

# 新名神高速道路 生野大橋の設計・施工

## — 国内初の一面吊波形鋼板ウェブエクストラード橋 —

細谷 学\*<sup>1</sup>・水谷 正樹\*<sup>2</sup>・利波 宗典\*<sup>3</sup>・長尾 賢二\*<sup>4</sup>

新名神生野大橋は、新名神高速道路の高槻JCT・IC－神戸JCT間の兵庫県神戸市に位置しており、橋長606m、全幅員35.40m（将来拡幅時）の広幅員の長大橋である。本橋は、①鉄道営業線上空を約15度の交差角で横断することから、中央径間長は国内最大規模の188mが必要であること、②上部工工事の大幅な工程回復のために超大型移動作業車による1ブロック長を8mとした片持ち張出し施工を行っており、1ブロックあたりの重量低減を図る必要があること、から国内初となる一面吊波形鋼板ウェブエクストラード構造が採用された。設計・施工においては、本橋特有の懸念事項が予想されたため、種々の検討および工夫を行い、2017年12月に無事に上部工工事を完成することができた。本稿では、設計では、主に主桁の設計、張出し架設時の検討および耐震設計について、施工では、主に主桁、主塔およびプレキャスト壁高欄の施工について報告する。

キーワード：波形鋼板ウェブエクストラード橋、超大型移動作業車、鉄道営業線横断

### 1. はじめに

生野大橋は、新名神高速道路の高槻JCT・IC－神戸JCT間の兵庫県神戸市に位置しており、橋長606mの波形鋼板ウェブエクストラード橋で、供用開始時の全幅員は25.15m、将来の6車線拡幅時には35.40mとなる。将来の拡幅に備えて、斜材は一面吊構造となっている。また、鉄道営業線上空を約15度の交差角で横断するため（写真-1）、中央径間長は国内最大規模の188mを有している。大幅な工程回復を目的として、1ブロック長を4mから8mとしてブロック数を半減させ、超大型移動作業車を用いた片持ち張出し架設を行うこととした。このため、設計当初は、コンクリートウェブ構造で計画されていたが、エクストラード橋区間は、1ブロックあたりの上部工重量の低減を図って波形鋼板ウェブ構造に変更された。これにより、起点側4径間（A1～P4）がコンクリートウェブ2室箱桁構造、終点側3径間（P4～A2）が波形鋼板ウェブ3室箱桁構造のPRC7径間連続構造になっている（図-1）。本橋のような一面吊波形鋼板ウェブエクストラード構造は国内初であるうえ、異なる2つの主桁構造を有した広幅員の長大橋であることから、本橋特有の懸念事

