

論文・報告

新名神高速道路 いぶちにし 猪渕西橋の設計・施工

～固定支保工を用いた分割施工による連続ラーメン2主版桁橋～

Design and Construction of IBUCHINISHI Bridge in SHINMEISHIN Expressway

高岡 努 ^{*1}
Tsutomu TAKAOKA

伊佐 康一 ^{*2}
Koichi ISA

大久保 孝 ^{*3}
Takashi OKUBO

村上 賢二 ^{*4}
Kenji MURAKAMI

石橋 亜希子 ^{*5}
Akiko ISHIBASHI

今里 一 ^{*6}
Hajime IMAZATO

猪渕西橋は、新名神高速道路（上下線）の神戸JCT～川西IC間に架かる全6連のプレストレストコンクリート橋である。各橋梁ともに、固定式支保工で1径間ごとの分割施工により架設される2主版桁橋である。また全6連すべての桁端部には延長床版システムが採用されている。

本稿では、詳細設計における猪渕西第一橋（下り線）（11径間連続ラーメン橋）の構造成立性を確保するための技術的解決策である「不静定力の低減のための主ケーブル定着方法の変更」と「柱頭部の断面性能改善のための下床版の追加」について報告する。また施工における「柱頭部付近の箱桁断面構造に対する施工上の工夫」と「延長床版底板先端部分の試験施工と平坦性確保の方法」、「猪渕川を横断する仮橋の計画」について報告する。

キーワード：ラーメン橋、カップラー接続、2主版桁、箱桁断面一括打設、延長床版、仮橋

1. はじめに

猪渕西第一橋他4橋は兵庫県川辺郡猪名川町に位置し、新名神高速道路（上下線）川西JCTの西側約5kmの位置に架かる全6連の橋梁である（図1）。

猪渕西第一橋（上下線）はPRC多径間連続ラーメン構造、猪渕西第二橋（下り線）、猪渕西第三橋（上り線）、猪渕西第四橋（下り線）、猪渕西第五橋（上り線）はPRC多径間連続桁構造で、各橋梁ともに、固定式支保工で1径間ごとの分割施工により架設される2主版桁橋である。また全6連すべての桁端部には、耐久性の向上と伸縮装置走行時の静音性を目的として延長床版システムが採用されている。

本稿では、猪渕西第一橋（下り線）（以下、本橋と記す）の詳細設計における、構造成立性を確保するための設計上の課題とそれに対して実施した検討と解決策について報告する。

工事施工においては、①柱頭部付近の2主版桁断面に設けた下床版に対する工程面、品質面での施工上の工夫②延長床版底板先端部分に関する試験施工、見直し形状の提案と平坦性確保の手法③猪渕川を横断する仮橋の現場条件を考慮した計画提案について報告する。



図1 工事位置図

*1 川田建設㈱西日本統括支店事業推進部工事課 工事長

*2 川田建設㈱西日本統括支店事業推進部工事課 次長

*3 川田建設㈱西日本統括支店事業推進部技術課 課長

*4 川田建設㈱東日本統括支店事業推進部技術課 課長

*5 川田建設㈱東日本統括支店事業推進部技術課

*6 川田建設㈱西日本統括支店事業推進部工事課 係長

2. 工事概要

工 事 名：新名神高速道路 猪渕西第一橋他4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
工事位置：(自)兵庫県川辺郡猪名川町猪渕(STA.77+26.0)
(至)兵庫県川辺郡猪名川町猪渕(STA.92+6.0)
事 業 主：西日本高速道路株式会社 関西支社
構造形式：PRC11 径間連続ラーメン2主版桁橋
設計荷重：B活荷重
橋 長：333 m
支 間 長：27.1+8@31.5+28.6+23.6 m
有効幅員：9.91 m
架設工法：固定式支保工架設（特殊支保工）

