敷部分に主塔2本が位置し、自然堤防間の全幅を桁が跨ぐ形になっている。ドナウ川は国際水運の重要な幹線となっているため、吊橋構造物への船舶の衝突についてリスクの検討を行った。なお、本プロジェクトでは構造物へのダメージのリスクのみ考慮し、船舶へのダメージは考慮しないものとした。

* (株)IHIインフラシステム 海外プロジェクト本部 プロジェクト部 プレイラPJG

** (株)IHIインフラシステム 事業戦略本部 戦略第1部 長大橋推進G

*** (株)IHIインフラシステム 橋梁技術本部

ドナウ川の河川交通は、2007年には7,000以上あったが、2017年までの数年間は約4,500前後で推移しており、そのうち85%がバルク船・バージ船である。バージ船はほとんどがタグボートもしくは自航台船を含む船団となっており、長いもので約300mにもなる。

架橋地点近辺における船舶事故の記録は整った形では存在せず、地域を管轄するブライラ港湾当局に手書きの記録が残されるのみ、かつ読み取り難いものであったが、そこから事故数を拾い上げると図-2の様であった。この記録によると、2007年には20件の事故が記録されているが、ここ数年は5-10件となっている。いずれもエンジントラブル、孔明き、バージ同士・栈橋への小規模な衝突などで、重大事故の記録は無かった。

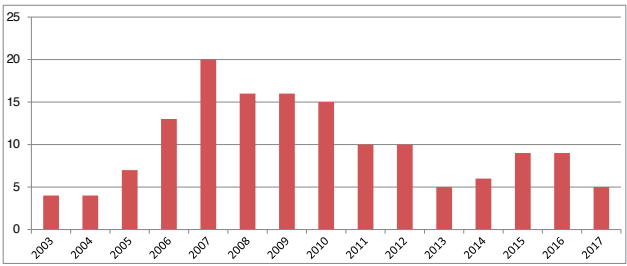


図-2 架橋地点近辺における船舶事故数

(1) 主塔基部への衝突

上述の通り十分な記録があるとは言えない状況であるため、吊橋の重要性を考慮し、主塔基礎への船舶の衝突、特に船首部分からの衝突の可能性を検討した。

架橋地点付近の再現期間100年の高水位は標高約8.4mである。それに対して主塔周囲の碎石層標高は2つの主塔それぞれで5.5m/2.5m、主塔基礎高さは標高12mであるため、例えばバージのような喫水の浅い船舶が、コントロールを失った際に主塔基礎位置まで到達することは十分可能である(図-3)。そこで、本橋の主塔基部の設計にはバージ船団の衝突荷重として、EN1991-1-7に準拠したCEMT Class VII(内陸水運として最大)の荷重を見込んだ。

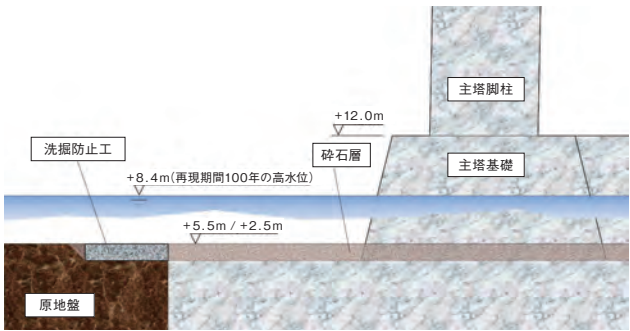


図-3 主塔基礎と設計高水位の関係

(2) 桁への衝突

ドナウ川の自然堤防間のうち航路部180m幅は、上述した再現期間100年の高水位に対して38mの航路限界が確保されている。また航路外の水路部についても中央径間においては十分な高さが確保されていると言える。側径間では桁の高さは下がってくるが、河川敷部分は林のようになっており、船舶が当該部分に到達することは無い。

従って、桁への船舶の衝突リスクは無いとした。

3-3. 航空機事故

架橋地点はブライラ市郊外に位置し、最寄りとなるトゥルチャ空港からは約60kmである(図-4参照)。ただし本空港は2018年時点で定期運航便が無く、自家用機等の運用のみであった。



図-4 架橋地点と最寄り空港 (出典: Google Earth)

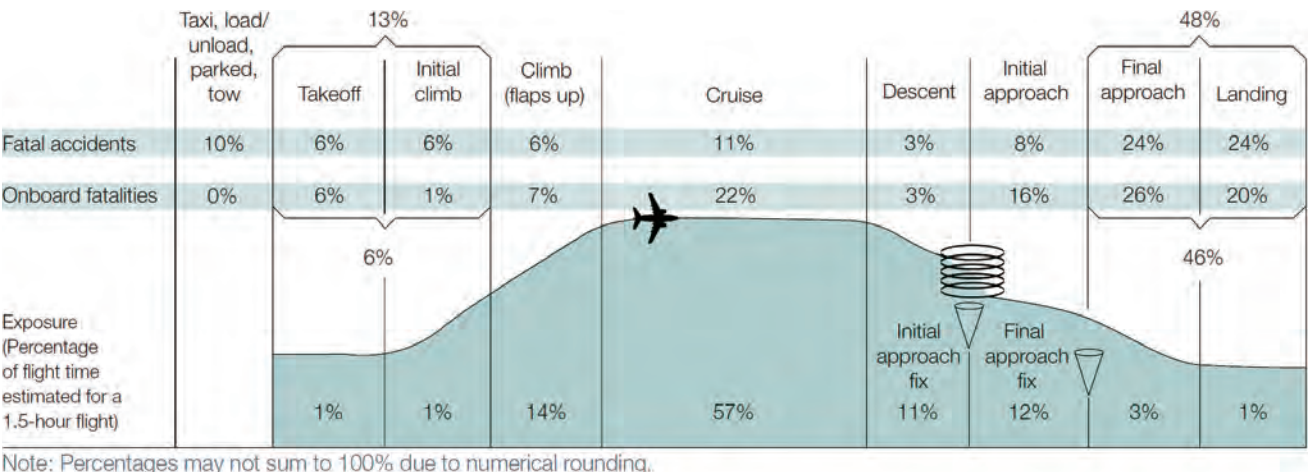


図-5 飛行機の各状態における重大事故発生確率³⁾

航空機に関して起こり得る重大事故は約60%強が離陸時・着陸時(Takeoff、Initial climb、Final approach、Landing)であり、最寄り空港からの距離を踏まえると、本橋に影響するのは水平飛行時(Cruise)のみといえる(図-5)。また、ルーマニアにおける航空事故の発生件数は過去40年間で11件のみであった⁴⁾。これらを総合的に整理すると、吊橋全体に対する航空機事故(ヘリコプターなどロータータイプも含む)の発生確率は 1.14×10^{-6} /年となり、十分低いリスクであると判断し、特別な対策不要とした。

なお、ICAO(国際民間航空機関)の基準に従い、主塔の塔頂及び1/2高さ位置に航空障害灯を設置している。

3-4. テロ攻撃

年間あたりの全世界におけるテロ活動は約15,000件にのぼり、特に本橋のような長大かつシンボリックな構造物においては、新たなリスクとして考慮することが必須である。ここでは経済平和研究所(Institute for Economic and Peace, IEP)が2012年から発行しているGlobal Terrorism Index⁵⁾を基に検討を進めた。

図-6に2002年から2016年の間に発生した、地域別のテロによる死者数とテロ攻撃回数を示す。特にMENA、中東および北アフリカで多く、アフリカ全体まで含めると80%を超える件数となっている。一方、ヨーロッパでの発生件数は全世界の約5%である。

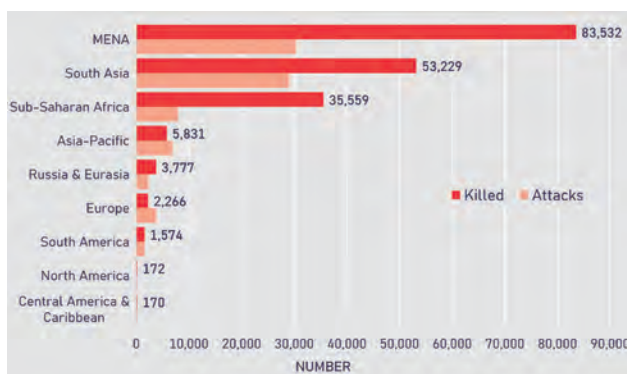


図-6 地域別のテロによる死者と攻撃回数(2002-2016)⁵⁾

IEPではテロ活動の状況に応じて各国のランク付け(Global Terrorism Index, GTI)を行っている。これはテロ活動の件数、テロによる死傷者数、人質数の4指標を基に算出されており、危険度最大が10である。図-7に2017年におけるヨーロッパ各国のGTIを示す。イギリス・フランス・ドイツが比較的高い値を示しており、ルーマニアはテロ活動の可能性が非常に低い国であるといえる。

これを裏付けるデータの一つとして、国内における2007年以降のテロ活動の状況を表-2に示す。2008年にブカレストで起きたガソリンスタンド襲撃以降、テロ活動は起きていない。また、2016年にいくつかの法改正があり、テロ活動を未然に防ぐための規制・罰則が強化されている。

こういった情勢も踏まえ、本橋においては構造物としてテロ攻撃に対する特別な対応は不要と考えた。



図-7 ヨーロッパの国別世界テロ指数(GTI) 2017⁵⁾

表-2 ルーマニアにおけるテロの状況

年	GTI	攻撃回数	逮捕者
2007	0	0	3
2008	0.23	1	0
2009	0.12	0	0
2010	0.06	0	16
2011	0.03	0	4
2012	0.01	0	16
2013	0	0	8
2014	0	0	0
2015	0	0	11
2016	0	0	1
2017	0	0	2

4. まとめ

ブライラ橋の建設に際して、ENで規定されていないが立地上検討すべきと考えられる項目について、リスクアナリシスを行い、結果に基づいて詳細設計を行った。それぞれの文化・地形等によって考慮すべきリスクは様々であるため一概に当てはまる訳ではないが、本検討が将来案件における一助となれば幸いである。

最後に、本誌ではIHIインフラシステムが設計・施工に携わったルーマニア・ブライラ橋について、特集として紹介を行った。本プロジェクトの遂行にあたっての、CNAIR、MIPA、Verifier、その他社内外の皆様の多大なるご支援とご協力に深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) H. Gulvanessian, J.A. Calgaro, M. Holicky: Designers' Guide to Eurocode: Basis of Structural Design EN 1990 Second edition, 978-0-7277-4171-4, 2012
- 2) R. Cadar, M. Boitor, M. Dumitrescu: Effects of traffic volumes on accidents: The case of Romania's national roads, Geographia Technica, Vol. 12, Issue 2, 2017, pp 20 to 29
- 3) Aviation Safety Boeing Commercial Airplanes, "Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents - Worldwide Operations 1959-2016", JULY 2017
- 4) Aviation Safety Network
- 5) Institute for Economics and Peace, "Global Terrorism Index 2017", November 2017

工 事 報 告

東海環状自動車道津屋川橋 工事報告

— 長支間曲線桁の急速送出し架設 —

SASAKI Tomohiro MURAOKA Kazuro MARUO Sigeiki
佐々木 智弘* 村岡 和郎* 丸尾 茂喜**
ASANO Shintaro NAGAYAMA Shun
浅野 真太郎*** 永山 隼****

1. はじめに

国道475号東海環状自動車道は、愛知・岐阜・三重の三県の諸都市を環状に連結し、東名・名神高速道路、中央自動車道、東海北陸自動車道などにアクセスすることで、広域的なネットワークを形成する高規格幹線道路である。また、東海地域発展のための骨格事業として重要視され、非常に注目されている事業である。現在は、全体約160kmのうち、半分の約80kmが開通している。

本工事は、西回りの養老ICと(仮称)北勢ICをつなぐ約18kmの区間のうち、岐阜県海津市南濃町に位置する橋長574mの津屋川橋を建設するものである(図-1)。津屋川橋は、一級河川津屋川と養老鉄道を跨ぐ長支間の曲線桁であり、交差条件から架設工法は送出し架設が採用され、陸上部における鋼床版箱桁橋としては国内最大規模の架設であった。架設では様々な課題があったものの、令和4年4月、養老鉄道を跨ぐ送出し架設が無事完了した。

本報告では、大規模かつ時間制約を受ける養老鉄道上の急速送出しについて、設計照査や施工計画において工夫した点を中心に報告する。

工事名:令和元年度 東海環状津屋川橋鋼上部工事

工事場所:岐阜県海津市南濃町地先

発注者:国土交通省 中部地方整備局 岐阜国道事務所

受注者:IHIインフラシステム・日本ファブテックJV

橋梁形式:鋼5径間連続鋼床版1主桁箱桁橋(図-2)

橋長:574.0m

架設工法:送出し工法(P8-P11)

クレーン・ベント工法(P7-P8、P11-P12)



図-1 施工位置

2. 工事概要

工事の概要および橋梁の諸元を以下に示す。

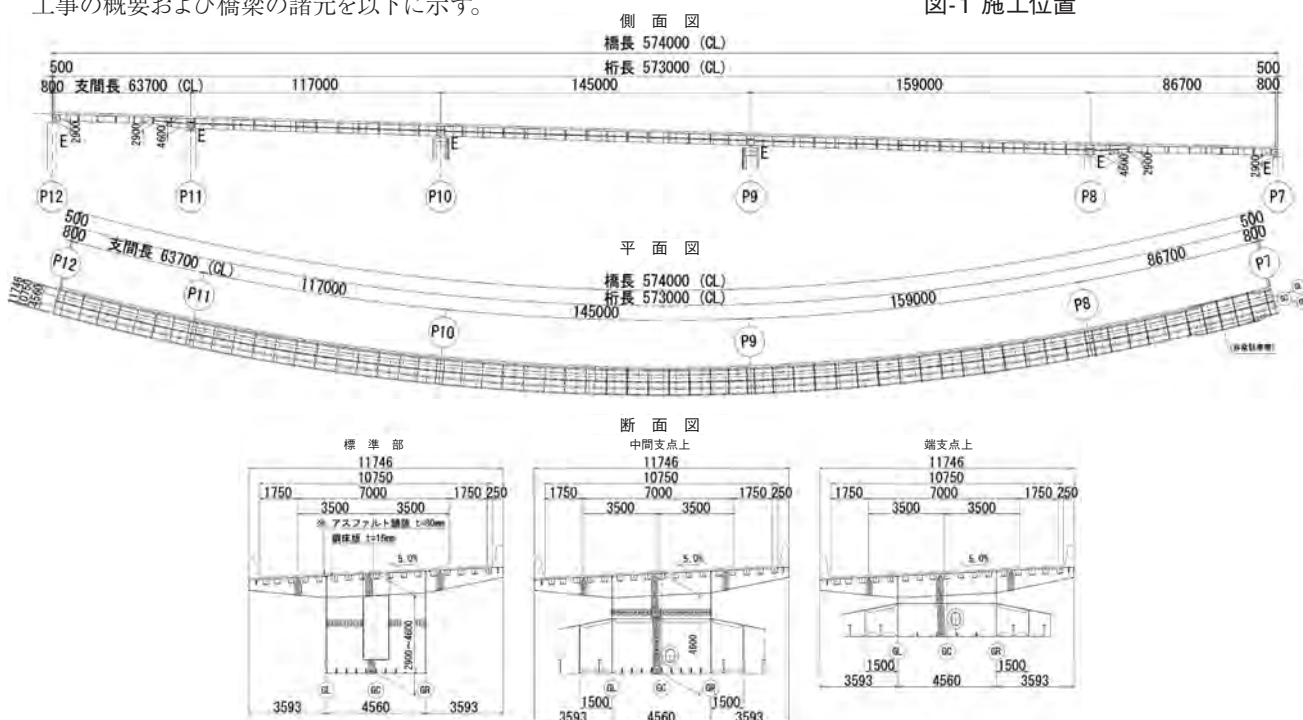


図-2 一般図

* (株)IHIインフラシステム 工事部 工事西第2G

** (株)IHIインフラシステム 工事部 工事東第2G

*** (株)IHIインフラシステム 橋梁エンジニア 計画第1G

**** (株)IHIインフラシステム 橋梁エンジニア 設計第1G

3. 送出し概要

本橋の架設工法は、5径間のうち中央の3径間は手延式送出し工法、両側の側径間はクレーン・ベント工法である。施工箇所状況を写真-1、送出し線形図を図-3に示す。

送出し工法は、エンドレス滑り装置により送出し桁を支持し(写真-2)、ダブルツイングジャッキとPCケーブルφ28.6を用いて送出し桁を牽引した。送出し方法の概要を図-4に示す。

長支間となるP11～P7の橋脚間に送出し支点となるベント設備を配置して、計5回・累計658mの送出し架設を行った。また、送出し方向は、現場の施工性や送出し時の安全性を考慮して、上り勾配となるよう起点側(P2)から終点側(P12)とした。送出しステップを図-5に示す。

4. 送出し架設の課題

送出し架設では、以下の3点が最重要課題であった。

4-1. 養老鉄道上を跨ぐ急速送出し

養老鉄道上の5回目の送出しは、1日当たり約4時間の夜間き電停止時間内で作業計画する必要があった。また、養老鉄

道と斜めに交差するため、養老鉄道上の送出し支間が約70mとなり、通常の送出し速さの約3倍の平均12m/hの速さを維持して二夜間で送出し架設を行った。

4-2. 曲線送出し

鋼桁の平面曲率は $R=1,106\text{m}$ で、送出し桁の先端と後端では送り出す方向が異なる。また、送出し地点の大部分は桁下に河川や鉄道が位置するため、送出し構台の配置が不可であり、かつ送出し縦断線形が2.265%の上り勾配である。このため、送出し重量3,700t、送出し桁延長527mのカーブした桁を、軌条設備や台車設備を配置しない方法により、曲線なりに送り出す必要があった。

4-3. 製作キャンバーへの追従と多支点の反力管理

本橋の最大支間は約160mと長支間のため、鋼桁の製作キャンバーが $-20\text{mm} \sim +515\text{mm}$ と振れ幅が大きく、このキャンバーを追従しながら送出し桁を支持する必要があった。また、最大で10支点と送出し支点が多く、かつ主桁の左右の反力バランスを同時に管理する必要があった。



写真-1 施工箇所状況

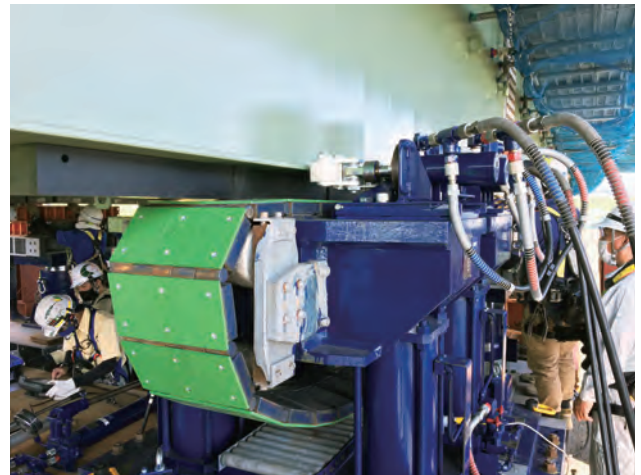


写真-2 エンドレス滑り装置

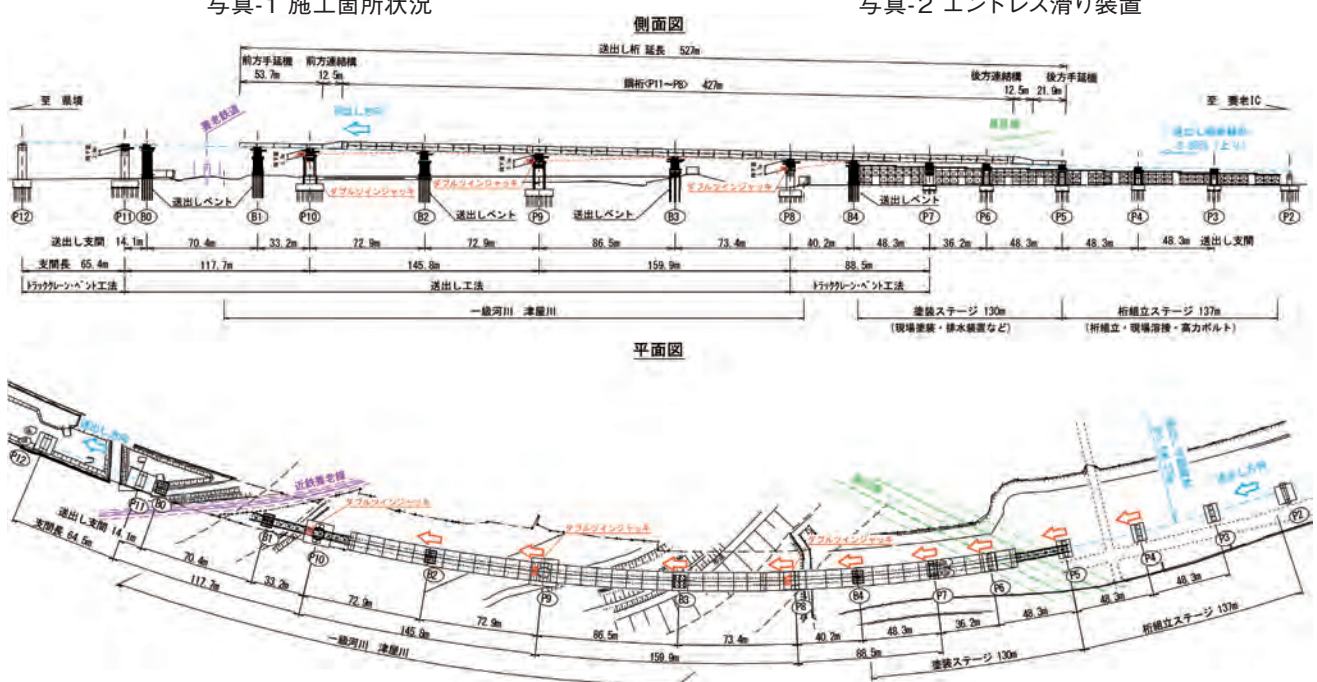


図-3 送出し線形図

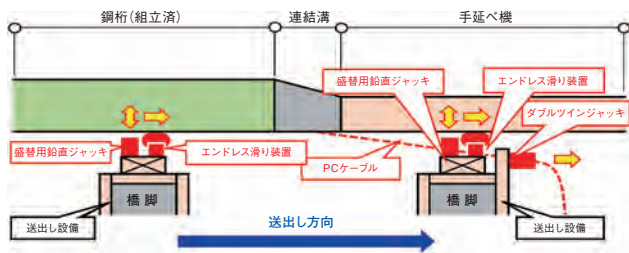


図-4 送出し方法概要

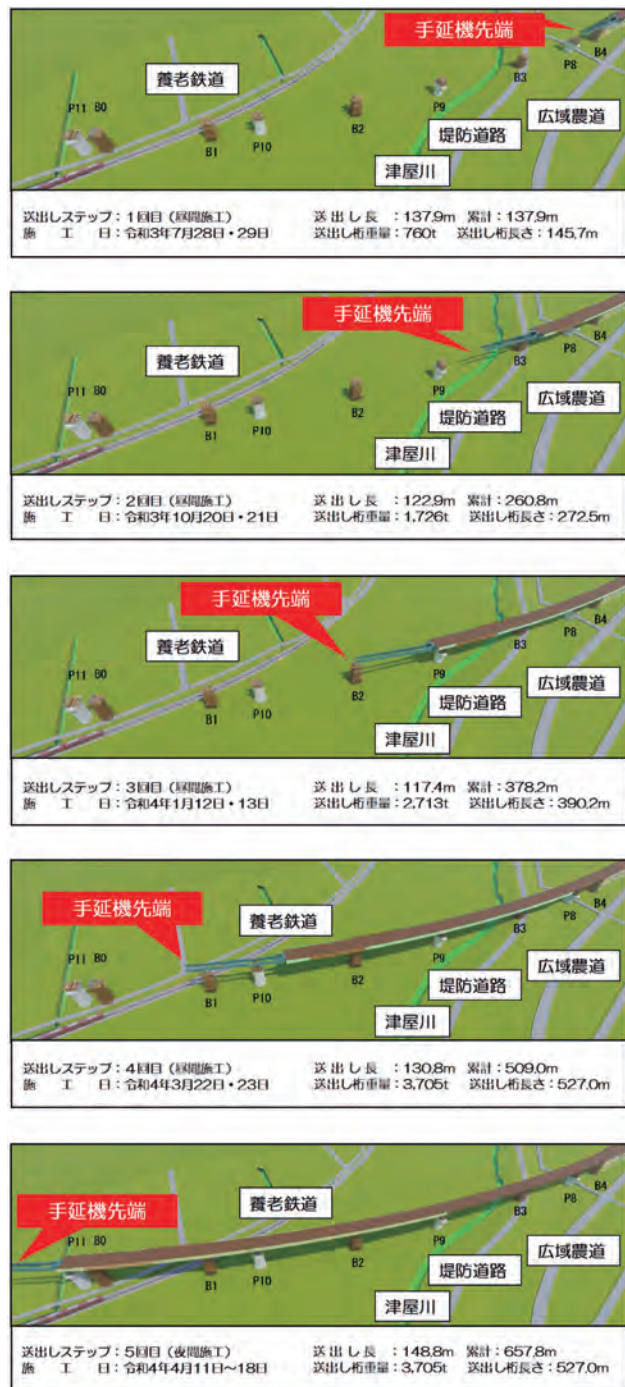


図-5 送出しステップ

5. 設計照査時の対策

5-1. 急速送出しへの構造対応

本橋は曲率を有する線形であり、完成時の反力バランスをとるために、支点部はアウトリガー構造となっている。一方で、曲線送出し対応のため、橋軸直角方向の位置ずれを最小限とする目的でエンドレス滑り装置にガイドローラーを設置し、主桁下フランジに沿わせる必要があった。これらの構造の干渉は回避する必要がある、回避方法は下記の2つが考えられた。

- 支点部アウトリガーが送出し支点を通過する前に、送出し作業を中断して、ガイドローラーを一時撤去し、通過後にガイドローラーを再設置する。
- 支点部アウトリガーを送出し完了後に、現場溶接により設置する。

(a)の場合は、ガイドローラーの一時撤去・設置にかかる作業時間が1箇所10分程度発生する。急速送出しが必要な養老鉄道上の架設では支点部アウトリガーが6箇所通過するため、この作業で60分程度送出しを中断することが想定された。そのため、本工事では時間制約によるリスク回避策として、(b)案を採用した。これは、現場溶接により作業手間が発生するものの、時間制約を受けない送出し完了後にアウトリガーを設置することで、養老鉄道への影響リスクを最小限にするとの判断からである。

5-2. 曲線送出し時の照査

送出し桁は、左右のウェブ直下に設置したエンドレス滑り装置で支持する計画であるが、桁は平面線形で $R=1,106\text{m}$ の曲率を有しているため、架設中に左右の反力バランスが悪くなり、桁に過度な負荷が生じることが想定された。そのため、送出し解析は桁中心から架設中の支点となるウェブ位置まで腕を伸ばしたフィッシュボーンモデル(図-6)として、反力バランスを確認した。支間の長い中央の3径間と側径間の中間には、バントによる送出し支点があるが、送出しの途中で支点高さを調整することでバントにも過度な負荷をかけることなく施工できた。

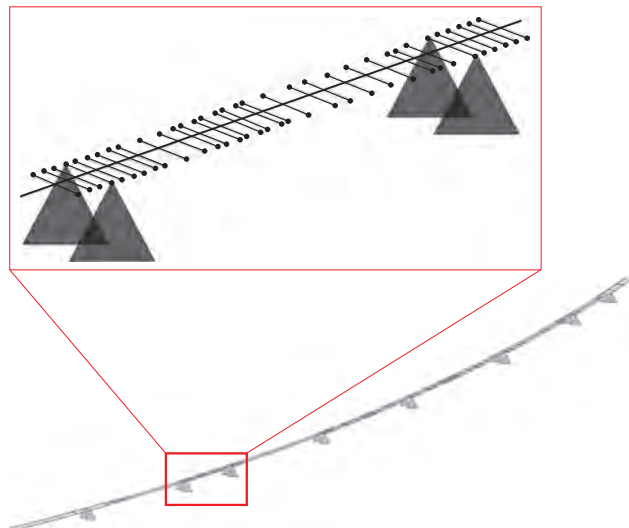


図-6 送出し解析モデル

5-3. 送出し解析へのキャンバーの反映

送出し架設範囲の製作キャンバーは大きく、キャンバーを完全に追従しながらの急速送出し架設は困難なため、送出し解析に製作キャンバーを反映し反力を確認した。算出された反力が機材の耐力を超過する場合には、支点の高さ調整を行うことで反力を調整することとし、算出された断面力が主桁の耐力を超過する場合はウェブの増厚及び補強の追加を行い大きな製作キャンバーに対応した。

5-4. 送出し架設中の支点反力管理

急速送出し架設が必要なため、支点の高さ調整回数は最小限とする必要があったが、主桁の耐力と使用機材の制約から複数ステップに渡り支点の高さ調整が必要であった。支点の高さ調整時の反力の変動は調整対象の支点のみならず、隣接の支点反力にも影響を及ぼすことから図-7のように、あらかじめ架設中に想定される各支点反力と桁の耐力を明確にしたうえで反力確認を行った。

5-5. 降下作業

送出し架設完了後の降下作業では、縦断勾配を線形に一致させること、橋脚高さまで降下すること、ベントの反力を解放することが必要である。送出し桁は橋脚とベントの不等径間で受けているため、縦断勾配を一致させるために受点を上下させると反力のバランスが変化し、桁の耐力を超過する反力が発生することが懸念された。そのため、降下作業にも送出し中と同様にあらかじめ支点高さ調整ステップを定め、反力バランスを注視して降下に伴う高さ調整を行った。

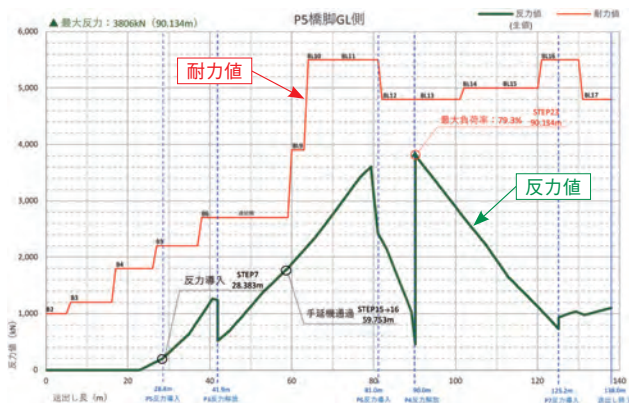


図-7 送出し架設中の反力と耐力図

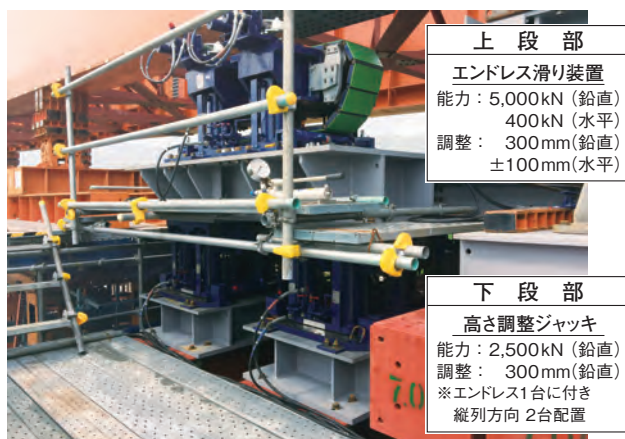


写真-3 高さ調整ジャッキ

6. 施工時の対策

6-1. 送出しジャッキの選定と配置

送出しジャッキは、送出し鉛直反力を受け持つ支持ジャッキと、鋼桁を橋軸方向へ移動させるための推進ジャッキがあり、本工事の課題に対応できるジャッキを選定して適切に配置する必要がある。

支持ジャッキはエンドレス滑り装置を選定し、各送出し支点毎に曲線接線方向に配置した。当初の計画であるエンドレス滑り装置のジャッキストローク調整量300mmでは、鋼桁の製作キャンバーを追従しきれないことから、各支点に反力を分散させることができず、送出し反力がジャッキ能力を大きく超過した。また、送出し反力が大きくなるとベント基礎の規模も大きくなる。そのため、エンドレス滑り装置の下に高さ調整ジャッキ（写真-3）を追加して調整量を2倍の600mmとし、振れ幅に追従させることで送出し反力を大幅に低減させた。一方で、ジャッキの設備高が高くなると、送出し推進力により発生する水平力の影響を受けやすくなるため、送出し方向に縦列配置して、設備の安定性を確保した。

推進ジャッキは、送出し速度を高めるためにPCケーブルを連続して牽引できるダブルツインジャッキ（写真-4）を選定し、送出し架設の進捗に合わせてP8、P9、P10橋脚の3箇所に配置した。ダブルツインジャッキ内を通すPCケーブルは、送出し支点上に転向シーブを設けて曲線折れに展開させ（写真-5）、送出し桁を曲線なりに連続して牽引した（図-8）。また、P8、P9、P10の3箇所とすることで、曲線折れにより作用する水平力が1箇所に集中しないように各橋脚・各ベントに分散させた。

6-2. 手延べ機・連結構の配置

急速送出しでは、手延べ機先端の反力導入および後端の反力解放による時間ロスを極力なくしておく必要があるが、今回は特に後端の反力解放が、養老鉄道上の送出しの作業時間に直接影響した。そのため、送出し桁の先端と同様に、後方にも手延べ機・連結構を配置して後端を上げ越し、送出しを進めながら徐々に反力を解放することによって、作業時間を短縮した。後方手延べ機状況を写真-6に示す。また、手延べ機・連結構は、添接位置で曲線なりに角折れさせ、橋軸直角方向の調整作業を低減させた。

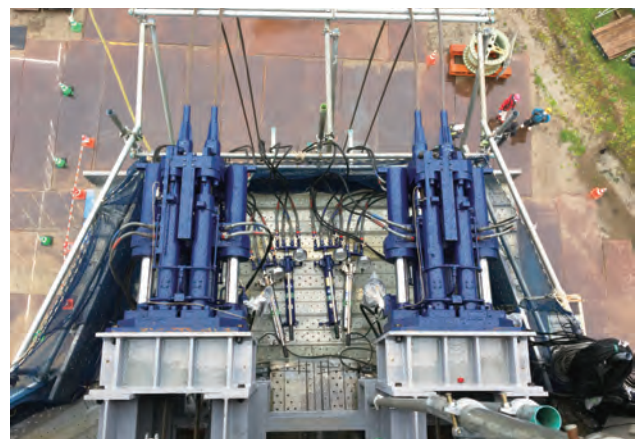


写真-4 ダブルツインジャッキ

6-3. 多支点の反力管理

送出し架設の最大支点数は10支点あり、かつ1箱桁構造の曲線桁であるため、箱桁左右の反力とジャッキストロークのバランスを管理しながら送り出す必要がある。また、高さ調整ジャッキには、前述の送出し推進力により発生する水平力が作用するため、左右に加え、前後のバランスも管理する必要がある。そのため、送出し反力は、送出し解析で求めた計画反力に対して $\pm 10\%$ 、 $\pm 15\%$ の閾値を設定して、腹板座屈耐力以下となるように管理した。また、ジャッキストロークは、高さ調整ジャッキを含む送出し支持ジャッキにリニアエンコーダを配置し、常時計測した。これらの反力とジャッキストロークは、送出し推進力やガイドローラー反力と合わせて、集中管理室にて一元管理した(写真-7)。集中管理室では、各送出し支点の作業状況をモニターで常時確認できるようにして、作業状況把握のための無線連絡を極力省略し、細かな時間ロスを削減した。

6-4. 送出し作業イベントとタイムスケジュール計画

時間制約のある送出し作業では、詳細に作業イベントを洗い出し、タイムスケジュールに反映させる必要がある。

作業イベントには、予測できるイベントと、いつ起こるかかわからないが過去の送出し経験から高確率で発生する予測困難なイベントがある。イベントの一例を表-1に示す。例えば、桁とエンドレスの芯ズレ修正(図-9)などの予測困難なイベントは、鋼桁の構造や送出し条件、現場作業条件がすべて一致する先例がないため、10m当りに1回につき10分程度発生すると想定して、送出し速度を低減させることでタイムスケジュールへ反映させた。さらに、時間制約のない1回目から3回目の送出し架設時に、各イベントにかかる時間等を検証してタイムスケジュールにフィードバックすることで精度を高めた。養老鉄道との近接施工協議では、鉄道上での安全対策を実施することを条件として、手延べ機の到達に二夜間かけたタイムスケジュールを計画した。

以上の対策により、養老鉄道を跨ぐ急速送出しを計画どおりに完了することができた。5回目の送出し状況を写真-8に示す。

表-1 イベントの一例

予測できるイベント	予測困難なイベント
●送出し解析による反力調整 ●手延べ機の反力導入、反力解放 ●鋼桁用ガイドの設置、撤去 ●転向シーブとPCケーブルの分離	●桁とエンドレスの芯ズレ修正 ●全体的な桁位置修正 (送出し曲線なりに位置しているか)



写真-5 PCケーブル展開状況

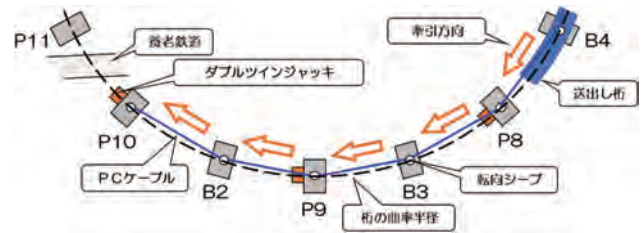


図-8 曲線なりの送出し概要図

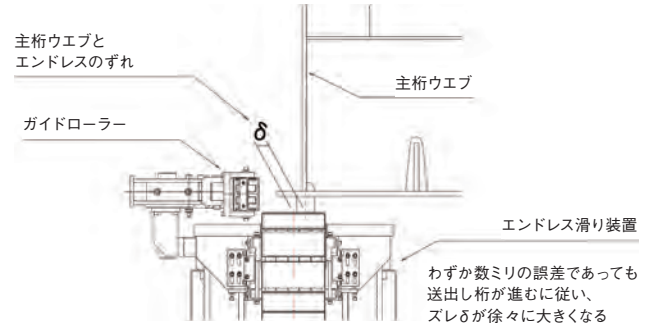


図-9 桁とエンドレス滑り装置の芯ズレ



写真-6 後方手延べ機状況(手延べ機の上げ越し)



写真-7 集中管理室 反力管理状況



写真-8 5回目の送出し状況

7. まとめ

本工事は、長支間かつ大断面の曲線桁を時間制約のある中で曲線なりに送出す必要があったため、通常の送出し架設における諸設備よりも複雑な仮設備を多用しており、とても難易度が高いものであった。そのため、安全に作業を進めるために発注者・受注者各々が安全面・技術面を十分に認識・理解し作業を進めることが大前提となった。

現地工事においては、冬場の強風が常時吹く土地柄の中、直下の鉄道や河川に影響を与えないよう仮設備の点検や補強作業を常に行った。また、新型コロナウイルスが猛威を振るう中、送出し架設時は100名以上の人員を要するため、現場内クラスターによる欠員が生じ全体工程に遅延が発生しないよう感染防止対策や各自の体調管理にも十分配慮する必要があった。

さらに、送出し架設は一つの作業に不具合が生じると先に進めない工法であるため、鉄道事業者との協議による施工条件を厳守するために、工事に関わる者全員が一丸で連携することで、養老鉄道上の送出し架設を安全に完了させ、令和4年9月に両側径間部のクレーン・ベント工法区間(写真-9)を含めて無事に全ての架設を完了することができた(写真-10)。

架設完了後は、橋面上の壁高欄打設(写真-11)や橋梁付属物の施工を行い令和5年3月に竣工した。(写真-12)

工事完了後、本工事の実績を評価いただき、国土交通省中部地方整備局長より表彰状を授与された。(写真-13)

最後に、本工事の実施にあたり、多大なるご指導、ご協力を賜りました国土交通省中部地方整備局の方々及び関係者の皆様に深く感謝の意を表しますと共に、本報告が同様の施工方法が生じた場合の参考になれば幸いです。



写真-11 壁高欄打設状況



写真-12 施工完了



写真-9 側径間部架設状況



写真-10 桁架設完了



写真-13 中部地方整備局 局長表彰

主要地方道米沢飯豊線中津川橋橋梁補修工事 工事報告

— ニールセンローゼ橋のケーブル交換 —

OHGUCHI Shinji TAKESHIMA Ryuji KIMURA Masahiro
大口 真司* 竹嶋 竜司* 木村 将浩**

ISHIBASHI Tokio SHIMOMAE Teru
石橋 勅雄*** 下前 照*

1. はじめに

中津川橋は、図-1に示す山形県の白川ダム湖に架かっている。白川ダムは春の雪解け水によりダムが満水になった時期に水没林と言われる光景を楽しむことができ、その時期には沢山の観光客で賑わう。

中津川橋はニールセンローゼ橋であり、2020年にケーブルの腐食が見つかり破断による落橋の可能性が指摘されたことから、約1カ月の全面通行止めとし、緊急工事としてバイパスケーブルを増設したが破断した既設のケーブルは取替えていなかった。本工事においては、全既設ケーブルの取替えおよびそれに関わる防水対策を行ったので報告する。

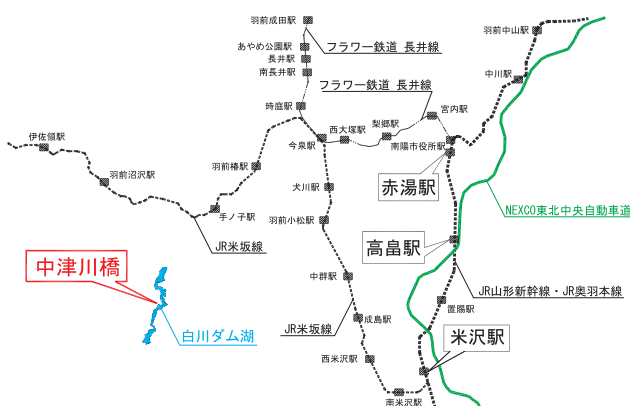


図-1 位置図

2. 橋梁概要

中津川橋は写真-1に示すように、橋長234.8mであり、2連の橋梁で構成されている。今回工事においては、支間181.6mのニールセンローゼ橋が対象となる。アーチクラウンまでの高さが25mあり、ケーブルはSPWC-31型72本、SPWC-37型8本、全部で80本の取替えを実施した。

今回工事においては、ケーブル取替に絡む付属物についても防水対策を行った。以下に、橋梁諸元と本工事内容を示す。現場は豪雪地帯であることから11月末までに工事を終わらせる必要があった。

発注者：山形県置賜総合支庁建設部
路線名：主要地方道米沢飯豊線
施工箇所：山形県西置賜郡飯豊町大字小坂
工期：2021年7月5日～2022年11月30日
橋長：181.6m(ニールセンローゼ橋部)
支間長：180.600m(ニールセンローゼ橋部)
幅員：7.300m(全幅員)
工種：既設ケーブル撤去工(バイパス桁撤去含む)
本ケーブル設置工(張力調整等含む)
ケーブル付属物設置工(保護管等の設置)
下弦材ケーブル定着桁取替工
FRPマンホール設置工 他



写真-1 橋梁全体写真(施工前)

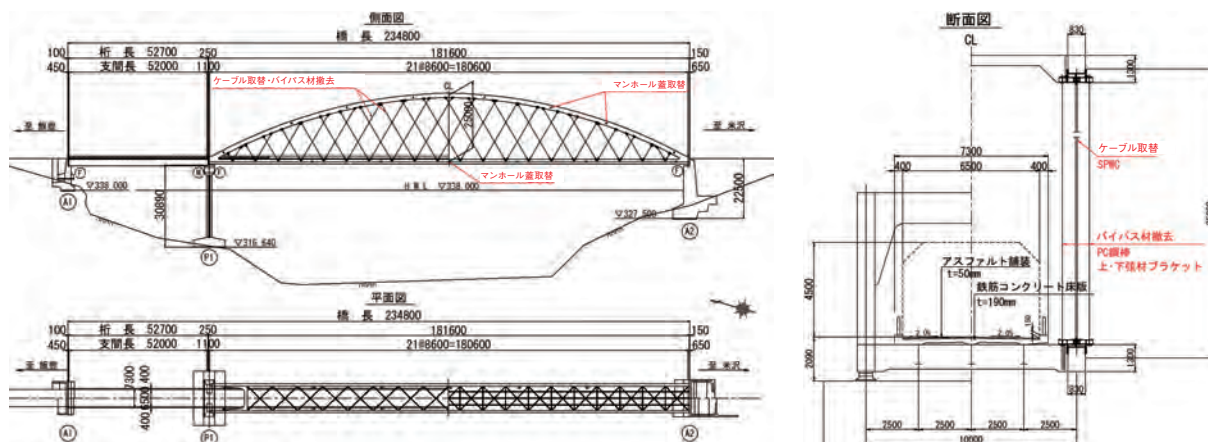


図-2 橋梁一般図

* (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 設計部G

** (株)IHIインフラシステム 工事部 工事東第1G

*** (株)IHIインフラシステム 工事部 工事西第2G

3. 工事全体の施工フローについて

本工事の施工フローを図-3に示す。2022年4月に現地へ乗り込み準備工を開始し、同11月に片付を完了した。

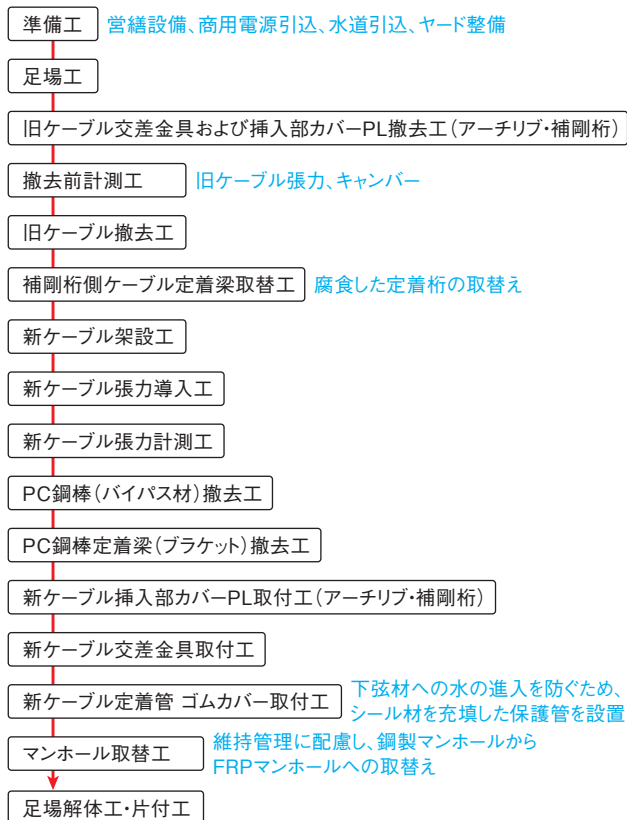


図-3 全体施工フロー

4. 工事実施前調査

(1) 既設ケーブルおよび定着部の腐食状況

本工事は、コンサルタントにて詳細設計が行われており既に綿密な調査が行われていたものの、実施工を行うにあたり、既設橋梁の調査を行った。今回工事を行うにあたり問題となった損傷を以下に示す。

既設ケーブルは、被覆のない素線が剥き出しになった仕様で、めっきを施していたものの、経年により錆が進行して一部のケーブルで部分的に破断していた。図-4に破断した既設のケーブル状態を示す。



図-4 バイパスケーブルと既設ケーブル

下弦材ケーブル定着部については、外面が図-5、内面が図-6のようになっていた。ケーブルから下弦材内部への水の進入を防ぐ止水ゴムが設けられていたものの、経年により止水機能は失われ内部へ水が侵入し、フランジおよび定着桁の腐食が進行していた。

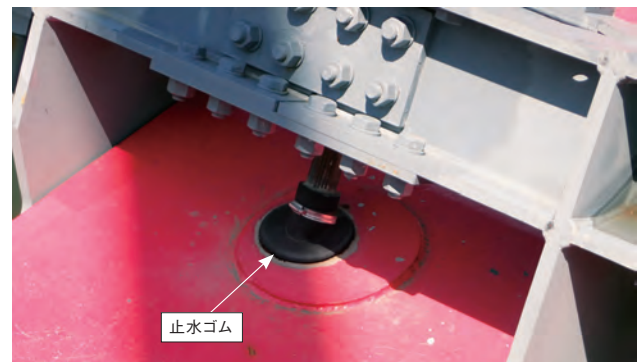


図-5 既設ケーブル下弦材止水状況

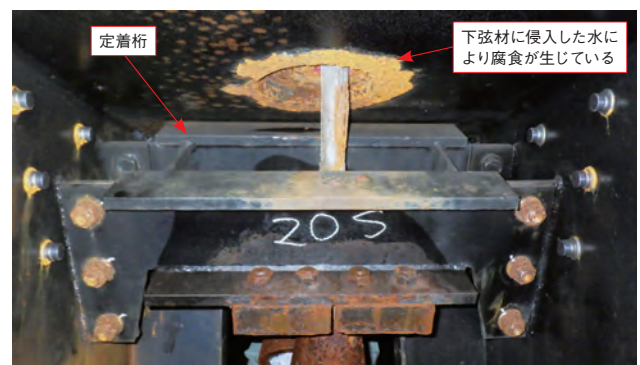


図-6 下弦材定着桁(施工前)

施工時に止水ゴムを撤去し下弦材内部からも見えづかったケーブル腐食状況を確認したところ、腐食が空中部よりも酷く、著しい減肉となっていた。下弦材内部の既設ケーブルの様子を図-7に示す。



図-7 下弦材内部の既設ケーブル

(2) 既設ケーブルの張力調査結果

既設ケーブルの張力調査を行った結果、既設の施工時に設計張力が入っていると想定して、バイパスケーブル設置による影響を加味した設計張力に対して、合計張力は-10.2%であった。ケーブル毎にばらつきがあるものの全体的に低い傾向になっていた。

図-8に支間中央部(C 21 R)の振動数算定ためのフーリエスペクトル分析波形の一例を示す。既設ケーブルでは全体的にフーリエスペクトル波形に乱れが確認された。腐食による断面減少あるいは部分断裂による素線のハラミ、バイパスケーブルの振動によるノイズ等が計測波形に影響しているものと考えられる。

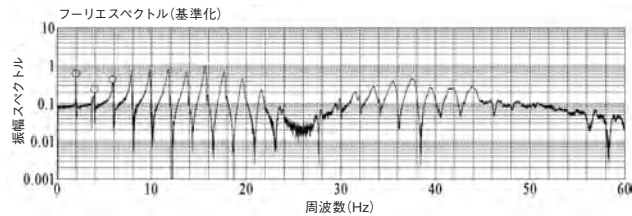


図-8 支間中央付近のケーブルのフーリエスペクトル分析結果例

5. ケーブル取替施工

新ケーブルの架設工では、定着部の座金を取り付けてケーブルをセットするところまでとし、シムプレートによる張力調整は全てのケーブル架設が完了した後に行う。

ケーブル展開のため橋面上に架台・ターンテーブル・井桁巻きのケーブルドラムを設置するため、作業は夜間交通止め(迂回路設定)で行う。

架設手順としては、作業効率を考慮して以下のように設定した。(図-9参照)

- ① ケーブル展開の方向を一定方向とする
- ② 道路に対して内側・外側両ケーブルの内、まず外側のケーブルを先行架設しその後内側ケーブルを架設する
- ③ 上下流片側ずつの施工とする。

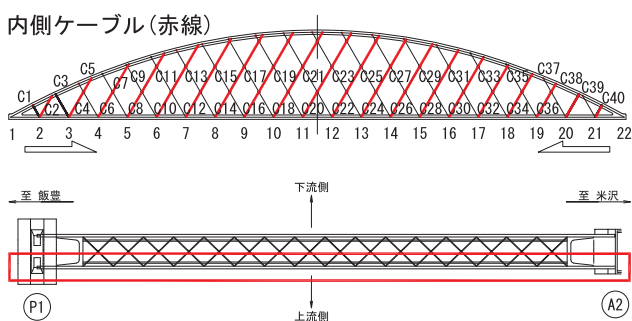
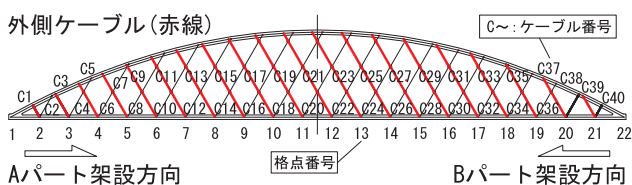


図-9 ケーブル設置順序

図-10、11に上弦材にケーブルを引き込む際の状態図およびケーブル緊張設備図を示す。

図-12にケーブル架設状態図を示す。本設ケーブルの両脇にバイパスケーブルがある中での作業であったため、バイパスケーブル内にローラーコンベアの上にケーブルを引き込み、ホイストにより上弦材にケーブルを引き込んだ。

