

# 新名神高速道路 新名神武庫川橋の設計・施工 — バタフライウェブエクストラードーズド橋の建設 —

水野 克彦\*1・富山 茂樹\*2・松原 勲\*3・楠井 英正\*4

新名神武庫川橋は、橋長 442 m の PRC 5 径間連続バタフライウェブエクストラードーズドラーメン橋である。昨今の技能労働者不足のもと、上下線一体の広幅員、100 m の長支間、50～80 m の高橋脚という条件を有する本橋建設にあたり、「プレキャスト技術」を活用した「省力化施工」による生産性向上を図り、世界で初めて主桁ウェブにバタフライウェブ構造を採用したエクストラードーズド橋の建設を行った。また本構造を採用することにより、大幅な重量低減を可能とし、耐震性の向上と環境負荷低減も図っている。

キーワード：バタフライウェブ構造、エクストラードーズド橋、工場製作プレキャストセグメント

## 1. はじめに

本橋は、新名神高速道路の高槻 JCT・IC から神戸 JCT の間に位置する PRC 5 径間連続バタフライウェブエクストラードーズドラーメン橋である。

本橋では、省力化施工による合理的な急速施工を可能とすることで、プレキャスト技術採用にあたり、可能なかぎり部材規格の標準化を図ることを、主眼として詳細設計を実施した。上部工は、バタフライウェブ箱桁構造とエクストラードーズド構造を組み合わせた構造とすることにより、主桁の等桁高化、バタフライウェブパネル寸法の統一を図った。橋脚は、ハーフプレキャスト部材を用いた急速施工法を採用し、断面を円形断面に統一することとした。その結果、上下部工の大幅な軽量化と橋脚剛性の平均化により、耐震性の向上を図った。

本稿では、「プレキャスト技術」を活用した「省力化施工」を中心にバタフライウェブエクストラードーズド橋の設計・施工について報告する。

## 2. 橋梁概要

上下線一体断面である本橋は、暫定形 4 車線対応の幅員で建設したが、将来的な 6 車線化に対応した拡幅可能な構造として計画されている。このため将来の 6 車線化は、張

出し床版を片側約 5.6 m 拡幅し、ストラットにて支持する構造としている。橋梁概要を表 - 1 に、主桁断面図を図 - 1 に、全体一般図を図 - 2 に示す。

表 - 1 橋梁概要

工事名	新名神高速道路 武庫川橋工事
構造形式	PRC 5 径間連続バタフライウェブエクストラードーズドラーメン橋
橋長	442.2 m
支間長	71.800 m + 3 @ 100.000 m + 67.800 m
有効幅員	21.500 m 【暫定形】 32.500 m 【完成形】
架設工法	張出し架設工法

