

新名神高速道路 佐保川橋の設計・施工

— 効率的な施工への取組み —

後小路 祥一*1・辻井 武*2・山口 斉*3・江藤 彰彦*4

新名神高速道路 佐保川橋は、茨木千提寺 IC の西側に位置する普通河川佐保川および府道余野茨木線を跨ぐ PRC 5 径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ箱桁橋である。本橋は、橋長 506.0m の上り線と橋長 511.5m の下り線からなり、最大橋脚高 71m、最大支間長 140m、最大桁高 11m を有する大型橋梁である。

上部工の着手が遅れたため、張出し施工ブロック長を 6.4m と大型化して施工ブロック数を削減し工程回復を図るなど、施工の効率化に取り組んだ。上床版に配置できる架設内ケーブル本数に制約があったことから、一部の架設内ケーブルに高強度 PC 鋼材を使用した。また、波形鋼板ウェブの一部へ金属溶射を実施し、外ケーブルには垂鉛めっきマルチケーブルを使用するなど、高品質・高耐久化を目指して施工を行った。

キーワード：波形鋼板ウェブ箱桁橋、張出し施工ブロックの大型化、高強度 PC 鋼材、工程回復

1. はじめに

佐保川橋は、新名神高速道路茨木千提寺 IC の西側に位置する普通河川佐保川および府道余野茨木線を跨ぐ PRC 5 径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ箱桁橋であり、最大橋脚高 71m、最大支間長 140m、最大桁高 11m を有する大型橋梁である。諸事情により先行工事からの下部工の引渡し時期が遅れたため、上部工工事の着手時期が当初計画よりも大きく遅れた。また、新名神高速道路の開通時期の目標が定められていたため、工程回復を求められる工事となった。

本稿では、安全性を確保しつつ行った工程回復・効率化へ向けた取組みおよび高品質・高耐久化への取組みの概要について報告する。

本工事の施工状況を写真 - 1 に示す。

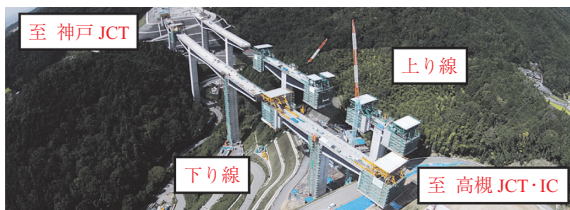


写真 - 1 施工状況

2. 橋梁概要

本橋の橋梁概要を表 - 1 に、平面図を図 - 1、側面図を図 - 2、断面図を図 - 3 に示す。

表 - 1 橋梁概要

工事名	新名神高速道路 佐保川橋 (PC 上部工) 工事
路線名	高速自動車国道 近畿自動車道 名古屋神戸線
工事場所	大阪府茨木市大字佐保
発注者	西日本高速道路株式会社 関西支社
受注者	(株)富士ピー・エス・(株)安部日鋼工業 特定建設工事共同企業体
構造形式	PRC 5 径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ箱桁橋
設計荷重	B 活荷重
橋長	506.0m (上り線) 511.5m (下り線)
径間長	59.2 + 100.0 + 130.0 + 117.5 + 96.7m (上り線) 65.2 + 107.0 + 105.0 + 140.0 + 91.7m (下り線)
有効幅員	9.81m (暫定時)
架設工法	張出し架設工法



