

鋼コンクリート複合アーチ橋における 大型プレキャスト床版の設計と施工 - 第二東名高速道路 富士川橋 -

築山有二¹・岡田尚久¹・林秀和²・渡辺典男³

¹日本道路公団 静岡建設局 富士工事事務所（〒417-0061 静岡県富士市伝法字大原170-1）

²日本道路公団 東京管理局 京浜管理事務所（〒224-0044 神奈川県横浜市都筑区川向町1047）

³大成建設株式会社 土木設計部 橋梁技術設計室（〒163-0606 東京都新宿区新宿1-25-1）

第二東名高速道路 富士川橋は、鋼桁とコンクリートアーチから構成される国内初の複合アーチ橋である。鋼桁には、経済性・耐久性の観点からPC床版鋼2主桁橋（連続成桁）を採用した。床版には横方向および部分的に縦方向にもプレストレスを導入し、曲げひびわれに対する耐久性を確保した。また、床版コンクリート打設時における既設床版の残留応力を低減し、コンクリートの品質を確保するために、プレキャスト床版を採用した。床版の分割は、耐久性と美観を踏まえ継目数を最小化し、1枚あたりの平面寸法は9.5m×17.68m、重量は約170tとした。本稿では、大型プレキャスト床版の設計、施工について、紹介する。

キーワード： 鋼コンクリート複合アーチ、PC床版鋼2主桁、大型プレキャスト床版

1. はじめに

第二東名高速道路 富士川橋は、静岡県東部を流れる一級河川富士川の河口から約7km上流に架かる橋梁である。図-1に位置図を示す。架橋地点は、富士川が狭隘かつ大きく屈曲する水衝部となり水理上の問題があることから、富士川を一跨ぎするアーチ橋が選定された。

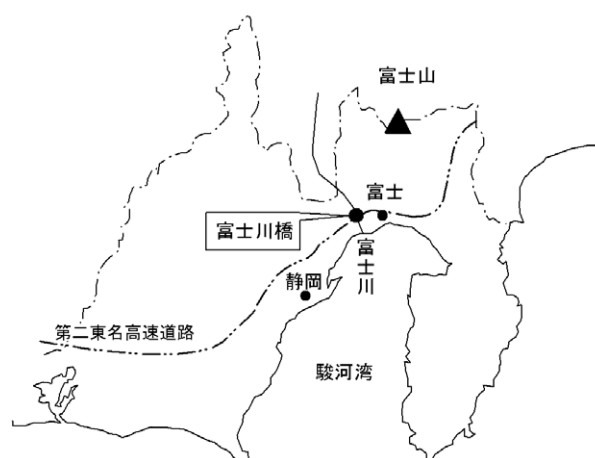


図-1 位置図

本橋は、上下線分離したアーチ橋である。図-2に富士川橋の全体一般図を示す。橋梁形式は、鋼とコンクリートのそれぞれの材料特性を活かした複合構造で、国内で初めて採用された。上部桁は、上部工反力を軽減しアーチリブおよび下部工基礎を縮小するため、PC床版鋼2主桁を採用した。PC床版は、横方向に加え、部分的に縦方向にもプレストレスを導入し曲げひび割れに対する耐久性を確保するとともに、床版厚を36cmとし押抜きせん断に対する耐久性も確保している。また、床版コンクリート打設時における既設床版の残留応力を低減し、コンクリートの品質を確保するために、プレキャスト工法を用いた。プレキャスト床版の分割は、耐久性と美観を踏まえ継目数を最小化し、1支間(28.0m)あたり支間中央とインフレーションポイントの3点に集約した。その結果、プレキャスト床版の平面寸法は9.5m×17.68m、1枚あたりの重量は約170tとなった。本橋では、上下線合わせて82枚の大型プレキャスト床版を現場で製作し、専用の架設作業車によって設置を行った。本稿では、富士川橋の工事概要を述べた後、PC床版の設計と施工について紹介する。

