館山自動車道 湊川橋(鋼上部工)工事

CONSTRUCTION OF MINATOGAWA BRIDGE ON WIDENING THE TATEYAMA-EXPRESSWAY

1. まえがき

東関東自動車道 千葉富津線(館山自動車道)は,千葉市から富津市に至る総延長51kmの高速自動車国道である. そのうち,木更津南JCTから富津竹岡IC間は既に暫定2車線で供用中であるが,4車線化によって追い越し車線が整備されることにより休日等の交通集中による渋滞緩和が期待される. 本工事はこの4車線化に伴う橋梁の増設工事で,君津ICから富津竹岡ICの約20kmの区間に位置する5橋の車線を増設するものである(図-1).

本報告では,「3.延長床版設計における解析的検討」,「4.牛房谷橋の非線形 FEM 解析」および「5.施工条件と架設工法」について報告する.

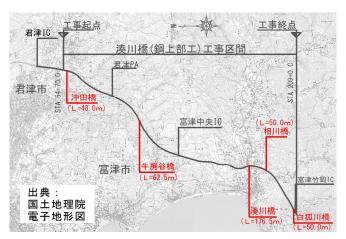


図-1 橋梁位置図

2. 工事概要

工事概要を表-1 に示す.

表-1 工事内容・架設工法

		五 1	工事內各 未改工丛		
工事名	館山自動車道 湊川橋(鋼上部工)工事				
発注者	東日本高速道路株式会社 関東支社 木更津工事事務所				
工事場所	千葉県 君津市六手~富津市竹岡				
工期	平成27年11月24日~令和元年8月25日				
橋名	沖田橋	牛房谷橋	湊川橋	相川橋	白狐川橋
構造形式	鋼単純合成2主鈑桁橋	鋼単純ポータルラーメン箱桁橋	鋼3径間連続ラーメン2箱桁橋	鋼単純合成2主鈑桁橋	鋼単純合成2主鈑桁橋
橋長	48. 000m	62.500m	176. 500m	50.000m	50.000m
桁長	47. 200m	59.600m	176. 100m	49.000m	49.393m
支間長	45. 800m	56.500m	55. 300m+67. 000m+52. 800m	48.000m	47.993m
道路規格	第1種 第2級 B規格 (B活荷重)	第1種 第2級 B規格 (B活荷重)	第1種 第2級 B規格 (B活荷重)	第1種 第2級 B規格 (B活荷重)	第1種 第2級 B規格 (B活荷重)
床版形式	PC床版	PC床版	PC床版	PC床版	PC床版
有効幅員	10.790m	10.010m	11.560m	10.060m	10.010m
平面線形	R=10000	R=2000~A=1000 ~A=1000~R=3000	A=300∼R=700	R=2000	R=∞
縦断勾配	-1. 840%~-0. 462%	+3.000%	+0. 671%	-1.231%∼+1.512%	+2.000%~-1.896%
横断勾配	+2. 500%	-2. 500%~+2. 500%	+6. 970%~+7. 500%	+3. 000%	+2.500%
鋼材重量	110. 2t	197. 1t	561. 5t	110.7t	99. 6t
架設工法	トラッククレーン工法	手延機による送出し工法	トラッククレーン工法	主桁先行型送出し架設工法	主桁先行型送出し架設工法

3. 延長床版設計における解析的検討

3.1 概要

本工事の湊川橋と相川橋には,近隣住民への騒音防止 対策として延長床版が採用された.

文献 1) の改訂により、耐震設計において、延長床版システムをモデル化する方針が新たに追加された. そこで、延長床版をモデル化する手法の検討ならびに摩擦力モデ

ルの初期剛性の変化に着目した動的解析を実施した.

3.2 延長床版のモデル化

湊川橋の側面図を図-2に示す. 桁端部にはメナーゼヒンジを有した延長床版を採用している. 延長床版の概要図を図-3に示す.

延長床版と底版の間に生じる摩擦力は、本橋の動的解析に考慮する必要があるため、非線形バネ要素として、

^{*} 橋梁工事本部 橋梁工事部 工事 2 課 **橋梁工事本部 橋梁保全事業室

^{***} 生産技術本部 橋梁設計部 東京設計課



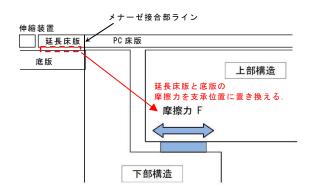


図-3 延長床版と底版の摩擦カモデル化概要図

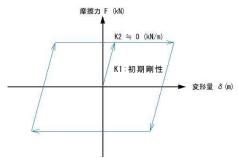


図-4 延長床版と底版の間に生じる摩擦カモデル

支承位置に置き換えてモデル化した. また, 延長床版と 底版の間に生じる摩擦力のモデルは図-4とし, 摩擦力の 算出に用いた摩擦係数は設計要領第二集 ¹⁾に準拠し 1.2 とした.