*1 Shoichi USHIROSHOJI

(株)富士ピー・エス・
(株)安部日鋼工業特定
建設工事共同企業体



*2 Takeshi TSUJII

(株)富士ピー・エス・
(株)安部日鋼工業特定
建設工事共同企業体



*3 Hitoshi YAMAGUCHI

(株)富士ピー・エス・
(株)安部日鋼工業特定
建設工事共同企業体



*4 Akihiko ETO

(株)富士ピー・エス・
(株)安部日鋼工業特定
建設工事共同企業体

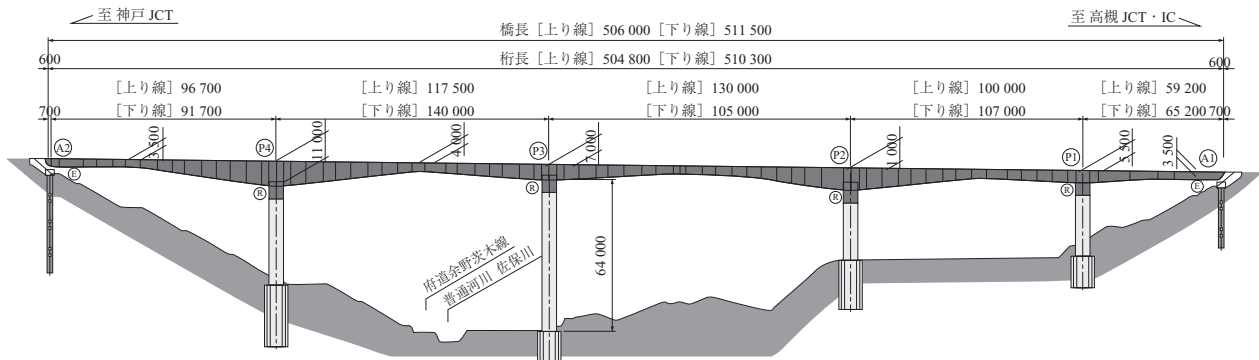


図 - 1 側面図

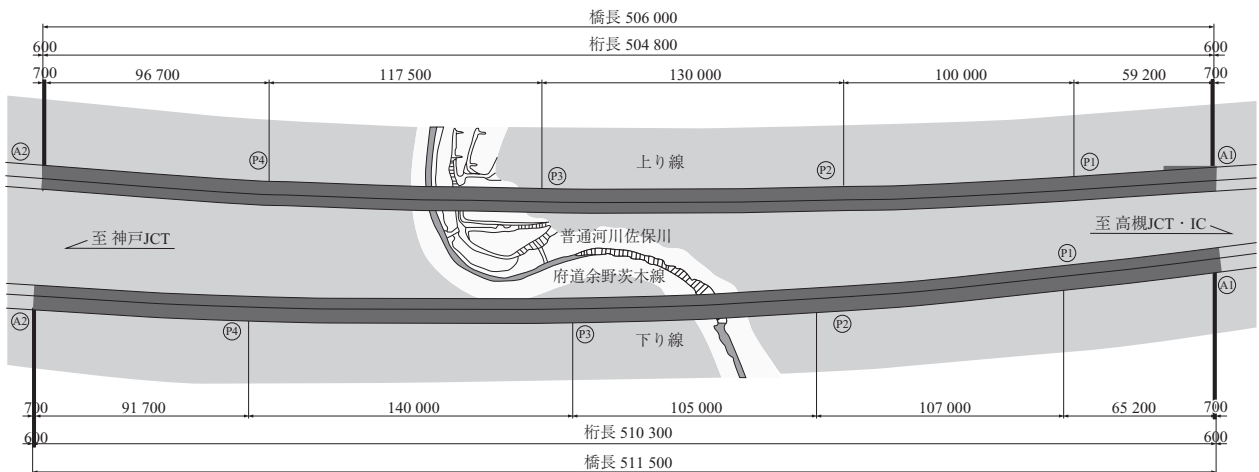


図 - 2 平面図

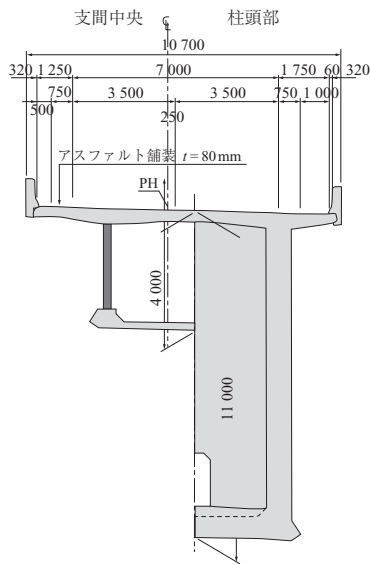


図 - 3 断面図

3. 工程回復・効率化への取組み

3.1 張出し施工ブロックの大型化

(1) 施工方法の概要

本橋の基本設計では、張出し施工1ブロックの長さは2.4~4.0mで計画されていた。これに対し、詳細設計では1ブロックの長さを6.4mまで延長して張出し施工ブロッ

クを大型化することにより、施工ブロック数を削減して工程回復を図った。

通常の施工方法で施工ブロック長が6.4mの張出し施工を行う場合、移動作業車で負担するコンクリート荷重が大きくなるため、大型の移動作業車が必要になる。本工事では移動作業車が負担するコンクリート荷重を軽減させるため、下床版のコンクリート荷重は波形鋼板ウェブで負担し、上床版のコンクリート荷重のみを移動作業車が負担する施工方法とした。移動作業車の全景を写真 - 2 に示す。



