

池之島橋他 3 橋 (PC 上部工) 工事の設計

有賀 瞬*1・今井 平佳*2・伊藤 拓*3・瀧澤 快人*4

池之島橋他 3 橋 (PC 上部工) 工事は、東海北陸自動車道のⅡ期線工事である。本工事は、白鳥 IC～飛騨清見 IC の 4 車線化事業のうち、荘川 IC～飛騨清見 IC に位置する池之島橋 (箱桁橋)、上小鳥橋 (2 主版桁ポータルラーメン橋)、栃洞谷橋 (箱桁橋)、越ヶ谷橋 (波形鋼板ウェブ箱桁橋) の詳細設計付工事である。橋の設計を進める際に、橋の耐久性・工事全体の経済性・施工品質の確保・維持管理の確実性に配慮して設計した。本稿では、これら 4 橋における設計について報告する。

キーワード：維持管理，非常駐車帯，ポータルラーメン橋，波形鋼板ウェブ

1. はじめに

池之島橋他 3 橋 (PC 上部工) 工事は、東海北陸自動車道の荘川 IC～飛騨清見 IC に位置する (図 - 1)、池之島橋・上小鳥橋・栃洞谷橋・越ヶ谷橋を 4 車線化するⅡ期線工事である。東海北陸自動車道は、名神高速道路と北陸自動車道を相互に連絡し、中部圏をはじめ、沿線地域の産業・経済・文化・観光などの発展および振興に資する延長 185 km の高速自動車道である。Ⅰ期線は、1986 年に岐阜各務原 IC～美濃 IC 間の開通をはじめとし、2000 年に池之島橋・上小鳥橋・栃洞谷橋・越ヶ谷橋のそれぞれが架橋する荘川 IC～飛騨清見 IC 間が開通、2008 年に一宮 JCT～小矢部砺波 JCT 間の全線が開通した。Ⅱ期線工事は、一宮 JCT～白鳥 IC 間の 76 km が 2009 年までに完了し、本工事区間が含まれる白鳥 IC～飛騨清見 IC 間の 41 km は 2012 年度に事業化され、すでに一部で運用が開始されている。東海北陸自動車道のⅡ期線が開通することで、①交通集中による渋滞の解消とスキー場入込客数の増加、②機能強化による災害時のリダンダンシーの確保、③対向車線への飛出し防止による重大事故の防止、④大雪時の通行止めリスクの低減、⑤維持管理および大規模更新工事への対応の効果が期待されている。

本稿では、PRC 4 径間連続箱桁橋の池之島橋、PRC 2 径間連続 2 主版桁ポータルラーメン橋の上小鳥橋、PRC 5 径間連続箱桁橋の栃洞谷橋、PRC 3 径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋の越ヶ谷橋において、橋の耐久性・工事全体の経済性・施工品質の維持管理の確実性に配慮して設計をした。その設計内容について報告する。

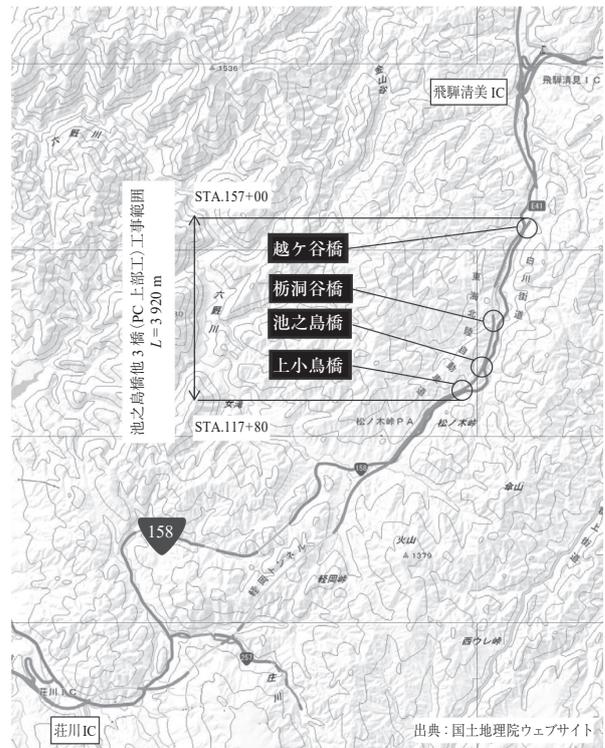


図 - 1 位置図

*1 Shun ARIGA : 川田建設 (株) 東京支店 事業推進部 技術一課

*2 Hirayoshi IMAI : 川田建設 (株) 工事本部 工務部

*3 Hiraku ITO : ドービー建設工業 (株) 技術部 北海道グループ

*4 Yoshito TAKIZAWA : 中日本高速道路 (株) 名古屋支社 岐阜工事事務所

2. 橋梁概要

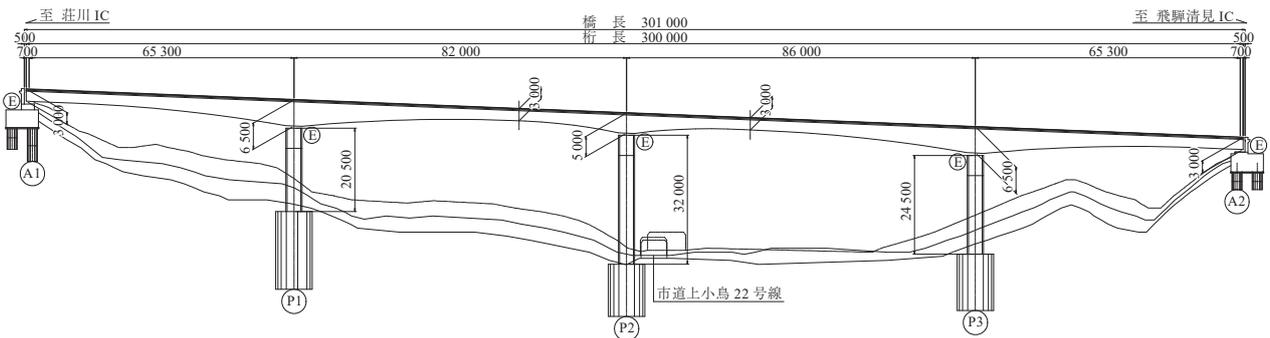
池之島橋・上小鳥橋・栃洞谷橋・越ヶ谷橋の橋梁諸元を表-1に、側面図を図-2に、断面図を図-3に示す。

