

鷺見橋（Ⅱ期線）の設計・施工

— 橋脚高さ 125 m を有する波形鋼板ウェブ箱桁橋 —

吉野 正道*1・今塩屋 勝*2・吉川 真仁*3・池谷 博文*4

鷺見橋（Ⅱ期線）は東海北陸自動車道 白鳥 IC～飛騨清見 IC 4 車線化事業のうち、高鷺 IC～ひるがの高原 SA/SIC 間に位置する橋梁である。橋脚高さは現日本一であるⅠ期線の 118 m を上回る 125 m となり、構造形式は最大支間長 139 m の PRC 4 径間波形鋼板ウェブ箱桁橋である。本橋梁地区は岐阜県内でも有数の豪雪地域であるため、冬期における施工が困難となる条件下、橋脚工には SPER 工法、上部工には Rap-Con 工法を適用し、急速施工に取り組んだ。本稿は鷺見橋（Ⅱ期線）工事における基礎工・橋脚工・上部工の設計・施工について述べるものである。

キーワード：高橋脚、急速施工、工程短縮、SPER 工法、Rap-Con 工法

1. はじめに

鷺見橋（Ⅱ期線）は東海北陸自動車道 白鳥 IC～飛騨清見 IC 4 車線化事業のうち内、高鷺 IC～ひるがの高原 SA/SIC 間に位置する橋梁である（図 - 1）。供用中のⅠ期線に隣接した位置に計画され、深い谷地形を横架する橋梁であるため、最大 125 m をはじめとした 3 基の高橋脚を有する PRC 4 径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ箱桁橋である。本橋梁地区は岐阜県内でも有数の豪雪地域であり、厳しい気象条件の下での施工となるため、橋脚工には SPER 工法、上部工には Rap-Con 工法を適用し、急速施工に取り組んだ。本稿は鷺見橋（Ⅱ期線）工事における基礎工・橋脚工・上部工の設計・施工について述べるものである。

2. 橋梁概要

鷺見橋（Ⅱ期線）の橋梁概要・諸元を表 - 1 に、全体一般図を図 - 2 に示す。本橋の最大の特徴は高さ 125 m の高橋脚であり、これまで日本一の高さを誇るⅠ期線 P2 橋脚（118 m）を上回る。基礎形式は大口径深礎杭、橋脚形式は RC 中空断面橋脚である。冬季は積雪により施工期間が限定されることから、工程を短縮し、併せて品質向上も考慮して、工程上クリティカルとなる P1・P2 橋脚にハーフプレキャスト部材を用いた橋脚の急速施工法「SPER 工法」を採用した。また、橋脚構造には、Ⅰ期線で採用実績のある高強度コンクリート（設計基準強度：50 N/mm²）と高強度鉄筋（降伏強度：685 N/mm²）による高強度材料を適用したり。上部工においても「Rap-Con 工法」により急速施工に取り組み、波形鋼板ウェブ構造を採用することで上部構造を軽量化し、橋脚断面寸法の縮小化を図っている。

表 - 1 橋梁概要・諸元

工事名	東海北陸自動車道 鷺見橋工事		
発注者	中日本高速道路株式会社 名古屋支社		
工事場所	岐阜県郡上市高鷺町鷺見地内		
工期	平成 25 年 6 月 29 日～平成 30 年 12 月 29 日		
橋長	459.0 m		
道路規格	第 1 種第 3 級 B 規格 $V = 80$ km/h		
荷重	B 活荷重		
形式	PRC 4 径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ箱桁橋		
架設方法	片持ち架設工法		
支間	107.0 + 139.0 + 134.0 + 79.0		
幅員	10.950 m	斜角	90°
横断勾配	6.0%～4.5%	縦断勾配	3.267%