写真 - 2 移動作業車

張出し施工ブロック長を 6.4 m としたことにより、張出し施工長が最大となる上り線 P4 張出しでは、ブロック数が 19 ブロックから 11 ブロックへ削減できた。1 ブロックのサイクル施工日数は通常の施工より 2 日程度の増加となったが、張出し架設全体では約 90 日の工程回復となった。

(2) 設計検討

張出し架設ブロックを大型化するために本橋で採用した施工方法では、波形鋼板ウェブを架設部材として使用し下床版のコンクリート荷重を波形鋼板ウェブに負担させる。このため、施工時の波形鋼板ウェブの安全性についての検討を行った。検討は桁高最大位置および桁高最小位置で行い、鉛直荷重として下床版コンクリート自重、波形鋼板ウェブ自重、架設鋼材自重および作業荷重を、水平荷重として鉛直荷重の 10% および風荷重を考慮した。波形鋼板ウェブに水平荷重が作用すると、波形鋼板ウェブは面外方向にも変形を生じる。この変形の防止と圧縮鋼材の座屈を防止するため、補強材として横構および横梁を配置した。この補強材は、施工時に一時的に設置するものであり、施工性および転用を考慮して計画した。

検討では、平面骨組解析で鉛直荷重について算出した断面力に対して必要な部材断面を決定した。曲げに対しては、波形鋼板の上下にフランジを設置してフランジで抵抗するものとした。波形鋼板接合部のフランジは、フランジが圧縮部材および引張部材として機能するようにボルト接合とした。ボルト接合部は、波形鋼板と上下床版の接合に必要なアングルジベルの配置を考慮し、連結板を極力小さくできるようにフランジの上下に連結板を配置する 2 面摩擦接合とした。せん断に対してはウェブのみで抵抗するものとし、設計計算で決定したウェブ厚におけるせん断応力度を算出し、許容応力度以下であることを確認した。

局部に生じる応力の確認のため、平面骨組解析で算出した断面力に対して決定した部材について、3次元線形 FEM 解析を行い安全性を確認した。FEM 解析では、平面骨組解析で考慮した鉛直荷重に加えて水平荷重も載荷して施工時の安全性を確認した。FEM 解析モデルを図 - 4 に、FEM 解析結果の一例を図 - 5 に示す。

(3) 実物大載荷試験および実橋での計測

前項で示した検討結果について、実橋を模した試験体を作製して載荷試験を行うことにより、その安全性の確認を行った。載荷試験では、波形鋼板の曲げ性能の確認、引張フランジに発生する引張応力度分布の確認、圧縮フランジの圧縮応力度分布および座屈強度の確認、連結板とその周辺の応力度分布の確認、FEM 解析結果と発生応力の比較を行った。載荷試験の概要を写真 - 3 に示す。

試験の結果、波形鋼板は設計で想定された降伏荷重を上回っても線形的挙動を示した。引張フランジのひずみは最大荷重まで線形的に増加し、降伏しなかった。圧縮フランジは設計座屈強度においても座屈せず、降伏荷重以上まで線形的挙動を示した。連結板の荷重-たわみ曲線はほぼ直線的な挙動を示しており、最大荷重まで降伏しなかった。

