

鋼連続合成2主桁橋への大型プレキャストP C床版の適用 - 第二東名 富士川橋 -

東京土木支店 松橋 敏
 東京土木支店 清水俊一
 東京土木支店 藤岡篤史

概要：第二東名高速道路富士川橋は、静岡県内を流れる一級河川富士川を跨ぐ鋼・コンクリート複合構造のアーチ橋である。その上路桁にはP C床版を用いた鋼2主桁構造を採用しているが、より実挙動に応じた設計に基づくことで構造物の安全性、合理性、経済性の向上を図るため、連続合成桁としての検討を行っている。床版の架設は諸検討の結果から大型プレキャスト版（寸法 17.68m×8.34~9.45m、重量約1700kN）により行うこととした。以下にその設計・施工について報告する。

キーワード：P C床版，鋼連続合成桁，プレキャスト，ループ継手，FEM，NAPP工法

1. はじめに

鋼・コンクリート合成構造の設計を合成桁として行う場合、床版には輪荷重を鋼桁に伝達させる床版作用のみならず、鋼桁と一体となって主構造を形成するために主桁作用も考慮する必要がある。これによって、非合成桁として設計した場合に比べ、床版には高い性能が要求されることとなる。特に、本橋においては一部のRC柱が桁と剛結されているため、剛結部付近の床版に発生する引張応力は死荷重時で4.27N/mm²と著しく大きなものとなる。そこで、これらの引張応力を制限値以下に抑え、なおかつ耐久性の向上を図るために、剛結部のプレキャスト版については橋軸直角方向に加えて橋軸方向へもプレストレスを導入することにした。

2. 橋梁概要

第二東名高速道路富士川橋の橋梁概要を以下に示す。

- ・ 工事名：第二東名高速道路 富士川橋
- ・ 構造形式：鋼・コンクリート複合アーチ橋
- ・ 道路規格：第1種 第1級 A規格 (V=120km/h)
- ・ 活荷重：B活荷重
- ・ 橋長：365.000m (上り線), 381.000m (下り線)
- ・ 桁長：364.600m (上り線), 380.600m (下り線)
- ・ 支間長：27.650 + 28.250 + 10 × 28.000 + 27.900, アーチ支間：265.0m (上り線)
 : 25.900 + 26.500 + 10 × 27.700 + 25.500 + 24.900, アーチ支間：265.0m (下り線)
- ・ 有効幅員：16.5m (上り線), 16.5m (下り線)

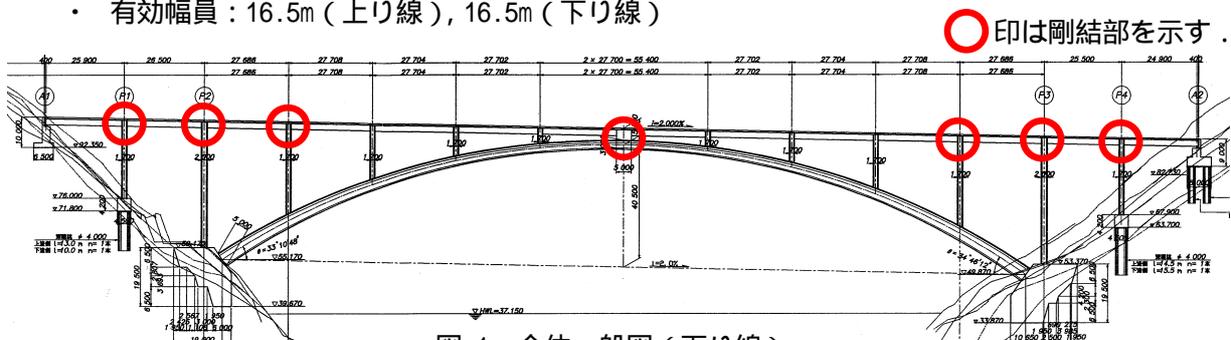


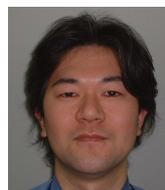
図-1 全体一般図(下り線)



松橋 敏
 PC 事業部
 工事部



清水俊一
 PC 事業部
 技術部



藤岡篤史
 PC 事業部
 技術部

3. 設計

(1) 断面形状寸法

断面形状寸法に関しては、18.05m という広幅員に2主桁を組み合わせる場合、床版支間長は10～11m程度となるが、このような床版支間長に対応した規準類が国内にはないため、ドイツで1994年に発表された「道路建設に関する回覧(ARS)/ドイツ連邦運輸省」を参考に¹⁾断面形状寸法を決定した(図-2参照)。ここで、桁間床版下面側はハンチ部での応力急変を避けるために2次曲線形状としている。

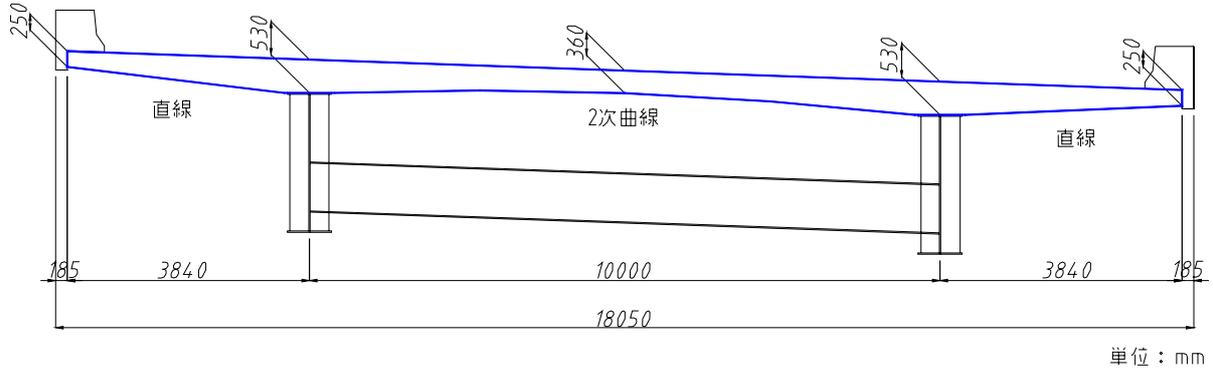


図-2 断面形状寸法

(2) 架設方法の検討

当初、架設方法としては移動型枠支保工を想定していたが、型枠支保工の移動により生ずる主桁のリバウンド作用により、きわめて大きな残留応力が床版に発生することが明らかとなった。このため、プレキャストセグメント化による架設方法を採用し、架設作業時に生じる主桁の変形を床版が拘束しないよう配慮した。

