

東九州自動車道耳川橋の設計・施工

— 河口近くの渡河部に架かる波形鋼板ウェブ箱桁橋 —

花田 克彦*1・太田 哲*2・森脇 健次*3・蓑田 俊介*4

耳川橋は、東九州自動車道の日向IC～都農IC間の2級河川耳川の河口近くに架かる、橋長424.5mのPC5径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋である。構造的特徴としては、河川の制約により全4橋脚を円柱橋脚とし、そのうち中間の2橋脚のみを剛結構造としていることがあげられ、地震力が集中する剛結構造部分には上・下部工ともに高強度材料を採用している。架設工法は、移動作業車による片持ち張出し架設工法であり、一部では資機材運搬や作業用通路として架設桁を併用し、河川上での出水期施工を行っている。また、外ケーブルにおけるポリエチレン・ポリエステル被覆PC鋼材の採用や、波形鋼板ウェブへの金属溶射の採用など、新しい取組みも行っている。本稿は、これらの特徴的な事項について概要を報告するものである。

キーワード：波形鋼板ウェブ、出水期施工、防錆被覆PC鋼材、金属溶射

1. はじめに

耳川橋は、東九州自動車道の日向IC～都農IC間の2級河川耳川の河口近くに架かる、橋長424.5mのPC5径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋である。架橋位置は、宮崎県中東部の太平洋沿岸より直線距離で1.5km程度の位置に当たり、耳川の河川湾曲部を横過する(図-1)。

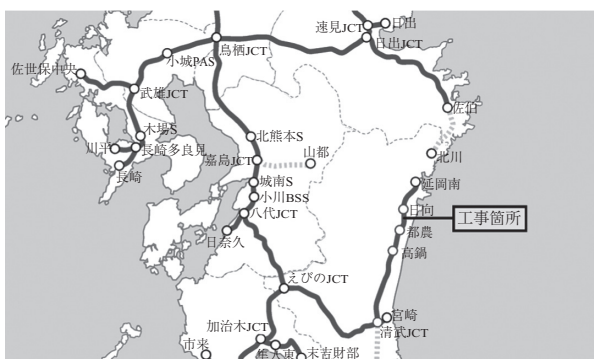


図-1 架橋位置図

構造的特徴としては、河川の制約により全4橋脚を円柱橋脚とし、そのうち中間の2橋脚のみを剛結構造としていることがあげられ、地震力が集中する剛結構造部分には

上・下部工ともに高強度材料を採用し、耐震性能と施工性能を確保している。

架設工法は、移動作業車による片持ち張出し架設工法であり、河川内は仮橋を設けての非出水期施工である。なお、一部では仮橋撤去後の資機材運搬や作業用通路として橋面上に架設桁を設置し、架設桁を併用した片持ち張出し架設工法として、河川上での出水期施工を行っている。

また、外ケーブルにおける防錆被覆PC鋼材としての押し成型法による内部充填型ポリエチレン・ポリエステル樹脂被覆PC鋼材の採用や、波形鋼板ウェブにおける下床版埋込み接合部への金属溶射の採用など、新しい取組みも行っている。

本稿では、これらの河川による構造上ならびに施工上の制約に対する対応や、新工法・新材料の採用に関する取組みについて概要を報告する。

2. 工事概要

工事名：東九州自動車道 耳川橋 (PC 上部工) 工事
 路線名：高速自動車国道 東九州自動車道
 発注者：西日本高速道路(株)九州支社
 基本設計：三井共同建設コンサルタント(株)
 詳細設計：川田建設(株)
 施工者：川田建設(株)
 工事場所：宮崎県日向市大字平岩～宮崎県日向市美々津町
 工期：平成22年3月20日～平成25年2月1日
 構造形式：PC5径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋
 橋長：424.500 m
 支間長：69.900 m + 109.500 m + 2@94.000 m + 54.900 m
 有効幅員：9.760 m
 縦断勾配：下り3.000%～上り3.000%