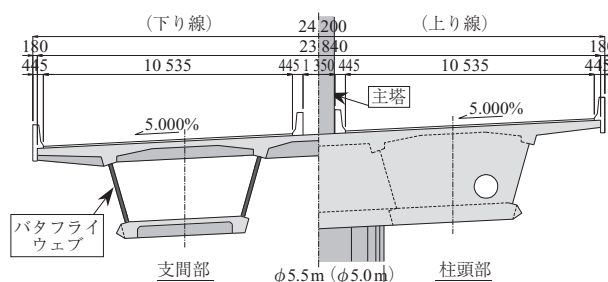


図 - 1 主桁断面図（暫定形）



\*1 Katsuhiko MIZUNO

三井住友建設 (株)  
土木設計部



\*2 Shigeki TOMIYAMA

三井住友建設 (株)  
土木設計部



\*3 Isao MATSUBARA

三井住友建設 (株)  
大阪支店



\*4 Hidemasa KUSUI

三井住友建設 (株)  
大阪支店

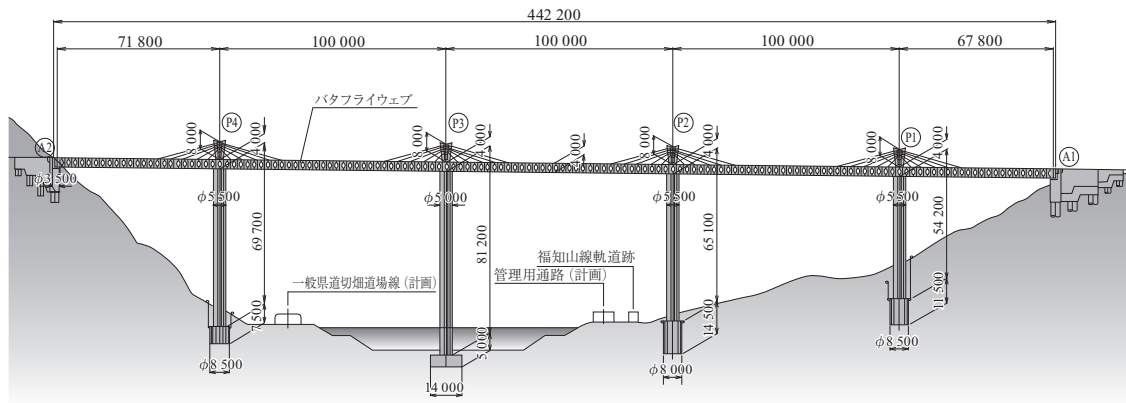


図 - 2 全体一般図

### 3. 高耐久化を目指した技術の採用

#### 3.1 高強度コンクリートの使用

主桁コンクリートは、上部工の軽量化と耐久性向上を図るため、上下床版に高強度コンクリート ( $\sigma_{ck}=50 \text{ N/mm}^2$ ) を採用した。ウェブは、鉄筋を配置しない高強度繊維補強コンクリート ( $\sigma_{ck}=80 \text{ N/mm}^2$ ) のバタフライウェブ構造を採用した。

橋脚は、ハーフプレキャスト部材を現場で積み上げ、中詰めコンクリートを打設する急速施工法 (SPER 工法) を採用し、表面を高強度コンクリート ( $\sigma_{ck}=50 \text{ N/mm}^2$ ) の工場製作プレキャスト部材で覆うことにより、高耐久化を図った。

また主塔は、中央分離帯内の設置で主塔幅に制限があり、斜材の鉛直分力により高圧縮部材となるため、高強度コンクリート ( $\sigma_{ck}=50 \text{ N/mm}^2$ ) を採用し、構造のコンパクト化を図るとともに耐久性を有する材料とした。

#### 3.2 鋼部材の高耐久防錆

主塔は、鋼板と斜材定着部が外面に露出した構造となる。これらの防錆については、本橋の架設地の環境条件下では、一般的には塗装仕様が考えられる。しかしエクストラード構造における主塔の重要性と、供用後の塗替え作業が困難なことを考慮し、鋼板および斜材定着体グラウトキャップは、アルミニウム-マグネシウムを用いた合金溶射 (Al-Mg 合金溶射) 仕様とした (写真 - 1)。

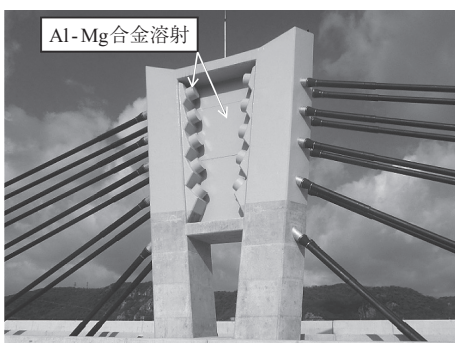


写真 - 1 主塔全景および防錆仕様

## 4. 設 計

#### 4.1 バタフライウェブエクストラード構造箱桁構造

本橋は、バタフライウェブ構造とエクストラード構造

を組み合わせた新構造形式である。高強度繊維補強コンクリート ( $\sigma_{ck}=80 \text{ N/mm}^2$ ) を使用したバタフライウェブパネルは、ウェブ厚を全橋に渡って 150 mm と薄くすることができ、軽量化が可能となる。バタフライウェブパネルはプレキャスト部材であるため、製作性と運搬寸法制限により 4.0 m の等桁高構造とする必要があった。しかしながら、支間が 100 m であるため、4.0 m の等桁高構造を成立させるために、バタフライウェブ構造の柱頭部近傍を斜材で補剛したエクストラード構造を採用した。

バタフライウェブ構造の採用による軽量化に加えて、桁高一定のエクストラード構造とすることにより、上部工重量については、基本計画時の PC 箱桁橋より約 20% の重量低減、上下部工重量で約 35% の重量低減を可能とし、建設時の CO<sub>2</sub> 排出量も約 30% 削減するなど、上下部工の大幅な軽量化による耐震性の向上と環境負荷の低減を図ることができた。

#### 4.2 耐震設計

基本計画段階では、河川内に位置する P3 橋脚は河積阻害率の関係から直径  $\phi 5.0 \text{ m}$  の円形中空断面、それ以外は矩形の中空断面として計画されていた。また、橋脚高は P3 橋脚がもっとも高く 81.2 m、もっとも低い P1 橋脚は 54.2 m であり、P3 橋脚以外の剛性が高く、とくに脚高の低い P1 橋脚に地震時慣性力が集中することが懸念された。そこで、P1、P2、P4 橋脚を  $\phi 5.5 \text{ m}$  の円形中空断面として剛性を低下させ、橋脚剛性の平均化を図り、地震時慣性力を分散させるとともに、長周期化により地震慣性力を大幅に低減させた。図 - 3 に橋脚曲げ剛性 ( $EI$ ) と脚高 ( $h$ ) の比率、橋脚下端の応答値の比較を示す。橋脚剛性の低下に対しては、高強度コンクリート (P1、P2、P4  $\rightarrow \sigma_{ck}=40 \text{ N/mm}^2$ , P3  $\rightarrow \sigma_{ck}=50 \text{ N/mm}^2$ ) と高強度鉄筋 (SD 490) を使用し、耐力を確保することとした。