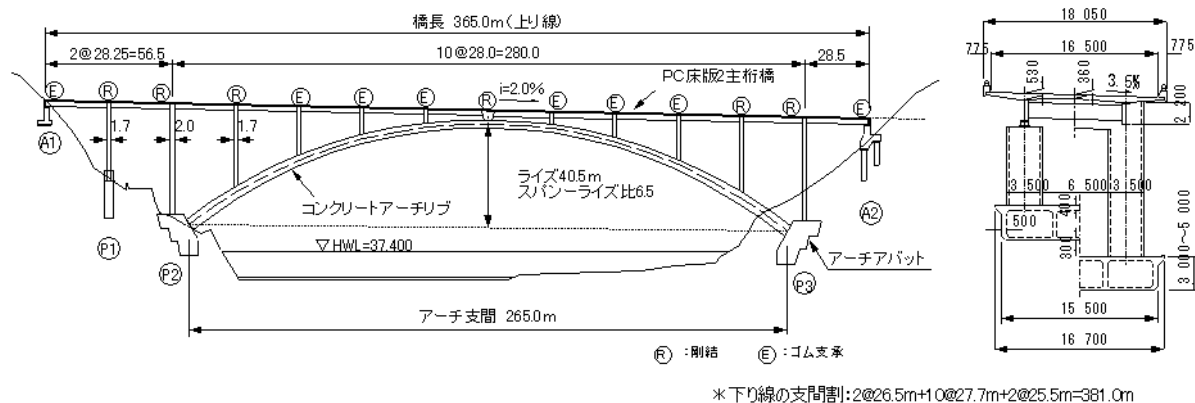


図-2 全体一般図

2. 工事概要

本橋の施工手順を、図-3に示す。

下部工構築

片持ち張出し工法によるアーチリブの架設

送出し工法による鋼桁架設

プレキャスト工法による床版架設

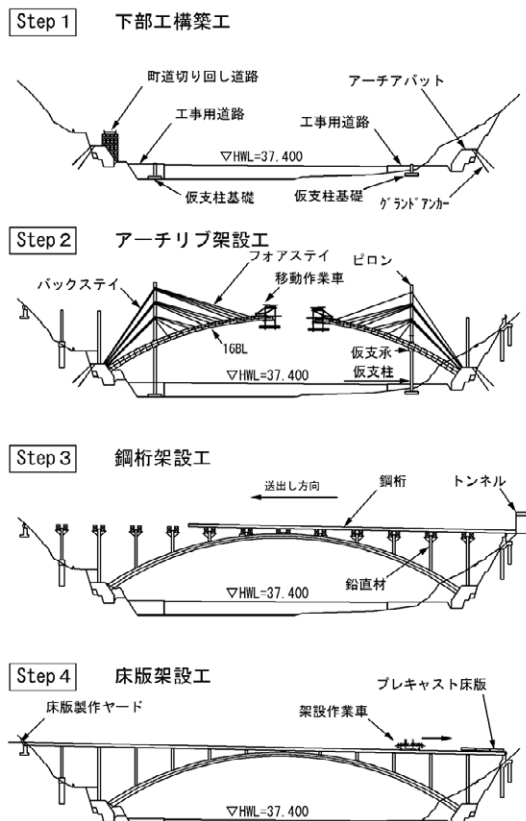


図-3 施工手順

(1) 下部工構築

アーチ拱台のコンクリート量は、1基当り4000m³～6000m³のマスコンクリートである。その対策とし

て、低熱ポルトランドセメントを使用し、6層に分けて施工を行った。

(2) 片持ち張出し工法によるアーチリブの架設

アーチリブは、仮支柱併用ピロン工法により張出し施工を行った。ピロン工法は、仮設のピロン柱から斜吊りケーブルによりアーチリブを吊り上げながら、移動作業車を使用してブロック単位で張出し施工する工法である。図-4、写真-1にアーチリブの張出し状況を示す。