*1 Katsuhiko HANADA：西日本高速道路(株)九州支社 延岡高速道路事務所 構造工事区 工事長

*2 Satoshi OOTA：川田建設(株)東九州自動車道 耳川橋(PC上部工)工事事務所 監理技術者

*3 Kenji MORIWAKI：川田建設(株)東九州自動車道 耳川橋(PC上部工)工事事務所 現場代理人

*4 Shunsuke MINODA：川田建設(株)九州支店 技術課 係長

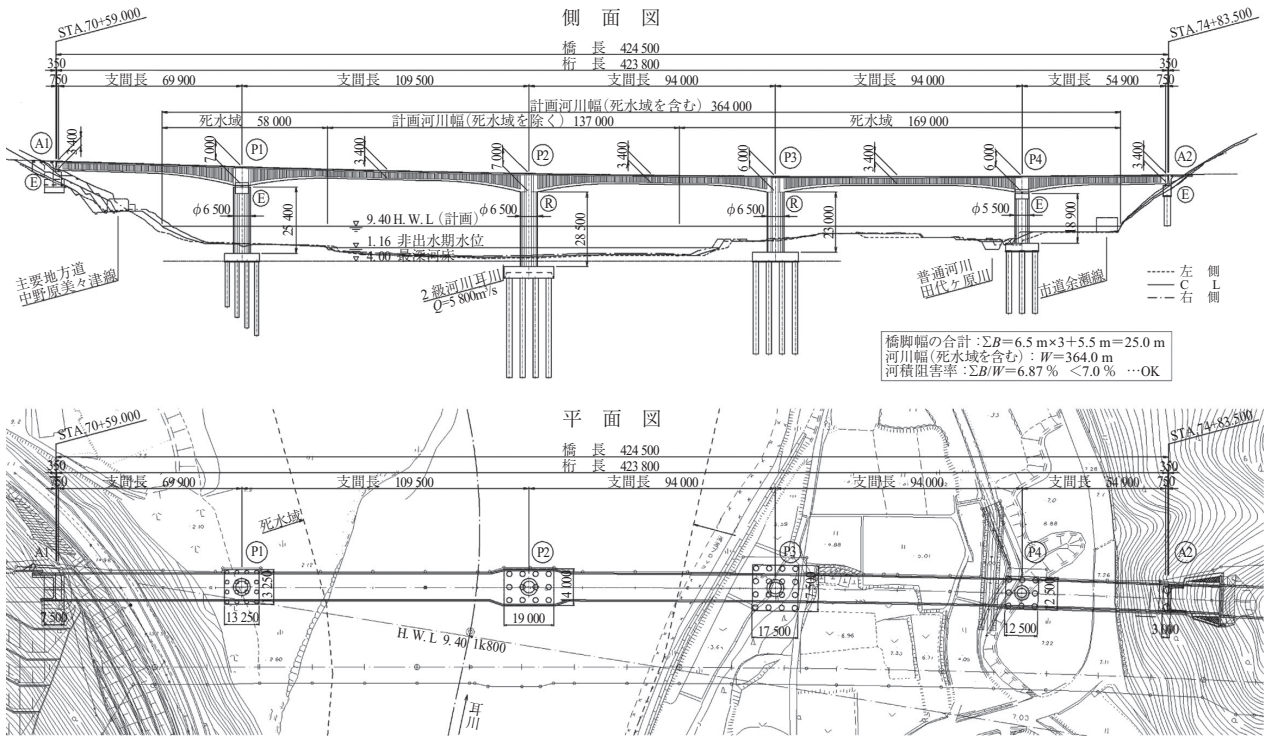


図 - 2 全体一般図

横断勾配：左下がり 2.500 %～右下がり 2.500 %

平面線形：R = ∞～5 000 m

全体一般図，上部工断面図を図 - 2，3 に，主要材料を表 - 1 示す。

表 - 1 上部工主要材料一覧表

項目	仕様	単位	数量
コンクリート	$\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$	m ³	4 019
	鉄筋		
	SD345D13 ～ D25	t	599
	SD490D25	t	65
P C 鋼材	張出ケーブル (内ケーブル)	SWPR7BL 12S15.2B	kg 77 293
	連続ケーブル (外ケーブル)	SWPR7BN 相当 19S15.2B	kg 72 079
	横締めケーブル (プレグラウト)	SWPR19L 1S21.8, 1S28.6	kg 20 942
波形鋼板	SM490YB, SM400A SS400, SD345	t	340

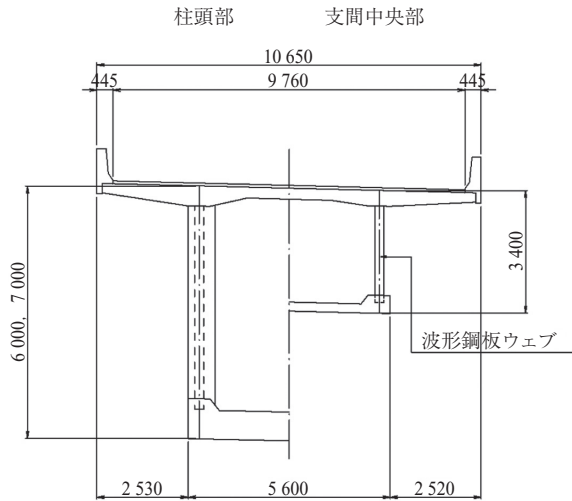


図 - 3 上部工断面図

3. 耐震設計における高強度材料の適用

3.1 下部工

本橋は，2 級河川耳川の河口近くに架かる渡河橋であり，潮位の影響を受け全 4 橋脚が死水域を含む河川幅内に位置する。また，河川湾曲部のため洪水の流下方向が一定とならないことから，全 4 橋脚に円柱橋脚が採用されている。支承条件は，橋脚高と主桁固定支間長のバランスより中