(3) PC床版分割長

本橋のような大断面の床版(単位長さ重量 $w=180\text{kN/m}$)では、プレキャスト版を工場製作とした場合、その輸送上の制約から橋軸方向の分割長を約1.4m程度としなければならず、これは施工性と経済性の両面において不利となる。また、前述したように中間支点上、なかでも剛結部付近では主桁作用との重ね合せにより後死荷重時における床版上縁コンクリートの引張で 4.27N/mm^2 、活荷重時(温度変化, 温度差含む)における床版下面側鉄筋の引張で 206N/mm^2 と制限値を超える応力が発生しており、耐久性上弱点となる間詰め部をこのような箇所へ設けるのは好ましくない。さらに、中間支点上の $0.15L$ (L : 支間長)内では、ひびわれ制御と合わせて、耐久性確保のためから2%程度の鋼材配置が必要とされている²⁾³⁾。これらを考慮して、プレキャスト版を輸送上の制約がない現地製作とし、

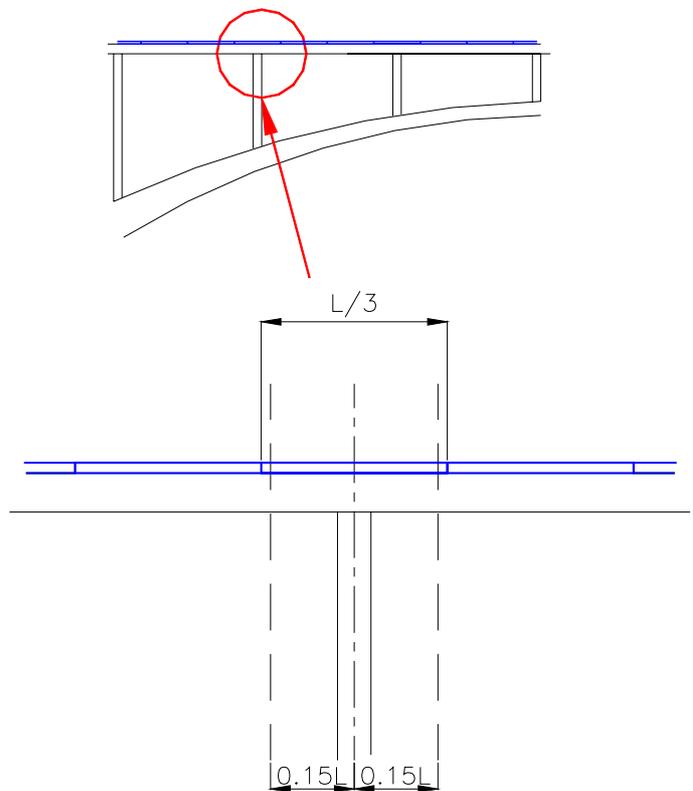


図-3 床版割付寸法

弱点となる間詰部を 0.15L 内に設けないように、また施工性の面から均等な版割付けとなるよう配慮して L/3 (8,343~9,446m) を床版分割長とした(図-3 参照)。結果的に架設工、間詰工が減り、施工性の向上にもつなげた。

下り線の床版割付図を図-4 に示す。ここで、桁端部とアーチクラウン上部(ハッチング部)については施工性を考慮して場所打ちとした。

なお、コンクリートの設計基準強度は場所打ち部、プレキャスト部、後打ち部(間詰部、ジベル用孔部および剛結部)の全てで 50N/mm² とし、後打ち部のコンクリートには収縮補償のために膨張材を 30kg/m³ 混入することとした。

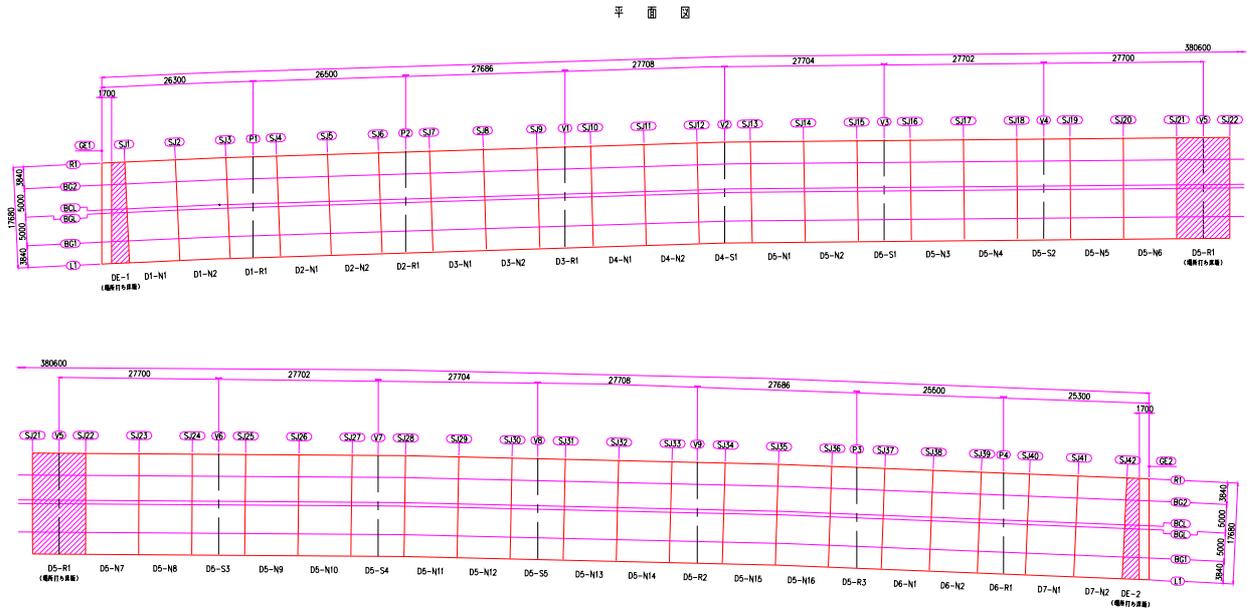
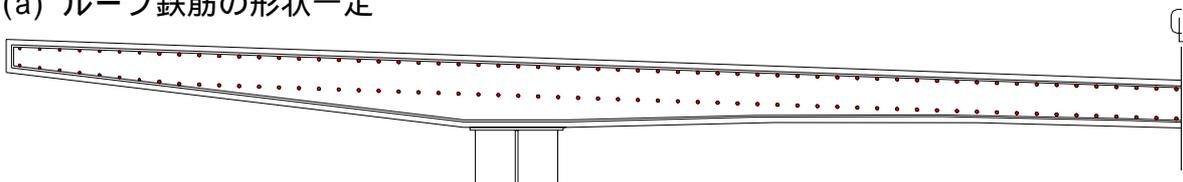