これらの載荷試験結果より、コンクリート荷重を負担する架設部材として波形鋼板ウェブを使用しても安全性に問

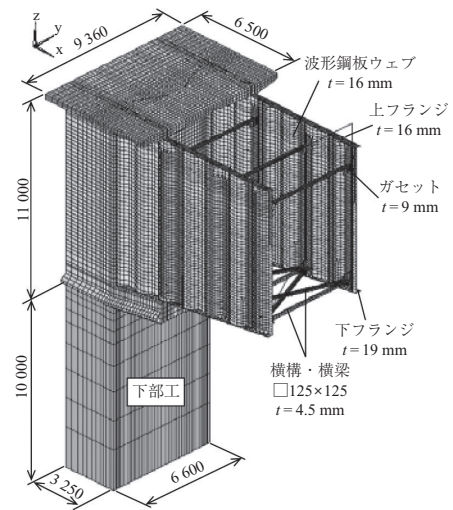


図 - 4 FEM 解析モデル

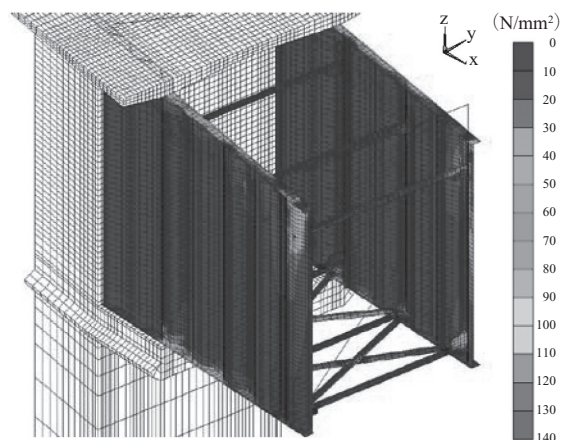


図 - 5 FEM 解析結果



写真 - 3 載荷試験概要

題ないことが確認できた。また、3次元 FEM 解析によって、波形鋼板ウェブ試験体の実挙動を精度よく再現できた。したがって、施工時の構造安全性を検証した FEM 解析は、本施工方法における波形鋼板ウェブの設計方法として妥当であると考えられる。

施工時においては、波形鋼板ウェブに発生する応力度を計測し、設計の妥当性を確認した。応力度の計測には、波形鋼板ウェブの塗装を剥ぐことなく計測可能な摩擦型ひずみ測定器を使用した。計測の結果、実橋に生じている応力度は FEM 解析値とほぼ同様の傾向を示すことを確認した。

3.2 移動作業車の工夫

本工事で使用した移動作業車の屋根は、容易に開閉が可能な構造とした。一般的な波形鋼板ウェブの架設方法では、クレーンなど荷役設備により吊り上げられた波形鋼板ウェブを橋面上の運搬設備によって架設地点まで移動し、移動作業車内の荷役設備を用いて吊上げ・回転・固定と複雑な作業が必要となる。しかし、移動作業車の屋根を開閉式にして吊り上げられた波形鋼板ウェブを移動作業車内へ直接取込み可能とすることにより、橋面上の運搬作業と移動作業車内での吊上げ・回転作業が省け作業の効率化が図れた。また、波形鋼板ウェブの移動作業車内での回転作業を省くことによって上床版型枠を先行して設置することができ、波形鋼板ウェブ架設時の作業床として上床版型枠を利用することが可能となるなど安全面の向上に対しても有効であった。波形鋼板ウェブの取込み状況を写真 - 4 に、波形鋼板ウェブの架設状況を写真 - 5 に示す。



写真 - 4 波形鋼板ウェブ取込み状況



写真 - 5 波形鋼板ウェブ架設状況

3.3 側径間部外ケーブルの緊張方向

基本設計では、外ケーブルは両引き緊張となっており、側径間部に配置される外ケーブルも両引きとして計画されていた。側径間部の施工において、両引き緊張であれば外ケーブルの緊張を終えてからパラベットの施工に着手することとなる。工程回復を目的として、詳細設計では側径間部に配置される外ケーブルは端支点横桁部側を固定側として中間支点横桁側で緊張する片引き緊張とした。これにより、側径間第 1 リフト施工後に外ケーブルを挿入し、第 2

リフト施工とパラベットの施工を並行して実施した。側径間部の施工フローを図 - 6 に示す。側径間部に配置する外ケーブルの緊張方向の変更により、14 日程度の工程回復が可能となった。