池之島橋は橋長301.0m、桁高3.000～6.500m、有効幅員8.830mの単一箱桁断面で、免震構造である。片持ち張出し工法による架設で、橋脚高が最大32.0m、支間長が最大86.0mの橋梁である。上小鳥橋は橋長60.2m、桁高1.900～2.300m、有効幅員8.750mの単一箱桁断面で、剛結構造である。固定式支保工による架設で、①脚頭部の施工、②端支点横桁部を除いた主桁の施工、③両端支点横桁部の施工の順番である。栃洞谷橋は橋長187.5m、桁高2.200m、有効幅員9.060～10.810mの分離箱桁断面で、免震構造である。固定式支保工による架設で、A2桁端側に非常駐車帯を有する橋梁である。越ヶ谷橋は橋長280.5m、桁高3.000～9.000m、有効幅員9.110mの分離箱桁断面で、免震構造である。片持ち張出し工法による架設で、橋脚高が最大15.0mと低く、橋が小鳥川と斜めに交差するため、支間長が134.0mと長い橋梁である。

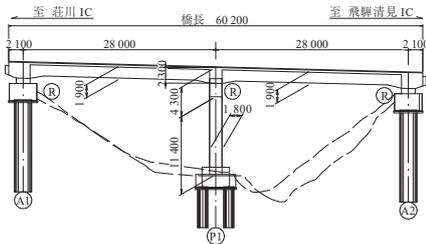
表-1 橋梁諸元

工事名	東海北陸自動車道 池之島橋3橋 (PC上部工) 工事			
発注者	中日本高速道路株式会社 名古屋支社			
施工者	川田建設(株)・ドービー建設工業(株)JV			
工期	平成27年5月20日～平成31年1月28日			
工事場所	自) 岐阜県 高山市 清見町 上小鳥 至) 岐阜県 高山市 清見町 上小鳥			
橋梁名	池之島橋	上小鳥橋	栃洞谷橋	越ヶ谷橋
道路区分	第1種第3級 B規格			
主桁	単一箱桁断面	単一箱桁断面	分離箱桁断面	分離箱桁断面
設計速度 (km/h)	80			
構造形式	PRC 4 径間連続箱桁橋	PRC 2 径間連続ラーメン2主版桁橋 (ポータルラーメン)	PRC 5 径間連続箱桁橋	PRC 3 径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋
橋長 (m)	301.0	60.2	187.5	280.5
桁長 (m)	300.0	60.2	186.3	279.5
支間長 (m)	65.3+82.0+86.0+65.3	2@28.0	36.8+3@37.8+34.7	88.35+134.0+55.85
総幅員 (m)	9.605	9.525	9.950～11.700	10.0
有効幅員 (m)	8.830	8.750	9.060～10.810	9.110
桁高 (m)	3.000～6.500	1.900～2.300	2.200	3.000～9.000
斜角 (°)	90			
横断勾配 (%)	2.5～4.318	3.868～4.491	2.73～3.5	2.5～4.5
縦断勾配 (%)	4.000	2.700	4.000～2.000	2.000
活荷重	B活荷重			
支承の種類	免震支承	剛結	免震支承	免震支承
架設工法	張出し架設	固定式支保工架設	固定式支保工架設	張出し架設
橋体コンクリートの設計基準強度 (N/mm ²)	40	36	36	40
PC鋼材の種類	内ケーブル	SWPR19L 1S28.6 (プレグラウト)	SWPR19L 1S28.6 (プレグラウト)	SWPR7BL 12S15.2
	外ケーブル	SWPR7BN 19S15.2	SWPR7BN 19S15.2	SWPR7BN 19S15.2
	床版横締め	SWPR19L 1S19.3 (プレグラウト)	SWPR19L 1S21.8 (プレグラウト)	SWPR19L 1S21.8 (プレグラウト)