図-4 床版施工割付図(下り線)

(4) R C ループ状継手の形状

プレキャスト床版間詰部の構造には、施工性と景観への配慮から、アゴ付きの R C ループ状継手を採用することにした。本橋のように橋軸直角方向の床版厚変化が大きい場合は、図-5(a)のようにループ鉄筋の加工形状を一定にすると主桁付近下面側で無筋部が多くなり、鉄筋補強が困難となる。そのため、床版厚の変化に応じてループ鉄筋の加工形状を変化させていくことにした(図-5(b))。

(a) ループ鉄筋の形状一定



(b) ループ鉄筋の形状変化

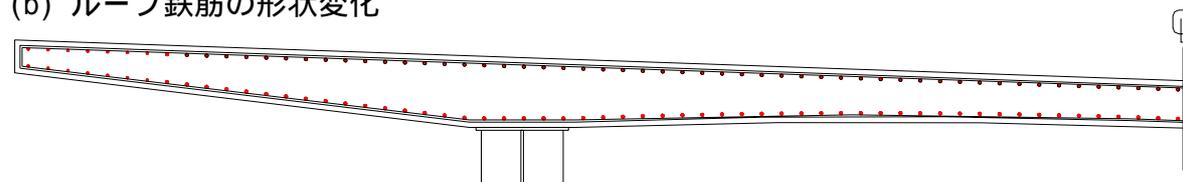


図-5 ループ鉄筋配置(断面図)

この場合問題となるのが、既往の算出式⁴⁾⁵⁾⁶⁾である式を用いて継手長を計算した場合、図-6(a)のようにループ鉄筋を単Rで曲げ加工すると、版厚の大きい位置ではこの1.5dBが支配的となり、必要重ね継手長がきわめて大きなものとなる。それに伴い間詰幅も大きくしなければならず、その場合アゴ部の耐荷力が問題となってくる。そこで、この1.5dBが直線の継手長確保を目的とした規定であることに着目して、割裂力と構造細目に対して決定される最小曲げ半径(式⁴⁾)と、継手部の直線長をともに確保することができる図-6(b)に示す形状を採用した。

ループ継手長算出式

$$L_a = k \times a \quad 1.5dB \quad 200mm \dots\dots$$

$$a = f \times a_0 \times (A_{se}/A_{sv})$$

$$a_0 = (s_a / 4 \sigma_a) \times$$

$$dB_1 = (1.4 + 2.8 / e) \times d \times \sigma_e / \sigma_{WN} \dots\dots$$

$$dB_2 = \begin{cases} 7 & (20mm \leq d \leq 28mm) \dots\dots\dots \\ 4 & (d < 20mm) \end{cases}$$

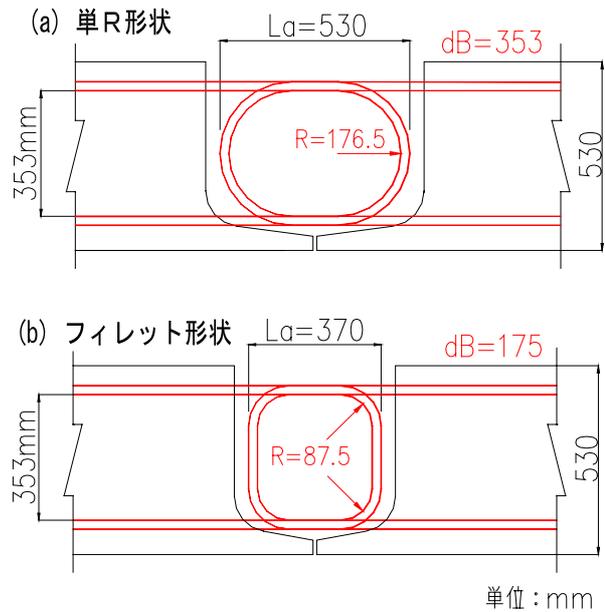


図-6 ループ鉄筋形状(側面図)

ここに、

L_a : 必要継手長

k : 継手鉄筋のずらし量の影響を考慮した係数
重ね継手位置が一断面に集中する場合、
14mm 以上に対して 2.2

f : 鉄筋の定着形状による係数
横方向鉄筋が配置されたフック付き鉄筋、
ループ鉄筋に対しては 0.5

A_{se} / A_{sv} :
必要鉄筋断面積 / 配置鉄筋断面積 1/3
ここでは、1.0 とする

s_a : s (鉄筋の降伏強度) / V (設計安全係数)
ここでは、160N/mm² とする

σ_a : 基本付着応力度
 $\sigma_{ck}=50N/mm^2$ に対して $\sigma_a=3N/mm^2$
 d : 鉄筋の直径
 dB_1 : 割裂力に対する曲げ直径(内径)
 dB_2 : 構造細目による曲げ直径(内径)
 e : ループ面の間隔
 σ_e : 曲げ始点での鉄筋応力度
 σ_{WN} : コンクリートの設計基準強度