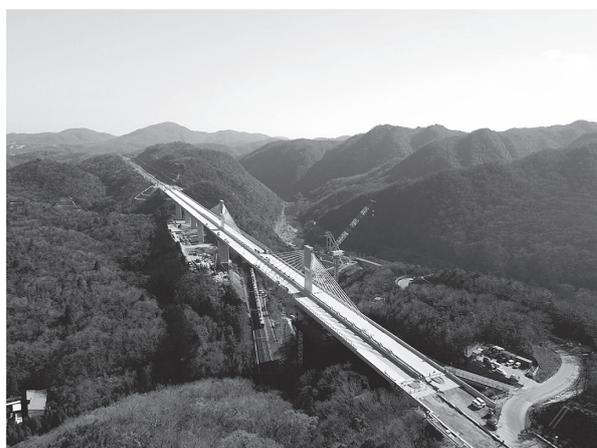


写真-1 交差角15度での鉄道営業線上空の横断

項が想定されたため、設計・施工においては種々の検討および工夫を行った。本稿では、これらについて報告する。

### 2. 設 計

#### 2.1 主桁の設計

本橋は、図-2に示すように、斜材は37S15.2が2本並



\*1 Manabu HOSOTANI

大成建設(株)  
土木技術部



\*2 Masaki MIZUTANI

大成建設・  
ピーエス三菱JV



\*3 Munenori TONAMI

大成建設・  
ピーエス三菱JV



\*4 Kenji NAGAO

大成建設(株)  
土木技術部

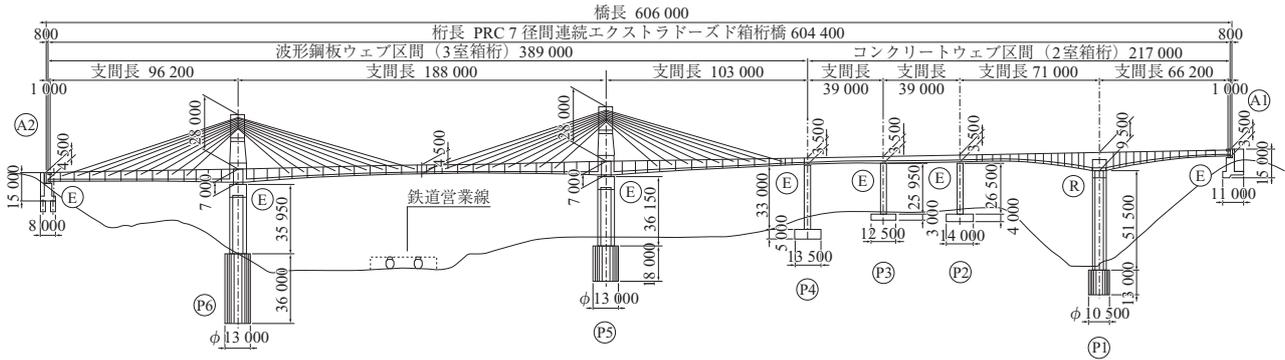


図 - 1 橋梁一般図

列配置された一面吊構造であり、かつ供用時の幅員が25.15 mと広幅員である。主桁の設計においては、活荷重の偏載荷によってねじりモーメントが発生するうえ、ウェブに作用するせん断力の分担率が均等でないことが懸念されたため、魚骨モデルおよび立体格子モデルを用いた解析を行い、これらの影響を把握した(図-3)。また、斜材張力による軸力が主桁全幅に伝達するまでの有効伝達長および斜材張力によるせん断力の各ウェブへの伝達状況を把握するため、3次元FEM解析を実施した(図-4)<sup>1)</sup>。そしてこれらの結果を施工ステップを反映した通常の逐次解析に加えて検討を行った。設計当初に比べてカンチレバークーブルの本数が増えることが予想されたため、エポキシ被覆された高強度PC鋼材を採用することで、主桁断面内に配置可能とすることができた。なお、この高強度PC鋼材用の定着具については新たに開発を行った<sup>2)</sup>。

## 2.2 張出し架設時の検討

### (1) 超大型移動作業車の影響検討

超大型移動作業車を用いた張出し架設となるため、骨組解析では把握できない局所応力の発生が懸念されることから、張出し架設状態を模擬した3次元FEM解析による逐次解析を実施した<sup>3)</sup>。これにより、段階的に導入される斜材や主方向PC鋼材の緊張および移動作業車を用いたコンクリート打設によって主桁に発生する応力を詳細に把握し、必要に応じて補強鉄筋を配置した。

### (2) 温度応力解析

P1、P5およびP6の各柱頭部から張出し架設を行う場合、乾燥収縮や水和熱低下による収縮が新旧コンクリートの材齢差によって拘束されることになり、各ブロックの打継目にはこれに沿った方向に、また張出し床版先端部には橋軸方向に、引張応力が発生する。本橋のように広幅員の場合には、その影響が大きくなることが予測されたため、張出し架設を模擬した3次元FEM解析による温度応力解析を行い、主桁に発生する引張応力を把握した。検討は、P1からの張出し区間(コンクリートウェブ区間)、P5およびP6からの張出し区間(波形鋼板ウェブ区間)の2通りを行った(図-5)。これらの結果より、必要に応じて、コンクリートに膨張材や収縮低減材を添加したほか、補強鉄筋を配置するなどの対策を施した<sup>4)</sup>。

### (3) 仮固定の検討

P5およびP6は支承構造であるため、張出し施工期間は、

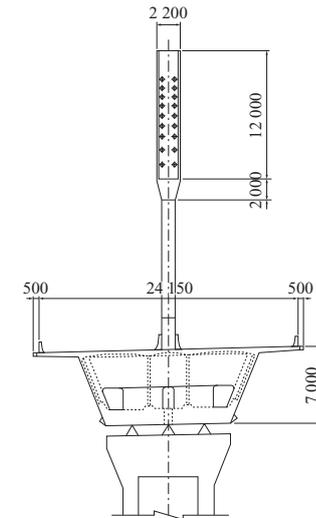


図 - 2 主桁断面図(供用開始時)