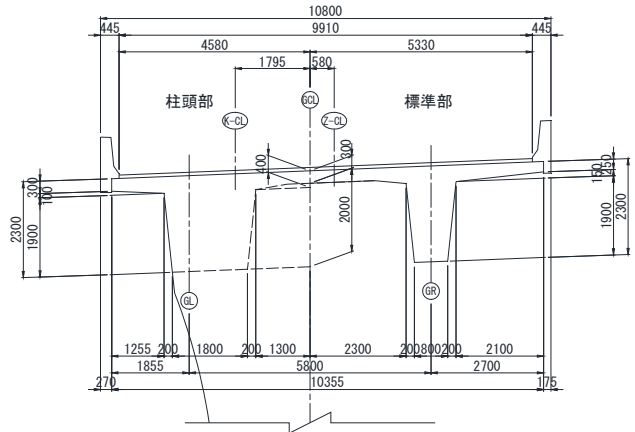


図2 上部工断面図

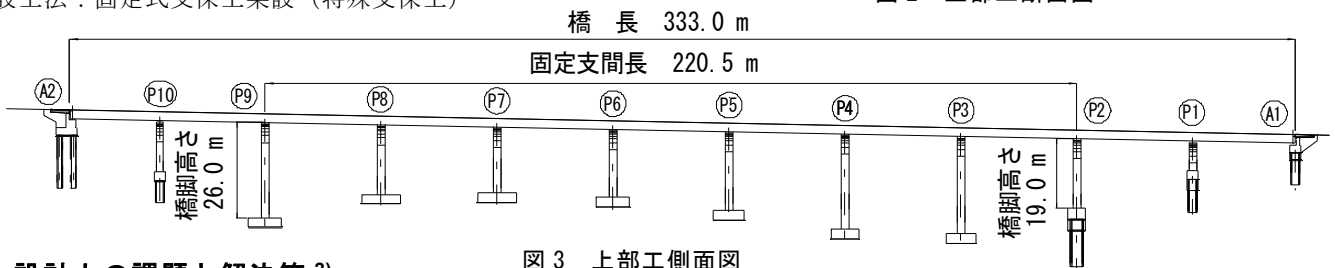


図3 上部工側面図

3. 設計上の課題と解決策²⁾

(1) 設計上の課題

連続ラーメン橋は、温度変化、クリープ・乾燥収縮、プレストレス2次力等の不静定力の影響が大きい。特に、固定支間長に対して端部橋脚の高さが低いと無視し得ない過大なアンバランスモーメントが発生する(図4)。本橋は、固定支間長と橋脚高の関係¹⁾が、ラーメン構造成立限界の推定限界値を超えるため(図5)、固定支間端部橋脚の柱頭部で過大なアンバランスモーメントが生じていた。また、詳細設計条件では、耐久性向上の観点から、主桁上縁でのPRC構造としての制御方法が、基本設計のひび割れ幅制御の方法Aからひび割れ抑制の方法Bに変更となった。

上記背景から、設計上の課題は、①不静定力に起因するアンバランスモーメント低減のため、その大きな割合を占めるプレストレス2次力を抑制するPC鋼材配置、②温度変化や地震時慣性力の正負交番断面力によるアンバランスモーメントに対して、柱頭部付近の曲げ制限値を満足させる主桁断面性能の改善であった。

(2) 技術的解決策

課題①に対して、分割施工のPC鋼材配置手法を基本設計で計画されていた「たすき掛け定着」から、「カップラー接続」に変更した(図6)。たすき掛け定着は、柱頭部横桁を交差するようにPC鋼材を定着するが、ケーブル形状がプレストレス2次力の発生を助長する形状となる。また、設計条件によりPRCの制御方法が方法Bに変更となったが、これは配置PC鋼材の増加を招き、プレストレス2次力の抑制とはトレードオフの関係になる。

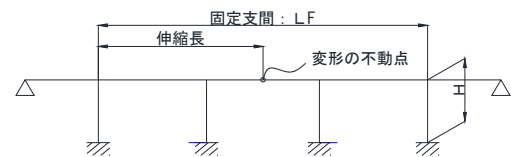
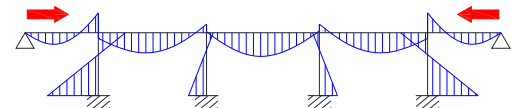