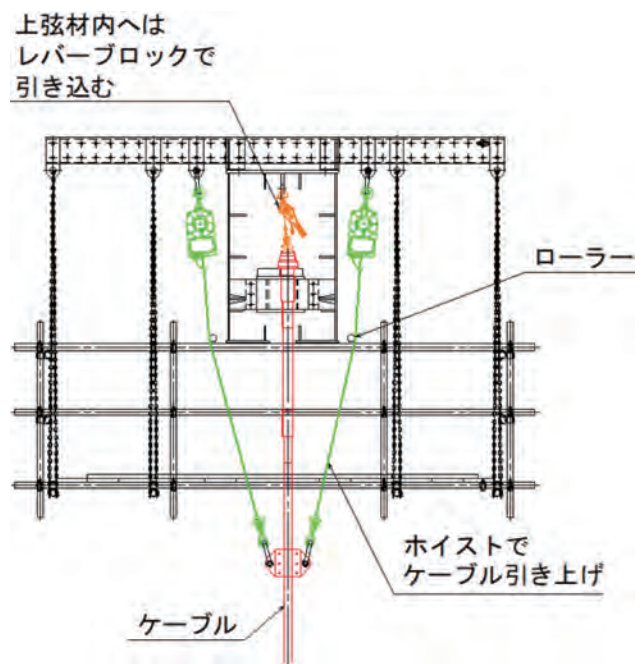


図-10 上弦材ケーブル引き込み治具

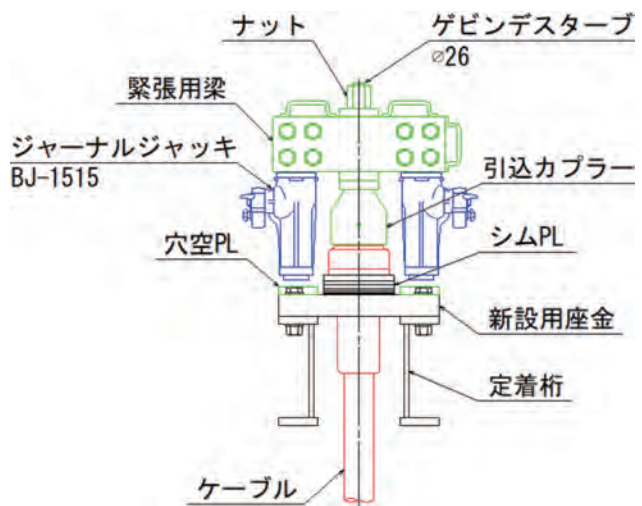


図-11 ケーブル緊張設備概要図

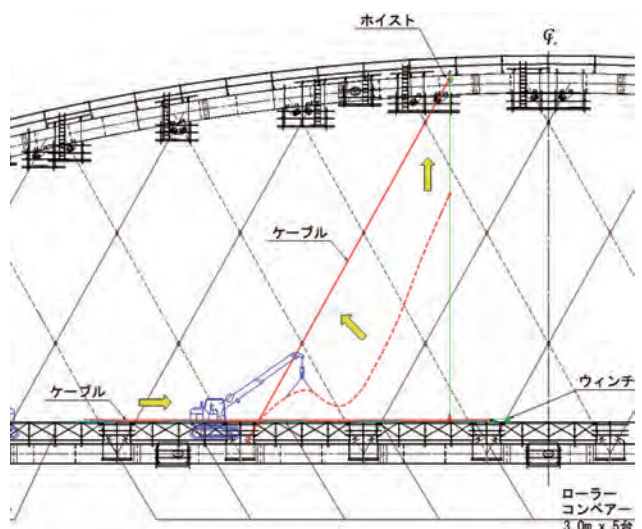


図-12 ケーブル架設概要図

写真-2にケーブル架設状況を示す。写真-3に完成時の状態を示す。



写真-2 ケーブル取替え状況



写真-3 橋梁全体写真(施工後)

6. ケーブル取替えに伴う張力検討

(1) ケーブル手配長さの算定

ケーブルを手配するにあたり、施工性に配慮しシムプレート厚を抑えるため、設計値通りに手配するのではなく取替え前の定着間距離を計測し、取替え後に作用する張力による伸び量がキャンバーに与える影響を確認したのちケーブル長さを確定した。

(2) ケーブル取替え後の張力とキャンバーについて

バイパスケーブル撤去から、新ケーブル設置完了までの施工ステップを立体骨組み解析で再現し、新ケーブル張力の目標値を算出した。

〈管理目標値について〉

上限目標値: ケーブルの許容荷重と各荷重ケースで生じる最大張力を比較し、両者の差の50%までを許容するよう設定した。

下限目標値: 部分的にケーブル張力が抜けると全体の構造系が変化してしまうことから、ケーブル張力が抜けないう目標張力の10%までの許容とした。

〈キャンバー値について〉

現況復旧を基本とし、バイパスケーブル設置工事の情報から建設当時のキャンバー状態を推測し本工事の目標値とした。

〈ケーブル調整について〉

桁温が安定している夜間に振動法で張力計測をし、翌昼間作業にシム調整を繰り返した。

〈シム調整量の算出について〉

立体骨組解析を用いて各ケーブルの影響値マトリックスを作成し、夜間張力計測結果から必要シム調整量を算出した。

以上より、張力およびキャンバー値を管理目標値内に収めることができた。調整後の張力およびキャンバーの管理図を図-13に示す。

7. まとめ

中津川橋のケーブル取替工事について報告した。鋼橋におけるケーブル全数取替工事は国内でも初であり、ケーブル張力管理はもちろんであるが、それ以上に狭隘な空間での部材の取替えには現場を調査する度に問題が発覚し、構造変更を考えていく必要があり頭を悩ませた。

新設であれば架設ステップに応じた応力等の作用状況が把握できる。しかし、既設のケーブル取替えは既に応力が作用した状態の想定張力と実際にどの程度想定と違う可能性があるかということも考えていく必要あり、万一を考えたリスク想定計算も行った。

ケーブル取替工事にあたり、ご指導、ご協力を頂いた関係各位に深く感謝の意を表します。

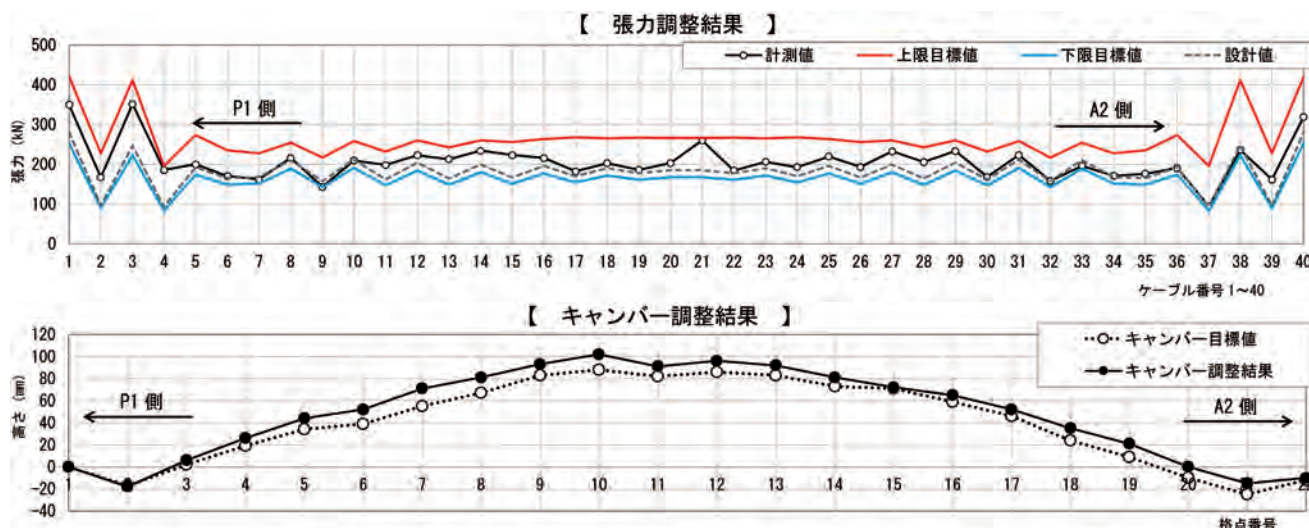


図-13 ケーブル取替後の張力と下弦材キャンバー図

高強度軽量2種プレキャストPC床版「スーパーHSLスラブ」の実装

— 国道254号16号橋 床版取替工事 —

SATOHO Hideyuki DOBASHI Masakazu NISHIDA Kazuyuki
郷 保 英之* 土 橋 正和** 西 田 一幸***

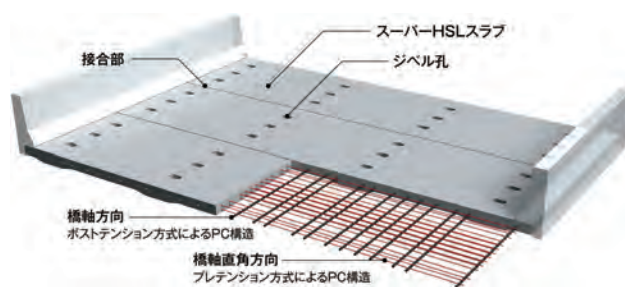
1. はじめに

国道254号16号橋は群馬県と長野県の県境に位置する1973年供用の鋼方杖ラーメン、鋼単純合成I桁から構成される3径間の橋梁である。橋梁一般図を図-1に示す。既設RC床版は、大型車交通量が多く凍結防止剤が散布される環境条件による疲労・塩害に加え、ASRも発生し複合劣化が進行していたことから、側径間の合成I桁部にて床版取替えが選択された。国道254号は緊急輸送路にあたる重要路線のため、終日車線を確保する片側通行規制下で半断面ずつ施工を行った。また、本工事ではRC床版と比較して重量を34%軽減できる高強度軽量コンクリート2種を使用したプレキャストPC床版「スーパーHSLスラブ」を採用した。その結果、床版取替え時の非合成状態に対応した桁補強での死荷重増分が床版の軽量化にてキャンセルされた。

2. スーパーHSLスラブの採用

2-1. スーパーHSLスラブの特徴

「スーパーHSLスラブ」の基本構造を表-1に示す。粗骨材に人工軽量骨材を、細骨材に人工軽量骨材と普通骨材を併用した単位重量 16.5kN/m^3 以下、設計基準強度 50N/mm^2 以上の高強度軽量コンクリート2種を使用する。その結果、床版重



強く・軽く

高強度軽量コンクリート

- コンクリート強度 50N/mm^2
- コンクリート単位重量 16.5kN/m^3

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

表-1 スーパーHSLスラブの基本構造および性能比較

項 目	RC床版	普通PCaPC床版	HSLスラブ	スーパー HSLスラブ
コンクリートの種類	普通コンクリート	普通コンクリート	軽量コンクリート1種	軽量コンクリート2種
単位重量	コンクリート	23.0kN/m^3	19.0kN/m^3	16.5kN/m^3
	床版	24.5kN/m^3	20.5kN/m^3	18.0kN/m^3
RC床版に対する重量比	1.00	0.90*	0.76	0.66

※道路橋示方書において、プレストレスの導入によりRC床版に対して床版厚を90%に薄くできることによる床版重量の低減

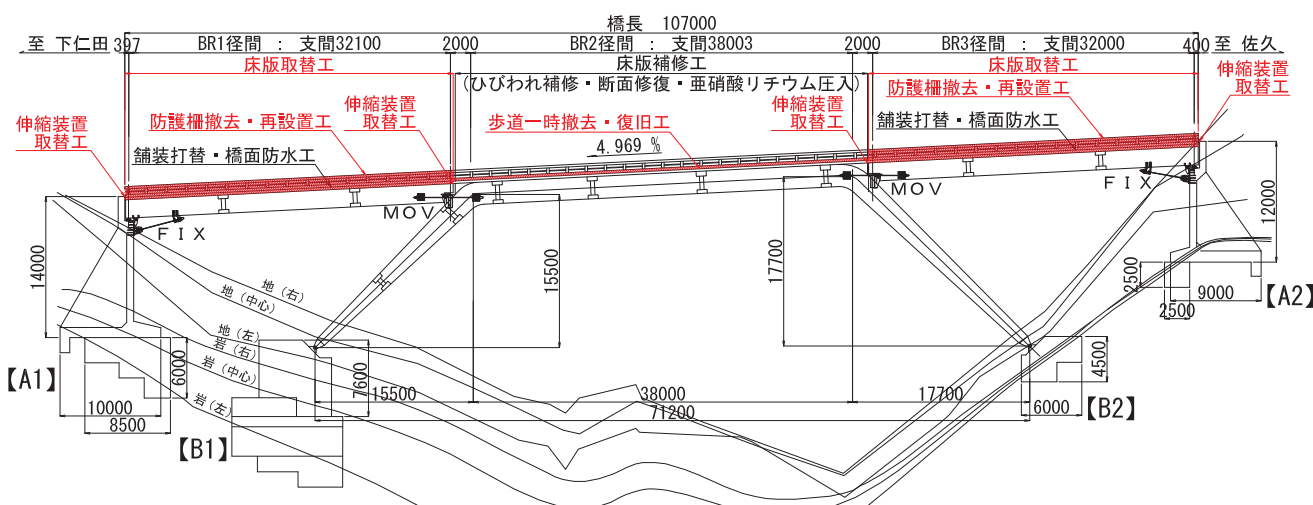


図-1 橋梁一般図

* (株)IHIインフラ建設 PC技術部 1G

** (株)IHIインフラ建設 橋梁工事1部 PC工事G

*** (株)IHIインフラ建設 滋賀工場 製造G

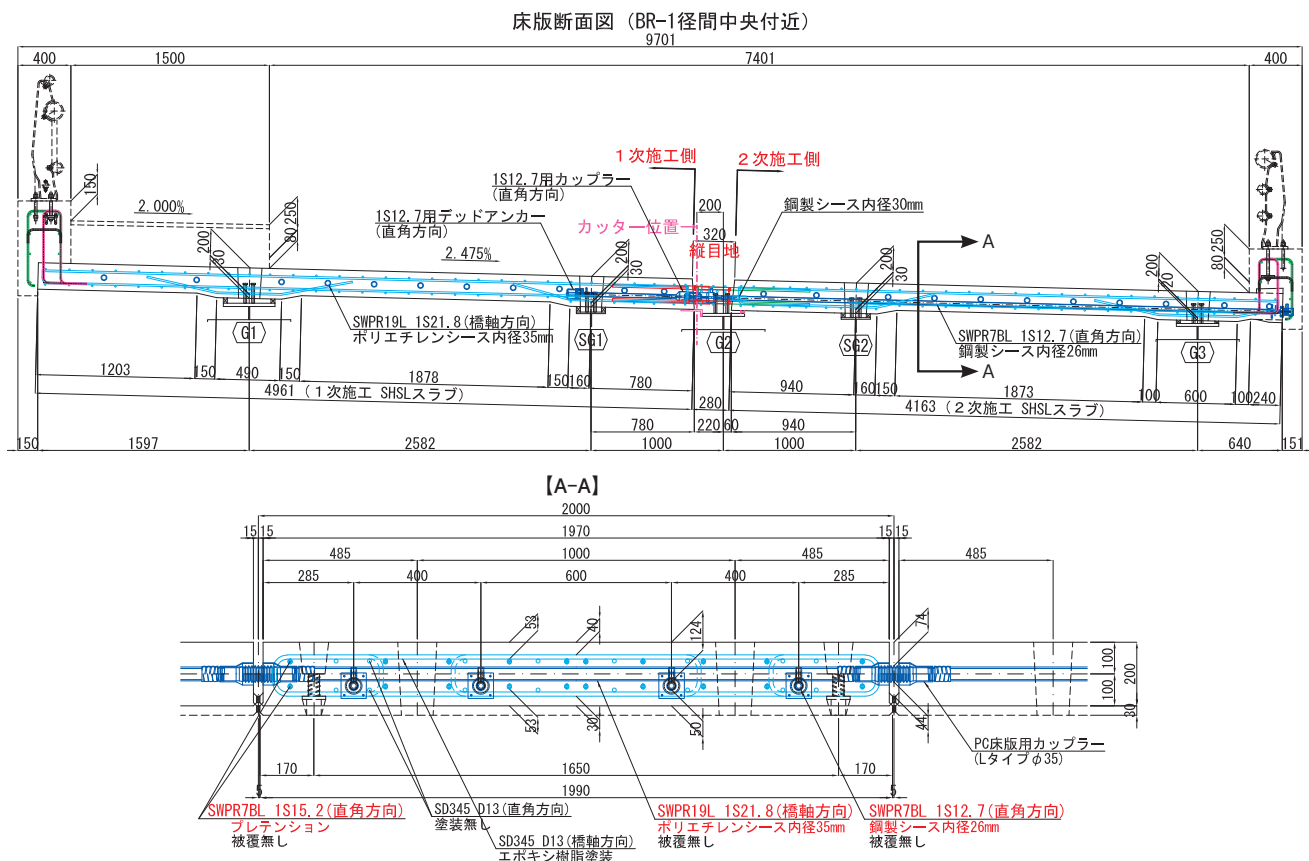


図-2 スーパーHSLスラブの形状および構造

量がRC床版に比べて34%、道路橋示方書(以下、道示)の規定から床版厚を90%にできるPC床版と比較しても25%軽減される。軽量化により車両大型化や交通量増加に起因する主桁や下部工の応力負担増加の軽減に有効である。使用する軽量骨材は良質の膨張頁岩を原料とし、高温焼成の過程で膨張して表面にガラス状の皮膜を形成しつつ内部はポーラス状になるため、軽い上に高強度コンクリートに適用可能な強度を有する。それを練混ぜ直前の含水率2.0%以下の低含水状態で使用することで、凍結融解作用や塩分浸透に対して十分な抵抗性を確保している。また、橋軸直角方向はプレテンション方式、橋軸方向はポストテンション方式によるPC構造とすることで、高い耐久性を実現している。その性能は、凍結融解試験、塩分浸透性試験、静的載荷試験、輪荷重走行疲労試験等により実証されている。¹⁾²⁾

2-2. 床版の構造詳細

本橋の「スーパーHSLスラブ」の形状および構造を図-2に示す。既設RC床版の床版厚は220mmであったが、「スーパーHSLスラブ」では縦桁を見込まない主桁間隔3.6mを床版支間と考えた場合の道示の規定による最小床版厚200mmに設定した。1径間当りの床版重量は、今回の床版取替えにより167tから112tに約55t減少する。一方、既設主桁は床版取替え時に非合成状態でクレーンや通行車両の荷重を支持する必要があることから、非合成化対応の補強が実施され約35tの重量増となっていたが、床版の軽量化にてキャンセルされた。橋軸直角方向プレテンPC鋼材はIS15.2(SWPR7BL)を床版1枚当たり16~24本配置し、橋軸方向ポステンPC鋼材はIS21.8

(SWPR19L)を半断面当り11本配置した。橋軸直角方向、橋軸方向ともに、死荷重作用時、設計荷重作用時の引張応力制限はフルプレストレスである。橋軸方向プレストレスは「スーパーHSLスラブ」を敷設し、橋軸方向接合部に無収縮モルタルを充填した後に導入する。接合部の幅は30mmであり、橋軸方向PC鋼材のシースはポリエチレン製カップラーで接続し、施工時のシース内へのモルタル流入防止、供用後の劣化因子侵入防止を図った。

3. 半断面施工への対応

3-1. 半断面施工の概要

本工事での半断面施工のステップを図-3に示す。床版の撤去・架設は、既設RC床版上に据え付けた25tラフタークレーンで2枚/日の実施を標準とした。幅員左側の床版取替えを行う一次施工において、幅員を分割する橋軸方向カッターは1日の施工範囲ごとに切断を行い、クレーン設置箇所では切断を行わないことで、スタッドにて接合された2本の主桁で床版を支持し、安定な状態を確保した。橋軸方向のカッター位置は、中央桁上を避けた計画とした。既設主桁は合成構造にてスタッドが密に配置されており、カッターのブレードと干渉する可能性が高く、また、フランジの損傷防止のためにブレードを深く入れられず、大幅な施工性低下が懸念されたためである。上記より、橋軸方向のカッター切断後、幅員右側の床版は2本の主桁で支持されるが、幅員左側の床版では床版取替え時に縦桁にもスタッドを設置して、幅員右側の床版取替えを行う二次施工での交通開放時に2本の主桁での支持を確保した。

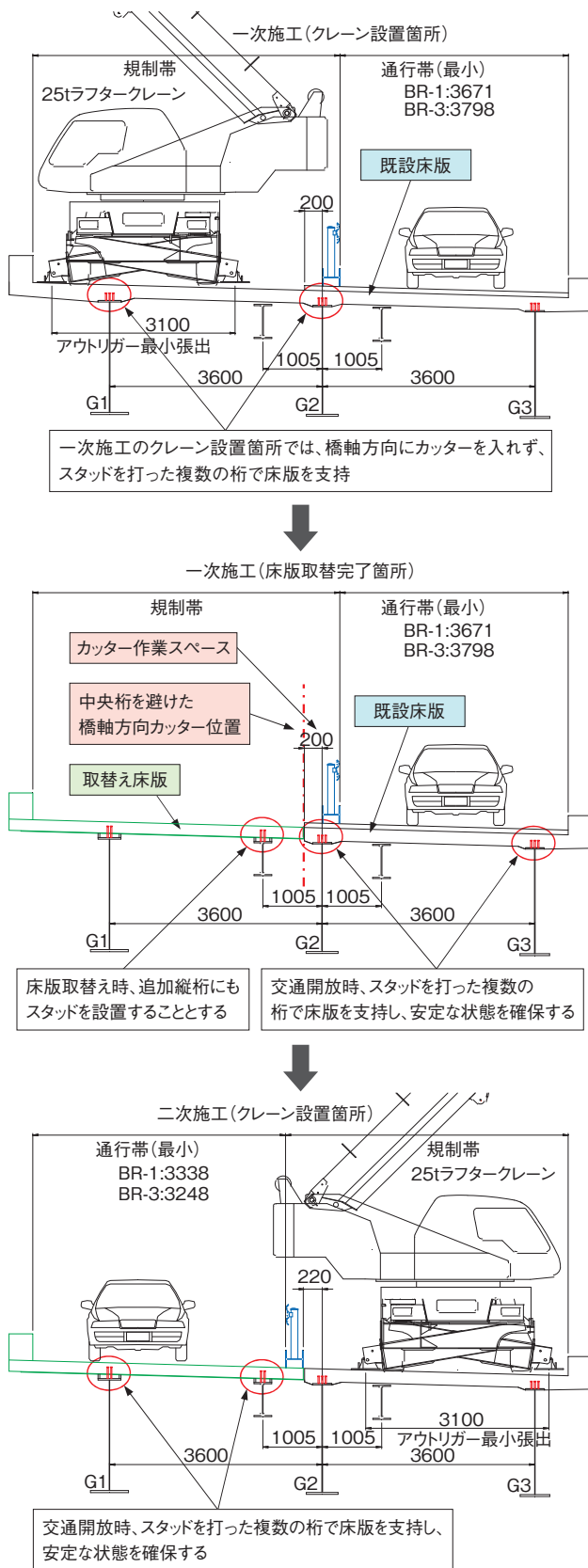


図-3 半断面施工時の施工ステップ

3-2. 橋軸直角方向接合部の構造詳細

本橋の橋軸直角方向接合部の構造を図-4に示す。重ね継手と比べ接合部幅を縮小でき、車両通行幅を確保可能な「Dエッジ鉄筋継手」³⁾によるRC構造として設計を行った上で、1.0N/mm²程度の付加プレストレスをポストテンション方式に

で導入し耐久性を高めた構造としている。Dエッジ鉄筋継手とは、端部を半楕円状に拡張加工した鉄筋を用いて接合部に生じる応力を鉄筋直線部の付着力と拡張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。D19の場合、接合部幅を650mmから320mmに縮小できる。一次施工側は機械継手と組み合わせ、「スーパーHSLスラブ」側からの鉄筋突出長を抑えることで、既設RC床版側の幅員を最大限確保した。配筋状況を写真-1に示す。付加プレストレス用PC鋼材は、一次施工側の「スーパーHSLスラブ」にデッドアンカーを埋め込んでおき、接合部でカップラー接続を行い、二次施工側端部から緊張作業を実施した。

3-3. 橋軸直角方向接合部のコンクリート打設

橋軸直角方向接合部のコンクリートを半断面のみ交通開放した状態で打設すると、強度が発現するまでの車両通行による主桁間のたわみ差や床版の振動の影響で、ひび割れの発生が懸念された。そこで、コンクリート打設時に短時間の全面通行止めを実施した。1日1径間ずつ夜間0時から早朝5時までの限られた時間で施工を行うため、超速硬コンクリートを適用した。材齢3時間で $\sigma_c = 24 \text{ N/mm}^2$ の強度発現を確認後、交通開放を行う工程で施工することによって、ひび割れの発生を防止できた。

4. 施工上の留意点

4-1. 仮設ガードレール設置

半断面施工の実施にあたり、規制帯と通行帯の境界部にH鋼ガードレールを設置した。既設RC床版撤去時、スタッドが密に配置されている主桁フランジ部はコンクリート研りを行うことから、コンクリート片の飛散が懸念されたため、写真-2のように飛散防止ネットを設置して第三者被害を未然に防止した。

4-2. 歩道マウンドアップ撤去

図-3の断面図の通り、本橋は幅員左側にマウンドアップ形式の歩道を有するが、半断面施工を行う上で歩道部も車道として使用しなければ、一般車両の通行に必要な幅員が不足する。よって、幅員左側の床版取替えを一次施工として先行させるとともに、床版取替えを行わない中央径間の歩道マウンドアップ部の撤去も同時に実施した。

4-3. 既設RC床版撤去

既設RC床版の一部にアンダーデッキパネルによる補強が行われており、写真-3のように一体で撤去を行った。アンダーデッキパネルと主桁間の固定ボルトを先行で外した後、橋軸直角方向カッターは橋軸直角方向リブを避けた位置とし既設RC床版と同時に切断した。橋軸方向リブはブレードが下端まで届かず切断しきれないため、ガス切断を実施した。

4-4. スーパーHSLスラブ架設

半断面施工にて幅員に余裕がないため、床版吊上げの際、クレーン旋回時に通行帯に突出する。写真-4のように旋回ごとに規制帯と通行帯の境界部にある安全ネットを取り外した上で、一般車両の通行を一時的に規制して、安全を確保した。

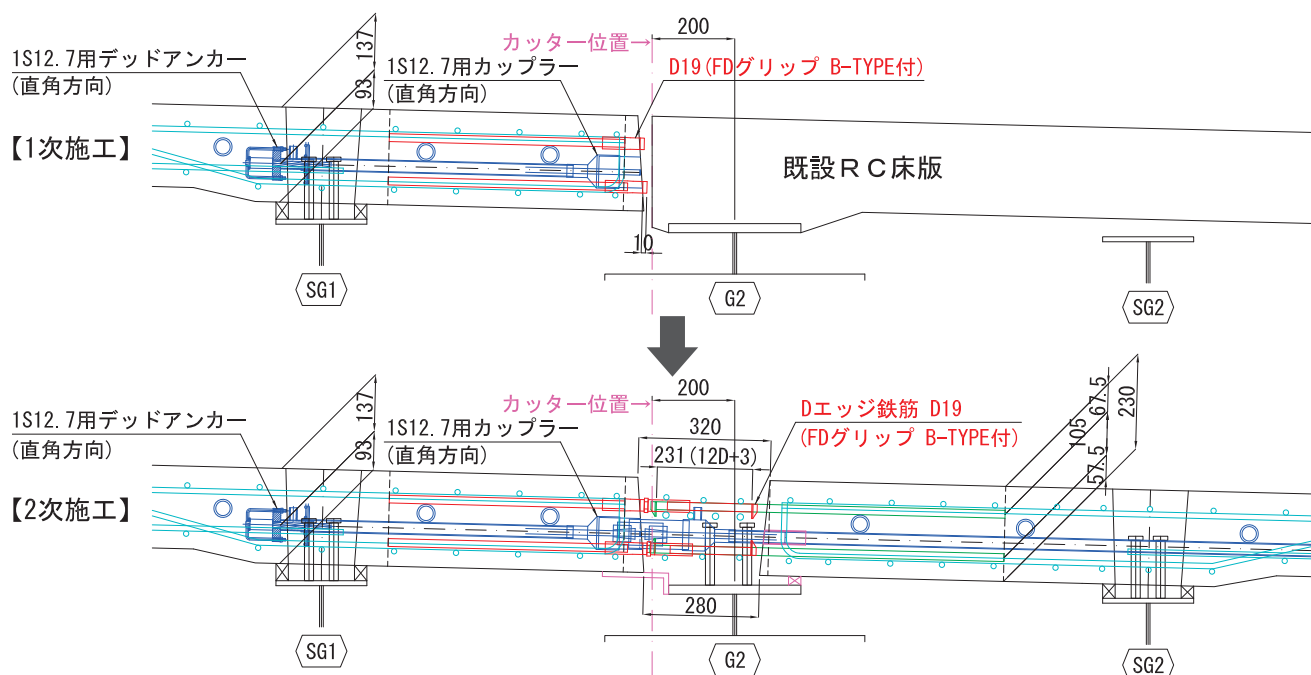


図-4 橋軸直角方向接合部の構造

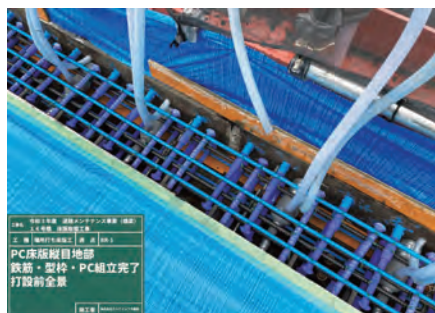


写真-1 橋軸方向接合部の配筋



写真-2 仮設ガードレール設置



写真-3 アンダーデッキパネル撤去



写真-4 スーパー HSLスラブ架設



写真-5 伸縮装置部仮覆工



写真-6 完成状況

4-5. 伸縮装置部仮覆工

歩道マウンドアップ部の伸縮装置は、前述の幅員確保のため、一次施工完了時には設置できないが、二次施工時に一般車両を通行させるため、床版遊間を覆工する必要があることから、写真-5のように新規製作した鋼板をアンカーボルトで固定した上で仮舗装を実施した。

5. まとめ

本工事は2023年2月に無事完成を迎えた。完成状況を写真-6に示す。本工事に「スーパー HSLスラブ」を用いた半断面施工による床版取替えの施工性に問題がないことを検証できた。今後も床版取替え等の保全技術を通じて橋梁の長寿化に貢献していきたい。最後に、本工事の計画・施工にあたり、

ご指導、ご協力いただいた関係各位に深くお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 小林崇、中村定明、郷保英之、松井繁之：軽量コンクリート2種を用いたプレキャストPC床版の押抜きせん断耐力および疲労耐久性に関する研究、日本コンクリート工学会 コンクリート工学年次論文集、Vol.39、No.2、pp.325-330、2017
- 2) 小林崇、中村定明、石川寛範：低含水状態の軽量骨材を使用したコンクリートの材料特性、土木学会 第72回年次学術講演会講演概要集、pp.1233-1234、2017.9
- 3) 高木祐介、廣井幸夫、中村定明、松井繁之：高強度軽量プレキャストPC床版の橋軸直角方向鉄筋継手の研究、土木学会 構造工学論文集、Vol.62A、pp.1202-1213、2016.3

秩父橋工事報告

ー 供用後90年経過した鉄筋コンクリートアーチ橋の補修工事 ー

SHIMANO Takanori
島野 孝則*

OYAMA Naoki
大山 尚輝**

1. はじめに

秩父橋は、1931年に埼玉県秩父市に建設された橋長134.6mの鉄筋コンクリート(以下RC)3連固定アーチ橋であり、当初は道路橋として供用されていたが、1987年より歩道橋として供用されている。本橋では経年劣化により、アーチリブやアーチの鉛直材、補剛桁においてコンクリートの剥離やひび割れが多数確認されており、床版下面においても漏水が確認されていた。そこで本工事では、断面修復工、ひび割れ注入工、橋面防水工等の補修を行った。本工事は、高度な技術力を要する修繕工事等を、当該地方公共団体に代わって国土交通省が実施できる修繕代行制度を活用した工事である。

本工事では、施工時にアーチリブへ足場を設置する必要があったが、安全性を評価するにあたり、計算書と配筋図が残

存していない問題があった。そこで復元設計を行い、安全性を確認した。また、補修箇所数が多いため、補修した箇所の写真管理が煩雑であった。そこで新たな試みとして360度カメラを使用し、業務の効率化を検討した。本稿ではこれらの検討事項について報告する。

2. 橋梁概要

図-1に橋梁一般図、図-2に点群データを示す。本橋はP1からP4までRC3連固定アーチ構造であり、側径間部は床版一体構造のRC単純T型4主桁となっている。

本工事では主にアーチリブや補剛桁の断面修復工、ひび割れ注入工および橋面防水工を行った。

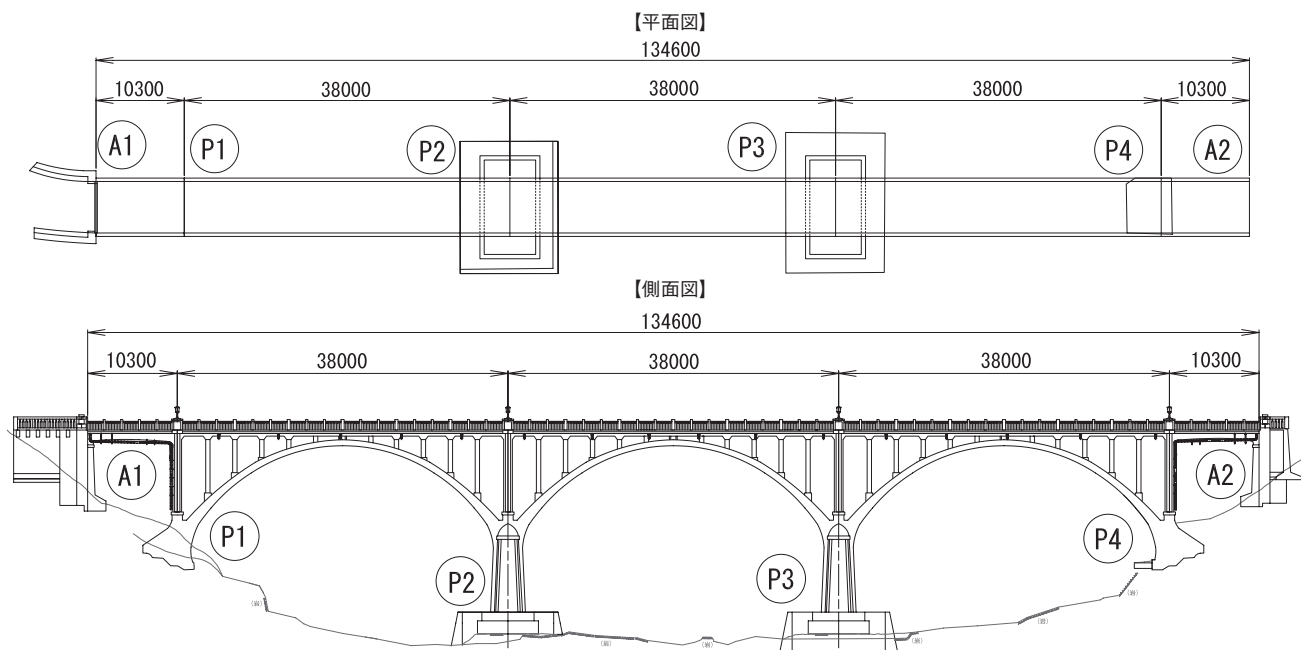


図-1 橋梁一般図



図-2 点群データ

* (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 橋梁工事1部 鋼橋工事G

以下に、秩父橋の橋梁諸元を示す。

発 注 者：国土交通省 関東地方整備局関東道路
メンテナンスセンター、秩父市
施工箇所：埼玉県秩父市阿保町地先
工 期：2021年11月1日～2023年3月28日
構造形式：RC 3連固定アーチ、RCT型4主桁(側径間)
橋 長：134.600m
支 間 長：10.3m+3@38.0m+10.3m
総 幅 員：6.800m

3. 復元設計による安全性の確認

本橋では、令和元年に点検調査は行われていたものの、足場設置時における安全性を確認するにあたり、建設当時の設計計算書および図面が残存していない問題があった。そこで復元設計を行い、足場設置時の安全性を確認した。

解析モデルを作成するにあたり、アーチリブでは、点検調査時に収集された点群データ(図-2)を使用して部材厚を設定した。また、配筋情報は施工当時の写真より、鉄筋本数を想定した(図-3)。鉄筋径については、既往の文献においてD13、D16の鉄筋が使用されているとの記載があったことから、D13と想定した。

アーチ上の補剛桁、および側径間の主桁では、上縁部の鉄筋の径と配置を調査するため、電磁波レーダ法を用いた非破壊調査を実施した。さらにこの調査の精度を確認するため、一部コンクリートをはつり、実際に配置されている鉄筋を調査して、電磁波レーダ法との整合性を確認した(写真-1)。コンクリート強度は、反発硬度法による調査を実施した。下縁部の鉄筋については、足場がない状態での調査が困難であったため、建設時期の近い近接する橋梁の図面や標準設計を参考に、配置されている鉄筋量を想定した。復元した解析モデルに、足場設置時の工事車両および足場の荷重を載荷し、コンクリートと鉄筋の応力を確認して、問題ないと判断した。

足場の設置後に、本橋の配筋情報を明らかにするため、補剛桁と主桁下縁部の鉄筋およびアーチリブの鉄筋探査を実施した(写真-2～3)。復元設計において想定した配筋と、鉄筋探査により調査した配筋を図-4に示す。A1-P1の主桁では、復元設計においてD25の鉄筋が1段あたり4本の2段配置を想定していたが、探査した結果、D38の鉄筋が3本の1段配置であった。P1-P2の補剛桁では、復元設計においてD19の鉄筋が4本の1段配置を想定していたが、探査した結果、D19とD16の鉄筋が2本ずつ1段配置されている2段配置であった。アーチリブは、D13の鉄筋が190mmの間隔で配置されていると想定したが、探査した結果、200mmの間隔でD22の鉄筋が配置されていた。

復元設計の妥当性を確認するため、復元した解析モデルと計測結果を反映した解析モデルに、死荷重と当時の活荷重を載荷した結果を表-1、表-2に示す。鉄筋に発生する応力は補剛桁で復元設計106.1N/mm²、計測結果の反映で134.6N/mm²であった。

主桁では、復元設計で124.5N/mm²、計測結果の反映で132.8N/mm²であった。以上より、本橋は鉄筋応力が140N/mm²以下となるように設計されていた可能性がある。

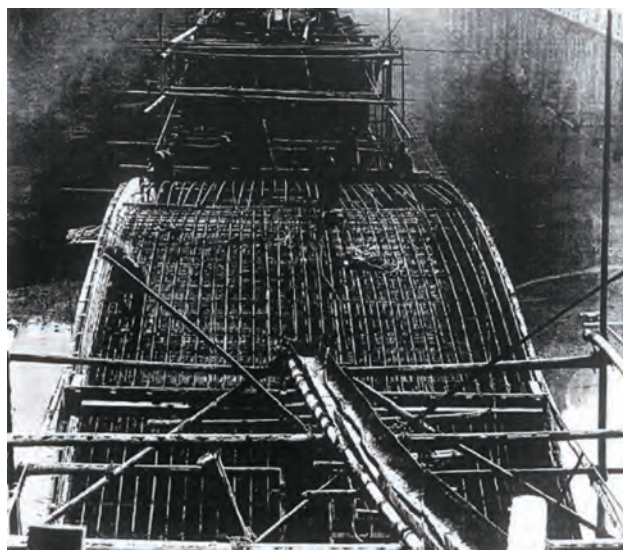


図-3 アーチリブ施工状況



写真-1 上縁部鉄筋確認状況



写真-2 主桁下縁部鉄筋探査状況



写真-3 アーチリブ鉄筋探査状況

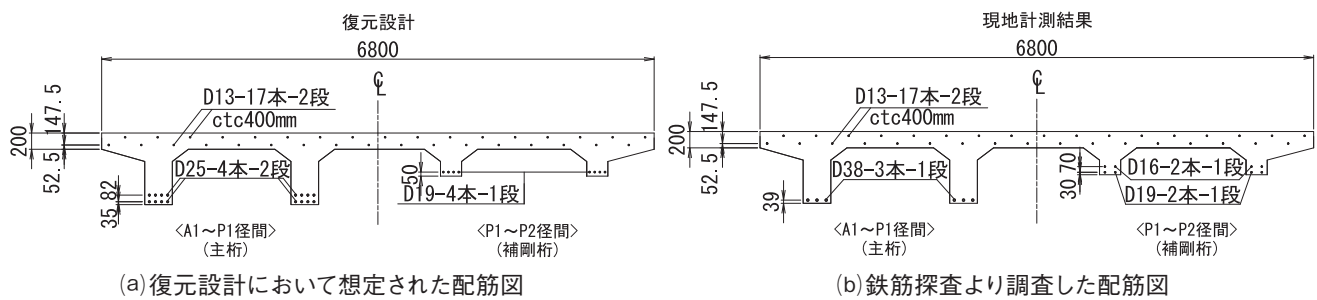


図-4 復元設計および調査結果の配筋図

表-1 復元設計と計測結果の比較(補剛桁)

P1-P2 (補剛桁)	鉄筋 (補剛桁下縁)	鉄筋断面積 (mm ²)	鉄筋量 (mm ³)	鉄筋量 比率	設計荷重時		
					σ_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_c 応力比率
復元設計	D19-4本-1段	286.5	1146.0	1.00	2.40	106.11	1.00
計測結果	D19-2本-1段	286.5	970.2	0.85	2.61	134.61	1.27
	D16-2本-1段	198.6					

表-1 復元設計と計測結果の比較(補剛桁)

A1-P1 (主桁)	鉄筋 (主桁下縁)	鉄筋断面積 (mm ²)	鉄筋量 (mm ³)	鉄筋量 比率	設計荷重時		
					σ_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_c 応力比率
復元設計	D25-4本-2段	506.7	4053.6	1.00	2.80	124.54	1.00
計測結果	D38-3本-1段	1140.0	3420.0	0.84	2.76	132.77	1.07

4. 高解像度の360度カメラによる補修箇所の撮影

本橋では、アーチリブと補剛桁の断面修復工、およびひび割れ注入工を行ったが、補修箇所が500箇所程となり、写真管理が煩雑となった。また、補剛桁下側の補修では、アーチの鉛直材によって空間が区切られており、さらに補修状況が類似していることから、補修箇所の整理に時間を要した。

そこで、高解像度の360度カメラを使用して広範囲を撮影することで、撮影枚数の削減を行い、さらに撮影位置の情報をソフトウェアによって紐づけることで、業務の効率化を検討した。

使用した360度カメラを図-5に示す。本カメラは25個のレンズによって構成されており、約1億2,000万画素の写真撮影できる。データサイズは1枚あたり10～20MB程度である。

図-6に撮影位置を示す。撮影は各アーチの鉛直材間で行った。1箇所あたりの撮影枚数は、補剛桁の両外側より1枚ずつと補剛桁間の3枚を合わせた5枚である。図-6に360度カメラによって撮影された写真を示す。360度カメラでは、パノラマ

写真を撮影できることに加え、自身で任意の視点を指定することができ、周囲の状況から補修を行った位置を把握することが可能である。また、複数の補修箇所を1つの写真データ内に収めることができ、高解像度で撮影されていることから画像を拡大することで、補修箇所を確認することができる。

以上より、本橋のような補修箇所が多数ある橋梁では、360度カメラを使用することで、撮影枚数の削減や、補修位置の把握といった施工管理業務の効率化が図れることを確認した。さらに、ソフトウェア上で、補修の範囲や使用した補修材数量を入力し、写真と紐づけたデータ管理を行うことで、より一層施工管理業務の効率化が見込まれる。

また、補修箇所以外のデータも収集されるため、将来の点検時において、発見された損傷がいつの時点で発生したものか明確にすることができ、維持管理に活用することも可能であると考えられる。

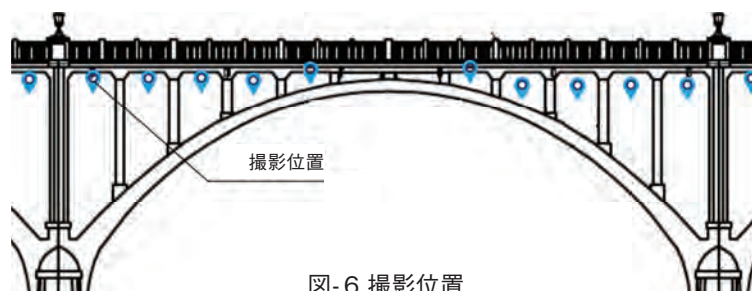


図-6 撮影位置



図-5 360度カメラ



(a)パノラマ写真



(b)補修箇所①拡大



(c)補修箇所②拡大

図-7 360度カメラによる写真

5. まとめ

本稿では秩父橋の施工時における安全性の確認、および施工管理における業務の効率化について報告した。

施工時における安全性の確認では、建設時の設計計算書および図面が残存しておらず、工事車両および足場の荷重を載荷した際の安全性が確認できない課題があったが、復元設計を行い、耐荷力を算出することで、施工時における安全性を確認した。これにより、問題なく工事を完了することができた。

施工管理業務では、補修箇所が多く、写真管理が煩雑となる課題があり、360度カメラによる業務の効率化を検討した。

検討した結果、360度カメラを使用して広範囲を撮影することで、撮影枚数の削減を行い、さらに撮影位置の情報をソフトウェアによって紐づけることで、業務の効率化が図れることを確認した。

上記の工程を経て秩父橋は2023年3月末に無事故で補修工事を完了した(写真-4)。本報告が今後の同種工事の一助となれば幸いである。

最後に、秩父橋の施工にあたり、ご指導、ご協力くださった発注者の関東地方整備局メンテナンスセンター様、秩父市様、そして全ての工事関係者の方に、深く感謝の意を表します。



(a)工事前



(b)工事後

写真-4 橋面状況写真

首都高9号深川線上部工補強工事報告

— 現場条件(市街地)を考慮した施工事例とICT取組み事例の紹介 —

OOISHI Tsuyoshi KIUCHI Ichirou YOKOYAMA Yui
大 石 剛* 木 内 一 郎* 横 山 ゆ い***

1. はじめに

本工事の工事範囲は、東京都江東区深川の首都高速道路9号深川線 深-45橋脚から深-97橋脚までの約1kmと広範囲に亘っている(図-1)。また、市街地での工事で、高架下には駐車場、駐輪場、遊歩道があり、周辺には小学校、保育園、集合住宅が隣接するなどの現地条件である(写真-1)。このような高架下が供用されている場所で施工するうえで、供用場所を規制して行う鋼製橋脚隅角部補強材の取込作業や高所作業車による剥落防止対策工の施工において、特に注意を払った点やICTの取組みについて報告する。



図-1 工事位置 (出典:Googleマップ)



写真-1 高架下・近隣状況

2. 工事概要

本橋梁区間は1977年に建設されて以来、約44年が経過しており、車両の大型化や過積載など様々な要因により鋼製橋脚隅角部や支点部等に損傷が生じている。本工事における工事概要は以下の通りである。

工 事 名: (修)上部工補強工事2-212
工事場所: 東京都江東区深川一丁目 他
工 期: 2021年2月6日～2023年1月31日
工事範囲: 高速9号深川線 深-45～深-97

発 注 者: 首都高速道路株式会社 東京東局

施 工 者: 株式会社IHIインフラ建設

対 象 物: 鋼製橋脚 22橋脚

【主な工事内容】

- 鋼製橋脚隅角部補強工 70箇所(図-2)
- き裂補修・補強工 63箇所
- 拡大ベースプレート設置工 6基
- 高力ボルト取替工 4,6554本
- 剥落防止対策工 1,035㎡
- 現場塗装工 1,331㎡
- 排水管復旧工 131m、検査路復旧工 1.7t

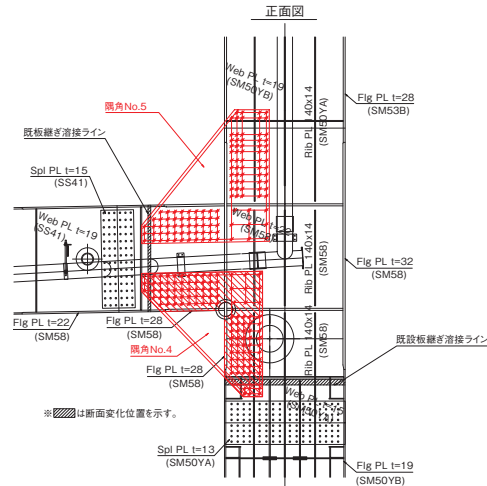


図-2 鋼製橋脚隅角部補強例

3. 現場周辺環境に配慮した施工事例

3-1. 補強部材の施工性向上と落下防止対策

鋼製橋脚隅角部補強において、既設橋脚には板厚差による断面変化や既設補強材などがあるため、補強材の他にFILL PLを同時に設置しなければならなかった。様々な大きさのFILL PLを狭い足場で1部材毎に設置することは、非常に困難で落下させるリスクが非常に高く、施工性が悪かった。そこで、補強材とFILL PLを予め仮ボルトで一体化させることで施工性が良く、安全に設置することができた(写真-2)。



写真-2 補強材取付状況

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

仮ボルトによる補強材の一体化方法について紹介する。

本工事の補強材とFILL PLの孔径は締付けるボルトの種類により、支圧ボルトはφ23.5、高力ボルトはφ26.5となっている。その孔に仮ボルト・ナットを締めて一体化すると設置面側にナットを締める状態となり、補強材設置時にこの仮ボルト・ナットを外すことが非常に困難で危険をとまなう作業となる。そのようなリスクを無くすために今回は、図-3のように仮ボルトを設置する箇所のFILL PLの孔位置にM20タップ孔を明け、そこに仮ボルトを締めこみ一体化させる方法を採用した。図-4に施工ステップを示す。

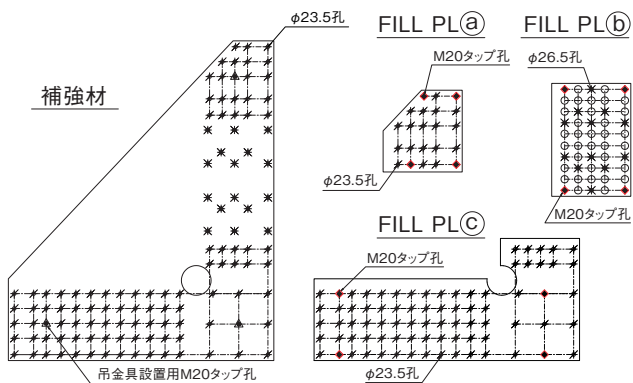


図-3 補強材とFILL PLLの組合せ例

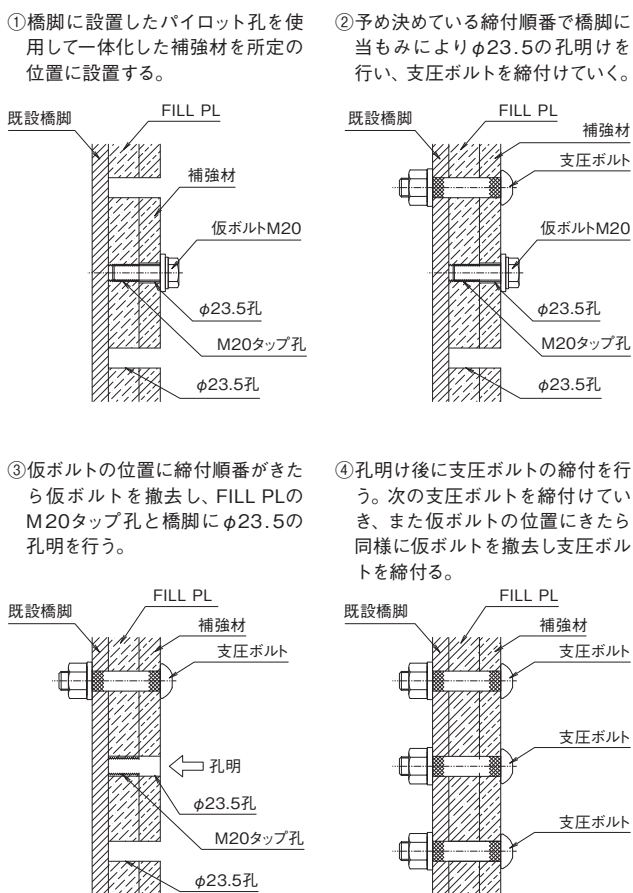


図-4 仮ボルト一体化による施工ステップ図

以上の方法により施工を行うことで、取込中に仮ボルトを外したり、補強材を捲ってナットを外すなどの危険な作業を行わずに補強材を安全に精度よく設置できる。

3-2. 塗布材料の飛散防止対策

剥落防止対策工は、発注時に高所作業車を使用した施工であったため、構造物との隙間から下の駐車車両や隣接する施設に塗料や接着剤を飛散させる恐れがあった。そこで、高所作業車のデッキ部の手摺上に庇(ひさし)を設置することで構造物との隙間を無くし、塗布材料飛散の防止ができた(写真-3)。



写真-3 高所作業車庇設置状況

3-3. 作業時間の調整(保育園の昼の就寝時間対応)

近接する保育園から、園児が11時～15時は就寝時間となるため作業音の発生する作業は控えて欲しいという要望があった。そのため、保育園に近接した施工箇所での作業の際は、要望の時間帯は作業音の発生する作業を中止し、他の場所と工程調整しながら工事を進捗させることで全体工程に影響なく施工できた(写真-4)。



写真-4 近隣の施設状況

4. ICT取組み

近年、ICTを活用した業務の効率化、生産性の向上が必須となっている。そこで、本工事では以下の内容について取組みを行った。

- (1)3Dモデルの各種情報の格納
 - (2)遠隔コミュニケーションツールを活用した遠隔臨場の実施
 - (3)遠隔臨場を可能とするための通信環境の改善
 - (4)MR技術(GyroEyeHolo)を活用した現場作業の効率化
- 本稿では(1)と(2)について紹介する。

4-1. 3Dモデルの各種情報の格納

過年度に施工された工事情報(図面・損傷調査結果など)を構造物ごとに管理する方法の確立を目的として、1橋脚を対象に構造詳細度の異なる3つのモデルを作成し、そのモデルに損傷結果や補修履歴等の情報を紐付け格納した。3つのモデルのメリット、デメリットや各作業時間を比較し、最も適したモデルパターンはどれか検討した(表-1)。