(5) 横方向の設計

本橋の床版支間 10.0m は道路橋示方書に定める床版支間の適用外となるため、死荷重と活荷重に対しては図-7 に示す 3 径間切り出しモデルを用いて F E M 解析を実施し、設計荷重時に床版に発生する断面力を求めた。また、プレストレスによる 2 次力、風荷重、衝突荷重については F R A M E 計算により断面力を求め、それらの組み合わせにより応力照査を行った。

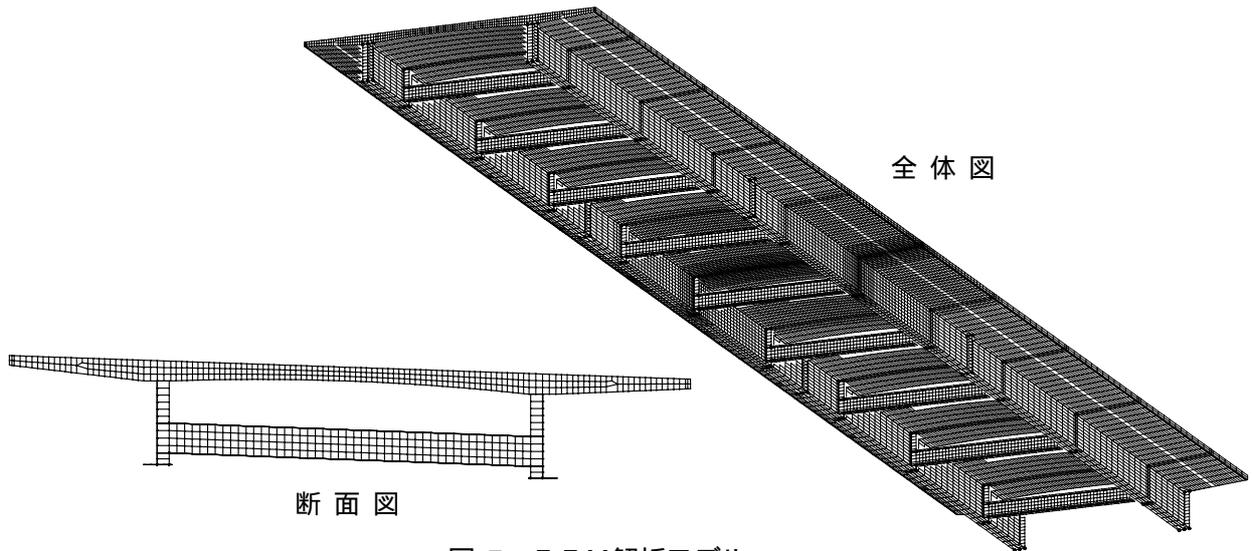


図-7 FEM解析モデル

本橋では橋軸方向をRC構造とし、橋軸直角方向はPRC構造として設計している。このため、活荷重時の抵抗断面は図-8に示すように橋軸方向では鉄筋断面のみとなるが、橋軸直角方向ではコンクリートを含んだ全断面が有効となる。床版はこの直交する2方向の剛性の違いにより等方性版とは異なった挙動を示すことになる。具体的には断面剛性のより大きな橋軸直角方向での荷重分担率が高くなり、等方性版としての計算値よりも大きな断面力が発生することになる。横方向の活荷重に対するFEM解析ではこの異方性による影響を考慮した。

その結果、1S28.6mmの湿気硬化型プレグラウトPC鋼材を500mm間隔で配置することにした。ケーブル配置形状を図-9に示す。プレストレスの導入はプレキャスト版吊り上げ前に行うが、プレキャスト版端部の各々2本については温度硬化型プレグラウトPC鋼材の仕様とし、引き残すこととした。これは、架設後に行う間詰部横締め緊張時のプレストレス導入効率を改善するためである。

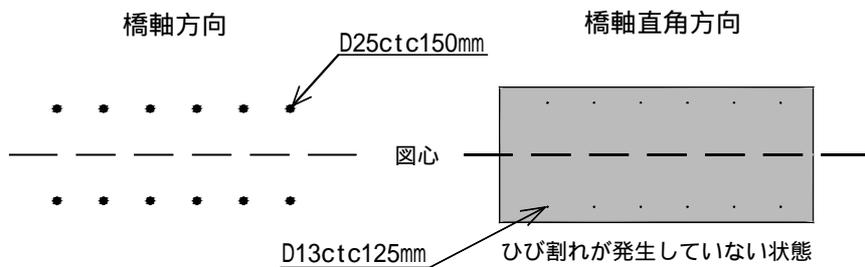


図-8 活荷重作用時の抵抗断面

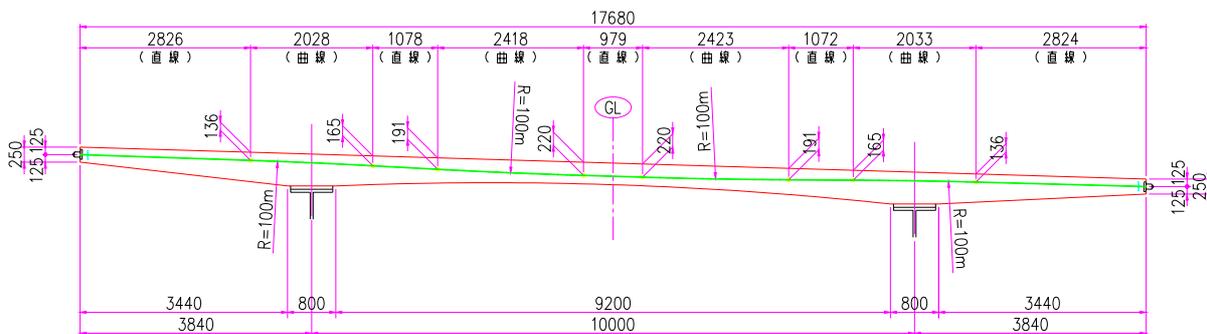


図-9 横締めケーブル配置形状

(6) 主方向の設計

橋軸方向の輪荷重による床版作用としての断面力は、横方向の設計で用いた図-7のモデルに対して主桁下面側を橋軸方向全長にわたり鉛直固定し、主桁作用の影響を取り除くことで算出した。この際、床版は等方性版とし安全側の検討を行った。これと、3次元FRAME解析とクリープ歪解析により求められた主桁作用として床版に発生する応力との重ね合わせによる照査を行った。