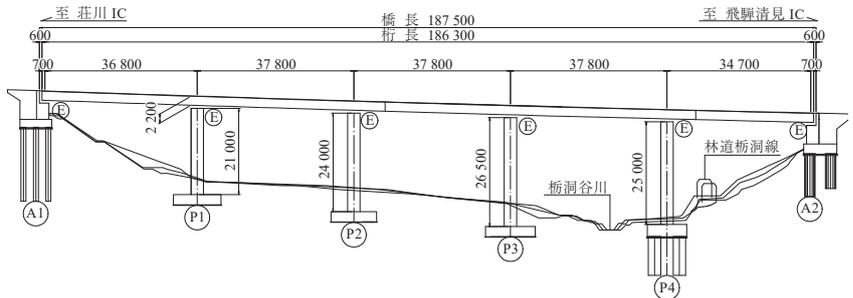
池之島橋



上小鳥橋



栃洞谷橋



越ヶ谷橋

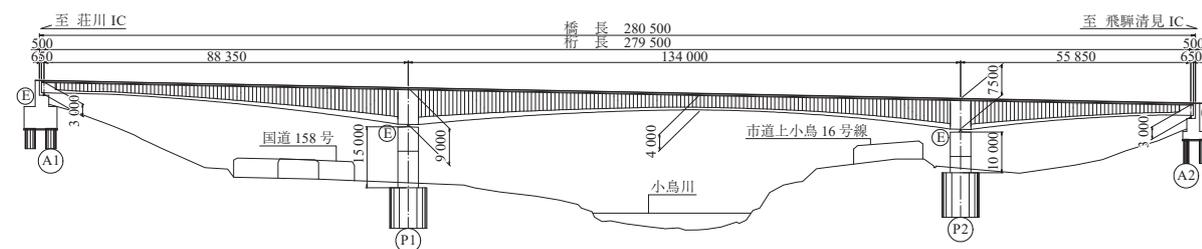
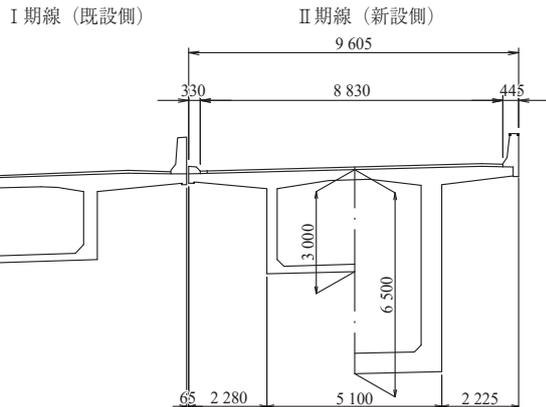
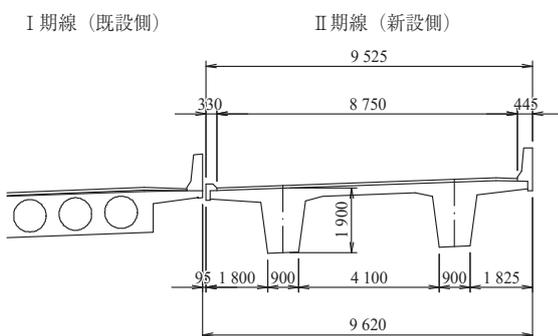


図-2 各橋梁の側面図

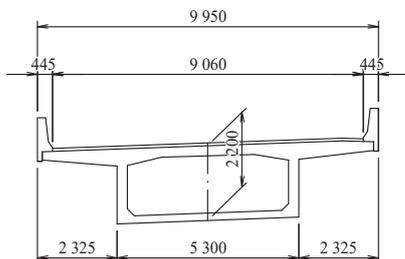
池之島橋



上小島橋



栃洞谷橋



越ヶ谷橋

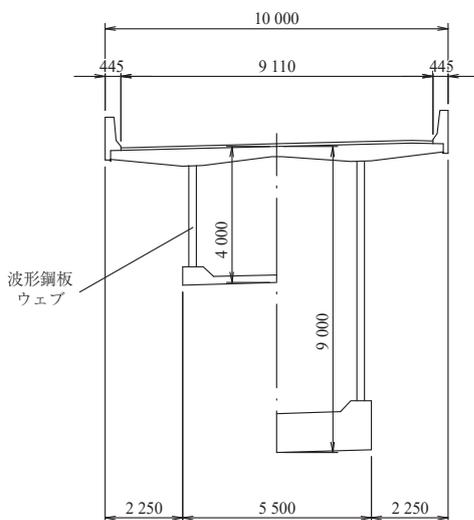


図 - 3 各橋梁の主桁断面図

3. 池之島橋の設計

3.1 I期線を踏まえた設計

池之島橋は内ケーブルに12S15.2、外ケーブルに19S15.2のECFストランド（内部充てん型エポキシ樹脂被覆PC鋼より線）を用いた内外併用構造としている。内ケーブルは架設時、外ケーブルは死荷重+温度荷重作用時・設計荷重+温度荷重作用時の制限値を満足するように配置した。

本橋は、I期線と隣接する橋梁であり、供用期間中における走行車両の安全を確保するため、I期線とII期線との離隔距離を所定の値とする必要があった。そこで、事前に供用中の既設構造物の出来形を測量し、その結果を基にI期線との離隔が確保できるようにII期線を設計した。構造形状の検討の際に、I期線側の張出し床版長と地覆幅を調整し、所定のI期線壁高欄とII期線地覆との相互間の高さ

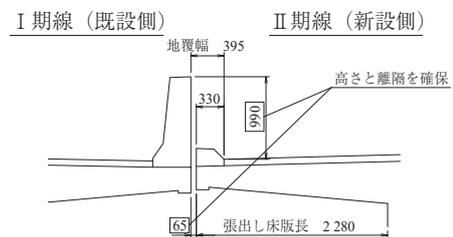


図 - 4 I期線隣接部断面図

壁高欄水切り部は、一般的に壁高欄施工時に構築するが、I期線とII期線との離隔距離が65mmと狭いため、主桁施工時に地覆水切り部を同時に施工した。また、I期線との取合いより、床版横締め鋼材が一方の緊張となることと、長期耐久性の観点からコンプレッショングリップを用いたデッドアンカーの仕様とした（図 - 5）。