間の 2 橋脚のみを剛結構造とし，そのほかはゴム支承を用いた分散構造である。液状化の可能性により免震設計は行っていないが，地震時のバネ剛性が大きい超高減衰ゴム支承を用いることでゴム支承部への地震力の分散を図り，常時の不静定水平力はポストスライドにて解消することで橋脚への負担の軽減を図っている。

しかしながら，地震力の多くは剛結構造である中間の 2 橋脚に集中する。河積阻害率 7 % 以内の制約より断面寸法が制限されることから，高強度材料として橋脚コンクリートの設計基準強度は標準の 30 N/mm² に対して 40 N/mm²，鉄筋は標準の SD345 に対して主鉄筋で SD490，帯鉄筋で SD390 を採用し，橋脚の耐震性能を確保している。

3.2 上部工

上部工においては，橋脚との剛結部や剛結区間内の常時のインフレクションポイント付近にて地震時に大きな正負の曲げモーメントが作用することとなる。正曲げに対する

PC 鋼材は常時の設計で決定した外ケーブルのみであるため、正曲げに対する断面耐力がやや小さい傾向にあり、地震時の正曲げに対して断面耐力向上のための補強が必要であった。そのため、下床版の橋軸方向鉄筋にも SD490 を採用することで、所要の鉄筋量を SD345 の場合の D32ctc125 から D25ctc125 に抑え、過密配筋によるコンクリートの充填性の悪化や、鉄筋拘束力によるプレストレスの損失の増加を抑制することとした (図 - 4)。

結果、現場施工においては十分な施工性能が確保され、コンクリートの充填不良やひび割れなどの発生も無く、所要の品質を確保することができた。

4. 架設桁を併用した出水期の片持ち張出し架設

4.1 施工計画概要

当初計画では、P1～P3 橋脚部は 11 月～5 月の非出水期に限定するものとし、P2 橋脚は流水部であるため、下部工工事も含め仮架橋を設けての施工として計画されていた (図 - 5(a))。しかし、本工事の着手前には P2 橋脚の下部工工事における工程遅延が見込まれた。非出水期での上部工施工は、仮架橋や移動作業車の設置・撤去を考慮すると柱頭部および張出し部の 2BL 程度までが限界であり、残工程を次の非出水期とする場合は 8 ヶ月程度の工期延長が必要であった (図 - 5(b))。

本工事では、仮架橋撤去後の資機材運搬や作業用通路として施工済の P3 橋脚側の橋面上に架設桁を設置することで、P3 橋脚部のヤードからの荷揚げによる P2 橋脚張出し部の河川上での出水期施工を可能とし、工期延伸を回避した (図 - 5(c))。また、増水時における H.W.L. 以下の資機材、昇降設備などの迅速な撤去を条件に、死水域に位置する P3, P4 橋脚部は通年施工とし、施工工程の平準化と架設桁による橋面搬送距離の低減を図ることとした。架設桁を併用した出水期の片持ち張出し架設要領を図 - 6 に示す。

