

論文・報告

津田川橋他2橋（鋼上部工）工事報告

～JR 等交差・床版連結・既設下部工の部分改良～

Three Bridges Widening Project on Takamatsu Expressway

関 保^{*1}
Tamotsu SEKI川崎 嘉則^{*2}
Yoshinori KAWASAKI石山 真司^{*3}
Shinji ISHIYAMA岩崎 義信^{*4}
Yoshinobu IWASAKI岩田 幸三^{*5}
Kozo IWATA浦野 和男^{*6}
Kazuo URANO

本工事は、高松自動車道の対象橋梁3橋（津田川橋、川北高架橋、鴨部川橋）を供用中の暫定二車線から完成四車線へ拡張する四車線化事業であり、新設上部工工事ならびに既設下部の部分改良工事とそれに付随する付帯工事である。施工範囲は、場所打ちPC床版・合成床版を有する鋼連続合成細幅箱桁・鋼単純合成I桁と既設下部工の耐震補強・縁端拡幅である。津田川橋は、二級河川津田川・JR四国高德線・県道・市道と交差条件が多い橋梁であり、JR上は送出し架設を行い、県道上は夜間全面通行止めによる一括架設、河川上は仮橋からベント架設を行った。また、橋脚位置の制約から不均等な支間割りであったため負反力対策を施した。川北高架橋と鴨部川橋では「鋼単純合成2主I桁+PRC2主版桁」の掛け違い部を床版連結により連続化することで、伸縮装置を省略し、路面の連続性を確保した。また、3橋とも旧基準（平成2年道路橋示方書）で設計された下部工であったため現行基準により設計を行い、津田川橋では耐震不足となる2橋脚の耐震補強、所定の桁かかり長不足となる両橋台部では縁端拡幅を実施した。本稿では、これらの設計および現場施工に係わる対策等について報告する。

キーワード：負反力対策、床版連結、橋脚耐震補強、橋台縁端拡幅、JR交差条件

1. はじめに

高松自動車道（以下「高松道」という）は、神戸淡路鳴門自動車道、瀬戸中央道および山陽自動車道とともに、瀬戸内海東側の循環型の交通ネットワークを形成し、関西圏および中国圏との交流を促進し、四国の活性化に寄与する道路である。

今回の高松道四車線化事業は、鳴門ICから高松市境までの51.8kmが対象となり（図1）、関西圏からみた四国の玄関口である鳴門市と官公庁の出先機関が集中する高松市の区間について交通混雑の緩和を図るとともに、災害時における緊急輸送路としての機能を強化することなどを目的としている。

