

常磐自動車道 II期線橋梁の計画・設計

古谷 嘉康*1・綱川 悠*2・大木 篤*3・岡田 俊彦*4

本報告は、現在工事が進められている、常磐自動車道の4車線化事業計画のうち、いわき四倉IC～広野IC間に計画される長大橋に分類されるプレストレストコンクリート橋3橋である、大久川橋（PRC9径間連続箱桁橋）、小久川橋（PRC5径間連続ラーメン箱桁橋）、仁井田川橋（PRC2径間波形鋼板ウェブ箱桁、PRC8径間連続2主版桁橋）の上下部工設計について報告するものである。それぞれの架橋位置における地形・地質条件、既設I期線の構造形式や、民家などを含む周辺環境、用地制約などの条件が異なることから、各構造形式の特性を生かした橋梁形式を選定した。また、開通目標までの期間がかぎられ、複数の設計業務がほぼ同時に進行することから、業務間での設計思想の不整合による手戻りの防止を目的に、各設計業務間で密に情報共有を図り円滑に設計を進めた。本報告では、各橋梁について、II期線計画の着目点および留意点、特有の条件への対応を主に述べる。

キーワード：常磐自動車道、II期線計画、景観検討

1. はじめに

常磐自動車道では、いわき中央IC～いわき広野IC間の延長約27kmと山元IC～亘理IC間の延長12kmで4車線化事業が進められている。本稿は、このうち四倉PA～大久トンネル間の約10km区間に計画される橋梁より、プレストレストコンクリート橋3橋梁の計画・設計について報告するものである（図-1）。

I期線は、平成11年～平成14年に建設され、対面2車線にて供用中である。当時は、具体的なII期線計画は作成されてなく、I期線の構造に、将来拡幅などの担保はされていない。そのため、I期線に併設するかたちで、新規にII期線橋梁を建設する計画とした。該当範囲においては、PC橋および鋼橋合せて9橋が計画されており、II期線の基本設計では、そのうち5橋にPC橋が採用されている。

II期線の橋梁計画にあたっては、主として下記のような項目に留意した設計を行った。

- ・架橋位置における地形・地質条件・周辺環境条件
- ・既設I期線によるII期線への構造的制約
- ・II期線橋梁の構造や施工が既設I期線へ与える影響
- ・既設I期線との併設による景観への配慮

さらに、路線の開通目標年度までの期間がかぎられており、上下部基本詳細設計後、間をおかず下部工の施工に着手するというタイトな計画であることから、構造形式の選定の上では、工程短縮や開通年度に対して余裕をもった施工が可能となることも、重視すべき項目の一つであった。

また、基本詳細設計では、路線としての基本的な設計思想の不整合による手戻り防止のため、同時進行する複数の設計業務間での情報共有を密に実施した。それにより、箱

幅や桁高、橋脚形状などの外形に影響する寸法やPC鋼材の防錆仕様などの主構造に関する事項、また排水装置・検査路などの付属物の配置や材質にいたるまでの計画思想について調整・整合を図った。

本報告は、そのうち、架橋条件が異なるPC橋3橋を取り上げ、主としてII期線計画の着目点や留意点、特有の条件への対応、および上部工の構造計画について述べる。



図-1 橋梁位置図

*1 Yoshiyasu FURUYA：東日本高速道路(株) 東北支社 いわき工事事務所 四倉工事区 工事長

*2 Yutaka TSUNAKAWA：東日本高速道路(株) 東北支社 建設事業部 構造技術課

*3 Atsushi OOKI：(株)日本構造橋梁研究所 本社 設計部2課

*4 Toshihiko OKADA：(株)日本構造橋梁研究所 本社 設計部2課

2. 大久川橋

2.1 橋梁概要

橋梁諸元および橋梁一般図を表-1および図-2に示す。架橋位置は、開けた平地部であり、交差道路、河川など橋梁計画のコントロールとなる物件を多数有する。また、起点側には近接して、市営の公園および文化施設「いわき市海竜の里センター」(写真-1)、終点側には民家が点在することから、景観、騒音対策にも留意する必要がある。

2.2 橋梁形式検討

橋梁形式は、交差条件を満足する支間割りを基に適用可能な橋梁形式を抽出し、経済性および構造的、施工性などの総合的な評価より、PRC9径間連続箱桁構造を採用した。

供用中のI期線橋梁は、掛違い橋脚2基を有する3連続構造であり、架橋地点が開けた環境であることから、現地踏査の際、I期線の伸縮装置、とりわけ掛違い部から発生した騒音が、周囲に響いている状況が確認された。また、この発生する騒音に対して近隣住民より対策が要望されているとのことであった。