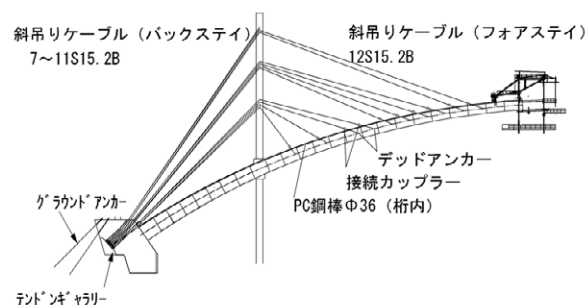


図-4 アーチリブ施工方法



写真-1 アーチリブの張出し状況

特徴としては、河川敷地内に仮支柱を構築したところにある。これにより、一般に採用されているエンドポストにピロンを設置する工法と比較して、

張出し長が短くなるため架設用のPC鋼材量を低減できる。アーチ拱台をカウンターウェイトとして

活用できるため、グラウンドアンカー量を低減できる、等の利点がある。なお、仮支柱に到達するまでは、アーチリブ上に外ケーブルを配置しコンクリートの引張応力を改善した。

(3) 送出し工法による鋼桁架設

鋼桁の架設は、架設期間が出水期に入り富士川河川内に揚重設備を設置できないため、送出し工法が選択された。鋼桁の組立てヤードとして隣接するトンネル（全長約400m）を使用できたため、トンネル内で桁全長を組立・溶接した後、送出す工法を採用した。

架設方法を、図-5、写真-2に示す。

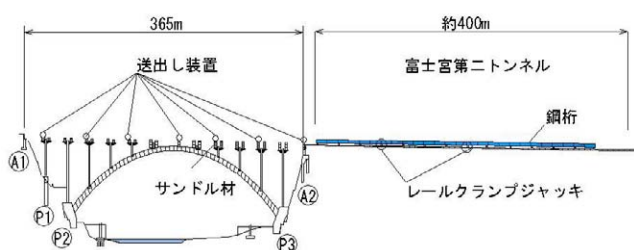


図-5 鋼桁架設方法



写真-2 鋼桁架設状況

ト床版は、当初、工場製作も考えられたが、長さが18m、幅1m程度でも重量が約20tになり、現場までの運搬経路を確保できなかったことから、現場製作となった。プレキャスト床版の分割数については、耐久性と美観を踏まえ継目数を最小限にとどめる方向で考えられ、1支間あたり支間中央とインフレクションポイントの3点に集約された。プレキャスト版の平面寸法は9.5m×17.68m、1枚あたりの重量は約170tになる。

隣接するプレキャスト床版間の接続は、間詰幅がコンパクトになるようにループ継手を採用した。

横締めPC床版は、PC鋼より線1S28.6B（プレグラウトタイプ）を使用している。プレグラウトの仕様は、基本的に湿気硬化型を採用しているが、プレキャスト床版端部の2本およびループ継手部は床版架設後の緊張になり、配置してから緊張するまで1ヶ月以上かかるため、温度硬化型を採用した。

剛結構造となる支点上は完成後に負曲げモーメントが卓越するため、床版コンクリートの引張応力度を改善することを目的として縦締めPC鋼材を配置した。縦締めPC鋼材は、縦締めが必要な床版の枚数が11枚/82枚でありプレテンション方式ではコスト高になること、ループ継手部は鉄筋が錯綜しておりポストテンション用のジャッキの設置が困難であることから、中空PC鋼棒60Tを採用した。

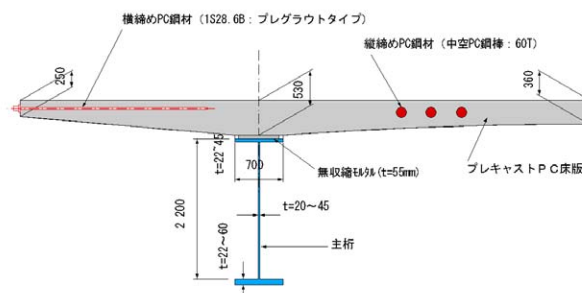


図-6 上部桁の概略図

3. PC床版工

(1) 上部桁の構造

a) 構造概要

上部桁は、プレキャストPC床版を有する鋼2主桁であり連続合成桁構造として設計した。図-6に、上部桁の概略図を示す。主桁は、桁高2200mm、フランジ幅は700mmである。