図4 連続ラーメン橋のモーメント図

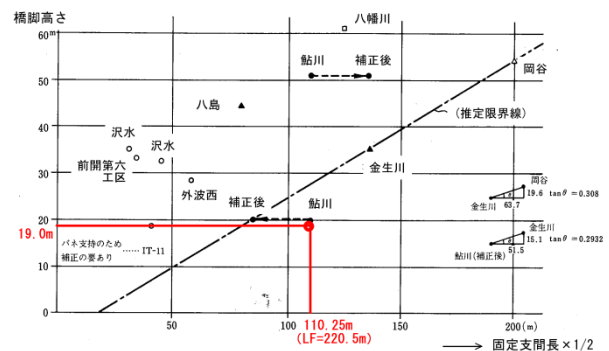


図5 ラーメン構造成立の固定支間長と脚高の関係¹⁾

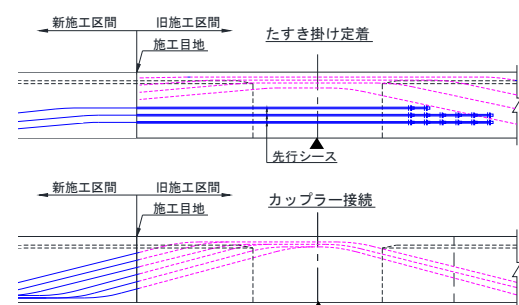


図6 たすき掛け定着とカップラー接続のPC鋼材配置比較

一方、カップラー接続は、作用曲げモーメントに即した橋軸方向に連続する PC 鋼材配置が可能となる。そのため、たすき掛け定着に比べプレストレス 2 次力の発生を低減でき、PRC 制御方法の変更による PC 鋼材本数増加も少なくできた。

課題②に対して、柱頭部付近の 2 主版桁断面に部分的に下床版を設けた箱桁断面形状（図 7）を採用した。これにより、曲げに対する主桁断面性能の向上が図れるとともに、下床版部分に PC 鋼材を配置することも可能となり、正負交番断面力に対する主桁上下縁の効率的なプレストレス導入が図れた。なお、下床版の設置範囲は、2 主版桁断面と箱桁断面で断面が急変する箇所において、プレストレス等の主桁に作用する軸力がウェブから下床版に 100%伝達されるような有効伝達長とした（図 8）。

(3) 下床版ケーブル定着具背面の局部応力照査

下床版に配置した下床版ケーブルは、既設側をデッドアンカーとし、互い違いに配置した（図 9）。デッドアンカー周辺の構造特性を反映した 3 次元 FEM 応力解析で、PC 鋼材緊張時の下床版の応力分布を検証した。本数の最も多い半断面 6 本配置の場合、鋼材の平面間隔が狭いため、互い違いの距離が短いと双方の定着具背面に生じる引張の重ね合わせにより局部応力が生じる。一方、互い違いの距離が広いと下床版先端までの距離が短くなるためハンチに局部応力が生じる。検討結果互い違い距離を 500mm とした（図 10）。また最も少ない半断面 3 本配置では、鋼材の平面間隔が広いと、互い違いの間隔によらず、応力のばらつきは生じないため、1 列配置とした（図 11）。FEM 応力解析の結果、1N/mm²以上の局部応力が発生する箇所には補強筋を配置した（図 12、表 2）。

(4) 評価考察

カップラー接続の採用は、鋼材の過密配置となる柱頭部横桁付近で PC 鋼材配置形状を簡素化でき、コンクリートの充填性など施工性の向上、品質向上にも有効であった。また、PRC2 主版桁ラーメン橋の柱頭部に下床版を部分的に設置する手法は、限界固定支間長を超える本橋の条件下では、最適解であったと再評価している。