そのため、II期線橋梁は9径間を全連続化することで、伸縮装置数を低減させ、走行性の向上および伸縮装置からの騒音低減を図った。また、A2橋台に近接する民家への低周波騒音などの対策を目的に、延長床版構造を採用した。

上下部工の接合条件は、支承数減による維持管理性の向上を目的に、剛結化を基本として検討した。しかし、剛結化を行うと、端部橋脚への不静定力が大きくなり、橋脚の構造成立が困難であった。



写真-1 いわき市海竜の里センター (P1 橋脚付近)

そこで、端部橋脚より順次支承構造化するよう検討を進めたが、それに伴う中央の剛結脚への分担率増大の影響が大きくなり、少数脚の剛結構造では成立しないと判断し、全ての橋脚で支承構造とした。要因としては、橋長に対して全体的に橋脚高が低めであったこと、用地などにより基礎寸法に制約を受けていたことが考えられる。

2.3 支間割りの検討

架橋位置は開けた場所であり、周辺道路などから橋梁全体を見渡すことができる。近隣に公園もあり、視点場も多い。そのため、景観への配慮として、II期線橋脚位置はI期線と合せることを基本とした。しかし、全連続化に対する支間割りの調整、および河川、道路などと橋脚近傍で斜に交差し橋脚設置可能位置に制約を受けること、現行基準設計によってI期線より基礎寸法が増大することから、図

表-1 大久川橋 橋梁諸元一覧

| | II期線 | 既設I期線 |
|-------------|---|--|
| 橋梁形式 | PRC9径間連続箱桁橋 | PC3径間連続ラーメン箱桁 + PC4径間連続ラーメン箱桁 + PC4径間連続ラーメン箱桁 |
| 橋長 | 601.5m | 596.5m |
| 支間長 | 35.1+2@87.0+2@69.0+70.5+70.452+68.0+42.6m | 32.3+69.5+42.5+2@(42.5+69.5+69.5+42.5)m |
| 橋体幅員 (有効幅員) | 10.650m (9.760m) | 10.700m (9.790m) |
| 桁高 | 支点部: 5.500m 径間部: 2.500m | 支点部: 5.500m 径間部: 2.000m |
| 使用材料 | $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$ SD 345 1S21.8, 12S15.2, 19S15.2 | $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$ SD 345 1S21.8, 12S12.7 |