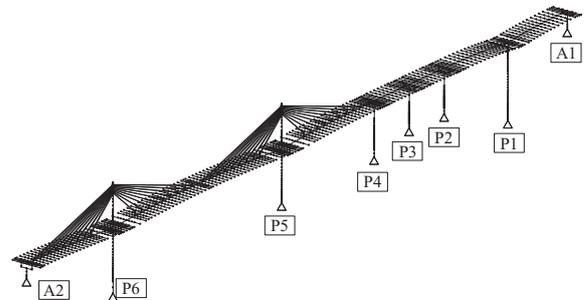


図 - 3 立体格子モデルを用いた解析

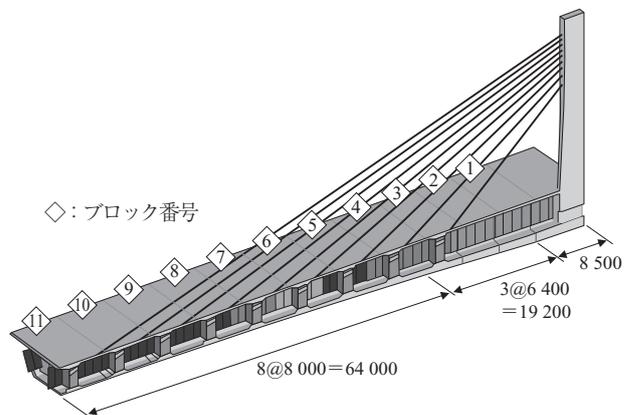


図 - 4 3次元FEMモデルを用いた解析

主桁と橋脚を剛結するための仮固定が必要となる。仮固定部に作用する引張力に対しては、PC鋼棒で抵抗させることが多いが、本橋では本数が多くなり配置が困難となったため、橋脚と柱頭部にU字状のPC鋼より線（19S15.2）を図-6に示すように合計10本配置することとした。圧縮力に対しては、本橋は2線支承構造を採用していることから、仮支承を設けずに本設の支承で受けることとし、仮支承の設置・撤去に要する工程を短縮した。ただし、全方向免震支承であるため、張出し架設中の橋軸および橋軸直角方向の移動を拘束する必要があり、両方向の動きを拘束できるサイドブロックを考案した（図-7）<sup>9)</sup>。

### 2.3 耐震設計

詳細設計では、耐震設計に適用する道路橋示方書が、基本設計時点の平成14年版から平成24年版に変更されたが、下部工はすでに発注済みであったため、構造細目の変更はできない状況であった。さらに鉄道営業線上空を横断する重要度の高い橋と位置づけられていることから、レベル1地震時だけでなくレベル2地震時においても、すべての部材の応答値が弾性域内となるようにした。このため、詳細設計ではP1橋脚を除くすべての支点上で、超高減衰ゴムを用いた全方向免震支承を採用した。本橋は、高次の不静定構造で地震時の挙動が複雑であることが予想されることから、レベル1地震時、レベル2地震時ともに非線形動的解析により、各部材が要求性能を満足することを照査している（図-8(a)）<sup>6)</sup>。

本橋の基礎地盤は、ほぼ全域にわたって岩盤であり、耐震設計上の地盤種別がI種となる比較的良好な地盤であるが、P6およびA2付近には破碎帯が確認されている。この破碎帯の影響や長大橋であることによる位相差を考慮するため、破碎帯を反映した地盤モデルを用いた地震応答解析による検討を行った（図-8(b)）<sup>7)</sup>。なお、検討においては、地盤のみをモデル化して基盤面に入力し、各橋脚下端位置における加速度波形を求めたのち、その加速度波形を別途作成する橋梁モデルに入力して動的解析を行うことで、橋梁自体の耐震性能を照査することとした。