PC床版は、3.84m+10m+3.84mの支間割であり、床版厚は530mm、支間中央で360mmである。プレキャスト

b) PC床版の接続構造

プレキャスト床版間の接合部は、図-7のようにループ継手を採用している。継手長は、次式により算定した¹⁾。

$$La = f \cdot a0 \cdot (Ase / Asv) \cdot k \quad 1.5dB \quad 20cm$$

ここに、

La ：必要継手長

f ：鉄筋定着形状による係数（0.5）

$a0$ ：基本定着長

$$a0 = (\sigma sa / 4 \tau oa) \cdot \phi$$

σ_{sa} : 鉄筋の引張応力度の制限値 (160N/mm²)
 τ_{oa} : 基本付着応力度 (3N/mm²)
 Φ : 鉄筋の公称直径
 A_{se}/A_{sv} : 必要鉄筋断面積/配置鉄筋断面積
 k : 継手位置の集中度による係数 (2.2)
 d_B : 鉄筋の曲げ直径

本橋では、継手長は367mmとなった。これに、コンクリートの最大骨材径25mmの4/3倍の離隔を確保し、間詰幅を450mmに設定した。

また、接合部の構造はループ継手部と間詰コンクリートを支持するコンクリートのアゴから構成されており、床版設置の際には、一度床版を設置高まで下げてから既設床版の方へ水平移動する必要がある。このため、床版の設置を阻害しない程度に床版と鋼桁のジベルを短くする必要がある。そこで、ずれ止めとして、図-7のようなねじ付スタッド、ナットおよびボルトから構成される後施工可能なねじ付スタッドジベルが採用された。ジベルは50cm～100cmに群配置され、ジベル組立て後、ジベル用箱抜き部のコンクリートを打設することにより床版と鋼桁の一体化が図られる。なお、プレキャスト床版と鋼桁間は55mmの空間があり、ここに、無収縮モルタルを打設し、両者の密着性を確保している。

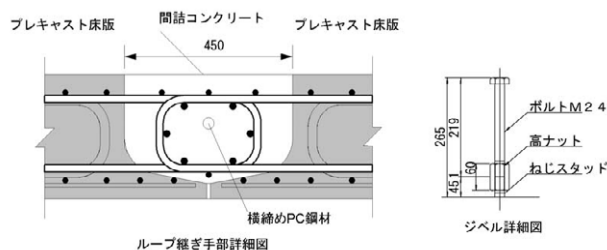


図-7 接合部構造図

(2)PC床版の架設

a)施工概要

本橋では、上下線合わせて全82枚のプレキャスト床版を架設した。プレキャスト床版は、A1橋台背面のヤードで製作し、専用の架設作業車によりA2橋台側からA1橋台へ向けて順次設置した。設置後、ループ継手部およびジベル箱抜き部の間詰コンクリートを打設して、床版を連続化するとともに鋼桁と一体化した。

b)PC床版の製作

以下に、詳細なPC床版の製作手順を示す。

型枠組立て工
 鉄筋・PC組立工

コンクリート打設工

養生工

脱型工

横締めPC鋼材プレストレス導入

運搬工

以上のすべての作業が、固定された型枠設備上で行われ、1サイクルあたり平均して9日であった。製作サイクルを表-1に示す。

表-1 プレキャスト床版の製作サイクル

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
型枠組立工	型枠組立・加工組立				型枠固め				
鉄筋・PC組立工			鉄筋・PC組立						
コンクリート打設工						打設			
養生工						養生			
脱型工							脱枠		
横締めPC鋼材プレストレス導入工								緊張	
運搬								段取り	運搬



写真-3 床版製作ヤード

型枠設備は、底板枠、妻枠、側枠から構成される。写真-3は、床版製作ヤードの全景写真である。底板枠は、作業ヤード上に鋼製フレームで固定されており、コンクリートと接する部分は仕上げ面になるためステンレス鋼が使用されている。底板枠の脱枠は、油圧ジャッキにて保持されている底板枠を下げることで行った。妻枠は、繰り返し転用ができるようにループ継手状に整形された鋼製型枠が採用されており、コンクリート打設後、脱枠できる機構を備えている。側枠は、木製枠が使用されている。