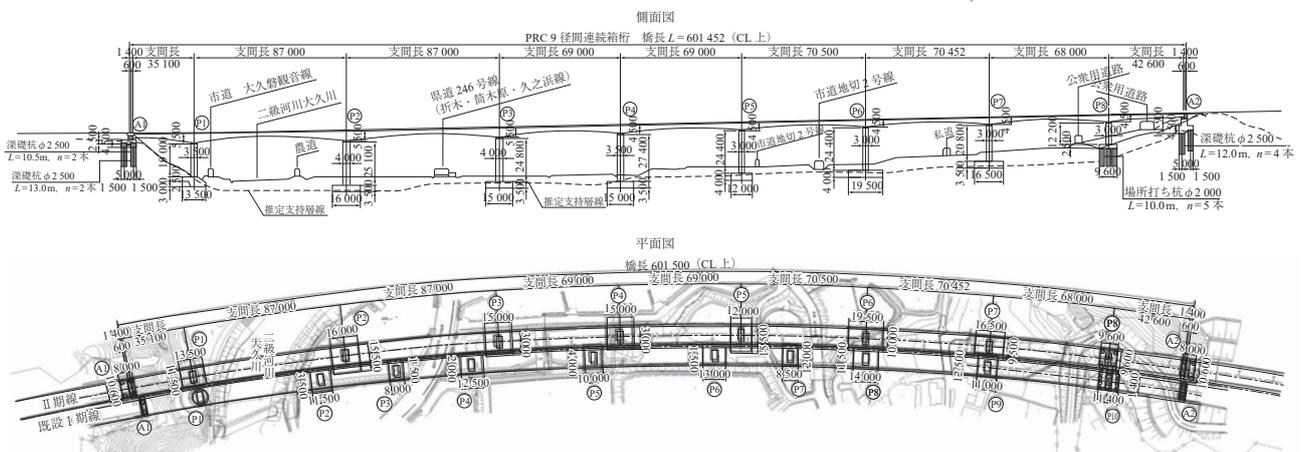


図-2 大久川橋 橋梁一般図

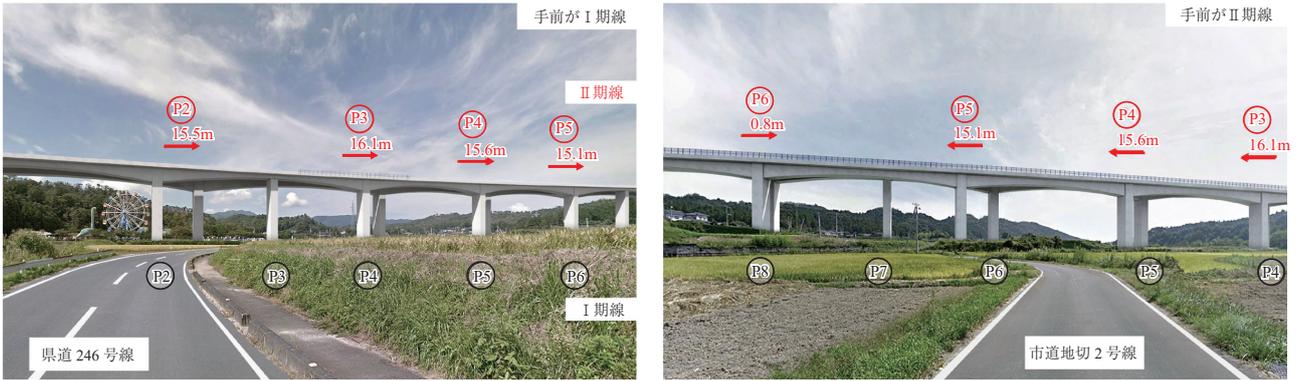


図 - 3 フォトモンタージュによる眺望確認

- 2 の平面図に示すとおり、数基が I 期線と橋脚を併設できず、最大で 16 m 程度ずらす必要があった。

橋脚のずれにより、視点場によっては投影面が広くなり、圧迫感が強くなる懸念された。そこで、交差道路を視点場としたフォトモンタージュを作成し、強い圧迫感もなく、景観を損なうほどの印象もないとの判断から、支間割りを決定した(図 - 3)。

2.4 上部構造の検討

(1) 桁高の検討

支間中央の桁高は、一般的な桁高スパン比 ($H/L=1/35$) から 2.0 m 程度が目安となる。しかし、維持管理時の桁内通行の容易さに配慮し、桁内を作業者がかがまずに通行できる高さとして、1.8 ~ 2.0 m 程度の内空を確保できることが望ましいと考え、最小桁高は 2.5 m として検討を行った。最終的には構造的・経済性を踏まえ、支点部が 4.5 ~ 5.5 m (I 期線 5.5 m)、支間中央が 2.5 m (I 期線 2.0 m) となり、I 期線と外形をおおむね合せることができた。

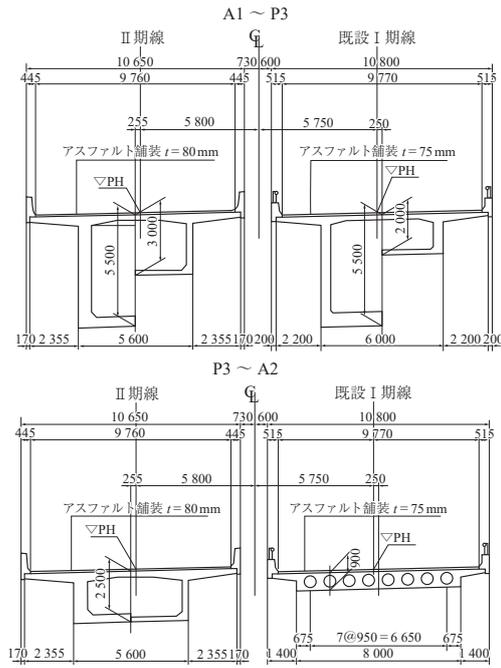
(2) 支承構造の検討

本橋は、橋長約 600 m の連続橋であるため、クリープ・乾燥収縮および温度変化などの移動量が大きくなり、橋台部の支承では必要ゴム厚が 350 mm 程度となった。支承メーカーへヒアリングの結果、一般的なゴム体の製作限界は 300 mm (せん断ひずみ試験可能範囲) との回答より、A1 橋台および A2 橋台部の支承に対してポストスライドを採用し、製作可能な範囲まで設計移動量を低減させた。基本設計におけるポストスライドの実施時期は、供用後に改めて足場を設置することや、ジャッキアップ工事の再発注などの手間を軽減するため、上部施工期間中に実施する計画として、実施時期およびスライド量を解析に反映している。