表-1 作成モデル比較一覧表

	詳細版モデル	簡易版モデルⅠ	簡易版モデルⅡ
モデル			
メリット	- 細部構造を確認することができる。 - 損傷等を正確な位置情報で管理することができる。	細部構造の把握と見やすさのバランスが良い。	- 簡潔で見やすく、大まかに全体を把握するのに向いている。 - モデル作成コストが安い。
デメリット	- モデル作成コストが高い。 - 煩雑で見づらい。	モデル作成コストが高い。	細部構造を確認することができない。
作業時間	3Dモデル作成：100H 属性付与：20H	3Dモデル作成：90H 属性付与：20H	3Dモデル作成：40H 属性付与：20H
データ容量	35MB	33MB	31MB

維持修繕工事では、点検や工事を行った全ての構造物をモデル化するため、作業時間が最も少ない「簡易版モデルⅡ」が望ましく、このモデルでも十分に情報が確認できるという結果を確認できた。

4-2. 遠隔コミュニケーションツールを活用した遠隔臨場の実施

「首都高速道路における遠隔臨場試行マニュアル(2022年10月)」が発行されており、XRoss 野帳およびTeamsを活用した遠隔臨場を試験的に実施した。これらの結果と従来の立会検査を比較した内容を表-2に示す。現状はどの方法も短所・長所があり、適材適所で活用していくべきと考えるが、XRoss 野帳は他のソフトと比較しても拡張性があり、改良を加えれば更なる効果が期待できると考える。

表-2 従来の立会検査と遠隔臨場の比較一覧

着目点	従来の立会検査	XRoss 野帳 (遠隔臨場)	Teams (遠隔臨場)
検査の準備	× 1～2時間程度必要 (移動時間含む)	○ 0.5時間程度でOK	○ 0.5時間程度でOK
作業性	——	× 接続手順が複雑	○ 接続手順が容易
通信環境	不 要	必 要	必 要
見栄え・出来栄への評価	○ 近接目視のため評価可能	△ 画面上の画角とHoloLensの視野にずれがある	○ 画面上で評価可能
出来形計測値の確認	○ 現地立会のため確認可能	○ デジタルメジャー等による出来形計測値の確認可能	○ 画面上でのメジャーや膜厚計の確認可能
視 野	○ 現地立会のため問題なし	× HoloLensの視野が狭い	△ HoloLensより視野が広いが、立会時には劣る。
現地確認位置の図面上での把握	○ 現地立会のため問題なし	○ 図面上での位置表示が可能	× 図面上の位置把握が困難
現地確認位置の指示	○ 現地立会のため問題なし	○ 確認したい箇所を画面上で指示可能	× 口頭での指示となり指示が困難

5. まとめ

(修)上部工補強工事2-212における現場条件(市街地)を考慮した施工事例とICT取組み事例について報告した。今回の工事を終えて、市街地での工事は施工条件(小学校や一般道等)に配慮した十分な計画のもと、工事を行うことが重要であると感じた。また、ICT取組みについても作業効率の向上を目指す上で継続的な取組みが必要と考える。今回紹介した事例が今後の工事の参考になれば幸いである。

最後に、本工事を無事にしゅん功できたことに対し、ご指導、ご協力を頂いた首都高道路株式会社様と関係部署の各位に深く感謝の意を表します。

南国安芸道路 茨西高架橋 工事報告

— BIM/CIM・ICTを活用した中空床版橋の施工 —

UJIHARA Hirofumi
氏 原 浩 文*

1. はじめに

本橋は、高知東部自動車道の南国安芸道路に位置する固定支保工架設で施工された4径間連続PC中空床版ラーメン橋である。本工事では、BIM/CIMモデルを活用したPCケーブルの出来形管理および複合現実技術(以下、MR技術)を活用した鉄筋・支保工の出来形管理を行うと共にICTを活用した生コン品質管理を行い施工管理の省力化や省人化に取り組んだ。

2. 工事概要

茨西高架橋は、ラーメン形式とすることで支承数を減らすことが可能となり、経済的に優れた構造となっている。A1、A2橋台にはゴム支承がそれぞれ2基、P1～P3橋脚の剛結部は、長さ3.5m、幅17.1m、高さ1.3mのマスコンクリートとなっている。

工 事 名: 令和3-4年度南国安芸道路茨西高架橋上部工事

工 期: 令和3年10月23日～令和4年12月16日

発 注 者: 国土交通省 四国地方整備局

施工箇所: 高知県南国市物部

構造形式: 4径間連続PC中空床版ラーメン橋

橋 長: 111.2m

支 間: 25.9m+29.0m+29.0m+25.9m

総 幅 員: 19.390m



図-1 位置図 (出典: 土佐国道事務所HP)

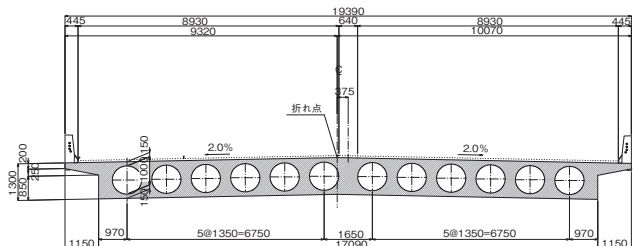


図-2 断面図

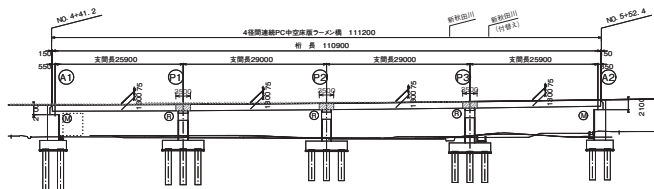


図-3 側面図

3. ケーブル出来形・支保工・鉄筋工への適用

3-1. PCケーブルの出来形管理

BIM/CIMモデルを活用し、各ケーブルの管理点の設計値を算出した。BIM/CIMモデルを活用することで、準備・施工・管理の各段階において見える化を図ることができ、業務の効率化や施工ミス防止に有効であった。出来形検測には自動追尾式トータルステーション(以下、TS)を用いて各測点毎の座標管理を実施し、規格値を満足することを確認した(写真-1)。



写真-1 PCケーブルTS計測状況

3-2. MR技術の試行(支保工)

架設支保工計画図を詳細にBIM/CIMモデル化し(図-4)MR技術を用いて施工管理を行った。支保工図面の妥当性を確認する際、MR機器にて支保工設置前の地盤上に図面を重ね合わせることで問題点の有無を確認した。また、施工途中および組立完成時には再度MR機器で確認することで、監督検査の省人化を図ることができた。特に、支保工設置時に重要な水平力対応プレス配置の確認には効果的に活用できた。

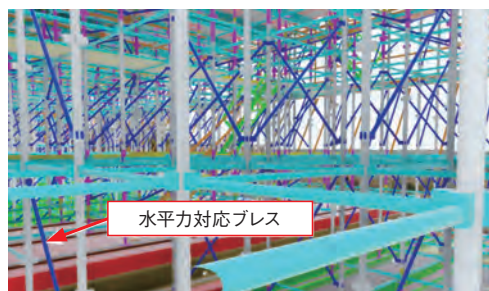


図-4 支保工のBIM/CIMモデル

* (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 橋梁工事2部 PC工事G

3-3. MR技術の試行(鉄筋マーキング)

床版鉄筋の位置出し作業において、MR技術の活用を試行した。鉄筋のBIM/CIMモデルを作成し、MR機器に取り込んで重畳して配筋位置をマーキングするものである。

マーキング実施箇所は、橋軸直角方向は各径間毎に3断面、橋軸方向は左右2列とした。従来法との所要時間を比較し効率化や課題などを抽出した(写真-2)。



写真-2 MRマーキング状況

図-5に従来の方法と今回の試行での人数・作業時間の比較図を示す。MRマーキングを1人で行ったことを考慮すると、従来方法から作業時間を約45%(77/140分)縮減できる結果となった。精度については、鉄筋間隔の設計寸法に対して±5mmの誤差であり施工に必要な精度が確保できた。

時間(分)		0	30	60	90	120	150	180
【新技術】 MRマーキング 人数・作業時間 1人・77分		準備		1回目-26分	2回目-21分	生産性向上 → 45%		
【従来技術】 メジャーマーキング 人数・作業時間 2人・80分		準備		1回目-33分	2回目-27分			
【従来技術・1名換算】 メジャーマーキング 人数・作業時間 1人・140分		準備		1回目-66分	2回目-54分			

図-5 MRマーキング省力化比較図

4. コンクリート工への適用

フレッシュコンクリートの品質監視システム

道路橋床版のスランptest全車試験に伴う作業時間と労力は大きな負担となっている。そこで「アジテータ車搭載品質監視システム」を用いることで試験頻度を低減し、生産性向上と品質向上を目指した。このシステムでは、出荷したアジテータ車の位置をリアルタイムに取得するとともにドラム内に設置したプローブセンサーにより、スランプ・温度および積載量を逐次測定・記録できる。システムの概要を図-6に示す。

第1施工区間の施工では、品質監視システムを搭載したミキサー車は全体の50%とし、全量スランプ試験を実施して品質監視システムの値と比較できる62点のデータが得られた。

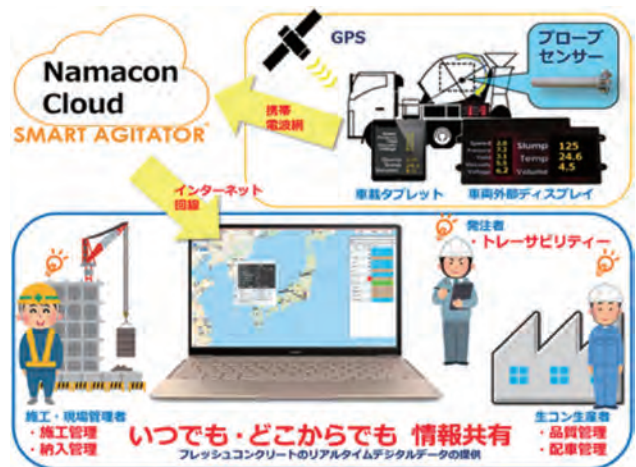


図-6 アジテータ車搭載品質監視システム概要図

第1施工で得られた62点のデータ等をもとに、第2施工区間以降の施工においては、発注者と協議のうえ、スランプ試験頻度を大幅に低減した(全車スランプ試験回数302回に対し257回の低減)。このシステムを用いることで、プラントから現場までのコンクリートの品質変化を遠隔でリアルタイムに捉えることにより打込み前に品質変化への早急な対応が可能となるだけでなく、品質検査の大幅な省力化が可能となった。

5. まとめ

茨西高架橋(写真-3)の施工におけるBIM/CIMを用いた検討およびICTを活用した施工管理における省力化・省人化について報告した。これからの建設業界は、人材不足に陥ることが予想されることから、建設プロセス全体の生産性向上が喫緊の課題である。この課題に対して、MR技術やICTの導入による省力化・省人化の効果を本施工により確認できた。一方で、今回試行した内容は、主に監督管理に関するものであるが、現場作業そのものの省力化・省人化に繋げていくことが重要である。

本報告が、今後の参考となれば幸いである。

最後に、茨西高架橋の施工にあたり、ご指導、ご協力を頂いた関係各位に深く感謝の意を表します。



写真-3 茨西高架橋全景

防災・安全交付金 堰堤改良工事報告

— 裾花ダム堤頂道路拡幅に伴う開閉装置更新工事 —

SATOU Kou WATANABE Masashi NISHIKI Taichi
佐藤 公* 渡邊 昌史** 錦 泰地***

1. はじめに

裾花川は図-1に示すとおり、戸隠連峰から奥裾花ダム湖および裾花ダム湖をへて、長野盆地に注がれる全長50kmほどの信濃川水系の一級河川である。

裾花川は過去に度々氾濫し下流域に水害を起こしていた。特に1949年の水害では長野市の大半が浸水する大きな被害を出したこともあり、大規模な治水対策が求められた。

その対策として裾花川に洪水調整を主な目的とし、併せて安定した電力を供給するための発電および上水道用水の供給を行うアーチ式コンクリートダムである裾花ダムが建設された(写真-1)。

裾花ダムは昭和45年に完成し現在まで53年が経過したところだが、上流域の地山の荒廃が著しく、計画堆砂量を上回る土砂が堆積しておりダム管理上支障を来している。過去には堆積物により、常用洪水吐ゲートの開閉が困難となった事例もあった。

管理者はダム再生事業の一環として、ダム堤頂から大型クレーンによる堆積土砂掘削を可能とするために、堤頂道路の拡幅工事を実施することとなった。

堤頂道路の拡幅にあたり、常用洪水吐予備ゲート開閉装置および非常用洪水吐ゲートシーブボックスが支障となるため、常用洪水吐予備ゲート開閉装置更新工事および非常用洪水吐ゲートシーブ移設工事が実施された。上記2工事の概要および施工上の課題・対策内容を報告する。

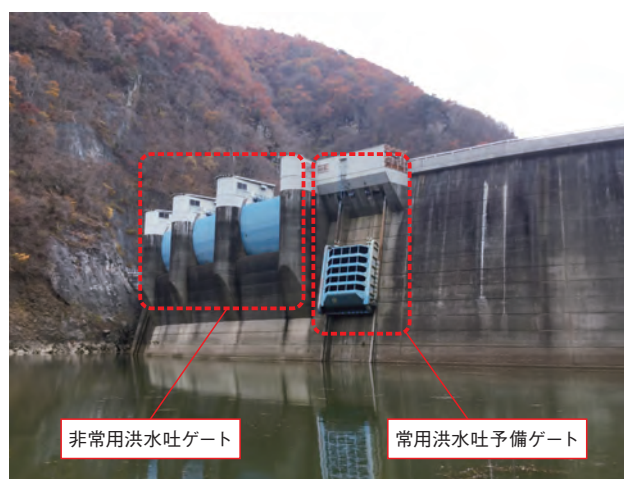


写真-1 設備全景



図-1 設備位置図

(出典: 国土地理院地図)

* (株)IHインフラ建設 工事2部 中部工事G

** (株)IHインフラ建設 工事1部 東北工事G

*** (株)IHインフラ建設 設計部 詳細設計G

2. 工事概要

工事概要を以下に示す。

(1)2号常用洪水吐予備ゲート

工事名:令和2年度 防災・安全交付金 堰堤改良工事

(一)裾花川 長野市 裾花ダム3工区

所在地:長野県長野市小鍋字神白沖

発注者:長野県長野建設事務所

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

型 式	鋼製キャタピラゲート
寸 法	扉幅5.24m×扉高6.31m
開閉方式	ワイヤロープウインチ式(1M2D)
開閉速度	主電動機時 0.3m/min
	予備エンジン時 0.015m/min
揚 程	常時 36.500m

表-2 工事内容

種 別	細 別	単位	数量	施工内容
予備ゲート (2号)	開閉装置	門	1	既設開閉装置 撤去
	機側操作盤	基	1	移設
	開閉装置	門	1	改造
洪水吐ゲート (3号)	機側操作盤	門	1	一次側配管、 配線
予備ゲート 洪水吐ゲート	主電源 分電盤	面	2	設置
	主電源 ケーブル	式	1	更新
洪水吐ゲート (1号～3号)	制御・監視信 号ケーブル、 ゲート開度信 号ケーブル	式	1	更新
予備ゲート (2号)	機側操作盤	面	1	盤内主回路 電気部品交換

(2)非常用洪水吐ゲート(1号～3号)

工事名:令和3年度 防災・安全交付金 堰堤改良工事

(一)裾花川 長野市 裾花ダム2工区

所在地:長野県長野市小鍋字神白沖

発注者:長野県長野建設事務所

対 象:表-3に設備概要、表-4に工事内容を示す

表-3 設備概要

型 式	鋼製ラジアルゲート
寸 法	純径間9.000m×扉高6.800m
開閉方式	ワイヤロープウインチ式(1M1D)
開閉速度	主電動機時 0.3m/min
	予備エンジン時 0.1m/min
揚 程	全開 5.600m

表-4 工事内容

種 別	細 別	単位	数量	施工内容
扉 体	脚注部手摺	門	3	改造
開閉装置	シーブ架台	門	3	更新
	ワイヤロープ	門	3	更新
	ワイヤロープ ガイド	門	3	改造
	ワイヤカバー	門	3	更新
付属設備	ピア梯子	門	3	撤去
	歩廊・階段	門	3	製作のみ
	ピア手摺	門	3	撤去
	梯子	門	3	製作のみ

3. 施工上の課題・対策

本工事では、上記のとおり多岐にわたる工種があった。そのうち、事前の計画・検討に時間を要した、予備ゲート開閉装置更新と非常用洪水吐ゲートワイヤロープ用シーブ移設について、施工上の課題および対策を記述する。

3-1. 予備ゲート開閉装置更新

(1)開閉装置機器配置

本工事に先行して、土木業者による堤頂道路の拡幅工事(有効幅員約3.5mから5.5m)が既に計画されており、拡幅に伴い、開閉装置室内スペースが施工前より縮小されることから、開閉装置機器を配置できるスペースも限定された。

具体的には電動機・減速機等の開閉装置駆動部の配置を変更する必要があった。

既設開閉装置(更新対象部)の主要機器構成は図-2に示すように、電動機、ウォーム減速機、中間ギヤ(開放歯車)であった。

制動機構は「ダム・堰施設技術基準(案)」より2系統設ける必要があり、電動機付制動機以外の1系統は油圧押し式制動機を設けることが一般的であるが、配置するスペースがなかったため、セルフロック機能を有したウォームギヤを採用した。

さらにベベルヘリカル減速機構と一体化したウォームベベルヘリカル減速機とすることで、駆動部の省スペース化を図り、制約空間内に新規開閉装置を配置することが可能となった。図-3に新規開閉装置の配置図を示す。

(2)工場製作

現地据付施工時期は非洪水期の冬季に限定されたため、降雪、積雪前に現地作業を完了させる必要があった。

現地作業工程を短縮させるため、電動機、ウォームベベルヘリカル減速機、切換装置をひとつの開閉装置フレーム上に搭載することで、製作工場において仮組調整、無負荷運転検査を可能にした。

さらに現地で一体据付することで、工程短縮および品質確保にも寄与した(写真-2)。

(3)現地据付

開閉装置の更新は、撤去から据付まで一括で行うことが一般的であるが、今回の工事では開閉装置更新前に堤頂道路拡幅および開閉装置室一部撤去が先行して行われたため、発注者および土木業者と詳細調整しながら施工する必要があった。

調整の結果、拡幅に支障がある電動機および油タンクを拡幅前に先行撤去を行い、土木業者に引き渡した。

開閉装置室横までの道路拡幅および開閉装置室の一部が撤去完了された段階で土木業者より引継ぎ、残りの開閉装置機器の撤去を行ったのち、当初計画された制約空間内へ無事に据付けることができた(写真-3)。



写真-2 工場無負荷運転検査



写真-3 現地据付完了

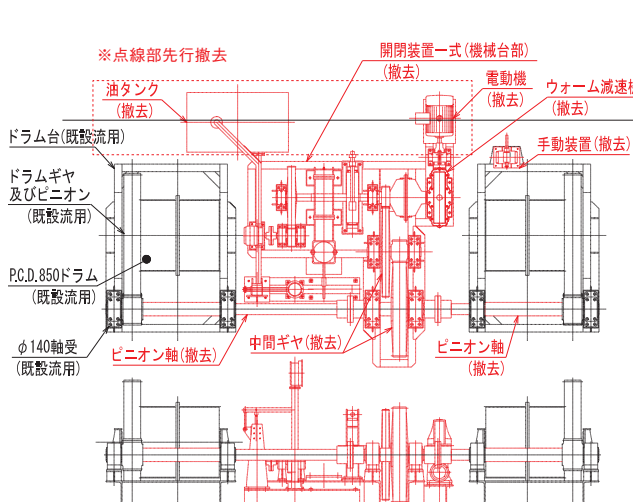


図-2 既設開閉装置配置図

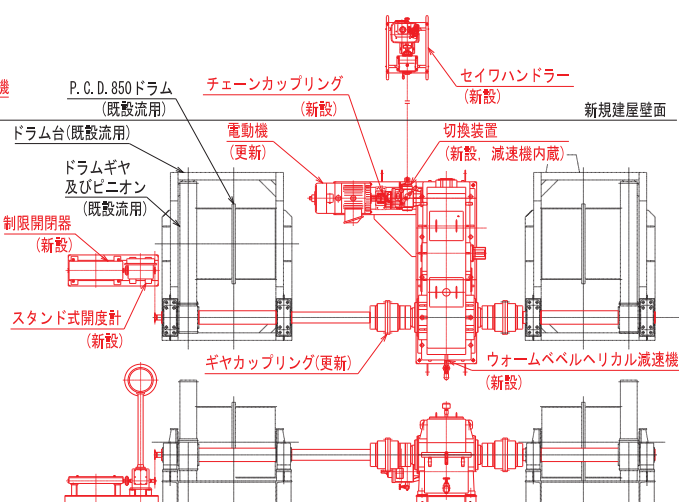


図-3 新規開閉装置配置図

※朱書き部撤去 / 新設部

3-2. 非常用洪水吐ゲートワイヤロープ用シーブ移設

(1) 施工方法検討

図-4に平面図を示す。堤頂道路の拡幅に伴い、非常用洪水吐ゲートのシーブボックスが支障となるため、図-5に示すように、既設位置より上流側に900mm移設する必要がある。また、それに伴いワイヤロープの取替およびゲート操作による干渉部の改造等も必要となった。

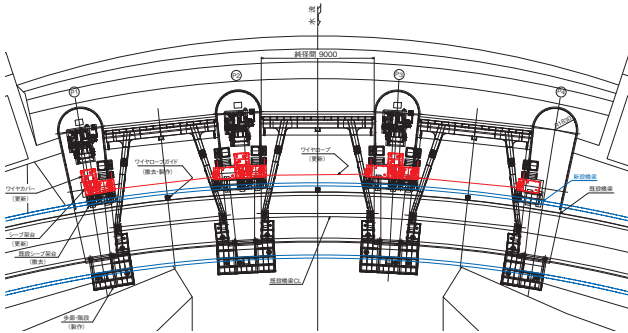


図-4 平面図

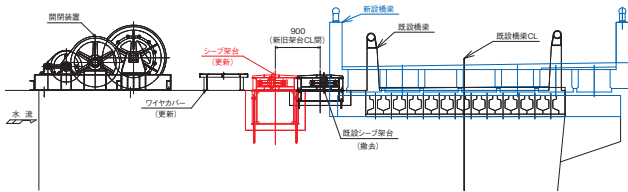


図-5 移設施工図

1) シーブボックスの分割

移設が必要なシーブボックスは隣接するゲートと一体構造であった(1号左岸側と2号右岸側、2号左岸側と3号右岸側のシーブボックスが一体)。

下記の理由からシーブボックスの分割構造を検討した。

・据付精度の確保

転向シーブの位置調整を各ゲートで可能とするため

・据付施工性の向上

開閉装置室は狭く、建屋が残った状態で据付けける必要があるため

図-6にシーブボックスの分割図を示す。分割構造としたことにより、据付後の溶接作業が必要となったが、位置調整が容易となり施工性の向上につながった(写真-4)。

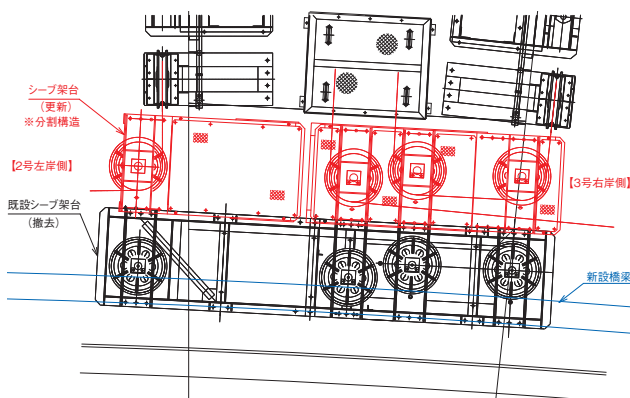


図-6 シーブボックス分割図



写真-4 シーブブロック据付状況

(2) 出水期におけるゲート機能喪失期間の短縮

当初工程では、出水期に掛かる工程であったため、クレストゲート全門機能喪失期間を最短とするための対策を検討した。

シーブボックス移設のため、コンクリートを取り壊すが、既設コンクリートは強度が高く、骨材も大きいため、取り壊しに掛かる時間が長くなることが想定された。

上記理由より、日進量(コンクリートの取り壊し量)により人員および機器の計画を行った。また、生コンクリートを普通コンクリートから早強コンクリートに変更することで、打設から1週間後にゲート操作が可能となるよう計画、実施した。これにより出水期にはゲート操作が可能となりダム運用の一助となった。



写真-5 コンクリート取壊し完了

4. まとめ

常用洪水吐予備ゲート開閉装置更新工事および非常用洪水吐ゲートシーブ移設工事について報告した。ダム堤頂道路拡幅に伴う、開閉装置更新にあたり、様々な課題を入念な現地調査、詳細検討、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ことができた。

最後に、裾花ダム工事の設計、製作、据付にあたり、ご指導、ご協力を頂いた長野県長野建設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。

坂口谷川水門工事報告

ASANO
浅野

Toru
徹*

TATSUOKA Masaki
達岡 正規**
MATSUYAMA Akira
松山 晃****

OMORI Kumiko
大森 久美子***

1. はじめに

静岡県牧之原市に位置する二級河川坂口谷川の河口付近(細江地区)では、想定される津波(東海や東南海、南海地震などの100年～150年間隔で発生する地震)による被害の軽減を図るため、静岡県島田土木事務所より耐震水門(2門)の整備が計画された。

株式会社IHIインフラ建設(株式会社IHIインフラシステムより承継)では耐震水門2門のうち左岸側1門の「令和2年度[第32-K 2540-01号]二級河川坂口谷川水門工事(2期扉体工)」一式の製作・据付工事を施工したので報告する。



図-1 位置図 (出典:静岡県HP(島田土木事務所))



図-2 平面図 (出典:静岡県HP(島田土木事務所))

2. 工事概要

本設備は純径間33.0m×有効高4.7mのシェル構造サニットゲートという大規模な津波対策水門である。主要材質は扉体:SMA490、戸当り:SUS316L、SUS329J4L、開閉装置は電動ワイヤロープ巻き取り式(2M2D)となっている。実運用時は常時全開とし、地震計により地震を感知した場合、ゲートが緊急自重降下し全閉とする。全閉時には余震も含めて数日間全閉状態が維持出来るように、水門本体に内水排除が可能なフラップゲートを装備しており、開操作を行うことなく通常の流下量は放流できるような設計となっている。



写真-1 全景写真(上流視)



写真-2 全景写真(下流視)

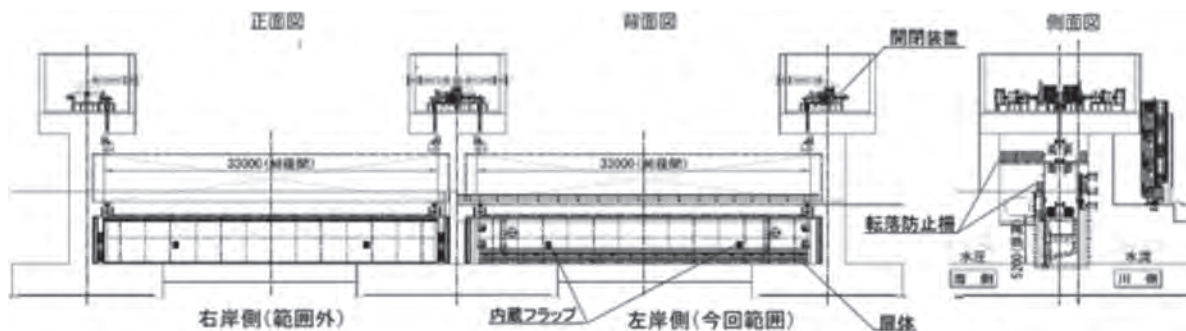


図-3 設備概要図

* (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 管理部 生産管理G

**** (株)IHIインフラ建設 防災・水門事業部 工事3部 西工事G

3. 水門設備の施工

3-1. 工場製作

本項においては、主要構造物である扉体について以下に説明する。

本工事の製作における特徴は、現場据付時の扉体組立精度向上を目的として、据付姿勢で仮組立を行った点である。

一般的に、扉体の工場仮組立は、スキンプレート面を上面とした水平状態で行なう。しかし、現場では据付姿勢(本来の設置状態)で組立を行うため、姿勢の違いによって自重による変位が異なり、据付時の組立精度の確保に時間を要する。そこで、本工事では現場での組立精度向上を実現するため、据付姿勢で工場仮組立を行った。

具体的には、製作手順(図-4)に示すとおり、水平状態で組立・計測を行った扉体を立起し、据付姿勢で再度組立て、寸法計測と検査を行った(写真-3、4)。

以上の対策により、据付現場でも高い据付精度を確保できた。

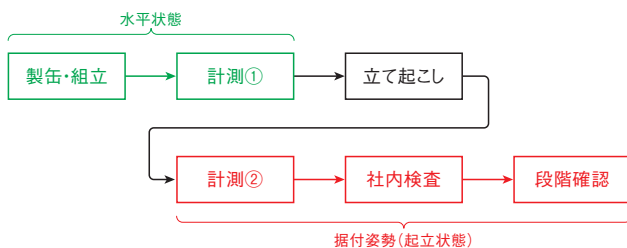


図-4 扉体製作手順



写真-3 水平状態での仮組立状況



写真-4 仮組立状況

3-2. 現地据付

3-2-1. 据付工程

据付工事は2022年6月から2023年2月にわたり施工した。本体の施工順序は①取外し戸当りアンカーパット設置、②戸当り設置、③二次コンクリート打設(底部のみ)、④扉体吊込み、⑤扉体溶接、⑥扉体現場塗装、⑦開閉装置据付、⑧二次コンクリート打設(側部)、⑨試運転調整を順次行った。

3-2-2. 現地据付上の工夫

扉体は11ブロックに分割された単体ブロックを組立架台に吊込み、肌合わせ後溶接して一体とした。

工程短縮を目的とし扉体組立に平行して、次の作業を施工した。平行作業は、「ワイヤリング+扉体内塗装」「据付足場解体+扉体内塗装」「戸当り2次コン+戸当り塗装」「据付架台解体+扉体内塗装」を実施し、約1カ月の工程短縮を実現した(写真-5)。



写真-5 平行作業状況

4. まとめ

牧之原市の坂口谷川河口部で、津波対策として開始された本事業が2023年度にはすべて完成となる。

近年頻発する地震や台風などの自然災害に伴う津波や河川の氾濫は、国民の生活に多大なる影響を及ぼしている。このような状況下において、弊社としては今後も水門工事を通じて社会インフラ整備に貢献していく所存である。

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静岡県島田土木事務所および工事関係各位に深く感謝の意を表します。

立野ダム常用洪水吐放流管 工事報告

TANAKA Kazutaka TAHAHA Kenichi TSUCHITA Takahiro
田中 千喬* 田原 謙一** 土田 孝博***

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)¹⁾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。

1)「流水型ダム」とは、洪水調節のみを目的とするダムで、現況の川の高さとほぼ同じ高さに放流する吐口を設置し、平常時には流水の貯留を行わないダムである。

本工事は、立野ダムに設置される放流設備(放流管、整流板)および制水設備(試験湛水用ゲートの戸当り)の製作・据付工事となる。2019年1月に受注し、2023年1月に完成したのでその施工内容を報告する。



写真-1 立野ダム全景(令和5年2月時点)

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:立野ダム常用洪水吐放流管製作据付工事
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:放流設備(下段放流管1条、整流板1式、上段放流管2条、上段スクリーン2基)、制水設備(試験湛水用ゲート戸当り²⁾)、付属設備の設計、製作、輸送、据付
2)試験湛水用ゲート扉体は別工事施工
工期:平成31年1月19日～令和5年1月31日
総質量:1,195ton
設置目的:洪水調節

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

コンクリート打設圧:単位体積重量 23.0kN/m³
リフト高 2.0m

グラウト注入圧:400kPa

3-2. 設備仕様

放流設備は、サーチャージ水位(SWL.276.000m)において、上段放流管2条と下段放流管1条との合計で2,250m³/s、設計洪水時(HWL.281.000)において、上段放流管2条と下段放流管1条およびクレスト越流頂部との合計で4,650m³/sの放流能力を有する。図-1に下段放流設備、図-2に上段放流設備、表-1に放流設備の主要諸元を示す。

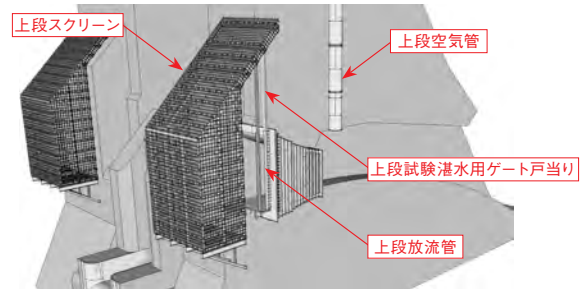


図-1 下段放流設備全体模式図

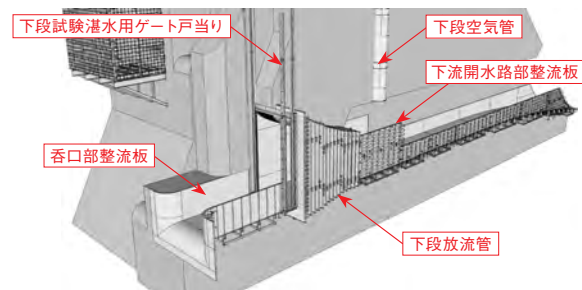


図-2 上段放流設備全体模式図

表-1 放流設備の主要諸元

上段放流管	形式	鋼製矩形断面溶接管
	数量	2条
	呑口形状	一面ベルマウス
	寸法	幅5.000m×高8.930m～5.000m
	設置標高	EL.217.000m(放流管底面)
下段放流管	形式	鋼製矩形断面溶接管
	数量	1条
	呑口形状	一面ベルマウス
	寸法	幅5.000m×高8.930m～5.000m
	設置標高	EL.203.500m(放流管底面)
整流板	形式	鋼製ライニング(U形断面ジベル方式)

* (株)IHIインフラ建設 防災・水門事業部 設計部 基本設計G

** (株)IHIインフラ建設 防災・水門事業部 管理部 生産品質G

*** (株)IHIインフラ建設 防災・水門事業部 工事3部 西工事G

上段 スクリーン	数 量	1式
	寸 法	幅5.000m×高5.000m～2.000m
	形 式	ステンレス鋼製固定式スクリーン
	数 量	2基
	寸 法	有効幅9.500m×有効高24.100m
上段試験 湛水用 ゲート 戸当り	バー間隔	200mm (板厚中心間)
	数 量	2門分
	水 密 幅	5.290m
	水 密 高	9.030m
	支 間	5.650m
下段試験 湛水用 ゲート 戸当り	敷 高	EL.217.000 (戸当り底面)
	数 量	1門分
	水 密 幅	5.180m
	水 密 高	9.030m
	支 間	5.650m
付属設備	敷 高	EL.203.500 (戸当り底面)
	管路材料の余裕厚	0.5mm (摩耗厚)…上段放流管 30mm (摩耗厚)…下段放流管、整流板

3-3. 使用材料

放流設備では、耐食性に優れ、高強度かつ高硬度のSUS821L1(省合金二相系ステンレス鋼)を採用し、放流設備の薄肉化および流下する土砂に対する耐摩耗性を高めている。表-3に各設備の使用材料を示す。

表- 3 使用材料

使 用 箇 所		材質・規格
大容量 放流管	管胴	SUS821L1
	補剛材	SM570
整流板	ライニング板	SUS821L1
	スティフナ	SM490
	ジベル	SD345
スクリーン	スクリーンバー	SUS821L1
	受桁	SUS821L1
	アンカ金物	SUS821L1、SM400、SS400
戸当り	戸当りレール	SM490
	補剛材	SS400
	戸当り埋設部	SS400
	支圧板	SM490
	水密ゴム当り面	SUS304
	接水部	SUS304
	ライニング板	SUS821L1
	スティフナ	SM490
	ジベル	SD345
据付架台	主要部材	SS400
空気管	管胴	SUS304

3-4. 本設備の概要・特徴

3-4-1. 大容量放流管

(1)放流管に作用する内圧及び外圧に対する強度計算において、放流管の管胴(材質:SUS821L1)の板厚を抑制するため、放流管の管胴と補剛材(リングガード)を協働させない構造として、補剛材の断面はI型断面とした。

(2)放流管周辺のグラウトは、管内からの施工とした場合、管胴に設けた多数の孔への栓溶接がステンレス材料に悪影響を与えるおそれがあるため、管外からのグラウチングとした。

(3)放流管の管内流速は33.7m/s(下段放流管)および30.3m/s(上段放流管)となるため、管内面の溶接余盛を1mm以下として管理することで、流線の乱れや剥離によるキャビテーションの発生を防止している。

3-4-2. 整流板

(1)整流板の現地継手位置は、鋼板の製造可能寸法、輸送および据付条件を考慮して、水流方向は最大9.0mとし、側部および底部を分割構造(L型構造)とした。

(2)整流板の現場接合部は摩耗による接合部の露出を考慮して板厚相当の開先溶接とした。

3-4-3. スクリーン

(1)スクリーンパネルの構造は、スクリーン通過流速が2.50m/sと大きいため、剛性の高い溶接構造とした。

(2)スクリーンは高流速の流水に晒されるため、スクリーンバー溶接部の疲労による溶接割れのおそれがあった。そのため、応力集中部の発生応力度をFEM解析により確認した。解析の結果、応力集中部の発生応力度は91.1N/mm²であり、SUS821L1の疲労限度約300N/mm²に比べて低く、疲労による溶接割れ発生のおそれが低いことが確認できた(図-3)。

(3)スクリーンパネルとスクリーン受桁はボルトにより固定するが、高速の流速にさらされるため、ボルトの緩み止め対策としてハードロックナットを採用した。

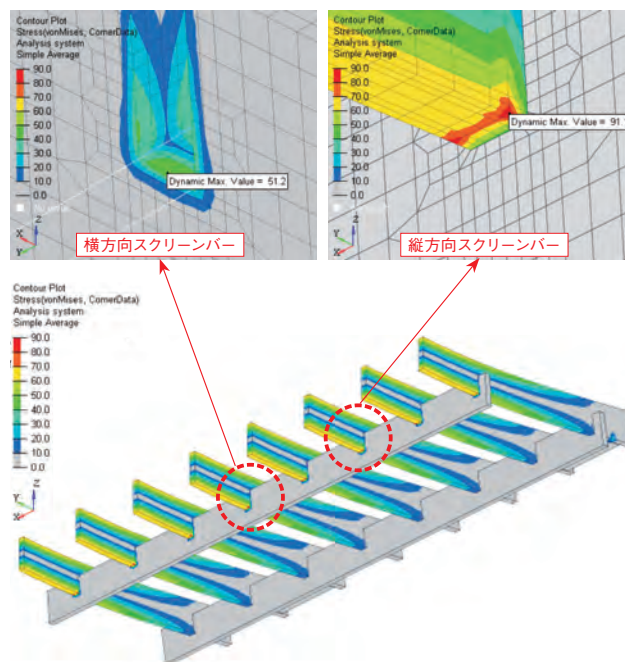


図-3 スクリーンバーのFEM解析結果

3-4-4. 試験湛水用ゲート戸当り

- (1)戸当りの支持構造は、アンカボルトと支圧板による支持方式とした。
- (2)戸当りはコンクリートの充填性向上のため、戸当りレールの腹板(ウェブ)にコンクリート充填孔を設け、さらに下流側フランジを無くしたT型構造とした。

4. 工場製作

本工事の主要構造物である大容量放流管、整流板、スクリーンについて、製作上の工夫事項を以下に説明する。

4-1. 大容量放流管(溶接ひずみを抑えた組立手順)

大容量放流管において、放流管外面に補剛材(リングガーダ)を設置するため溶接量が多く、補剛材の溶接による熱影響によって管胴の変形が懸念される。そのため、放流管は上流側ブロック、中央ブロック、下流側ブロックを矩形形状ブロックに仮固定して剛性を確保した後に、補剛材を溶接することで寸法精度を確保した(図-4)。

仮固定を分解後、再度一体仮組立を行い、各ブロックの現地継手部の二次切断、支保工による調整により全体の寸法精度を確保できた(写真-2、写真-3)。

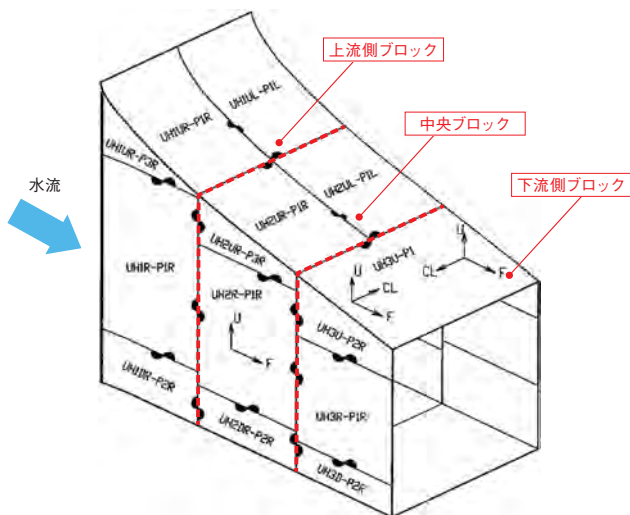


図-4 下段放流管 分割位置



写真-2 下段放流管 上流側ブロック



写真-3 上段放流管(左・中央)・下段放流管(右) 仮組立状況

4-2. 整流板(現地継手部の精度を確保した仮組立手順)

整流板の水流方向長さは、呑口部整流板にて約11m、下流開水路部整流板にて約59mとなるため、現場継手部が多い構造であった。工場製作では現地溶接継手部の内面段差を1mm以内にするため、後述の一体仮組立では調整が困難なため、水流方向の現場継手部毎を1ブロックとし仮組立を行った後、2ブロック毎の尺取り仮組立を行った(図-5)。

また、整流板の全長および据付中心の精度管理のため一体仮組立を行った(写真-4、写真-5)。

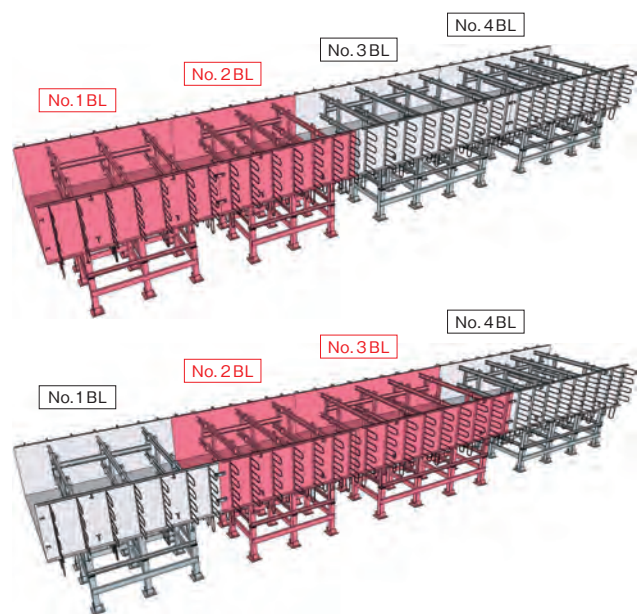


図-5 整流板仮組立ステップ



写真-4 呑口部整流板 仮組立状況



写真-7 上段スクリーン 仮組立状況(8BL⑤～⑨桁)



写真-5 下流開水路部整流板 仮組立状況



写真-8 上段スクリーン 仮組立状況(6BL⑨～⑭桁)

4-3. スクリーン(支柱の垂直度を確保した仮組立手順)

スクリーンは、支柱および受桁で構成される。スクリーンに作用する水圧荷重およびスクリーン自重は、支柱を介して底部受台に伝達する構造である。そのため、支柱の垂直度を重視し、仮組立は、①桁から⑭桁までは現地据付姿勢での仮組立を実施した(写真-6～写真-7)。



写真-6 上段スクリーン 仮組立状況
(奥:6BL①～⑤桁、手前:8BL受台～①桁)

仮組立は図-6に示すとおり受桁を重複させて行い、5回/基に分けて実施し、現場据付時の許容差を適用した。結果、各部の取り合いが適正であることを確認した。

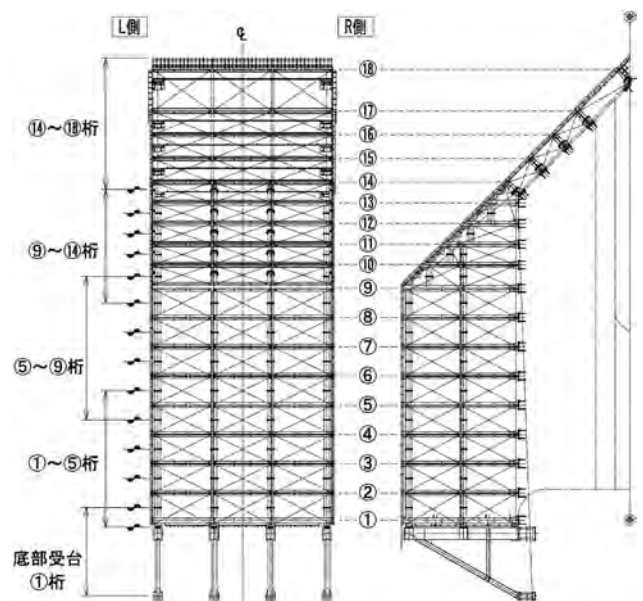


図-6 上段スクリーン 仮組立 分割位置

5. 現場据付

5-1. 据付の概要

現地据付は、令和3年3月から令和5年1月までの1年10ヶ月にわたり、160t吊および220t吊オールテレーンクレーン、13t～50tラフテレーンクレーン等により行った。

堤体のコンクリート打設に合わせて施工する必要があったため、本体土木施工業者と綿密な工程調整を行い、詳細な施工計画を立案して工程を管理した。

5-2. 下段放流管・整流板

EL.199.00mまで打設後に基本測量を行って、据付基準線芯出しを行った。据付架台を設置した後、①コンクリートジョイント(C.J.)より下流側の整流板、②下段試験湛水用ゲート戸当り、③下段放流管、④呑口部整流板、⑤コンクリートジョイントより上流側の整流板を順次吊込み、組立調整を行った(図-7)。

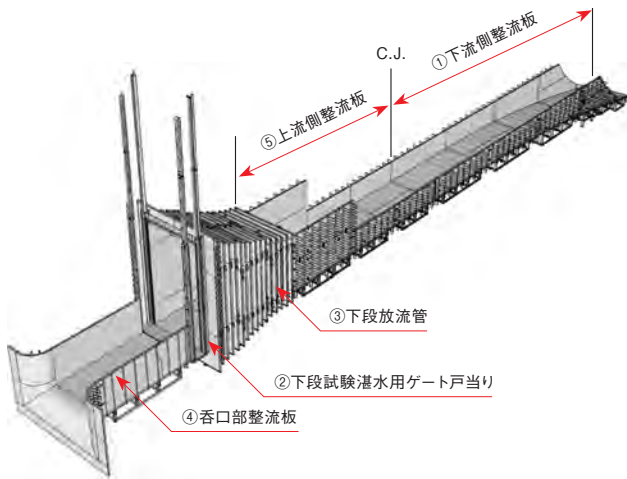


図-7 下段放流管・整流板据付ステップ

作業用足場として、外面には枠組み足場を、内面には内部支保工の水平材を利用した足場を設置し、作業の効率化と安全性を向上させた。

各ブロックの調整(肌合せ)は、工場仮組立時にマーキングした基準線を基に行い、工場仮組立検査時の寸法精度を再現した。

放流管、整流板の溶接は、歪み軽減を考慮して決定した順序(対称法を採用)に従い、各継手の溶接を行った。

また整流板は、コンクリートジョイントを横断しており、継目の伸縮が予想される。そのためコンクリートジョイント部の溶接は、本体コンクリートのグラウト完了後に整流板内面より実施した。

放流管溶接完了後、堤体打設リフトに併せて軽構造戸当りの据付を行った。



写真-9 放流管、整流板据付完了

5-3. 上段放流管

本工事では、ダム堤体上での放流管の組立に伴うコンクリート打設休止日数を大幅に削減するため、ダム上流側に設置された仮設構台上にて上段放流管の一体組立を行った後、ダム堤体打設高がEL.213.000mに達した地点で一体引き込みを行う工法を採用した。

なお、放流管の一体ブロックでの引込みまでの手順は以下のとおり実施した。

- ①本体土木施工業者による構台構築完了後、基本測量を行い、引込み時の基準高さおよび据付基準線の芯出し
- ②構台上に引込みレールを設置し、レール上に据付架台の組立て(引き込みレールと据付架台の間には、放流管を引き込みの際の荷重を低減させるため、摩擦抵抗の小さいチルトタンクを設置)
- ③据付架台上に放流管、戸当りの組立
- ④EL.211.00m堤体打設完了後に、堤体内の引込みレールを設置
- ⑤EL.213.00m堤体打設完了後に、構台と堤体をつなぐ仮設橋を設置
- ⑥各種引込み装置(油圧シリンダ・ジャッキ・ポンプ)の設置
- ⑦構台から堤体への引込み作業(写真-10～写真-12)
- ⑧引込み完了後、ジャッキアップおよびチルトタンクの取り外しを行い、位置調整を実施
- ⑨調整完了後、引込み装置を撤去
- ⑩本体土木へ引き渡し、堤体の打設再開

EL.225.000mまで打設後に軽構造戸当り(下部)の吊込み、組立て調整後に溶接を行い固定した。

また、EL.231.000mまでの打設後に軽構造戸当り(上部)の吊込み、据付を行った。

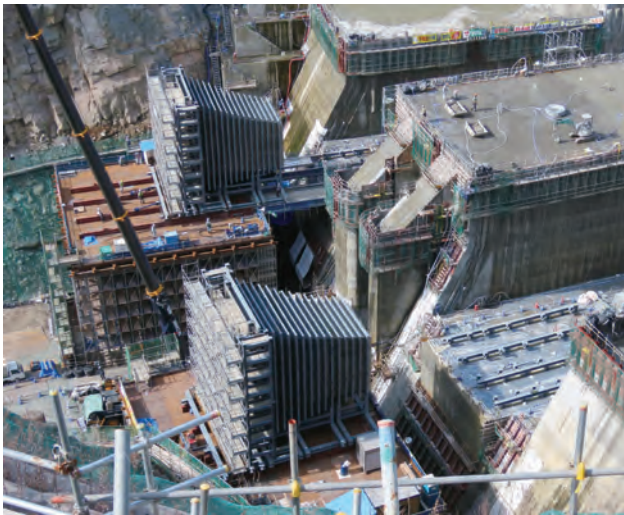


写真-10 放流管引込み



写真-13 受桁据付状況

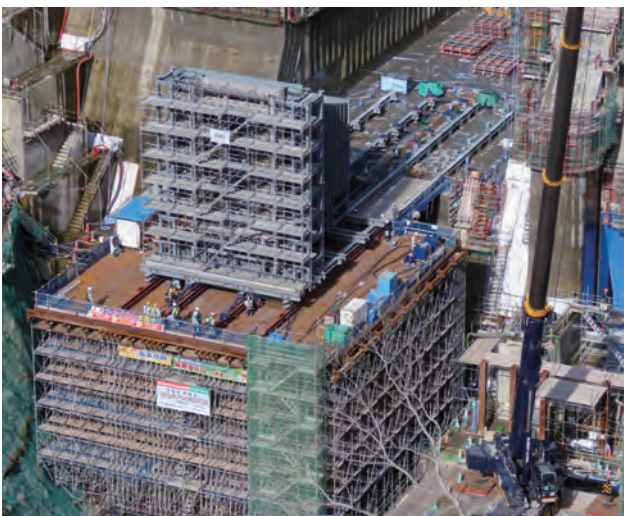


写真-11 放流管引込み

スクリーン外面には枠組み足場を、スクリーン内面には受桁および底面のスクリーンパネル上に足場を設置し施工を行った(写真-14)。



写真-14 スクリーンパネル据付状況



写真-12 放流管引込み完了

5-4. 上段スクリーン

上段スクリーンの据付は、打設リフトに合わせたアンカパットの据付を行った後、受桁(1~18段)の据付、スクリーンパネル据付の順で施工を行った。使用重機は50t・70tラフテレーンクレーン、120tオールテレーンクレーンを用いて施工を行った(写真-13)。

スクリーン受桁は3ブロックで構成されており、各ブロックを吊り込み後、一体化するため溶接接合を行った。

また、各段の受桁同士の連結および受桁外面へのスクリーンパネルの取付はボルトで接合を行った。

6. 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九州地方整備局立野ダム工事事務所および工事関係各位に深く感謝の意を表します。

笠堀ダム常用洪水吐油圧シリンダー更新工事報告

— シリンダー更新に伴う現地施工 —

KANEYOSHI Akihiro* NAKAMURA Hiroyuki** SAKAMOTO Koichi***
金吉 晃宏* 中村 浩幸** 坂本 浩一***

1. はじめに

笠堀ダムは、新潟県三条市の五十嵐川支川、笠堀川に位置し(図-1)昭和39年9月に完成した多目的ダム(洪水調節、上水道、農業用水、水力発電)である。

平成23年7月新潟・福島豪雨災害による復旧事業として、平成29年に既存ダムの高さを4メートル嵩上完了し、洪水調節容量を180万立方メートル増加させている。

ダムの嵩上にもとない、常用洪水吐ゲート(コンジットゲート)の開閉荷重が約10%増加した。本工事は、本開閉荷重の増加にともなう、開閉装置の機能向上を目的として施工したものである。

本工事の主要な「施工」は、多くの制約条件下(次頁参照)での、既設油圧シリンダー撤去及び、新設シリンダーの設置である。そのため、紙面の制限もあり、本報告では、油圧シリンダー撤去・据付に限定して記述する。

