

論文・報告

国内最大級の支間長を有する鋼床版箱桁橋 （新町川橋）の設計・製作・施工

Design and Factory making and Construction of steel deck box girder (Shinmachigawa Bridge)
with the span length of the domestic maximum level

水野 浩 *1
MIZUNO Hiroshi

韓 定浩 *2
HAN Sadahiro

川原 桂史 *3
KAWAHARA Keiji

石川 一成 *4
ISHIKAWA Kazunari

加納 晋至 *5
KANO Shinji

徳原 博允 *6
TOKUHARA Hiromitsu

四国横断自動車道（阿南～徳島東）は四国8の字ネットワークの一部を形成しており、供用済みの四国縦貫自動車道や四国横断自動車道と連携し、四国東南部における広域交通ネットワークを形成することにより、慢性的な渋滞の緩和、高次緊急医療機関への搬送時間短縮、南海トラフ地震など災害時の緊急搬送道路としての役割を担っている。新町川橋は、津田IC～徳島東IC間のほぼ中間点に位置し、新町川の河口付近に架橋される3径間連続鋼床版箱桁橋である。中央径間の支間長250mは、鋼床版箱桁橋としては国内最大級の橋梁である。また架設方法について、国内最大クラスの起重機船を用いた大ブロックFC架設を行った。本論文では、本橋の設計における留意事項、施工にあたって検討した鋼床版の疲労への配慮事項や模型による施工試験、および大ブロック架設時の検討事項などについて記述する。

キーワード：鋼床版 疲労耐久性 FC 大ブロック架設

1. はじめに

四国横断自動車道（阿南～徳島東）は四国8の字ネットワークの一部を形成しており、供用済みの四国縦貫自動車道や四国横断自動車道と連携し、四国東南部における広域交通ネットワークを形成することにより、慢性的な渋滞の緩和、高次緊急医療機関への搬送時間短縮、南海トラフ地震など災害時の緊急搬送道路としての役割を担っている。

新町川橋は図1に示すように徳島津田IC～徳島沖洲IC間のほぼ中間点に位置し、新町川の河口付近に架橋される3径間連続鋼床版箱桁橋である。以下に工事概要を、図2,3に橋梁概要を示す。図2にはJV各社の製作範囲を示す。

工事名 平成30～32年度 新町川橋上部工事
橋長 500.0m
支間長 123.5m+250.0m+123.5m
幅員 21.750m（有効幅員） 28.640m（全幅員）
構造形式 鋼3径間連続鋼床版箱桁橋
主要鋼材 SM570 SM490Y SM400 S10T

鋼桁重量 8500t
架設工法 FCによる大ブロック架設
発注者 四国地方整備局徳島河川国道事務所
設計 セントラルコンサルタント(株)
施工会社 川田・横河・MMB
特定建設工事共同企業体
工期 2018年8月24日～2021年5月31日



