

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*

Hiroshi Mizuno

ABSTRACT Shikoku-Odan expressway is a part of the Shikoku figure eight network. It takes a role as an emergency transport road in large-scale earthquake such as a Nankai Trough earthquake, alleviating chronic traffic congestion, shortening the transportation time to higher emergency medical institutions, and so on. Shinmachigawa Bridge is steel deck box girder with the span length of the domestic maximum level. This paper presents the results that consider of fatigue steel deck and construction of large block election.

KEYWORDS : 鋼床版, 疲労亀裂, 大ブロック架設

Steel deck, fatigue clack, large block election

1. まえがき

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	8,500 t
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

*博士 (工学) 川田工業(株)技術部大阪技術課 (〒550-0013 大阪市西区新町 2-4-2)

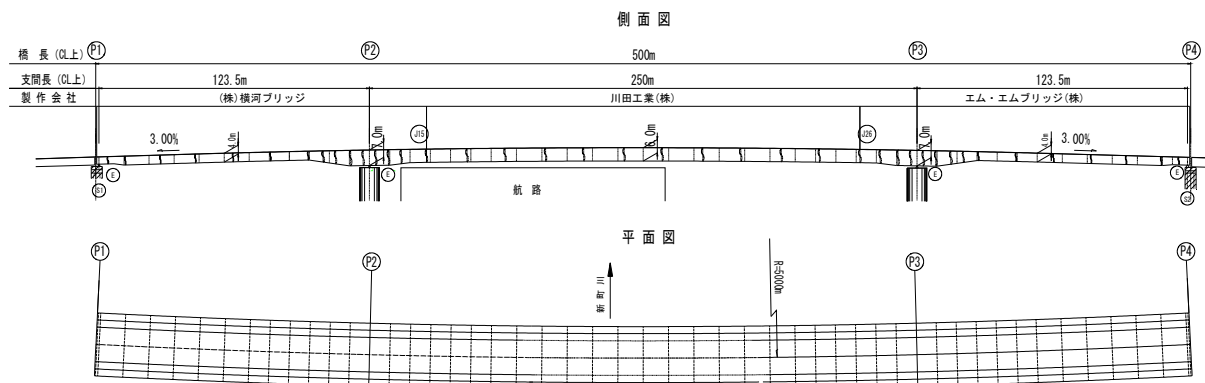


図-2 側面図, 平面図

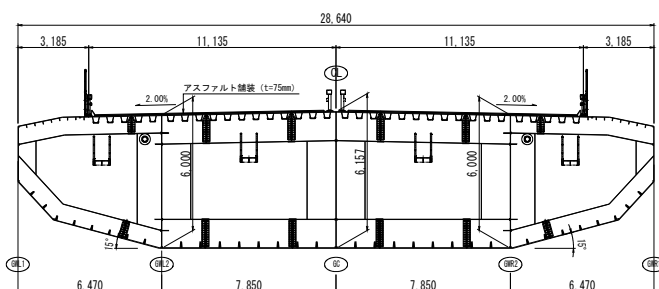


図-3 断面形状 (中央径間)

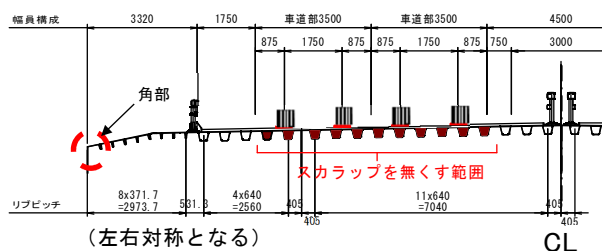


図-4 輪荷重載荷箇所および角部

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、地組溶接及び現場溶接箇所は、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ラップ構造

Uリブが横リブやダイヤフラムを貫通する箇所では、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以下で抑えることは困難と考えられた。そのため該部分の部分模型（写真-1）を製作し溶接施工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部となる図-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フランジ側の溶接を施工、(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。