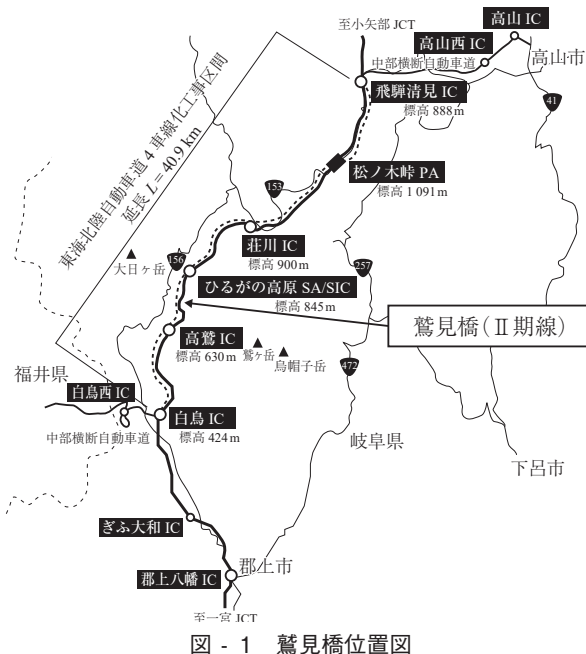


図 - 1 鷺見橋位置図

*1 Masamichi YOSHINO：三井住友建設（株）土木本部 土木設計部 PC設計グループ 課長

*2 Masaru IMASHIOYA：中日本高速道路（株）名古屋支社 岐阜工事事務所 高鷺荘川工事区 工事長

*3 Masahito YOSHIKAWA：中日本高速道路（株）名古屋支社 岐阜工事事務所 高鷺荘川工事区

*4 Hirofumi IKEYA：三井住友建設（株）中部支店 鷺見橋作業所 所長

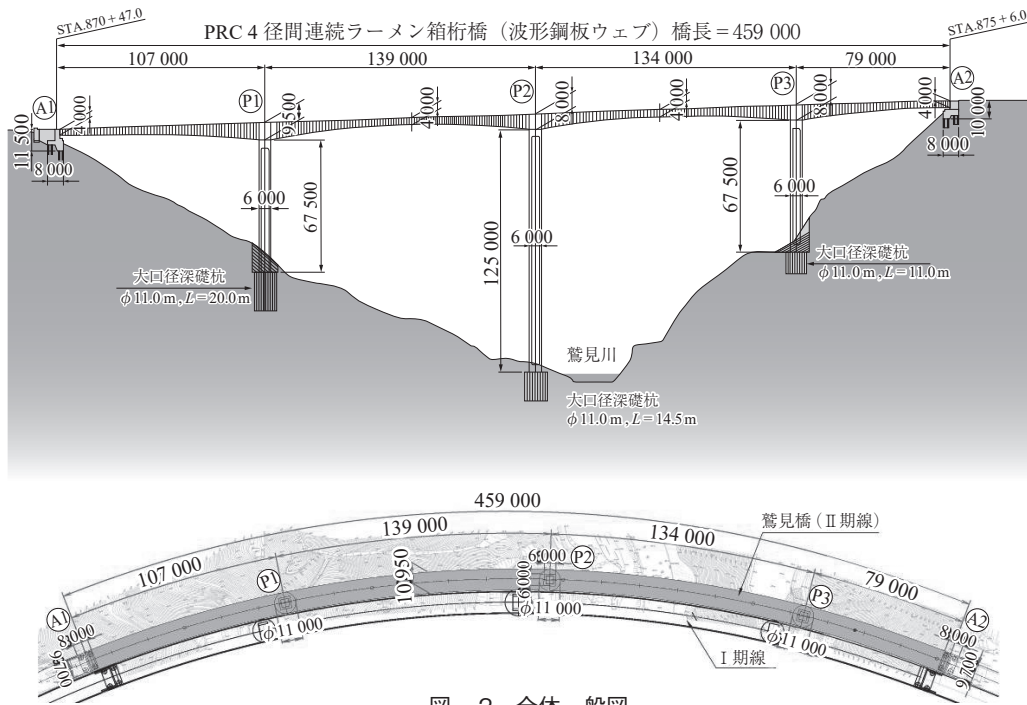


図 - 2 全体一般図

3. 設 計

3.1 基礎工の設計

本橋の基礎形式は、橋脚はすべて大口径深礎杭、橋台は組杭深礎形式である。隣接している I 期線の橋脚基礎形式も同様であり、大口径深礎杭の離れは中心距離で 17.9 m ~ 20.0 m であるため、隣接の影響が無いか確認したうえで位置および形状を決定した¹⁾。

とくに P1 橋脚位置は DM ~ CH 級の層が複雑に入り込んだ地層構成となっているため、硬質な CH 級の岩盤にまで確実に届く杭長である 20.0 m とした。その結果、I 期線の杭長と同じになった。P1 橋脚付近の地層構成を図 - 3 に示す。

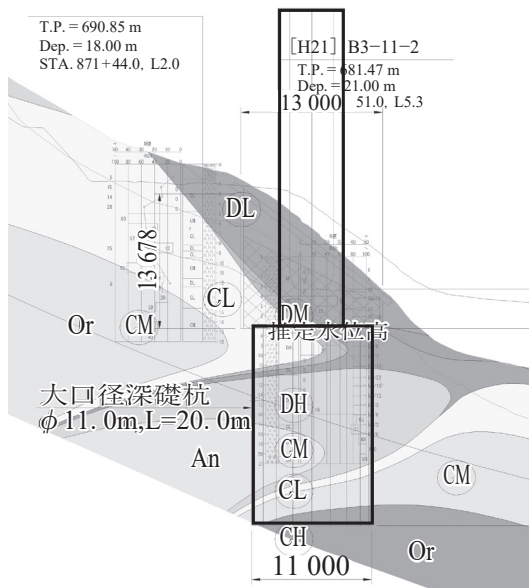


図 - 3 P1 橋脚付近の地層構成

3.2 橋脚工の設計

橋脚形状は I 期線と異なり、断面変化をしない構造として、すべての橋脚において 6.0 m の正方形中空断面とすることで、施工性の向上を図っている。もっとも高い P2 橋脚と供用に向けたクリティカルパスとなる P1 橋脚において、急速施工を目的として SPER 工法を採用した。SPER 工法とは、工場にて製作したハーフプレキャスト部材（以下、PCa 部材と記す）を用いて橋脚を構築する急速施工方法である。PCa 部材は、帯鉄筋・中間帯鉄筋を PCa 部材にあらかじめ埋設した構造とすることで、現場における型枠と鉄筋配置作業を同時に削減することを目的としている。PCa 部材イメージ図を図 - 4 に示す。