本事業は、2018年度内の完成を目標に進められている。

図2に本工事で主体となる津田川橋の平面図を示す。



図1 津田川橋他2橋の位置図

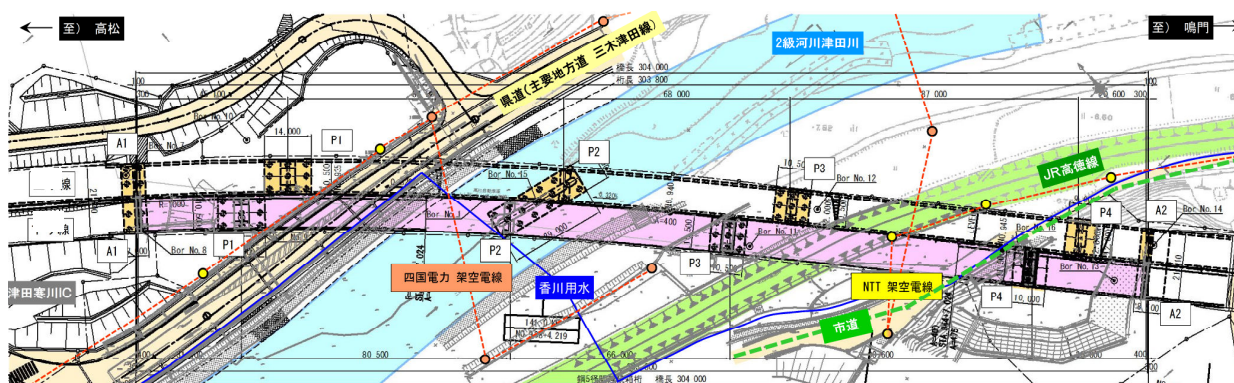


図2 津田川橋の平面図

*1 川田工業㈱鋼構造事業部工事部大阪工事課 総括工事長

*2 川田工業㈱鋼構造事業部工事部大阪工事課 係長

*3 川田工業㈱鋼構造事業部四国工場橋梁技術課

*4 川田工業㈱鋼構造事業部橋梁企画部橋梁企画室 次長

*5 川田工業㈱鋼構造事業部技術部大阪技術課 課長

*6 川田工業㈱鋼構造事業部技術部大阪技術課

2. 工事概要

本橋の工事概要を下記に、一般図を図3～図5に示す。

[工 事 名]高松自動車道津田川橋他2橋（鋼上部工）工事

[工事場所]（自）香川県さぬき市津田町津田

（至）香川県さぬき市鴨部

[発 注 者]西日本高速道路株式会社四国支社

四国旅客鉄道株式会社〔JR上の架設工事〕

[橋梁形式]津田川橋：鋼5径間連続合成2主細幅箱桁橋

川北高架橋：鋼単純合成2主I桁橋

鴨部川橋：鋼単純合成2主I桁橋

下部工改良10基

[床版形式]津田川橋：場所打ちPC床版+合成床版

川北高架橋：場所打ちPC床版

鴨部川橋：場所打ちPC床版

[橋 長]津田川橋：304.0m 川北高架橋：46.0m

鴨部川橋：60.0m

[有効幅員]津田川橋：9.560m 川北高架橋：9.510m

鴨部川橋：9.510m

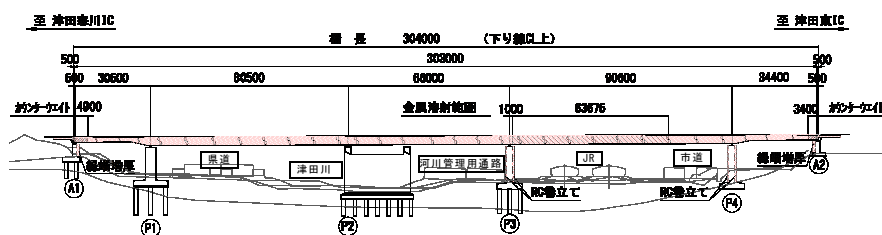


図3 津田川橋の一般図

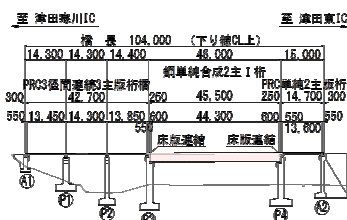


図4 川北高架橋の一般図

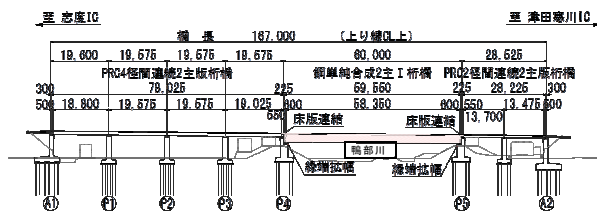
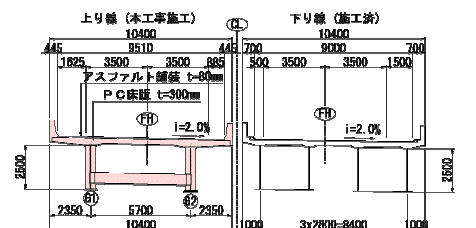
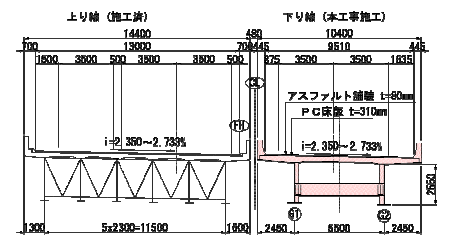
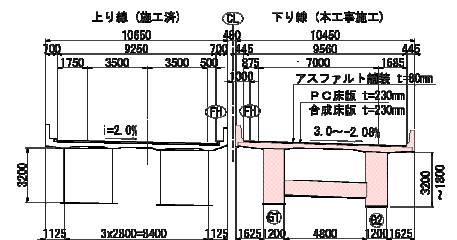
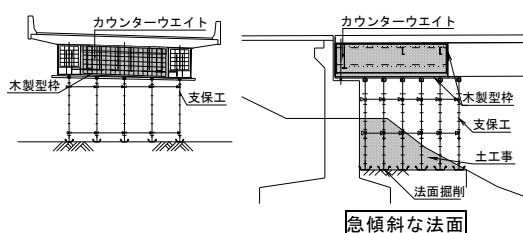