2. 工事概要

発注者：新潟県三条地域振興局

工事名：笠堀ダム常用洪水吐油圧シリンダー更新工事

施工箇所：新潟県 三条市 笠堀地内

工期：令和3年7月13日～令和4年12月28日

形式：(扉体) 高圧テンターゲート 扉体重量：10t

(開閉装置) 油圧シリンダー式 揚程：3.36m

常用洪水吐ゲート開閉装置は(図-2)に示すように、堤頂道路中心から下流側に36.65m、下方向に41.3mの位置で、堤体の外側にある。そのため、堤頂道路に130tオールテレーンクレーンを据付け、開閉装置室の天井を斫り、開口部を設けて作業することになった。使用するクレーンでは油圧シリンダーを吊り込める作業半径が26mであり、直接開口部に吊り込めない。よって開閉装置室上にステージ・門構を仮設し、機器類の更新を行った。(図-4)

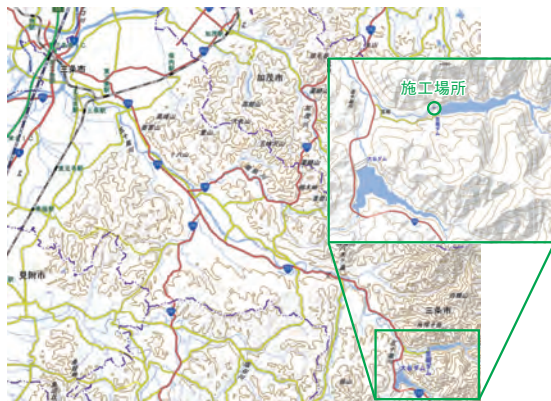


図-1 位置図 (出典：国土地理院地図)

今回の工事で入れ替えた機器類は、油圧シリンダー、油圧シリンダー架台、インジケータパイプ、開度計、コネクティングロッドである。(図-3) また、油圧シリンダー更新に伴う油圧ユニット改造(一部)も行った。

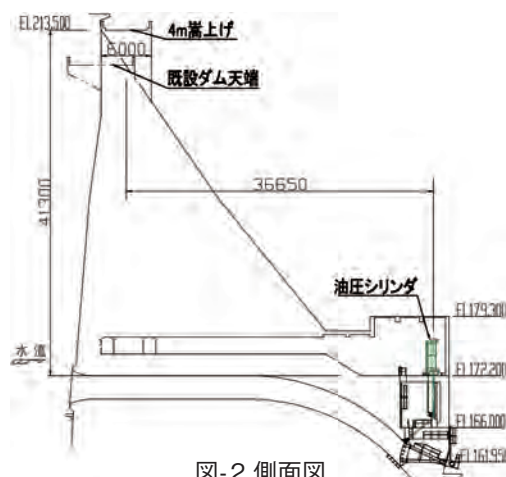


図-2 側面図

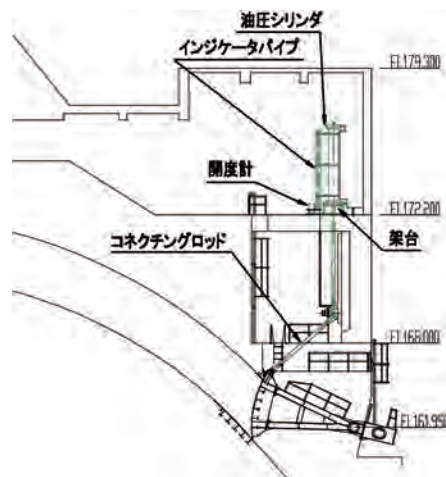


図-3 機器配置図

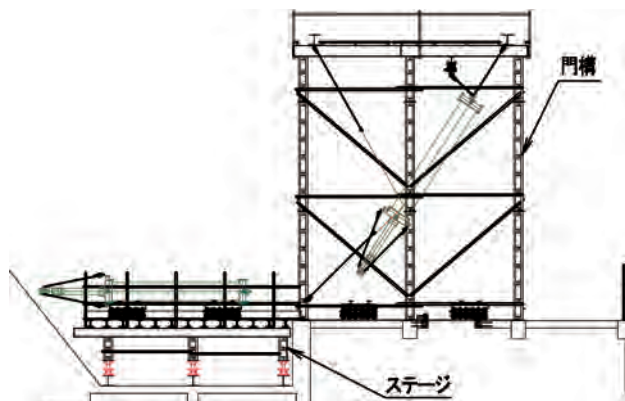


図-4 ステージ・門構図

* (株)IHIインフラ建設 防災・水門事業部 工事1部 関東工事G

** (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

3. 施工上の課題

(1) クレーン設置位置が限定されしかも旋回の制限

クレーンの旋回半径から設置位置が限定され、さらに本設置位置には、他のゲートの開閉装置室があり、クレーンの旋回範囲も制限された。そのため、旋回時の他設備との干渉対策が必要であった。

堤頂道路(幅員:6m)にクレーンを設置し、資機材をおろす際に、既設構造物(修理用ゲート室、取水口開閉装置、照明柱)を避けながら、如何に旋回させるか検討を行った。

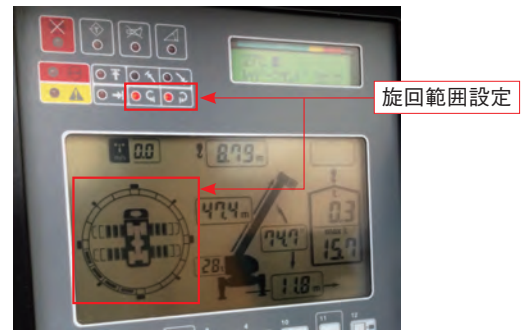


写真-1 クレーン操縦パネル

(2) 開閉装置室天井スラブの強度検討

開閉装置室高さ(梁までの高さ:6,300mm)からシリンダ(全長:5,870mm)と架台(高さ:545mm)を分けて鉛直に吊り上げることが出来ないため、油圧シリンダ架台を一体 約5tで吊上げるようになった。シリンダ真上にある既設3tチェーンブロックだけで吊り上げることが出来ないため、開閉装置室天井スラブに新たな吊環を設けるに当たりスラブの強度検討を行った。

スラブ強度計算は、専門コンサルタントに依頼し日本建築学会『鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説2018』に準拠して計算、許容応力度内であることを確認した。また、現地での吊環固定用アンカーの施工後、引張試験を実施し、安全を確認した。

4. 対策

前項の課題に対して次の対策を講じた。

(1) クレーンの旋回に対する対策

㊦ 既設構造物対策

クレーンのウェイト部を修理用ゲート室と取水口開閉装置の空間に入れるため、現地測量を行いCAD図面上で既設構造物とクレーンの位置関係を検討した。その結果、照明柱を取り外し、取水口開閉装置の手摺の一部を撤去し旋回スペースを確保した。また、アウトリガ設置部に地覆が有り張出幅5mを確保するのにH250山留材を敷詰め高さを合わせ敷鉄板養生を行った。(図-5)

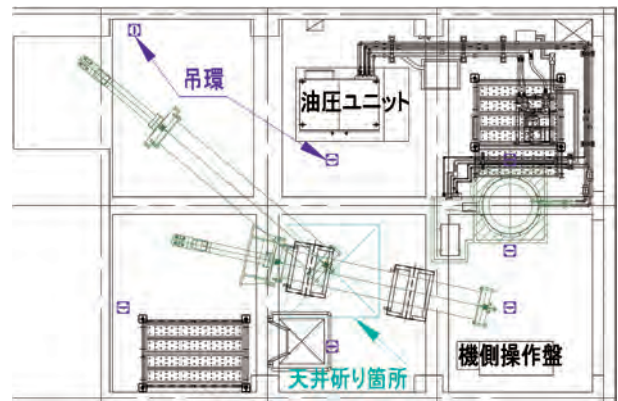


図-6 吊環配置平面図

㊦ クレーン旋回対策

堤頂道路にクレーンを据付後、旋回させ、旋回範囲を確認した。旋回台を既設構造物に接触させないため、操縦パネルで旋回範囲を設定した。(図-5、写真-1)

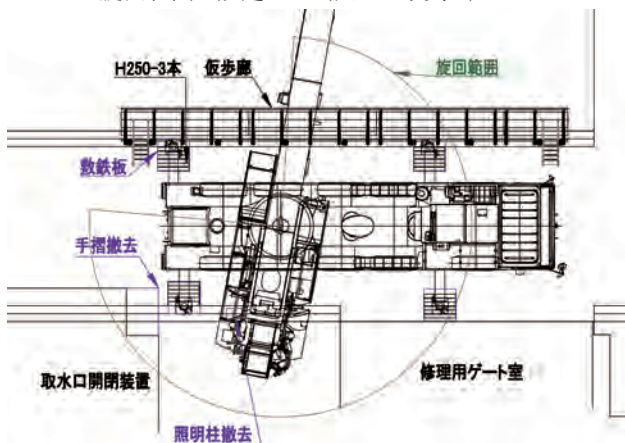


図-5 クレーン据付平面図

(2) スラブ検討対策

開閉装置室天井に(図-6)に示すように、吊環を設置するに当たり、鉄筋探査を実施のうえ、天井断り箇所を部分的に断り出し、配筋ピッチ、鉄筋径を確認した。(写真-2)



写真-2 鉄筋探査、断り出し確認

5. まとめ

笠堀ダムのシリンダ更新工事について報告した。笠堀ダムのシリンダ更新では、クレーン据付場所、開閉装置室内の吊環増設が課題になったが、この課題に対し、既設構造物の一次的撤去、天井スラブの強度検討と合わせて吊環用アンカーの引張試験を行うことで課題を解決した。

本報告が、今後同様のダム工事にて、機器の更新時の参考となれば幸いである。

最後に、本工事の施工に当たり、多くのご指導とご協力をいただいた新潟県三条地域振興局笠堀ダム分室殿および工事関係各位に深く感謝の意を表します。

湖東平野農業水利事業 水管理施設製作据付建設工事 工事報告

— 湖東平野の水管理設備および永源寺ダムの放流警報設備更新工事 —

ORITA Mitsuhiro
折田 光弘*

KAMITANI Daitetsu
神谷 大徹**

ONO Ryuichi
大野 龍一**

NAKAHARA Daisuke
中原 大介**

MORIKAWA Kenichi
森川 賢一**

KOSYOUBU Kouki
小勝負 功希**

1. はじめに

湖東平野地区は、永源寺ダムから琵琶湖東部へ注ぐ愛知川の扇状地に形成された約7,000haの水田地帯である。

愛知川は川底が川岸の土地より高い川でいわゆる天井川で、下流に行くとほとんどの水が地下浸透するため農業用水として不安定な水源であった。そこで、農業用水の安定供給のため永源寺ダムが建設され、また用水路、調整池、ポンプなどの多様な農業水利施設が建設された。

用水路の幹線から支線への分岐や、調整池の流入口、流出口にはゲートやバルブが配置され、中央管理所から遠方監視・操作する水管理設備が設置されている。

また、大雨などにより、永源寺ダムからの放流により愛知川の流況に著しい変化が生じる恐れのある区間において、河川利用者が安全に川から退避できるように周知するためにサイレンやスピーカ等の放流警報設備が設置されている。

本工事は、老朽化した水管理設備と放流警報設備を更新するとともに、機能向上を図るものである。

本書では、本工事における設計および現場施工時に留意した事項について紹介する。



図-1 水管理設備配置図



写真-1 水管理設備(中央)



写真-2 水管理設備(中央)



写真-3 水管理設備(子局)



写真-4 水管理設備(子局)

2. 工事概要

発注者：農林水産省 近畿農政局

工期：令和2年10月8日～令和5年6月30日

施工場所：滋賀県東近江市他

工事範囲：

工 種	設 備	数 量
水管理設備	親局設備、電源設備	1式
	情報・監視操作設備	1式
	子局装置	35箇所
	カメラ設備	4箇所
	計装設備	1式
	地下揚水設備	17箇所
放流警報設備	警報制御監視設備	1式
	有線警報設備	1式
	子局・中継局警報局設備	15箇所

水管理設備の配置を図-1に、設備全景を写真-1～4に示す。

用水路に配置されたゲート、バルブ、ポンプは69箇所あり、そのうち国営施設35箇所を更新し、残りの県営施設34箇所についても既存設備と接続して中央から監視、操作が行えるようにした。

* (株)IHIインフラ建設 防災・水門事業部 工事2部 関西工事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

放流警報設備の配置を図-2に、設備全景を写真-5～6に示す。



図-2 放流警報設備配置図



写真-5 警報制御監視設備 写真-6 放流警報設備(子局)

3. 設備概要

(1)水管理設備

中央管理所と子局間は、通信事業者の提供する光回線、LTE回線を利用したLAN接続としている(図-3)。

通信回線は、セキュリティ対策として閉域網(VPN)である。

中央管理所にあるデータ処理装置に各端末装置(PC)のWebブラウザからアクセスして監視・操作ができる。

さらに、Web配信装置により外部のスマートフォンやタブレットから情報を閲覧できる。

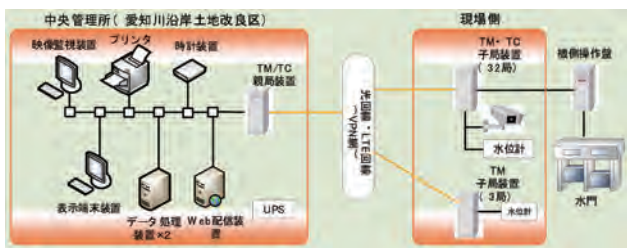


図-3 水管理設備システム構成図

(2)放流警報設備

永源寺ダム管理所に設置する警報制御監視装置および有線警報装置と子局に設置する警報装置および中継装置、サイレン制御盤から構成される。

子局警報との伝達は、無線と有線とがあるが、警報区間が広範囲となることから無線が採用されている(図-4)。

警報制御監視装置より子局警報設備を制御してサイレン吹鳴、擬音吹鳴、音声放送、回転灯表示などを行うとともに、警報局からの応答信号を受け警報局の動作状態の監視を行う。

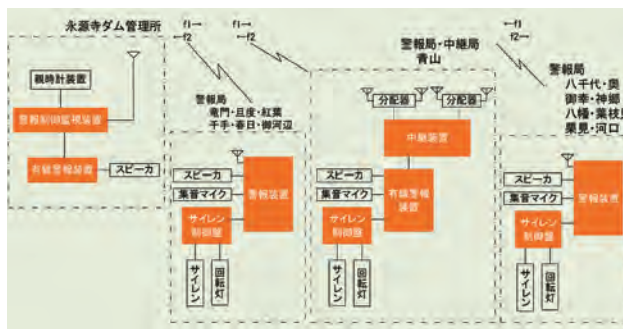


図-4 放流警報設備システム構成図

4. 設計・現場施工での留意事項

(1)設計・製作

水管理設備は、IHIグループの情報通信技術を担う㈱IHIエスキューブ、放流警報設備は無線方式のテレメータ技術のある明星電気㈱に設計製作を委託した。

水管理設備は、ゲート、バルブに中央からの遠方監視・操作に加えて自動運転機能を設けている。

自動運転は、水位の一定制御や流量の一定制御により誤操作の防止、管理者の労務省力化が図れる。

中央管理所の親局と現場側の子局との伝送方式は、通信距離、伝送データ量、通信事業者のサービス提供エリアの可否、通信料金などトータルで決定する。

光回線やLTE等で通信料金が一番低く抑えられる組み合わせを採用した。

放流警報設備は、放流警報装置標準仕様書の新仕様に準拠することで、監視項目、制御項目が増え操作性が改善した。また、親局から子局へアナウンス内容を無線で送っていたことから、ノイズにより聞きとりにくい問題があった。

そこで、子局へ音声メッセージを録音した音声発生装置を備え、親局からの起動のもとに放送することで改善した。

放流警報の音声とサイレンの組み合わせを図-5に示す。

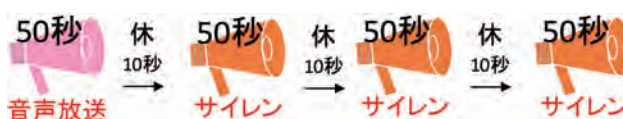


図-5 放流警報の音声とサイレンの組み合わせ

工場検査ではソフトウェア、ハードウェアを組み合わせでの総合組み合わせ試験を行った(写真-7)。



水管理設備

放流警報設備

写真-7 工場総合組み合わせ試験

(2) 工程管理

本工事とは別にゲート改修、地下揚水設置、揚水施設改修、調整池建設、連絡水路整備など複数の関連工事が錯綜した。施設ごとの詳細工程表に関連工事の施工時期を塗り潰し、施工可能な施設を見える化するするとともに、出会業者との工程調整会議を毎日行った。

(3) 関係機関との調整、地域住民への周知

道路法や河川法で適用されない里道や水路での作業が多く、事前に市への法定外公共有許可、借地者の同意、自治会長への説明が必要であり、施工前に十分な調査・情報共有を図った。

放流警報の千手局には重機のアクセスルートがないため、水田内にプラ敷板で車両通路を仮設した(写真-8)。



写真-8 千手局仮設通路(施工前後)

地域住民へ周知として、小学校付近の通学路での作業もあり、小学校への事前説明を行いご協力いただいた。

(4) 土木作業

放流警報局舎更新のため、地盤調査であるスクリーウエイト貫入(SWS)試験(写真-9)、平板载荷試験(写真-10)を実施した。

電気通信工事では初めての試みで、試験調査会社から施工方法や結果の読み取り方法など習得した。



写真-9 SWS試験



写真-10 平板载荷試験

(5) 仮設作業

放流警報設備のサイレン、スピーカはパンザマスト上部に設置されている。道路規制し高所作業車での施工となるが(写真-11)、交通量が多く長期間の規制が難しい道路は、足場を設置しての作業とした(写真-12)。



写真-11 高所作業車



写真-12 足場設置

(6) 調整・試運転

水管理設備の調整・試運転は、通信回線が開通してからのゲート、バルブ、ポンプの調整と、用水路に実際に水を流す代かき期(4月16日)以降の水位、流量調整の2段階で実施した。

旧システムから新システム切り替え時、諸量データが欠測すると運用上問題となるため、新旧のシステムを併用した(写真-13)。これにより、中央からの監視、操作が途切れることなく施工できた。



写真-13 新・旧水管理システム併用

用水路の流量は、超音波流量計による直接測定(写真-14)と、水位と用水路の幅との演算による間接測定(写真-15)を採用した。

間接測定は理論値であり、上下流にある直接測定の流量値と比較し理論値の妥当性を確認する。場合によっては理論値の補正を行う。

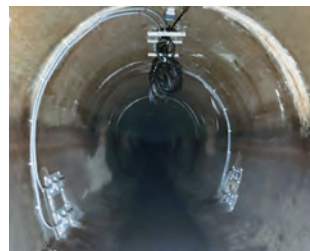


写真-14 超音波流量計(直接)



写真-15 水位計(間接)

5. まとめ

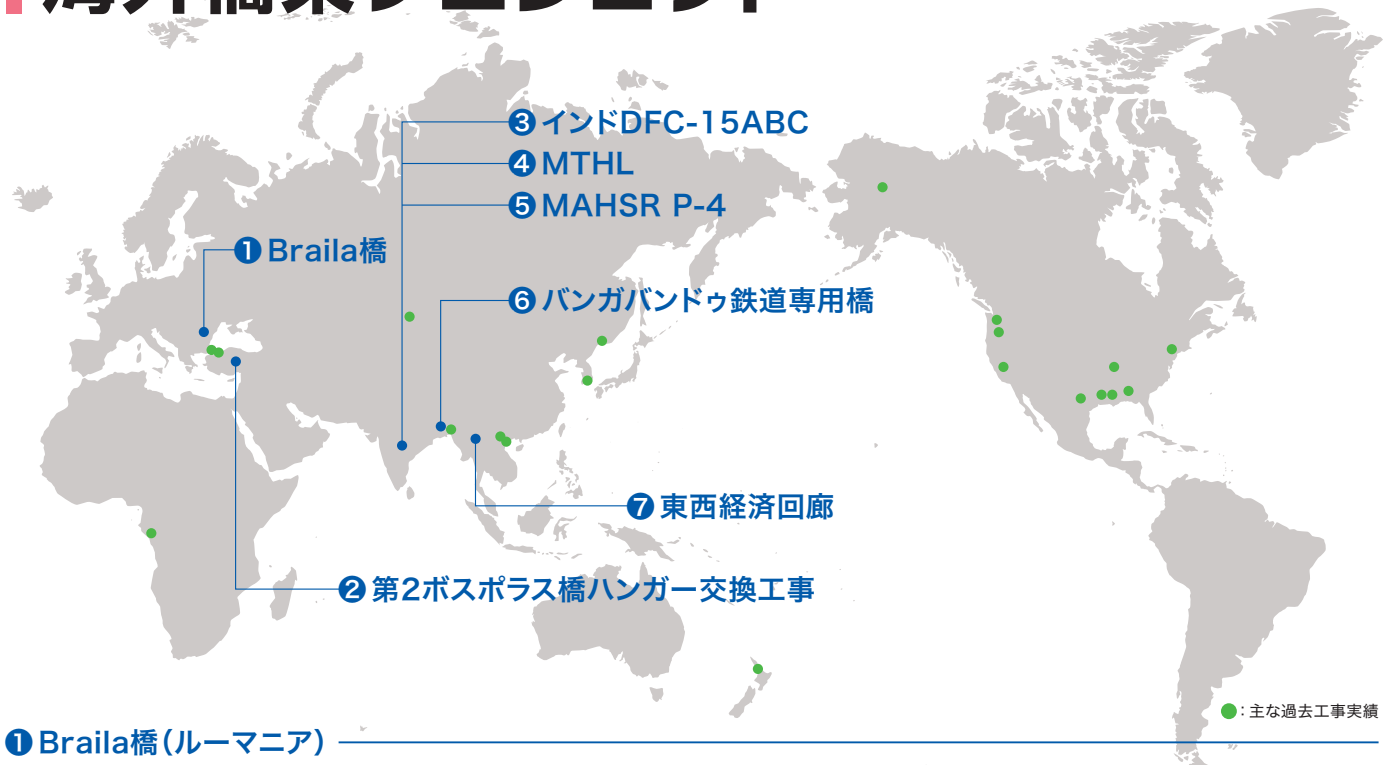
水管理システムの更新により、農業用水の安定供給を図り、農業生産性の向上および土地改良区職員殿の管理労力軽減となれば幸いです。

最後に本工事の施工にあたり、多くのご指導とご協力いたした湖東平野農業水利事業所や愛知川沿岸土地改良区、永源寺ダム管理支所の関係各位に深く御礼申し上げます。

ニュース

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)



架設完了後、交通解放前の様子



ストランドジャッキによる桁架設

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/IIIS・WeBuild 甲型JV
 施 工 期 間：2018年12月～

- 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7月6日に開通済、2期区間を施工中
 - ★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：デザインビルド/IIIS・Makyol 乙型JV
 施 工 期 間：2021年8月～

- トピックス**
- ★IHIが以前施工した吊橋のハンガー交換工事、IIIS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DFC-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/IIIS・L&T 乙型JV
 施 工 期 間：2015年10月～

- 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 MTHL(インド)



全景



台船によるブロック架設

橋 梁 名：ムンバイ・トランス ハーバーリンク パッケージ1
 事 業 主：MMRDA
 橋梁形式(最大支間)：連続鋼床版箱桁橋(180m)
 総 延 長：16.1km
 契約形態/契約者：デザインビルド/L&T・IIS 乙型JV
 施 工 期 間：2018年3月～2023年12月(予定)

トピックス

- ★全長21.8kmにおよぶ路線の一部区間
- ★設計コンサルタントとしてCOWI社起用
- ★アジアにあるIIS自社およびグループ工場4工場で鋼製桁を製作完了
- ★耐風制振対策としてTMD(Tuned Mass Damper)設置
- ★全38径間の大型台船による大ブロック架設完了

⑤ MAHSR P-4(インド)



建設中の現場



現地工場での仮組立て

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：デザインビルド(製作工事)/L&T・IIS 乙型JV
 施 工 期 間：2021年2月～

トピックス

- ★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

⑥ バンガバンドゥ鉄道専用橋(バングラデシュ)



完成予想CG



橋脚と上部工の建設

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：デザインビルド/IIS・SMCC 乙型JV
 施 工 期 間：2020年3月～

トピックス

- ★ジャムナ川を渡る総延長4.5km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、トラス上部工架設中、PC桁製作中
- ★河川護岸(River Training Work)、盛土施工、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

⑦ 東西経済回廊(ミャンマー)



Atrani橋完成予想CG



Zathapyin主塔の型枠施工

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：デザインビルド/IIS(単独)
 施 工 期 間：2020年12月～

トピックス

- ★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施工中
- ★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

主な過去工事実績(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幅を実施
ニャットン橋(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
オスマンガーゼー橋(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製作、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

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.	工 事 名
①	大師橋(工事)
②	東扇島主橋梁(その1)工区
③	栄JCT Dランプ1号橋
④	大栄JCTCランプ橋
⑤	高谷川高架橋
⑥	与野JCT出入口上部工事
⑦	八潮PAランプ橋梁上部工事
⑧	江戸崎橋
⑨	清水IC 第一高架橋
⑩	尾羽第一高架橋
⑪	栄工区
⑫	名港東大橋耐震補強工事
⑬	宮口橋
⑭	根尾川橋
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	新宿橋
⑲	宇治田原第一高架橋
⑳	宇治田原第一高架橋(その2)
㉑	淀川橋梁製作工事(右岸工区)
㉒	美濃川橋
㉓	六甲アイランド第三高架橋上部工事
㉔	本線3号橋+ON・OFFランプ
㉕	北条JCT第2
㉖	遠田高架橋
㉗	上鹿野川第一橋
㉘	津田高架橋拡幅他1橋
㉙	大鳴門橋自転車道風洞試験

ⅡS 保全工事

No.	工 事 名
①	皆瀬川橋(上り線)補強工事
②	萬丈橋鋼橋補強工事
③	中野橋耐震補強工事
④	基佐屋1:佐屋下り線床版取替
⑤	阿波座拡幅その1工事
⑥	関空連絡橋耐震工事
⑦	池田宝塚特定更新(尼宝線橋梁)
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	関門橋主ケーブル改良工事

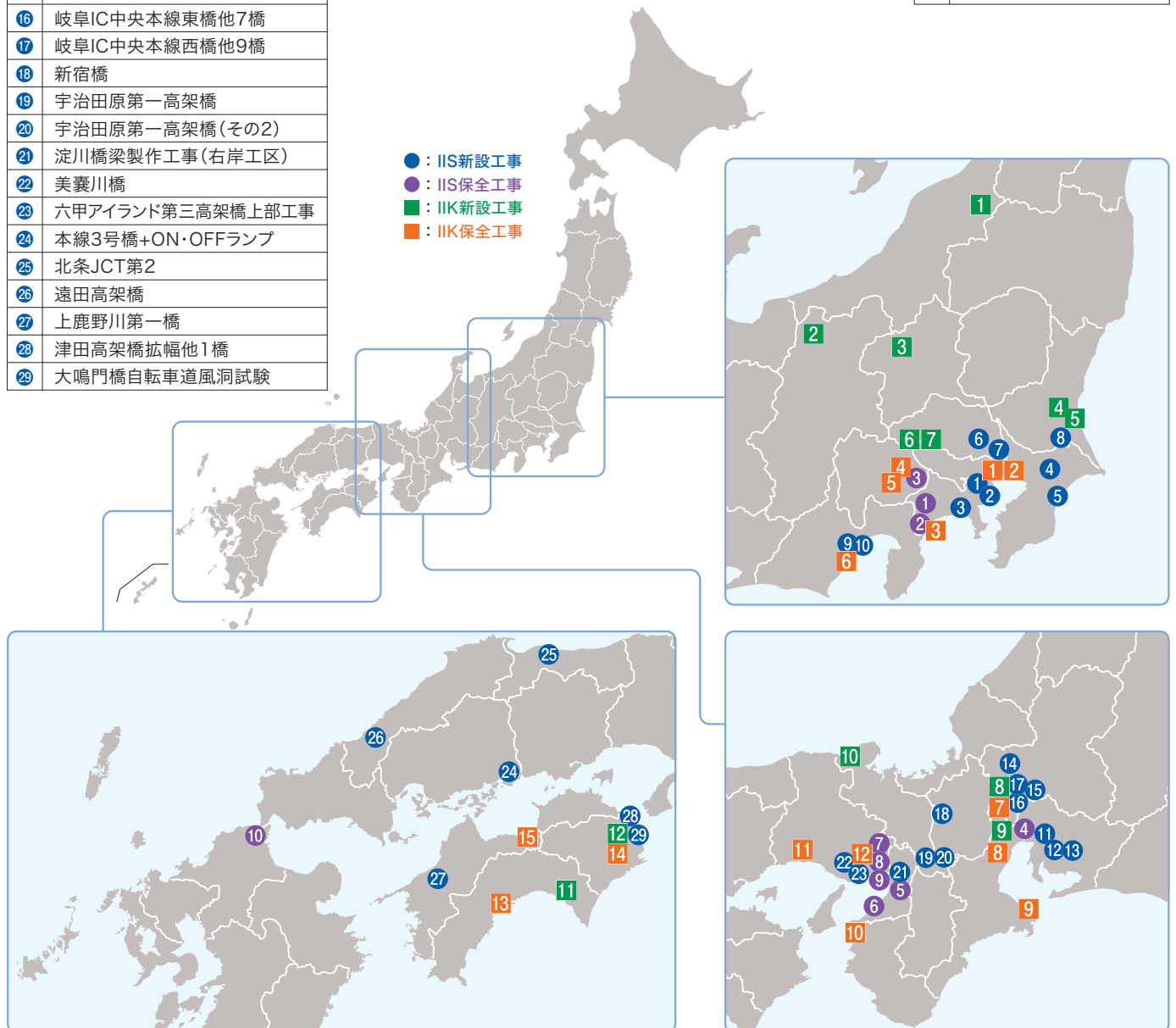
ⅢK 新設工事

No.	工 事 名
①	白川大橋
②	雨中橋
③	厚田跨道橋
④	玉里高架橋
⑤	清水地区跨道橋
⑥	殿入高架橋
⑦	大船寺田高架橋
⑧	中西郷高架橋西
⑨	大安2高架橋
⑩	川上谷川橋
⑪	赤野高架橋
⑫	川西高架橋P8-A2

ⅢK 保全工事

No.	工 事 名
①	葛飾大橋補修(その1)
②	葛飾大橋補修(その2)
③	萬丈橋鋼橋補強
④	鶴川大橋耐震補強
⑤	浅利橋災害応急復旧作業
⑥	向田川橋他1橋鋼橋補強
⑦	深沢橋床版取替
⑧	川越西伸縮改良
⑨	麻生の浦大橋橋梁補修
⑩	松島高架橋(その1)
⑪	市川大橋床版取替
⑫	神戸線PC桁補修
⑬	新莊川橋耐震補強
⑭	末広大橋主ケーブル補修
⑮	関川橋他1橋耐震補強

- : ⅡS新設工事
- : ⅡS保全工事
- : ⅢK新設工事
- : ⅢK保全工事





① 2週間の通行止めで架け替えた大師橋



⑤ 支間長最大級のPC単純箱桁橋である清水地区跨道橋



② 川崎港臨港道路東扇島水江町線主橋梁部上部工事



⑥ トラス橋の大規模補修補強工事である向田川橋



④ 一夜間での2橋同時架設した大栄JCT



⑦ 幅員方向分割床版取替施工した深沢橋



写真-1 台船リフトアップ架設

ニュース3

高速大師橋リニューアルプロジェクト

高速大師橋 高速1号羽田線を 2週間の通行止めで架け替え

多摩川を渡る高速1号羽田線、1日8万台もの交通を支える老朽化した高速大師橋の架け替え工事では、既設橋の下流側に新設橋を架設し、壁高欄・基層舗装を施工した後、既設橋と新設橋を上流側にスライドさせる横取り工法を採用し、通行止め期間わずか2週間で重さ約4,500t、長さ292mの橋梁を一挙に架け替えた(図-1)。

新設橋の架設は、河川上のP4～P6間は河積阻害率低減を図るためバント設備を削減できる台船リフトアップ架設(写真-1)。道幅の狭い区道や住居が近接するP6～P7間は河川内から部材供給できるトラベラクレーン架設を採用し、現場条件・周辺環境に適合させた。

新設橋の横取りでは、流心方向に設置した軌条設備とは異なる方向へ桁をスライドさせる必要があった。

そこで、流心方向と橋軸方向の2方向のジャッキを同時制御

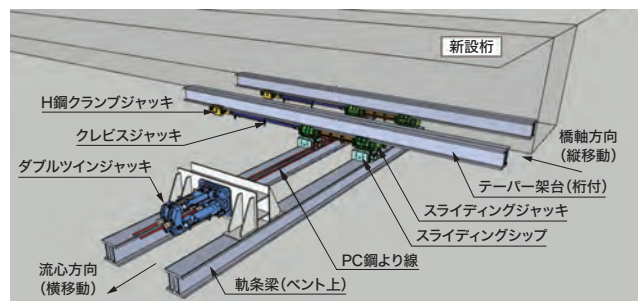


図-2 2軸横取り装置

し、桁を任意の方向へスライドさせることができる新たなシステムを開発した(図-2)。これにより、軌条設備とは異なる方向への33mのスライドを4時間という短時間で完了させた(写真-2～4)。

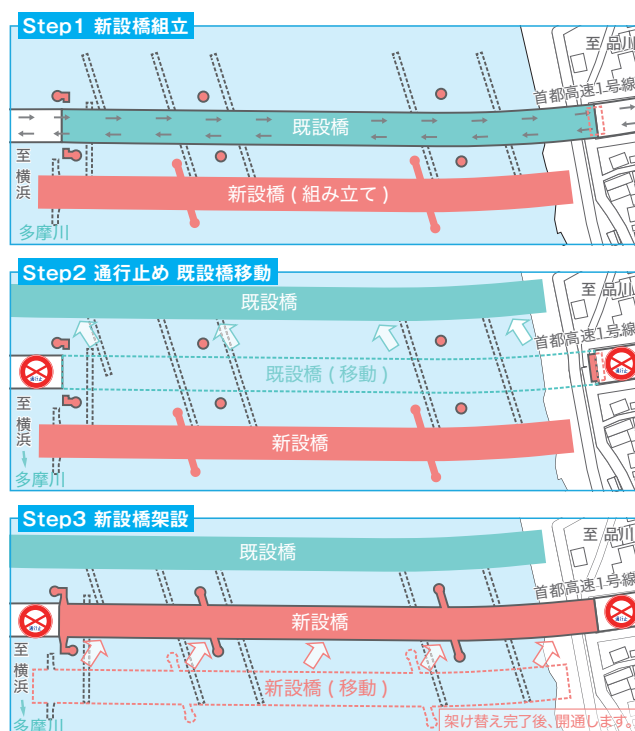


図-1 ステップ図



写真-2 横取り前



写真-3 既設橋横取り後



写真-4 新設橋横取り後

(図-1)提供:首都高速道路㈱ 〈写真-2～4)提供:首都高速道路㈱、撮影:㈱共映



写真-1 仮橋全景

ニュース4

開通目標は小学校入学式

豪雨被災地の架け橋

令和4年9月の台風14号により被災し、全面通行止めとなっていた球磨大橋に隣接する形で仮橋を設置した(写真-1、2)。仮橋は、全長164.6m×幅員7.5mで全5径間あり、IISはこのうちの2径間を担当した。

仮橋には、応急復旧橋「トライアス」のトラスタイプと鉸桁タイプを使用した(写真-3、4)。トラスタイプは、IIGが平成26年度に納入した四国地方整備局保有の機材で、早期復旧に向けて高知県四万十市から陸送した。架設には、河川内ヤードに設置した550t吊りオールテレーンクレーンを使用し、トラスタイプ、鉸桁タイプいずれも主構・主桁一括架設にて施工した。

令和5年4月10日の小学校入学式に間に合うよう、2月9日の現地工事着手から急ピッチで作業が進められ、3月26日に実施された開通式より車輦、歩行者共に通行止めが解除された。



写真-2 球磨大橋被災状況



写真-3 トラスタイプ架設



写真-4 鉸桁タイプ架設



写真-1 根古屋橋全景写真(着手前)

ニュース5

向田川橋、根古屋橋の耐震補強工事

供用開始から50年超、 トラス橋の大規模修繕工事

東名高速道路は1965年5月に全線開通し、既に50余年が経過している。これに加えて、大型車交通の増加などにより高速道路の橋梁等の構造物の老朽化が進んでいる。

この課題に対し構造物を補修、補強することにより、建設当初と同等またはそれ以上の性能や機能を回復しようとする中日本高速道路㈱の「高速道路リニューアルプロジェクト」の一環として、当該現場は静岡県の沼津市及び静岡市でトラス桁橋の補修補強工事を施工している(写真-1)。

既設トラス桁に設置する吊足場は、設計及び施工双方の検討により先行床施工式フロア型システム吊足場(以下クイックデッキ)を採用している(写真-2、写真-3)。

支取替では、既設上部工を補強し(写真-4)、既設下部工をコンクリートにより縁端拡幅した上で、鋼製ブラケット及び油圧ジャッキにて既設上部工をジャッキアップした。ジャッキアップ後に既設支承を撤去し、新設支承を設置した(写真-5)。

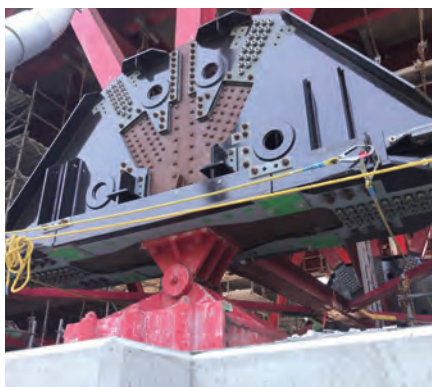


写真-4 上部工補強状況

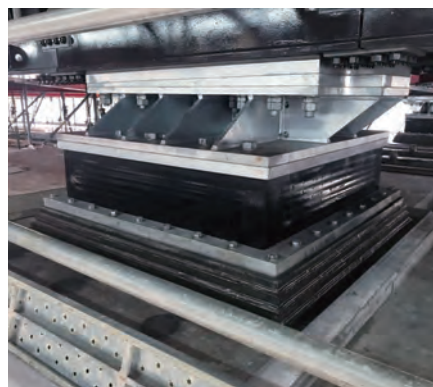


写真-5 新設支承設置状況



写真-2 吊足場設置完了



写真-3 クイックデッキ組立状況



写真-3 JFEへの転送ブロックの輸送前の最終仕上げ状況

ニュース6

川崎港臨港道路東扇島水江町線主橋梁部上部工事

主塔の製作・地組立・大ブロック輸送

本工事は国内において近年では稀にみる長大橋工事であり、岸壁を保有する3社でJVを組織し、各社で製作・地組立及び大ブロック輸送を分担している。JV親であるIISは精度確保の要となる主塔中段部を製作所掌範囲としており、主桁位置水平梁より基部側の大ブロックをJFEに転送、主桁位置水平梁より塔頂側の大ブロックを現地に発送するという地組立所掌となっている。現地架設着手時期は2022年12月からであり、既に主塔基部据付が完了している。

精度確保の観点から工場で単品ブロックを製作後、建屋内で複数ブロックの一体確認組立を実施し、精度管理を行った(写真-1)。

一部のブロックには部材寸法精度を確保するために仕口部に余長を設けておき、一体確認組立の計測結果を反映して余長の端面切削を実施した(写真-2)。

屋外では200tジブクレーンとレッカーの相吊りにてブロックを地組立の姿勢に反転・搭載し地組立を実施し、主桁位置水平梁より基部側の大ブロックは8月下旬にJFEへの転送を完了した(写真-3)。

9月からは主桁位置水平梁より塔頂側の大ブロックの地組立作業を開始しており、地組立溶接後検査を年度末までに完了すべく関係者一丸となって作業に取り組んでいる。



写真-1 上段水平梁隅角部+塔柱 一体確認組立状況



写真-2 端面切削状況



写真-1 運搬中の2橋

ニュース7

大栄JCT大栄橋およびCランプ橋新設工事

多軸台車を用いた 一夜間での2橋同時架設

首都圏中央連絡自動車道の延伸工事のひとつとして東関東自動車道と交差する大栄JCTにおいて地組ヤードで大ブロックにした大栄橋とCランプ橋の2橋を多軸台車で運搬し架設した(写真-1)。この一括架設には地形的制約と時間的制約の2つの厳しい条件がありこの対策として下記のことを実施した。

①地形的制約

多軸台車は傾斜に弱いため走行経路はなるべく平坦にする必要があるが、排水溝や埋設ケーブル、アスカープ等があり十分に平坦にできなかった。そこで、3D測量により地形モデル(図-1)を作成して、事前に多軸台車の走行が困難な箇所を把握し対策を行った。段差がある箇所はスタイロフォーム(硬質発泡スチロール)を敷き並べる(写真-2)ことにより不陸を解消した。また、Cランプ橋の多軸台車は幅が広く2列の多軸台車の高低差が出やすいため、つなぎ材をヒンジ構造にすることで路面の傾斜によって多軸台車や上部構造に応力がかからないようにした。

②時間的制約

この工事は一夜間で2橋同時架設が絶対条件であったが、実質22時～翌朝4時の6時間しかなかった。そこで、後からヤードを出るCランプ橋の多軸台車には大型ユニットジャッキ(写真-3)を搭載し多軸台車から橋台への受け替えと桁降下の時間の短縮を図った。Cランプ橋は曲線桁であるためユニットジャッキの反力バランスを保つのが難しい構造であったが、桁受点に鉛直ジャッキを配置することでユニットジャッキにかかる反力バランスを調整できるようにした。一方で、先にヤードを出る大栄橋は比較的時間に余裕があったので大型ユニットジャッキは使用せず、橋台への受け替えを多軸台車の車軸に付いているサスペンションジャッキで行い、桁降下はサドル降下にて行った。このようにクリティカルになるところに大型設備を配置して時間的制約を克服した。

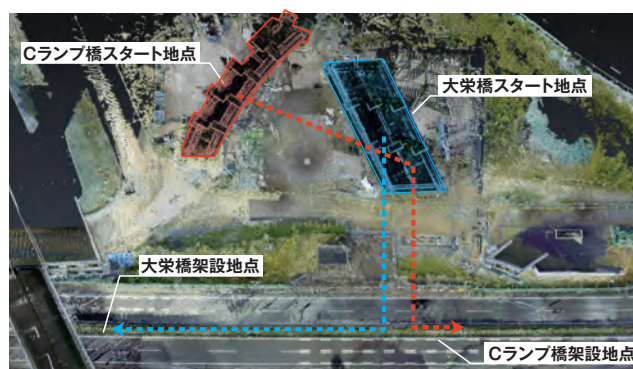


図-1 地形モデルと走行経路



写真-2 スタイロフォームによる不陸の解消



写真-3 多軸台車に搭載した大型ユニットジャッキ



写真-1 深沢橋工事全景

ニュース8

中央自動車道深沢橋床版取替

トラス橋の幅員方向分割床版取替、 床版取替機「EVO」を使用

中央自動車道多治見IC～土岐JCT間に位置する深沢橋は、対面通行規制により上下線が各1車線となった際の工事渋滞の発生による社会的影響が大きいため、上下線各2車線のうち、下り線（名古屋方面）を常時2車線確保できる幅員方向分割による床版取替を実施することとした。深沢橋工事全景を写真-1に示す。

深沢橋は単純合成桁+単純トラス桁+2径間連続非合成桁の4径間の橋梁で、合成桁部はクローラークレーンでの床版取替（写真-2）、それ以外は幅員方向分割施工用に開発した床版取替機「EVO」で床版取替を施工（写真-3、4）した。「EVO」は、主桁を伸ばした状態で全長が約19mで、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で、PCaPC床版を3枚取替えてできる。また、本機の移動機構は、PC橋の張出架設用移

動作業車（ワーゲン）の仕組みと同様な鉛直ジャッキとツインジャッキを用いて移動する。



写真-3 床版取替機「EVO」施工状況

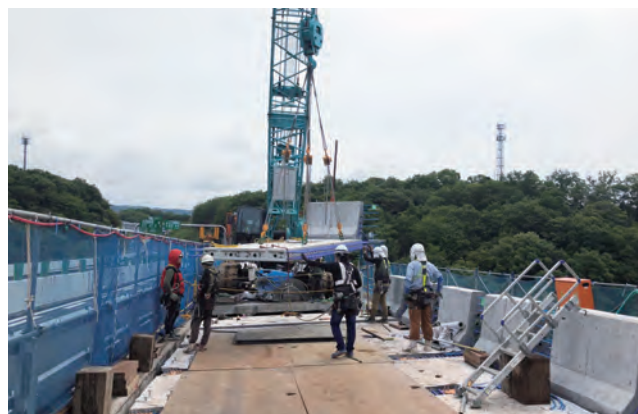


写真-2 クローラークレーン施工状況



写真-4 床版取替機「EVO」施工状況



写真-1 工事全景

ニュース9

東関東自動車道水戸線（潮来～鉾田）

単純箱桁橋で支間長最大級の 「東関東自動車道 清水地区跨道橋」

本橋は、東関東自動車道水戸線（潮来～鉾田）に設置される麻生IC（仮称）付近に架設され、本線及びBランプ、Cランプと立体交差する跨道橋であることから、PC単純箱桁橋では最大級の支間長59mを有する橋梁である。現在施工中の工事全景を写真-1に示す。

実績の少ない橋梁規模であることから、工事着手前よりBIM/CIMを活用し、施工ステップを視覚化することで工程遅延の防止や品質の確保を効率的に行った。（写真-2）

また、橋梁を保持する端支点横桁部では、マスコンクリート特有のひび割れによる品質低下が懸念されたため、温度応力解析によるシミュレーションにより事前検証し、効果的なひび割れ対策を実施していく。（図-1）

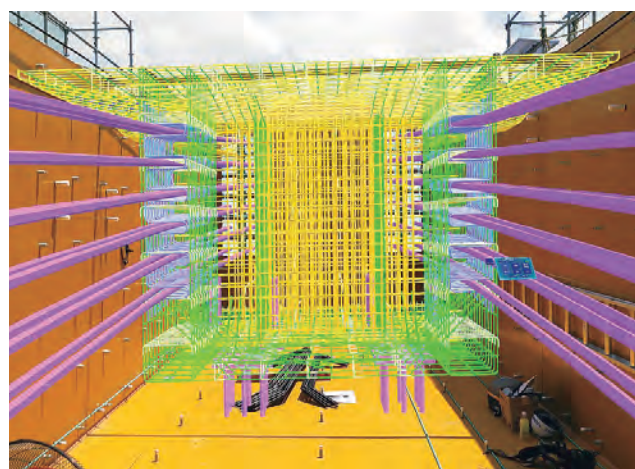


写真-2 BIM/CIM活用による過密配筋部の視覚化

端支点部温度解析結果

1) コンクリート最高温度

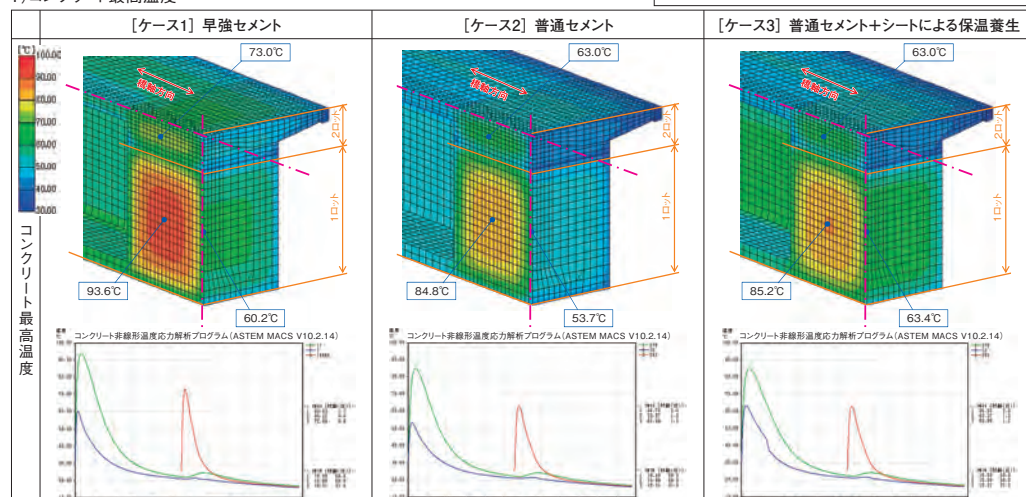




写真-1 座学の様子

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 「橋梁技術基礎講座」の取り組み

IHIインフラシステムは、芝浦工業大学と連携して社会人向けオープンカレッジ「橋梁技術基礎講座」を開設した。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た取り組みで、産官学の垣根を超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、受講生たちは交流を深めながら実務者に必要な橋梁技術の基礎を学んでいく。

初年度となる2022年度は自治体、コンサルタント、橋梁メーカーなどから30名が参加。2023年度からは文部科学省が推奨する履修証明プログラムを適用し、新人技術研修の新しいカタチとして定着させていく。



写真-2 模型製作実習



写真-3 製作中の模型（鋼床版箱桁）



写真-4 現場見学

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、社会人の学びに特化したプログラムを実施しています。
履修証明プログラムを適用し、新人技術研修の新しいカタチとして定着させていく。

開催時期 2023年10月4日～11月29日（全9回）
毎週水曜日
時間 17:00～18:40
会場 芝浦工業大学 豊洲キャンパス
受講料 70,000円（教材費、見学費込み）
申込期間 7/28～8/2（要領必読）
募集定員は100名で定員になり次第に締め切ります。

講座概要
橋梁の設計、建設、維持管理の実際に関わるための基礎的な技術を集中的に学びます。実習で橋梁を造る経験と基礎的な知識を身につけることで、橋梁技術者としてのスキルアップを図ります。
本講座は芝浦工業大学工学部建築学科の専攻分野です。
受講生は本学工学部建築学科の専攻分野に所属する必要があります。
※Q100 対象講座として認定されます。

詳細はこちらよりご確認ください。

お問い合わせ先
IHIインフラシステム 社会人リカレントプログラム事務局
TEL 03-5561-1111 FAX 03-5561-1112
E-MAIL rpl@ihi.co.jp

橋梁技術基礎特論カリキュラム

10/4 17:00～18:40 1 設計概論 (鋼構・PC構の種類)	11/15 9:00～17:00 5 課題実習(模型製作)
10/11 17:00～18:40 2 鋼構の製作・PC構の製作	11/16 9:00～17:00 6 課題実習(模型製作)
10/18 17:00～18:40 3 鋼構の架設	11/22 17:00～18:40 7 維持管理・保全工事
10/25 17:00～18:40 4 PC構の架設	11/29 17:00～18:40 8 総まとめ・期末テスト
11/8 17:00～18:40 9 橋梁建設現場見学	

注意事項
最終試験は12月5～7日の開催になります。
参加費は、全9回分（10月4日～11月29日）
開催になります。

講師紹介
芝浦工業大学 工学部 建築学科
竹田 悠一
准教授
社会人リカレントプログラムの企画・運営
を担当しています。橋梁技術者としての経験と知識を
活かして、受講生に最適な学習環境を提供します。
橋梁技術者としての経験と知識を活かして、受講生に
最適な学習環境を提供します。

受講料補助金コース
受講料補助金コースは、受講料の一部を補助金で
カバーします。詳しくは、IHIインフラシステム
社会人リカレントプログラム事務局までお問い合わせ
ください。

写真-5 2023年度講座パンフレット



写真-1 組織を超えた交流を育む開放的な執務エリア

ニュース11

共創を促すデザイン

本社エンジニアリングオフィス開設

2023年5月、大阪府堺市のIHIインフラシステム（IIS）堺工場の敷地内で、IISとIHIインフラ建設（IIK）が同居する新オフィス棟が稼働を始めた。

変化の激しい社会環境の中、IHIグループでは課題解決に向けた多様なアイデアを生み出していくことが求められている。そのため新オフィスでは、会社や組織の枠を超えた従業員の交流を促し様々な考えが交わることで、そしてそこから新たな気づきを得て豊かな発想を培っていくことをコンセプトに掲げ、環境整備を行っている。

2階・3階の執務エリアは壁のない広く開放的なデザインとし、各所にコミュニケーションスペースを点在させている。さらに仕事の内容に合わせて働く場所を自由に選択するというABW（Activity Based Working）の考え方を取り入れることで、従

業員が自由にオフィス内で働きお互いに接点を持つ機会を出している。リフレッシュスペースなども設け、気分転換を図りフレッシュな発想を促していく工夫も散りばめている。

1階は内外の交流を進めるフロアとして、IIS・IIKの技術や実績など強みを伝える広報エリアや、食事のみならず打合せや懇親会など仕事のオン・オフの多様なシーンで、コミュニケーションの場として機能するカフェテリアを設けている。



写真-2 外観

社外パートナーとの技術交流を促すスペースや設備も備えており、DXルームでは、高精細の大画面モニターを設置し、国内外の建設現場といった遠隔地ともタイムリーに臨場感のある情報を共有しながら議論を進めることができる。

IIS、IIKはこの新しいオフィスから、社会インフラの課題解決に向けた様々なアイデアと技術を発信していく。



写真-3 多くの拠点とのハブとなるDXルーム



写真-4 多様なコミュニケーションを生むカフェテリア



写真-5 内外の接点となる1階エリア



写真-1 気仙沼湾横断橋

ニュース12

気仙沼湾横断橋 淀川大橋大規模更新

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4年度土木学会田中賞（作品部門）を2件受賞した。作品部門は新設と既設のそれぞれについて審査され、新設案件として宮城県気仙沼湾に架かる気仙沼湾横断橋（愛称:かなえおおはし）、既設案件として大阪市内に架かる淀川大橋の大規模更新が選出された。