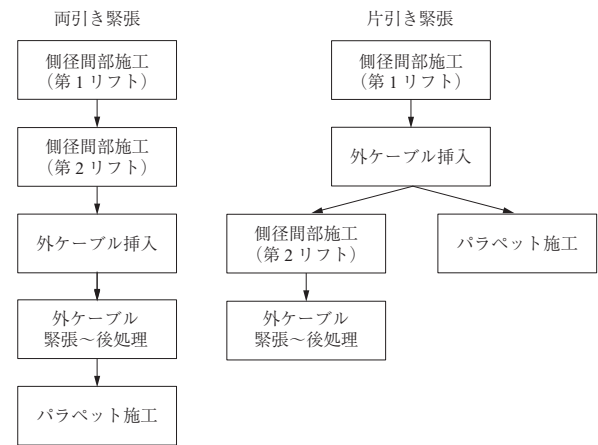


図 - 6 側径間部施工フロー

4. 設計における検討事項

4.1 高強度内ケーブルの使用

詳細設計において、路線計画の変更から左側の路肩幅員が 2.5 m から 1.75 m へと 0.75 m 減少することとなった。そのため、上床版に配置可能な架設内ケーブル本数が減少した。また、上り線においては大型の排水ますを採用したことにより、さらに張出し床版に配置できる架設内ケーブルの本数が減少した。中間床版のハンチ形状を変更して中間床版へ配置できる架設内ケーブル本数を増加させたものの、上床版に配置可能な架設内ケーブル (12S15.2) は、基本設計の 42 本に対して詳細設計では 38 本となった。基本設計と詳細設計における架設内ケーブルの配置を図 - 7 に示す。

張出し架設長が長い上り線の P4 張出し、P2 張出しおよび下り線の P4 張出しでは、架設内ケーブル (12S15.2) の必要本数が配置可能本数を上回ったため、架設内ケーブルとして高強度 PC 鋼材 (12S15.7) を使用することで架設内ケーブルの配置本数を減少させた。高強度内ケーブルの定着具には、コンクリート強度 32.5 N/mm² で緊張可能な「FKK 12TC15H」を使用した。これにより、コンクリート強度を変更することなく、普通強度 PC 鋼材使用部と同様のサイクル日数で施工することができた。使用した高強度 PC 鋼材および定着具の諸元を表 - 2 に示す。

高強度 PC 鋼材を使用する場合、PC 鋼材の引張荷重増加分を定着具を介してコンクリートが負担することとなる。そこで、土木学会で定められた試験 (JSCE-E 503 PC 工法の定着具および接続具の性能試験)¹⁾に加えて、定着具を 2 個並列に配置した場合についても定着具メーカーにて試験を実施し、応力集中に対する定着間隔の安全性についても確認した。また、実橋をモデル化した 3 次元線形 FEM 解析を行い、高強度 PC 鋼材定着部の安全性や補強鉄筋配置の検討を行った。

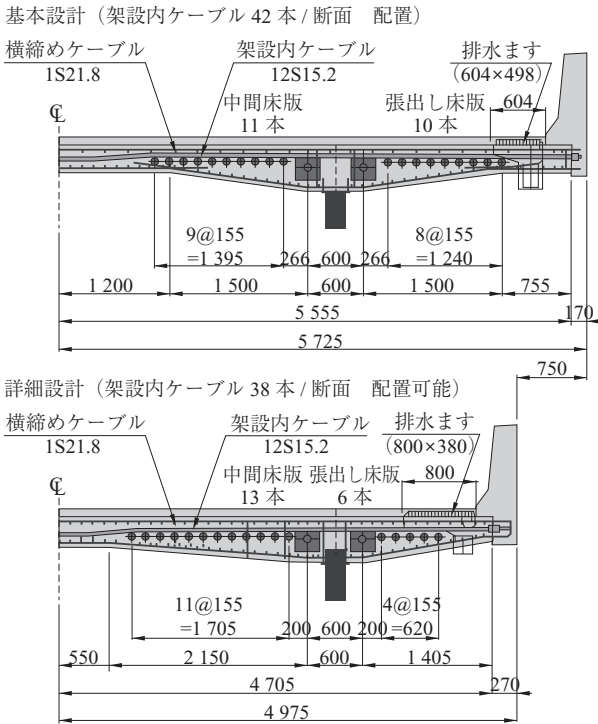


図 - 7 架設内ケーブルの配置

表 - 2 高強度 PC 鋼材・定着具の諸元

		鋼材種別	SWPR7HT 12S15.7
		防錆仕様	エポキシ樹脂被覆+グラウト
P C 鋼 材	見かけのリラクゼーション率		5.0%
	シース径		内径：85 mm 外径：98 mm
	公称断面積		1 800.0 mm ²
	単位質量		14.940 kg/m (被覆材含む)
	降伏点		1 900 N/mm ²
		引張強度	2 233 N/mm ²
		定着工法	フレシネー工法
定 着 具	定着具タイプ		12TC15.7H
	緊張時コンクリート強度		32.5 N/mm ²
	セット量		11 mm