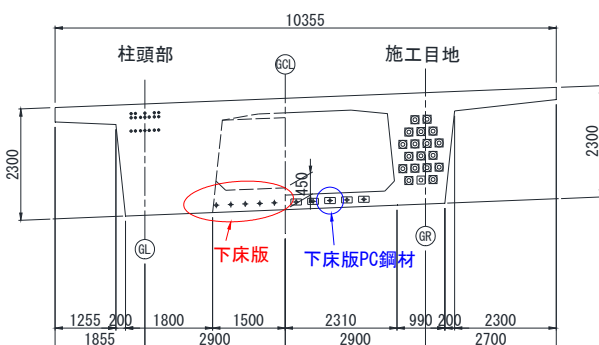


図 7 柱頭部付近の下床版

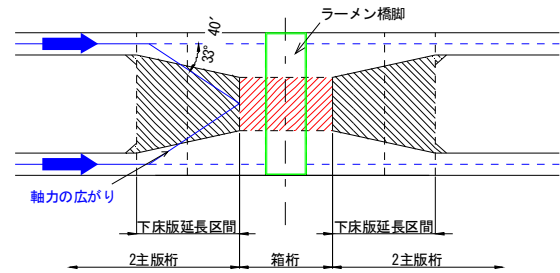


図 8 柱頭部付近の下床版設置範囲

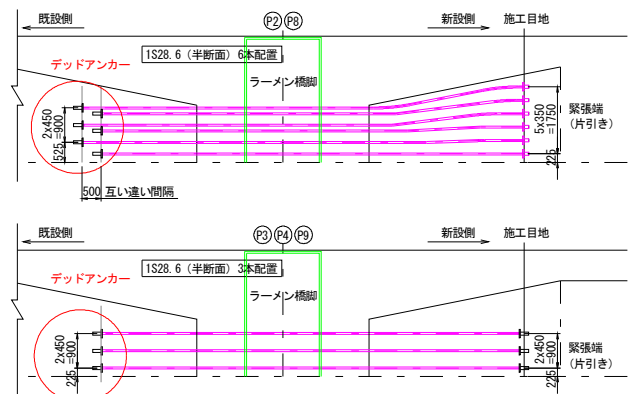


図 9 下床版ケーブル配置平面図

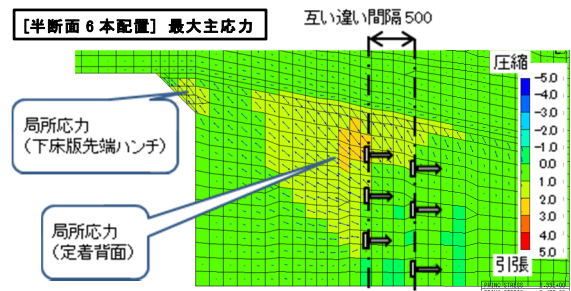


図 10 [半断面 6 本配置] 最大主応力コンター図

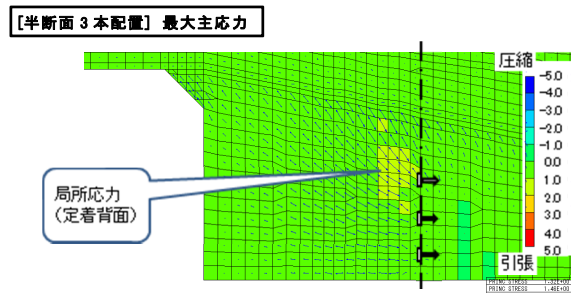


図 11 [半断面 3 本配置] 最大主応力コンター図

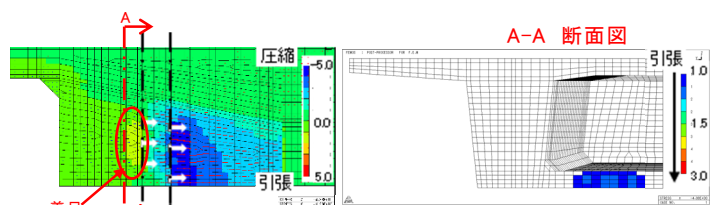


図 12 定着具背面応力分布図

表 2 FEM 応力解析 補強鉄筋量の算出

	着目幅	引張力計 (ΣT)	必要鉄筋量	備考 (D19換算)
上縁側	961.71 mm	229.34 kN	1911.20 mm ²	6.9 本/m
下縁側	1282.28 mm	281.08 kN	2342.36 mm ²	6.4 本/m