3. 小久川橋

3.1 橋梁概要

橋梁諸元および橋梁一般図を表 - 2 および図 - 4 に示す。架橋位置は、先の大久川橋同様、開けた平地部であり、河川、交差道路などの交差物件を多数有する。橋梁中央部より終点側には、両側に民家が点在し、騒音への配慮も必要と考えられた。



側面図

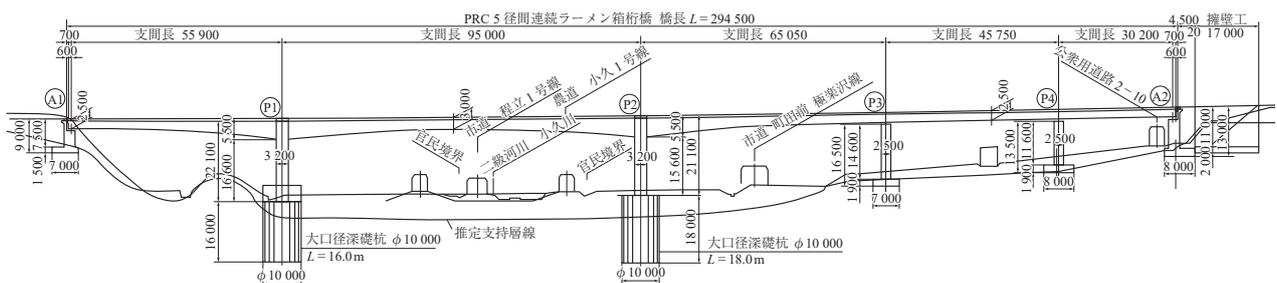


図 - 4 小久川橋 橋梁一般図 (側面図・断面図)

表 - 2 小久川橋 橋梁諸元一覧

| | Ⅱ期線 | 既設Ⅰ期線 |
|----------------|--|--|
| 橋梁形式 | PRC5 径間連続ラーメン箱桁橋 | PRC3 径間連続ラーメン箱桁橋 + RC6 径間連続中空床版橋 |
| 橋長 | 294.5m | 291.8m |
| 支間長 | 55.900+95.000+65.050 +45.750+30.200m | (A1~P3)54.900+90.300+54.900m (P3~A2)15.200+4@15.250+15.200m |
| 橋体幅員 (有効幅員) | 10.650m (9.760m) | 10.800m (9.770m) |
| 桁高 | (A1~P3) 支点部: 5.500m 径間部: 2.500m (P3~A2) 2.500m | (A1~P3) 支点部: 5.500m 径間部: 2.000m (P3~A2) 0.900m |
| 使用材料 | $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$ | (A1~P3) $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$ (P3~A2) $\sigma_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$ |
| | SD345, SD490 | SD345 |
| | 1S21.8, 12S15.7, 12S15.2, 19S15.2 | 1S21.8, 19S15.2, 19W7 |

3.2 橋梁形式検討

Ⅰ期線の橋梁形式は、A1～P3 径間に PRC3 径間連続ラーメン箱桁橋、P3～A2 径間に RC6 径間連続中空床版橋と橋梁規模および上部工形式がまったく異なる橋梁であった。Ⅱ期線の橋梁計画は、早期供用に対する工事工程の短縮を目指し、プレキャスト桁構造の採用を含めた橋梁形式の選定を行った。当該地区の交差条件は、A1～P3 径間に集中し、河川や市道が比較的鋭角に交差するほか、P1 橋脚位置は用地の制約上ほぼ固定される。また、P3～A2 径間は今回建設されるⅡ期線橋梁に沿って A2 橋台前面と交差する側道が整備されているが、その他の交差条件は存在しないことから、比較的自由度の高い架橋条件であった。

橋梁形式比較表を表 - 3 に示す。橋梁形式は、起点側 P1 橋脚に制約を受けることから、側径間となる A1～P1 支間長に対して、最大支間長を 95 m 程度とする橋梁の計画が必要であった。このため、起点側橋梁の上部工形式は適用支間より判断し、3 径間連続箱桁形式の採用を基本とした。

P3 橋脚以降の上部工形式の選定は、橋脚位置の制約が無く比較的自由度が高いが、Ⅰ期線橋脚位置との取り合いや遠望からの景観に配慮し、できるかぎりⅠ期線橋梁と橋脚位置を合わせることを基本に支間長 30 m 程度の 3 径間案、支間長 45 m 程度の 2 径間案および起点側の 3 径間長大支間部と連続化した 5 径間案を検討した結果、構造的な耐震性、経済性、維持管理性に優れた 5 径間連続箱桁橋を採用した。