橋梁本体の設計に際しては、架設桁設備が片持ち張出し

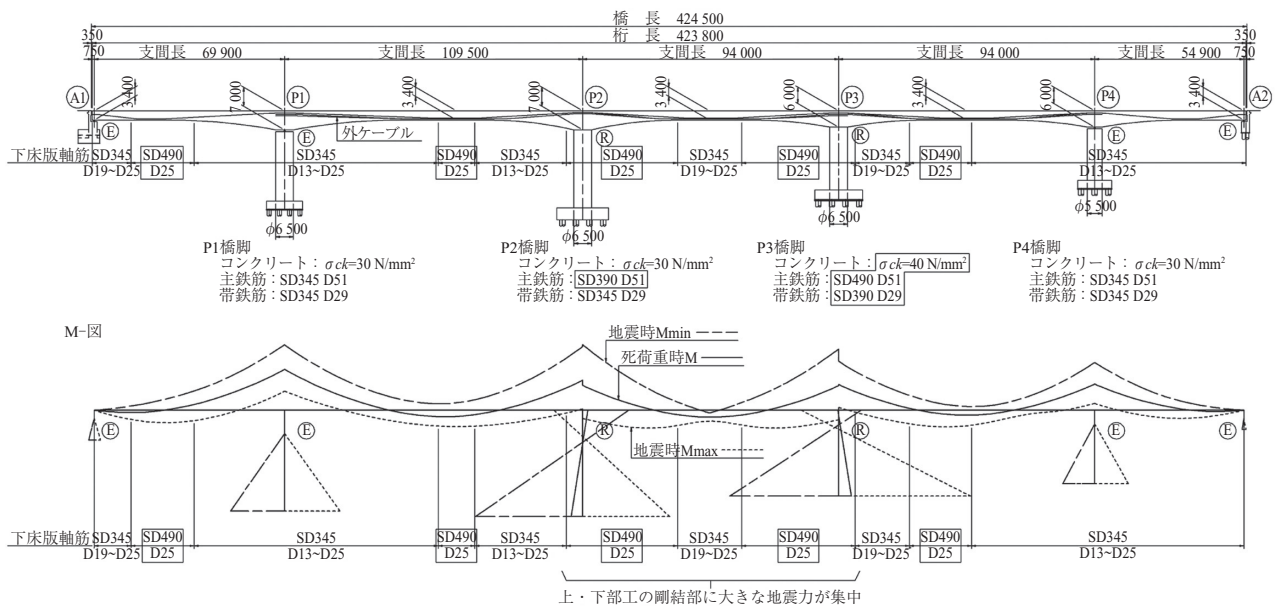
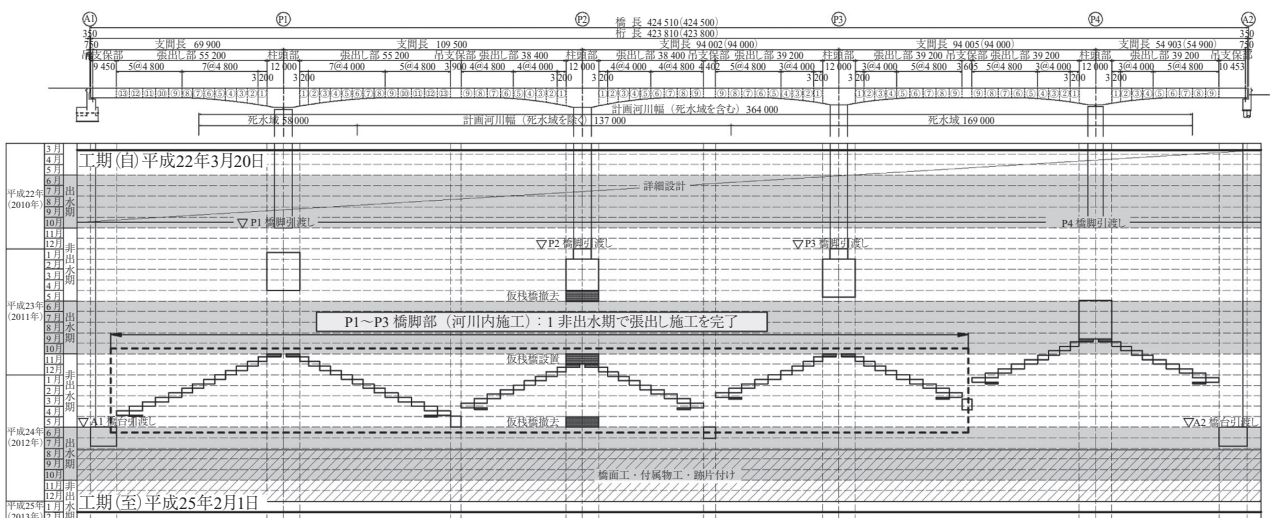
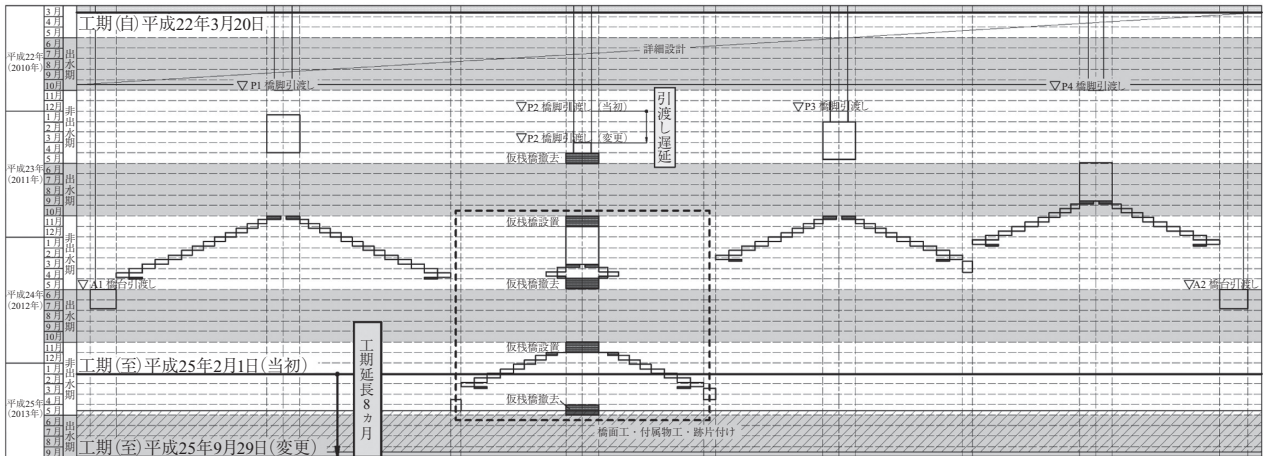