ラーメン構造となっている本橋では、温度変化および乾燥収縮による桁の伸縮を剛結部が拘束することにより床版には大きな応力が生じる。その結果、発生応力度が制限値を超える剛結部上のプレキャスト版に関してはプレストレスの導入が必要となった。

鋼主桁上のコンクリート床版に対する橋軸方向へのプレストレス導入は、一般的には鋼桁のジャッキアップ・ダウンによることが多い。しかし、本橋ではジャッキの設置箇所が剛結部となるためにその採用が困難であることと、プレストレスの導入効果の点を考慮してPC鋼材の配置によりプレストレスの導入を行うこととした。

定着方法については、当初、定着面におけるループ鉄筋と定着具の取り合いやジャッキスペースの確保を考慮する必要がないプレテンション方式で検討を行った。しかし、この場合には現場にプレテンション設備を設けなければならず、その設置コストが問題となった。そこで剛結部上の版だけ(上下線合わせて77枚中11枚)の緊張といった本橋では、トータルコストの比較で通常のプレテンション方式に比べて有利となったNAPP工法を採用することにした。NAPP工法による施工ステップを図-10に、プレキャスト版定着面でのループ鉄筋とNAPPユニットの取り合いを図-11に示す。なお、ケーブル配置はクリープ変形によるそり量を抑えるために図心配置とした。

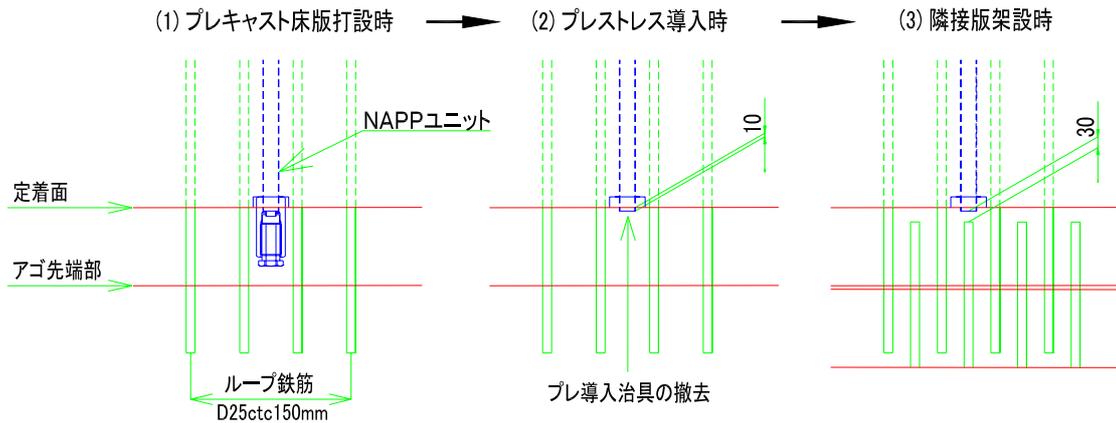


図-10 NAPPによる施工ステップ

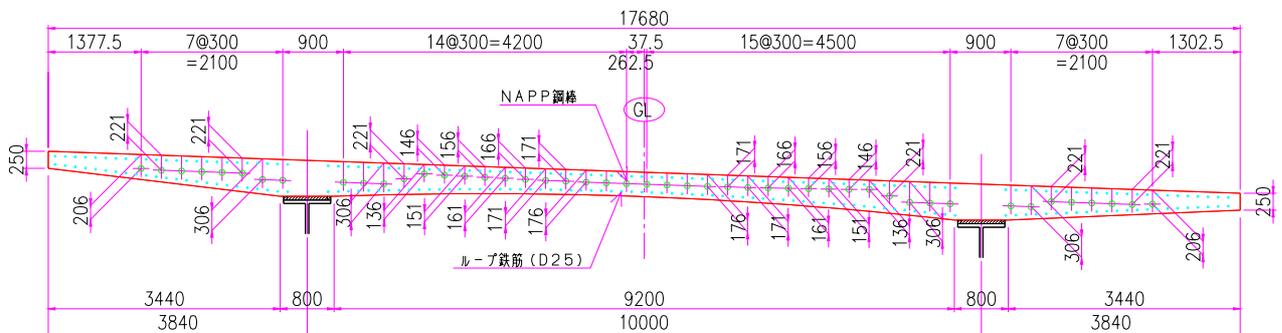


図-11 NAPP鋼棒配置断面図

(7) プレキャスト版運搬時のFEM検討

プレキャスト版の運搬時において以下の ~ に関する影響を把握する目的で、図-12(a), (b) に示すモデルを用いたFEM解析を行った。

版としての挙動

ジベル用孔抜き (群ジベルが橋軸方向に 400mm ~ 1000mm 程度の間隔で配置されている。)

橋軸方向端部の運搬時未緊張横締め鋼材

吊治具にかかる集中荷重

検討結果を図-13(a), (b)に示す。

ジベル用孔付近で局部的に制限値を超える応力が発生しているが、実際にはジベル用孔にサークルハンチを設けること、FEMでは鉄筋の配置を考慮しなかったことを踏まえると、この程度の応力状態は許容範囲であると判断した。