4. 2 主版桁下床版追加への施工対応

先の詳細設計での主桁構造断面の見直しにより、本橋の主桁柱頭部付近には2主版桁断面に部分的に下床版を設けた箱桁断面形状が採用された。通常、固定式支保工架設での箱桁断面の施工ステップは、下床版とウェブを先行して打設し、下床版上箱桁内部に支保工を設置して上床版を打設する。しかし、2主版桁を主体とする分割打設で部分的な箱桁施工を行うと、施工日数の増加を招くおそれがあった。そこで、柱頭部付近箱桁断面の一括打設を含む1径間分の2主版桁の上部工打設を可能とする支保工計画が課題となった。

上記課題に対して、(図14、写真1)のようなモルタル付き支柱受け台を製作した。

これにより、下床版の支保工と箱桁内部支保工の支柱配置は、切り離して計画することが可能となった。また下床版鉄筋、PC鋼材配置完了後に内部支保工支柱を設置することができ、効率良く作業を進めることができた。モルタル付き支柱受け台の上には $\phi 75\text{mm}$ のシースを設置し、支柱撤去後に無収縮モルタルを充填するが、貫通孔にならないので底板型枠作業も不要となり桁下からの美観も良く、貫通孔から充填モルタルの落下といった懸念も無くなった。

柱頭部箱桁断面の下床版打設は上床版型枠に打設孔を設置し、ポンプ車のホース筒先を挿入して行った。箱桁断面の一括打設によりウェブと上床版に施工目地が無く、品質確保の点からも良好であったと再評価している(写真2～8)。

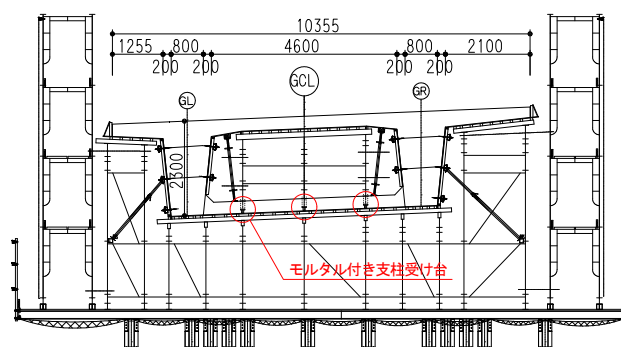


図13 箱桁断面支保工計画図

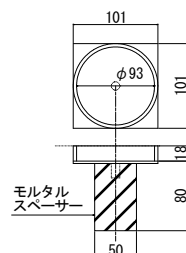


図14、写真1 モルタル付き支柱受け台



写真2 主桁鉄筋型枠組立状況



写真3 箱桁断面出来形

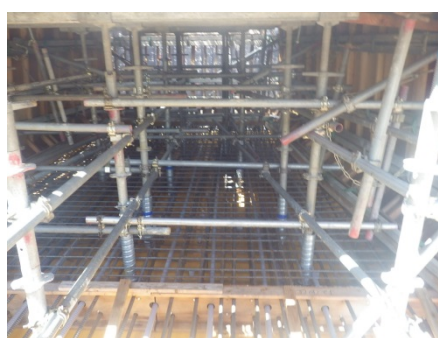


写真4 箱桁内部支保工

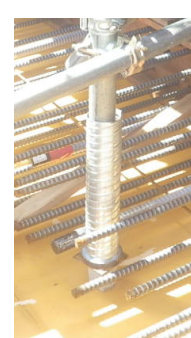


写真5 支柱受け台設置



写真6 箱桁断面支保工施工状況



写真7 柱頭部付近箱桁断面



写真8 柱頭部付近箱桁側面

5. 延長床版底板先端の形状提案と平坦性確保

従来の延長床版システムは、温度変化に伴うスベリ鋼板の移動時の摩擦により延長床版底板端部の角欠け、はく落が生じる問題があった。そこで、詳細設計時に端部形状の R ハンチ処理が採用された。しかしながら、先端部分を R ハンチ形状で施工した結果、先端 R 型枠天端付近から 20mm の段落とし水平型枠部に多数気泡が発生し、充填不良が発生した。原因は、R ハンチ部にブリージング水が残留する影響であったため、改善策としてブリージング水、気泡を除去する対策案(表 1, 図 15)を提案し、試験施工を実施し効果の確認を行った。試験施工の結果、全てのケースにおいて気泡溜まりが発生し改善されなかった。これは型枠が水平であることが原因で、透水シートを設置しても気泡が抜ききれないためであると考察した(写真 9)。