図5 鴨部川橋の一般図



当初計画



実施計画

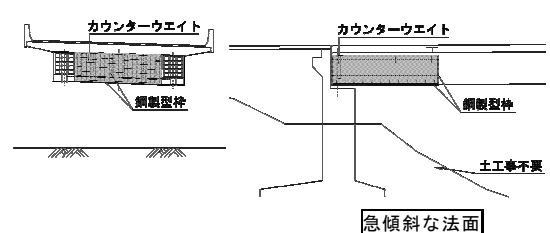


図6 主桁間カウンターウエイトの施工方法

3. 津田川橋の設計施工

(1) 不均等な支間割りに伴う負反力対策

津田川橋は、路下に河川、JR、県道および市道を有しており、第1径間と第5径間の支間長が極めて短いため、不均等な支間割りとなっている。このため、側径間のA1橋台とA2橋台の端支点部では、活荷重による負反力が発生する結果となった。負反力対策として、桁端部の主桁間に高さ1.6m、主桁内に高さ1.2mのカウンターウエイトコンクリートを約72m³(180t)打設した。

さらに現場施工上、橋台側は急傾斜な法面上に位置し、コンクリート打設時に木製型枠設置用の足場が必要となり大がかりな土工事を伴う。そこで、木製型枠から支保工を用いず施工できる鋼製型枠に変更することで、土工事を回避し、経済的に優位となり、工程短縮につなげた（図6）。

(2) 津田川橋の JR 交差条件への対策

①防食の耐久性向上

一般部の防食仕様は C-5 塗装系であるが、将来塗り替えが困難な JR 交差部の鋼桁と合成床版は、アルミニウム・マグネシウム合金による金属溶射（以降、AL-Mg 溶射）とした。なお、横桁は全溶射ボルト、合成床版は頭溶射ボルトを採用した。

②上部工検査路手すり部の落下物防止

JR と交差する俯角 75° の範囲には、点検作業中の点検機具の落下防止のため、落下物防止対策用の柵を検査路手すり部へ設置した（図 7、写真 1）。柵の材料には、経済性・維持管理性・施工実績により、エキスパンドメタルを使用した。

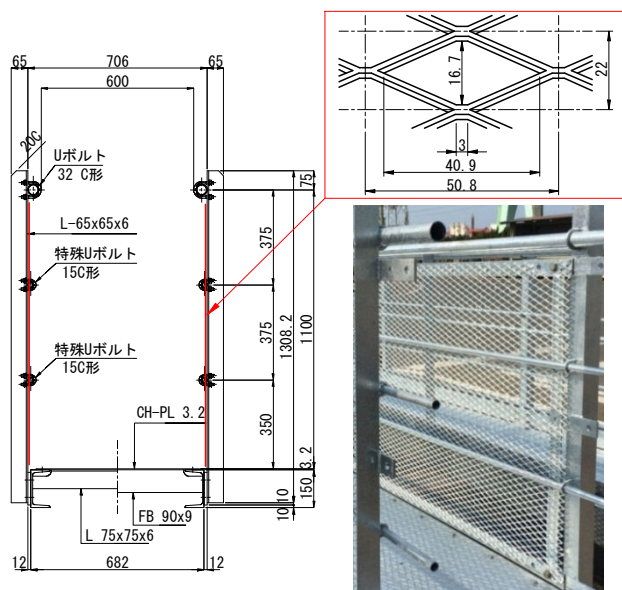


図 7 落下物防止対策

写真 1 落下物防止対策

③送出し架設時の安全性向上対策

・落下物防止柵支柱の搭載

施工中の安全対策上、JR 上の俯角 75° の範囲には落下物防止柵を設置する必要がある。JR 上の作業量を削減するため、あらかじめ合成床版および落下物防止柵支柱を搭載して送出し架設を行った。支柱には控え材を設置し、剛性の低い側鋼板の安定性を高めたうえで、送出し架設を行った。控え材の設置状況を写真 2、写真 3 に示す。



写真 2 控え材の設置状況



写真 3 控え材基部

・シンクロジャッキ設置箇所数の追加

津田川橋の線形は P3～A2 間で平面的に S 字であることから、送出し桁と軌条桁の受け点位置に最大 178mm の偏心が発生し、反力の不均等が考えられた。そこで、通常は B9 ベント 1 箇所のシンクロジャッキ（架設中の反力管理ができる機能があり、不均等反力の発生を抑制できる）を B8 ベントにも追加し、安全性向上を図った（図 8、写真 4、写真 5）。