また、箱桁構造のウェブ形式は、コンクリートウェブ形式と波形鋼板ウェブ形式を比較し、経済性に優れたコンクリートウェブ形式を採用した。

なお、工期短縮を目指しプレキャスト構造（連結Ⅰコンポ桁および連結Ⅱコンポ桁）の採用について検討したが、施工規模が少なくスケールメリットが発揮できないこと、

表 - 3 形式比較表

| | 上部工形式 | 構 造 性 | 経 済 性 | 施 工 性 | 維 持 管 理 性 | 景 観 | 評 価 |
|-------|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|--------|--------|
| 第 1 案 | PRC3 径間連続波形ウェブ箱桁 + PRC3 径間連続 2 主版桁 | ○ | ○ | ◎ | △ | △ | ○ |
| 第 2 案 | PRC3 径間連続箱桁 + PRC3 径間連続 2 主版桁 | ○ | ◎ | ◎ | ○ | ○ | ○ |
| 第 3 案 | PRC5 径間連続箱桁 | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ◎ |
| 第 4 案 | PRC3 径間連続箱桁 + PRC3 径間連結Ⅰコンポ桁 | △ | △ | ○ | △ | ○ | △ |
| 第 5 案 | PRC3 径間連続箱桁 + PRC2 径間連結Ⅱコンポ桁 | △ | △ | △ | ○ | ○ | △ |

上部工工事工程は、起点側長大橋梁部で決定することから、本橋ではその優位性を発揮するに至らなかった。

3.3 剛結構造の検討

(1) 剛結化範囲の検討

本橋の橋脚高は、P4 橋脚の 11.6 m～P1 橋脚の 16.6 m と比較的低い。一般に橋脚高が低い橋梁では、上下部工の結合条件はゴム支承を用いた免震構造または水平力分散構造の採用事例が多い。

本橋のⅠ期線橋梁では、起点側 A1～P3 径間の橋梁に 3 径間連続ラーメン箱桁構造が採用されており、同構造は上下部工剛結構造による耐震性の向上やゴム支承を不要とすることによる維持管理性の向上などの優位性がある。このため、PRC5 径間連続構造を採用したⅡ期線橋梁に対しても、剛結構造採用の可能性について検討を行うこととした。

剛結構造の採用にあたり、既往の剛結構造の採用実績を既往文献¹⁾より調査し、剛結化可能な橋脚数を検討した。

既往文献¹⁾では、剛結構造区間長の半分（固定支間長の 1/2）と端部橋脚高の関係が整理されており、施工実績より剛結化が可能な目安となる剛結限界線が導かれている。本橋の構造条件を照らし合せた結果、P1 橋脚および P2 橋脚の剛結構造を採用した場合は、図 - 5 に示す剛結構造限界線上にはほぼ位置する。

このため、P1 橋脚および P2 橋脚の剛結化は可能と判断し詳細検討を行った。

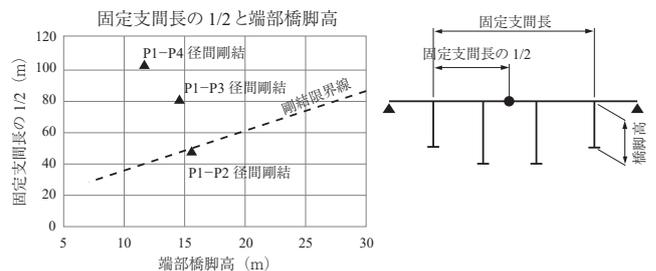


図 - 5 固定支間長の 1/2 と端部橋脚高の関係

(2) 橋脚の検討

剛結化の採用にあたっては、橋脚に発生する常時および温度時の断面力による発生応力度が許容値を超過しないこと、L2 地震時の最大応答変位が許容変位以内であることが必要となる。このため、初期値として設定した橋脚寸法（橋軸 3.9 m × 直角 6.4 m）による試設計により橋脚の応力状態を確認した結果、温度時に対して橋脚下端の鉄筋応力度が許容値を超過する結果となった。

橋脚下端の鉄筋応力度が許容値を超過した理由として、橋脚剛性が高く上部工より作用するクリープ・乾燥収縮および温度荷重による不静定断面力が増加していることが原因であると推測されることから、表 - 4 に示す橋脚形状をパラメータとした感度分析を行った。

その結果、橋脚断面内に配置する柱主鉄筋量を増やすことを前提としたケース 2 では、橋脚剛性は 1.28 倍となり柱下端曲げモーメントは 1.18 倍に増加し、柱下端の鉄筋応力度は許容値を上回る結果であった。