図1 位置図

*1 川田工業㈱橋梁事業部技術部大阪技術部四国技術課 課長

*2 川田工業㈱橋梁事業部技術部大阪技術部大阪技術課

*3 川田工業㈱橋梁事業部生産統括部生産技術部四国橋梁技術課 課長

*4 川田工業㈱橋梁事業部生産統括部生産技術部四国橋梁技術課 係長

*5 川田工業㈱橋梁事業部工務部東京工務課 課長

*6 川田工業㈱橋梁事業部工務部大阪工務部大阪工務課 工事長

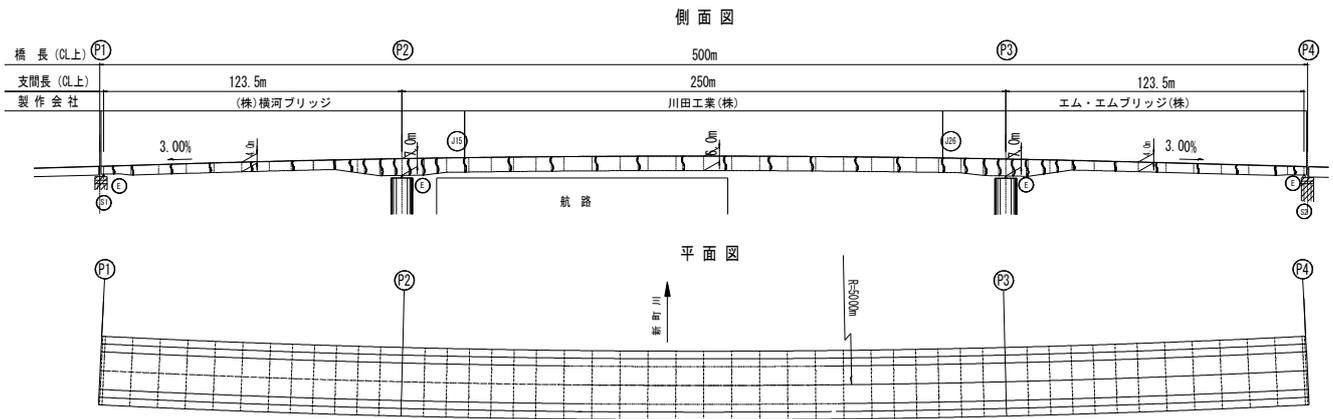


図2 側面図, 平面図

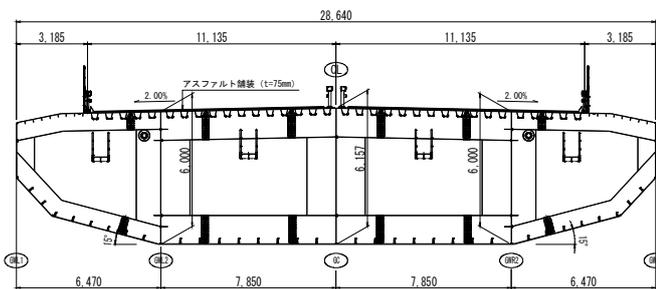


図3 断面形状 (中央径間)

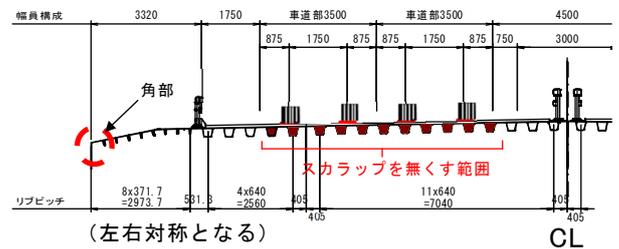


図4 輪荷重載荷箇所および角部

中央径間の支間長 250m は、鋼床版箱桁橋としては国内最大級の橋梁である。また架設方法について、国内最大クラスの起重機船（以下 FC と略す）を用いた大ブロック架設を行った。

本論文では、本橋の設計における留意事項、施工にあたって検討した鋼床版の疲労への配慮事項、および大ブロック架設時の検討事項について記述する。

2. 疲労に配慮した構造詳細、製作について

本橋は図3に示すように、11角形の多室セル鋼床版箱桁橋である。鋼床版は直接輪荷重が載荷され、疲労損傷が発生しやすい箇所であるため、特に疲労に配慮する必要がある。また図4に示す角部の溶接は、地組と現場溶接箇所は溶接線が三線交差する箇所であり、溶接品質に十分配慮が必要となる。

2.1 Uリブ貫通部のノンスカロップ構造

Uリブが横リブやダイヤフラムを貫通する箇所で、スカラップの溶接止端部から疲労損傷が発生しやすいことがこれまでの研究¹⁾²⁾で報告されている。そこで図4に示す直接輪荷重が載荷される箇所はスカラップを設けず溶接する構造を採用することとした。本橋は1パネルに最大6本のUリブが設置されることになる。貫通部がすみ肉溶接の場合、溶接部の隙間を1mm以下に抑える必要がある。しかし、曲線桁であることから6本のUリブ全てを1mm以下に抑えることは困難と考えられた。そのため該当部分の部分模型（写真1）を製作し溶接施工



写真1 施工試験体

性を確認することとした。その結果、貫通部の隙間は0.3～3mmとバラつきが生じることが分かった。そこで、該当箇所はすみ肉溶接ではなく、部分溶け込み溶接を採用することとした。

2.2 角部三線交差部の溶接手順

地組溶接や現場溶接となる図4に示す角溶接部は、3方向の溶接線が交差する部分となる。この箇所の溶接品質を確保するため、図5に示す溶接手順で実施することにした。(i) エンドタブを設置した状態でデッキ側の溶接を施工、(ii) エンドタブを除去し交差部の開先形状をガウジングで成形しウェブ面を溶接、(iii) 角部の溶接を施工。この手順についても、模型による施工試験を実施し、十分品質が確保できることを確認した。