写真-1 施工試験体

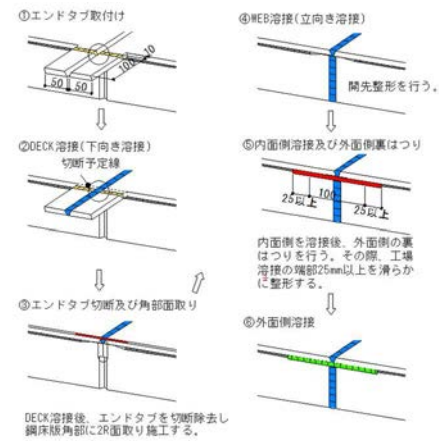


図-5 三線交差部の溶接手順

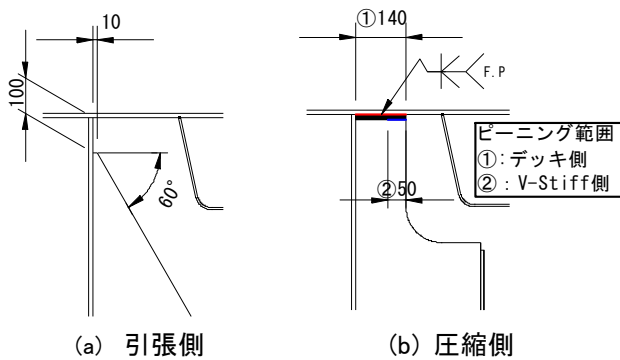


図-6 垂直補剛材上端のディテール



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、溶接また、圧縮側 (b) については、ウェブ座屈への配慮から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. FCによる大ブロック架設

3.1 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3700t 吊FCの「武蔵」で、中央径間は4100t 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3 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出来なかったため、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。