一方、橋脚剛性をケース 2 とほぼ同様の比率（1/1.25）

に低減させたケース3では、柱下端曲げモーメントは0.85倍へと減少し、柱下端の鉄筋応力度は許容値内に収まることを確認した。橋脚剛性を低減させることで剛結化の採用は可能であることが確認できたため、ケース3以降はL2地震時最大応答変位に対する照査も追加し、剛結化を前提とした柱断面の最適化を行った。

決定した柱断面は、温度時の柱下端の鉄筋応力度と許容値に対する余裕量とL2地震時の最大応答変位と許容変位に対する余裕量がほぼ同等となる形状を選定し、ケース5(橋軸3.2m×直角7.8m)を採用した。図-6に橋脚形状の当初計画値からの推移と図-7にP1橋脚正面図を示す。

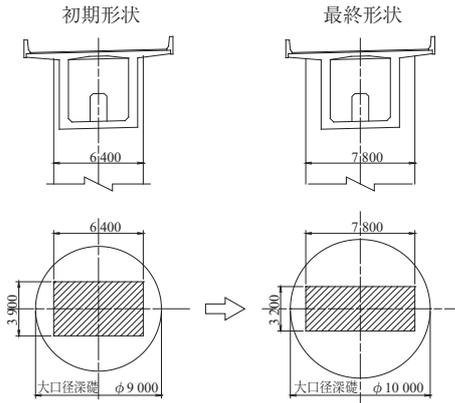


図-6 橋脚形状の推移

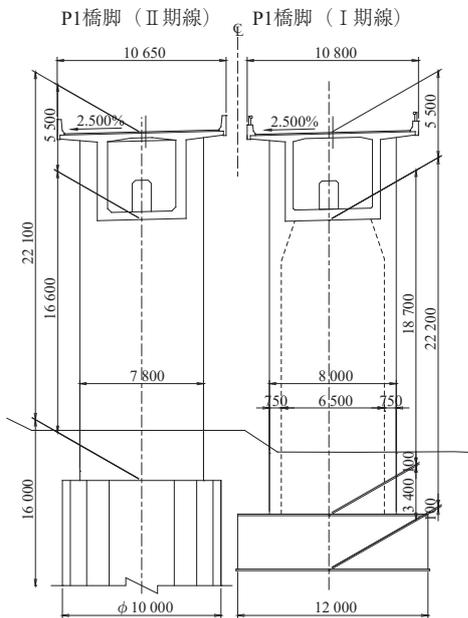


図-7 P1橋脚正面図

4. 仁井田川橋

4.1 橋梁概要

橋梁諸元および橋梁一般図を表-5および図-8に示す。架橋位置は、周囲が田畑の開けた位置にあり、河川や複数の市道・農道などから橋脚位置に制約を受ける橋梁で

表-4 橋脚形状感度分析結果

| 検討ケース | 柱寸法 | | 柱断面面積 (m ²) | 曲げ剛性比 | 温度時 | | L2地震時 | | 判定 |
|-------|-----------|-----------|----------------------------|-------|-----------------------------|--|-----------------------|-----------------|----|
| | 橋軸 (m) | 直角 (m) | | | 柱下端 曲げ モーメント (KNm) | 鉄筋 応力度 σ_{sa} =184 N/mm ² (N/mm ²) | 最大 応答 変位 (m) | 許容 変位 (m) | |
| | | | | | | | | | |
| 1 | 3.9 | 6.4 | 25.0 | 1.00 | 147 446 | 240 | - | - | NG |
| 2 | 4.0 | 7.6 | 30.4 | 1.28 | 173 997 | 193 | - | - | NG |
| 3 | 3.4 | 7.7 | 26.2 | 0.80 | 124 969 | 171 | 0.145 | 0.170 | OK |
| 4 | 3.3 | 7.8 | 25.7 | 0.74 | 117 798 | 164 | 0.152 | 0.173 | OK |
| 5 | 3.2 | 7.8 | 25.0 | 0.67 | 109 458 | 155 | 0.164 | 0.177 | OK |
| 6 | 3.1 | 7.9 | 24.5 | 0.62 | 102 346 | 148 | 0.175 | 0.182 | OK |
| 7 | 3.0 | 7.9 | 23.7 | 0.56 | 94 354 | 129 | 0.188 | 0.186 | NG |

ある。近接して民家はないが、300m程度離れて並走する県道より一望できる状況にある。

4.2 橋梁形式検討

橋脚位置の設定は、すでにI期線橋脚と併設する位置で、II期線の基礎施工のための掘削を加味した用地が取得済であったことから、支間割りを調整すると大掛かりな土留めが必要となるため、I期線と併設した同支間割りを基本とした。