3.3. 解析検討ケース

湊川橋の動的解析に適用した解析モデルを図-5 に示す.摩擦力モデルの初期剛性は文献 2)を準用し、非常に剛な値を用いることを前提とした. そこで、適切な剛性を設定するため、摩擦力モデルの初期剛性を変化させ、計 6 ケースの解析を実施した.

3.4 解析結果

解析モデルに適用した摩擦力モデルの初期剛性と端支点部の橋軸方向最大応答変位の相関図を \mathbf{Z} -6に示す。初期剛性を増大させると、上部工の最大応答変位は抑制される傾向にあり、 $1.0 \times 10^5 \sim 1.0 \times 10^7$ の範囲で最大応答変位が収束する傾向を示した。

本工事では延長床版の摩擦力をモデル化する位置を支承位置に置き換え、初期剛性は「1.0x10⁶」を適用し、耐震設計の動的解析を実施した.

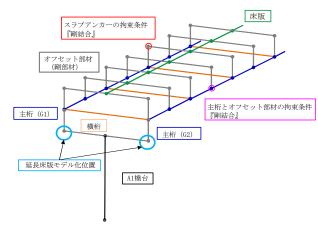


図-5 延長床版と底版の摩擦力を考慮した解析モデル

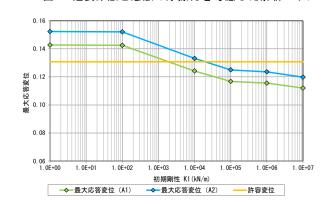


図-6 初期剛性と最大応答変位の相関図

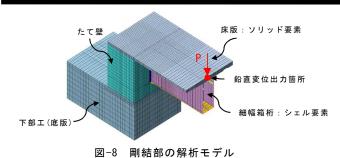


図-7 牛房谷橋 側面図

4. 牛房谷橋の非線形 FEM 解析

4.1 FEM 解析概要

牛房谷橋の側面図を図-7に示す.ポータルラーメン橋の箱桁 60m スパンの実績がないため,荷重伝達機構が不明確であることから,剛結部の破壊性状を FEM 解析にて確認した.解析モデルを図-8に示す.橋台と上部工の1 格点間をモデル化した.コンクリート部材である橋台底版,たて壁および床版をソリッド要素,鋼部材である主桁および支圧板をシェル要素でモデル化した.下部工の境界条件は,底版の底面を完全固定とした.なお,荷



※コンクリートと接触
療施す底(ギャップ要素)

※コンクリートと接触
病症しない

がカンクリートと接触
病症しない

PBL(バネ要素)

図-9 たて壁内の鋼部材とコンクリートの結合条件概要図重は桁張出し先端部に作用させた.

たて壁内の鋼部材とコンクリートの結合条件の概要を 図-9 に示す. 床版と鋼桁上フランジは剛結合とし, 剛結 部のずれ止めとして孔明き鋼板ジベル (以下 PBL) を採用し, コンクリート表面の節点と鋼板の節点をバネ要素 にて結合した. PBL のバネ値は複合構造標準示方書 ³)より, 貫通鉄筋を考慮した値とした. また, PBL および支圧板表面とコンクリート表面との接触はギャップ要素を用いて, 圧縮力のみ伝達し, 引張力およびせん断力は伝達させないこととした.

4.2 FEM 解析結果

荷重載荷位置における, FEM 解析で得られた荷重-鉛直変位関係を図-10 に示す. 立体骨組解析により算出した断面を合成桁断面と(鉄筋+鋼桁)断面の2種類とした剛性による荷重-変位関係を合わせて示す.

図-10より、床版-たて壁接合部のひび割れまでの剛性は FEM 解析と合成桁断面とする計算値でよく一致しており、合成桁として挙動していることがわかる.床版-たて壁接合部のひび割れ後(step4以後)は剛性を(鉄筋+鋼桁)断面とする計算値とよく一致しているが、荷重増大に伴い、徐々に乖離していくことが確認できる.その後、設計荷重の約2倍で下フランジが降伏し、床版-たて壁接合部のひび割れ幅が許容値を超過する.床版-たて壁接合部鉄筋は設計荷重の約3倍で降伏に至ることがわかった.