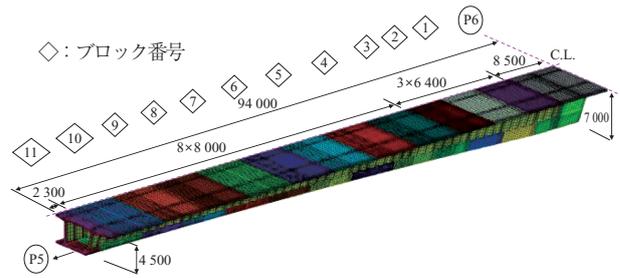


図-5 波形鋼板ウェブ区間の張出し架設時の温度解析

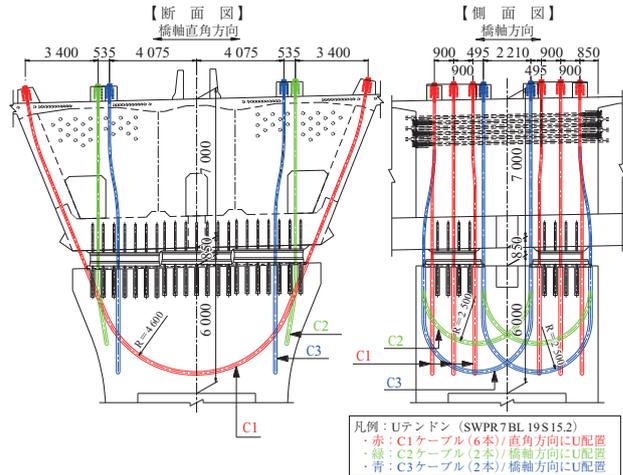


図-6 P5およびP6柱頭部の仮固定ケーブルの配置

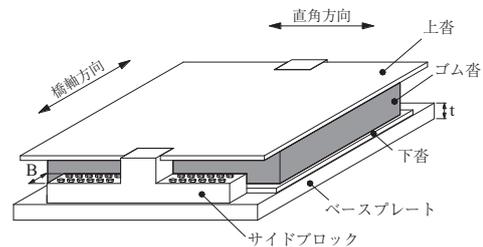
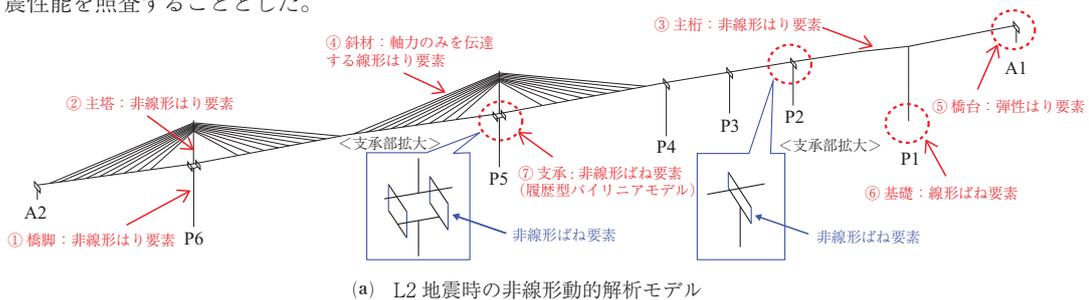
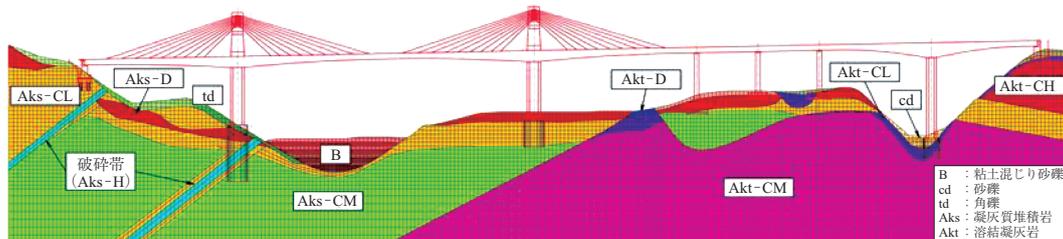


図-7 2方向の動きを拘束できるサイドブロックを有した支承構造



(a) L2地震時の非線形動的解析モデル



(b) 地震応答解析に用いた破碎帯を反映した地盤モデル

図-8 耐震設計に用いた解析モデル

また、本橋の架橋地点付近には有馬高槻断層が存在しており、破碎帯の存在とも合わさって道路橋示方書に示される地震波を上回る地震作用を受ける懸念があった。そこで、架橋地点の想定地震動を入力波としたL2地震時の動的解析も実施した。