以上を踏まえ、さらに試験・工夫を重ね、コンクリート充填性、角欠け防止の両方の観点から再度見直した先端形状(図 16)を提案し採用した。これにより、先端部分の充填不良を改善できた(写真 10, 11)。

延長床版底板はすべり面の平坦性を確保するために、その規格が 3m 平坦性定規で凹凸 5mm 以下であった。この規格を満足させるために天端に設置する 2 本の V 字横断排水溝型枠を高さ管理し、傾きの無いように精度よく固定した。V 字排水溝間および側面型枠との間隔 2m 程度をアルミ定規を使用して入念に天端仕上げを行い平坦性を確保した。

表 1 延長床版底板 先端部分充填確認試験体

試験体No.	透水性シートの有無	空気孔の仕様
ケース1-1	透水性シート有り	φ18孔 90mm間隔
ケース1-2	透水性シート有り	φ18孔 180mm間隔
ケース2	透水性シート無し	φ180孔
ケース3	透水性シート有り	2mmスリット 50mm間隔

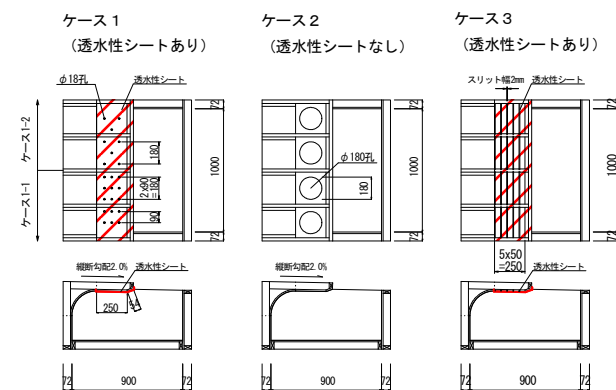


図 15 試験体型枠製作図



写真 9 充填試験結果



写真 10 延長床版底板先端形状
(見直し提案後)

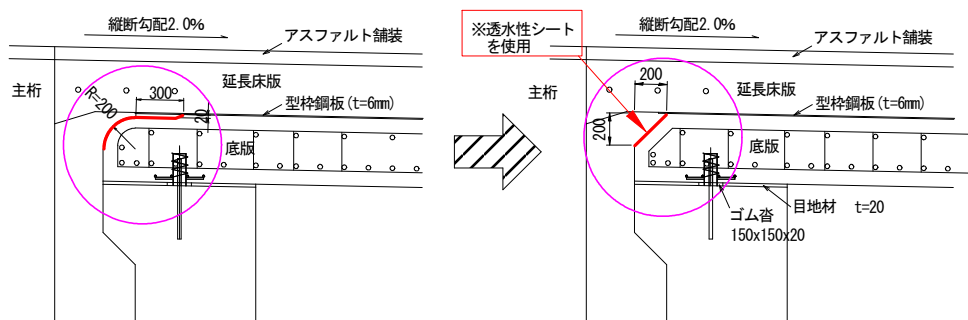


図 16 延長床版底板 先端形状の再度見直し提案



写真 11 延長床版底板先端形状
ハンチ部拡大（見直し提案後）



写真 12 底板 V 字排水溝設置



写真 13 V 字排水溝固定状況



写真 14 底板天端仕上げ状況

6. 現場条件を考慮した仮橋計画の提案

(1) 猪渕川の増水対策

猪渕西第一橋（上り線）の上部工施工は、作業ヤードクレーンヤードとして橋梁に平行するように仮橋を施工した。仮橋は猪渕川を横断して設置する計画となり台風等の河川増水対策が課題となった。

この課題に対して下記の対策を計画提案した。

① プレガーダー橋を（当初 18m から 36m に）延長し、河川内に H 鋼杭を設置しない計画へ

猪渕川は仮橋横断付近で湾曲しており、豪雨時は護岸天端近くまで水位上昇が予測された。よって河川内に H 鋼杭を設置せず流域を阻害しない計画とした（図 17、ピンク囲み部がプレガーダー橋）。