また、コンクリートは早強コンクリートを使用し、配合は設計基準強度50N/mm²、スランプ15cm、最大骨材粒径25mm（混和剤：高性能AE減水剤）とした。この配合は、施工に先立ちスランプの経時変化確認試験および実物大供試体によるコンクリート打設試験を行い定めたものである。

コンクリート床版をプレキャスト工法で製作する場合、クリープにより張出し床版端部が反り上がり隣接する床版の先端同士が合わないことがある。事前に実施した3次元FEM解析の結果、床版自重と横締めPC鋼材のプレストレスによる変形の和は、張出し端部で1mm～2mm程度であり、クリープ係数 ϕ が3程度と想定した場合でも3mm～6mmの小さな変形になることがわかった。実際に、架設後の床版端部の変形は数mm程度であり、本橋では型枠組立にフィードバックする必要性は生じなかった。

c) PC床版の運搬・架設

プレキャスト床版の架設は、揚重・運搬・設置の全ての機能をもつ架設作業車により行われた。図-8に架設作業車の概略図を示す。

図-9に製作ヤードから鋼桁上の設置位置までの運搬・架設手順図を示す。

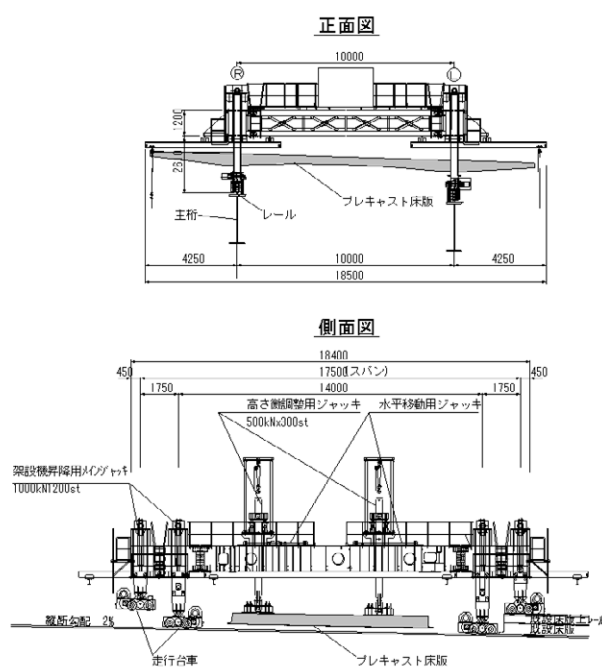


図-8 床版架設作業車

プレキャスト床版の吊上げ

架設機が製作された床版上に乗り入れ、吊点位置まで移動する。床版に埋め込まれた鋼棒を緊張し、プレキャスト床版を吊点位置に固定する。

4基の架設機昇降用ジャッキのストロークを伸ばし、床版を吊上げる（4点支持）。吊上げ時は、ストロークセンサーにより電氣的同調制御を行っている。4基のジャッキの同調精度は $\pm 10\text{mm}$ である。

プレキャスト床版の運搬

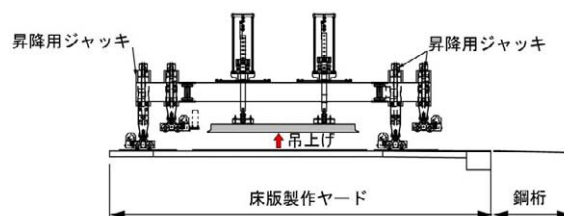
走行台車により鋼桁上のレールを走行する。始動時および制御時に発生する、床版への衝撃を抑える