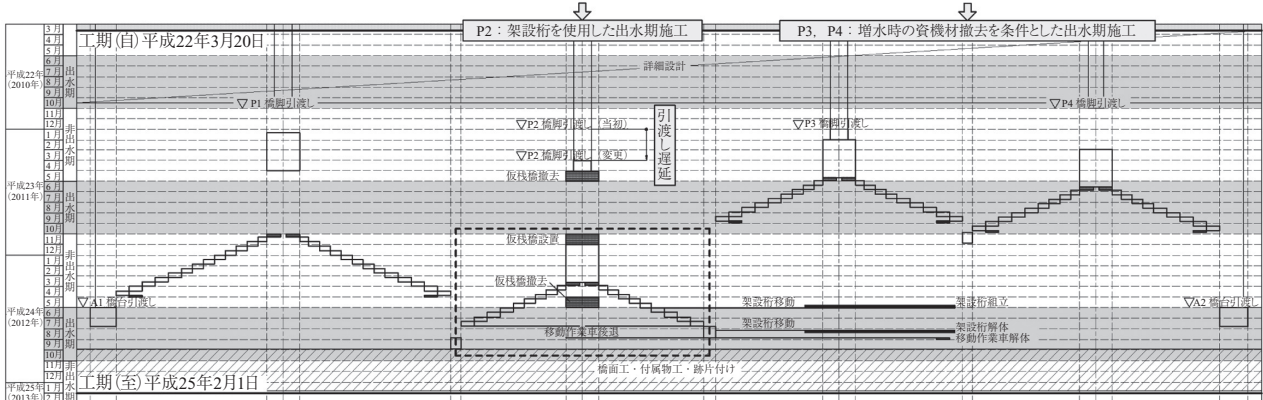
図 - 4 高強度材料の適用箇所と地震時の曲げモーメント



(a) 当初計画



(b) 詳細設計標準案 (工期延長)



(c) 詳細設計実施案 (架設桁を使用した出水期施工)