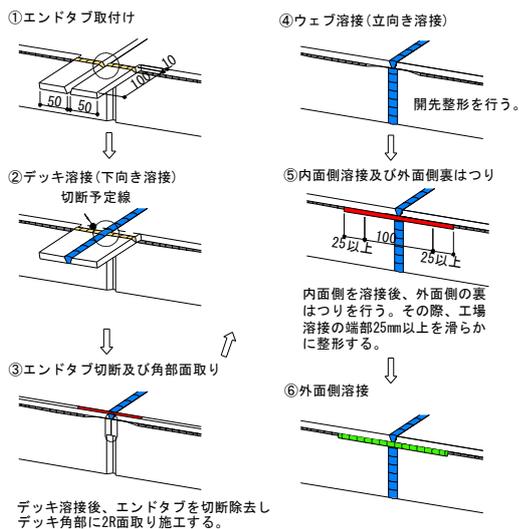


図5 三線交差部の溶接手順

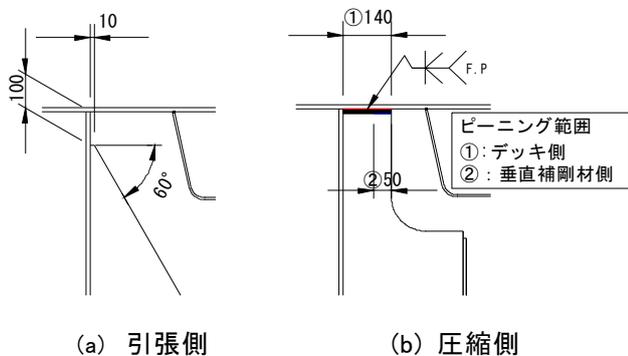


図6 垂直補剛材上端のディテール



写真2 溶接部の仕端仕上げ状況

2.3 垂直補剛材の上端構造について

本橋は大ブロック架設重量の制限より、横リブ間に垂直補剛材を設けることでウェブ板厚を低減し軽量化を図っている。一方、垂直補剛材とデッキの溶接部には疲労損傷が発生する事例¹⁾²⁾があり特に注意する必要がある。そのため図6に示すディテールを適用した。デッキに作用する主桁作用応力が引張側 (a)については、溶接施工性のため100mm 離隔を設ける構造とした。

また、圧縮側 (b)について、ウェブ座屈への配慮から



写真3 地組完了状況



写真4 大ブロック浜出し



写真5 セッティングビーム取付け

デッキと溶接を行うが、疲労損傷への配慮として、輪荷重が直接載荷される箇所は、写真2に示す完全溶け込み溶接を行った上で、ビードの止端部をピーニング処理することとした。垂直補剛材側は先端付近(50mm 範囲)をピーニング処理した。

3. 中央径間ブロックの地組立と浜出し

中央径間ブロック(J16~J25)の製作・地組は、弊社四国工場にて行われた(写真3に地組完了状況を示す)。岸壁に面している利点を生かし、岸壁沿いに地組されたブロックを国内最大級の吊能力3700tを有するFC「武蔵」にて吊り上げ、後から入港してきた桁輸送用台船「深洋(14500t積)」に積み込んだ(写真4に浜出し状況を示す)。多度津港に入港可能なFCには制限があり、全重量を吊り上げ可能な「海翔」は、その大きさから入港できなかった。そこで、入港が可能な「武蔵」で約3200tの桁本体

を吊上げ台船に搭載し、約 340 t のセッティングビーム（以下 SB と略す）を浜出し後に台船上で設置することとした（写真 5 に SB の設置状況を示す）。2021 年 11 月 14 日の浜出しからおおよそ 2 週間かけ SB の設置は完了し、11 月 29 日に最後の大ブロック架設に向け多度津港を出港した。

4. FCによる大ブロック架設

4.1 大ブロック架設計画

大ブロック架設の概要を図 7 に示す。全体を 4 ブロックに分割し架設を行った。図 2 に示す範囲を 3 社で分割して製作を行ったため、中央径間を製作している川田工業で大ブロック仕口の精度を確認した後、J15~J16 部材を左岸側大ブロック（横河ブリッジ）へ、J25~J26 部材を右岸側大ブロック（エム・エムブリッジ）へ転送し重複仮組による相互チェックを行った。