4.2 柱頭部温度応力解析

本橋の柱頭部の最大桁高は11m、中間支点横桁厚は6.5mであり、マスコンクリートとしての施工検討が必要であった。パイプクーリングの実施も検討したが、高橋脚上でのクーリング水の確保や機材配置が困難であることから、実施には至らなかった。このため、マスコンクリート対策として、夏季の施工となる上り線P4および下り線P2の柱頭部は、上床版を打設する最終リフトを除き低熱ポルトランドセメントを使用し、上床版には普通ポルトランドセメントを使用した。

3次元線形FEMによる温度応力解析を実施し、低熱ポルトランドセメントの使用による効果の確認と補強鉄筋配置の検討を行った。低熱ポルトランドセメントを使用することにより、全リフトに普通ポルトランドセメントを使用した場合と比較して最高温度は20℃以上低下し、ひび割れ指数が1.0以下となる範囲も大幅に縮小できた。温度応力解析の検討結果を図-8に示す。

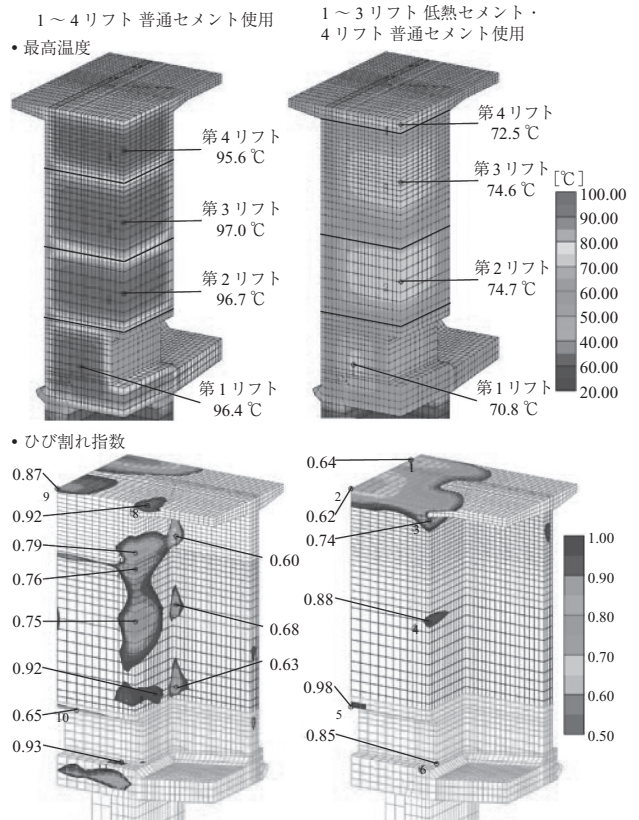


図 - 8 柱頭部温度応力解析検討結果

5. 高品質・高耐久化への取組み

5.1 波形鋼板ウェブ下部の金属溶射

高耐久化を目指し、波形鋼板ウェブの下部には防錆処理として、アルミニウム・マグネシウム合金を用いた金属溶射を施した。金属溶射の方法は、凹凸形状を有する波形鋼板ウェブの狭隘部での施工に有利となるプラズマアーク溶射を採用した。金属溶射の施工前には事前確認試験を行い、施工技術者の技量と品質の確認を行った。事前確認試験の実施状況を写真-6に示す。

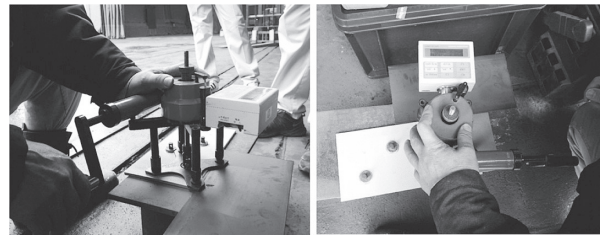


写真 - 6 事前確認試験 (密着性試験)