ため、駆動システムにインバーター制御を導入した。

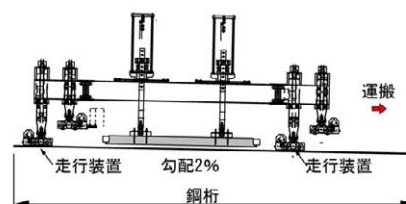


写真-4 床版架設状況

Step-1 プレキャスト床版の吊り上げ



Step-2 プレキャスト床版の運搬



Step-3 プレキャスト床版の据え付け

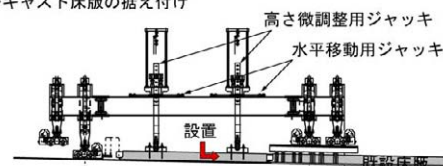


図-9 プレキャスト床版の架設順序

プレキャスト床版の据付け

架設地点まで到達すると、架設機は、既設床版上にセットされたレールに乗り上げ、据付け位置まで移動する。プレキャスト床版は、高さ微調整用ジャッキおよび水平移動用ジャッキにより、所定の位置に据え付けられる。

d) PC床版と鋼桁との一体化

PC床版と鋼桁の一体化は、床版と鋼桁間の無収縮モルタル充填とジベル箱抜き部およびループ継手部の間詰めコンクリートを打設することにより行われる。

コンクリート打設のタイミングは、床版と鋼桁を密着させるもので、プレキャスト床版が設置されたところから充填された。一方、間詰めコンクリートは、架設作業の影響を踏まえてコンクリート打設が実施された。留意点は次の2点である。

コンクリートの弱材齢時に変形を与えないこと
間詰め部分に床版架設による引張応力が累積しない
タイミングをはかること

は、床版が運搬・架設されることにより桁が上下動することにより起因するものであり、は、床版が順次設置されることにより、アーチリブが上下動することにより生じるものである。アーチリブ上では、特にの影響を受け、コンクリートを打設するタイミングが定められた。図-10に間詰めコンクリートを打設する時期を示す。

また、アーチクラウンは日温度変化量10により約40mm上下動し、このアーチの変形により床版間詰めが開閉する。そのため、間詰めコンクリートは早期強度を発現可能な早強ポルトランドセメントを使用した。配合は、設計基準強度50N/mm²、スランプ15cm、最大骨材粒径25mmとし、収縮補償として膨張材を使用している。

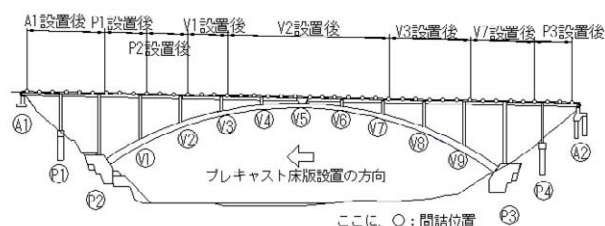


図-10 間詰めコンクリートのタイミング

4. まとめ

第二東名高速道路 富士川橋は、経済的かつ品質のよいアーチ橋を構築するために、設計・施工において、様々な取り組みを行ってきた^{2),3),4),5)}。今回

紹介した大型プレキャスト床版も、そのひとつである。

本橋は、上り線が平成15年11月、下り線も平成16年12月に無事完成した。今回のPC床版での取り組みが、今後の橋梁技術の一助になれば幸いである。



写真-5 完成写真（平成16年12月）

参考文献

- 1) F・レオンハルト, E メニッヒ: 鉄筋コンクリートの配筋, 成井信共訳, 鹿島出版会, 1985.
- 2) 高橋, 貞光, 笠倉, 市橋: 第二東名富士川橋の計画と設計, 橋梁と基礎, Vol. 36, pp. 9~18, 2002. 1
- 3) 畑, 高橋, 長田, 大友: スランプ21cmの高性能AE減水剤を使用したコンクリートの施工性能, コンクリート工学年次論文集, Vol. 23, No. 2, pp. 1189~1194, 2001
- 4) 高橋, 長田, 渡辺, 福嶋: 孔あき鋼板ジベルを用いた複合ラーメン構造の性能確認実験, 第11回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp. 165~168, 2001. 11
- 5) 福永, 長田, 笠倉, 渡辺: 複合非線形動的解析による鋼・コンクリート複合アーチ橋の耐震検討- 第二東名高速道路 富士川橋, 第6回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造物の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 29~34, 2003. 1