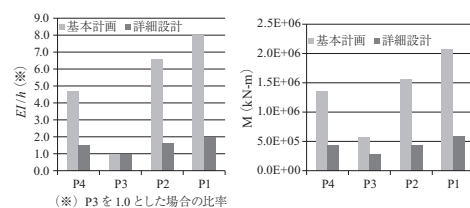


図 - 3 橋脚曲げ剛性 ( $EI$ ) と脚高 ( $h$ ) 比率および脚下端曲げモーメント

### 4.3 主塔構造

本橋は、将来拡幅時に両外側に床版を増設する必要があるため、斜材配置は1面吊りとした。また斜材をサドル方式とすると、主塔内で最小曲げ半径を確保することが困難であるため、定着構造は分離定着方式とした。しかし、主塔直角方向幅が中央分離帯幅の1.35 m以内に制限され、従来の鋼殻やコンクリートの中空構造分離定着方式では、主塔内部で斜材定着する内空幅を確保できなかった。そこで、狭幅なスペースでも設置可能な、1枚鋼板と2本のコンクリート柱からなる新しい分離定着方式の主塔構造を開発した。主塔構造図を図-4に示す。定着構造の鋼板は、鉄筋ジベルによりコンクリートと接合する。板厚100 mmの鋼板ジベル孔へのコンクリート充填性が懸念されたため、鋼板ジベル孔に鉄筋を差し込み、力の伝達方向にジベル筋と孔側面が接した状態で、隙間を樹脂充填により固定している。

運搬制約と施工性より、鋼板は、鉛直方向に3分割としたが、これらはボルトや溶接による連結はおこなわず、隙間を5 mm あけることで、鉛直力が伝達しない構造としている。これにより、コンクリート柱は鉛直力を、鋼板は水平力を明確に分担して支持する構造としている。

荷重伝達機構や発生応力度などの検証を行うために、鋼板に隙間を設けた立体FEM解析を実施した。また実物大モデルによる荷重載荷実験を行い、解析で得られる耐力や現象との整合性確認を行った。

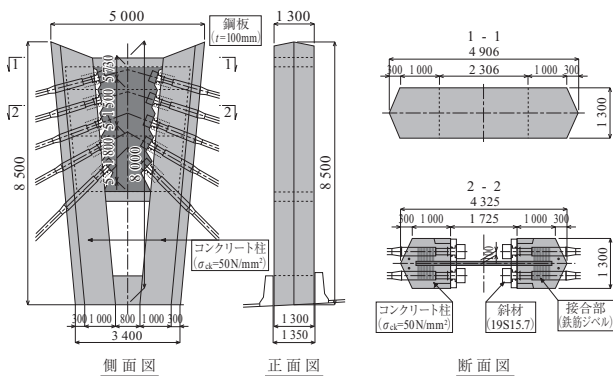


図-4 主塔構造図

## 5. 施工

### 5.1 橋脚の省力化施工

本橋の橋脚は50~80 mの高橋脚であり、省力化による急速施工を目的としてハーフプレキャスト部材を用いた施工法（SPER工法）を採用した（図-5）。型枠として兼用するプレキャストコンクリート製壁部材を工場製作し、現場に搬入してこれを積み上げ、中詰めコンクリートを打設して構築するものである（写真-2）。現場での型枠作業を省略でき、さらに、ハーフプレキャスト部材に帯鉄筋・中間帯鉄筋をあらかじめ配置することにより、鉄筋組立て作業の時間が大幅に短縮できる。本工法の採用により、橋脚柱の施工サイクルを従来工法の場所打ち施工に比べ、約半分に短縮した。