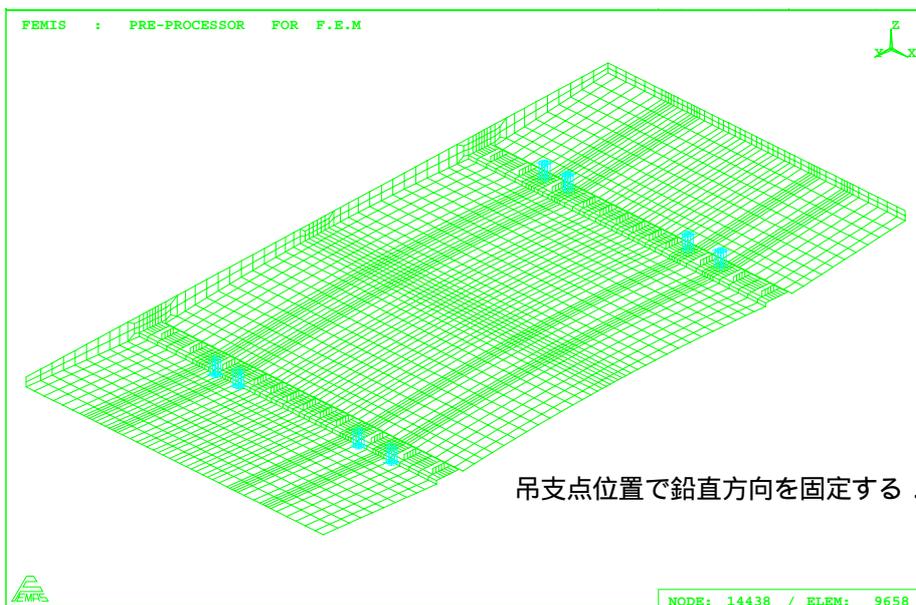


図-12(a) 自重作用時の拘束条件

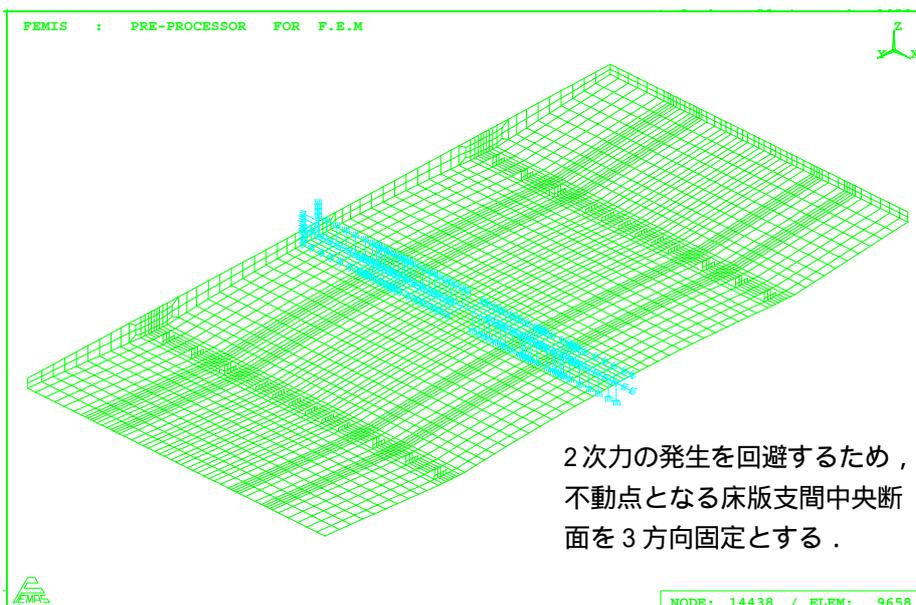


図-12(b) プレストレス作用時の拘束条件

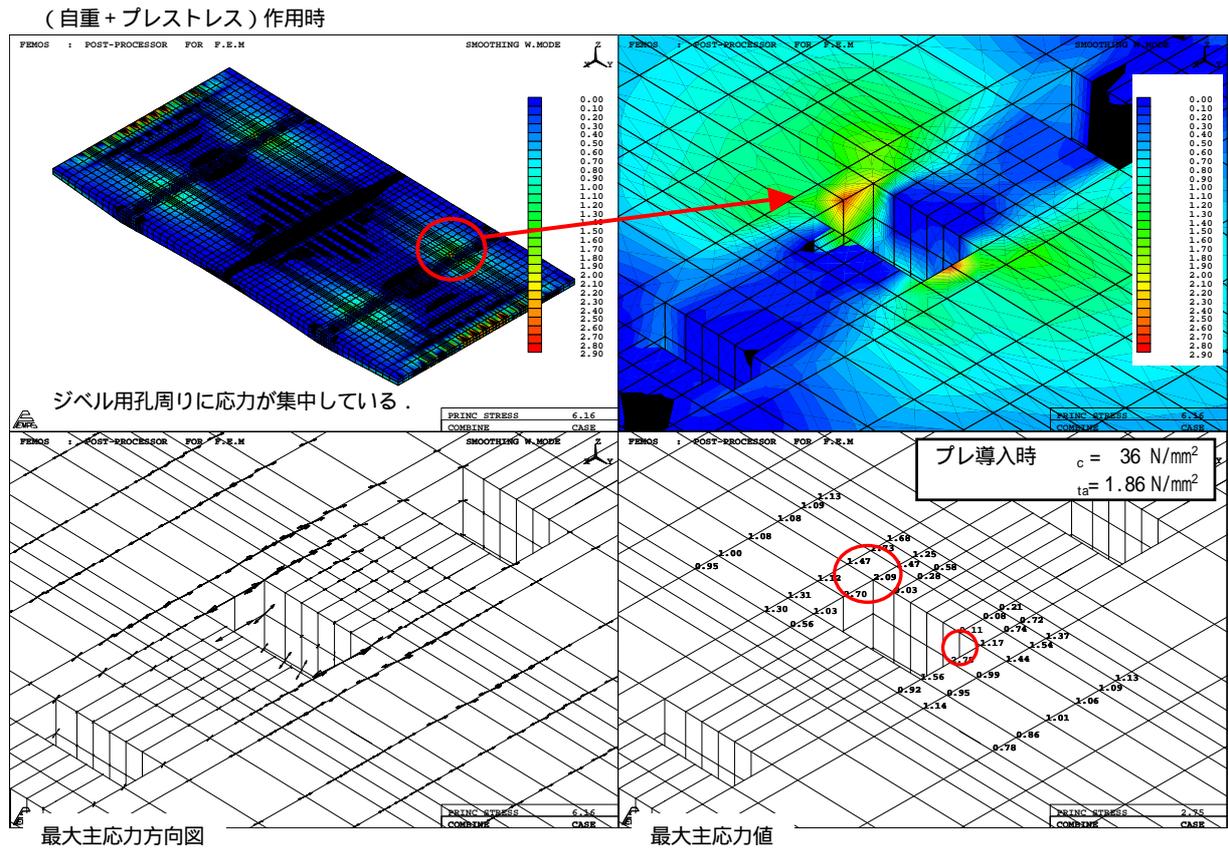


図-13(a) 床版上面側 (引張応力に着目)

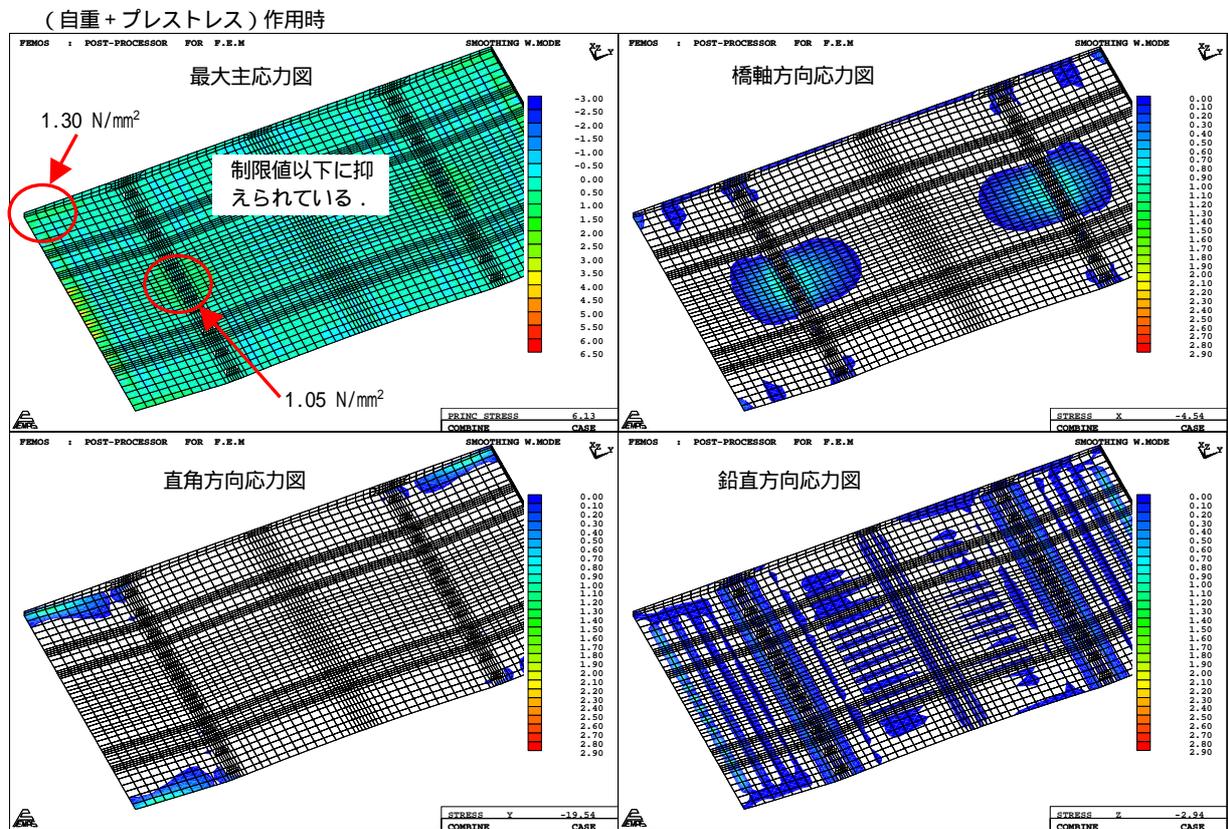


図-13(b) 床版下面側 (引張応力に着目)

4. 施工

(1) 施工手順

プレキャスト床版の施工手順を図-14 に示す。

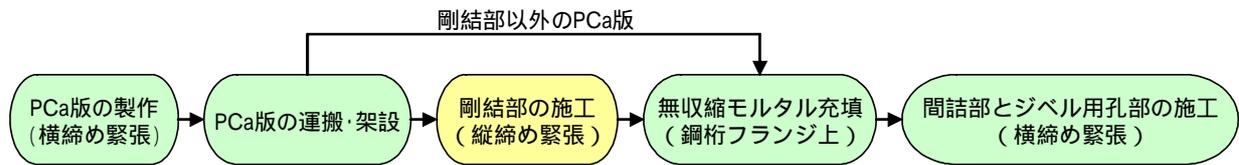


図-14 プレキャスト床版施工手順

(2) 特殊架設機

プレキャスト版の架設方法として通常用いられるトラッククレーンによる架設は、架設地点とクレーン据付位置の高低差が約 50mと大きいこと、1枚のプレキャスト版重量が約 1700kN と重いこと等から困難であった。そのため、アバット後方でプレキャスト版製作を行い、特殊架設機を用いて架設することにした。特殊架設機は下記のステップ図に示すとおり、前後に設けられた各々2本の脚を使用して運搬時に障害となる段差にも対応できるものとなっている。