吊り重量から、側径間は 3 700t 吊 FC の「武蔵」で、中央径間は 4 100t 吊 FC の「海翔」で架設する計画とした。左岸側（P1 側）の架設状況について写真 6 に示す。近接する漁港の堤防基礎への影響を考慮し、河床の浚渫が計画通りできなかつたため、FC を中央径間側に寄せて架設する必要があり P1 脚上までの架設が困難となった。そのため、S1~J2（小ブロック）を先行して FC 架設し、更に約 400t のウェイトを J16 付近に搭載した大ブロック架設を行うこととした。ウェイトには敷鉄板と H 型鋼を用いた。これにより吊り重心が P2 側に約 15.0m 移動し、左岸側の大ブロック架設を可能とした。

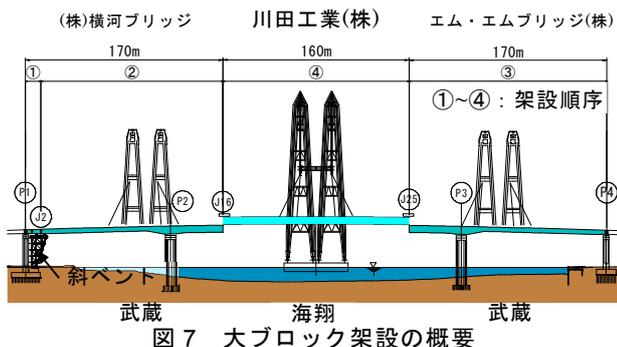


図 7 大ブロック架設の概要



写真 6 ウェイトを搭載した大ブロック架設

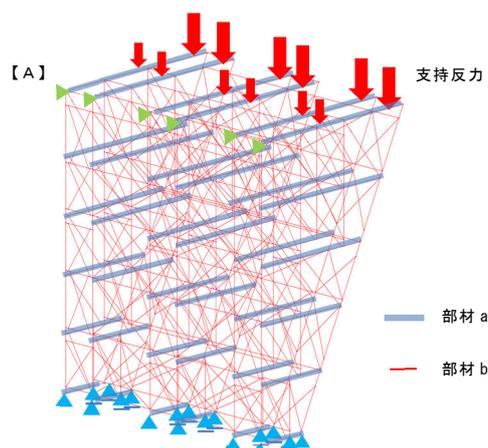


図 8 斜ベントの立体骨組モデル

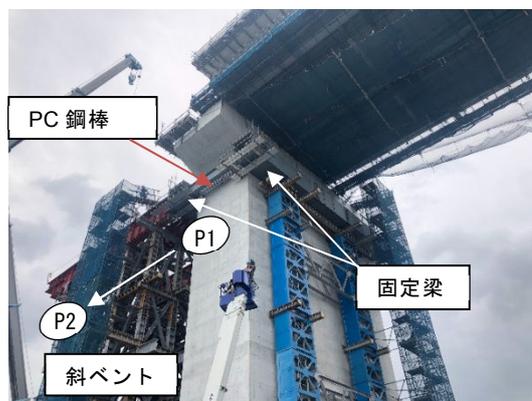


写真 7 P1 斜ベントと固定梁

4.2 斜ベントの計画

S1~J2 の小ブロックを先行して架設し、大ブロックとの接合を行うため J2 付近にベントを構築する必要があった。架橋地点は埋立地であり地盤耐力が確保できないことから、P1 橋脚のフーチング上にベントを構築することとした。その場合仮支持するためには、斜めのベントを構築する必要がある。大ブロックと小ブロックを結合したときの支持反力が約 12 000kN（不均等含む）と大きいこと、斜め形状のベントとなり風や地震などの水平力に対する応力性状が複雑となることから、立体骨組解析を用いて断面力を算出することとした。図 8 に骨組モデルを示す。

ベントの先端付近に大ブロックの支持反力が発生するため、ベントには前方へ倒れこむ水平力が発生する。既に完成している P1 橋脚の加工を最小限とするため、箱形状の固定梁を橋脚の前後に設置し、PC 鋼棒にプレストレスを導入し挟み込む構造とした（写真 7）。当該箇所の骨組モデルは、固定梁と P1 橋脚の変形を考慮して水平方向をバネ支持とした（図中の【A】の箇所）。青色の部材 a は曲げモーメント（面内・面外）、せん断力（面内・面外）、軸力を伝達する部材とし、赤線の部材 b は軸力のみを伝達する部材とした。また、道路橋示方書に記