気仙沼湾横断橋（写真-1、2）は、東北地区最大の斜張橋で、東日本大震災からの復興事業の中でも象徴的なものである。淀川大橋（写真-3、4、5）は大正時代に架けられ、今なお国道2号の一部として阪神間の交通を支え続ける歴史的橋梁であるが、床版取替を主とする大規模更新を実施した。



写真-2 桁の架設



写真-3 鋼床版の架設



写真-4 床版の更新



写真-5 淀川大橋（撮影：廣瀬 彰則氏）

研 究 論 文

プレキャスト合成床版の開発

SUZUKI
鈴木Osamu
統*SUETSUGU Tsuyoshi
末次 剛*TAKAI
高井Yusuke
祐輔**FUKUI
福井Atsushi
敦史***YOSHIDA Yuki
吉田 有希****JING
聶Nie
菁****KISAKU
木作Tomoaki
友亮****

1. はじめに

現在、新設橋梁の現場においては生産性の向上が求められており、プレキャスト床版の採用が進められている。しかし現状では新設の少数主桁橋に対応できるプレキャスト床版としてはプレキャストPC床版しか実用化されておらず、合成床版においてもプレキャスト化することにより現場の生産性の向上が期待できる。

合成床版をプレキャスト化するにあたっては、現場でコンクリートを打設する現場打ちの合成床版との条件の違いによる構造の見直しや、工場における打設方法、プレキャスト合成床版同士

の接合方法など、プレキャスト特有の検討すべき課題がある。ここでは、プレキャスト合成床版の継手構造に着目し構造の検討・実験を行ったので、その内容に関して報告する。

2. 継手構造の検討

プレキャスト合成床版の実績としては、取替用のプレキャスト床版として、配力鉄筋の先端にねじ切りをしてナットを取り付けたり、先端部が拡幅した鉄筋を配力筋に用いたりして、隣接する床版から交互に突出させたものがあり、合成床版の底鋼板は下面側からトルシア型ボルト（以下、TCB）で接合する構造が提案されている。¹⁾

IHIインフラシステム（以下、IIS）では場所打ちの合成床版として、溝形鋼を補強リブとし頭付きスタッドでコンクリートと合成させる構造の合成床版を使用している。プレキャスト合成床版も本合成床版構造を使用し、継手部には配力鉄筋として突起付きの鉄筋を使用し、底鋼板はTCB接合することを基本として考える。この場合底鋼板の継手は先行する事例と同様に下面側でTCBを締め付ける構造となる。プレキャスト合成床版のイメージを図-1に示す。

合成床版の底鋼板の継手については、IISでは樹脂製のナットを用いて工場で先行してTCBを底鋼板に取り付け、継手部の塗装も完了した状態で出荷し現地で架設を行うことのできるIWナットという製品を有している。本製品を用いることにより、現地での合成床版下面からのTCBの差込み、現場継手部の塗

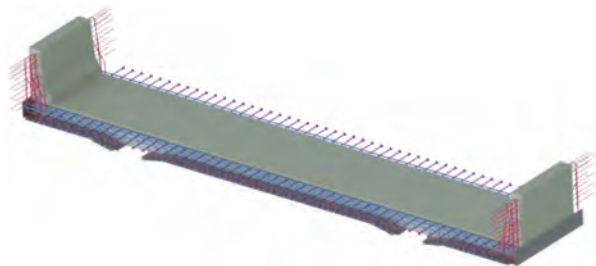


図-1 プレキャスト合成床版イメージ

装といった床版下面での作業を省略できるメリットがある。IWナットで底鋼板にTCBを取付けた状態の例を写真-1に示す。

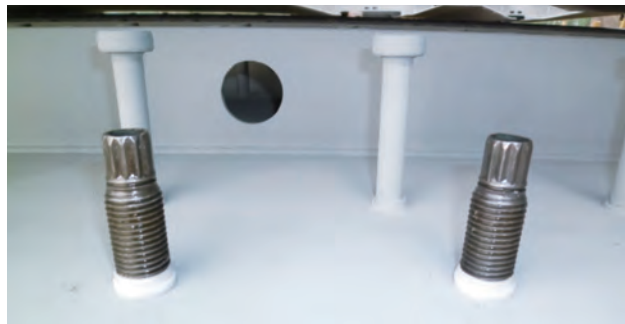


写真-1 IWナットでのTCB取付状態

プレキャスト合成床版においてもIWナットを用いることで上記のメリットを期待できるが、プレキャスト合成床版では隣接するパネルから交互に突起を有する配力鉄筋が突出するため、特に負曲げ区間となる中間支点部近傍では配力鉄筋が密になり、上面からTCBを締め付けることは困難である。

そこで、構造的に主に直橋のみでの適用になるが、交互に配置される配力鉄筋を等間隔ではなく、不等間隔にすることによって上面からTCBを締め付けることを可能にする継手を考えた。また、前述の構造では曲線橋に対して適用できないため、曲線橋でも適用できる上下に配力鉄筋を配置し、底鋼板の継手はスタッドボルトで接合する継手構造も考えた。これら3つの継手構造の特徴を図-2に示す。



項 目	底鋼板下締め+ 配力筋Tヘッド案	底鋼板上締め+ 配力筋Tヘッド案	底鋼板スタッド ボルト締め+配力 筋上下Dエッジ案
配力筋	均等配置 (Tヘッド鉄筋)	不均等配置 (Tヘッド鉄筋)	均等配置 (Dエッジ鉄筋)
底鋼板 継手	TCB (下面より締め付け)	TCB (上面より締め付け)	スタッドボルト (上面より締め付け)
製作性	○	○	△
施工性	×(下面足場が必要)	○(足場不要)	○(足場不要)
コスト	△	○	×
適用範囲	○	×(直橋のみ)	○

図-2 継手構造の特徴

* (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 設計第3G

*** (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 技術開発本部 技術基盤センター 材料・構造G

3. 梁試験体による耐荷力試験

3-1. 底鋼板上締め+配力鉄筋案

(1) 曲げ試験方法

図-2における継手形式のうち、底鋼板下締め+配力鉄筋案はプレキャスト合成床版では既に用いられている継手構造であり、ここでは底鋼板の接合を上から行うことを目的として、配力鉄筋を不均等ピッチで配置した底鋼板上締め案の試験体を設定し実験を行った。

また、既往の研究では配力鉄筋継手長が短い場合は、間詰コンクリート部に割裂ひび割れが発生し脆性的な破壊となることが報告されている²⁾ため、本実験では割裂ひび割れを抑制するために表-1に示すパラメータを設定した。

表-1 試験ケース(底鋼板TCB接合)

ケース名	載荷方向	補強鉄筋	継手鉄筋
A-1	正曲げ	無	Tヘッド工法 鉄筋
A-2	負曲げ		
B-1	正曲げ	有	
B-2	負曲げ		

割裂ひび割れの抑制のためには配力鉄筋に直交する補強鉄筋の配置が有効であると考え、補強鉄筋の有無をパラメータとして試験を実施した。1例としてB-1試験体の詳細図を図-3に示す。試験体の一般部(プレキャスト部)は呼び強度30N/mm²のコンクリートを用いた。間詰部は割裂ひび割れを抑制するため、プレキャストPC床版などで用いられている呼び強度50N/mm²のコンクリートとした。一般部・間詰部ともコンクリートには膨張材を混和した。間詰部コンクリートを打設するために、打継面は骨材の洗い出しを行った。試験体の载荷点スパンは1,000mm、せん断スパンは1,300mm、支点間スパンは3,600mmとした。

本検討では、橋軸方向継手を想定し、配力鉄筋と底鋼板に継手を設けた。配力鉄筋は、D22の機械式定着鉄筋であるTヘッド工法鉄筋を用い、重ね継手長さは18φ(396mm)とした。Tヘッド工法鉄筋の形状を写真-2に示す。割裂ひび割れの発生を抑制するため、補強鉄筋を図-4に示すようにD13の補強鉄筋3本を3列に配置した。特殊な工具を使用した橋面側からのTCB締結を想定して、Tヘッド工法鉄筋を不均等に配置した。ただし、施工条件によっては、床版底面側からTCBを締結することになる。そこで本試験では、TCBがずれ止めとして機能しないように、平滑なボルト頭部をコンクリート

側へ向け、安全側の条件で構造性能を評価した。

静的4点曲げ载荷試験の状況を写真-3に示す。载荷には、200tの油圧ジャッキを用いた。支点および载荷の境界条件は、支点の片側をピン、もう片側をピンローラーとした。床版支間を6mと想定し、道路橋示方書・同解説³⁾(以下、道示)における設計曲げモーメントの0.5倍、1.0倍、1.5倍に相当する荷重(49.3kN、98.5kN、148.0kN)まで载荷した後、0kNまで除荷した。その後は、単調漸増载荷を行った。载荷試験時は、荷重、支間中央たわみ、配力鉄筋の軸方向ひずみを計測した。また、試験体片側の端部に2つの棒変位計を設置し、底鋼板とコンクリートの相対ずれ変位を計測した。除荷後にひび割れを目視観察し、試験体に油性ペンで記録した。



写真-2 Tヘッド工法鉄筋

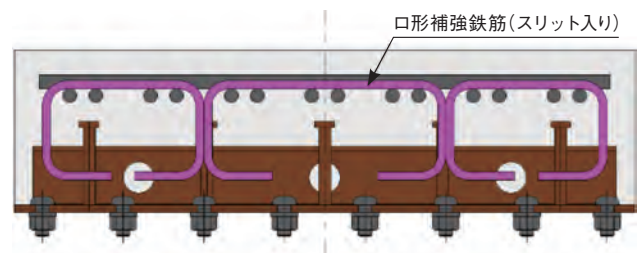


図-4 補強鉄筋の配置概要



写真-3 試験状況

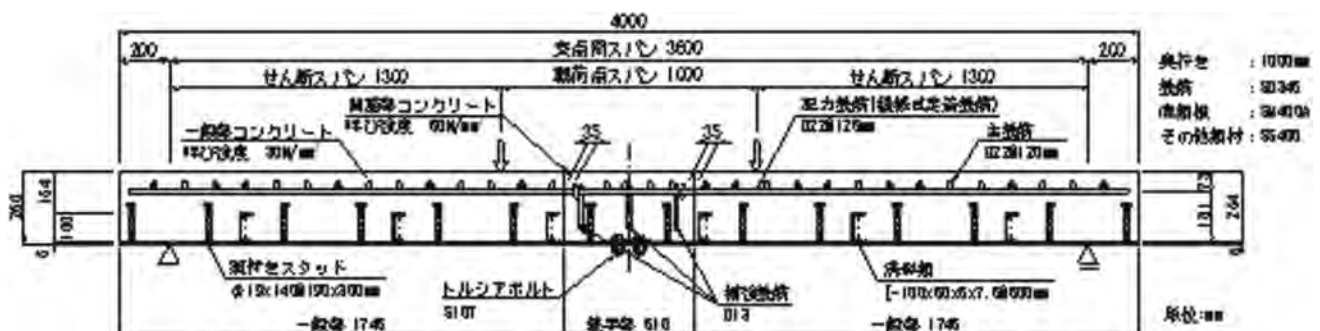


図-3 B-1試験体詳細

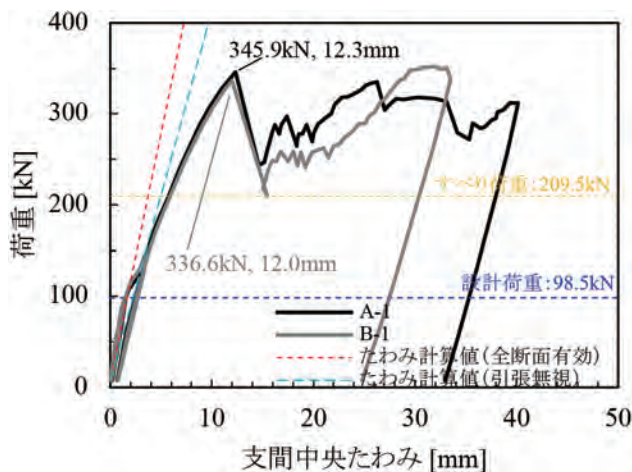


図-5 荷重-支間中央たわみ関係(正曲げ)

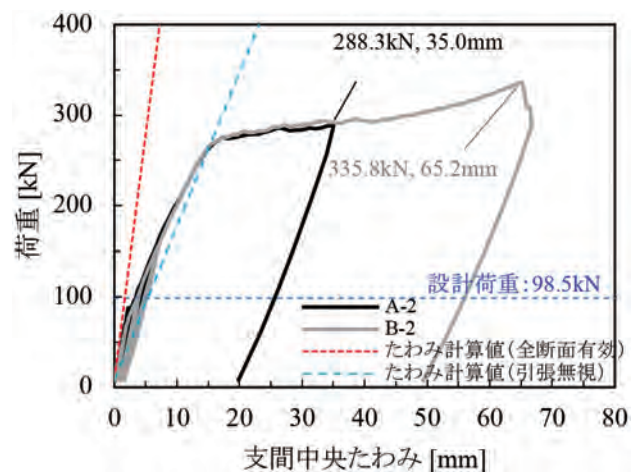
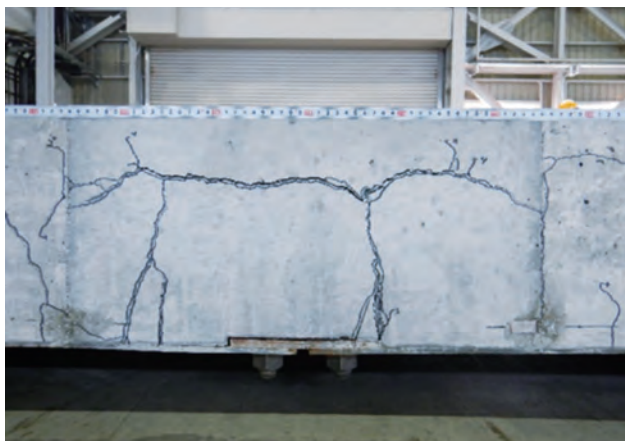


図-6 荷重-支間中央たわみ関係(負曲げ)



(a)試験体全体



(b)間詰部

写真-4 試験後試験体(A-1)



(a)試験体全体



(b)間詰部

写真-5 試験後試験体(A-2)

(2) 曲げ試験結果

正曲げ載荷の荷重-支間中央たわみ関係を図-5に示す。A-1、B-1のいずれも設計荷重の3.4～3.5倍の耐力を有していた。同図には、全断面有効と引張無視のたわみの計算値を示した。いずれの試験体も荷重が100kN程度でひび割れが発生し、たわみが増加したが、そのあと引張側コンクリート断面無視の計算値に沿って増加し、底鋼板継手TCBのすべり荷重近辺よりさらにたわみが増加するが、荷重はすべり荷重を超えて増加し続けた。最大荷重時には大きな音とともに底鋼板継手部の開口変位が急激に増加し、底鋼板のすべりによって荷重の低下がみられた。その後荷重の増減を繰り返しつつ開口変位が増加するが、やがて再び荷重が増加し始める。これは摩擦接合から支圧接合へ移行することにより荷重が増加したと考えられる。最終的には間詰コンクリート上面に水平ひび割れが発生し試験を終了した。試験後のA-1試験体の写真を写真-4に示す。

次に負曲げ載荷の荷重-支間中央たわみ関係を図-6に示す。A-2、B-2のいずれも配力鉄筋が降伏し、本試験の範囲

では以降に荷重低下は見られなかった。いずれの試験体も、75kN以降は引張側コンクリート断面無視の計算値に沿った挙動を示した。載荷試験後のA-2試験体の写真を写真-5に示す。試験体全体に曲げひび割れが分散しており、一般部と間詰部の一体性が確認された(写真-5(a))。一方、間詰部の境界付近には、曲げひび割れとは異なる微小なひび割れが生じた(写真-5(b))。これは、Tヘッド工法鉄筋に引張力が作用した際に、定着部が支圧力で抵抗した影響だと考えられるが、その影響は微小である。以上の結果から、間詰部コンクリートの呼び強度を50N/mm²とすることにより、補強鉄筋を配置しなくても割裂ひび割れが抑制でき、継手として十分な耐力を有することを確認した。

(3) 輪荷重走行試験方法

曲げ試験において耐力を確認した底鋼板上締め+Tヘッド工法鉄筋を配力筋に用いた継手構造に対して、輪荷重走行試験による疲労耐久性の確認を行った。

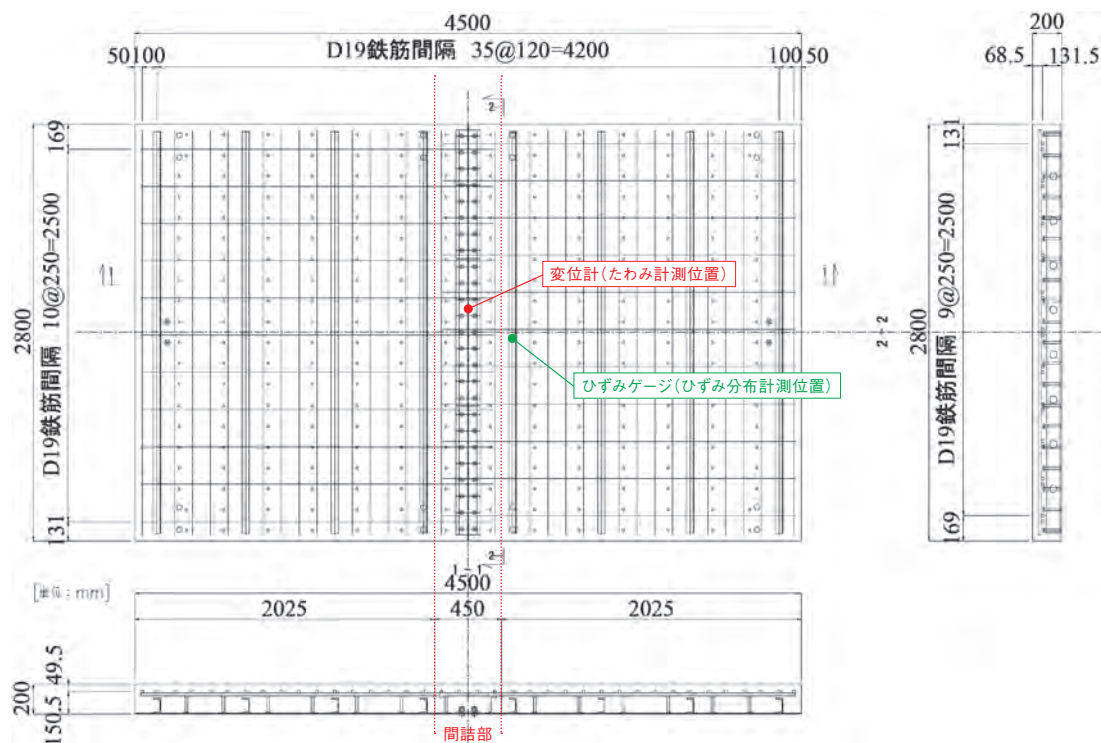


図-7 輪荷重試験体詳細図

輪荷重走行試験に用いた試験体の詳細を図-7に示す。橋軸方向の幅は4,500mm、橋軸直角方向の幅は2,800mm、床版厚は200mmである。橋軸方向を想定し、試験体の中央に幅450mmの間詰部を設けた。厚さ6mmの底鋼板に溝形鋼や頭付きスタッドを溶接し、底鋼板はTCBで接合した。D19の主鉄筋を120mm間隔、D19の配力鉄筋を250mm間隔で配置した。配力鉄筋には、拡張部を有するD19のTヘッド工法鉄筋を使用し、重ね継手長さは18φ(342mm)とした。コンクリートの呼び強度は、一般部が30N/mm²、間詰部が50N/mm²とした。一般部コンクリートの打設から6日後に、間詰コンクリートを打設した。いずれのコンクリートにも膨張材を混和し、打継面の骨材は高圧水で洗い出した。

本試験には、写真-6に示すクランク式・鉄輪の輪荷重走行試験機を用いた。載荷方式は、道示に記載されている階段状荷重漸増載荷方式(初期荷重156.8kN、4万回走行毎に荷重を19.6kN増加)を採用した。最終的には、走行回数52万回および載荷荷重392.0kNで試験を終了した。走行回数4万回ごとに、試験体中央を静的に鉛直方向へ載荷した。載荷初期は、必要に応じて試験頻度を高くした。この際の荷重値は、その時点の階段載荷荷重とした。本書で言及する計測点の位置は、図-7に示したとおりである。載荷時のたわみから除荷時のたわみを差し引いた値を「活荷重たわみ」と定義する。また、各種計測値を初期荷重値の156.8kNと実際の荷重値との比率で換算した結果を「157kN換算」と呼ぶ。

(4) 輪荷重走行試験結果

図-8において、基準となる平成8年道示によって設計されたRC床版の土木研究所において行った実験結果(図中ではH8-2RC床版)と本試験で行った合成床版(図中ではCHB床版)の載荷回数の比較を示す。H8-2RC床版は48万回を超えた



写真-6 輪荷重走行試験機

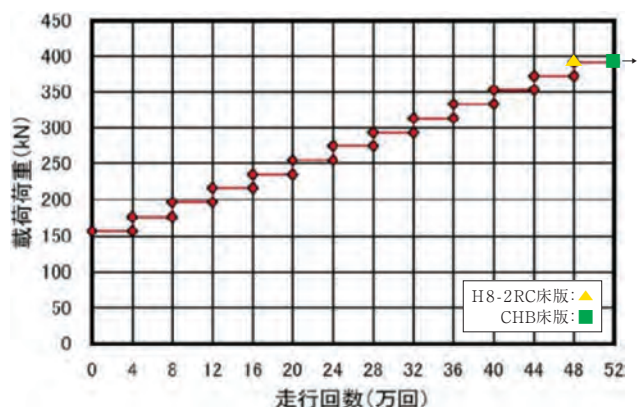


図-8 輪荷重試験結果

後、押し抜きせん断破壊を生じて試験を終了している。これに対して合成床版は52万回終了まで破壊に至らなかった。このことより、プレキャスト合成床版の継手部はH8-2RC床版以上の耐久性を有していることが確認された。

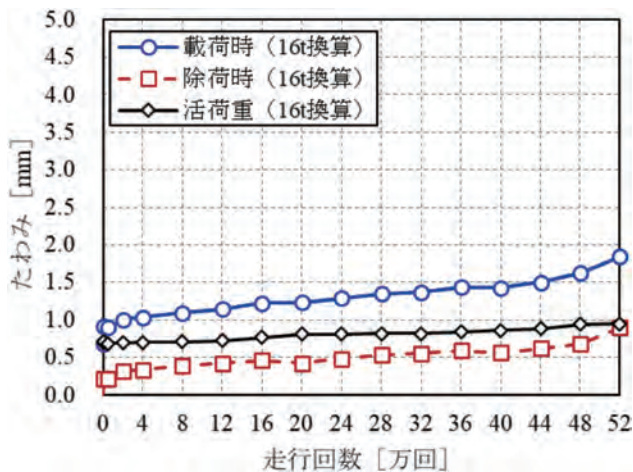


図-9 試験体中央点たわみ(157kN換算)

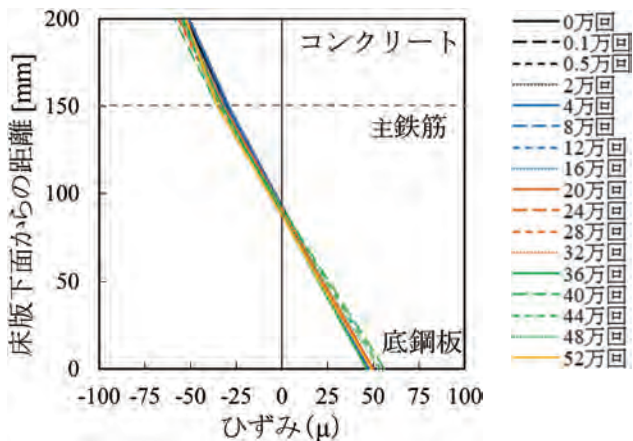


図-10 縦断面ひずみ分布(活荷重 157kN換算)

次に、合成床版の試験体中央のたわみと走行回数の関係を図-9に整理する。輪荷重走行疲労試験全体を通じて、活荷重たわみ(157kN換算)の急増は見られなかった。図-10に示すように、同一断面内のひずみ分布(コンクリート上面、主鉄筋、底鋼板下面の3点で計測、活荷重157kN換算)はほぼ線形であり、走行回数の増加に伴う変化も見られなかった。

これらのことから、階段状荷重漸増増載荷方式で行った52万回の走行回数まで、合成構造として継手部も含めた一体化挙動が確認できた。

試験終了後、試験体内部のひび割れを把握するため試験体中央で橋軸方向・橋軸直角方向へコンクリートカッターで4等分に切断した。図-11に切断面のひび割れ図を示す。

橋軸直角方向の断面には、ひび割れが観察されなかった。橋軸方向断面ではリブを起点にひび割れが発生しているが、これらが繋がって2層化のひび割れに進展することはなかった。ひび割れ幅もいずれも小さく、最大でも間詰部と一般部の境界付近に発生した0.15mm幅であった。また、厚さ方向に貫通するひび割れは見られなかった。これらの結果から、ひび割れの発生状態やひび割れ幅の観点からも、本プレキャスト合成床版の耐久性に問題はないと判断した。

3-2. 底鋼板スタッドボルト締め+上下配力鉄筋案

(1) 曲げ試験方法

3-1で実施した底鋼板上締め+配力鉄筋案では、通常互いに均等に配置される鉄筋を、上からシャーレンチでTCBを締め付けられるように、図-2に示した不均等配置とし、鉄筋間隔が広くなる個所に底鋼板のTCBを配置したものであ

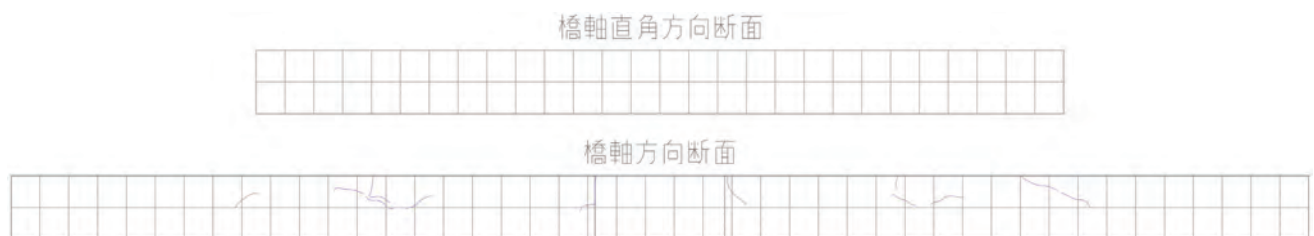


図-11 切断面のひび割れ観察

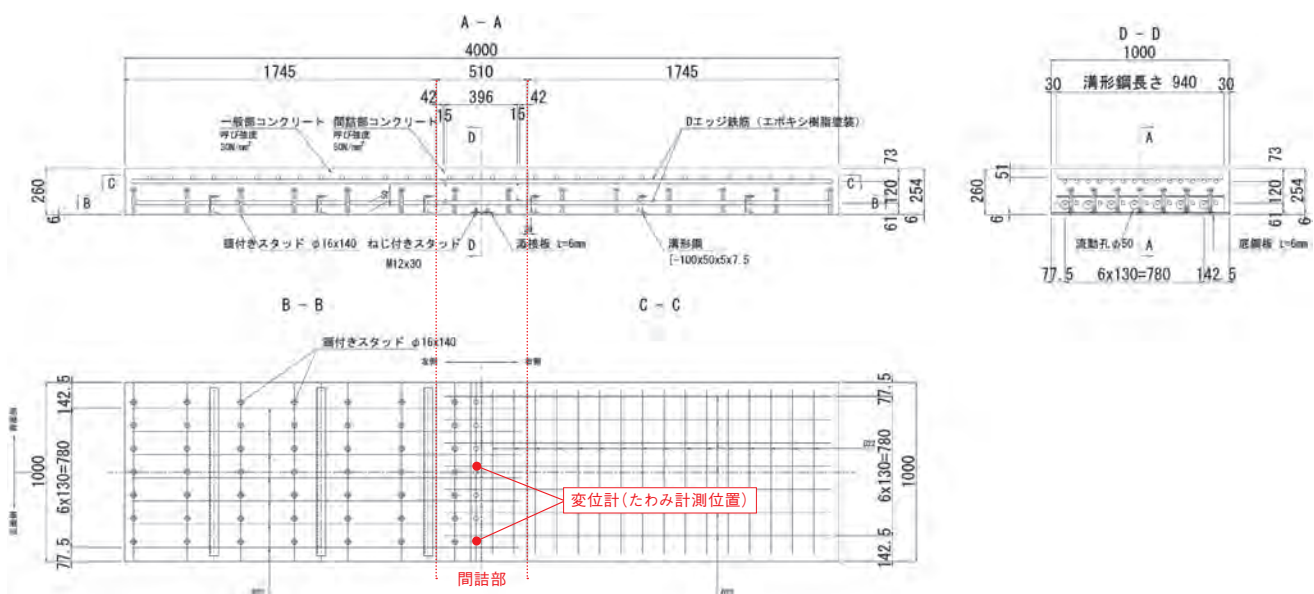


図-12 底鋼板スタッドボルト+上下配力鉄筋案 試験体(C-1、C-2)

る。しかし、この構造では曲線橋においては鉄筋間隔の狭いところで鉄筋同士が干渉するため、底鋼板上締め案は直線橋においてのみ適用可能となる。

そこで、曲線橋でも対応できるようTCBによる底鋼板の締め付けを行わず、代わりに下側へも配力鉄筋を配置した底鋼板スタッドボルト締め付け+上下配力鉄筋案を考えた。

ここで使用する鉄筋継手は、下鉄筋を補強リブである溝形鋼の孔を貫通させる必要があり、また下鉄筋と底鋼板のあきを考慮して底鋼板上締め案で使ったTヘッド工法鉄筋では

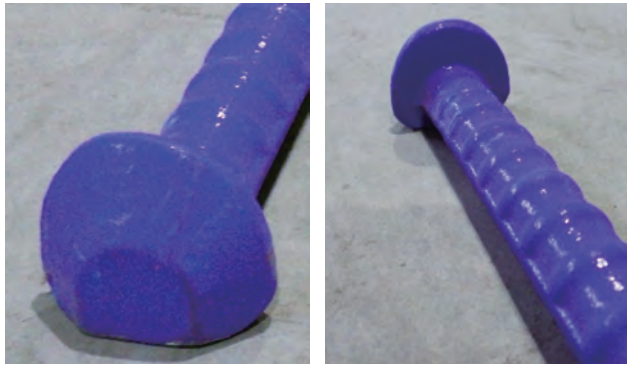


写真-7 Dエッジ鉄筋

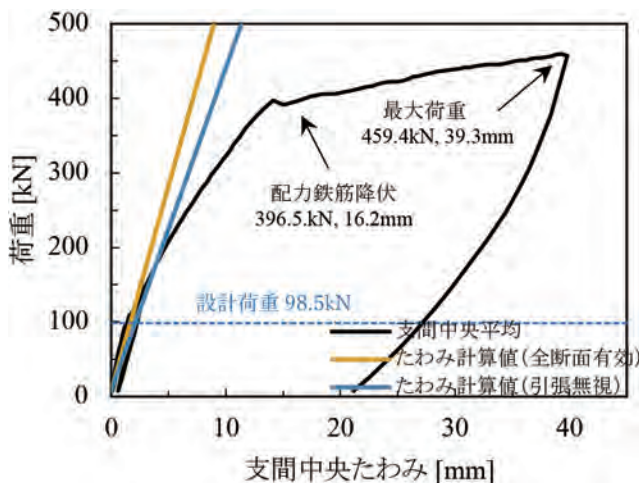
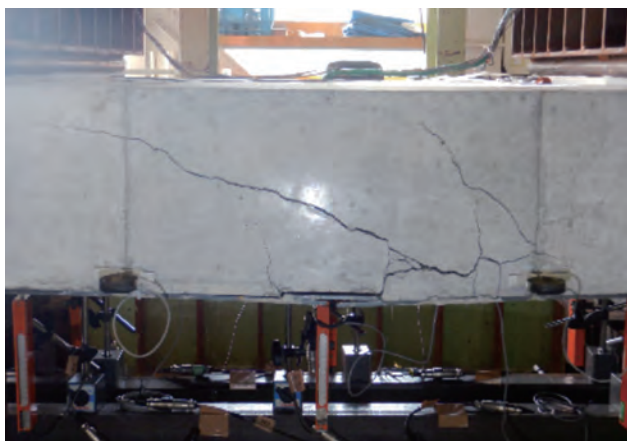


図-13 荷重-支間中央たわみ関係(C-1)



(a) 試験体全体



(b) 間詰部

写真-8 試験後試験体(C-1)

なく、拡径部が半楕円状のDエッジ鉄筋⁴⁾を使用することとした。Dエッジ鉄筋の形状を写真-7に、本継手を用いた試験体の形状を図-12に示す。

静的4点曲げ試験は、正曲げ(ケース名:C-1)・負曲げ(ケース名:C-2)の2体で行った。試験体の寸法と試験の実施条件は3-1(1)に示した底鋼板TCB接合案と同様である。

(2) 曲げ試験結果

正曲げ載荷試験の荷重-支間中央たわみ関係を図-13に示す。図-13より、C-1の支間中央のたわみは、設計荷重を超えて200kN程度の間に曲げひび割れの発生により全断面有効の傾きから引張側コンクリート断面無視の傾きへ近づいていく。その後間詰部に斜めひび割れが発生するなどを経て396.5kNで配力鉄筋が降伏して、最終的に間詰部の斜めひび割れの進展に伴いひび割れ幅も増大して459kNで破壊した。鉄筋降伏に至るまでに引張側コンクリート断面無視の傾きを超えているのは、引張無視の断面剛性は底鋼板を含めた断面で計算されているが、実際は継手部の添接板はスタッドボルトで接合されているためすべりが生じて、継手部において

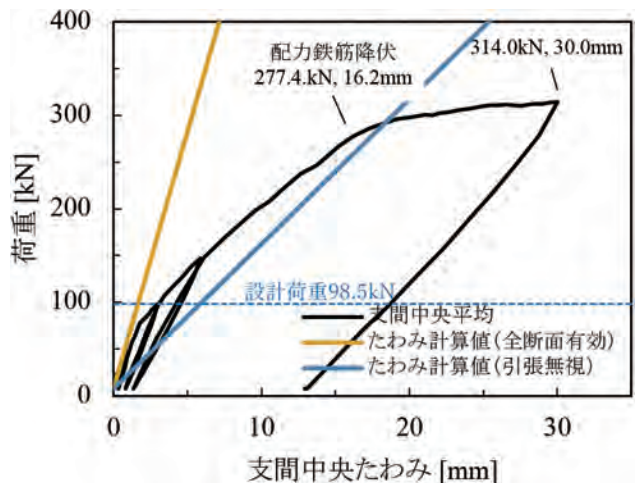
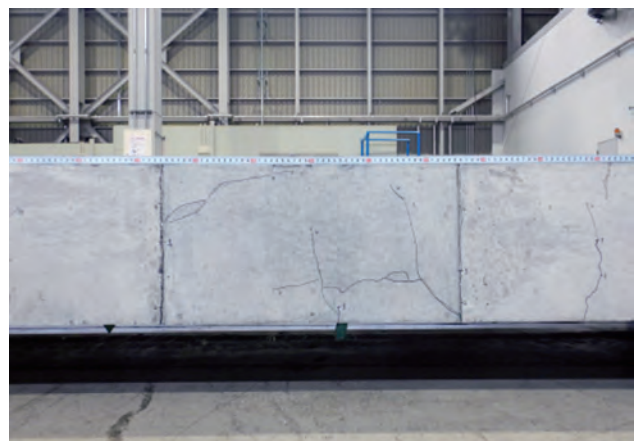


図-14 荷重-支間中央たわみ関係(C-2)



(a) 試験体全体



(b) 間詰部

写真-9 試験後試験体(C-2)

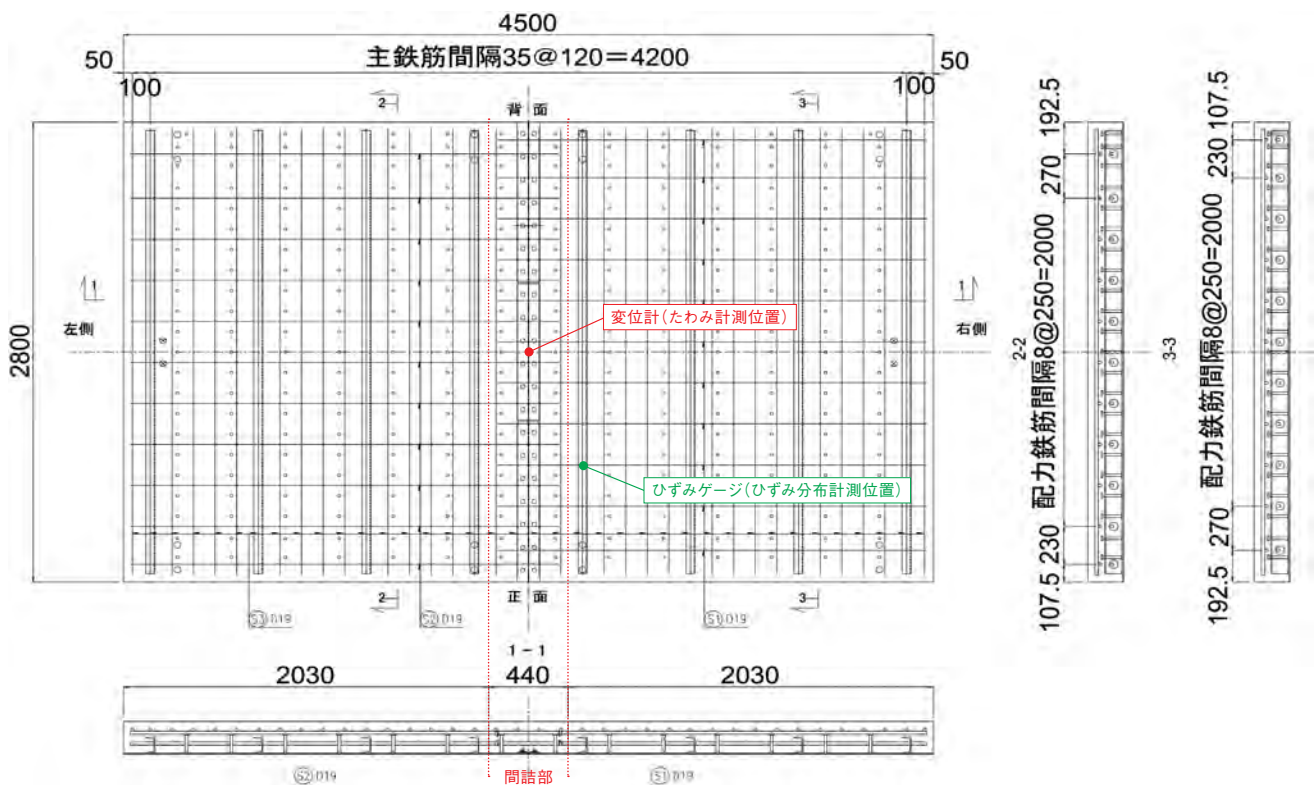


図-15 輪荷重試験詳細図

は底鋼板が有効とみなせないことが原因と考えられる。試験後のC-1試験体の写真を写真-8に示す。

次に負曲げ載荷試験の荷重-支間中央たわみ関係を図-14に示す。図-14よりC-2の支間中央たわみは、初期は全断面有効の傾きと一致しているが、設計荷重近傍から曲げひび割れの発生とともに引張側コンクリート断面無視の傾きへと近づいていく。277.4kNで配力鉄筋の降伏後にたわみの増加が大きくなり、間詰コンクリートへ斜めひび割れが発生し最終的に314kNで試験を終了した。試験後のC-2試験体の写真を写真-9に示す。

これらの試験により、Dエッジ鉄筋を用いた底鋼板スタッドボルト締め+上下配力鉄筋案は継手として十分な耐荷力を有することが確認できた。

(3) 輪荷重試験方法

曲げ試験にて耐荷力を確認した底鋼板スタッドボルト締め+上下配力鉄筋案の継手構造に対して輪荷重走行試験による疲労耐久性の確認を行った。試験体の寸法、試験の実施条件は3-1(3)で行った輪荷重試験と同様である。試験体の詳細図を図-15に示す。

(4) 輪荷重試験結果

図-16において、基準となる平成8年道示によって設計されたRC床版(図中ではH8-2RC床版)と本試験で行った合成床版(図中ではCHB床版)の載荷回数の比較を示す。3-1(4)に示した底鋼板上締め+配力鉄筋案と同様に、底鋼板スタッドボルト締め+上下配力鉄筋案の合成床版は52万回の載荷まで破壊することなく終了した。

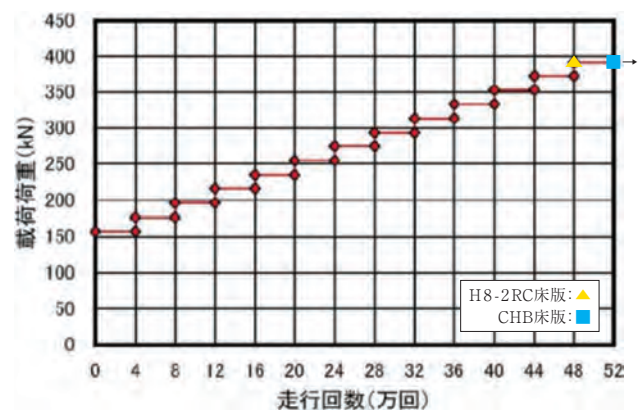


図-16 輪荷重試験結果

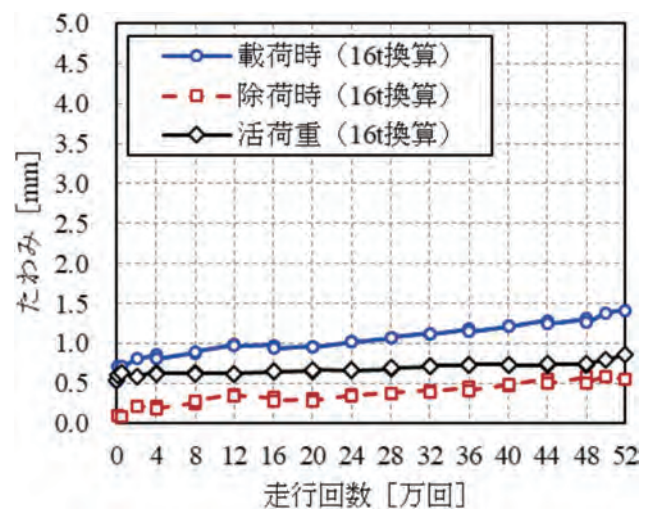


図-17 試験体中央点たわみ(157kN換算)

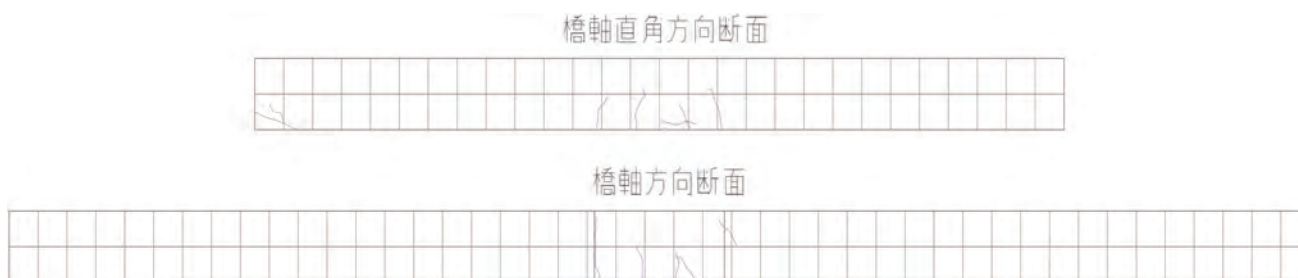


図-18 切断面のひび割れ観察

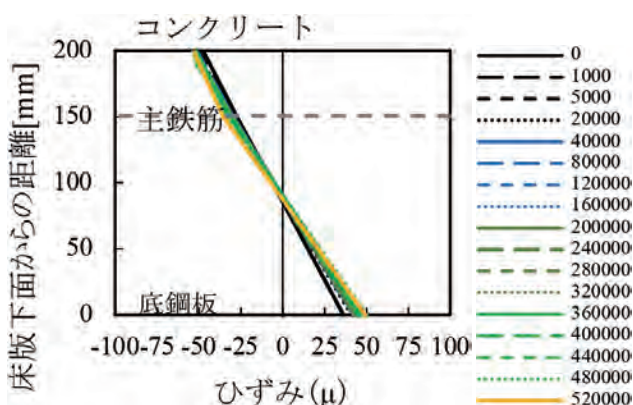


図-19 縦断面ひずみ分布(活荷重 157kN換算)

図-17に合成床版の支間中央のたわみと走行回数との関係を示す。活荷重たわみの急増は見られず試験は終了した。図-19に示すように同一断面内のひずみ分布も線形で推移し、階段状荷重漸増荷方式で行った52万回の走行回数まで、合成構造としての挙動が確認できた。試験終了後に、試験体内部のひび割れを把握するために試験体中央で橋軸方向・橋軸直角方向に4等分に切断した。図-18に切断面のひび割れ図を示す。TCB接合案と異なり、本試験体では橋軸直角方向のひび割れがみられた。本試験体はスタッドボルトにより底鋼板を接合しているため、床版支間方向に対しては一般部に比べ間詰部の剛性が小さくなることが考えられる。間詰部で下側に主鉄筋を配置することも考えられるが、TCB接合案と比べても支間中央のたわみは大きく変わらないため問題ない範囲と判断し、現状の構造のままとする。橋軸方向断面では間詰コンクリートの境界に沿ってひび割れがみられるが、貫通には至っていない。TCB接合案ではリブを起点に水平方向へのひび割れが生じていたが、本試験体では発生していない。載荷時・除荷時のたわみも本試験体の方が小さいことから、橋軸方向一般部では下側配力鉄筋があることにより、下鉄筋無しの合成床版に比べ剛性が大きいことが影響していることが考えられる。いずれにしても本プレキャスト合成床版の耐久性には問題がないことが確認された。

7. まとめ

プレキャスト合成床版を開発するため、継手構造に着目し以下の実験を行った。継手構造としては以下の①～③を考えた。

- ①底鋼板下締め+配力鉄筋案
- ②底鋼板上締め+配力鉄筋案
- ③底鋼板スタッドボルト締め+上下配力鉄筋案

このうち②、③に関して梁の曲げ試験(正曲げ・負曲げ)、輪荷重載荷試験を行い、継手部の耐荷力と割裂破壊に対する抵抗性・輪荷重に対する疲労耐久性を確認できた。これらの継手は実施工に当たっては、実橋の施工条件に応じて適切な構造の選択を行うものとする。

また、実橋への適用に当たっては、プレキャスト合成床版の施工実績が少ないことから、お客様から必要とされる性能確認のための追加実験や、プレキャスト合成床版の製作方法などの課題がある。実橋に適用する場合は条件に応じてこれらの課題に対処していく予定である。

【参考文献】

- 1)水野浩、松井繁之、大西弘志、杉山俊幸、街道浩：床版取替用プレキャスト合成床版の合理化継手の疲労耐久性評価、構造工学論文集Vol.58A、pp.1112-1122、2012.3
- 2)有川ら：端部拡張鉄筋を用いたプレキャストPC床版継手構造の研究、三井住友建設技術研究開発報告、pp.43-48、2016
- 3)日本道路協会：道路橋示方書・同解説、pp.233-234、2017
- 4)高木祐介、小林崇、中村定明：半楕円形状に拡張加工した鉄筋を用いたプレキャストPC床版継手の開発、プレキャ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、2018.11

プレキャストPC床版の橋軸方向接合構造の開発

— VanLoc (バンロック) の開発 —

TAKAGI Yusuke KOBAYASHI Shu IKEGAMI Kotaro
高木 祐介* 小林 崇* 池上 浩太郎*

WAKABAYASHI Yoshiyuki SAITO Kazuya
若林 良幸** 齋藤 和也***

1. はじめに

道路橋の老朽化の問題は、社会に致命的な経済損失を与え、国民生活に支障が生じかねない重大な問題である。輪荷重を直接受ける道路橋RC床版は、交通量の増加や車両の大型化、さらに凍結防止剤散布などの環境の影響を受け、疲労等の劣化が進行している。そのため、高速道路や国道といった経済の大動脈において、RC床版の取替工事が進められており、品質や急速施工の観点からプレキャストPC床版を用いた床版取替工事が実施されている。

床版取替工事では、交通規制を伴うことから施工時間の短縮や、集中工事での人手不足から施工の省人化・省力化が求められている。プレキャストPC床版の橋軸方向接合部は、一般的に橋軸方向鉄筋のループ継手(図-1)が用いられ、幅340mm程度の間詰め部に現場打ちコンクリートが打ち込まれている。また、鉄筋の曲げ加工を回避するため先端を加工した突起定着式鉄筋継手¹⁾など(図-2)も用いられている。しかし、これらの鉄筋継手においては、間詰め部の鉄筋組立や型枠組立、コンクリートの打込みや養生が必要で、施工時間の長期化や作業人員の増員に繋がっている。また、プレキャストPC床版端部からは鉄筋が突出しており、床版架設時に架設

床版の鉄筋と先行床版の鉄筋が干渉し、床版架設時間が安定しないなどの懸念がある。従って、プレキャストPC床版の橋軸方向接合構造の合理化は、床版取替工事の施工時間の短縮や施工の省人化・省力化に対する課題の一つである。

そこでIHIインフラ建設では、急速施工技術として機械式継手「VanLoc(バンロック): Variable Axial-force Network Loc」を開発した(図-3)。プレキャストPC床版に埋め込んだCホルダを接合材であるブリッジで連結し、間詰め部に無収縮モルタルを充填するのみで施工を完了できる。本稿では、VanLocの概要、開発にあたり実施したRC梁による静的曲げ載荷試験、PC床版による静的押抜きせん断載荷試験、輪荷重走行試験、施工確認試験について報告する。

2. VanLocの概要

2-1. VanLocの構成

VanLocは、橋軸方向のアンカーを有する鋼製のCホルダ(写真-1)とブリッジで構成され(図-3)、橋軸直角方向に500mm間隔以内で設置する(図-4)。プレキャストPC床版に埋め込むCホルダには、高強度異形鉄筋であるアンカーD19が上側に2本、D25が下側に2本配置される。接合材であるブリッジは、床

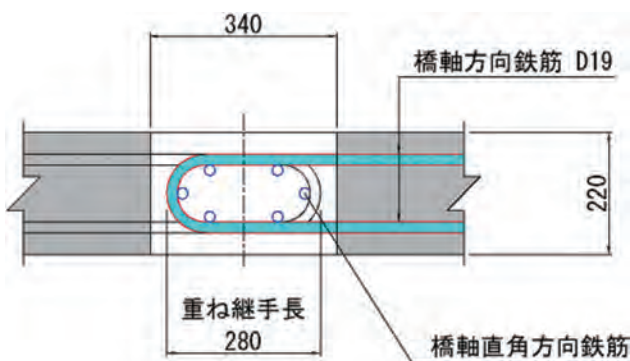


図-1 ループ継手

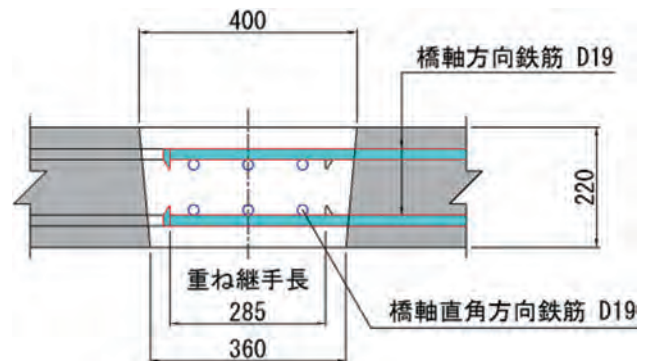


図-2 突起定着式鉄筋継手の例

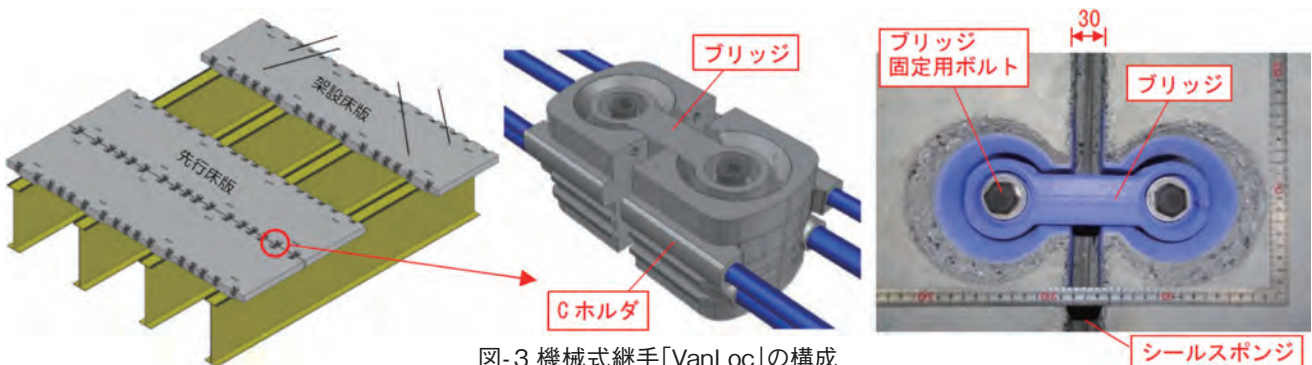


図-3 機械式継手「VanLoc」の構成

* (株)IHIインフラ建設 橋梁事業部 橋梁管理部 技術推進G

** (株)IHIインフラシステム 新事業推進室 DX推進部

*** (株)IHI 社基領域 事業推進部 ライフサイクルビジネスG

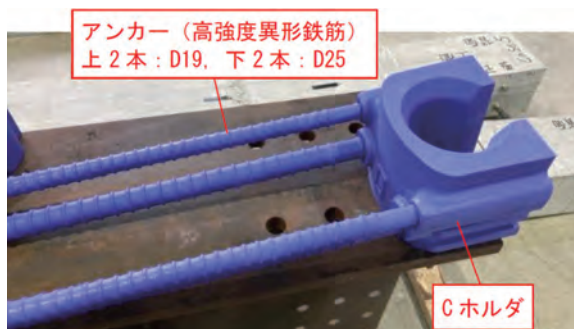
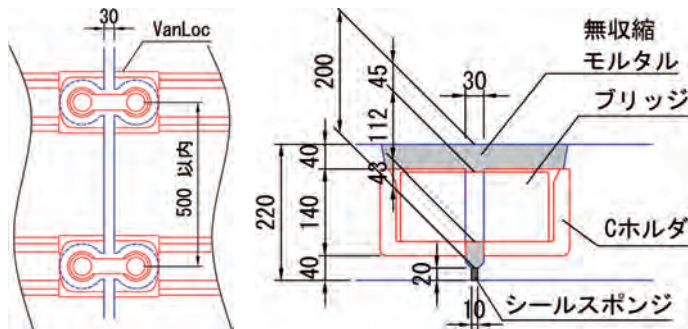