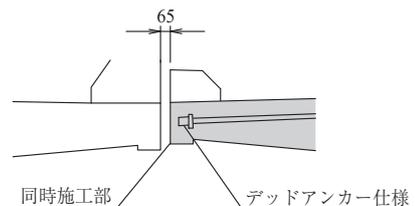


図 - 5 同時施工部断面図

上下線分離断面で上下線が隣接する場合、橋軸直角方向の地震力が作用すると、地覆どうしの衝突により地覆が破損し、走行車両の安全に影響を与えるおそれがある。そこで、I期線とII期線の間には緩衝材を3.5m間隔以内に連続配置し、地震による水平変位が小さい段階から上部工どうしを衝突させ、衝突エネルギーを分散させることとした。緩衝材（図 - 6）は、クロロプレンゴム（許容水平力1350kN/箇所）を使用し、橋軸直角方向水平力は、レベル1地震時の3・kh・Rdとレベル2地震時の動的解析による各橋脚天端に作用するせん断力との最大値を用いて設計した（表 - 2）。設計荷重は、I期線とII期線の上部工が両方が

ら衝突する場合は想定し、水平力の値を2倍にした値とした。本橋は、レベル1地震時の水平力を用いて、緩衝材の配置間隔を決定した。

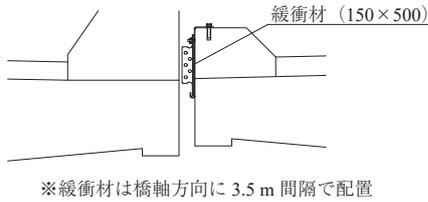
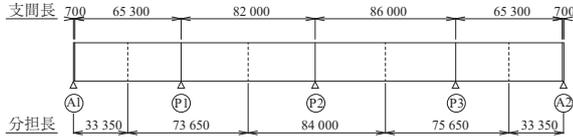


図 - 6 緩衝材設置図

表 - 2 単位長さあたりの水平力

	A1	P1	P2	P3	A2	
分担長 (m)	33.350	73.650	84.000	75.650	33.350	
水平力 (kN/m)	レベル1地震	52.1	185.9	91.4	184.1	50.1
	レベル2地震	136.4	77.5	73.8	81.1	132.3

※P1橋脚部のレベル1地震時の水平力を用いて設計



3.2 維持管理の確実性の確保

橋の耐久性能を長期間維持させるためには、供用期間中の維持管理の容易さが重要になる。供用中の日常点検および定期点検、地震などの災害時に被災の有無や程度などの橋の状態を確認するために行う調査、劣化や損傷が生じた場合に必要となる対策を確実かつ合理的に行うためには、維持管理の確実性および容易さを確保する必要がある。本橋で、維持管理に配慮した項目を以下に示す。

(1) 足場インサートの設置

張出し床版下面および主桁下面には、移動式吊足場およびロープアクセスによる橋梁点検や維持補修作業を想定し、先付け型セラミック製のインサートを設置した。移動式吊足場用には、インサート1個あたりの許容引張力が24.6 kN（設計基準強度：30 N/mm²以上）となるM16の径を使用し、橋軸直角方向は左右の張出し床版両縁端の2箇所、橋軸方向は750 mm間隔以内で橋梁全域に連続配置した（図-7）。ロープアクセス用には、インサート1個あたりの許容引張力が13.2 kN（設計基準強度：30 N/mm²以上）となるM12の径を使用し、柱頭部付近および支間部（10 m間隔程度）に、600 mm間隔以内で橋軸直角方向に連続設置した（図-7）。

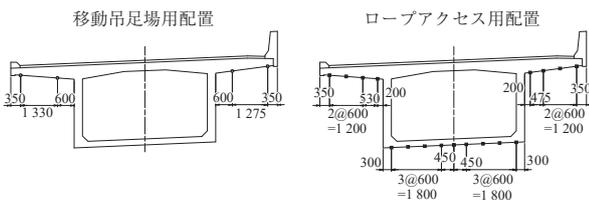


図 - 7 インサート配置図

(2) 点検設備の吊元の設置

P2橋脚高は32.0 mとなり、供用期間中に高所作業車による点検作業および維持補修作業が困難となる。そこで、昇降式吊足場による作業を想定し、支点上横桁の箱桁内下床版に昇降式吊足場の吊元を設置した。下床版にφ50のVP管とトランペットシースを使用して開口を設け、足場を吊り下げるワイヤーロープ8本を設置可能とした。構造図を図-8に示す。

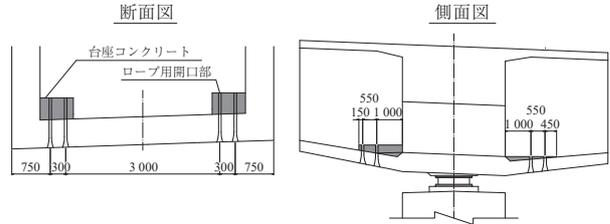


図 - 8 吊元構造図

(3) 検査通路の確保

箱桁内と支承部の点検効率の向上および確実な点検の実施を目的として、箱桁内部の通行幅を可能な限り大きくし、支点横桁マンホール部にはスロープを設置した。支承部周辺は高さ650 mm以上、幅が500 mm以上の点検作業空間を確保した。なお、点検時に事前に点検経路を確認できるように、図-9の点検経路図を作成した。