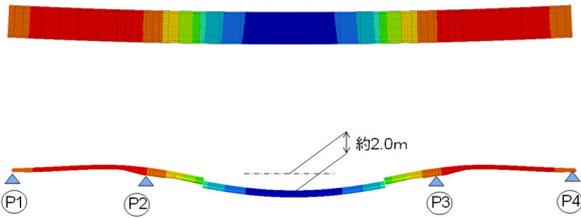


図9 死荷重による鉛直変形コンター



写真8 鉛直ジャッキと送り台

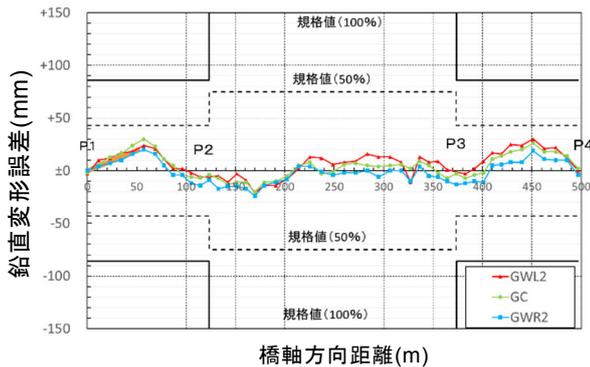


図10 鉛直変形誤差（実測値—設計値）

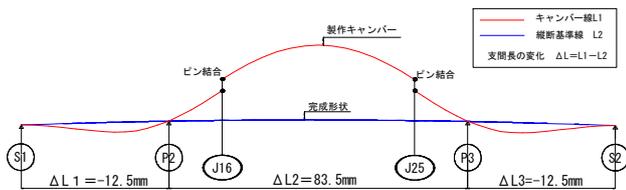


図11 弧長による支間長の差異

表1 全長、支間長の実測値

		(mm)			
		支間長 (S1~P2)	支間長 (P2~P3)	支間長 (P3~S2)	全長 (S1~S2)
GWL2	設計値	123.301	249.582	123.301	496.184
	実測値	123.302	249.604	123.272	496.178
	差	+1	+22	-29	-6
GC	設計値	123.497	249.974	123.497	496.968
	実測値	123.488	250.008	123.462	496.958
	差	-9	+34	-35	-10
GWR2	設計値	123.693	250.367	123.693	497.753
	実測値	123.682	250.405	123.660	497.747
	差	-11	+38	-33	-6
規格値		±44	±70	±44	±119

述のある L (部材長) / h (部材高) > 10 、 L/r (断面二次半径) > 30 での箇所については、二次応力を考慮した設計を行った。

4.3 出来形精度向上

本橋は断面形状が複雑であり、正確な断面剛性の把握が困難であること、長支間の鋼床版箱桁であり、断面剛性の差異が大きな変形差になることが予測されたことから、製作キャンバーの設定に FEM 解析を用いることとした。解析モデルは、本体はシェル要素、セッティング

ビームは棒要素とした弾性解析を行いキャンバーに反映した。図9に FEM モデルの変形状とコンターを示す。解析は、STEP1 (P1~J16 架設)、STEP2 (J25~P4 架設)、STEP3 (中央径間架設)、STEP4 (橋面工施工) のステップ毎に解析を行い、変形の足し合わせを行った。

鉛直変形量について、実測値から設計値 (FEM 解析結果) を差し引いた差を図10に示す。側径間が最大 30mm (規格値の 35%)、中央径間は最大 24mm (規格値の 16%) となっており、高い精度となっている。

本橋の死荷重たわみは図9に示すように中央径間の支間中央で約 2.0m と大きい。また縦断線形や変断面桁の影響もあり、図11に示す無応力時の中立軸の弧長 (赤線) と完成形状 (青線) を比較すると、側径間で約 -13mm、中央径間で約 84mm 支間長が変動する。これが完成時の全長、支間長の出来形に影響するものと考えられた。そこであらかじめこの差を製作寸法に考慮し、出来形精度を高めることとした。全長、支間長の計測結果を表1に示す。P3~S2 支間長の誤差が比較的大きめとなっているが規格値の 80%以内となっている。全長は最大 -10 mm と規格値に対して 10%以内の高い精度となっている。