つぎに、図-10 の step4 における最大主応力コンターを図-11 に示す. 床版-たて壁接合部と底版-たて壁接合部では断面急変による応力集中が確認できる. ひび割れは同

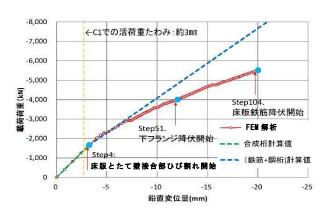


図-10 荷重一鉛直変位関係

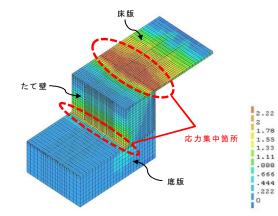


図-11 step4 におけるコンクリートの最大主応カコンター

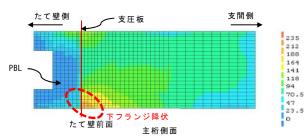


図-12 step51 における鋼部材のミーゼス応力コンター

位置から発生し、床版-たて壁接合部で支間中央へ、底版-たて壁接合部でたて壁へ広がる結果となった.

図-10 の step51 における主桁側面のミーゼス応力コンターを図-12 に示す. PBL がある支圧板接合部付近の下フランジの降伏が確認できる. このとき,支圧板背面のPBL が降伏していないことから,主桁からの圧縮力に対しPBL は支圧板を介して,たて壁コンクリートと分担して抵抗していることがわかり,安全性が確保されていることを確認した.

5. 施工条件と架設工法

暫定供用中の 4 車線化ということもあり,全ての橋梁 が高速道路に近接していた. そのため,施工ヤードは高

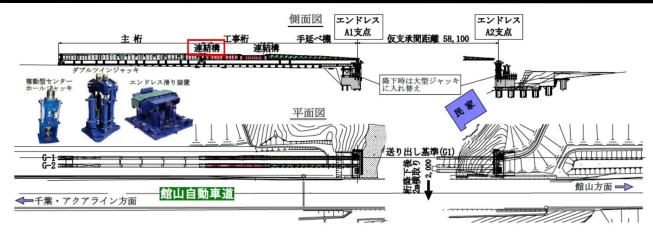


図-13 送出し架設計画図(牛房谷橋)



写真-3 送り出し状況

速道路脇の狭隘な施工ヤードか路下の交差道路であった. 各橋梁の架設工法を表-1 の下段に示す.狭隘な施工ヤード部は送出し工法,交差道路部は現況道路を規制したクレーン工法を採用した.

本稿では送出し工法の中でも,特殊な架設機材を用いた牛房谷橋と主桁先行型送出し工法を採用した白狐川橋および相川橋の3橋について報告する.

5.1 牛房谷橋の架設

牛房谷橋はポータルラーメン形式であり,主桁端部腹板に PBL を配置し,支圧板を介して橋台と剛結する構造となっている. 送出し架設計画図を図-13,送出し状況等を写真-1~3 にそれぞれ示す.送出し架設工法上,工事桁連結部はかなりの応力が作用する箇所のため,主桁端部腹板の欠損を避けるため架設完了後現場にて PBL 孔の加工を行った.送出しヤードが狭隘なため,全幅での送出しができず,ヤード幅に収まるように短尺の仮横桁を製作し対応した. また,架設位置の直下,高速道路の反対側(G1 桁側)に民家があったため,不安定となる桁降下後の所定位置までの主桁の単独横取りは,民家と離れた方の

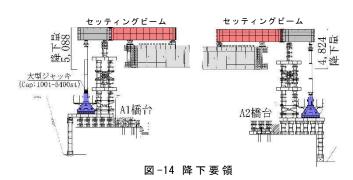






写真-4 桁降下状況





写真-5 横取り前状況

写真-6 横取り完了

G2 桁を横移動する計画とした. 民家への安全に配慮し,送出しの推進装置は,ノンストップで連続送出しが可能なダブルツインジャッキを採用して架設時間の短縮を図った.

送出しの時間の内訳としては、手延べ機到達まで 2.5 時間、桁到達までは到達側ヤードも狭く短いため、手延べ機を撤去しながらの作業となり 4.5 時間、合計 7 時間で計画通りの施工ができた. 送出し後の降下作業も不安定な作業となるため、大ストロークを擁する大型特殊ジャッキ(マルチユニットリフト)を採用した. ジャッキ受け点は主桁の両端にセッティングビームを設けた.



写真-7 横桁取付け治具





写真-8 たて壁コンクリート打込み

当初計画では吊り下げ方式のジャッキを用いての桁降下となっていたが安全性の向上を図るため図-14 のように下から支える構造に変更した. 桁降下中の水平力対策として, チェーンブロックを筋交材として降下速度に合わせて緊張した(図-14,写真-4).

桁降下完了後,主桁間隔を正規幅に戻すため,高速道路側のセッティングビームに横取り装置を設置し,橋台背面の横梁上にて横取りを行った(写真-5,6).

横取り後,正規の横桁および上部工検査路の取付けを 行う必要があるが、大型クレーンが必要になることと、 供用中の高速道路に近接しているため,**写真-7** に示す橋 軸方向に移動可能な架設機を考案して対応した.