図 - 5 工事工程表

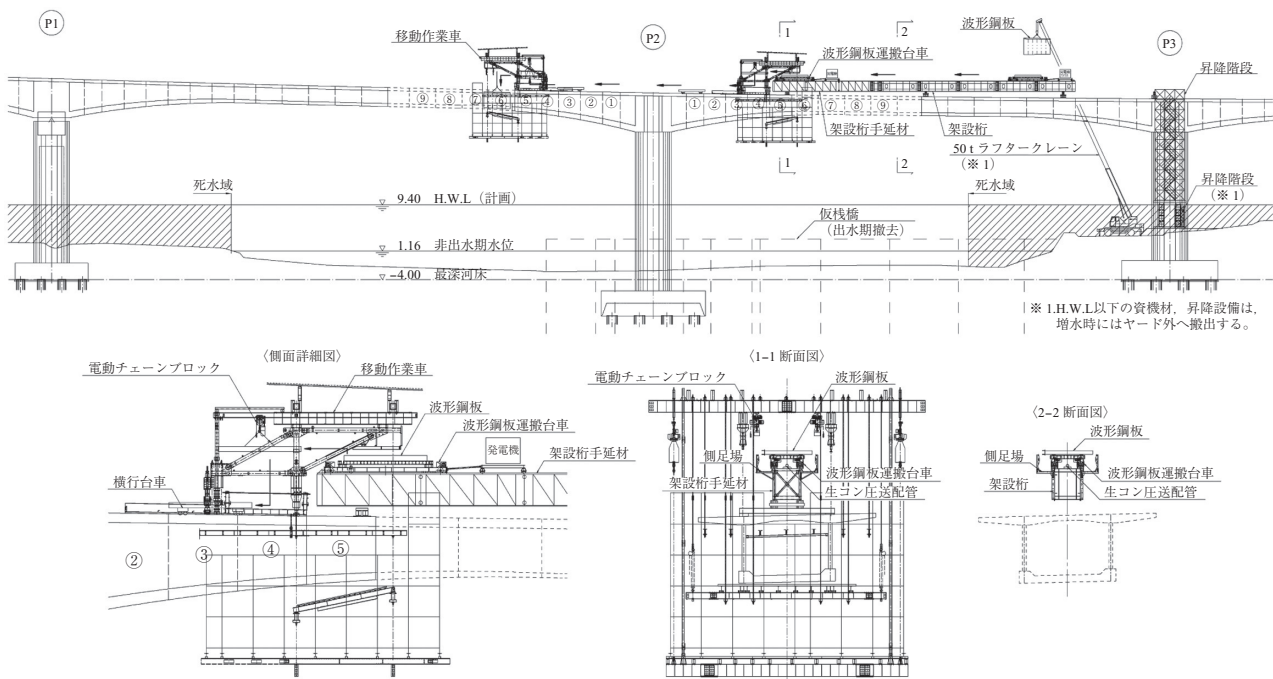


図 - 6 架設桁を併用した出水期の片持ち張出し施工要領図

架設時の移動作業車に比べて軽量であり、移動作業車と架設桁設備の設置時期が異なるため、架設桁の使用に伴う

PC 鋼材や鉄筋の追加などの構造的な変更は不要であり、通常の片持ち張出し架設と同等の設計が可能であった。

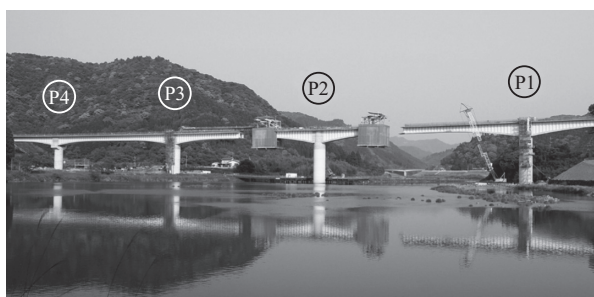
実際の現場施工においては、下記の事項について詳細検討・計画して施工にあたった。

- ① 非出水期施工（標準施工）期間中の工程管理
- ② 波形鋼板の運搬・吊込み方法
- ③ コンクリートの圧送方法
- ④ 安全通路および安全設備

4.2 非出水期施工（標準施工）期間中の工程管理

非出水期施工期間中の工程を短縮することは架設桁の採用規模に直結する。工程短縮により少しでも張出し施工を進めておくことで、P2～P3橋脚間の両張出し先端を跨ぐ架設桁の最大支間が短くなり、架設桁設備の縮小に繋がる。実施工においては、P2橋脚部の仮栈橋設置・撤去、柱頭部施工、移動作業車組立ておよび張出し施工の各工程について重点的に管理し、5BLまでを非出水期施工（通常施工）にて完了した。これにより架設桁の規模を必要最小限に決定し、経済性ならびに施工性の向上に寄与した。

架設桁施工時の施工状況写真を写真 - 1 に示す。



(a) 架設桁施工時全景



(b) 架設桁施工時近景

写真 - 1 架設桁施工状況写真

4.3 波形鋼板の運搬・吊込み方法

架設桁上の波形鋼板の運搬は、移動作業車の吊装置とのクリアランスを確保するため、運搬台車による横積みとした。運搬台車からの吊込みは移動作業車の吊装置を使用し、橋面上の横持ち運搬には簡易台車を用いた。他の資機材についても同様に運搬を行った。

波形鋼板運搬時の施工状況写真を写真 - 2 に示す。

4.4 コンクリートの圧送方法

コンクリートの圧送は、P3橋脚下のヤードから約30mを縦配管し、架設桁を利用した橋面上の横引き水平配管は最大で約130m必要であった。そのため、配管全体の水平換算距離としては最大で400m程度と長いものであった。



(a) 架設桁上の運搬状況



(b) 移動作業車による吊込み状況



(c) 橋面上の横持ち運搬状況

写真 - 2 波形鋼板施工状況写真

施工に際しては、5インチ（125A）の高圧配管の使用、コンクリートの夏期配合の使用、暑中コンクリート対策および綿密な打設タイムスケジュール管理により、圧送負荷の低減に努め、圧送トラブル無くコンクリート打設を完了させた。

4.5 安全通路および安全設備

架設桁上での資機材の運搬や労務者の往来頻度など、架設桁の使用環境が一般的な架設桁架設の場合とは異なるため、安全性の向上のために以下の対策を行った。

- ① 架設桁両側部に安全通路を設け、生コン圧送用配管は台車間中央に配置して通路を確保し、架設桁先端手延べ（トラス構造）部にはメッシュシートと網マットによる二重防護を行った。
- ② P2橋脚部へのアプローチは架設桁のみであるため、架

設桁移動作業時は緊急の場合に備えて全員 P3 橋面へ一時的に退避し、架設桁の移動完了後に P2 橋脚部の作業を再開する手順とした。

5. ポリエチレン・ポリエステル被覆 PC 鋼材

5.1 採用理由

本橋の外ケーブルには、下記の理由により防錆被覆 PC 鋼材を用いることとし、防錆被覆 PC 鋼材の新たな選択肢として押出し成形法による内部充填型ポリエチレン・ポリエステル樹脂被覆 PC 鋼材（以下、ポリエチレン・ポリエステル被覆 PC 鋼材）（図 - 7）を採用することとした。

- ① 「構造物施工管理要領 / 平成 22 年 7 月 / 東, 中, 西日本高速道路(株)」にて、防錆被覆 PC 鋼材に関する基準が明確になった。
- ② P2 橋脚の引き渡し遅延を含めて河川の制約条件により工期が厳しく、とくに工事終盤での工程遅延リスクを低減する必要があり、セメントグラウトタイプに比べて工程管理面での優位性があった。

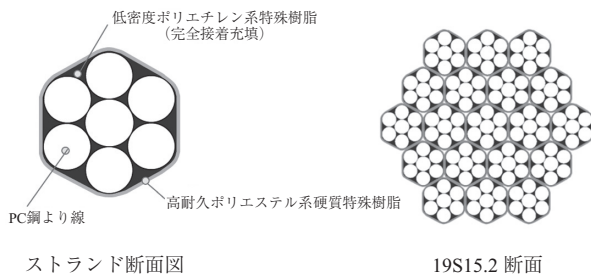
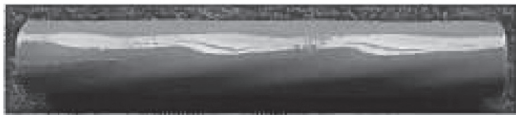