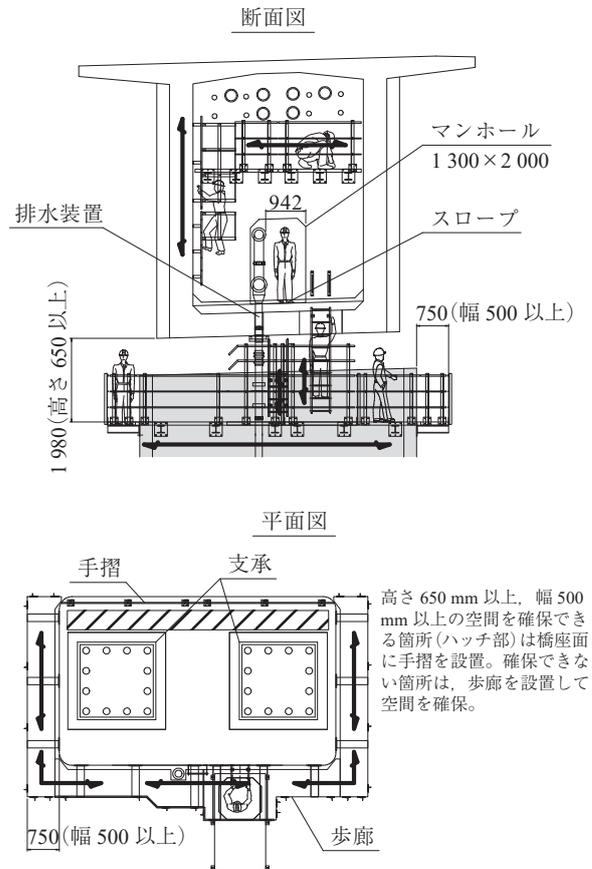


図 - 9 点検経路図

(4) 桁内照明の設置

箱桁内の点検効率の向上および確実な点検の実施を目的として、桁内照明を配備した。白色のLED照明を8.0～12.0m間隔で箱桁内に設置し、照明1灯で約9.0mの以内の範囲を照度3～5lx確保し、箱桁内の視認性を確保した。検討時における照度分布のシミュレーションを図-10に示す。

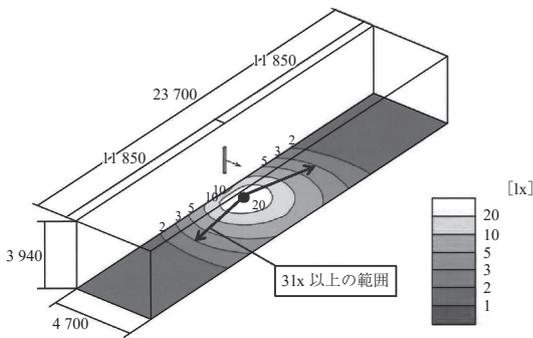


図 - 10 シミュレーション図

以上の4項目を池之島橋に取り入れ、上小鳥橋・柄洞谷橋・越ヶ谷橋も同様な配慮を行った。

4. 上小鳥橋の設計

4.1 仮支承の検討

上小鳥橋Ⅰ期線の構造形式は、2径間連続PRC中空床版橋を採用している。一方、Ⅱ期線の構造形式は、①地盤条件、②道路橋示方書の改定(平成24年)、③下部工施工時の掘削によるⅠ期線への影響、④景観性を踏まえて、ポータルラーメン橋を採用している。これは、橋台形状をⅠ期線に揃えるほか、基礎を単列深礎とするが橋台と上部構造を剛結して一体化することで、橋梁全体で組杭扱いとしたためである。そのため、本橋は2径間連続ポータルラーメン構造となり、コンクリートの乾燥収縮やプレストレスの導入などによる不静定力の影響で、下部工形状の過大化やウェブ内にPC鋼材が多数配置されることが懸念された。そこで、両橋台に仮支承を設置し、主桁部分の構築後、端支点部の剛結までT形ラーメン状態の未剛結期間を設けることで不静定力を低減させている。主桁の未剛結状況を写真-1に示す。

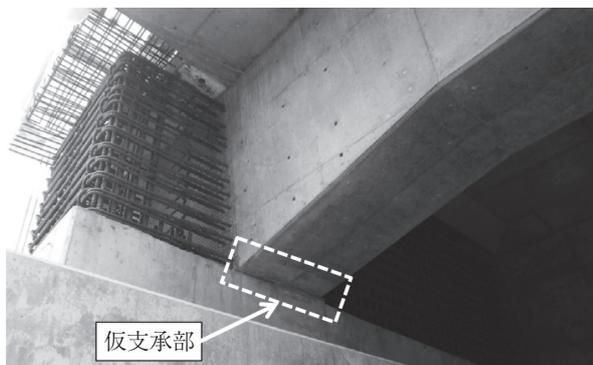


写真 - 1 未剛結状況

両橋台の仮支承部は、T形ラーメン構造の間、橋軸方向に対し円滑にスライドする必要があるため、風雨による材料の収縮や衰えの無い材料とする必要がある。また、本橋は積雪寒冷地であるため、凍結による損傷も防ぐ必要がある。さらに、剛結時の仮支承部の埋設を考慮して、仮支承に硬質塩化ビニール板(厚さ10mm×2層)を選定した。仮支承部の構造を図-11に示す。

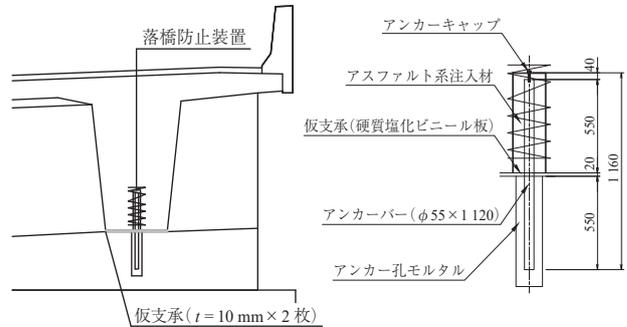
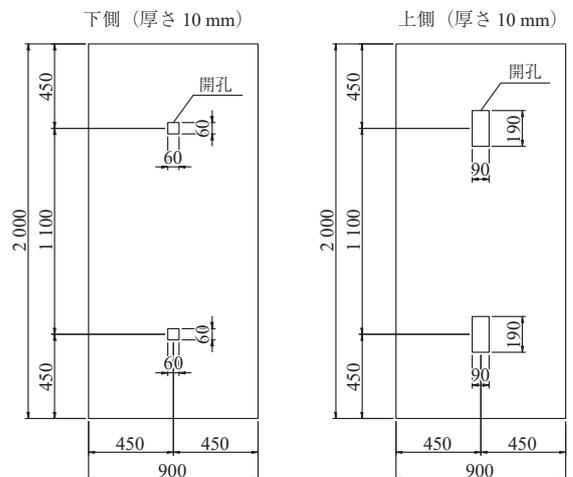