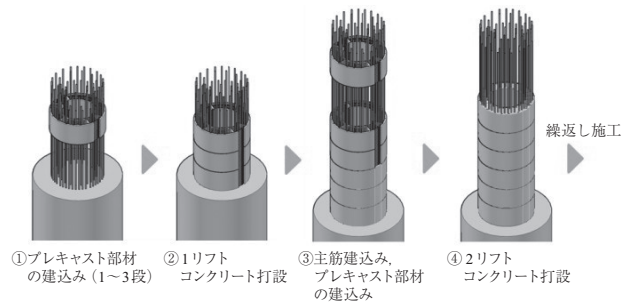


図-5 橋脚施工概念図



写真-2 橋脚プレキャスト部材建込み状況

### 5.2 柱頭部の省力化施工

一般的なラーメン橋の柱頭部施工は、橋脚上部にブラケット支保工を設置して行う。本橋のような円形橋脚の場合、ブラケット支保工の鋼材を平面的に放射状に配置することとなり、しかも高橋脚上での作業となるため設置・撤去に、多大なる手間を要することになる。そこで本橋では、ハーフプレキャスト部材を用いた柱頭部施工法を採用した。柱頭部横桁の一部を橋軸直角方向に分割したハーフプレキャスト部材を張出し架設し、場所打ちコンクリートによる後施工部はこれを支保工として施工するものである（図-6、写真-3）。ブラケット支保工で支持する荷重を橋脚直上部のみとすることで大幅な簡素化を図り、設置・撤去作業の容易性・安全性を向上した。

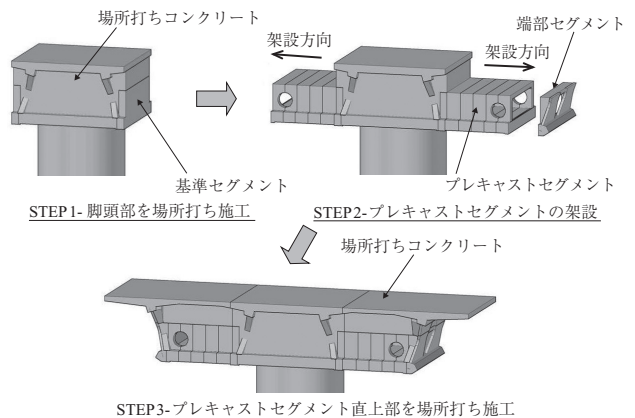


図-6 柱頭部の施工ステップ図





写真 - 3 プレキャストセグメント架設状況

### 5.3 主桁の省力化施工

主桁に採用したバタフライウェブ構造の施工は、工場製作のバタフライウェブパネルを現場に搬入し、移動作業車内で所定位置にセット、上下床版を場所打ちにて行う。波形鋼板ウェブ構造と同様に、施工の煩雑なウェブの施工を省力化できるものである。また、波形鋼板ウェブ構造は、鋼板同士を接合する必要があることに対し、バタフライウェブ構造はウェブ同士を接合しない構造として設計を行っているため、さらなる省力化が図れる。

また、バタフライウェブ構造の採用により、主桁重量を軽量化できるため、主桁張出し施工時の施工ブロック長を6.0mと長くすることができる。本橋の場合、総ブロック数101ブロックを54ブロックと約半減している。本効果により、施工日数の短縮が図られており、施工の省力化が図られている。バタフライウェブ架設状況を写真 - 4 に示す。



写真 - 4 バタフライウェブ架設状況

## 6. 維持管理に配慮した橋梁構造

本橋のような多室箱桁の場合、ウェブに多くの人通孔を設けることが困難であるが、開口を有するバタフライウェブ構造を採用することにより、任意の箇所でも箱室間を容易に移動可能とした。そして桁内は、ウェブ開口からの採光により、日中は明るく、桁内照明設備を不要とし、点検の確実性も向上した（写真 - 5）。また、エクストラードード橋の採用により桁高を低く設定しているため、桁内における斜材や外ケーブル定着部の点検を、検査路無しで容易

に行うことが可能となった。

桁端部では、伸縮装置からの雨水の浸入を防止する目的で伸縮装置をバラベツ側にならず、その下に排水溝を設けた構造（「セットバックジョイント構造」）を採用した。従来構造では、伸縮装置の劣化に伴う漏水が端壁面や橋座面に浸入し、鉄筋や支承が腐食する原因となっていたが、セットバックジョイント構造とすることにより、漏水を排水溝へ導水できるため、桁端部の維持管理性が向上した。



写真 - 5 桁内状況

## 7. おわりに

新名神武庫川橋は、平成29年2月に無事竣工を迎えることができた。完成写真を写真 - 6 に示す。本稿が、今後の橋梁設計・施工の参考になれば幸いである。最後に、本橋の設計・施工に際し、ご指導・ご助言いただきました関係各位に対しまして、厚く感謝の意を表します。



写真 - 6 完成写真

### 参考文献

- 1) 芦塚憲一郎, 黒川秀樹, 諸橋 明, 松原 勲, 水野克彦, 富山茂樹: 新名神高速道路武庫川橋 (仮称) の設計と施工, 橋梁と基礎, Vol.49, No.3, pp.2-11, 2015
- 2) 芦塚憲一郎, 前原直樹, 諸橋 明, 小西純哉: 高耐久化・維持管理性向上・生産性向上を目指したPC橋の建設, プレストレストコンクリート, Vol.58, No.3, pp.51-56, 2016

【2017年12月28日受付】