その結果、道路橋示方書による耐震設計を満足しており、地盤を考慮した地震応答解析ならびに想定地震動を用いた動的解析においても問題がないことを確認した。

### 3. 施 工

起点側4径間(A1～P4)のコンクリートウェブ区間のうち、A1～P2はP1橋脚からの張出し架設、P2～P4は固定支保工架設で施工し、波形鋼板ウェブ区間のP4～A2はP5およびP6橋脚からの超大型移動作業車を用いた張出し架設で施工した。とくにP4～A2は、鉄道営業線との交差や、工程上のクリティカルパスとなっているなど、さまざまな制約下で工事を進め、約8か月間の工程回復を実現した。ここでは、主に波形鋼板ウェブ区間の施工について示す。

#### 3.1 主桁の施工

##### (1) 超大型移動作業車の採用<sup>8)</sup>

1ブロック長8mに対応するため、図-9に示すような超大型移動作業車(20000kN・m)を採用した。移動作業車の組立てについては、鉄道営業線への影響を最小限にするため、上部主構は営業線からの離隔を十分確保できる柱頭部上で組み立てたのちに中央径間側に約7m前進させた。また、下段作業台は鉄道営業線の反対側に約20mの

離隔が確保できる位置で組み立てたのちに、所定の位置に移動してリフトアップさせた(写真-2)。なお、橋軸直角方向28m×橋軸方向20mの下段作業台には防水加工を施し、営業線直上での張出し施工時に雨水などが落ちないように配慮した。

##### (2) 張出し施工サイクル<sup>8)</sup>

張出し施工の基本サイクルを図-10に示す。①波形鋼板ウェブ架設・下床版構築、②斜材緊張、③支保工組立て・上床版構築、④PC緊張の順に施工したのち、次ブロックに移動した。3室箱桁の中央セルには斜材定着部、外セルにはダイヤフラムが配置されているため、通常の張出し施工で用いられる梁材による上床版支保工を用いることが困難であった。このため、下床版上に支保工を組み立てて、上床版を構築した。また、斜材の緊張は、次ブロックの上床版構築前に緊張し、緊張作業時の施工性向上を図った。

中央径間の移動作業車は鉄道営業線上空での移動となるため、夜間1:30～4:00の線路閉鎖内の約2時間半で移動させなければならなかった。そこで、移動速度を最大にするために作業車の移動時に用いる油圧装置の吐出量を管理し、またレール強度を高めてスパンを大きくすることで盛替え作業を減らすなどの工夫により、作業時間の短縮を図った。

##### (3) 端支点部の先行施工

A2側径間は、設計当初は、張出し最終ブロック構築後に吊支保工により構築する計画であったが、側径間と最終ブロック間に閉合ブロックを設けることにより、側径間を先行構築しておき、最終ブロック構築後に閉合ブロックを

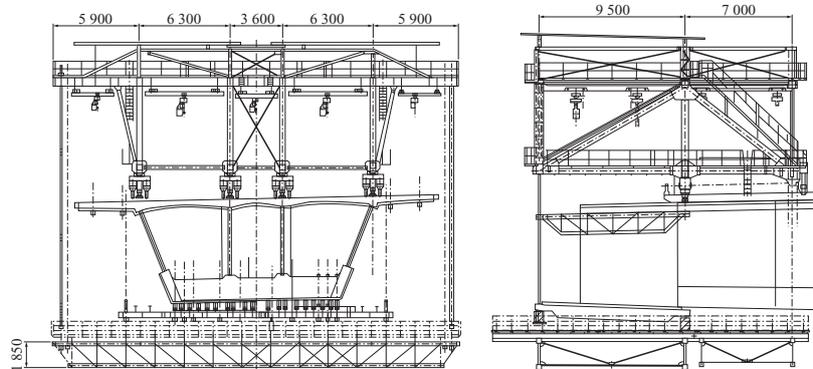


図-9 超大型移動作業車の概要図(4主構)