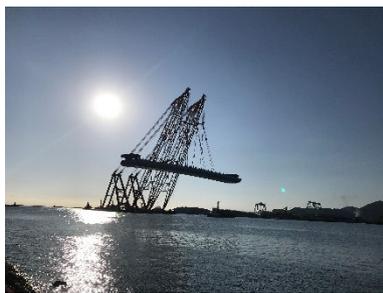
4.4 FCによる大ブロック架設施工

(1) 施工手順と留意事項

中央径間の大ブロック架設状況を写真9に示す。中央ブロックを架設する際、架設誤差や温度伸縮、吊上時の変形に伴う仕口角度の変化による仕口部の水平移動が生じる。仕口どうしの干渉を防ぐため、右岸側ブロックを 50mm セットバックし必要な仕口隙間 (25mm) を確保したうえで中央ブロックを架設、その後、右岸側ブロックをセットフォーすることにより、継手部を連結する計画とした。また、FCでの吊上状態から鉛直ジャッキに荷重を預ける際、FCの荷重除荷により生じる水平方向の変形にも対応する必要があった。そこで鉛直ジャッキの下に写真8に示す送り台を設置した。これは、摩擦係数の低い MC プレートと水平ジャッキを組み合わせ、セットフォーと中央ブロックの橋軸方向の変形に鉛直ジャッキを追随させるためのものである。



a) 台船からの吊上げ



b) 吊り曳航 1



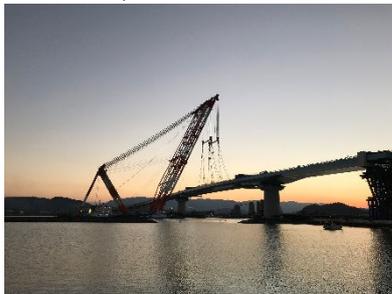
c) 吊り曳航 2



d) ドローン空撮



e) 橋面上作業



f) 吊張力解放

写真 9 大ブロック架設状況

次に仕口断面の接合要領について、本橋は 11 角形の特徴的な断面形状を有し、また平面曲線によるねじれが生じるため、仕口面にずれが生じることが考えられた。また桁高が 6.0m と高いため、上下フランジで温度変化による回転変形に伴う橋軸方向のずれも考慮する必要があった。これらの対策として、断面方向の仕口合わせでは、橋軸直角方向に 3 点設置した SB 受点の鉛直ジャッキによりねじれの調整を行った。また地組溶接継手部より密に配置したエレクションピースを用いることにより、仕口精度を高めることとした。橋軸方向の回転変形について、あらかじめ工場製作時に溶接継手付近のウェブへ設置しておいたブラケットに、センターホールジャッキを取り付け、PC 鋼棒による引き込みで上下のルートギャップ調整を行った。

(2) 全断面現場溶接

本橋は防錆や維持管理、鋼重低減の観点から全断面現場溶接が採用されている。架設地点は新町川河口に位置し、遮蔽物もないため強風が予想された。設計風速は 40m/s とする厳しい気象条件の中、現場溶接の品質確保は大きな課題であった。その対策として、断面全周に板張り防護で形成した風防設備を設置し、溶接作業時の風の影響を低減させることにより、溶接部の品質向上を実現できた。

5. おわりに

新町川橋は、2018 年 8 月に川田・横河・MMB 特定建設工事共同企業体が上部工工事を受注し製作を開始、FC による大ブロック架設を 2020 年 9 月～12 月に 4 回に分けて実施した。下部工工事との平行作業、河床の浚渫に

起因した架設方法の変更などがあったが、発注者、下部工業者、上部工 JV 一体となり厳しい工程管理を行った結果、2021 年 3 月 21 日に無事開通することができた。

本工事は中央径間の支間長 250m と国内最大規模の連続鋼床版箱桁橋を、全断面現場溶接で FC により大ブロック架設を行う難易度の高い工事であった。本報告に記載した内容以外にも、設計、品質、出来形に関する様々な検討を行った。本工事が完成することができたのは、本橋の設計や製作、架設工事に携わった関係者の多大な協力によるものと考えている。

6. 謝辞

本工事では施工検討会が設置され、委員長の東京都市大学三木千壽学長をはじめ、徳島大学長尾文明教授、その他有識者による検討会が計 6 回開催された。ここでは、耐風安定性、鋼床版の疲労損傷に配慮したディテール、全断面現場溶接部の品質確保、大ブロック架設の精度確保について議論が行われた。また、本工事を進めるにあたって徳島河川国道事務所の担当職員、現場技術員の方々に多大なご指導を頂いた。ここに深く謝意を表す。

最後に、本橋の設計に携わり、道半ばに病気で逝去された、技術部 部長の野原葵氏に謝意を表し、冥福を祈ります。

参考文献

- 1) 三木千壽: 橋の臨床成人病学入門, 建設図書, 2017.9.1.
- 2) 土木学会鋼構造委員会: 鋼床版の疲労, 2010.12.21.