図 - 11 仮支承部構造図

幅900mm、長さ2000mmの塩化ビニール板を2枚重ねて主桁下面に設置し、未剛結時の主桁変位を範囲的に拘束するため、丸鋼型アンカーバー装置を設置した。下側の塩化ビニール板には、アンカーバー分の正方形開孔(60×60mm)を設け、上側の塩化ビニール板には未剛結期間の最大移動量となる地震時を考慮した長方形開孔(90×190mm)を設けた(図-12)。丸鋼型アンカーバーは、レベル1地震動に対してのみ機能するように設計し、機械構造用炭素鋼材(S35CN)を使用した。なお、未剛結期間中は、工事用道路として使用するため、未剛結時T形ラーメン構造におけるレベル2地震時の動的解析を行い、挙動を確認した。結果として、橋軸方向および橋軸直角方向ともにP1橋脚の上端および下端において降伏する結果が得られたため、レベル2地震動相当以上の地震が発生した際には、工事用道路の使用を中止し、各所点検する体制とした。



剛結前までに桁の移動を阻害しないよう190mmの長穴開孔を設置

図 - 12 塩化ビニール板詳細図

5. 栃洞谷橋の設計

5.1 非常駐車帯部の設計

A2側の主桁端部では、橋台ウイング部に非常駐車帯が計画されているため、幅員擦付け区間となっている。主桁端部の張出し床版長は、非常駐車帯による拡幅量を加えると最大3.925mとなることから、活荷重に対する支間長が3mを超過するため、道路橋示方書「T荷重による床版設計曲げモーメント算出式」の適用範囲を逸脱する。また、桁端部の床版であり床版の連続性が失われるため、活荷重を2倍にして検討する必要がある。そこで、道路橋示方書の曲げモーメント算出式の値とFEM解析結果からの曲げモーメントの値を比較検証し、道路橋示方書式適用の妥当性を確認したうえで、非常駐車帯部の床版部材厚とPC鋼材配置を検討した。その結果、主桁端部の張出し床版は、定着配置間隔の規定内でPC鋼材配置が困難となった。そこで、床版下面にコンクリート製ブラケットを設けたブラケット付き床版にすることで、床版をブラケットで支持した構造とみなせるため、活荷重の曲げモーメントを2倍とすることなく設計できる。コンクリート製ブラケット下面には、床版横締め鋼材によるプレストレス力と外側からの風荷重により引張力が作用するため、必要鋼材量を算出し鉄筋で補強した。断面図を図-13に、平面図を図-14に示す。

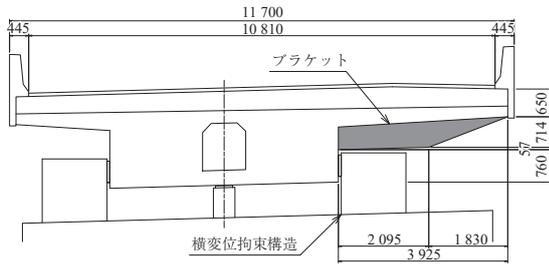


図 - 13 非常駐車帯部断面図

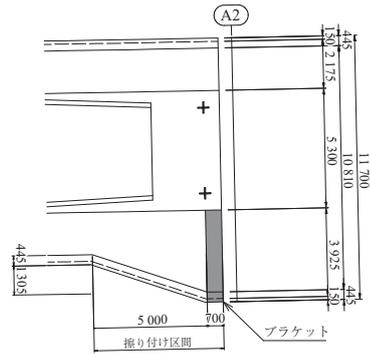


図 - 14 非常駐車帯部平面図

5.2 PC鋼材配置の検討

本橋は、5径間連続箱桁橋を3分割で施工することから、内ケーブルに1S28.6のプレグラウトPC鋼材、外ケーブルに19S15.2のECFストランド（内部充てん型エポキシ樹脂被覆PC鋼より線）を用いた内外併用構造としている。

当初設計のPC鋼材配置で主桁の応力度を検討した結果、死荷重+温度荷重作用時において、全設計断面がフルプレストレス状態となっており、PRC構造における方法Bの制限値に対して余裕があったため、配置鋼材量を検討した。

検討方法として、各施工区間に8本配置した内ケーブルを固定条件とし、外ケーブル配置量の増減を検討した。ここで、内ケーブル配置数を固定している理由は、分割施工となることで、施工途中で中間支点から施工継目までの区間に引張応力度が作用することを避けるためである。また、内ケーブルは、摩擦によるPC鋼材緊張力の減少量が大きいため、片引き緊張から両引き緊張に変更した。検討の結果、起終点の両側径間において、外ケーブル本数を2本ずつ削減することができた。検討結果を図-15に示す。別途、全外ケーブル構造の採用も検討したが、コンクリート・鉄筋・内ケーブル・外ケーブルの概算工事費で比較したところ、全外ケーブル構造より内外ケーブル併用構造の方が経済的であった。