写真-1 Cホルダ



写真-2 無収縮モルタル充填後



(a) 平面図
(b) 側面図
図-4 接合部詳細



図-5 架設用部材「逆キノコッタ」による架設床版の引き寄せ

版架設時に固定用ボルトによってCホルダに固定する。なおブリッジは、向かい合うCホルダの橋軸方向、橋軸直角方向、高さ方向のずれ $\pm 5\text{mm}$ を許容して設置可能である。間詰め幅は30mm、床版下部は突起形状で、高さ20mmのシールスポンジを設置し、間詰めには設計基準強度 $50\text{N}/\text{mm}^2$ の無収縮モルタルを充填する。無収縮モルタル充填後の状況を写真-2に示す。

VanLocにて接合するプレキャストPC床版の床版厚は、NEXCO設計要領第二集[橋梁保全編]²⁾から標準床版厚の220mmとした。鋼橋のRC床版の最小全厚は、道路橋示方書・同解説Ⅱ³⁾から床版の支間方向が車両進行方向に直角な連続版で、支間3.6mまでは220mm以下となる。そこで、VanLocは床版支間3.6m以下での使用を標準とした。

2-2. VanLocの特長

VanLocの主な特長を以下に記載する。

- 間詰め部の型枠・鉄筋組立が不要。
シールスポンジにより底板型枠が不要、鉄筋が不要である。
- コンクリートの打込みが不要。
間詰め部には、無収縮モルタルを充填する。
- PC床版枚数の削減が可能。
従来のループ継手のような鉄筋の突出がなく、運搬時2.5m以内の制約を受ける床版幅をループ継手のものよりも長くすることができ、床版割付幅を最大で280mm程度長くすることが可能である。
- 従来のループ継手と比較し、工期短縮が可能。
上記効果により、橋長 $L=171\text{m}$ 、鋼4径間連続鈑桁橋での検討において、工期40日間(実績)を10%短縮(4日間短縮)可能である。
- 先行床版の位置に合わせ架設床版を引き寄せ可能。
クサビ形状の架設用部材「逆キノコッタ」を中央のTボルトによりボルト締めすることにより、架設床版を先行床版

表-1 ブリッジ・アンカー材料(SCM435H)の機械的性質

項目	降伏点又は0.2%耐力(N/mm^2)	引張強さ(N/mm^2)	伸び(%)	焼入硬さ(HRC)
管理値	785以上	930以上	15以上	距離13mm 39 ~ 53

表-2 Cホルダ(FCD700-2)の機械的性質

項目	降伏点又は0.2%耐力(N/mm^2)	引張強さ(N/mm^2)	伸び(%)	焼入硬さ(HB)
管理値	420以上	700以上	2以上	180 ~ 300

に合わせて引き寄せ可能である(図-5)。なお、逆キノコッタは、架設用であり、これ以降に記載する試験については、ブリッジで接合したものである。

- 従来のループ継手と同等の耐荷性および疲労耐久性。
床版支間3.6mで設計したRC断面と同等以上の曲げ耐荷力を有する。
ループ継手により接合したPC床版と同等の剛性および押抜きせん断耐荷力を有する。
耐用年数100年以上の疲労耐久性を有する。
これらは、以降の試験にて確認した。

2-3. VanLocの使用材料

ブリッジおよびアンカーは鍛造とし、材質はクロムモリブデン鋼SCM435H(適用規格JIS G 4052)とした。SCM435Hの機械的性質の管理値を表-1に示す。また、Cホルダは鍛造とし、材質は球状黒鉛鋳鉄FCD700-2(JIS G 5502)とした。FCD700-2の機械的性質の管理値を表-2に示す。エポキシ樹脂塗装には、エポキシ樹脂塗装鉄筋用塗料の品質規格(JSCE-E104)およびエポキシ樹脂塗装鉄筋補修用塗料の

品質規格(JSCE-E105)を満たす高付着型のエポキシ樹脂を使用した。接合部に充填する無収縮モルタルの設計基準強度は50N/mm²とし、プレキャストPC床版のコンクリートと同等とした。

3. RC梁による静的曲げ载荷試験

3-1. 試験目的

本試験の試験目的を以下に示す。

- VanLocで接合したRC梁が、床版支間3.6mで設計したプレキャストPC床版のRC断面(D19ctc125mm)と同等以上の曲げ耐力を有することを確認(曲げ耐力:RC断面の最外縁の圧縮コンクリートが終局ひずみ 3500×10^{-6} に達するに達する破壊抵抗曲げモーメント)
- 下側アンカーの突出長を橋軸方向鉄筋D19の道路橋示方書・同解説Ⅲ⁴⁾(以下、道示Ⅲ)による鉄筋継手長 $25\phi = 475\text{mm}$ とすることにより、橋軸方向鉄筋に引張力が伝達されることを確認
- 接合部中央のブリッジ断面、アンカー基部位置のアンカー断面の荷重抵抗機構の確認

3-2. 試験概要

試験体の配筋図と载荷位置を図-6に示す。試験は、载荷間隔0.6mの2点载荷、支間2.5mとし、接合部が等曲げモーメント区間の支間中央部に位置するものとした。試験体の寸法は、橋軸方向3.0m、橋軸直角方向1.0mとした。試験体の高さは、床版厚の220mmとした。プレキャスト床版部には、橋軸方向の上下にD19(SD345)を125mm間隔の鉄筋量となるよう配置した。また、プレキャスト床版の橋軸直角方向には、通常、プレテンションPC鋼材と鉄筋が配置されるが、本試験において橋軸直角方向の影響が小さいと考え、橋軸直角方向の上下には配力鉄筋としてD16(SD345)を125mm間隔で配置した。

3-3. 試験結果

(1) 荷重-変位関係

荷重と支間中央位置での鉛直変位の関係を図-7に示す。図中には、設計基準強度を用いたRC梁の鉄筋断面にて計算した、鉄筋曲げ引張応力度120N/mm²相当荷重である設計荷重75kN、鉄筋降伏荷重240kN、破壊抵抗曲げモーメント相当荷重295kNの荷重位置を示した。破壊形態は、上縁コンクリートの圧縮破壊であり、最大荷重は338.4kN、破壊抵抗曲げモーメント相当荷重295kN以上であることを確認した。

(2) 下側アンカーによる引張力の伝達

下側アンカーによる引張力の伝達の検討として、鉄筋降伏荷重240kNにおいて、下側アンカーと下側橋軸方向鉄筋のひずみ分布を確認した。横軸を打継目からの距離、縦軸を下側アンカーと橋軸方向鉄筋のひずみとしたグラフを図-8に示す。図中には、鉄筋コンクリート断面計算(以下、RC断面計算)によるひずみの計算値、図-9の3次元非線形FEM解析によるひずみの解析値を示した。実験において、アンカー基部の引張ひずみは先端に向かい0となっている。一方、橋軸方向鉄筋の引張ひずみは、アンカーの先端に向かうにつれ増大しており、鉄筋継手長 $25\phi = 475\text{mm}$ により引張力が鉄筋に伝達されて

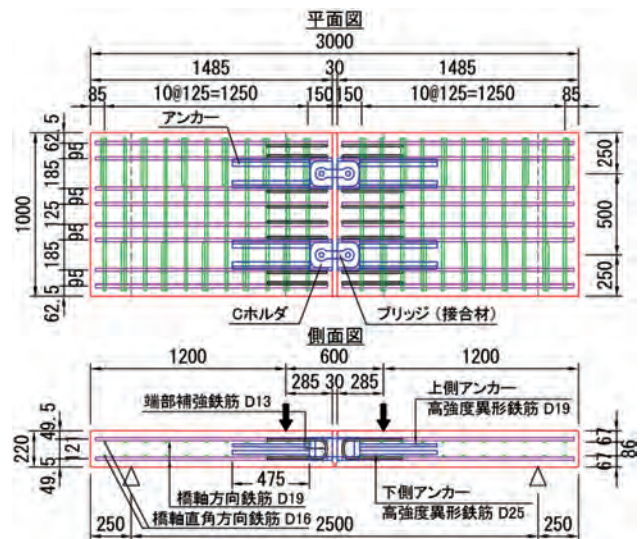


図-6 試験体配筋図および载荷位置

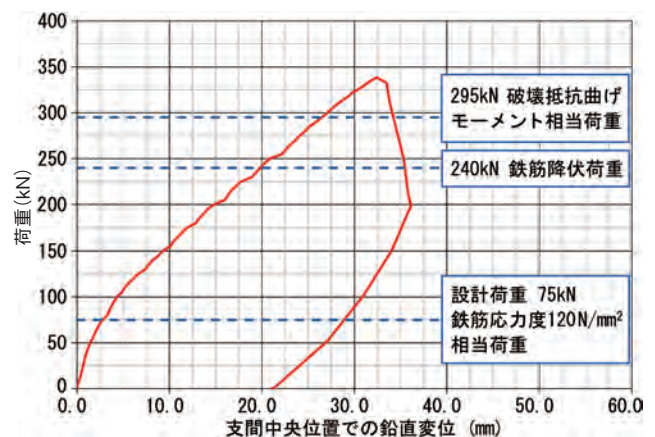


図-7 試験体配筋図および载荷位置

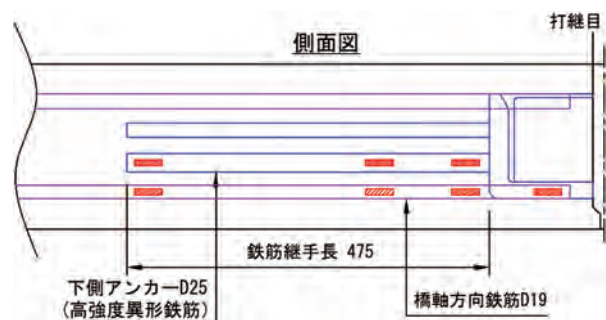
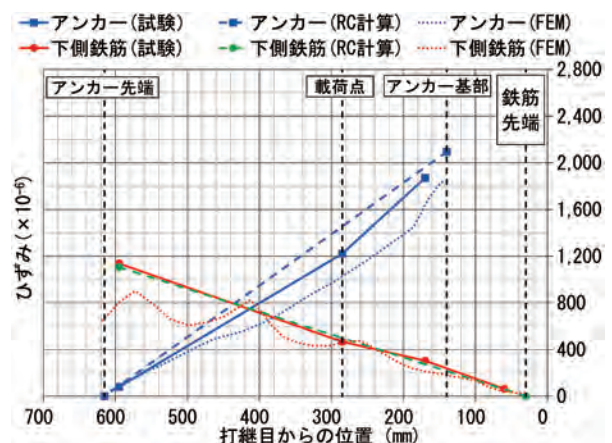


図-8 試験体配筋図および载荷位置

いることを確認した。実験のひずみは、RC断面計算およびFEM解析と同等の値を示した。

(3)ブリッジ断面およびアンカー 断面の荷重抵抗

接合部中央のブリッジ断面のひずみ分布を確認した。鉄筋降伏荷重240kN時のひずみ分布を図-10に示す。ブリッジが引張力に抵抗し、モルタルが圧縮力に抵抗すること、鉄筋コンクリート断面と同様に平面保持が成立していることが確認された。そして、ブリッジを分割した鉄筋とみなしたRC断面計算と同等であり、ブリッジ断面はRC断面計算により設計可能であることが明らかとなった。

また、アンカーの引張ひずみが最も大きいアンカーの基部のアンカーおよびコンクリート上縁のひずみ分布を確認した。鉄筋降伏荷重240kN時のひずみ分布を図-11に示す。鉄筋コンクリート断面と同様に平面保持が成立し、コンクリートが圧縮力に、アンカーが引張力に抵抗していることを確認した。また、RC断面計算値と同等でRC断面計算により設計可能であることが明らかとなった。

3-4. 静的曲げ載荷試験のまとめ

VanLocにより接合したRC梁が、床版支間3.6mで設計したRC断面(D19ctc125mm)と同等以上の曲げ耐荷力を有することを確認した。また、アンカーによって橋軸方向鉄筋に引張力が伝達され、アンカーの突出長として鉄筋継手長 $25\phi=475\text{mm}$ が妥当であることを確認した。さらに、ブリッジ断面およびアンカー断面は、鉄筋コンクリート断面と同様に平面保持が成立し、RC断面計算により設計可能であることを確認した。

4. PC床版による静的押抜きせん断載荷試験

4-1. 試験目的

本試験では、VanLocにより接合したプレキャストPC床版の耐荷性を検討するため、T荷重を載荷面(200×500mm)とするPC床版の静的押抜きせん断載荷試験を実施した。試験は、接合のないプレキャストPC床版(以下、PC床版単体)および一般的な接合方法であるループ継手により接合したプレキャストPC床版(以下、ループ継手)と比較し、VanLocにより接合したプレキャストPC床版の剛性および押抜きせん断耐荷力を確認することを目的とした。

4-2. 試験概要

試験体は、PC床版単体、ループ継手、VanLocを2種類(以下、VanLoc間載荷、VanLoc上載荷)の計4種類とした。試験体の概要図と載荷位置を図-12に示す。なお、VanLoc間載荷のVanLocは開発段階のもので2.のVanLoc(VanLoc上載荷のVanLoc)より寸法が小さい。

載荷面の寸法はT荷重(200×500mm)とし、載荷位置は、せん断力が最大となる載荷端を打継目とした場合が最も打継目に対し厳しい載荷と考え、この載荷位置とした。試験体寸法や床版支間は、NEXCO試験方法⁵⁾にて試験法442「プレキャストPC床版接合部の疲労耐久性試験方法」の輪荷重走行試験と同様とし、橋軸方向4,500mm、橋軸直角方向2,800mm、標準部の厚さ220mm、支点部の厚さ270mmと

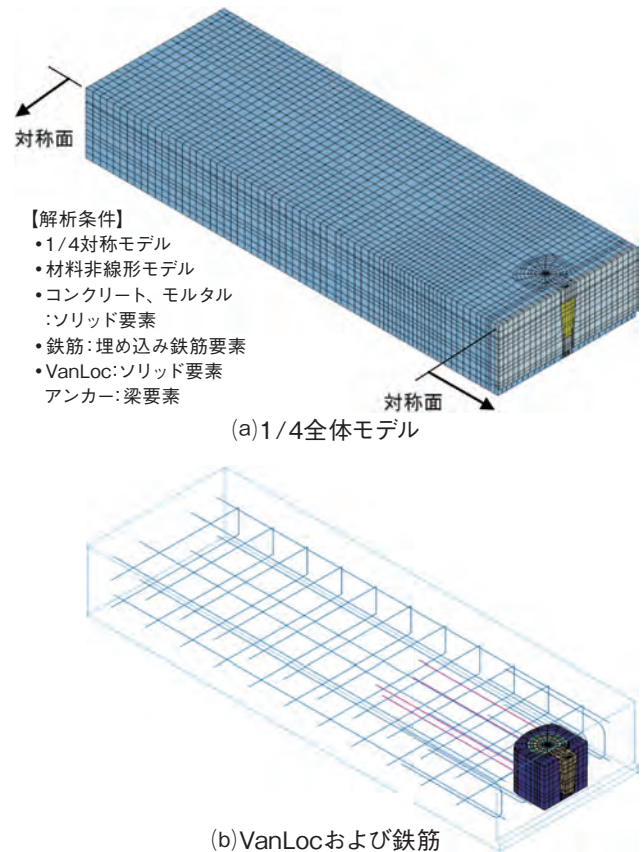


図-9 3次元非線形FEM解析モデル

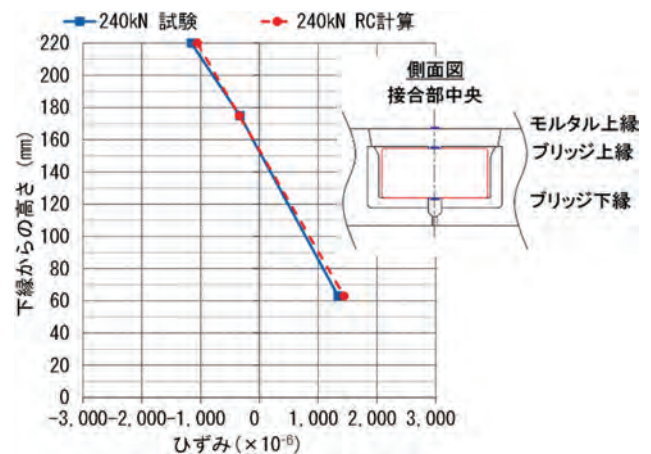


図-10 ブリッジ断面のひずみ分布

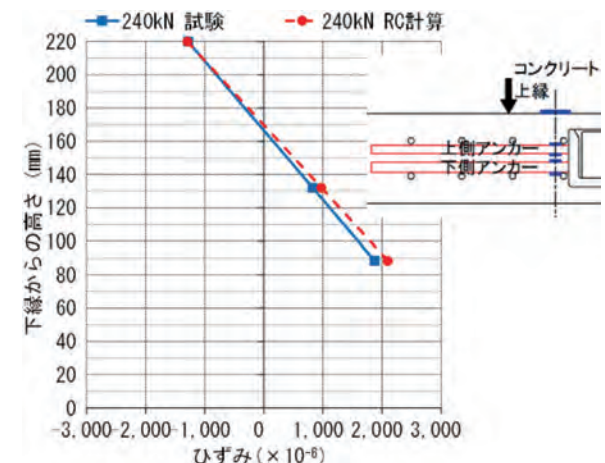


図-11 アンカー 断面のひずみ分布

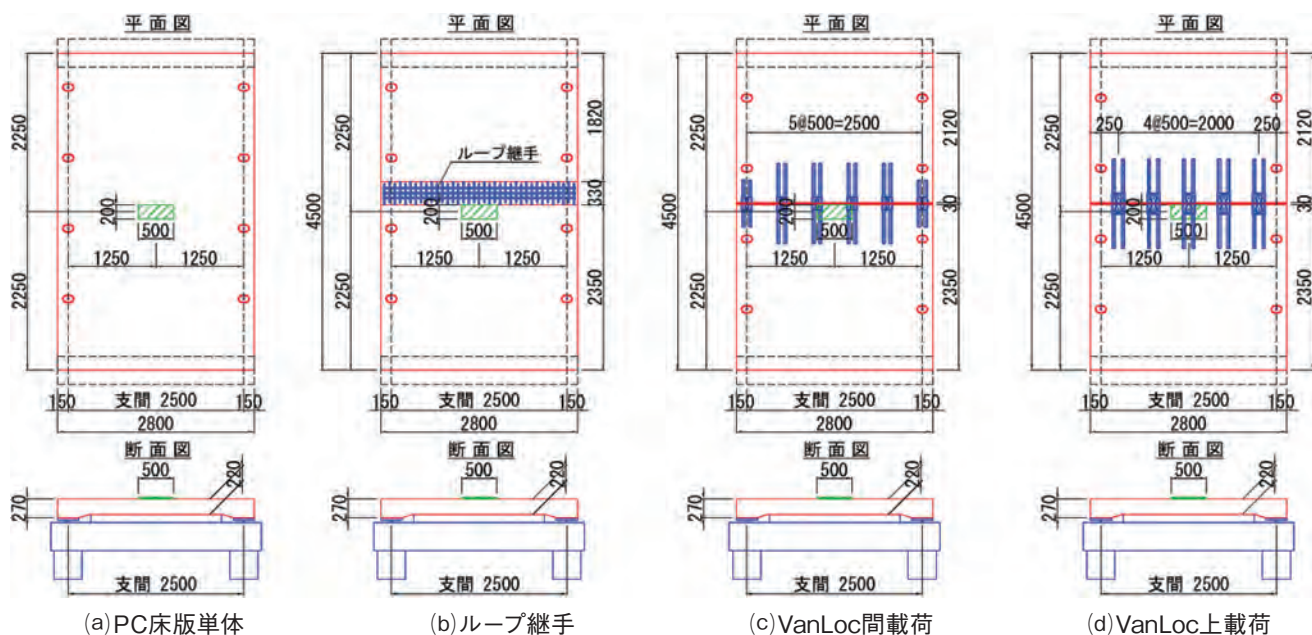


図-12 床版試験体と載荷位置

した。試験体は、橋軸直角方向に支間2.5mで単純支持し、床版支間2.5mの単純版と同等の発生曲げモーメントとなる床版支間3.2mの連続版として設計した。橋軸方向は、試験体端部の横梁によって弾性支持した。

実橋と同様にエポキシ樹脂塗装した鉄筋(SD345)は、接合方向である橋軸方向の上下にD19c150mmを基本配置し、床版支間方向の橋軸直角方向の上下にD13を配置した。PC床版の橋軸直角方向のプレストレスは、端部からの付着伝達が影響するプレテンション方式でなく、PC鋼棒φ23(SBPR930/1180)またはφ17によるポストテンション方式により導入し、下縁の有効プレストレスは約4N/mm²とした。支点部には、ジベル孔を設け、スタッド(φ19×150mm)付き銅板(12×300×4,500mm)を接着させ、実物に近い状態とした。PC床版のコンクリートは、設計基準強度50N/mm²の早強ポルトランドセメントを使用したコンクリートとし、ジベル孔には、収縮補償程度の膨張材を添加した設計基準強度50N/mm²の膨張コンクリートを充填した。VanLocは、2枚のPC床版を接合し、幅30mmの接合部には設計基準強度50N/mm²の無収縮モルタルを充填した。ループ継手は、2枚のPC床版を幅330mmで接合し、接合部にはジベル孔と同様の膨張コンクリートを充填した。

載荷方法は、100kNまでの載荷・除荷を3回繰返し後、破壊まで単調載荷した。試験状況を写真-3に示す。

4-3. 試験結果

(1) 荷重-変位関係

各試験体の荷重と試験体中央の鉛直変位の関係を図-13に示す。図に示した橋軸方向設計曲げモーメント相当荷重160kNは、道示Ⅲの耐荷性能(限界状態Ⅲ)の橋軸方向設計曲げモーメントM_Ⅲ床版支間3.2m、連続版、荷重組合せ1.25L(L:活荷重)に相当する荷重(以下、設計荷重)である。

すべての試験体は、押抜きせん断破壊に至った。各試験体の押抜きせん断耐荷力とPC床版単体に対する比率を表-3に示す。



写真-3 載荷状況

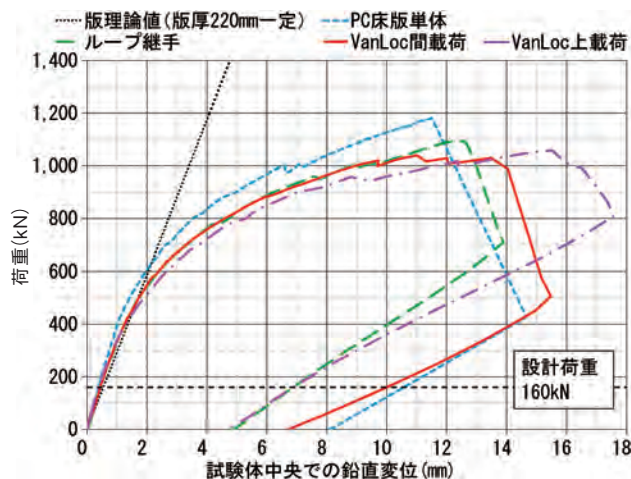


図-13 荷重と試験体中央の鉛直変位の関係

表-3 押抜きせん断耐荷力

試験体	最大荷重(kN)	PC床版単体に対する比率
PC床版単体	1180	1.00
ループ継手	1094	0.93
VanLoc間載荷	1039	0.88
VanLoc上載荷	1058	0.90

各試験体ともに下面にひび割れが発生し始めた400kN付近までの鉛直変位の変化は直線的で、版理論値と同程度の鉛直変位を示した。ただし、試験体の支点の床版厚が270mmに対し、版理論値は床版厚220mm一定で計算しているため、鉛直変位は若干小さくなっている。VanLoc両試験体の鉛直変位は、設計荷重160kNでは、PC床版単体やループ継手と同等であった。また、荷重が増加するにつれPC床版単体の鉛直変位よりも大きい傾向ではあったが、最大荷重の手前の1,000kN付近までループ継手の鉛直変位と同等であった。押抜きせん断耐力は、PC床版単体よりも1割程度小さい結果ではあったが、ループ継手と同等であった。

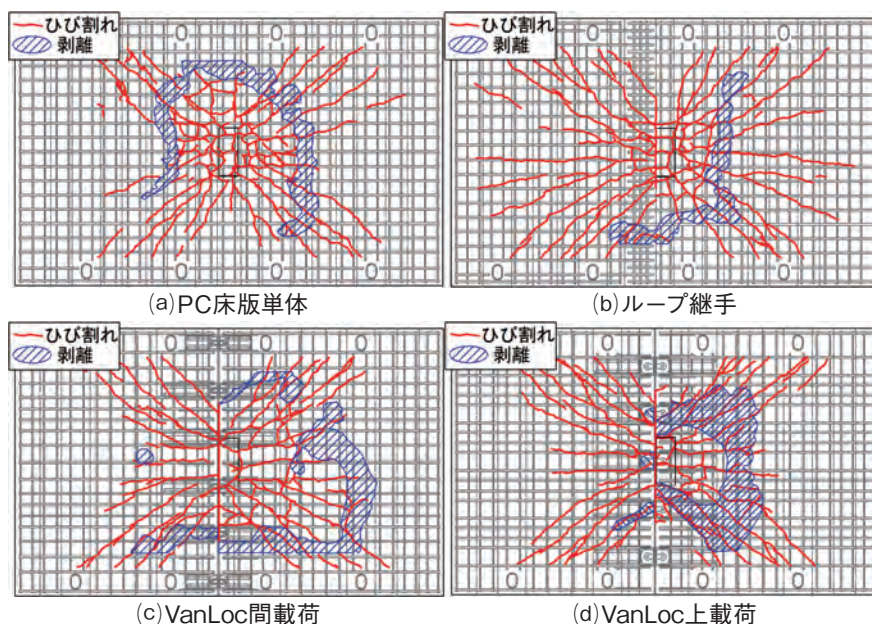


図-14 床版下面のひび割れ図

(2) 床版下面のひび割れ

試験後の試験体下面のコンクリートのひび割れおよび剥離を図-14に示す。VanLoc両試験体の下面には、PC床版単体やループ継手同様に載荷面を中心に接合部を跨いだ床版側にも放射状のひび割れが発生しており、ほぼ破壊までプレキャストPC床版の一体性があつたと考えられる。VanLoc両試験体がループ継手よりもひび割れ範囲が狭くなったのは、VanLocのアンカーにより、ループ継手よりも載荷面の両側の曲げ剛性が大きく、変形のおよぶ範囲が狭くなったためと推察される。

4-4. 静的押抜きせん断耐力試験のまとめ

VanLocにより接合したプレキャストPC床版の剛性および押抜きせん断耐力は、ループ継手により接合したプレキャストPC床版と同等であることを確認した。

5. 輪荷重走行試験

5-1. 試験目的

本試験では、NEXCO試験方法⁵⁾の試験法442「プレキャストPC床版接合部の疲労耐久性試験方法」による輪荷重走行試験を実施し、VanLocにより接合したプレキャストPC床版の耐用年数100年相当の疲労耐久性を確認した。また、NEXCO試験方法後、階段状荷重漸増載荷し、最大荷重・走行回数・破壊位置を確認した。

5-2. 試験概要

(1) 試験体と走行位置

試験体は、4-2.のPC床版と同様の鋼材配置とした。試験体の輪荷重載荷範囲を図-15に示す。VanLocは、橋軸直角方向に500mm間隔で配置するため、床版は接合部に引張抵抗材のない区間を有しており、この区間で段差や打継目の目開きを生じた場合に疲労耐久性の低下が懸念される。

そこで本試験では、接合部の段差および目開きの疲労耐久性への影響の確認を主眼に置き、載荷は載荷中心線がVanLoc間の中央となるように載荷した。

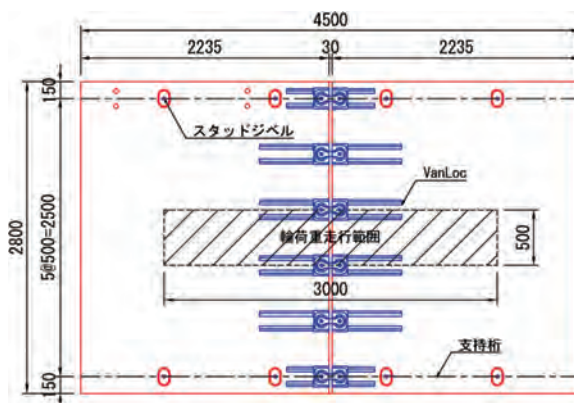


図-15 輪荷重載荷範囲

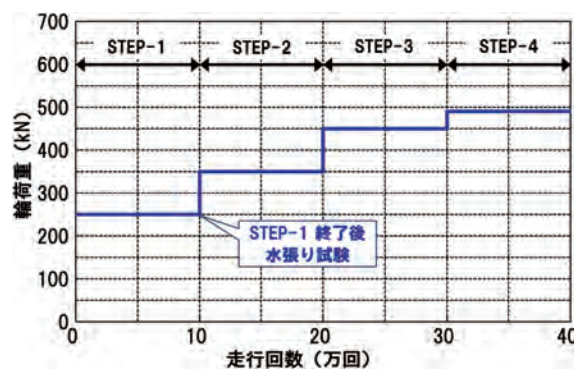


図-16 載荷ステップ



写真-4 水張り試験

(2) 載荷ステップ

載荷荷重は、NEXCO設計要領第二集[橋梁保全編]の耐用年数100年相当の載荷荷重例を適用し、初期荷重を250kNとして行い、10万回走行させた時点(STEP-1)で床版中央の幅2.0m×長さ1.0mの範囲に深さ5mmで水を張り、6時間保持後に床版下面への漏水の有無を確認した。その後、3日程度床版の乾燥期間を取り、荷重を350kNとして10万回(総数20万回)、450kNとして10万回(総数30万回)まで走行を行い、その後490kNで破壊に至るまで走行を継続した。載荷ステップを図-16に、水張試験の状況を写真-4に示す。

5-3. 試験結果

(1) STEP-1: NEXCO試験方法

輪荷重の載荷端を打継目位置に載荷したSTEP-1荷重250kN 10万回走行までの橋軸方向のたわみ分布を図-17に示す。たわみは連続的であり、十分な一体性があると考えられる。また、水張試験による床版下面の漏水はなく、VanLocで接合したPC床版は耐用年数100年相当の疲労耐久性を有することを確認した。

(2) STEP-2～STEP-4: 破壊まで

破壊までの支間中央のたわみの推移を図-18に示す。試験体は、STEP-4の最大荷重490kN、総走行回数303,782回で押し抜きせん断破壊に至り、過去に同じ載荷ステップで走行試験を実施した突起定着式鉄筋継手¹⁾と同最大荷重で、同程度の走行回数での破壊であることを確認した。

また、破壊後の床版上面および床版下面のひび割れ状況を図-19および図-20に示す。破壊は、床版一般部で押抜きせん断破壊に至り、疲労によって接合部が床版一般部よりも先に破壊しないことを確認した。

5-4. 輪荷重走行試験のまとめ

VanLocにより接合したプレキャストPC床版は、耐用年数100年相当の疲労耐久性を有することを確認した。また、押し抜きせん断破壊位置は床版一般部で、疲労によって接合部が床版一般部よりも先に破壊しないことを確認した。

6. 施工確認試験

6-1. 試験目的

実物大サイズとして全幅9,750mm×長さ2,450mm×床版厚220mmのプレキャストPC床版を製作し、施工確認試験を実施した。主な試験目的を以下に記載する。

- ・ 架設部材である逆キノコッタによる架設床版の引き寄せ機能の確認
- ・ VanLocにより施工可能な縦断・横断勾配の確認

6-2. 試験概要

3枚のプレキャストPC床版を製作し(写真-5)、4主桁の架台にクレーンでプレキャストPC床版を架設した。施工試の設置、逆キノコッタの撤去、ブリッジによる床版同士の接合までとした。縦断・横断勾配は、標準勾配として各2%で実施後、急勾配として各8%で実施した。(写真-6)

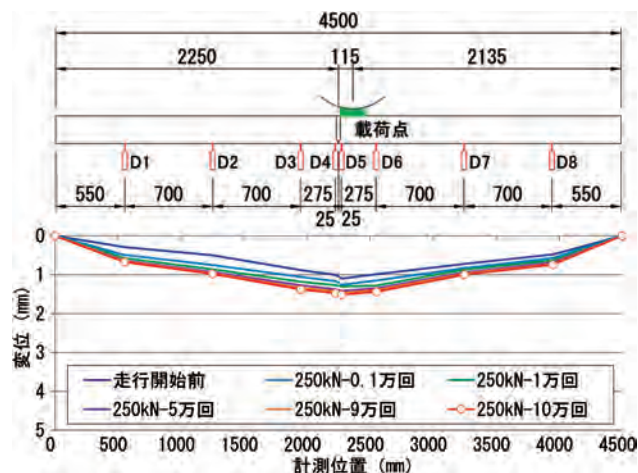


図-17 橋軸方向のたわみ分布

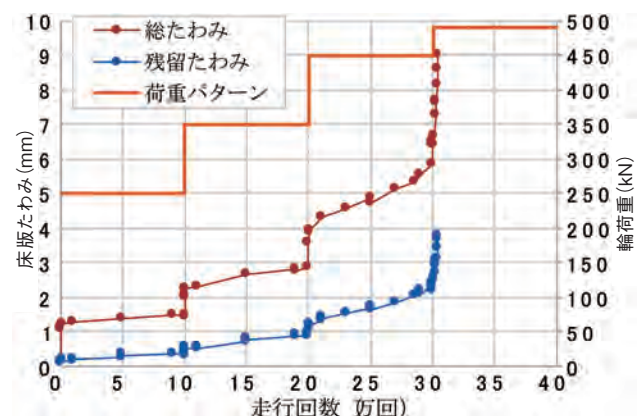


図-18 支間中央のたわみの推移

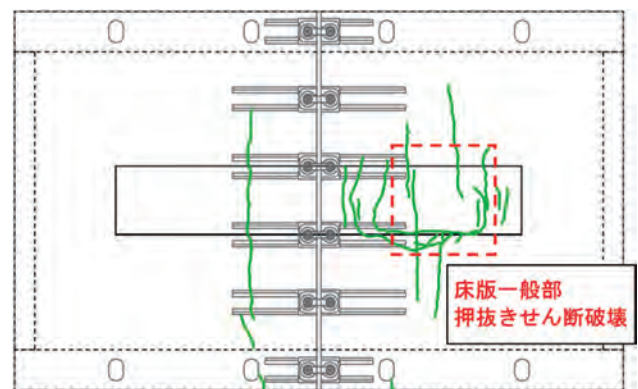


図-19 床版上面のひび割れ

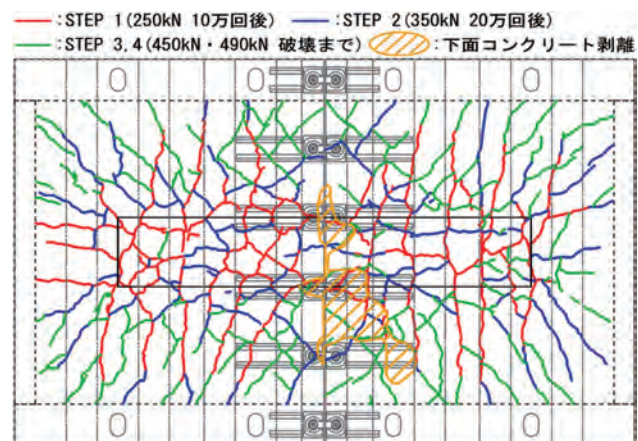


図-20 床版下面のひび割れ



写真-5 床版製作



写真-6 縦断・横断勾配8%状況



写真-7 クレーンによる床版架設



写真-8 架設床版の引き寄せ



写真-9 ブリッジによる接合



写真-10 接合完了

6-3. 試験状況および試験結果

クレーンによる床版架設状況を写真-7に、逆キノコッタによる架設床版の引き寄せ状況を写真-8に示す。逆キノコッタは、床版の両端付近で1個ずつ使用し、床版を間詰め幅30mmの位置まで引き寄せた。縦断・横断勾配2%および8%ともに架設床版を引き寄せ可能であることを確認した。また、逆キノコッタを撤去後のブリッジによる接合状況を写真-9に、床版の接合完了状況を写真-10に示す。ブリッジによる接合は、勾配8%でも問題ないことを確認した。

本試験において、「床版の吊上げ」から「高さ調整ボルトによる床版の高さ調整」までの床版の架設時間は約15分/枚であり、一般的なループ継手を有する床版の架設と同程度であった。しかしながら、VanLocを活用することにより、床版設置時におけるループ鉄筋同士の干渉のリスクがなくなる。また本試験で、ブリッジによる接合が容易であることを確認した。VanLocの残す施工は、無収縮モルタルを充填するのみであるため、ループ継手の間詰め部の施工(型枠組立、鉄筋組立、コンクリートの打込み)に対し、施工時間の短縮、施工の省人化・省力化が図られると考えられる。

7. まとめ

本稿では、VanLocの開発にあたり、RC梁による静的曲げ載荷試験、PC床版による静的押抜きせん断載荷試験、輪荷重走行試験、施工確認試験を実施し、主に以下の事項を明らかにした。

- (1)接合部は、床版支間3.6mで設計した鉄筋コンクリート断面と同等以上の曲げ耐荷力を有する。
- (2)接合部の引張力は、接合材であるブリッジ、Cホルダーを介し、鉄筋継手長を確保した下側アンカーによって橋軸方向鉄筋に伝達されていることが明らかとなった。

(3)ブリッジ断面およびアンカー断面は、鉄筋コンクリート断面と同様に平面保持が成立し、RC断面計算により設計可能である。

(4)VanLocにより接合したプレキャストPC床版の剛性および押抜きせん断耐荷力は、ループ継手により接合したプレキャストPC床版と同等である。

(5)VanLocにより接合したプレキャストPC床版は、耐用年数100年相当の疲労耐久性を有する。疲労によって接合部より先にプレキャストPC床版の一般部が破壊する。

(6)縦断・横断勾配2%の標準的な勾配だけでなく8%の急勾配においても、VanLoc特有の施工である架設床版の引き寄せやブリッジによる接合が可能である。

本開発は、(株)NejiLawと共同で実施したものであり、道脇社長ならびに関係各位に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1)高木祐介、小林崇、中村定明：半楕円形状に拡張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、2018.10
- 2)東・中・西日本高速道路(株)：設計要領第二集[橋梁保全編]、2020.7
- 3)公益社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋・鋼部材編、2017.11
- 4)公益社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編、2017.11
- 5)東・中・西日本高速道路(株)：NEXCO試験方法 第4編 構造関係試験方法、pp.91-94、2020.7

鋼上路トラス橋におけるブレース材の耐震補強に関する検討

— 合理的な耐震補強に向けての取り組み —

YAMADA Tadanobu
山田 忠信*

1. はじめに

我が国の道路を構成する橋、トンネル等のインフラストックは、1970年以降の高度経済成長期に集中的に整備された。今後、建設後50年以上経過するインフラの割合が加速的に増加する見込みである。また、日本列島は多くのプレート境界と活断層が分布しているため、地震が発生しやすい国土条件にある。兵庫県南部地震でマグニチュード7.3の地震が発生し、人的被害は死者・行方不明者を合わせ6,437人、負傷者43,792人に上り、住家被害は約250,000棟という極めて甚大な被害を受け¹⁾、設計地震力の見直しが行われた。現在、南海トラフ地震、首都直下地震や日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震といった大規模地震の発生確率が高まっている状況で、リスクマネジメントの観点からもインフラストックの耐震補強、老朽化対策は重要な課題である。

兵庫県南部地震以前の設計で想定された地震力は標準設計震度0.2(震度法レベル)の大きさであった²⁾。それらの地震により設計された下部構造や上部構造は、兵庫県南部地震で、橋脚の倒壊や橋梁の落橋等の甚大な被害を被った。これを契機に道路橋示方書³⁾では、設計地震力および耐震設計法が見直されて、兵庫県南部地震のような巨大地震を想定した地震動(レベル2地震動)が耐震設計に加えられた。さらに、地震時の挙動が複雑な橋は動的解析を用いる照査法で耐震設計を行うことになった。

近年、土木学会から、数多くの研究成果が反映された「鋼・合成構造標準示方書[耐震設計編]2018年制定」⁴⁾(以下、「学会示方書」と呼ぶ)が発刊された。この学会示方書では、鋼上路トラス橋や鋼上路アーチ橋の対傾構(ブレース材)に着目した解析モデル、耐震照査法が提示されているが、鋼トラス橋(写真-1)や鋼アーチ橋(写真-2)は多くの部材で構成され、高次の不静定構造物であることから、ブレース材および横構などの二次部材のモデル化や照査方法に関する検討が十分に進んでいるとはいえない。

現在、高速道路等において鋼橋の耐震補強工事が進んでいる。兵庫県南部地震以前に建設された橋梁は、当時の設計地震力(震度法レベル)以上の大きなレベル2地震動を作用させると、当然、耐震設計上、損傷する可能性が大きく照査を満足しない結果となる。特に、上路式の鋼アーチ橋や鋼トラス橋は、上部に重い鉄筋コンクリート床版がありトップヘビーな構造であるので、橋軸直角方向にレベル2地震動を受けると揺れやすく、支柱やブレース材が塑性化しやすい傾向にある。道路橋示方書⁵⁾の耐震設計に従って、このブレース材を弾性範囲に止めるためには、免震支承や制震ダンパーなどの

免震・制震デバイスの他、当て板補強や部材取替えを行うことになる。しかし、当て板補強や部材取り換えの場合、一般的に補強後の剛性が高くなるため地震動による応答値も大きくなり、ブレース材だけでなく、その接合部や周囲の部材および支承まで補強範囲が広がり、結果的に大規模な補強が必要になることもある。

著者らは、設計でブレース材の塑性化を許容させることを目的に、鋼トラス橋や鋼アーチ橋の約1/2 供試体の支点上ブレース材を含む構面(以下、ブレース材パネルと称す)を対象にした繰返し載荷実験を実施して、繰返し荷重下における終局挙動を明らかにしてきた⁶⁾⁷⁾。嶋口らは実験結果を精度よく解析で再現できることを示している⁶⁾。更に、繰返し載荷実験により鋼製橋脚に見られるような紡錘形の履歴ループを描いていることから、ブレース材パネル全体として一定のエネルギー吸収を期待できる可能性を得た。著者らは、ガセットプレート⁸⁾の所要板厚が不足している場合の実験を行い、ガセットプレートの破壊状態を検証した⁷⁾。このような破壊が先行すると地震時の終局挙動を地震応答解析で評価できなくなり、部材と接合部の双方の耐力のバランスが重要であることを指摘した。また、馬越らは、従来から用いられているファ



写真-1 単純上路トラス橋(道路公園：南田原井橋)



写真-2 上路アーチ橋(道路公園：皆瀬川橋)

(写真-1、2：日本橋梁建設協会ホームページより)

* (株)IHIインフラシステム 橋梁技術本部

イバー要素を用いた弾塑性有限変位解析により、塑性化を許容した合理的な耐震補強設計法を提案している⁸⁾。

近年、2050年に向けてのカーボンニュートラルの実現が課題となっている。合理的な耐震検討ができれば、施工コストの削減のみならず、建設プロセスにおける材料の生産・輸送・施工などの工程での温室効果ガス排出量を減すことが可能になると考える。

本論文では、2章で既往のブレース材の研究と著者らが行った実験について述べる。3章、4章および5章では、対象とした鋼上路トラス橋の補強前の地震応答解析、当て板補方法、当て板補強後の地震応答解析について述べ、弾性設計を基本にした当て板補強の課題を考察し⁹⁾、塑性化を許容した設計の必要性を述べる。

2. ブレース材に関する実験

2-1. 既往の研究

ブレース材についての研究として、まず、建築分野において、柴田・若林らは全体座屈を伴うブレース材の時刻歴応答解析に使用するための座屈履歴モデルを提案している¹⁰⁾¹¹⁾。その後、実際のブレース材による繰り返し載荷実験(図-1)と有限要素法解析によって履歴モデルおよび履歴則の係数が見直され、鋼構造建築物のブレース材として、広範囲の細長比ならびにピン接合、剛接合、半剛接合といった端部結合条件への対応が可能な修正柴田・若林モデルが開発されている¹²⁾¹³⁾。しかし、文献12)で対象としたブレース材は鋼建築物に用いるものであり、鋼橋に用いるようなブレース材を対象としていないため、そのまま鋼橋に用いることができない。また、修正柴田・若林モデルは全体座屈が先行して起こるブレース材のみに適応でき、長大橋梁に用いられるような大型のブレース材は局部座屈が先行して起こる可能性も考えられるため、全ての土木構造物のブレース材に適応できるとは限らない。さらに修正柴田・若林モデルを用いた解析ではポストピーク以降の履歴特性の有効性が示されているが、これは単一部材の解析であるため、ブレース材を含めたパネルの実験結果との同定が必要である。

次に、土木分野においては、宇佐美らが比較的小規模ながらブレース材を組み上げたトラス構造にて繰り返し載荷実験(図-2)を行い¹⁴⁾、ブレース材の挙動の解明およびモデル化の提案を行っている¹⁵⁾¹⁶⁾。しかし、文献14)の供試体構造は、平面トラス構造ではあるが、座屈拘束ブレース材に着目した実験であったため、接合部のプロポーションが実際の構造となっておらず、部材の終局挙動のみに着目した実験となっている。

これらの実験に対して著者らが実施した実験は、実際の鋼トラス橋および鋼アーチ橋を対象にして、接合部を含めた大型のブレース材パネルの実験であり、土木分野においては初めての試みであるといえる。

2-2. 上路トラス橋の端支点ブレース材パネルの実験

(1)概要

実験は愛知工業大学の耐震実験センターで行った。実験で用いた供試体は対象とした橋梁の実物大の約1/2の大きさである。本実験では接合部の挙動も正確に確認することを目的

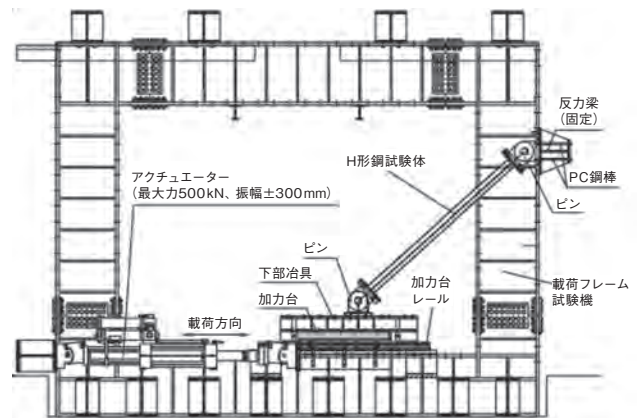


図-1実験セットアップおよび関連装置概要¹²⁾

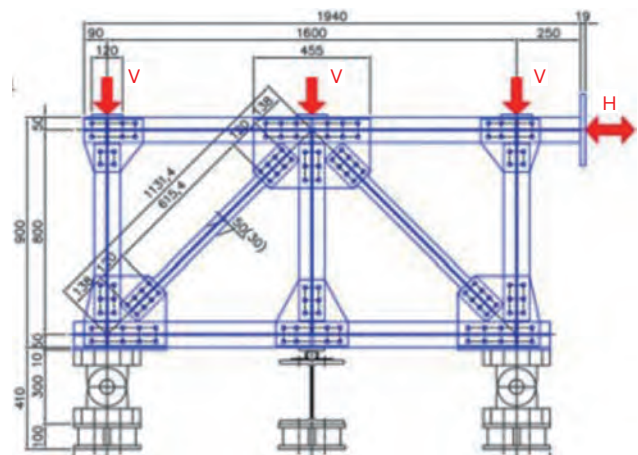


図-2 剛結平面トラス構造¹⁴⁾

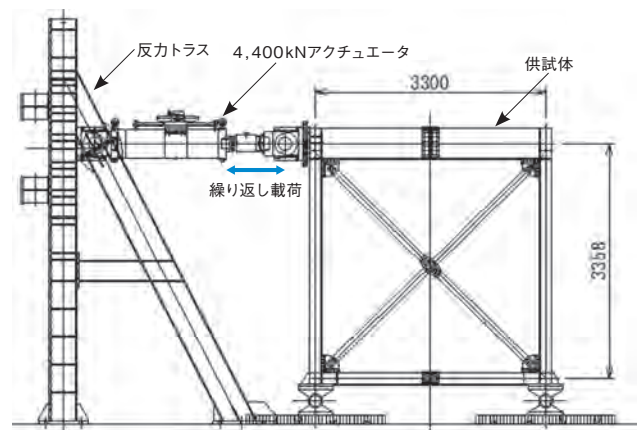
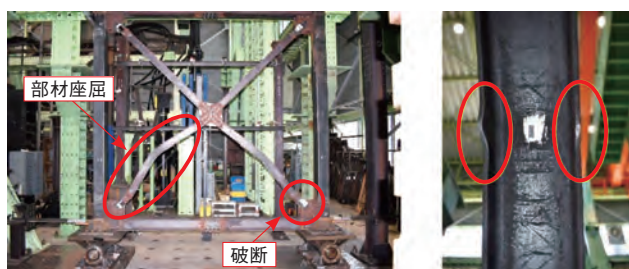


図-3 鋼トラス橋のブレース材パネルの実験⁶⁾

にしていたため、試験機的能力も考慮して市中に存在する最小の大きさのM12高力ボルトと通常使われるM22の比率から約1/2の縮尺にした。実験装置とパネル供試体がセットアップされた状況を図-3に示す。水平繰り返し載荷は静的油圧アクチュエータ(圧縮4,400kN、引張2,100kN)により行い、油圧コントローラで制御した。載荷パターンは事前解析により最大耐力までに5 δ 以上繰り返し載荷ができるように1 δ =3mmとして $\pm n\delta$ で漸増した。ブレース材に顕著な局部座屈が生じるまで漸増し、その後は破断までその変位で繰り返すことにした。



(a)パネル全体の最終変形状態 (b)局部座屈

写真-3 パネル供試体の損傷状況⁶⁾

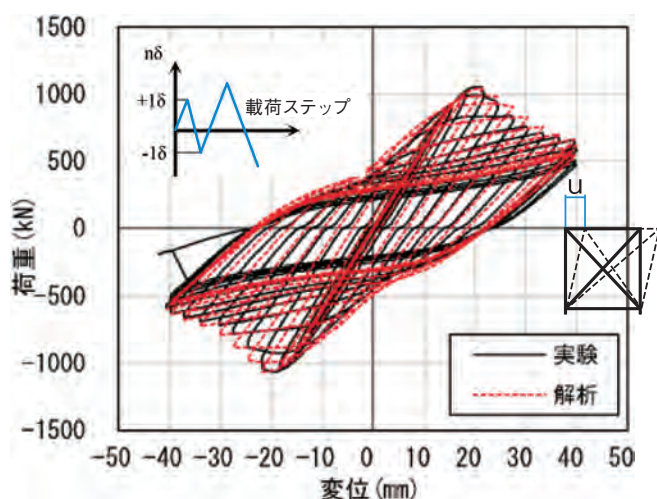


図-4 荷重-変位曲線⁶⁾

(2)実験結果および考察

写真-3(a)は荷重終了後に水平荷重を除荷した状態のパネル供試体の損傷状況で、ブレース材が大きく部材座屈しているのがわかる。最大荷重に到達後、パネル下側の左右のブレース材に部材座屈が生じた。座屈モードは両端ピン結合ではなく両端固定の形であった。その後の繰り返し荷重で部材中央に局部座屈が見られた(写真-3(b))。建築分野で実施されたブレース材の実験¹²⁾ではブレース材中央の局部座屈が発生した位置で破断が生じているケースもあったが、本実験では、局部座屈の発生部分に破断は生じなかった。最終的には写真-3(a)のフランジのボルト孔部が破断して実験を終了した。高力ボルト摩擦接合部の全体的なすべりとガセットプレートの損傷は見られなかった。実験で得られた図-4に示す荷重-変位関係は、鋼製橋脚の場合にみられるような紡錘形の安定した履歴ループを描いており、ブレース材単体では非エネルギー吸収部材であるものの、パネル全体としてみた場合に一定のエネルギー吸収能を期待できる可能性が得られた。