写真 4 送出し架設

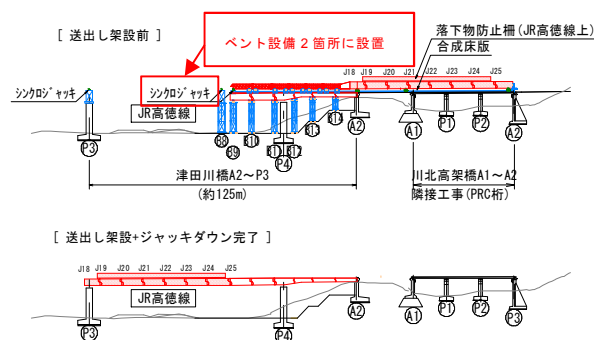


図 8 送出し架設

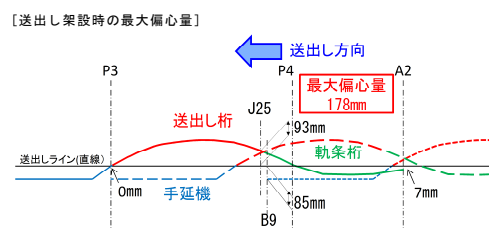


写真 5 シンクロジャッキ設置

(3) 既設コンクリート橋脚の耐震設計

津田川橋の既設コンクリート橋脚は、平成2年の道路橋示方書(以降、道示)が適用され、「単純Ⅰ桁+3径間連続箱桁+単純Ⅰ桁」の上部工形式として設計されていた。これに対し、基本設計では耐震性向上のため上部工形式が「5径間連続細幅箱桁」に変更されている。これらを踏まえ、平成25年7月の設計要領第二集に従い既設橋の耐震設計を行った。

①地震波の設定

道示の地震波として耐震性能2を要求性能とした。

②解析モデル

動的解析に用いるモデルは、部材要素として上部工は線形梁要素、下部工はM-φ要素、免震支承は非線形ばね要素、基礎は弾性ばね要素とした。

③耐震設計結果

耐震設計の結果、P3橋脚とP4橋脚の柱基部が制限値を満足できない結果となった。耐震補強方法としてRC巻立て工法で主鉄筋をアンカー定着し基部の曲げ耐力向上により耐震性を向上させる案を採用した。RC巻立て断面を図9、図10に示す。

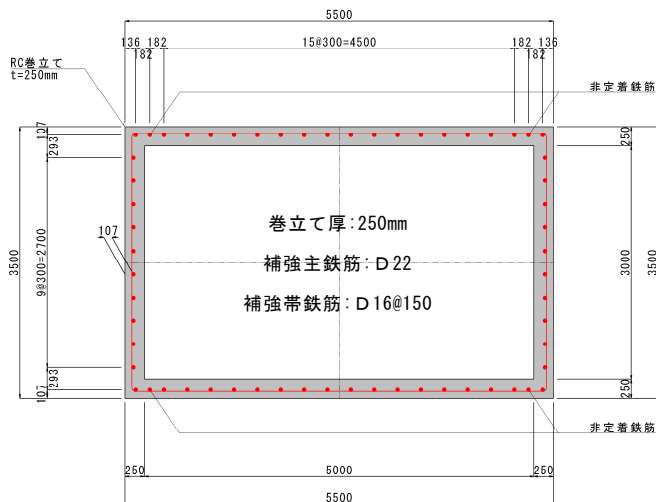


図9 P3橋脚補強断面

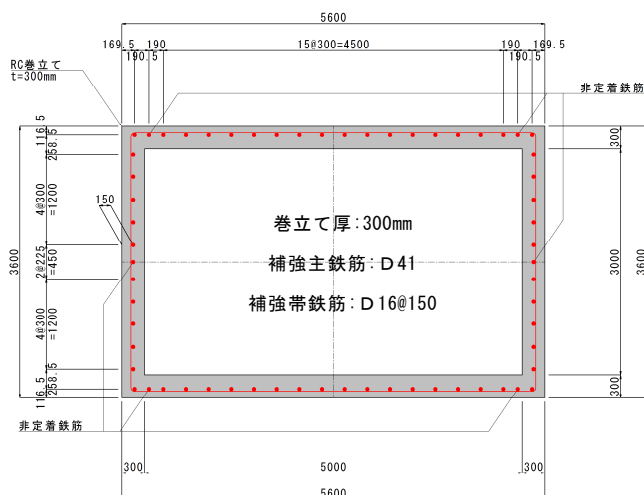


図10 P4橋脚補強断面

(4) 既設コンクリート橋台の縁端拡幅

維持管理に必要な通路確保のために橋台前面から上部工桁端までの空間を500mm確保したことにより、桁かかり長が不足するため、沓座の縁端拡幅を行った(図11、図12)。さらに、上部工形式の変更に伴い上部工反力が増加し、落橋防止装置作動時、橋台の曲げ耐力を満足しないため、堅壁前面を600mm増厚することにより、桁かかり長の確保と橋台の曲げ耐力増加を図った。