金属溶射の実施箇所は、波形鋼板ウェブの内外面ともに下フランジから100mm上方までの範囲とし、下フランジの下面は端部より30mmのまわり塗装部までとした。金属溶射の実施範囲を図-9に示す。

高力ボルト接合部は、塗膜厚の違いによる肌すきの発生や異種金属接触による腐食を懸念して金属溶射は行わず、接触面は標準部と同様に無機ジンクリッチプライマーを塗布(J仕様)した。接合部の下フランジから100mm上方

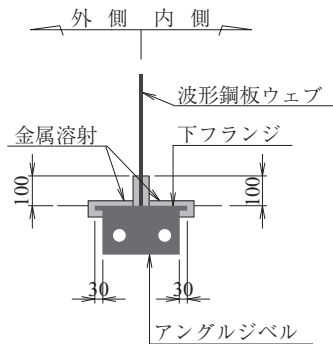


図 - 9 金属溶射実施範囲

までの範囲は、増塗りをを行い防錆効果を高めた。

5.2 外ケーブルの防錆仕様

本橋の外ケーブル（19S15.2）には、亜鉛めっきマルチケーブルを採用した。亜鉛めっきマルチケーブルは、各素線に溶融亜鉛めっきを施したPC鋼より線を19本束ね合せ、その外側を高密度ポリエチレンで一括被膜したものであり、高い耐久性を期待できる二重防食構造を有している。外ケーブルの配置状況を写真 - 7 に示す。

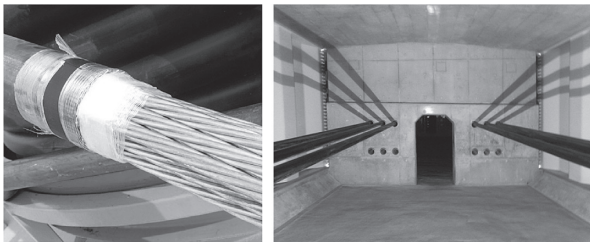


写真 - 7 外ケーブル配置

5.3 維持管理性の向上

(1) 外ケーブル定着部検査路の設置

中間支点横桁部の外ケーブル定着部は、高いところでは下床版から9m以上の高所にある。外ケーブル定着部はPC箱桁橋のとくに重要な部位であることから、目視による点検を容易とするために検査路を設置した。外ケーブル定着部検査路の計画では、検査路床から最上段の外ケーブルまでの高さは2m程度とし、外ケーブルと検査路支柱は50mm以上のあきを確保した。将来の完成形拡幅施工時に追加配置される外ケーブルの施工性を考慮して、手摺は着脱可能な構造とした。外ケーブル定着部検査路の設置状況を写真 - 8 に示す。

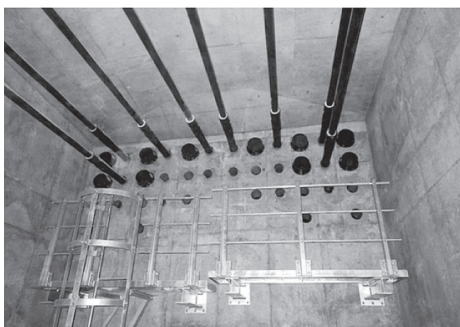


写真 - 8 外ケーブル定着部検査路

(2) 点検用移動足場の設置

高所に配置された外ケーブルや波形鋼板ウェブ上部の近接目視確認を可能とするため、キャスター付きの点検用移動足場を設置した。点検用移動足場は、横桁や隔壁で区切られた区間ごとに1基を設置し、それぞれの箇所状況に応じて、必要な高さのものとした。点検用移動足場の設置状況を写真 - 9 に示す。



写真 - 9 点検用移動足場

6. おわりに

本工事は、平成29年8月に無事完成を迎えた。完成写真を写真 - 10 に示す。工程回復を目的に各種検討・実施を行った結果、おおむね6ヵ月程度の工程回復が可能となった。

最後に、本工事の施工に際して多大なご指導、ご協力をいただいた関係各位および佐保地区の皆様へ感謝の意を表すとともに、本稿で報告した内容が今後の類似工事の参考になれば幸いである。



写真 - 10 完成写真

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 基準編，2013

【2017年12月27日受付】