図 - 7 ポリエチレン・ポリエステル被覆 PC 鋼材

5.2 性能試験・施工試験

施工に際しては、製造から現場施工までの各過程における被覆材の損傷防止対策や損傷時の補修方法などを含めた施工要領を確立するため、各種の施工試験を実施した。

製造時の試験については、これまでにポリエチレン・ポリエステル被覆 PC 鋼材の NEXCO での採用実績が無かったため、製品開発時に求められる性能照査試験を実施した。また、製造時および施工時に被覆層に傷が入った場合を想定して補修方法を定め、補修供試体についても性能照査試験を行った。これらすべての試験で品質に問題がないことを確認の上で施工に着手した。

施工試験については、実施工時に被覆損傷となり得る危険箇所の洗い出しや損傷の度合いなどを把握するために、事前に挿入試験や輸送試験を行った。これにより、どのような状況でどの程度の傷が入るのかを事前に把握することができ、本施工計画にあたり損傷防止対策として組み込むことができた。

また、製造時および施工完了時の被覆損傷確認につい

て、目視や触手による外観検査とともにピンホール試験を行った。この試験器具（ピンホールテスター）についても、今後の実用性を模索し、現場施工時の検査用に 19S15.2 のマルチケーブルの全周を同時に測定可能なものを製作して対応した（写真 - 3）。



写真 - 3 ピンホールテスター

5.3 現場施工

現場施工時は、前述の試験結果も踏まえて被覆材の損傷防止諸対策を講じた。挿入時のケーブル受け架台や偏向部には保護管による養生を施し、挿入速度は低速で行った。不測の事態に備えて無線による連絡系統を配備した。

また、受け架台解体時の干渉による被覆材の損傷防止対策として、架台解体前にポリエチレン・ポリエステル被覆 PC 鋼材の外周を先行養生してから解体するなどの配慮をした。

ポリエチレン・ポリエステル被覆 PC 鋼材の挿入状況を写真 - 4 に、緊張完了後の全景を写真 - 5 に示す。



写真 - 4 PC 鋼材挿入状況



写真 - 5 PC 鋼材緊張完了後の全景

6. 波形鋼板ウェブの金属溶射

6.1 採用理由

波形鋼板ウェブ橋の下床版埋込み接合部は、とくに腐食に対して留意すべき部位である。一般には、排水勾配による滞水防止対策、シーリング材による防水対策、埋込み接合部近傍における外面塗装の増塗りとコンクリート内部への塗込みによる防錆対策などが行われている。

本橋は、下記の理由により一般環境に比べて厳しい腐食環境にあると判断し、排水勾配のための余盛りを通常より大きく（10 mm → 20 mm）するとともに、下床版埋込み接合部近傍における外面塗装に金属溶射（塗装仕上げ）を採用することで、腐食耐久性の向上を図ることとした（図 - 8）。

- ① 太平洋沿岸部の海岸線より直線距離で約 1.5 km 程度と海に近いので、飛来塩分量が多い。
- ② 渡河橋であり桁下の河川から水分（水蒸気）が供給されるため、湿度が高い。

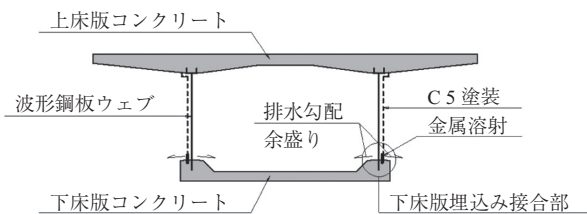


図 - 8 金属溶射の適用箇所

6.2 金属溶射の仕様

下床版埋込み接合部の金属溶射仕様を図 - 9 に示す。

金属溶射は、同路線の先行工事である大迫橋（PC・鋼複合上部工）工事で実施された試験施工に準じ、アルミニウム・マグネシウム合金溶射（以下、Al95-Mg5 溶射）とした²⁾。Al95-Mg5 溶射の国内での実績は比較的少ないも

の、海洋環境での防食性能について金属溶射の中でもとくに優れていることが試験にて確認されており³⁾、メンテナンスが困難な埋込み接合部においても長期耐久性が期待できるものと考えられる。

また、金属溶射皮膜の長寿命化や、アルミニウムのアルカリ腐食防止のためのコンクリート接触面での絶縁、一般外面塗装（C5 塗装）との仕上がり外観の統一による美観の向上を目的として、一般外面と同様にふっ素樹脂塗料による上塗りを設けた金属溶射のふっ素樹脂塗装仕上げとした。一般外面塗装（C5 塗装）と金属溶射の境界部の外観仕上がり状況を写真 - 6 に示す。