5.2 牛房谷橋たて壁コンクリートの打込み

前述の通り本橋は、ポータルラーメン橋形式で鋼桁と橋台をコンクリートで巻き立てて剛結する構造となっており、下部工耐力の観点から、架設から床版打込みまでは仮支承で支持する必要があり、床版施工後はA1仮支承を可動、A2仮支承を固定とした。ただし、たて壁コンクリート打込み時には両支承を固定する必要があるため、A1支承にクサビを打込み固定する方法とした。

また,たて壁コンクリートには桁の温度変化による伸びが大きく影響するため,事前に外気温と桁温度を計測し桁温が安定していることを確認のうえ,クサビ固定とたて壁コンクリートの打込みを行った(写真-8).これにより,剛結部の品質を確保することができた.写真-9 に架設完了写真を示す.



写真-9 牛房谷橋完成写真

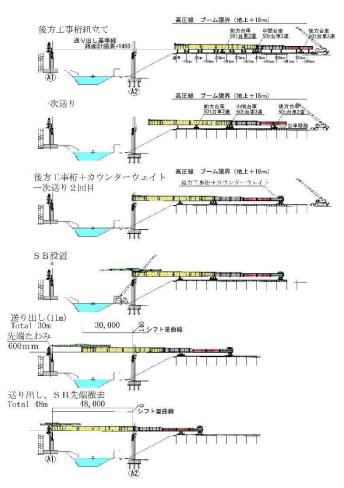


図-15 相川橋 送出しステップ図

5.3 相川橋の架設

相川橋は当初 A1 ヤードからの手延べ機による送出し 架設で計画されていたが、A1 ヤードの引き渡しが遅延したため、図-15 に示すとおり、先行して引渡しを受けた A2 ヤードからの送出しに変更した.ただし、A2 ヤードは従来の送出し工法に必要な長さが確保できないため、主桁先行型送出し工法を採用した.この工法は先端の手延べ機を省略する代わりに、主桁後方に工事桁を連結させ、その最後尾にカウンターウェイトを搭載させることによっ



写真-10 相川橋送り出し状況



図-16 白狐川橋 架設一般図

て送出しのバランスをとる. 桁を含む送出し長さを短くすることが可能となり, 桁到達した時点で送出しが完了する. 本工事では約6時間で順調に完了した. (写真-10).

5.4 白狐川橋の架設

白狐川橋は当初、富津市道松原下堀切線の脇の白狐川 法部にベントを設置し、桁を2ブロックに地組立てして 大型クレーンで一括架設する計画になっていたが、事業 工程の短縮による変更協議などから最終的に相川橋と同 様、先に引渡しされていた A2 ヤードにて桁を地組立て して送出しする工法を採用した(図-16).

施工条件としては、立体交差する富津市道を夜間通行 止めし、一晩で送出す必要があることと、送出し到達側 A1ヤードは本線とONランプに挟まれて非常に狭いため、 相川橋と同様の主桁先行型送出し工法を採用した.(図 -16,写真-11,12).

実施工としては,夜間通行止めは午後 10 時から翌朝 5 時までと厳しい条件下での施工となったが,午前 4 時半には作業終了し,5 時前には規制解放できた(写真-13).

6. あとがき

本橋の役割や施工技術を理解して頂くために地元の湊小学校,天神山小学校の現場見学や NEXCO 新入社員研修, 鋼橋技術研究会の現場見学会など複数回対応した.

また、本橋の施工現場は、富津工場の近くということもあり、インターンシップの学生、新入社員の現場見学や研修を複数回受け入れ、鋼橋架設現場への理解を深めて頂いた.





写真-11 白狐川橋送り出し状況1





写真-12 白狐川橋送り出し状況 2



写真-13 白狐川橋完成写真

本工事の内、牛房谷橋はPBL 定着方式では国内最大級で難易度の高い橋梁だった。特に剛結部の配筋順序には大変苦労した。また、相川橋・白狐川橋で採用した主桁先行型送出し架設は過去にあまり実績の無い工法だったが、関係部署との綿密な打合せを幾度となく行ったことで、送出し架設時の作業時間を最小限に短縮することが出来た。また関係者一同の団結により、制約を受けている時間内に安全に終えることができた。

最後に、本工事の施工にあたり、沢山のご指導とご協力をいただきました関係者各位に深く感謝いたします.

参考文献

- 1)東日本高速道路株式会社:設計要領第二集橋梁建設編, 2015.7.
- 2)東日本高速道路株式会社:設計要領第二集橋梁保全編, 2016.8.
- 3) 土木学会: 2014 年制定 複合構造標準示方書,2015.5.