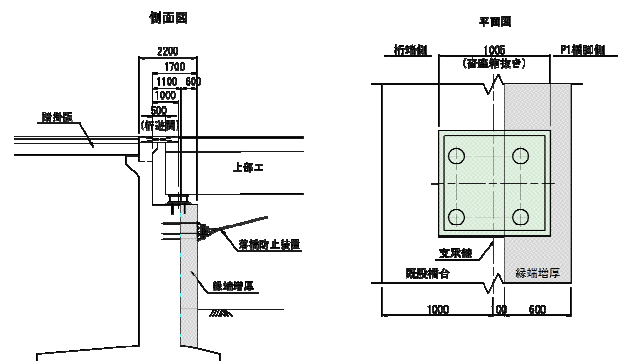


図11 A1橋台の縁端増厚

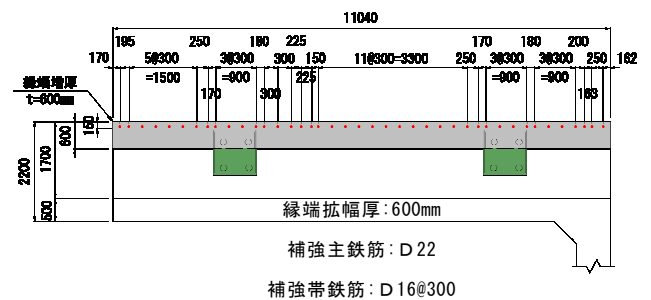


図12 A1橋台補強断面

(5) 下部工改良工事でのひび割れ対策

RC巻立て、縁端拡幅のコンクリートが乾燥収縮する際に既設コンクリートの拘束によるひび割れの発生が懸念されたため、下記の対策を実施した。

- ①コンクリート打設リフトを考慮した、ひび割れ低減ネット「ハイパーネット60L」を設置した(写真6)。

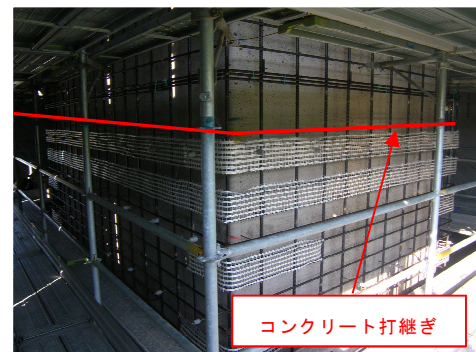


写真6 ひび割れ防止ネット設置

- ②コンクリートのワーカビリティを確保しつつ、材料分離を防ぐため、打設孔を配置した(写真7)。



写真7 コンクリート打設孔設置

- ③ワーカビリティに配慮し、高性能 AE 減水剤を使用してスランプを大きく設定した(24-15-20N, 膨張材の添加)。
④コンクリート充填性を考慮した外振パイプレータを使用した(写真8)。

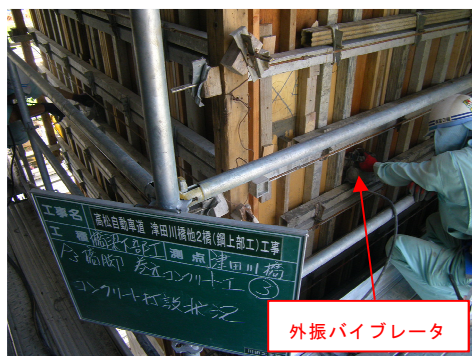


写真8 外振パイプレータ使用

- ⑤コンクリートへの直射日光および乾燥収縮防止対策として橋脚全周に風防シートを設置した(写真9)。

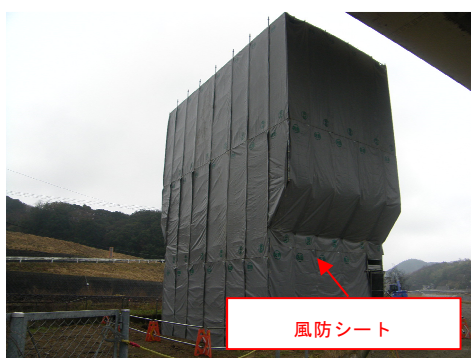


写真9 橋脚全周の風防シート設置

4. 川北高架橋と鴨部川橋の設計施工

(1) ノージョイント工法(床版連結工法)