(a) 横移動前

(b) 横移動後のリフトアップ

(c) リフトアップ後

写真-2 鉄道営業線への影響に配慮した移動作業車の組立て

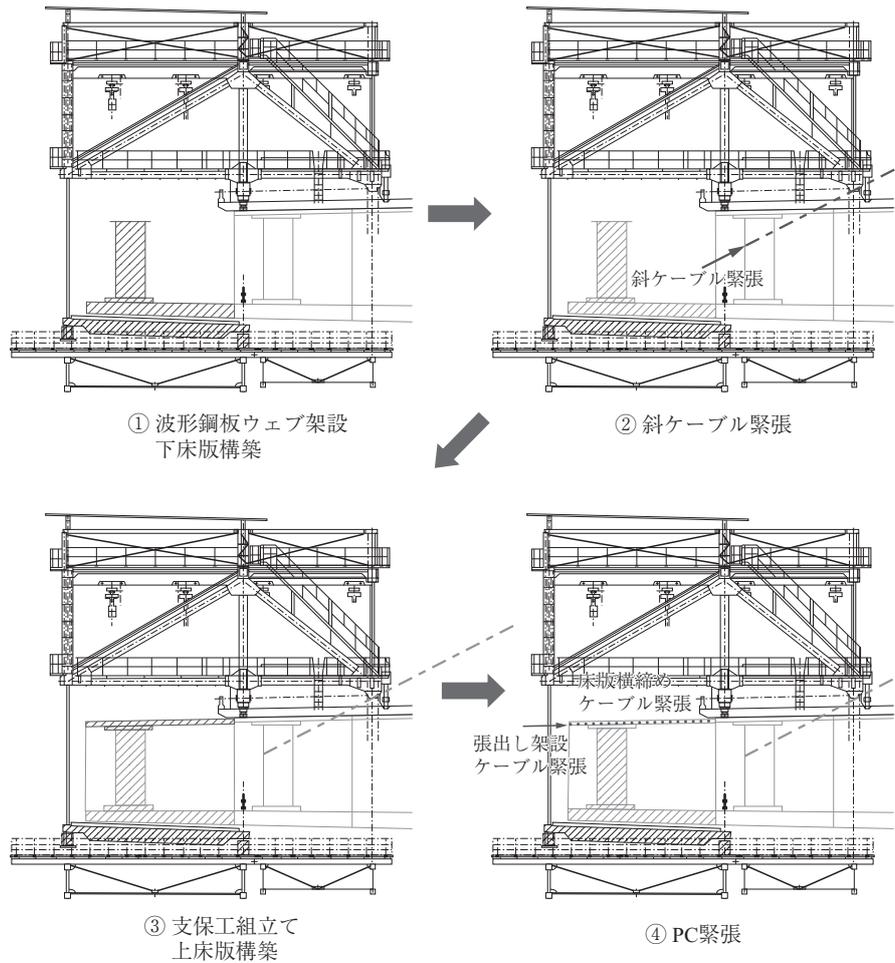


図 - 10 エクストラードゾド橋区間における張出し施工の基本サイクル

構築する計画に変更した。これにより、最終ブロック構築後の施工区間が減少することで工程を短縮した。先行で構築する側径間には支承、外ケーブル定着部など、種々の添加物が設置されるため構築に時間を要するが、最終ブロック施工前に構築することで、約1か月工程を短縮できた。構築に使用した支保工は、先行構築の側径間と閉合ブロックを同一の支保工で構築できるようにA2橋台からのブラケット構造とした。

#### (4) 移動作業車の解体

P5およびP6張出し施工に用いた全4台の移動作業車のうち、3台は施工完了地点で解体ができないため、柱頭部まで後退した後、解体することとした。後退時は既設の主桁や斜材などと干渉する部材をすべて撤去する必要があるため、移動作業車の通常状態とは鉛直方向の支点反力のバランスが変わり、新たに負反力が生じる支点がある。このため、この箇所については、後退時の反力をレールで受けることができるような構造を開発し、鉄道営業線上空での後退作業を安全かつ迅速に行った。

### 3.2 主塔の施工

主塔は全高28mを8リフトに分割し、上部3リフトに斜材用サドルを設置した(写真-3)。主塔の施工では、斜材緊張までに構築完了させるという工程上の制約、サドル配置部での過密鉄筋に対するコンクリートの充填性の向