2-3. 鋼上路アーチ橋の端柱ブレース材パネルの実験

(1)概要

実験のセットアップ状況を図-5に示す。供試体の縮尺、荷重方法等は2-2の実験と同じである。実験供試体は、既設橋のガセットプレート板厚を想定した供試体A($t=4.5\text{mm}$)と、それを補強した供試体B($t=4.5+4.5\text{mm}$)について行った。供試体Bは図-6に示す方法で既設のガセットプレートに高力ボルトで補強板を追加した。また、接合部は1面摩擦接合から疑似的に2面摩擦接合になるように補強した。

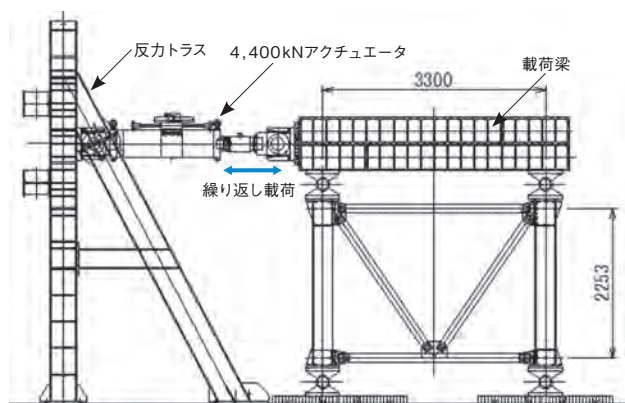


図-5 鋼アーチ橋ブレース材パネルの実験⁷⁾

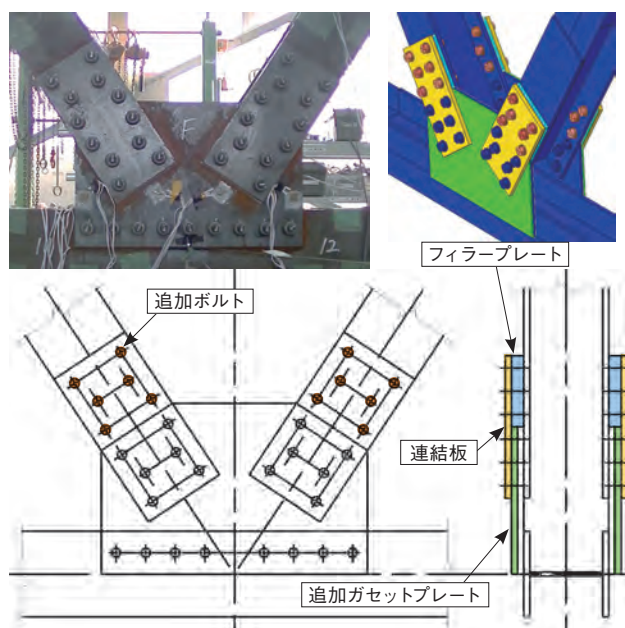


図-6 ガセットプレート接合部の補強方法⁷⁾

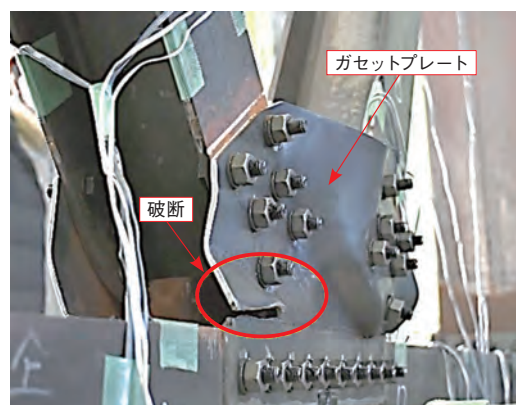


写真-4 ガセットプレートの破断⁷⁾

(2)実験結果および考察

供試体Aの実験では、ブレース材パネルの終局状態はブレース材の座屈ではなく、写真-4に示すようにガセットプレートの局部座屈による損傷(破断)であった。このような損傷が生じるとブレース材の変形性能を期待することができず、地震応答解析も適切に評価することができなくなるので好ましくない損傷といえる。

供試体Bの実験では写真-5(a)に示すようにブレース材が大きく部材座屈した。この部材座屈の形状から、2-2.と同様にブレース材端部がピン接合ではなく、両端固定のモードで座屈することが確認できた。部材座屈の発生した位置を拡大した部分が写真-5(b)であり局部座屈も観察された。接合部を疑似的に2面摩擦接合に補強したことから1面摩擦接合の場合よりもすべり耐力が大きく向上したが(図-7)、最大荷重手前でブレース材上端の接合部が大きな衝撃音を伴ってすべり、荷重低下がみられた。しかし、支圧接合に移行して荷重が再び増加し、すべり後の荷重伝達挙動の確認ができた。最大荷重後、R側のブレース材の中央部に曲がりが発生して部材座屈し、その後、局部座屈が発生してブレース材の曲がりの形も鋭角になった。以降の過程では、引張が作用しても元に戻らずに曲がりが残留していったが、図-7に示すように部材破断が発生せずに、安定した荷重-変位曲線の履歴ループが確認できた。

3. 対象橋梁の地震応答解析

(1) 橋梁概要

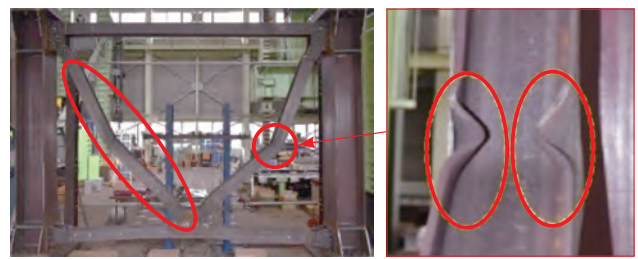
対象とした橋梁を図-8に示す。3径間連続上路式鋼トラス橋で、昭和55年道示²⁾で設計された耐震補強が必要とされる一般的な山間部に架かる既設橋梁を想定している。

(2) 解析モデル

対象橋梁の鋼部材にファイバー要素を採用して全体系の解析モデルを構築した。文献6)で実験結果により確証が得られたブレース材の提案モデルを適用している。具体的には図-9に示すようにブレース材の座屈モードを表現するためにブレース材を8分割として、部材端部は剛結合、ガセット端部から垂直材軸心までは剛体要素で結合した。パネルの支点位置までは実際の構造と位置関係を合わせるために剛部材でオフセットを考慮した。上・下弦材、斜材および垂直材の主構については、格点間を8分割とするが、一般的な全体解析モデルと同様に図-9の(a)、(b)の格点部はガセット範囲に剛体要素を用いずに部材を延長して格点で剛に結合した。今回は橋脚に着目していないためRC橋脚を弾性はり要素でモデル化した。橋脚下端は地盤ばねを考慮せず完全固定とし、橋脚上端の支承は線形ばねでモデル化した。弾塑性解析における材料構成則については降伏点以降 $E/100$ (ここに、 E :弾性係数)のバイリニア型の移動硬化則を用いた。

(3) 解析条件

地震応答解析に用いる入力地震動は、道路橋示方書⁵⁾に示されるタイプⅡの標準波(1波目)で、入力方向は橋軸直角方向とした。減衰モデルにはレーリー型減衰モデルを用いている。固有値解析で得られた刺激係数と固有モードから2つの橋軸直角方向卓越モードを選定し、地震応答解析に用いるレーリー型減衰の係数を設定した。解析プログラムにはSeanFEM¹⁷⁾を用いた。ブレース材の部材座屈を精度良く表現するために優位性のあるUpdated Lagrange法を幾何学的非線形性の解法に採用している。この方法で文献6)において繰り返し載荷実験の再現解析によって確証が得られている。



(a) パネル全体の変形(部材座屈) (b) 局部座屈

写真-5 パネル供試体の損傷⁷⁾

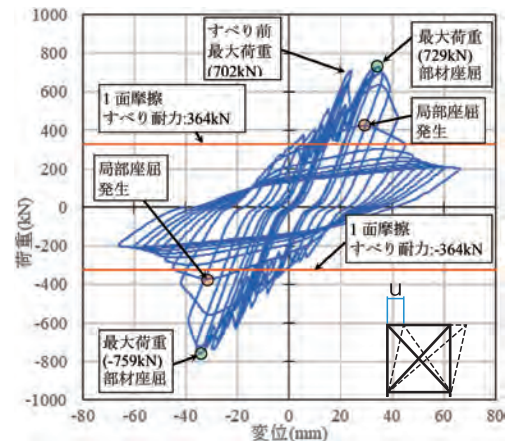


図-7 荷重-変位曲線⁷⁾

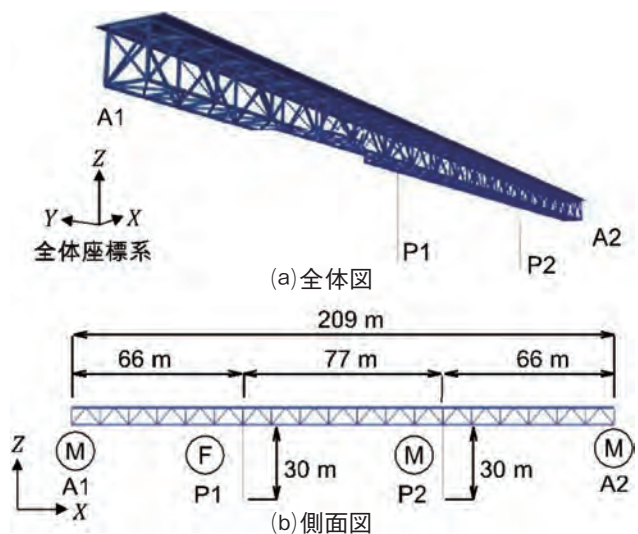


図-8 鋼トラス橋⁸⁾

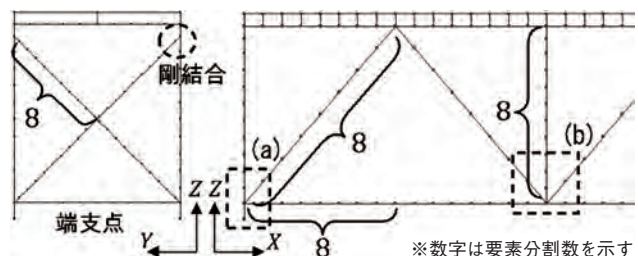


図-9 要素分割⁸⁾

既設橋の解析では弾塑性有限変位解析の他、制震デバイスを適用した解析に用いられる弾塑性微小変位解析、および、当て板で補強した場合に用いられる弾性微小変位解析の3つの解法について行い、地震応答値の比較を行った。

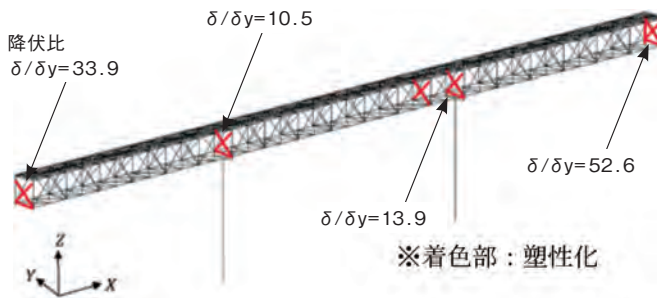
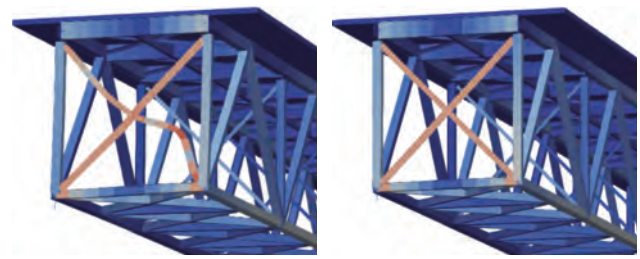
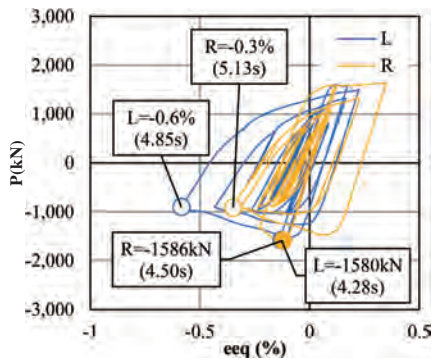


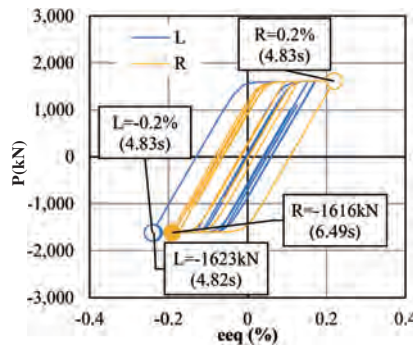
図-10 地震応答解析による降伏箇所



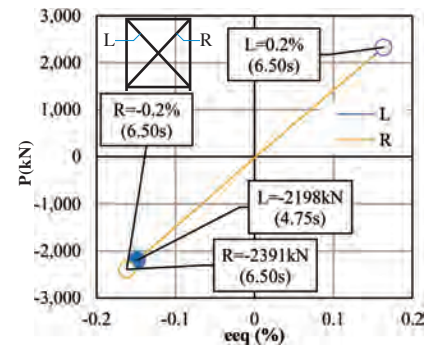
(a)弾塑性有限変位解析 (b)弾塑性微小変位解析
図-11 端支点ブレース材変形図



(a)弾塑性有限変位解析

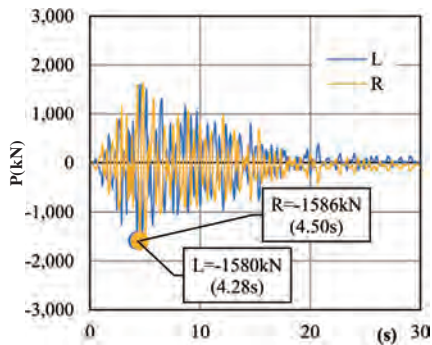


(b)弾塑性微小変位解析

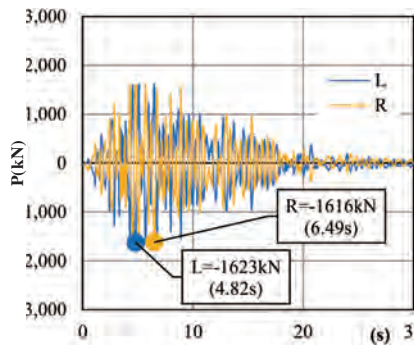


(c)弾性微小変位解析

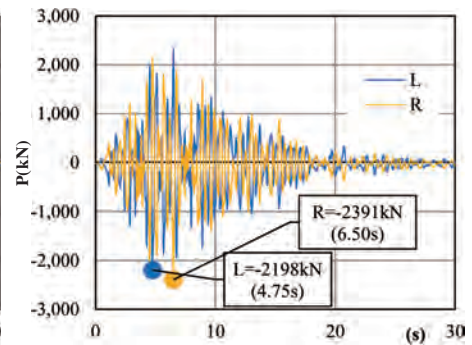
図-12 ブレース材軸力-等価ひずみ関係



(a)弾塑性有限変位解析



(b)弾塑性微小変位解析



(c)弾性微小変位解析

図-13 ブレース材軸力の時刻歴応答

(4)既設橋の地震応答解析結果

タイプⅡ地震動を橋軸直角方向に入力した弾塑性有限変位解析における降伏した要素を図-10に示す。端支点、中間支点付近に損傷が集中しており、ブレース材の降伏比が大きい結果になった。

次に、A1側端支点のブレース材に着目して考察する。図-11に変形図を示し、図-12にブレース材軸力と等価ひずみ関係、図-13にブレース材軸力の時刻歴応答を示す。図-11から幾何学的非線形性を考慮しない場合は部材座屈を表現できないことが確認できる。図-12(a)に示すパネルでは、左右のブレース材が交互に荷重を受け持つため、左右の荷重-等価ひずみの関係が異なり、座屈の程度が左右で等しくないことがわかる。これについては文献6)の実験で確認が得られている。一方、図-12(b)では部材座屈を表現できていないため、図-12(a)のように荷重が低下することではなく、ブレース材軸方向変位は半分程度に小さくなっている。また、図-13(c)の弾性微小変位解析の結果をみると、図-13(a)の塑性化を許容した場合と比較してブレース材軸力の応答値が $2391/1586=1.51$ と約50%

程度大きくなった。したがって、弾性解析によりすべての部材を降伏耐力以下にするためには、大掛かりな補強が必要になることが予想される。このように解析方法によりブレース材の応答が変わると周囲の主構の応答や支承反力に影響が生じる。合理的な補強を行うためには、実際の挙動に合った応答値が求められるようにブレース材のモデル化と幾何学的非線形性の精度が要求されると考える。

4. 当て板によるブレース材の補強

(1)当て板補強

当て板補強は、図-14に示すように、ブレース材のフランジに高力ボルト摩擦接合で鋼板を取り付ける工法である。この補強は既設部材の接合面をケレンにより塗膜を除去して、所要の摩擦係数を確保するようにする。ケレン作業は除去した塗膜が飛散しないようにするために防護が必要になる。

当て板補強の目的はブレース材の座屈耐力を向上させることとしたため、当て板補強範囲は連結間のみとする。

表-2 ブレース材の部材および接合部耐力

項 目		内 容
部 材	座 屈	$P_{crg} = \sigma_{crg} \times A_g$ σ_{crg} : 座屈応力度 A_g : 部材の総断面積
	降 伏	$P_{gn} = \sigma_y \times A_g$ σ_y : 降伏応力度 A_g : 部材の総断面積
接 合 部	すべり	$P_s = n \times \rho_a$ n : ボルト本数 ρ_a : 1本のすべり耐力
	降 伏	$P_n = \sigma_y \times A_n$ σ_y : 降伏応力度 A_n : 部材の純断面積
	ガセットプレート	$P_{sg} = bt/1.8$ b : ブレース材幅 t : ガセットプレート厚

通常の設計では当て板の板厚は最適となるように解析により収束させることが一般的であるが、本検討では、母材の板厚の1.5倍として15mmの板を当てて補強することにした。部材方向のボルトピッチは道示の規定に示される12t(ここでtは板厚)として12×10=120mm以下にした。部材直角方向の本数は連結部と同じ2本として孔引き後の断面が連結部の設計と同じになるようにした。

(2) 補強前後の部材耐力および接合部耐力

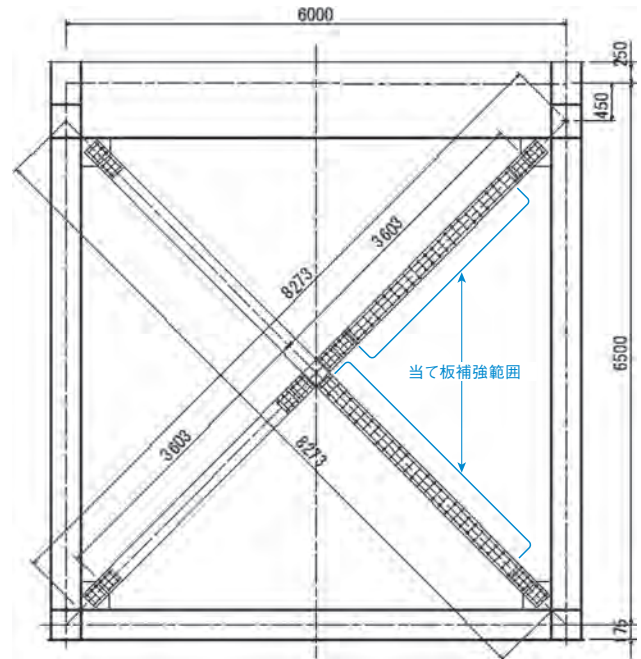
表-2にはブレース材の耐力に関する項目と内容を示す。図-15には、補強前後のブレース材および接合部の耐力を示す。これらの計算の根拠は付表-1にて詳細に示す。部材座屈については、著者らの実験により両端固定の座屈モードになること、そして最大荷重時にその耐力が確認されたことから、両端固定の座屈耐力も示している。当て板補強後の部材の降伏耐力は純断面 A_n により算出する。

図-13(C)に示した弾性微小変位解析におけるブレース材の最大軸力は2,391kNで、この値は補強前の両端ピンの座屈耐力1,062kN、接合部の降伏耐力1,375kN、すべり耐力1,963kNおよびガセットプレート耐力1,100kNを上回っていることがわかる。この結果から耐震設計上、部材および接合部のすべてについて補強が必要になることが判明した。

5. 当て板補強後の地震時応答解析に対する考察

(1) 解析条件

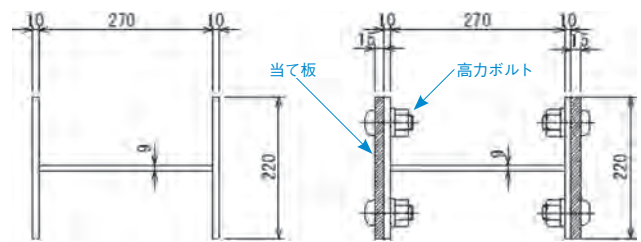
実際の耐震補強設計では、通常は免震支承への変更と合わせて部材の損傷を検討することが一般的であるが、本検討では部材の当て板補強のみとして、当て板補強が応答値に与える影響を重点的に検討する。したがって、当て板補強後の地震時応答解析では、補強前と同じ条件を適用し、解析方法は当て板補強が弾性設計を基本にするため弾性微小変位解析とする。断面については、端支点および中間支点上のブレース材のみに当て板を考慮した断面に置き換え、他の部材に関しては同じ条件とする。



補強前

当て板補強

(a) パネル



補強前

当て板補強

(b) ブレース材断面

図-14 当て板補強

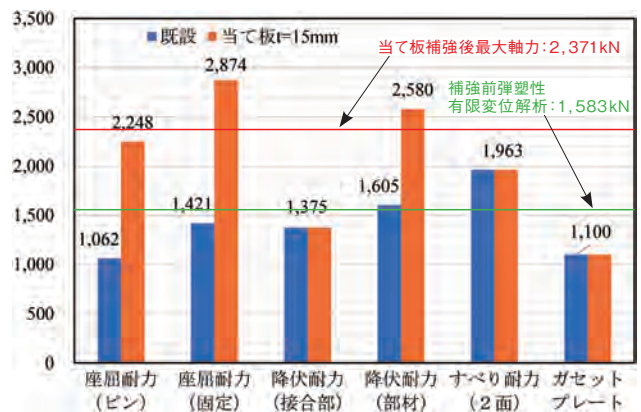
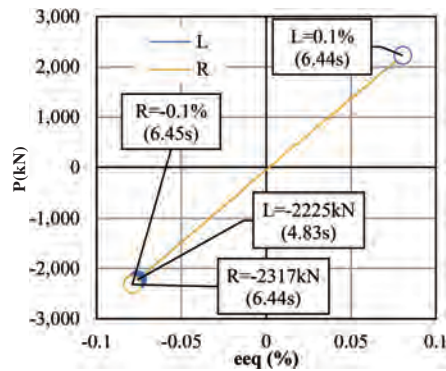


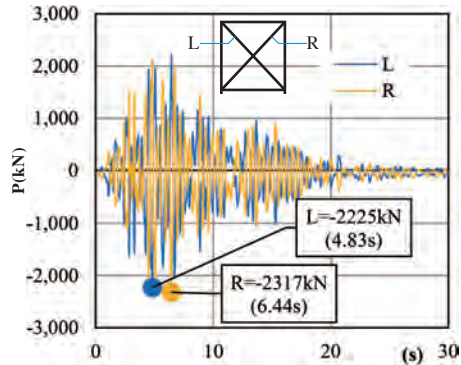
図-15 ブレース材耐力

(2) 解析結果

図-16には補強後の解析結果として、ブレース材の軸力と等価ひずみ関係、ブレース材軸力の時刻歴応答を示す。補強後の最大軸力は補強前の2,391kNに対して2,317kNとほぼ同じ大きさであり、部材力に当て板の厚さの影響は見られなかった。最大発生軸力は、補強後の両端固定としての座屈耐力2,874kN、部材降伏耐力2,580kNを下回り、補強効果の確認ができた。しかしながら、弾性解析の結果と図-7の各耐力の比較から、接合部とガセットプレートの補強が必要になる。



(a) ブレース材軸力-等価ひずみ関係



(b) ブレース材軸力の時刻歴応答

図-16 補強後の解析結果

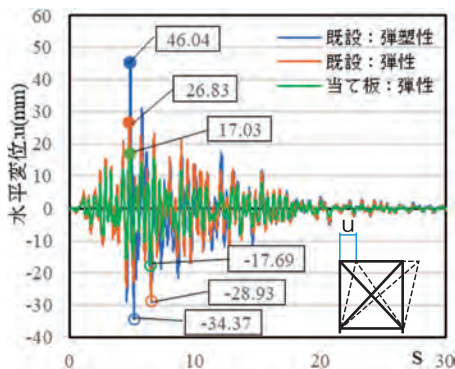
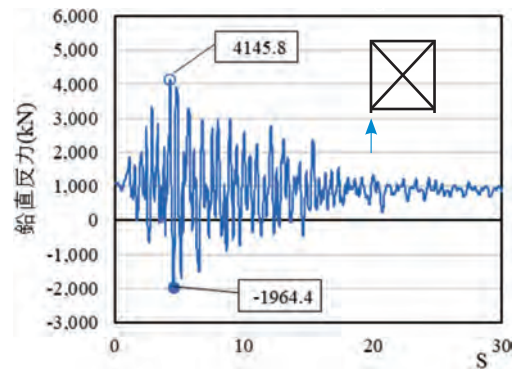


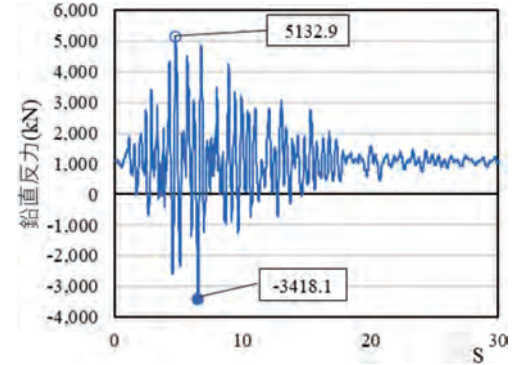
図-17 水平変位時刻歴応答

図-17にはパネル上部の水平変位の時刻歴応答を示す。補強前後の弾性微小変位解析の結果と既設の弾塑性有限変位解析の結果を合わせて示す。補強後の水平変位は、当て板によりブレース材の断面積が大きくなったことによりブレース材パネルの剛性がアップして、補強前の28.93mmから17.69mmに減少した。補強を施さずに塑性化を許容した場合の最大変位は46.04mmと大きくなっているが残留変位は生じていなかった。

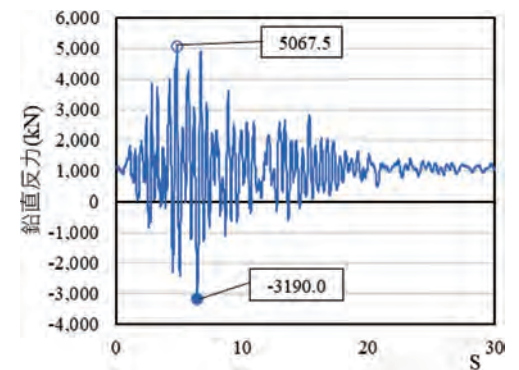
図-18に支点のL側の鉛直反力を示す。弾性微小変位解析における補強前後の鉛直反力は、ブレース材の軸力と同様にほぼ同じであった。補強前の弾塑性有限変位解析に対して補強後の弾性微小変位解析の値は、正反力側で5067.5/4145.8=1.22倍、負反力側で-3190.0/-1964.4=1.62倍大きい結果であった。支承を免震化することで本検討での比率ほど大きくなることはないと思われるが、当て板補強により支承の応答値にも影響を及ぼすことを示している。これらの結果から、



(a) 既設:弾塑性有限変位解析



(b) 既設:弾性解析



(c) 当て板補強:弾性解析

図-18 鉛直反力の時刻歴

ブレース材に対する当て板補強が部材の耐力向上に寄与することが確認できたが、全体の構造を安全にするためには他の要素も適切な補強が必要になることを示している。一方、図-13(a)に示すように補強をせずに塑性化を許容した場合のブレース材の最大軸力は1,586kNであり、接合部の降伏耐力1,375kN、ガセットプレート耐力1,100kNを超過するが、部材の降伏耐力1,605kN(付表-1)以下であること、残留変位が生じていないことから、図-6のガセット部の補強のみで済ませることができると考える。

6. まとめ

上路式の鋼トラス橋および鋼アーチ橋を対象にしたブレース材パネルの実験から以下の事項が明らかになった。

- (1) 実験から得られたブレース材軸力の最大値は、両端を剛結とした場合の座屈耐力に近く、ピン結合の設計座屈耐力よりも大きく評価できる可能性を示した。

(2)実験から得られた荷重-変位曲線は、鋼製橋脚にみられるような紡錘形の履歴ループを描き、ブレース材パネルとしては一定のエネルギー吸収が期待でき、ブレース材の塑性化を許容できる可能性を示した。

(3)ガセットプレートの補強とその接合部のすべり耐力を向上させる方法を提案し、実験により補強方法の有効性を検証した。次に、支点部のブレース材に当て板補強をした地震応答解析を実施して以下の事項が明らかになった。

(1)補強前の断面で、弾性微小変位解析のブレース材の軸力は塑性化を許容した弾塑性有限変位解析の1.5倍程度大きくなる結果であった。補強前後の弾性微小変位解析による値はほぼ同じであった。

(2)当て板補強後の鉛直反力は、補強前の弾塑性有限変位解析の値から1.6倍程度大きくなることを確認した。

これらの事項より、弾性解析を基本とする当て板補強では、応答値が大きくなる可能性があり、補強範囲がブレース材以外の支承等にも及ぶことがあるため、塑性化を許容した設計が望ましいと考える。著者らは、以前からブレース材の塑性化を許容することで、合理的な耐震補強設計を図ることが可能になると考え、実験等により取り組んできた。今後、繰り返し履歴の影響と、部材座屈後の大きなひずみ領域まで正確に評価することができるブレース材の高精度な材料構成則が重要と考えている¹⁸⁾。これにより、設計想定外の地震動に対する崩壊挙動の予測もできるようになり、より安全な補強設計が可能になると考えている。

最後に本論文においてご指導いただいた名古屋工業大学大学院の野中教授に深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1)令和3年版国土交通白書
- 2)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II. 鋼橋編、V. 耐震設計編、丸善、1980.
- 3)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II.鋼橋・鋼部材編、V. 耐震設計編、丸善、2002.
- 4)土木学会：鋼・合成構造標準示方書 耐震設計編、丸善、2018.
- 5)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II. 鋼橋・鋼部材編、V. 耐震設計編、丸善、2017.
- 6)嶋口儀之、山田忠信、野中哲也、馬越一也、鈴木森晶：繰り返し荷重を受ける鋼トラス橋のブレース材の終局挙動に関する実験および再現解析、構造工学論文集、Vol.68 A、pp.59-68、2022.
- 7)山田忠信、野中哲也、馬越一也、吉山純平、鈴木森晶、嶋口儀之：既設上路式鋼アーチ橋のブレース材の終局強度およびガセットプレート補強方法に関する検討、構造工学論文集、Vol. 68 A、pp.69-81、2022.
- 8)馬越一也、山田忠信、嶋口儀之、鈴木森晶、野中哲也：ブレース材の塑性化を許容した鋼トラス橋の耐震性能照査：橋梁等の耐震設計シンポジウム、第25回、2022.
- 9)山田忠信、馬越一也、野中哲也：鋼上路トラス橋のブレース材の耐震補強に関する考察：橋梁等の耐震設計シンポジウム、第26回、2023.

付表-1 耐力算出根拠

			既設		当て板補強 (+15mm)	
ボルト			M22		M22	
フランジ	母材	幅	mm	220	220	
		板厚	mm	10	25	
ウェブ	母材	高さ	mm	270	270	
		板厚	mm	9	9	
断面積	母材断面	Ag	mm ²	6,830	13,430	
	母材純断面	An (Flg+Web)	mm ²	5,850	10,980	
座屈耐力	有効座屈長	部材端条件		ピン	固定	ピン
		L	mm	3,834	1917	3,834
	断面二次半径	r	mm	51	51	57
	細長比	$\lambda=L/r$		72.5	37.6	66.7
	細長比パラメータ	$\bar{\lambda}$		0.821	0.410	0.728
		P _{cr} g		0.6617	0.8854	0.7123
	座屈耐力	P _{cr}	kN	1,062	1,421	2,248
降伏耐力	許容応力度	σ_a	N/mm ²	140	140	
	降伏応力度	σ_{yk}	N/mm ²	235	235	
	接合部	P _n =A _n × σ_{tud}	kN	1,375	1,375	
	部材	P _g =A _g × σ_{tud}	kN	1,605	2,580	
すべり耐力	ボルト本数	n	—	12		
	降伏点比率	α	—	0.75		
	降伏応力度	σ_y	N/mm ²	900		
	有効断面積	A _e	mm ²	303.0		
	設計軸力	N	kN	204.5		
	すべり係数	μ	—	0.40		
	耐力/1本	V _{yk}	kN	81.8		
	1面	P _s =n×V _{styd}	kN	982		
	2面	P _s =n×V _{styd}	kN	1,963		
ガセット	ブレース材幅	b	mm	220		
	ガセット板厚	t	mm	9		
		P=bt/1.8	kN	1,100		

- 10)柴田道生、中村武、若林實：鉄骨筋違の履歴特性の定式化 -その1定式化関数の誘導-、日本建築学会論文報告集、第316号、pp.18-23、1982.
- 11)柴田道生、若林實：鉄骨筋違の履歴特性の定式化その2応答解析への適用-、日本建築学会論文報告集、第320号、pp.29-35、1982.
- 12)竹内徹、秦康、松井良太：局部座屈を伴うH形断面ブレースの累積繰り返し変形性能、日本建築学会構造系論文集、73巻、第632号、pp.1875-1882、2008.
- 13)竹内徹、中村悠、松井良太：接合部固定度を考慮したH形断面ブレースの座屈後履歴性状及び累積変形性能、日本建築学会構造系論文集、75巻、653号、pp.1289-1297、2010.
- 14)宇佐美勉、斎藤直也、船山淳起、野中哲也、廣住教士、菅付紘一、渡辺孝一：繰り返し水平荷重を受ける鋼製剛結トラスの破壊実験と解析、構造工学論文集、Vol.57 A、pp.500-513、2011.
- 15)宇佐美勉、馬越一也、斎藤直也、野中哲也：鋼橋の耐震解析におけるブレース材のモデル化、構造工学論文集、Vol.56 A、pp.381-392、2010.
- 16)宇佐美勉、鈴木元哉、葛漠彬：ブレース材付き鋼フレーム構造の座屈・耐震解析への初期横荷重法(ILLM)の適用性、構造工学論文集、Vol.65 A、pp.200-213、2019.
- 17)株式会社耐震解析研究所(現：地震工学研究開発センター)：SeanFEM ver.1.22、理論マニュアルと検証、2007.
- 18)海老澤健正、野中哲也、吉野廣一、馬越一也、山田忠信：繰り返し塑性履歴を受けるH形鋼の構成則およびその適用、構造工学論文集、Vol. 69 A、pp.373-385、2023.

インフラ構造物におけるPanocaを活用した点検の合理化

HOSOYA Masashi INOUE Asako FUJITA Takumi
細矢 征史* 井上 麻子** 藤田 匠**
TSUDA Hisatsugu
津田 久嗣***

1. はじめに

(株)IHIインフラシステムでは、パノラマ画像を活用した維持管理ソリューションPanocaを用いて、社会インフラの維持管理におけるビジネスの可能性を探っている。

今回、Panocaを橋梁以外のインフラ構造物の一例として港湾栈橋における点検業務に適用し、従来のやり方からの業務の改善の可能性について、評価を行った。その結果、従来の点検業務に比較して大幅な合理化が図れることがわかったため、その成果について報告する。

2. 港湾栈橋の点検における課題

港湾施設においても、橋梁と同様に老朽化対策は喫緊の課題になりつつある。中でも全国に約5,000ある岸壁施設は2035年にはその60%が供用50年を超える。そのため、国交省も港湾の施設の点検診断ガイドライン、維持管理計画策定ガイドライン、といった指針を定め、維持管理レベルの向上に努めてはいるものの、従事者不足や予算の制約からすべての施設が適切に維持管理を行えているとは言い難い状況である。

港湾の施設は、塩害などの厳しい環境下におかれるため、適切に状態を把握し、処置を行うことが重要である一方、海中部の鋼管杭、栈橋床版の裏側といった容易に劣化・損傷状況を把握できない部分も多く、点検は困難を極める。例えば、今回報告する床版下面や、鋼管杭のような海中部の構造を点検する場合、潮位の低い日の干潮のわずかな時間帯を狙って開口部から船で進入し、目視点検する必要がある、そのうえ当日の波高や栈橋への船舶の停泊状況にも依存するため、栈橋1橋の状況を把握するのに1年がかりという状況も珍しくない。

このような状況から、点検を短時間で効率的に実施する手段、あるいは目視点検を代替する技術が求められている。



写真-1 栈橋床版下部の損傷事例

(出展：港湾施設の維持管理の現状と課題¹⁾)

3. Panoca

Panocaは、パノラマカメラを活用した社会インフラ設備の維持管理DXソリューションである。パノラマ画像と撮影位置を示す設備の図面、点検記録などの設備の維持管理情報を一体で管理することができるシステムで、これまでに多くの橋梁点検や民間の施設の保全管理で活用されている実績がある。

画像と点検データを連携可能な他の類似システムと比較して、Panocaは以下のような特徴を有する。

- 最大1億2,000万画素のハイレゾカメラを標準採用しているため、目視点検の代替が可能な画質を得られる。
- カメラに合わせた高照度LEDを開発し、搭載しているため、点検が困難な暗部・狭隘部の確認も可能である。
- 写真上に配置するタグのアイコン、損傷位置に紐づくデータベースを、導入目的に合わせて自由に設計できる。
- 点検情報の履歴管理が可能である。

表-1 Panocaで採用するパノラマカメラ仕様

カメラ名称	Xphase Pro X2 (ハイレゾカメラ)
本体外観	Φ60mm (Head) × 260mm 
画素数	1億2,000万画素
レンズ	25眼800万画素 F2.0CMOS
カメラ設定	シャッタースピード1/120s ISO200 HDR6
備考	技適対応のWi-Fiチップに換装済み

また、上記の特徴を有するPanocaを活用した点検業務では、以下のような効果が期待できる。

- 現場作業が、撮影のみとなるため、現場作業時間を大幅に短縮することができる。
- パノラマ画像のため、損傷の周りの環境も確認可能であり、修繕検討の良い材料となり、現場状況を他者と共有するコミュニケーションツールとしての役割も果たす。

4. 実施計画

4-1. 対象施設

本点検では、図-1に示す栈橋(20m×25m×12ブロック:計6,000㎡)の床版下面を対象に、Panocaによる撮影および従来の点検結果との比較評価を実施した。

* (株)IHIインフラシステム 新事業推進室 DX推進部 開発G

** (株)IHIインフラシステム 新事業推進室 DX推進部 プロジェクトG

*** (株)IHIインフラシステム 新事業推進室 DX推進部

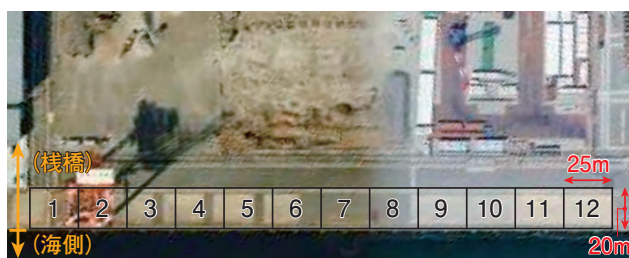


図-1 対象棧橋

4-2. 作業要領

(1) 配置作業員

- 船外機船を用いて、パノラマカメラによる撮影を行い、棧橋床版下面の調査を実施した。
- 乗船作業員4名(操船2名、タブレットおよび撮影操作1名、カメラ支持者1名)、陸上警戒員1名、連絡員1名の6人体制で実施した。
- 投光器を船体に4台設置し、周囲を照らした状態で撮影した。

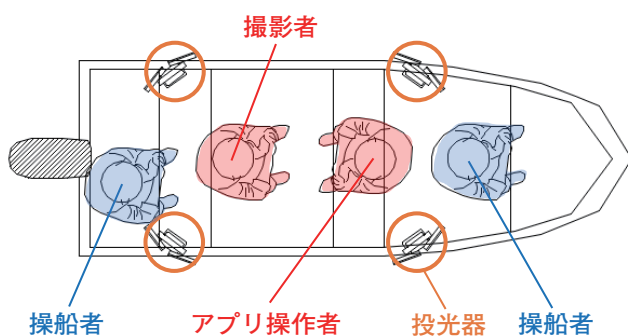


図-2 作業状況イメージ

(2) 撮影箇所

各ブロックのパネルおよび張り出し部の中央で撮影を行った。図-3に1ブロックでの撮影位置の模式図を示す。

- 1ブロック当たりの撮影枚数: 30枚
- 棧橋全体の撮影枚数: 360枚(12ブロック×30枚)

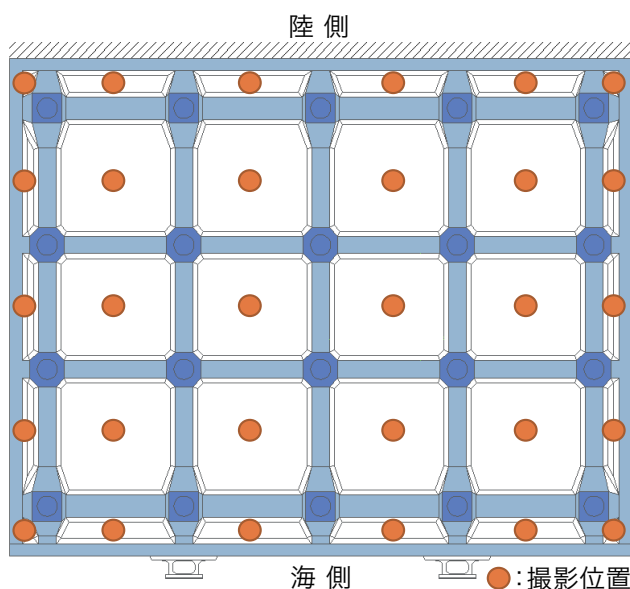


図-3 各ブロック撮影位置

(3) 点検データベース

従来点検との比較を行い、有効性を確認するために、撮影した写真から確認できる各損傷について、以下の項目をデータベースに記録した。

表-2 点検データベースの記録項目

No.	項目	入力項目・説明
1	ブロック	1～12
2	部材名称	梁、桁、杭・ハンチ、スラブから選択
3	長手方向部材番号	同一ブロック内、同一部材種類に対する識別番号(長手方向)
4	短手方向部材番号	同上(短手方向)
5	構造損傷	以下のいずれかから選択 - ひび割れ - エフロレッセンス - 浮き剥離・剥落 - 鉄筋露出 - その他
6	損傷程度	港湾の点検基準に準拠したa～dの判定
7	損傷長さ	mm単位入力とするが、正確な測定値は入力不可。図面を参考にした推定値を記録
8	損傷幅	同上
9	点検比較	以下のいずれかを選択入力。 - 既存: 前回点検にもあり - 新規: 前回点検にない - 修正: 前回点検にあるが内容違う - 不明: 前回点検にあるが、Panocaで確認できない

(4) 前回点検結果との比較

従来の点検業務の手法と比較・評価を行うため、損傷の有無の判断、損傷位置の記録、および部材の劣化度の判定は前回点検結果を参照せず、Panocaの写真情報を参考に全ての損傷情報を入力する。

その後、前回の点検結果と比較・分析を行い、Panocaによる点検についての評価を行った。

(5) 判定基準

撮影したパノラマ画像から判定した損傷の程度をもとに、部材ごとの劣化度判定を行った。劣化度の判定基準は、国土交通省の資料「港湾の施設の点検診断ガイドライン」²⁾に記載の、表-3の基準に則して、判定を行った。

- 基準名: 棧橋上部工の劣化度の判定基準
- 対象設備: 直杭式横棧橋
- 分類: II類
- 点検診断の項目: 上部工(下面部、RCの場合)

表-3 部材の劣化度判定基準

	劣化度の判定基準
a	スラブ： ☐ 網目状のひび割れが部材表面の50%以上ある。 ☐ かぶりの剥落がある。 ☐ 錆汁が広範囲に発生している。 はり・ハンチ： ☐ 幅3mm以上の鉄筋軸方向のひび割れがある。 ☐ かぶりの剥落がある。 ☐ 錆汁が広範囲に発生している。
b	スラブ： ☐ 網目状のひび割れが部材表面の50%未満である。 ☐ 錆汁が部分的に発生している。 はり・ハンチ： ☐ 幅3mm未満の鉄筋軸方向のひび割れがある。 ☐ 錆汁が部分的に発生している。
c	スラブ： ☐ 一方向のひび割れ若しくは帯状又は線状のゲル吐出析出物がある。 ☐ 錆汁が点状に発生している。 はり・ハンチ： ☐ 軸と直角な方向のひび割れのみがある。 ☐ 錆汁が点状に発生している。
d	☐ 変状なし。

5. 作業結果および従来点検との比較

5-1. 作業時間

本点検では現場での撮影作業は3日間、現場での実作業時間は表-4に示すとおりであった。安全に船外機船で床版下面へ進入するためには潮位、波高ともに低くなくならず、時間帯を選択する必要があるため、作業日および時間の制約は大きい。写真-2に点検準備状況を、写真-3に点検現場への進入路の様子を示す。

前回点検では予備期間含め2か月程度の作業予定期間を設け、その中で条件の良い日時を選んで数回に分けて調査を実施しているため、現場での作業時間は実質的に1/10程度と大幅に短縮したといえる。

表-4 点検実作業時間と撮影枚数

作業日	作業可能時間	撮影枚数
1日目	10:30 ~ 12:00 (1.5H)	50枚
2日目	10:30 ~ 14:30 (4.0H)	180枚
3日目	11:30 ~ 14:00 (2.5H)	130枚

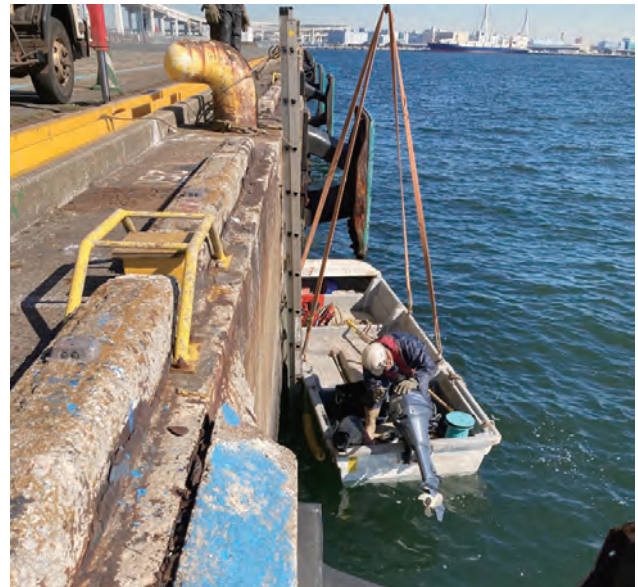


写真-2 船外機船の準備状況



写真-3 床版下面への進入部

5-2. 損傷判定

撮影したパノラマ画像を確認し、その結果を表-2の構造損傷別に各部材に対する損傷の有無を判定した。次に発見されたすべての損傷に対して、表-3に示した基準により劣化度判定を行い、すべての部材について部材単位での劣化度を決定した。その後、その結果を昨年度の結果と比較し、判定結果の数量および、表-2の点検比較の項目にしたがって分類し、集計した。

表-5に前回点検結果との損傷数の比較表を、表-6に今回結果と前回結果を点検比較した結果を示す。

表-5 前回点検結果との損傷数の比較

	今回点検	前回点検
ひび割れ	642	477
エフロレッセンス	59	30
鉄筋露出	42	43
剥離・剥落	171	157
浮き	183	203
合計	1,097	910

表-6 前回点検結果との比較分類

	既存	新規	修正	不明
ひび割れ	474	167	2	1
エフロレッセンス	30	29	0	0
鉄筋露出	42	0	1	0
剥離・剥落	157	17	3	1
浮き	168	15	35	0
合計	867	228	41	2

表-5、表-6から、前回点検結果と今回点検結果では以下のような差異が見られた。

- 検出された損傷数は2割程度増加した。
- 特にひび割れ、エフロレッセンスが前回に比べて多くの損傷が検出された。
- 浮きについては、前回検出された損傷が今回検出されない事例が一定数存在した。
- 評価が悪化した部材の多くは、前回の点検結果と比べて多くのひび割れが発見されたためである。このひび割れには浮きの前兆に見られるひび割れも見られた。この事象は、前回打診を行っていないブロックについて顕著に見られた。
- 前回点検の変状図に記載されている損傷の大きさ、位置には不正確なものが一定数存在した。

5-3. 従来点検との差異

前回と今回の点検結果に差異が見られた事例を以下に示す。

(1) 撮影視点の差異により追加の損傷発見

前回判定: ひび割れ

今回判定: ひび割れ、浮き

差異状況: 今回は伸縮ポールを用いた高い視点からの撮影画像となったため、低い位置から見上げる形では発見しづらかった浮きが発見できたと考えられる。



写真-4 撮影視点の差異(前回写真)



写真-5 撮影視点の差異(今回写真)

(2) 梁裏面の前回見逃し部の損傷発見

前回判定: なし

今回判定: ひび割れ

差異状況: 前回点検では損傷なしと判定されていた。見逃しと思われるが、時間的および物理的アクセスの制約が大きい従来手法では、見逃しや不正確な損傷位置データが一定程度含まれる。



写真-6 今回発見された梁の損傷(今回写真)

(3) 周辺部の状況把握

前回判定: 剥離、鉄筋露出

今回判定: 剥離、鉄筋露出

差異状況: 同じ位置の損傷を、今回は部材の裏側からも撮影できているため、損傷周辺の状況があわせて確認できるため、補修範囲の検討などにも活用できる。



写真-7 周辺部の状況把握(前回写真)



写真-8 周辺部の状況把握
(今回写真・損傷の位置の梁を裏側からも撮影)

(4) ひび割れからの浮きの発見

前回判定: なし

今回判定: 浮き

差異状況: 画像からでも確認できる浮きの例である。



写真-9 ひび割れからの浮きの発見(今回写真)

(5) 浮きの見逃し

前回判定: 浮き

今回判定: なし

差異状況: 前回判定では浮きとされたが、画像からは判定困難である。打診を行わないため、チョーキングがないと浮きの見逃しが発生しうる。



写真-10 浮きの見逃し(今回写真)

(6) 添架物の状況

前回判定: なし

今回判定: なし

差異状況: 添架物は点検対象外のため、参考写真ではあるが、パノラマ画像のためこのような付属物も同時に撮影できている。また、こういった付属物が物理的な位置関係の把握に役立つケースもある。



写真-11 添架物の状況(今回写真)

5-4. 考察

作業結果より、Panocaを活用した点検作業結果について、以下に考察を示す。

(1) 高画質パノラマカメラにより、各ブロック1枚ずつの撮影でもひび割れ、鉄筋露出、剥離・剥落に関して高い発見精度が得られた。

(2) パノラマカメラで損傷の周辺状況が撮影できていることで、以下のような利点が確認できた。

- 損傷位置を正確に把握できるため、点検結果の精度が向上し、情報共有や次回点検時の資料としても活用しやすくなる。
- 床版以外の添架物なども同時に撮影できているため、点検マニュアルで劣化判断から外れている塗装の異常、補修痕、添架物の把握も可能である。

(3)前回点検時に存在した損傷が今回点検で見つからなかった理由は、以下のとおりである。

- 浮き:外見上健全である。また前回点検時にチョーキングをしていないため浮きの大きさ、場所の正確な特定ができない。
- 浮き以外:カメラの画角の問題であるため、改善可能と考えられる。

(4)現場作業時間を大幅に短縮できた一方、打診を行わなかったため、Panocaでは発見できなかった浮きがある。作業の制約が厳しく足場が不安定な船上から高い位置の打診を行うのは大変困難であるが、浮きおよびその前兆となるひび割れの位置を把握できたことで、次回点検時に打診が必要な箇所を絞り込むことができたと考えられる。

6. 評価

港湾栈橋における従来の点検業務の課題とPanocaの導入効果を表-7にまとめる。

中でも港湾栈橋の点検業務の場合、現場の点検作業時間を確保するための制約が非常に大きく、これを大きく短縮し、かつ同等以上の損傷判定結果を提供可能なPanocaによる業務改善効果は極めて大きいものといえる。

表-7 点検業務の課題とPanocaの導入効果

	従来点検業務の課題	Panoca導入効果
1	作業時間：栈橋の潮位や船舶の停泊状況の影響を受けるため、点検時間に制約がある。1日の点検時間は2～4時間程度であり、点検可能な日程が不定期の場合も多い。	現場作業時間を従来の約1/10と大幅に短縮した。
2	作業性：波浪や天気・周辺船舶の航行によって波が立ち、足場が不安定。船外機船上で立ち上がっての作業は危険を伴う。	安定した姿勢で広範囲の画像取得できた。
3	周辺状況：報告書の写真のアップのみでは損傷の周辺状況まで把握しづらいため、修繕検討時にもう一度現場に行く必要がある。	関係者間で周辺の状況を含めた損傷状況を容易に共有可能となったため、修繕検討資料としても活用可能になった。
4	履歴管理：定期点検結果がその都度の検討となっており、損傷箇所の履歴や進展を確認することが難しい。	損傷位置に紐づくタグの履歴管理ができるため、損傷の進展、履歴管理が可能となった。
5	正確性：野帳から変状図に転記するため、損傷位置の間違いや抜けが発生している。	全周写真で損傷を確認しながら、写真上に損傷位置を配置するため、間違いや抜けがない。