川北高架橋・鴨部川橋の2橋は、鋼単純合成2主I桁とPRC2主版桁の異種桁混合橋梁である。掛け違い部には、伸縮装置の劣化・損傷に起因する桁端部の防水機能の低下、損傷、走行快適性の低下を考慮し、ノー

ジョイント工法(床版連結工法)を採用した。

設計は、「既設橋梁のノージョイント工法の設計施工手引き(案)」¹⁾に従った。床版連結の構造は、図13、図14に示すとおり連結板(鋼板)で異種桁を連結し、鉄筋コンクリート床版とする構造である。後死荷重と活荷重に対しては単純桁、温度変化による荷重・地震時慣性力に対しては連続桁として挙動させる。床版連結の詳細図を図15に示す。

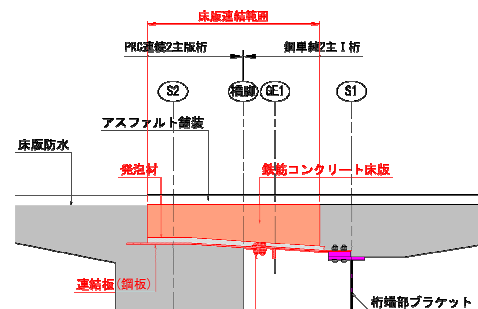


図13 床版連結部の構造図(張出部)

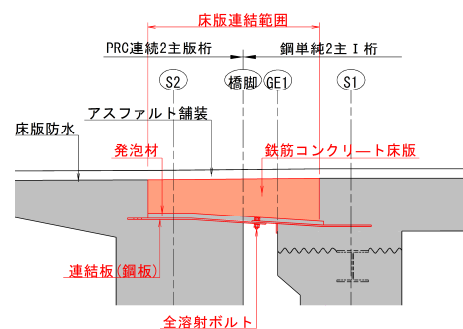


図14 床版連結部の構造図(支間部)

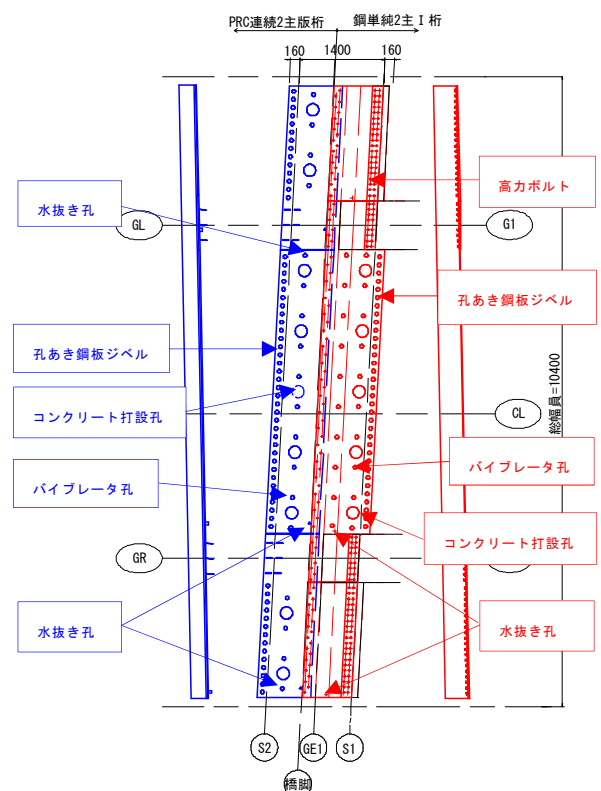


図15 連結板の詳細図

(2) 連結部の鉄筋コンクリート床版の設計

設計断面力には、死荷重、活荷重(L 荷重, L 荷重), 温度変化による荷重および地震時慣性力(L1 地震時)を考慮した(表 1)。

表 1 床版連結部の設計断面力の算出方法

荷重の種類	桁回転角より 曲げ・軸力を算出	直接曲げモーメント を算出	直接軸力を算出
死荷重(後死荷重)	○		
活荷重	L 荷重 T 荷重	○	
温度荷重	全体温度 床版温度差		○
地震時慣性力	橋軸方向 橋軸直角方向	○	○
クリープ・乾燥収縮	○		○

①死荷重

死荷重として、後死荷重の橋面荷重(遮音壁と舗装)のみを考慮した。

②活荷重

・L 荷重による断面力

図 16 に示すとおり桁端回転による強制回転変形 θ_0 による断面力を考え、L 荷重が片側載荷となる状態、L 荷重が両側載荷となる状態の解析を行い、大きい方の断面力を採用した。