② 仮橋支柱基礎、支保工支柱基礎のかさ上げ

河川増水時に仮橋基礎支柱、および支保工支柱の流出、倒壊を防止するために P5 橋脚のフーチング上にコンクリートブロックと現場打ちコンクリートにて、2m の支柱基礎のかさ上げを実施した。

上記①②の対策を講じ台風時の増水にも仮橋に損傷が無かった（図 18）。

(2) 仮橋設置時の迅速施工の工夫

着手時期の遅れにより仮橋の早期完成が上部工着手のために課題となった。

迅速施工を行うために施工順序の見直しとして、先行して河川対岸の仮橋橋脚部のダウンザホール削孔、H 鋼杭建込をまとめて行う計画とした（図 17 の緑囲み）。70t クローラークレーンを河川対岸に移動させるために渡り栈橋を設置した（図 17 の黄色囲み）。対岸 H 鋼杭打設後、渡り栈橋は覆工版を撤去し、主梁はそのままプレガーダーの支柱受梁として使用し、高さ調整材を設置した（写真 15, 16）。

上記仮橋計画の提案により、仮橋の設置・使用が安全に効率良く行えた。

7. おわりに

2016 年 7 月現在、猪渕西橋全 6 連のうち、本橋を除く 5 連は上部工工事が完了し、本橋は最後の A1 延長床版を施工中である（写真 17）。本稿が同種橋梁施工の参考になれば幸いである。

最後に、多大なご協力とご指導をいただいた関係各位に感謝の意を表し結びとする。

参考文献

- 1) (財) 高速道路調査会：PC 多径間連続ラーメン橋に関する研究報告書 昭和 63 年 5 月
- 2) 石橋亜希子，福田雅人，村上賢二，大久保孝：固定支間長の長い PRC 多径間連続ラーメン 2 主版桁橋の構造検討，土木学会第 70 回年次学術講演会，V-154，2015. 10

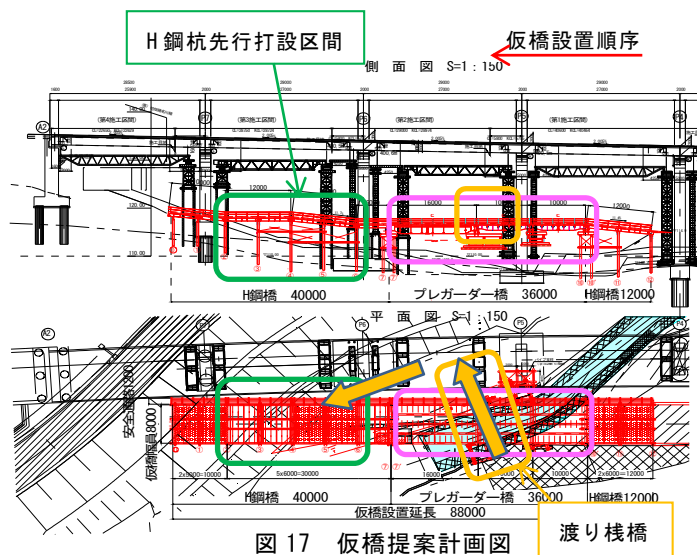


図 17 仮橋提案計画図

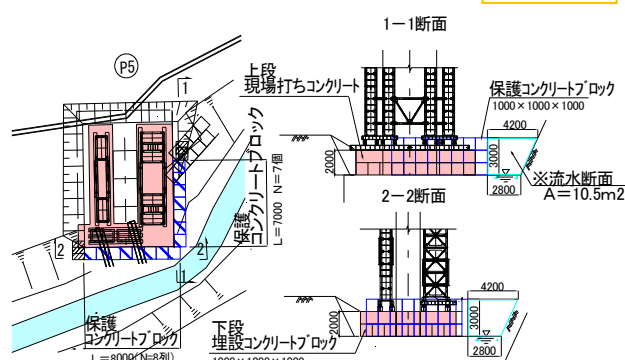


図 18 P5 橋脚支柱基礎かさ上げ計画



写真 15 仮橋 H 鋼杭先行打設状況



写真 16 高さ調整材設置



写真 17 本橋施工状況写真