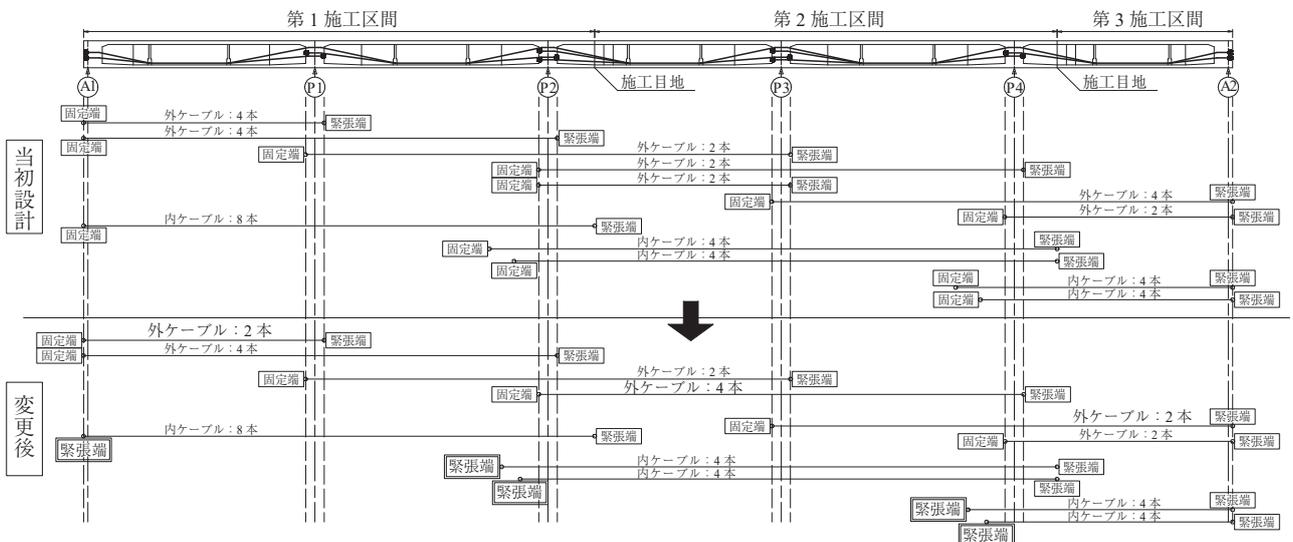


図 - 15 PC鋼材配置検討結果

6. 越ヶ谷橋の設計

6.1 張出し施工ブロック長の検討

P1-P2 径間の支間長は 134.0 m と長いので、P1 橋脚部の張出し施工長が 78.4 m となる。当初設計では、施工ブロック長を最大 3.2 m とし、25 ブロック (2@2.4 m + 23@3.2 m) の施工計画であったため、降雪量の多い時期の施工を避けるために設けられた約 8 ヶ月間 (4 ヶ月間×2 期分) の冬期休止期間を含むと張出し施工期間に約 20 ヶ月間を要する計画であった。しかし、工期を短縮する必要があったため、張出し施工のブロック割を見直し、最大施工ブロック長を 4.8 m に変更することで、張出し施工ブロック数を 16 ブロック (2.4 m + 15@4.8 m) に削減した。また、波形鋼板ウェブ同士の接合方法に溶接接合を採用しており、図 - 16 に示す波形鋼板先行設置型の移動作業車を使用することで、波形鋼板の架設から溶接作業を前ブロック施工と同時に施工することを可能とした。これにより、越ヶ谷橋全体の工程を 160 日間短縮することができた。

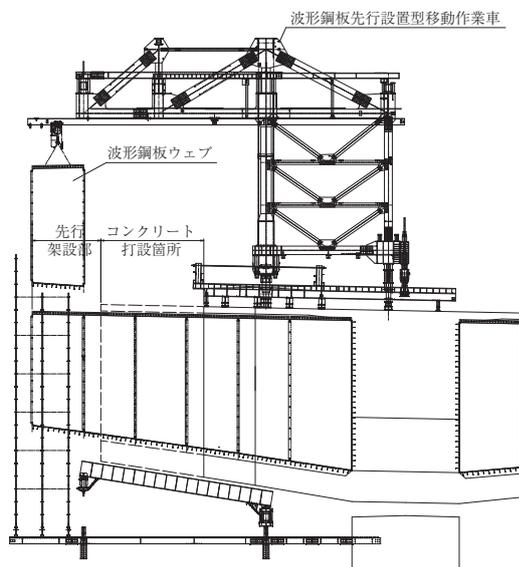


図 - 16 移動作業車

6.2 PC 鋼材配置の検討

PC 鋼材の配置は、コンクリートの充填性、緊張作業時の緊張ジャッキとの取り合い、仮固定部材などに配慮して決定した。本橋は、P1 張出し施工長 78.4 m に対して、上床版の全幅員が 9.7 m と狭いため、張出し施工時に必要な 12S15.2 の PC 鋼材を上床版内に全数配置することができなかった。そこで、配置できない PC 鋼材は、上床版下面に突起および隔壁を設け (以下、上床版突起)、PC 鋼材 19S15.2 を外ケーブルとして配置した。図 - 17 に上床版突起図を示す。上床版突起には、大容量の PC 鋼材を定着するため、大きな引張応力の発生が懸念された。そこで、道路橋示方書「定着具付近の補強」に基づく鉄筋の配置に加え、FEM 解析で引張応力の分布を確認し、局所的に引張応力が発生している箇所に鉄筋を配置した。上床版突起の形状を設定する際は、突起および隔壁を結合させること