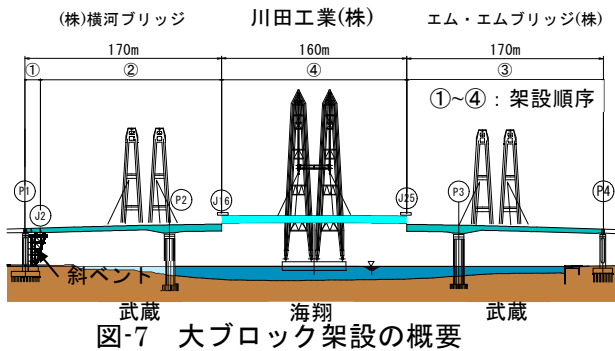


図-7 大ブロック架設の概要

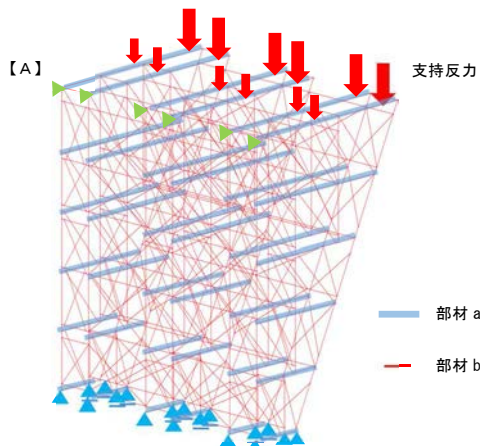


図-8 斜ベントの立体骨組モデル

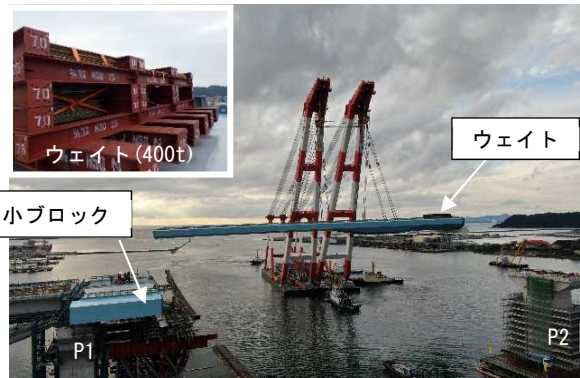


写真-3 ウェイトを搭載した大ブロック架設

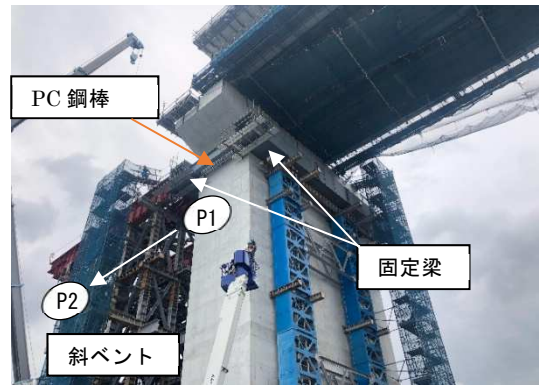


写真-4 P1 斜ベントと固定梁

3.2 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鉛直支持力が発生するため、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-4）。当該箇所骨組モデルは、固定梁および 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（ \parallel ）、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、道路橋示方書に記述のある $L/h > 10$, $L/r > 30$ の箇所については、二次応力を考慮した設計を行った。

3.3 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。

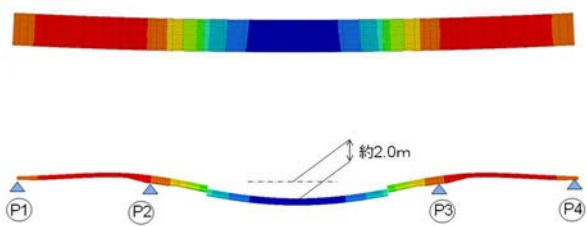


図-9 死荷重による鉛直変形コンター

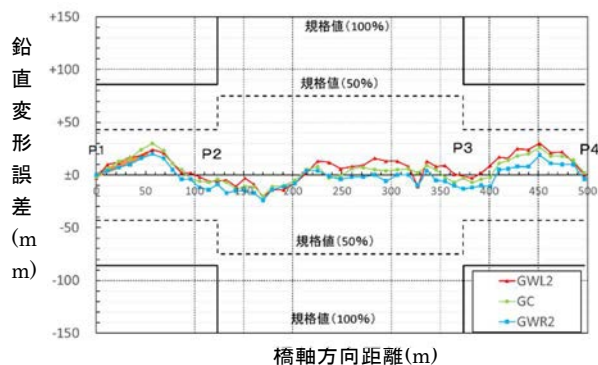


図-10 鉛直変形誤差 (実測値—設計値)

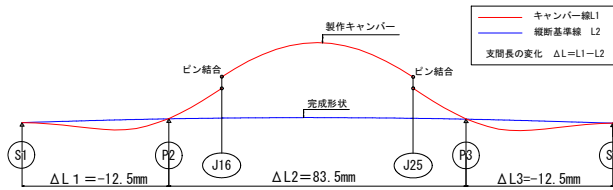
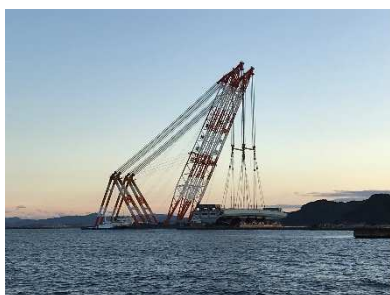


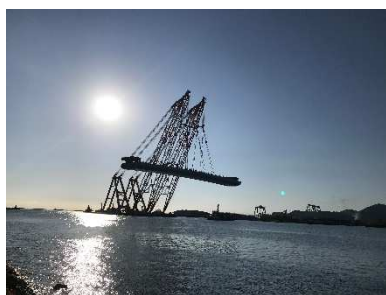
図-11 弧長による支間長の差異

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



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-5 大ブロック架設状況

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~P4の支間長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-10mmと規格値に対して10%以内の高い精度となっている。



a) P1 側下方より撮影



b) 開通前ドローンによる空撮した状況

写真-6 完成形状

4. 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。FCによる大ブロック架設状況を写真-5に示す。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。完成時の状況を写真-6に示す。

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。

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出来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られる。

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.