7. まとめ

Panocaを港湾栈橋に適用し、従来の点検業務と比較し、その有効性を確認した。評価結果は、今回の点検施設をフィールド提供いただいたお客さまにも共有した結果、特に以下について高い評価をいただくことができた。

- 点検期間の大幅な短縮
- 多くの損傷が発見され、見逃しが減少した
- 社内での状況共有にかかる準備等の労力の大幅改善

その結果、今後の3年ごとの一般定期点検はPanocaを活用したものに切り替えていく意向を示していただいている。いうまでもないが、お客さまは今回の栈橋以外にも多数の栈橋を管理しており、今後は他の栈橋の点検はもちろんのこと、他の港湾施設管理会社への展開も期待できる。

Panocaは社会インフラDXのソリューションとして位置付けているが、その適用先は社会インフラに限らない。繰り返しになるがPanocaには以下の特長がある。

- (1)パノラマカメラによる全周囲画像を活用する
- (2)目視点検相当の高画質の画像を提供できる
- (3)暗所・狭隙部といった通常視認が困難な場所でも全周囲画像で確認できる
- (4)それらを活用した履歴管理ができるシステムを提供可能である

これらの特長は社会インフラのみならず、民間企業の施設、プラントなど広範囲にわたる設備群の運用保守が求められる現場であれば、業種を問わず適用可能といえる。設備の維持管理ソリューションの中核として、より多くの分野への適用と社会への貢献を目指す。

【参考文献】

- 1)国土交通省港湾局技術企画課：港湾施設の維持管理の現状と課題、pp.2～4、2015.2
- 2)国土交通省港湾局：港湾の施設の点検診断ガイドライン、pp.3-34、2014.7

製 品 紹 介

貼付型防食部材

— 橋の傷を「貼って」守る! —

YAKABE Natsuki KITAMURA Koichi IAI Yuichi
矢ヶ部 菜月* 北村 耕一* 井合 雄一**

MIZUSHINO Kotaro AKAMINE Kenichi
水篠 孝太郎** 赤嶺 健一**

1. はじめに

国内のインフラ構造物の多くは、高度経済成長期以降に集中的に整備されているものが多く、今後、建設から50年以上経過する老朽化した構造物の割合が加速度的に増加していきます。現在、これらの構造物を維持管理するための技術開発への期待が高まっており、特に、損傷事例としても事例が多い「腐食」から鋼構造物を守る防食技術は大きな役割を担っています。特に橋梁においては、局所的に腐食が進展する事例が多く、例えば以下の構造は、一般部と比較して腐食が進行しやすいです。

桁端部：構造上、狹隘で閉鎖的な箇所が多く湿潤環境になりやすく、伸縮装置から雨水や土砂が侵入し、支承部や橋脚部に滞留しやすい¹⁾(写真-1)。

添接板・コバ部：角部が多く、塗装の膜厚が平面部より薄くなりやすい²⁾(写真-2)。

上記のような箇所の局所的な腐食に対して、補修塗装を行うのが一般的ですが、塗装品質が作業者の熟練度に依存しやすい点や、作業日数の長期化等の課題があります。このような課題を解決するため、大規模修繕までの簡易的な補修工法として、貼付型の防食部材(写真-3)を開発しました。



写真-1 桁端部での鋼材腐食事例



写真-2 添接部やコバ部での鋼材腐食事例

2. 貼付型防食部材の仕様

2-1. 貼付型防食部材の性能

貼付型防食部材は、大規模修繕までの簡易補修の位置づけとして使用することを目的としているため、具体的には以下の性能を満たします。

防食性能：施工範囲の著しい腐食進行を10年以上抑える。

耐候性能：部材表面の著しい劣化が10年以上ない。

施工方法：熟練度問わず動力工具を用いず劣化塗膜を除去する前処理程度で部材の貼付けができ、角部等の構造追従性が期待できる。



写真-3 貼付型防食部材 実物写真

2-2. 貼付型防食部材の特徴

貼付型防食部材の構成を図-1に示します。(1)粘着材と、(2)樹脂層-(3)金属層-(2)樹脂層の構成となります。それぞれの層の役割、特徴を以下に示します。

(1)粘着材：粘着力が高く、防水性が良好な粘着材を選定しました。浮いている錆や塗膜のみを除去し、周囲に残存している健全な塗膜面に粘着剤を貼付することで、十分な粘着性を確保できます。

(2)樹脂層：最上層に耐候性の高い樹脂を用いています。また、表面に放電処理を施しており、色合わせのための塗装をすることも可能です。そして、金属層を樹脂層で挟むことにより、金属層薄膜化により低下する金属層の強度を樹脂層で担保することができ、金属がもつ形状記憶性と施工時に必要な柔軟性のバランスをとることで、良好な構造追従性と施工性を実現させました。

(3)金属層：水分や酸素、塩分等の腐食因子との接触を遮断することで防食性を維持することが出来ます³⁾。また金属層を、環境遮断性を維持できる範囲で薄膜化することで、厚膜では実現が難しい柔軟性を確保しました。

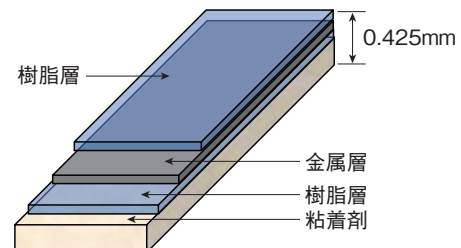


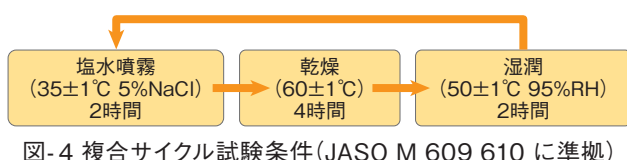
図-1 貼付型防食部材の構成

* (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 技術開発本部 技術基盤センター 生産プロセスG

3. 防食性能

実構造物への簡易補修の状況を再現するため、図-2に示すように、一部に錆が発生している塗膜面を模擬した銅板に、貼付型防食部材を施工したものを試験体としました。φ30mmの円形状の錆面に対して、φ50mmの円形に切断した防食部材を、貼付しろ(図-3)が10mmとなるように施工しました。この試験体について、図-4の条件の複合サイクル試験を、沖縄での銅板の暴露試験換算にておよそ13年以上相当⁴⁾となる4,680時間以上実施しました。4,680時間以上経過後である4,758時間後の外観写真を図-5に示します。右側の試験体の防食部材面のみ撮影時の室内照明の光が反射していますが、変色等の現象は認められませんでした。防食部材の剥離や貼付面からの膨れの発生は認められず、健全でした。今回の試験結果は、貼付型防食部材が要求仕様以上の防食性能を示しているといえます。金属層が水や酸素を完全遮断し施工箇所外部から腐食因子が供給されず、錆進展が起きなかったため、膨れ等の発生が認められなかったと考えられます。

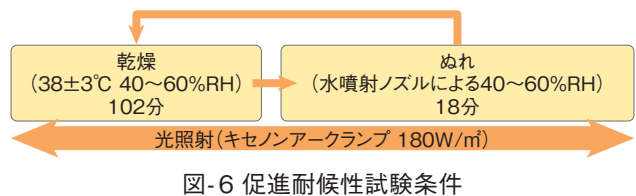


4. 耐候性能

150mm×70mmの板に、表-1に示す仕様にてテープの貼り付けおよび塗装を施した試験体について、図-6に示す促進耐候性試験を実施しました。今回は、照度が通常のキセノンアークランプの3倍となる180W/m²となるスーパーキセノンウェザーメーターを用いて試験を行いました。銚子における南面30度における年間紫外線受光量をもとに算出した10年相当分の受光量⁵⁾となる5,000時間試験を実施しました。試験開始から5,000時間経過したときの試験体の外観を図-7に示します。塗装系①ウレタン(橋梁仕様)については光が当たる面での変色が認められていることがわかります。他に白亜化などの変化が認められました。一方で、貼付型防食部材や塗装系②フッ素(橋梁仕様)に関しては、剥離や変色、白亜化等の変化がなく、健全な状態を維持していました。この結果から、耐候性について、貼付型防食部材がウレタン系上塗り塗装仕様よりも良好であることが分かりました。

表-1 耐候性能確認試験 試験体作製条件

名 称	仕 様
貼付型防食部材	端面にマスキングテープを貼付
塗装系① ウレタン (橋梁仕様)	1層目：変性エポキシ樹脂塗料(50μ) 2層目：ウレタン樹脂中塗料(30μ) 3層目：ウレタン樹脂上塗料(30μ)
塗装系② フッ素 (橋梁仕様)	1層目：変性エポキシ樹脂塗料(50μ) 2層目：フッ素樹脂中塗料(30μ) 3層目：フッ素樹脂上塗料(30μ)



5. 施工方法

写真-4に示す実構造物へ貼付型防食部材を適用し、施工直後および1年経過後の外観確認、施工時間を計測しました。施工工程を図-8に示します。研磨紙などの手工具で浮き錆・塗膜を除去した後、除去範囲より一回り大きく貼付型防食部材を切断し、貼付けを行いました。貼付型防食部材を施工する際に、ローラーを用いて圧着をするように施工をすることで、防食部材が破れることなく、空気が入り込まず、安定した付着強度を確保できます。施工箇所は、軽微な錆が発生して

いる一方で、施工箇所の周囲は健全な塗膜が残存している箇所を選択しました。施工作業者は、熟練度の影響をなくすため、クロス張りやラッピング等の類似の作業の経験がない作業員2名を選定しました。

	貼付型防食部材	ウレタン塗膜	ふっ素樹脂塗膜
初期			
5,000時間経過後			

※防食部材のみ端部にマスキングテープを貼り付けしています

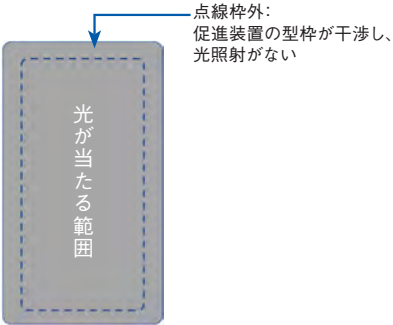


図-7 耐候性試験開始時と5000時間経過時の試験体の外観写真



写真-4 施工性能確認試験にて使用した実構造物



図-8 施工工程

表-2 施工箇所の施工前～施工直後および1年経過後の外観写真

	下フランジ(コバ部)	溶接ビード箇所	天井面	側面
施工前(浮き錆・塗膜除去)				
施工直後				
施工から1年経過後				

施工箇所代表4箇所の、貼付型防食部材を施工する前(浮いている塗膜や錆を落とした後)、施工直後、施工1年経過後の写真を表-2に、各構造物1箇所当りの施工時間を表-3にまとめました。表-2から、どの施工箇所においても、施工不良によるヨレ等は認められませんでした。コバ部や溶接ビード等の平面でない箇所に関しても、部材が形状に追従した状態を維持していました。また、表-3から、貼付面積等によって時間が左右されるものの、施工時間は1箇所あたり4分以内となりました。塗装塗り替えにて補修する場合、何層にも重ね塗りを行う必要があり、作業完了までに7日程度要します。防食部材の貼付による施工を行うことで、従来手法である塗装塗り替え作業と比較して85%の時間削減(7日工程が1日工程に)につながります。また、溶接ビード箇所について、施工1年経過後に防食部材を剥離した後の外観写真を図-9に示します。健全な塗膜の一部が防食部材の除去時に粘着剤と付着し鋼材面から剥離されている箇所は認められたものの、新たなさびの発生は認められませんでした。この結果から、施工時間、施工箇所の外観写真からも、熟練度問わず簡便に施工でき、且つ、防食機能を保つことができることがわかりました。

表-3 各構造物の施工時間

構造物番号	1	2	3	4	5
貼付箇所(箇所)	13	7	8	4	5
貼付面積(m ²)	0.357	0.181	0.143	0.031	0.237
合計施工時間(分)	16	23	15	7	16
施工時間(分/箇所)	1.23	3.29	1.88	1.75	3.20



貼付け直前 貼付けから1年経過後
図-9 貼付型防食部材の貼付け直前と
貼付けから1年経過後の塗装鋼面の外観写真

6. 屋外暴露試験

貼付型防食部材の各環境での屋外暴露耐久性を評価するため、寒冷豪雪(塩害)環境(石川県2箇所 写真-5)および温暖塩害環境(沖縄県 写真-6)にて、図-2、図-3に示すような手順にて作製した試験体の暴露試験を2023年3月から実施しております。

7. 今後の活用について

局所的な腐食に対して、大規模修繕までの簡易的な補修として、少工程且つ熟練者でなくても簡便に補修できる、期待耐用年数10年の貼付型防食部材を開発しました。最大280mm

幅×20mのロール状、着色済(白、灰色他)の部材の製作が現状可能で、お客様のご要望をお伺いしながら製作を進めていく方針です。今後は、補修工事への適用に向けて、実構造物へ貼付した防食部材および暴露試験中の試験体の経過観察、そして、大面積にて腐食劣化が認められる箇所についても施工ができるようなジグ開発などを進めていく予定です。



写真-5 寒冷豪雪(塩害)地域 試験体設置後外観写真(2箇所分)



写真-6 温暖塩害地域 試験体設置後外観写真

【参考文献】

- 1) 村越潤、田中良樹、藤田育男、坂根泰、田中健司、植田健介：既設コンクリート道路橋桁端部の腐食環境改善への取り組み、土木技術資料、50-11、pp.16-19、2008
- 2) 伊藤義人、清水善行、北根安雄：複合サイクル環境促進実験を用いた異なる鋼板角部形状の塗装防食耐久性に関する研究、土木学会論文集A、Vol.66 No.1、68-78、2010.1
- 3) 井合雄一、今井学、清水隆、吉田利樹、赤嶺健一：防食シーートの適用性に関する検討、土木学会第70回年次学術講演会、pp.891-892、2015.9
- 4) スガ試験機株式会社「腐食性を極める」(2023年3月22日)：<https://www.sugatest.co.jp/function/ex1/>
- 5) 日本ウエザリングテストセンター：促進暴露試験試験ガイドブック、p17、(2009)
- 6) モノタロウ社ホームページカモ井加工紙社製 風神ローラー(2023年7月20日)：<https://www.monotaro.com/g/00358217/>

IIS製恒久足場

— アルミ板と鋼板を組み合わせたメンテナンスフリーの恒久足場 —

KITAMURA Koichi

北村 耕一*

FUJITA

藤田

Takumi

匠**

TAKESHIMA Ryuji

竹嶋 竜司***

1. はじめに

橋梁構造物の定期点検が義務付けられてすでに2巡目に入っています。点検には橋梁本体に近接するために足場等の設置が必要となります。しかし、都市部の重交通路線や高速道路・鉄道をまたぐ橋梁では、橋梁下面での点検とそれに伴う足場設置には多大な労力が必要となり、安全上も問題があります。近年、点検を省力化するための技術開発が進められており、橋梁下面を覆う常設足場が設置される事例が増加しています。IISでは過去に首都高速道路において常設足場を施工した実績があります(写真-1)。本製品は、この実績をベースにして、さらにメンテナンスフリーに近い耐久性を有する製品にアップグレードしたものです。

2. IIS製恒久足場の仕様

2-1. 基本性能

本製品は従来の常設足場の基本性能である足場機能に加えて、塩分や水分などの鋼部材の劣化因子を外部から遮断する機能を持つもので、首都高速道路株式会社の設計要領¹⁾(以下、首都高要領)における「恒久足場」の要求性能を満たしています。

具体的には足場の外面に露出する箇所は耐腐食性の高いアルミ材を使用し、各種部材の隙間をゴムパッキンなどで塞ぐ構造にしています。図-1、図-2に恒久足場の外観および内部のイメージ図を示します。

足場内部は主桁に支持材を取り付け、支持材下端の縦梁の間に足場となる裏面パネルを敷き詰め、両側面を側面パネルで塞ぐ構造になっています。

主桁間隔は2.5m、支持材の橋軸方向間隔は2.25mを標準としています。



写真-1 首都高速での常設足場施工実績



図-1 恒久足場外観イメージ図

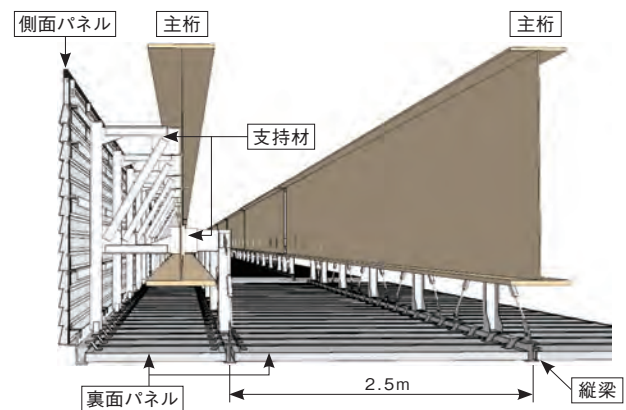


図-2 恒久足場内部イメージ図

2-2. パネル構造

恒久足場の主要部材となる裏面パネルと側面パネルの特徴は以下の通りです。

【裏面パネル】

標準寸法: 幅450mm×長さ2,500mm×厚さ70mm

重 量: 約35kg

パネル内部の波板および上部の天板にZAM鋼板を用いて強度を持たせ、外面に露出する側面と下面をアルミ板で覆い耐腐食性能を持たせる構造としています(図-3)。

【側面パネル】

標準寸法: 幅80mm×長さ2,250mm×高さ600mm

重 量: 約23kg

山型に加工した高さ150mmのアルミ部材を4段重ねて1つのユニットとしており、重ねる数を変えて150mm単位で高さの調整が可能です。また、最上段は床版下面との隙間を埋めるため、スライド可能な構造としています(図-4)。

両パネルのアルミ材表面は焼付塗装による着色が可能で周辺環境や橋梁本体に合わせた配色ができます。

* (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推進部 プロジェクトG

*** (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

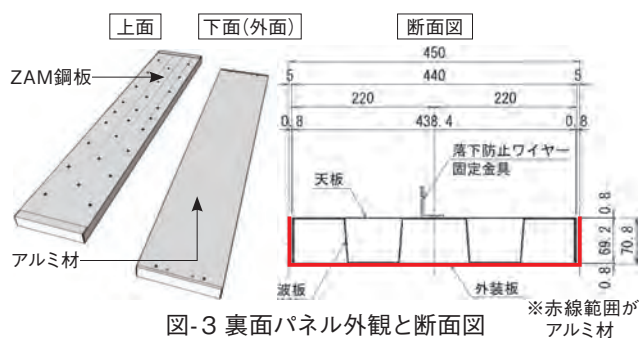


図-3 裏面パネル外観と断面図

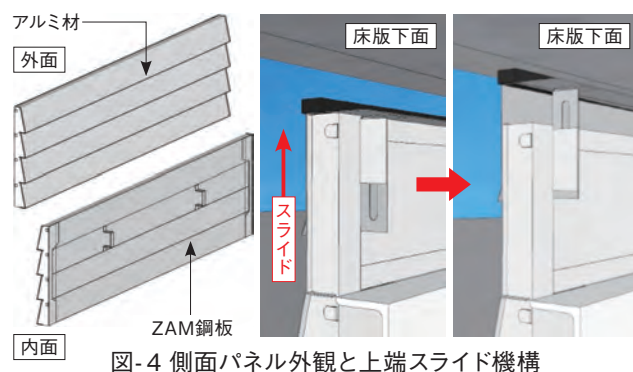


図-4 側面パネル外観と上端スライド機構

2-3. 衝撃落下性能

裏面パネルは作業員や機材の搭載荷重のほかに、作業員が中段足場などから飛び降りる際の衝撃が作用することが想定されます。そのような衝撃への耐久性を、首都高要領に規定されている試験方法で検証しています。具体的には重さ90kgの砂袋を高さ40cmの高さからパネル支間長の1/4点に40回落下させ(図-5)、結果として、パネルが脱落せず、砂袋の落下点がわずかに変形する程度であり、十分な耐久性を有していることを確認しました(図-6)。

2-4. 組立方法

恒久足場の基本的な現場での組立手順は図-7の通りです。①最初に主桁へ支持材を取り付け(既設橋の場合は本体への孔明けが必要)、②支持材下端に取り付けた縦梁の間に裏面パネルを取り付けます。③最後に側面パネルを取り付けて1ライン2.25m分の施工が完了します。このサイクルを繰り返して組み立てます。

また、裏面パネル間は添接板で連結する構造としており、ボルト孔を長孔とすることで施工誤差の吸収と、曲線の線形条件にも追従可能です。

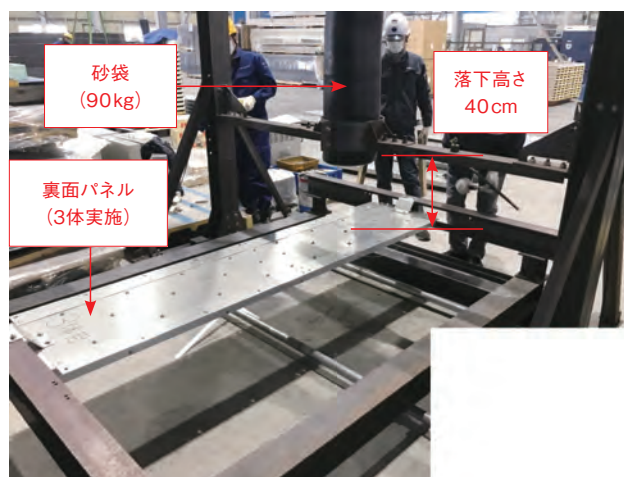


図-5 衝撃落下試験実施状況

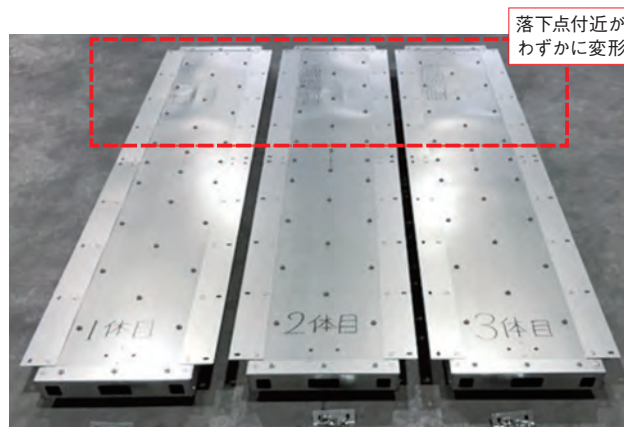


図-6 衝撃落下試験後の裏面パネル

3. 今後の活用について

常設足場の製品実績をもとに、耐久性を向上させた恒久足場を開発しました。今後は本製品を実工事に適用し、ノウハウと改良を重ね、さらなる製品の性能向上を目指します。

【参考文献】

- 1) 首都高速道路株式会社：附属施設物設計施工要領第8編 [恒久足場編]、2021



図-7 恒久足場組立手順

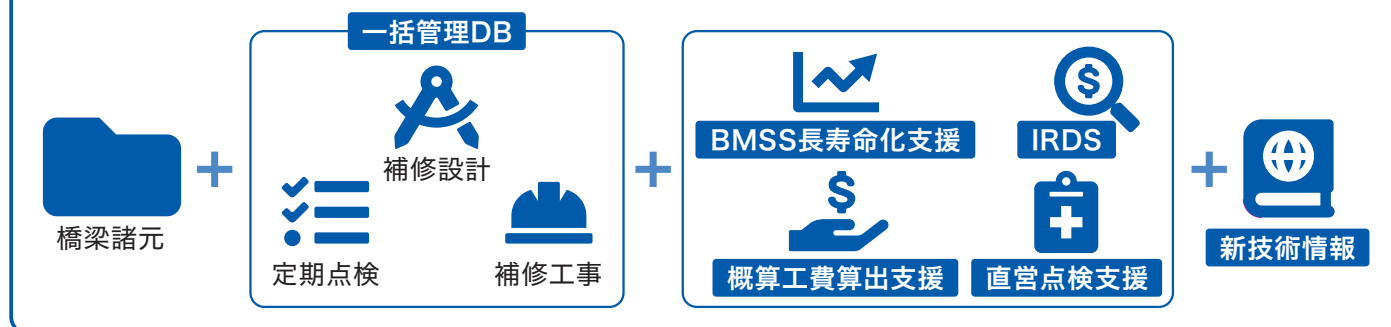
製 品 広 告



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)において維持管理業務の各STEP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30件!
管理橋梁約15,000橋

- ✓ **一括管理DB**で関連情報をすぐ確認
- ✓ 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

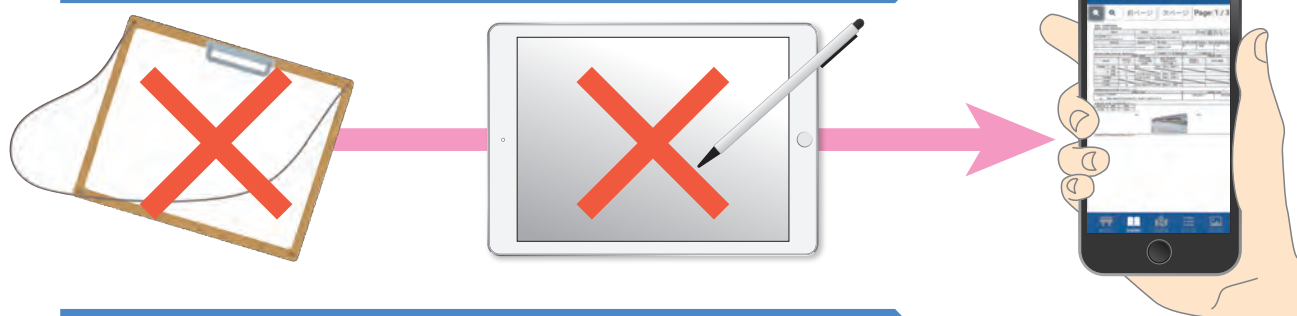
橋梁定期点検業務支援アプリ スマホ点検士™



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！



点検調書は自動でらくらく出力！



詳細はホームページでCheck!



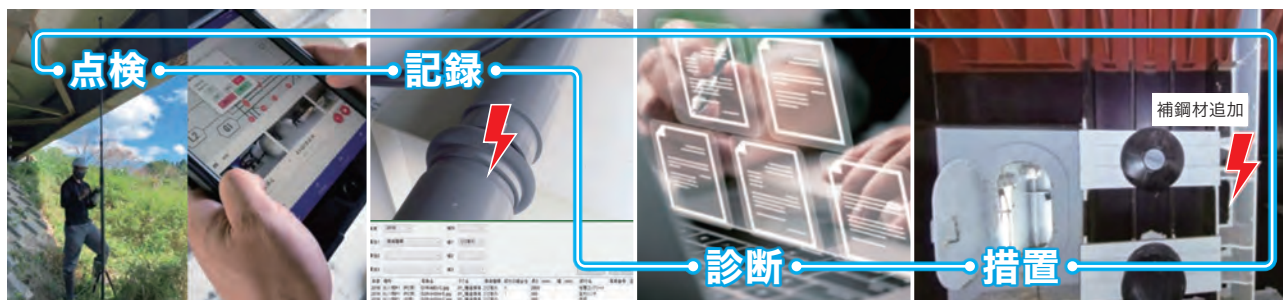
IHI Realize your dreams

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

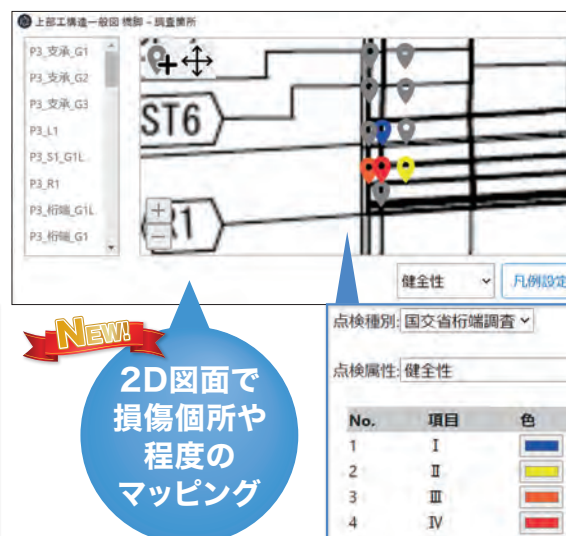


ハイレゾカメラ High Resolution Camera

- 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
<https://www.ihico.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

デジタル配筋検査システム

～デジタルデータを活用した鉄筋出来形計測～

デジタル配筋検査システムは、デジタルカメラやスマートフォン・デジタルカメラ搭載UAVを用いて建設現場や工場などで鉄筋の出来形を計測するシステムです。

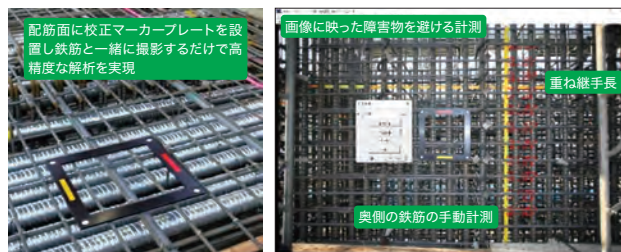


システム概要・特徴

- 現場条件や検査範囲に合わせた撮影方法を選定、カメラ画像より**鉄筋径・鉄筋間隔**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)

計測機材: デジタルカメラ※要校正、画像校正用マーカープレート他

※デジタル配筋検査システム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)アイティーイー・オフィスケイワン(株)・千代田測器(株)・(株)インフォマティクスとのコンソーシアムで開発された計測技術です。

橋梁上部工3Dモデル作成システム

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桁橋CIMシステム CIM-COMPO

対応: 工場製作のコンボ橋、T桁橋、床版 (ホロー桁) 橋

NETIS登録: KK-190036-A



PC箱桁橋CIMシステム CIM-BOX

対応: PC箱桁橋

NETIS登録: KK-210005-A



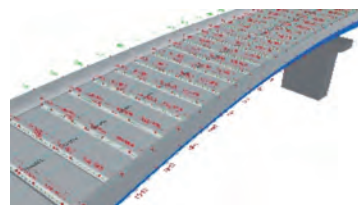
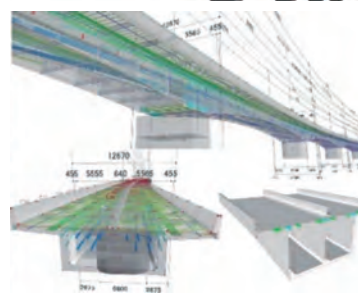
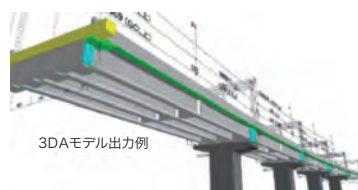
PCa床版CIMシステム CIM-PCaSLAB

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。



3DAモデル出力例



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



多機能床版取替機 Sphinx「スフィンクス」



Sphinx特徴

- 床版撤去から架設までの一連の作業を装置1台で実現する**多機能装置**
- **最大-5～+5%の縦横断勾配下**での床版撤去、架設が施工可能
- クレーン、走行作業、吊荷の傾き調整など、リモコンにより**リモート操作可能**
- 高速走行やスムーズな動作で、**高速施工**を実現
- 上空制限下の床版撤去、架設作業を実現する**低い装置高さ**



事業内容 ● 橋梁、水門その他鋼構造物の設計製作、施工、診断、補修、保全 ● 防災、機器の製造、販売、取付工事

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/



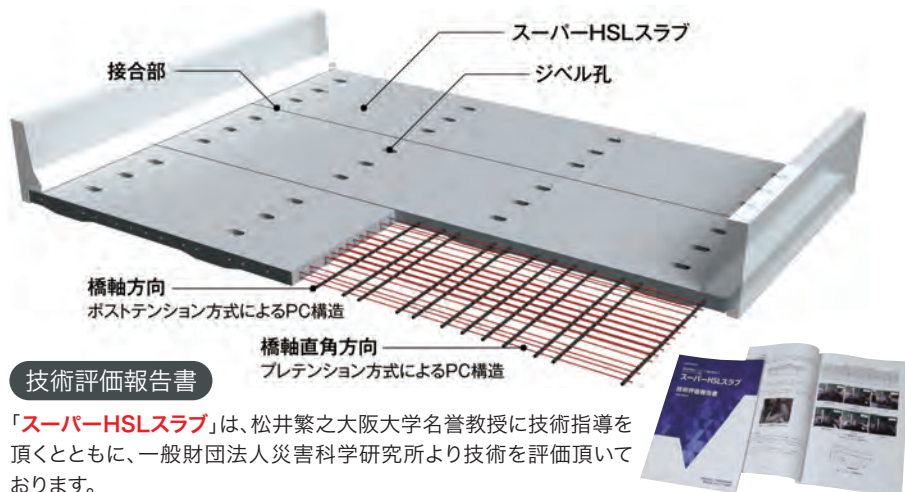
特許第6956585号

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。



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

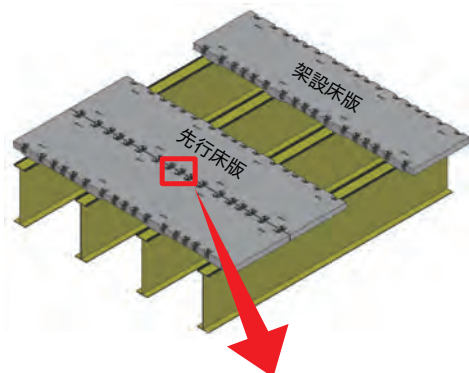
高耐久性

- 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

VanLoc
Variable Axial-force Network Loc

プレキャストPC床版接合構造
プレキャストPC床版接合部の合理化！
急速施工！
省人化！

特開2020-169546 等
複数特許出願中



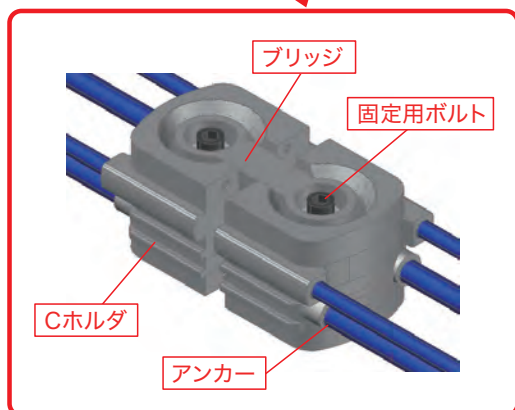
- ① 接合部の型枠・鉄筋組立が不要
- ② コンクリート打設が不要
- ③ PC床版枚数を削減可能

ループ継手のような鉄筋の突出がなく、
運搬時2.5m以内の制約を受ける床版幅を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

架設用の逆キノコックにより、架設床版の引き寄せが可能

NejiLaw™
本製品は、(株)NejiLawとの
共同開発によるものです



施工ステップ



架設床版の引き寄せ



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



特許第5700608号

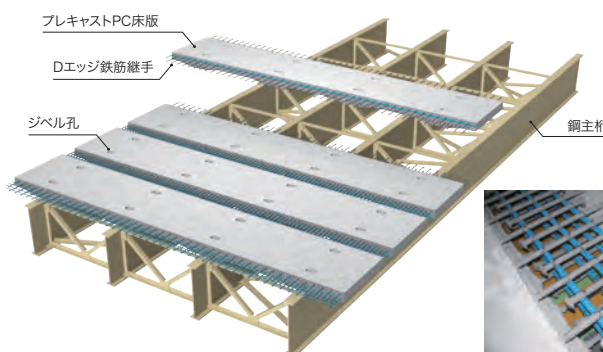
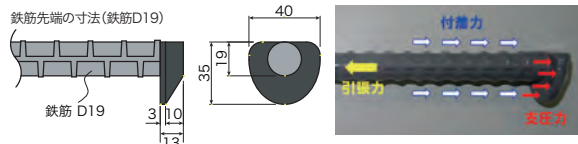
Dエッジ鉄筋継手

～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を見える化！

特徴② 内部の見える化により点検業務を省力化！

特徴③ 従来製品と変わらない性能を確保！



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。



錆唐 守

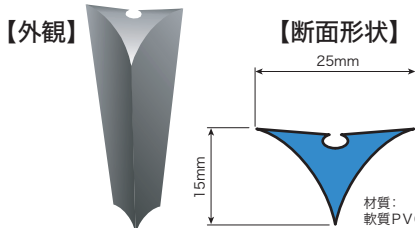
水切りアイドリッ

～橋梁床版用後付け型水切り材～

特長

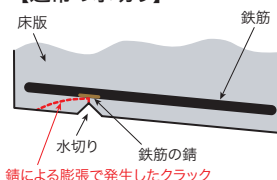
水切りアイドリッは、橋梁床版に接着する後付け型の水切り材です。

- ▼ 後付けて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

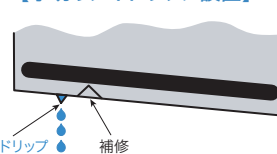


必要性

【通常の水切り】



【水切りアイドリッ設置】



施工例

▼ 床版水切り部



地覆の下面で水切り～な！
滴の国の水切りアイドル。
みずきりーなです！
※「水切りアイドリッ」は既設部材に接着剤で後付けできる硬質ポリ塩化ビニル製の水切り材です。



水樹 莉衣奈

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



Disaster prevention and gate technology training center

防災・水門技術研修所[®]

実際の水門設備を配備した、国内初の体験型研修施設

研修所の主な特徴

●座学と実機による体験型研修

技術基準に準拠した水門設備を配備しており、実技を通して点検・整備の実践的知識を身に付けることができる

- ①通常時の点検・整備の実技
- ②災害時の緊急点検の実技
- ③トラブル発生時の対応方法の実技など

●トラブルを模擬的に発生

実際に稼働中の設備では起こせないトラブルを、研修所の設備では発生させることができ、対応方法や点検方法等を体験しながら学ぶことができる

●遠隔操作化に対応

遠隔操作室を配備し、遠隔操作システムとネットワークカメラを使用した、実践的な操作を体験できる

●ICT・IoT技術の活用

効率的な維持管理に寄与する、最新のICT・IoT技術の習得とその技術を活用する人材を育成する(DX推進)

施設管理者・協力会社・同業他社など、
どなたでも研修を受講いただけます
水門設備の持続可能な維持管理を目的とした、
人材育成の場を提供します



IHI Realize your dreams

株式会社IHIインフラ建設

【お問合せ】 防災・水門技術研修所
〒133-0061 東京都江戸川区篠崎町5-2-13
TEL.03-6638-7840
URL: <https://www.ihi.co.jp/iik/products/ttc/index.html>



スマートデバイス水門点検サポートシステム

GBRAIN[®]

～タブレットを活用した点検業務効率化／高度化ツール～



2024年リリース予定

GBRAIN[®] InsRet

～点検記録作成から報告までのDXを実現～

- **エクセル記録表の作成不要で業務効率化を実現！**

アプリで入力すれば、記録表の作成不要で施設管理者へ報告まで可能

- **アプリをインストールするだけですぐに使える！**

様式の登録不要で、すぐに点検記録を作成可能*

- **データ共有が容易に！**

点検記録はクラウドを介して
各端末やWEBからいつでも閲覧

- **過去の点検記録と比較ができる！**

入力画面と過去の点検記録を
一つの画面に並べて表示可能

- **オフライン環境でも使用できる！**

データを事前ダウンロードして
おくことで携帯電波が届かない
ところでも利用可能

*国土交通省「ゲート設備点検・整備標準要領(案)」に対応



詳細はホームページでCheck!



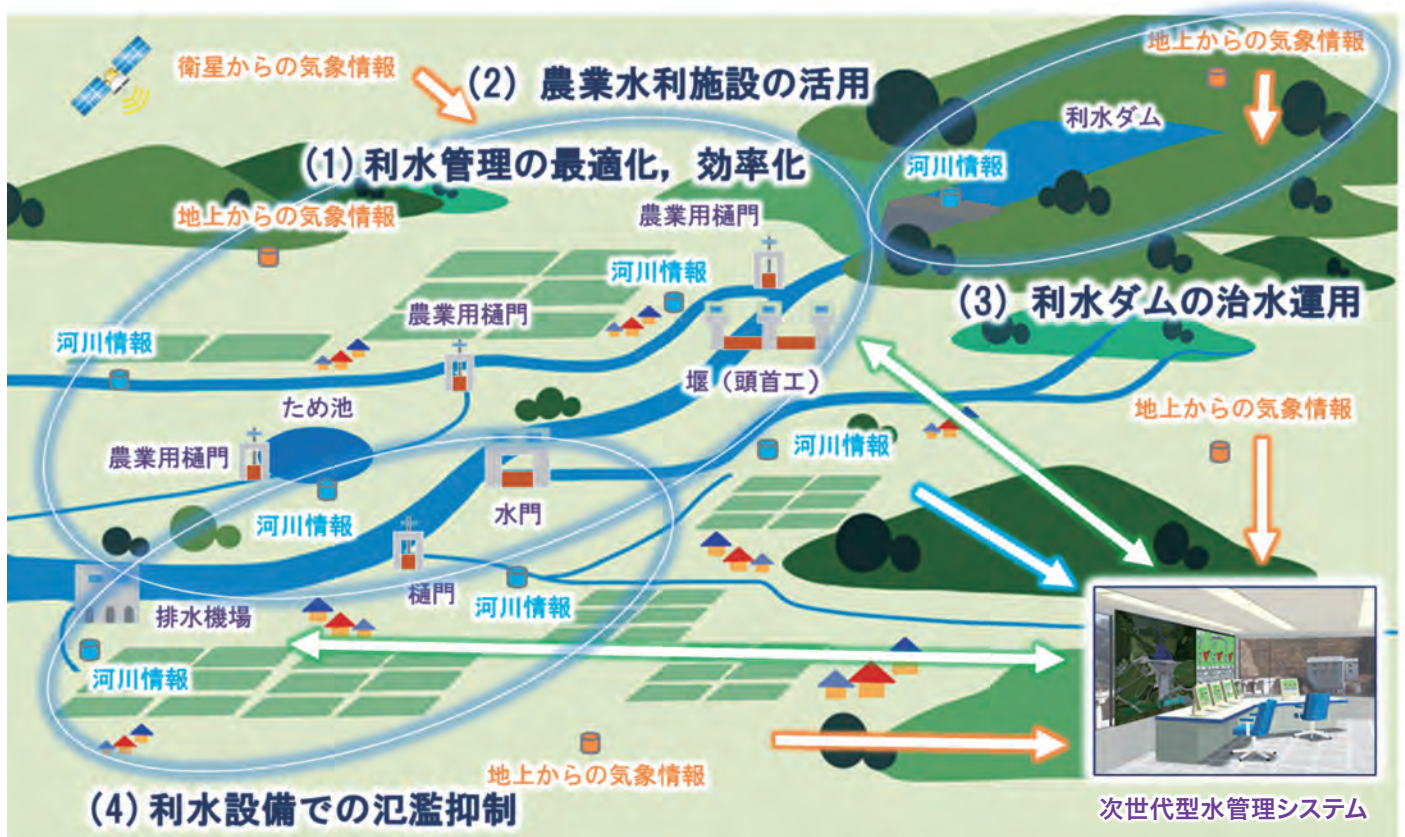
IHI Realize your dreams

株式会社IHIインフラ建設

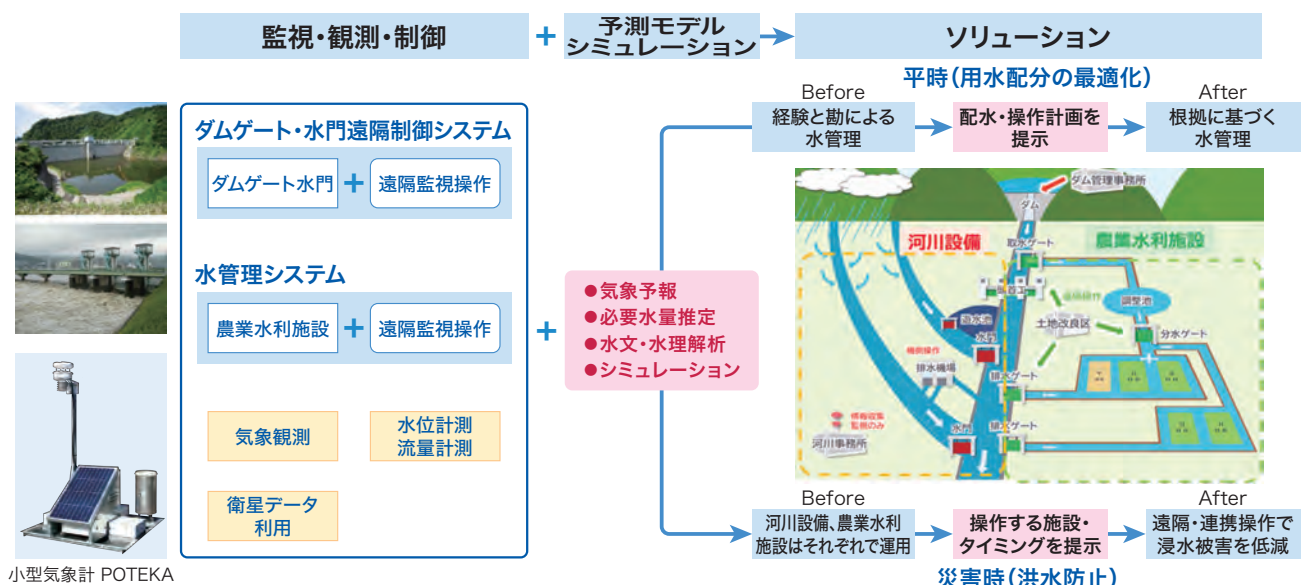
【お問合せ】 防災・水門事業部 TEL.03-6204-8480

次世代型水管理システム

(利水・治水高度化技術)



ダムから河川流域に広がる農業地域において、平時には精緻な配水計画を元に水利用を最適化し、豪雨時には水門等の水利設備の最適運用に加え、田んぼなどのグリーンインフラの活用を含めた洪水調整に寄与する高度な水管理システムの構築を進めています。この実現に向けて、高密度気象観測技術(POTEKA)と衛星観測技術を活用し、利水では配水量のモニタリングを元にした配水シミュレーション技術の実証を進めています。また、治水では高精度な洪水シミュレーション技術の開発を行ない、これらを統合して利水・治水の両面で地域に貢献する次世代型水管理システムの開発を進めます。



IHI Realize your dreams

株式会社 I H I 株式会社 I H I インフラ建設

【お問合せ】 社会基盤事業領域 事業推進部
TEL.03-6204-7315

編集後記

本年度も技報第12号を発刊する運びとなりました。設計や施工の面で特色ある工事や研究開発を完成させることができ、皆様方にその報告をできることを心より嬉しく思います。第12号では、初の試みとしてニュースを掲載し、現在進行中の工事や取り組みについて、タイムリーに紹介しています。

特集記事では、ルーマニアのブライラ橋を含む23kmの国道建設工事について取りまとめました。ブライラ橋は、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1,120mはEU第3位を誇ります。本プロジェクトはIHIグループとして初めてのルーマニア案件であり、2000年完工のカザフスタン・イルティシュ河橋以来となる、吊橋・道路・付帯設備全ての設計・施工を行った工事です。本誌では、「道路部の施工」、「ケーブル架設工事」、「補剛桁の製作・架設」、「耐風設計」、「リスクアナリシス」について掲載しました。エアスピニング工法によるメインケーブル架設や、ルーマニア国内の造船所で行った補剛桁製作などを報告しています。

ニュースでは、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、高速大師線の架け替えなどの大規模な工事や、中央自動車道深沢橋の老朽化した床版の取り替え工事などを紹介しています。海外で進行中の工事については、工事情報とピックアップを箇条書きで掲載しました。

上記以外の工事や技術開発においても様々な課題がありましたが、お客様とともに検討し、解決した成果を数多く掲載しました。これからのニーズの変化にも柔軟に対応し、橋梁、水門およびその他の事業を通じて社会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、査読者の方々、掲載した工事や研究に携わった多くの皆様に編集委員一同、心より御礼申し上げます。

IHI vol.12 2023
インフラ技報
IHI Infrastructure Technical Report
2023年11月27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 **富士フィ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 山根 三弘 北山 琢
牟田口 拓泉 齊藤 史朗 武川 哲
●IHK 森内 昭 風間 睦広 福島 憲明

(敬称略)

株式会社IHIインフラシステム

www.ihl.co.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

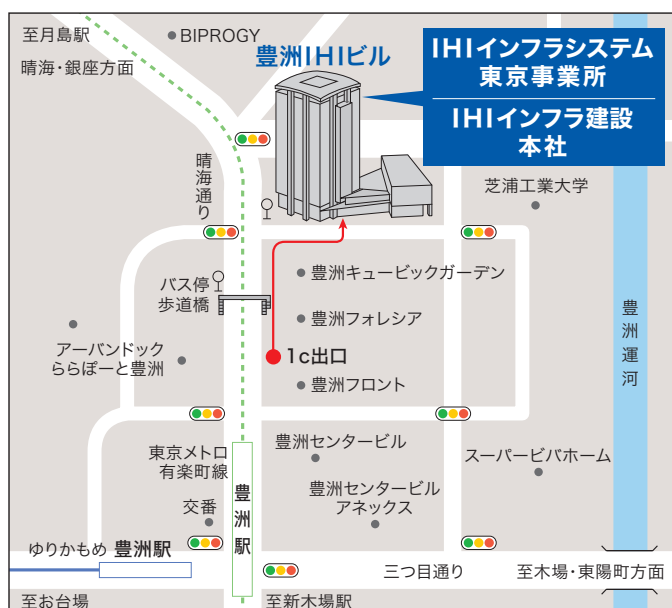
〒135-8710 東京都江東区豊洲三丁目1番1号
豊洲IHIビル
TEL.03-6204-8538 FAX.03-6204-8932

株式会社IHIインフラ建設

www.ihl.co.jp/iik/

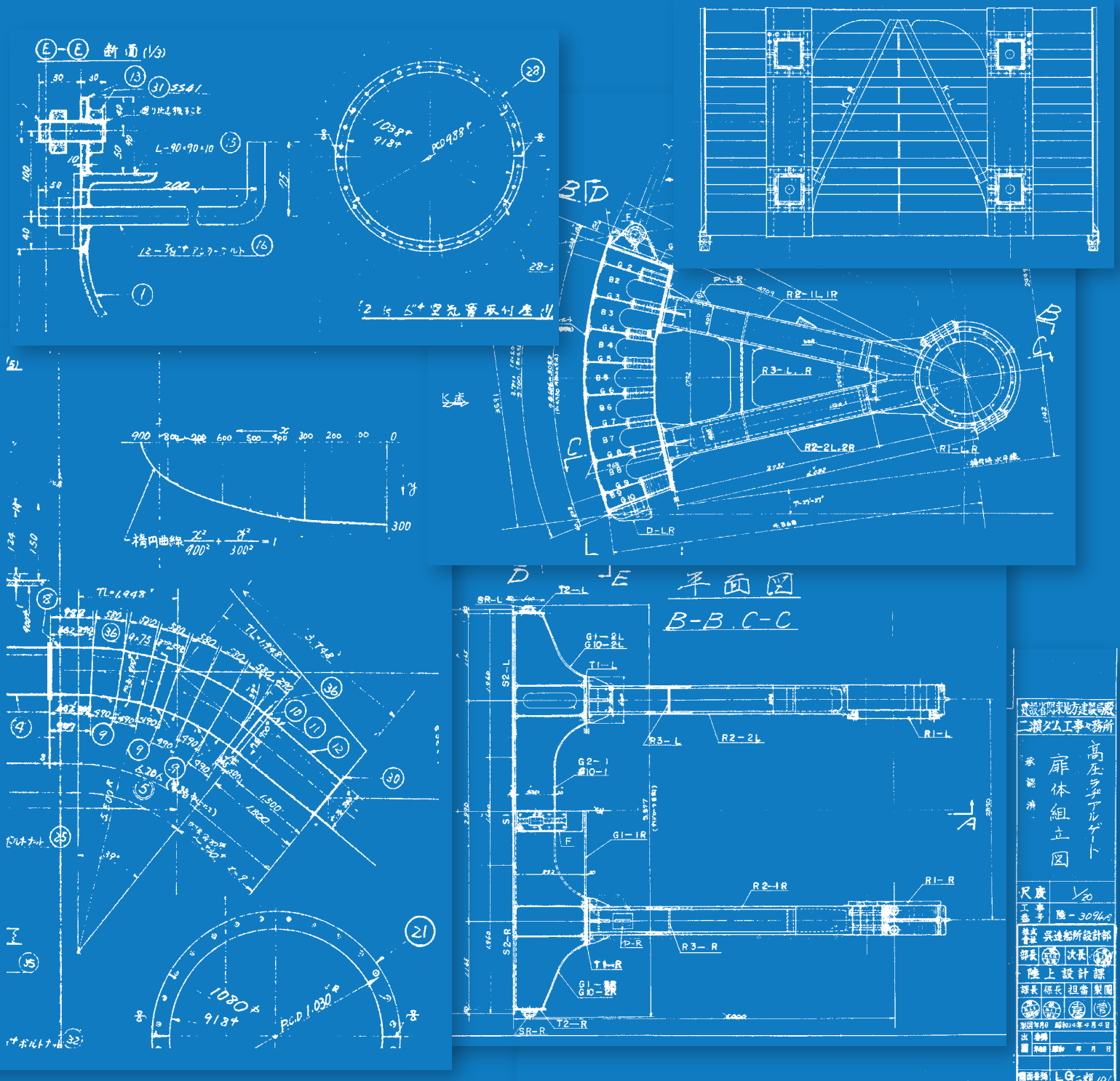
本 社

〒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



株式会社IHIインフラシステム
IHI Infrastructure Systems Co., Ltd.

株式会社IHIインフラ建設
IHI Construction Service Co., Ltd.



IIII 技術 [III Infrastructure Technical Report vol.12]

NONO 2