で発生応力を分散させ、隅角部にハンチ形状を設けることで応力を円滑に伝達させるようにした。図 - 18 に FEM 解析結果を、写真 - 2 に完成した上床版突起を示す。

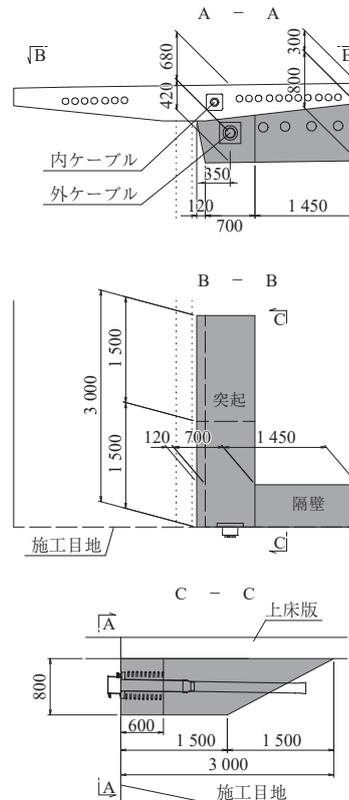


図 - 17 上床版突起図

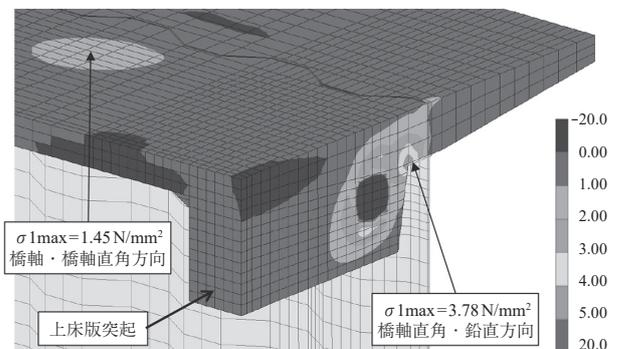


図 - 18 FEM 解析結果

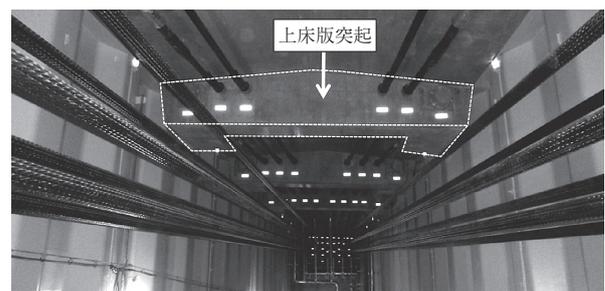


写真 - 2 施工完了

6.3 波形鋼板ウェブの設計

越ヶ谷橋 I 期線の構造形式は、PC 4 径間連続箱桁橋を採用している。一方、II 期線の構造形式は、交差条件となる①市道上小鳥 16 号線、②小鳥川、③国道 158 号が構造形式選定のコントロールポイントとなり、P1 橋脚および P2 橋脚の位置が制約されたため、波形鋼板ウェブ構造を採用している。

波形鋼板ウェブの材質および板厚の検討では、検討ケースとして、① SM400 材、② SM490 材、③ SM490Y 材、④ SM570 材、⑤ SM490Y 材と SM570 材との混合の 5 種類の中から経済性をもっとも優れるケースを採用した。検討の結果、SM490Y 材と SM570 材との混合がもっとも経済的であった。SM490Y の板厚検討において、板厚が 10 mm を超える箇所に SM570 材を適用することで、当初設計より経済性を 6% 程度改善することができた。

波形鋼板ウェブとコンクリートの接合部は、孔あき鋼板ジベル接合構造やツインパーフォボンドリブ構造などがこれまでの橋で採用されている。これらのなかから本橋では、上床版接合部にツインパーフォボンドリブ構造を、下床版接合部および横桁接合部部にアングル接合構造を採用した。とくに下床版接合部のアングル接合構造において、波形鋼板ウェブの下フランジが伏せ型枠となる点、コンクリートは片側一方向からの打設となる点を踏まえ、施工品質を確保しやすい工法を選定した。また、上フランジには型枠固定用の孔を設け、鋼板と型枠の密着度を高めることで不陸の発生や砂筋の発生を防止し、下フランジには空気抜き孔を設けることで下フランジ部のコンクリートの充填性を確保し、耐久性確保を図った。写真 - 3 に床版接合部を示す。

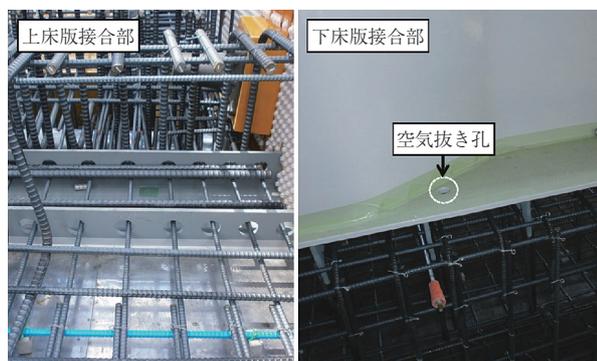


写真 - 3 上床版および下床版接合部

7. おわりに

本工事は、平成 30 年 11 月に竣工を迎えることができた。全景写真を写真 - 4 に示す。本稿が今後の橋梁設計の参考になれば幸いである。最後に、本工事に際し、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 - 4 全 景

参考文献

- 1) 有賀 瞬, 伊藤 拓, 今井平佳, 瀧澤快人: PRC 2 径間ポータルラーメン橋の設計の報告, 土木学会, 第 73 回年次学術講演会, V-581, pp.1161-1162, 2018.

【2019 年 2 月 28 日受付】