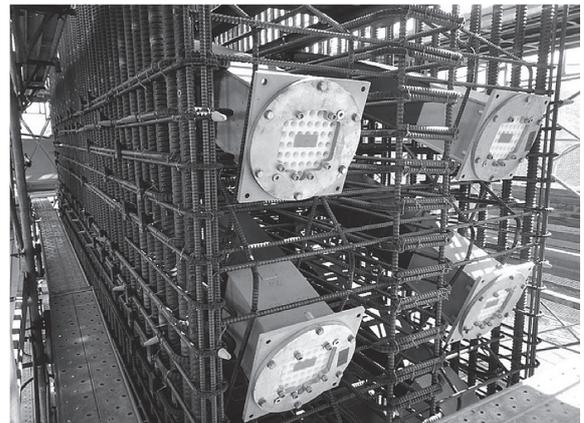


写真 - 3 主塔のサドル部の設置状況

上の課題があったが、中間帯鉄筋にプレート定着型せん断補強鉄筋を用いるなどの対策を実施し、これらの課題を解決した。

### 3.3 橋面工

P4～A2の壁高欄は、鉄道営業線上空での作業量を削減することで鉄道への落下リスクを低減するとともに、工程短縮を図るためにプレキャスト部材を用いた(写真-4)。プレキャスト部材は各ブロック施工時に移動作業車を用いて仮置きしておき、最後にまとめてプレキャスト部材の下



写真 - 4 プレキャスト壁高欄の設置状況

端にモルタルを打設して最終的に高さを調整した。モルタル打設時の足場には、プレキャスト壁高欄用に改良した特殊高欄台車を最大8台使用した。

#### 4. おわりに

生野大橋は、2017年12月に無事に上部工工事が完成した。本橋のような広幅員一面吊構造の波形鋼板ウェブエクストラード構造は、国内で初めての採用である。また、ここでは紹介できなかったが、本橋で採用したサドル構造およびフリクションダンパーも国内初の試みである。このように、本工事では、多くの新しい試みを取り入れることにより、厳しい工程、鉄道営業線との交差などの困難な制約条件を克服することができた。

#### 参考文献

- 1) 新庄皓平, 細谷 学, 福田雅人, 高次 渉: 広幅員一面吊り長大エクストラード橋の斜材張力の主桁伝達に関する検討, プレストレストコンクリート工学会, 第24回シンポジウム論文集, p.603-606, 2015.
- 2) 京田康宏, 細谷 学, 弓家 猛, 白石俊英, 福田雅人, 黒川秀樹: エポキシ樹脂被覆高強度PC鋼材に対するVSL工法定着システムの開発, 土木学会, 第70回年次学術講演会, V-124, p.247-248, 2015.
- 3) 中 隆司, 細谷 学, 福田雅人, 利波宗典: FEMによる逐次解析を用いた長大エクストラード橋の張出し架設時の検討, プレストレストコンクリート工学会, 第24回シンポジウム論文集, p.607-610, 2015.
- 4) 芦塚憲一郎, 前原直樹, 細谷 学, 大熊 光: 生野大橋における張出し架設を模擬した3次元FEM解析による温度応力解析, プレストレストコンクリート工学会, 第25回シンポジウム論文集, p.605-608, 2016.
- 5) 中 隆司, 細谷 学, 福田雅人, 黒川秀樹, 利波宗典, 弓家 猛: 2線支承を有する長大エクストラード橋における柱頭部仮固定の検討, 土木学会, 第70回年次学術講演会, VI-269, p.537-538, 2015.
- 6) 長尾賢二, 細谷 学, 福田雅人, 水谷正樹: 広幅員一面吊り形式の長大エクストラード橋の耐震設計, プレストレストコンクリート工学会, 第24回シンポジウム論文集, p.599-602, 2015.
- 7) 細谷 学, 芦塚憲一郎, 前原直樹, 利波宗典: 長大エクストラード橋の耐震設計における地震応答解析, プレストレストコンクリート工学会, 第25回シンポジウム論文集, p.601-604, 2016.
- 8) 新庄皓平, 深澤俊雅, 前原直樹, 菊山智裕: 鉄道上空を跨ぐ長大エクストラード橋の片持ち張出し施工, プレストレストコンクリート工学会, 第26回シンポジウム論文集, p.443-446, 2017.



写真 - 5 生野大橋全景

【2018年3月2日受付】