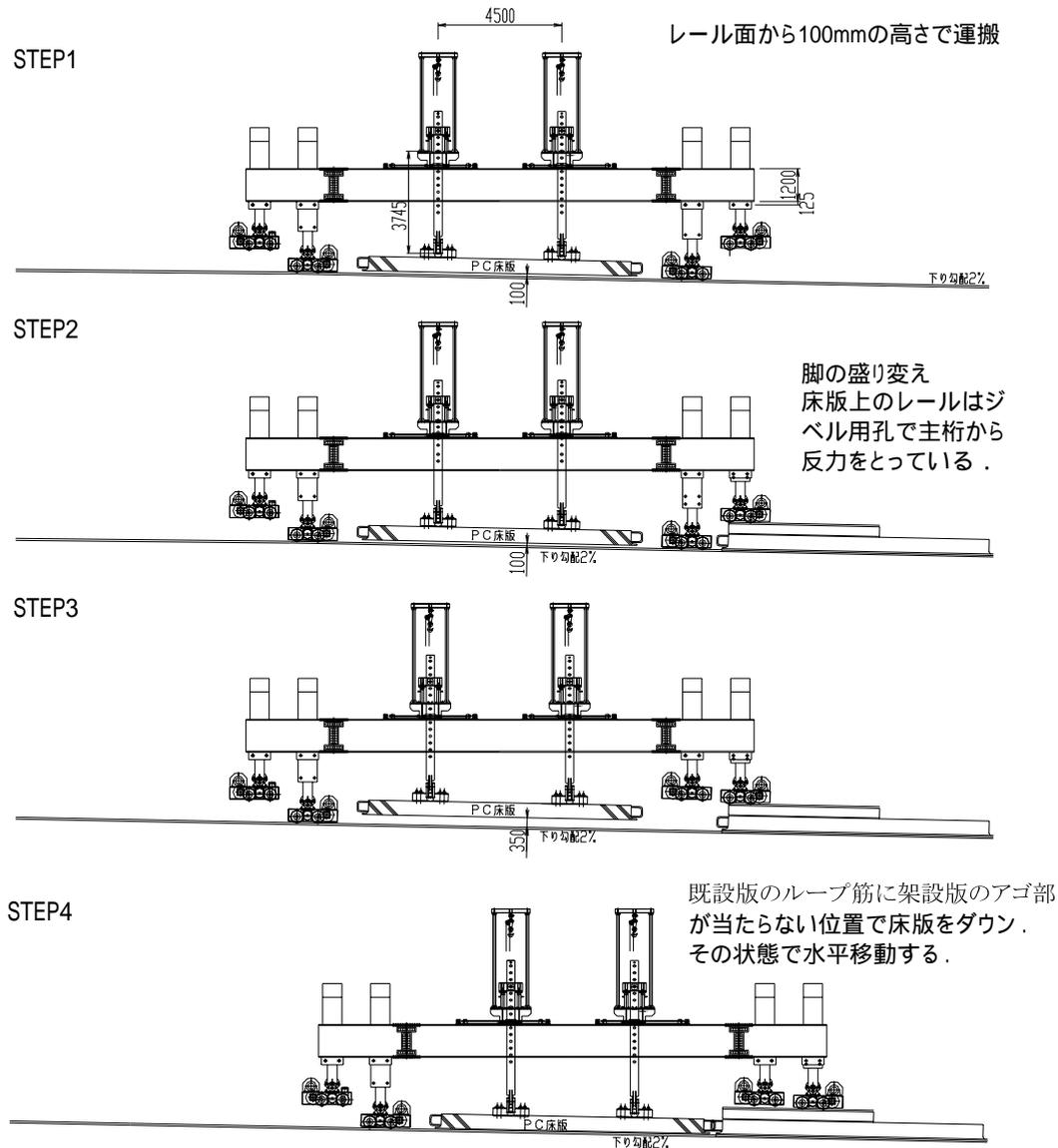


図-15 特殊架設機による施工ステップ図

5. おわりに

本橋の床版架設においては、現地製作による大型プレキャスト版を採用し、剛結部を有する合成桁の床版の設計において耐荷力が最も要求される部分に間詰部を設けず、連続した版とすることにより合理的な設計を行うことが可能となった。しかしながら、合成桁の床版に大型プレキャスト版を採用する場合、1プレキャスト版あたりのジベル結合箇所が多くなるため、床版架設時にジベルとプレキャスト版に設けられたジベル用孔との間で接触の問題が生じやすくなる。そのため、ジベル取付け誤差、床版製作誤差及び架設誤差を最小限に抑える施工精度が要求されることになる。

鋼・コンクリート合成構造はその合理性から今後ますます発展していく構造形式であると考えられる。しかしながら、日本における橋梁技術者の多くが鋼かコンクリートのどちらかを専門としており、専門以外の材料に関してはそれほど知識をもっていないのが実状のようである。今回は鋼とコンクリートの両方に精通した技術力が合成構造の設計には必要不可欠であることを学ぶよい経験となった。

謝辞

本橋の設計に関して適切なご指導、ご協力を頂いた日本道路公団富士工事事務所の高橋前工事長、福永工事長、長田技師をはじめとする関係各位の方々にご場をお借りして感謝の意を表します。



プレキャスト床版架設状況写真

参考文献

- 1) 第二東名高速道路 長支間場所打ちP C床版の設計施工に関する技術検討 海外の事例および設計資料, 平成10年6月, (財)高速道路技術センター
- 2) 近畿自動車道P C床版鋼2主桁橋の連続合成桁化に関する技術検討(その3) P C床版鋼連続合成2主桁橋の設計・施工マニュアル(案), 平成13年3月, (財)高速道路技術センター
- 3) 第二東名高速道路 床版設計計算書(暫定版), 平成11年12月, 日本道路公団静岡建設局
- 4) F. レオンハルト, E. メニッヒ(横道英雄監訳): 鉄筋コンクリートの配筋, 鹿島出版会
- 5) 第二東名・名神 鋼少数主桁橋の設計・施工指針(案), 平成10年3月, (財)高速道路技術センター
- 6) 水口, 村山, 北山, 山下: 東海大府高架橋におけるプレキャストP C床版の設計と施工, プレストレストコンクリート Vol.40 No.2
- 7) P C床版設計・施工マニュアル(案), 平成11年5月, (財)プレストレスト・コンクリート建設業協会