上部工形式は、A1～P2の2径間は、支間80m程度と長支間であることから、P1橋脚の基礎寸法が増大する。I期線においても基礎寸法はP1橋脚がもっとも大きく、II期線の基礎は、用地の制限とI期線基礎との近接から可能なかぎり規模を縮小する必要があった。上部工形式の比較結果から、経済性で優位であり、かつ上部工重量を軽減できる波形鋼板ウェブ構造を採用した。

P2～A2は、支間長33.5mを基本とした8径間であり、形式比較の結果、経済性に優れた2主版桁構造を採用した。比較案としては、I期線と同様の連結合成桁(コンボ桁)などがあげられる。しかし、ヤードとして利用できるA2橋台背面は切土部になっており、近接して跨道橋が存在する。跨道橋の桁下高さでは、架設桁の組立て・移動や桁送り出し時に支障が生じること、支承基数増による維持管理性の低減などの懸念から、採用には至らなかった。

桁高は検討のうえ、I期線と同程度の2.0mを採用し、視点場となる県道からの側面の眺望に対して、構造形式の違いによる煩雑な印象は受けないと判断した。

4.3 上部構造(断面形状)の検討

A1～P3の波形鋼板ウェブ部は、P1橋脚からの張出し架設であり、片側18ブロックとなる。検討の結果、1ブロックあたりの張出し鋼材(12S15.2)の定着本数が2～

表-5 仁井田川橋 橋梁諸元一覧

| | II期線 | 既設I期線 |
|----------------|--|--|
| 橋梁形式 | (A1～P2)PRC2径間連続 波形鋼板ウェブラーメン箱桁橋 +(P2～A2)PRC8径間連続2主版桁橋 | (A1～P2)PC2径間連続ラーメン箱桁橋 +(P2～A2)PC4径間連続合成桁×2連 |
| 橋長 | 438.0m | 438.0m |
| 支間長 | (A1～P2)85.550+79.950m (P2～A2)33.100m+6@34.500+27.150m | (A1～P2)79.704+79.865m (P2～A2)34.000+34.500+34.500+34.000m×2連 |
| 橋体幅員 (有効幅員) | 10.750～11.541m(9.860～10.651m) | 10.700m(9.790m) |
| 桁高 | (A1～P2)支点部:10.000m、径間部:4.000m (P2～A2)2.000m | (A1～P2)支点部:8.000m、径間部:3.000m (P2～A2)2.500m |
| 使用材料 | (A1～P2) σ_{ck} =40 N/mm ² (P2～A2) σ_{ck} =36 N/mm ² | (A1～P2) σ_{ck} =40 N/mm ² (P2～A2) σ_{ck} =36 N/mm ² |
| | SD345、SD490 | SD345 |
| | 1S21.8、12S15.2、19S15.2 | 1S21.8、12S12.4、12φ7、12φ5、φ26、φ32 |