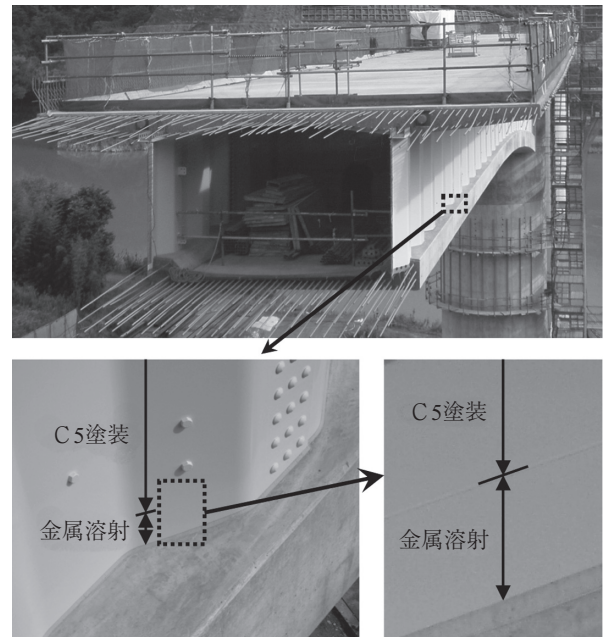
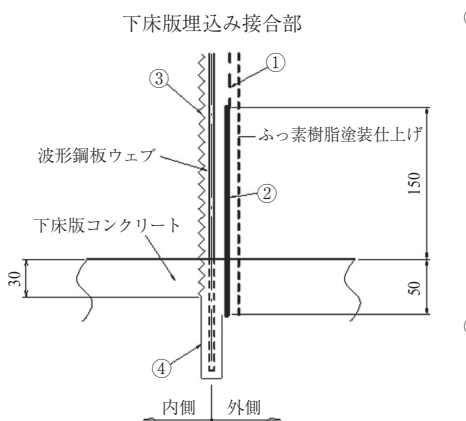


写真 - 6 金属溶射部の仕上がり状況



凡 例

- ① 一般外面塗装（C5 塗装）
- ② 一般外面溶射（Al95-Mg5 溶射）
- ③ 一般内面塗装（D4 塗装）
- ④ コンクリート接触面（無機ジククリッチプライマー）

① 一般外面塗装（C5塗装）

工 程	塗料または素地調整程度	標準使用量 (g/m ²)	標準膜厚 (μm)	塗装間隔
前処理	素地調整	G - a	—	2h以内
	プライマー	無機ジククリッチプライマー	スプレー160	(15)
工場塗装	素地調整	G - a	—	6ヵ月以内
	下塗第1層	無機ジククリッチペイント	スプレー600	75
	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗あるいは厚膜形エポキシ樹脂塗料下塗 (120μm)	スプレー160	—
	下塗第2層	厚膜形エポキシ樹脂塗料下塗	スプレー540	120
	中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗	スプレー170	30
	上塗	ふっ素樹脂塗料上塗	スプレー140	25

② 一般外面溶射（Al95-Mg5溶射）

工 程	塗料または素地調整程度	標準使用量 (g/m ²)	標準膜厚 (μm)	塗装間隔
前処理	素地調整	G - a	—	2h以内
	プライマー	無機ジククリッチプライマー	スプレー160	(15)
工場塗装	素地調整	G - a (ISO Sa2.5)	—	6ヵ月以内
	金属溶射	Al95-Mg5合金線	プラズマ溶射500	100~500
	封孔処理第1層	金属溶射膜封孔処理剤	スプレー160	—
	封孔処理第2層	金属溶射膜封孔処理剤	スプレー160	—
	中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗	スプレー170	30
	上塗	ふっ素樹脂塗料上塗	スプレー140	25

図 - 9 金属溶射仕様



写真 - 7 橋体工施工完了（下流側より望む）

7. おわりに

平成24年10月末現在、本工事は橋体工の施工を完了し、工事完成に向けて橋面工・付属物を鋭意施工中である（写真 - 7）。

河川による構造上ならびに施工上の制約に対する対応や、新工法・新材料の採用に関する取組みが、今後の同種橋梁の設計・施工に際し、参考となれば幸いです。

最後に、本工事の設計・施工に際し、数々のご指導・ご協力をいただいた方々に深く感謝し、書面を借りて御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 東, 中, 西日本高速道路(株): 構造物施工管理要領, pp.2-160 ~ 163, H22.7
- 2) 相良信一, 古賀尚幸, 金上文昭, 黒木 武, 武元成寛, 三小田智之: 川田技報 Vol.30, pp. 論文・報文 10-1 ~ 6, 2011
- 3) 日本道路協会: 鋼道路橋塗装・防食便覧, pp.V-67 ~ 68, 2005

【2012年11月19日受付】



刊行物案内

東日本大震災 PC 構造物災害調査報告書

平成 23 年 12 月

定 価 9,000 円／送料 500 円

会員特価 7,000 円／送料 500 円

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会