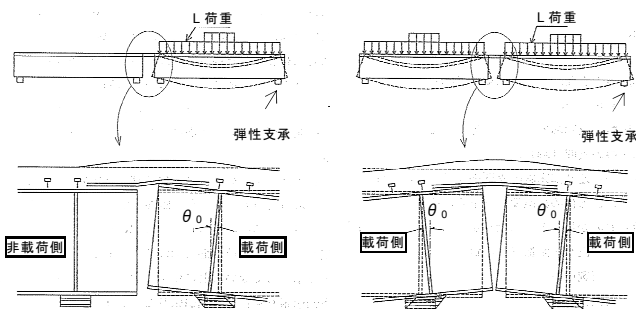


図 16 活荷重載荷時の連結部床版の変形状態

・T 荷重による断面力

道示Ⅱより、床版支間が車両進行方向に平行な連続版として設計曲げモーメントを適用した。T 荷重に対する床版の支間は、支承間距離とした。

・L 荷重と T 荷重の重ね合せによる断面力

図 17 に示すモデルで、L 荷重と T 荷重により発生する断面力により解析した。

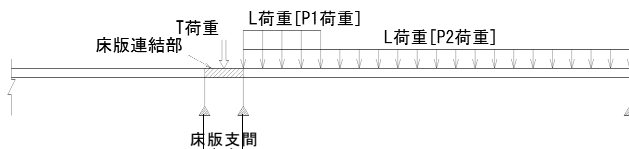


図 17 L+T 荷重時の解析モデル

③死荷重・活荷重に対する応力照査

鋼桁と PRC 桁の連結部床版について、①死荷重、②活荷重の最大値に対し応力照査を実施し、許容応力度以内に収まることを確認した。

④L1 地震時に対する照査

鋼桁と PRC 桁の連結部床版について、全体解析より算出した L1 地震時の断面力に対し、応力照査を実施し、許容応力度以内に収まることを確認した。

(3) 連結板の設計

主桁上フランジの連結板とその接合部は、図 16 に示す活荷重たわみに伴う強制変形、ならびに L1 地震時および L2 地震時に床版連結部へ作用する曲げモーメント、軸力(橋軸方向)およびせん断力(橋軸直角方向)に抵抗できるように設計した。

連結板と鋼桁を接合する高力ボルトの列数は、密着性を確保するため 2 列配置とした。図 13、図 14 のとおり、連結板と床版を縁切れする分離層として発泡材を設置した。

(4) 留意事項

新設工事での施工実績が希少であることから、耐久性、施工品質の確保の課題に対し検討を行い、i) 床版連結部のひび割れ対策、ii) 先行工事で設置済みの連結板、鉄筋出来形との取合い誤差をできるだけ小さくする対策、iii) 場所打ち PC 床版との結合方法、iv) 維持管理の観点から床版連結部のひび割れの発生を踏まえた対策を実施した。

i) 床版連結部のひび割れ対策

連結部床版の上縁側ひび割れについて、一般の環境での許容値(0.0050c, ここに c: かぶり厚)は満足したが、特に厳しい腐食性環境での許容値(0.0035c)は満足しなかった。