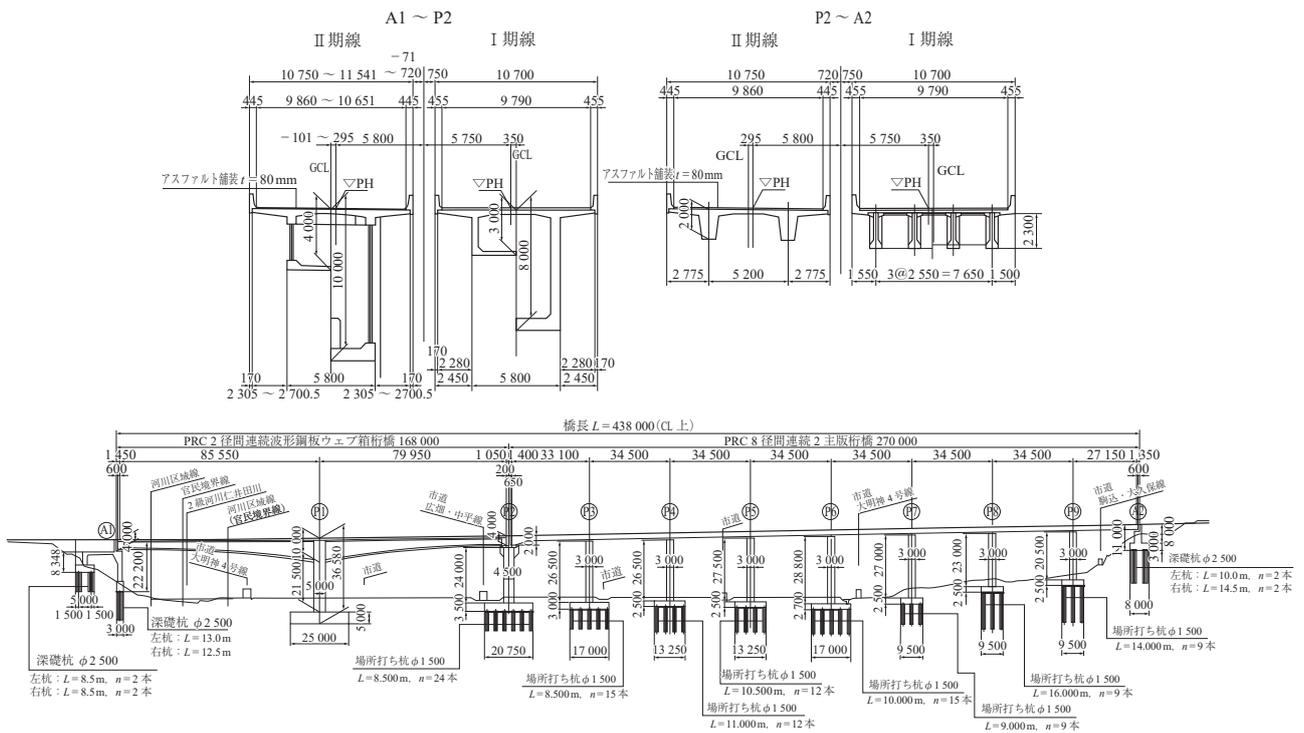


図 - 8 仁井田川橋 橋梁一般図 (側面図・断面図)

4本、ウェブあたり25本が必要となることから、上床版内に配置することが困難となる。

床版内の張出し鋼材はウェブ直近の定着部へ向かって平面的にシフトすることから、固定床版のハンチ筋をまたがないように設置範囲を設定するのが一般的である。そこで、固定床版部のハンチを広げて張出し鋼材の配置可能本数を増加させ、さらに不足する分は、外ケーブル(19S15.2)を併用した。断面形状は、外ケーブル定着による床版への局部応力の低減を目的に、コンクリートエッジ付の形状とした(図-9)。

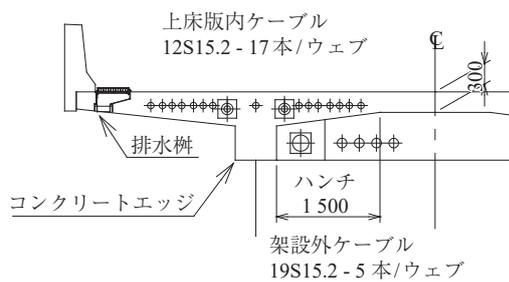


図 - 9 張出し鋼材の配置断面

4.4 落橋防止システムの検討

掛違ひ橋脚であるP1橋脚には、落橋防止構造、段差防止構造および、検査路が設置される。起終点の上部構造形式が異なることから、落橋防止構造は、桁同士の連結可能な条件を満たさないため、それぞれを橋脚と連結する構造とする必要があった。配置検討より、橋脚とケーブルで連結する構造とすると、検査路の取り廻しが煩雑となり、さらに桁側取付け部への近接ができないことから、橋脚天端

および桁下にコンクリート製の突起を設けて干渉させる構造を採用した。これにより段差防止構造の機能も兼ねることができ、レイアウトを簡素化した(図-10)。

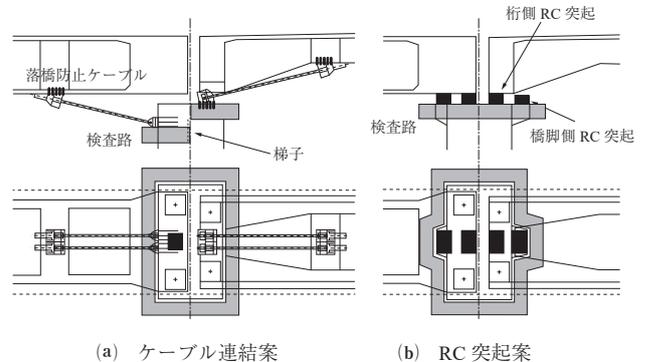


図 - 10 P1橋脚の構造レイアウト

5. おわりに

II期線の計画では、施工済みであるI期線橋梁から受ける制約や、I期線の建設状況より判明した構造的、環境的な課題に対して諸々の検討を実施し、改善可能な橋梁形式の選定および最適設計を実施した。さらに各設計業務間で情報共有を密に行うことで円滑な作業進捗かつ品質の向上を図ることが可能となった。本路線の設計事例が、今後の同様な計画の参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 財) 高速道路調査会：PC橋の新しい構造事例に関する調査研究報告書，1996.3

[2018年12月11日受付]