そこで、許容値を超過する部位に対し、ひび割れ抑制対策(発生前)を下記のとおり実施することとした。

①引張応力を受ける範囲の橋軸方向鉄筋量はコンクリート断面積の 2%以上確保(設計要領第二集に規定の PC 床版に準拠)²⁾

②膨張材の使用

③短繊維補強コンクリートの使用

ii) 先行工事の連結板・橋軸方向鉄筋の実測反映

①連結板設置前に、先行工事の施工誤差(連結板同士の高差、高力ボルト孔位置)について、写真 10 のとおり現地計測のうえ模型を作成し、連結板の製作へ反映した。

②橋軸方向の鉄筋継手および、配筋状況の出来形計測を行い施工へ反映した。



写真 10 3次元計測状況と模型の現地照合状況

iii) 床版連結部の施工手順

床版連結部の施工に際し、先行工事となる隣接のPC工事担当と施工手順の十分な検討と確認を行った(図18)。

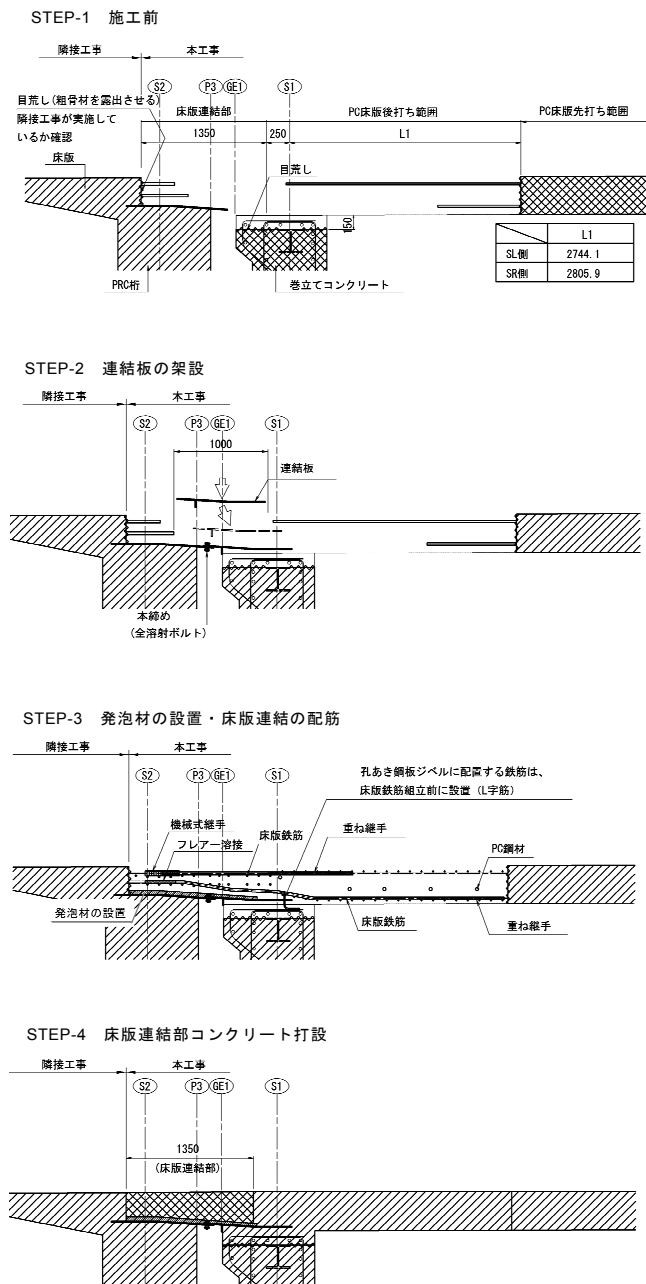


図18 床版連結部の施工手順

iv) 床版連結部のひび割れの発生を踏まえた対策

- ①連結板、高力ボルトにAL-Mg溶射を採用した。
- ②エポキシ樹脂塗装鉄筋を採用した(写真11)。
- ③連結板上の滞水は、連結板下面に縦横断の低い箇所水抜き孔を設け床版水抜きを介し排水管へ誘導した(写真12)。

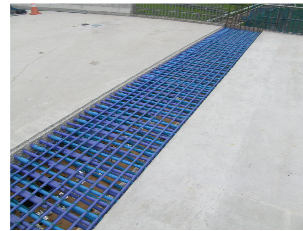


写真11 防錆鉄筋の配筋状況



写真12 連結板下面の排水処理

5. おわりに

鉄道上を交差する条件となる送出し架設では、送出し前に合成床版および落下物防止柵支柱を搭載することでJR上の作業を削減するとともに、シンクロジャッキの個数を見直すことで安全に架設が行えた。また、平成2年道示で施工された下部工の改良工事では、コンクリートの乾燥収縮による初期ひび割れの抑制対策について種々の工夫を行った結果、ひび割れの発生がなく有効性が確認された。

ノージョイント工法では、桁端部の漏水対策、走行快適性の改善を目的とし検討を進め実橋に適用し、特に問題なく施工できた。

市道および県道沿いに設置するベント設備では、第三者の安全対策として常時監視を行う体制を整えることで、地震時に対するリスクを軽減した。

最後に、本工事の施工にあたり多大なご指導、ご協力を頂いた西日本高速道路株式会社四国支社および高松工事事務所の皆様ならびに四国旅客鉄道株式会社高松保線区、およびに関係各位の皆様に深く感謝します。

参考文献

- 1) (財)道路保全技術センター：既設橋梁のノージョイント工法の設計施工の手引き(案)，1995.1.
- 2) 鈴木裕二，東田典雅，伊藤淳之介，細矢 淳：鋼単純桁連続区間における床版連結工法の適用，橋梁と基礎，2012.7.