PCa 部材を用いた橋脚は、PCa 部材と中詰めコンクリートとの界面および PCa 部材同士の接合面（水平継目）を一体とした全断面有効の構造部材とし、道路橋示方書に準拠した従来の鉄筋コンクリート構造部材として設計した。

また、PCa 部材は型枠としても機能するため、中詰めコンクリート打込み時の側圧や水和反応による発熱の影響を施工時に受ける。そのため、施工中の応力状態を FEM 解析を実施して確認している。

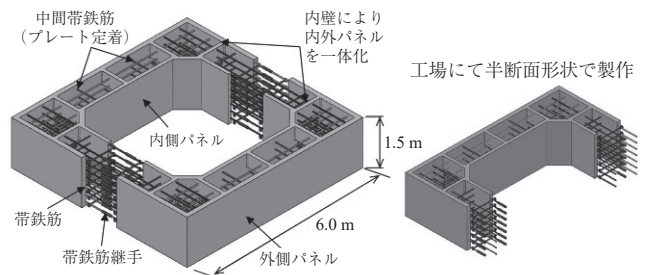


図 - 4 Pca 部材イメージ図

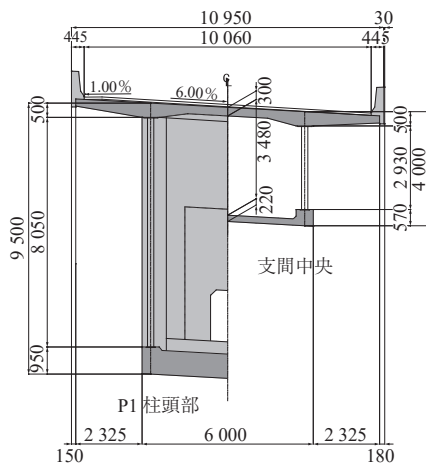


図 - 5 主桁断面図

3.3 上部工の設計

上部構造は波形鋼板ウェブ構造として軽量化を図り、橋脚断面、基礎形状の縮小化を実現している。主桁断面図を図 - 5 に示す。架設工法に Rap-Con 工法を採用して橋脚工と同様に急速施工に取り組んだ。Rap-Con 工法とは、波形鋼板上に架設作業車を設置して、複数ブロックで同時に施工し効率化を図る工法である (図 - 6)。本工法で実績の多いブロック長は 4.8 m であり、P2 および P3 張出しでは 4.8 m ブロックとしたが、P1 張出しではさらなる工程短縮を目的として 5.6 m ブロックを採用した。波形鋼板ウェブの接合方法はアングルジベル方式としている。

また、本橋は平面線形が $R=605\text{ m}$ であるため、平面線形を考慮した上部工の設計を行った。具体的には活荷重の偏載によるねじりの影響や外ケーブルの偏向部に作用する面外方向力があげられる。偏向部は鉛直分力のみではなく、水平 (面外) 方向の影響も考慮して部材厚や補強鉄筋量を決定した。水平方向のみに偏向する幅 500 mm の隔壁なども設置して、外ケーブルを配置した。波形鋼板の板厚においても、3次元骨組解析により算出した活荷重や外ケーブル偏向力により発生するねじりモーメントによるせん断応力の影響を考慮して設定し、最大板厚は 15 mm となった。材質は張出し長の長い P1 では SM570 材とし、そのほかは SM490Y 材を使用している。

さらには、積雪寒冷地であることから雪荷重を考慮している。完成時においては除雪の実施を前提に積雪高さを設定し、活荷重載荷時は有効幅員全幅に 0.1 m、活荷重不載荷時は 1.69 m とした。冬期施工時には除雪できない状況を想定して 2.09 m とした¹⁾。

3.4 耐震設計

当初計画時の隣接する I 期線との離れは 2 cm と小さく、地震時に高橋脚の橋梁同士の衝突が予想されたため、平面線形の変更により離れを約 50 cm とし、L1 地震時には壁高欄同士が衝突せず、計画高さを下げて、L2 地震時には張出し床版同士が接触しない高さ関係とした。さらには、I 期線と II 期線の 2 連の動的解析モデルにより衝突範囲を確認したうえで、衝突時には壁高欄の損傷のみでとどめるよう床版の鉄筋量を設定した。衝突範囲およびその影響範

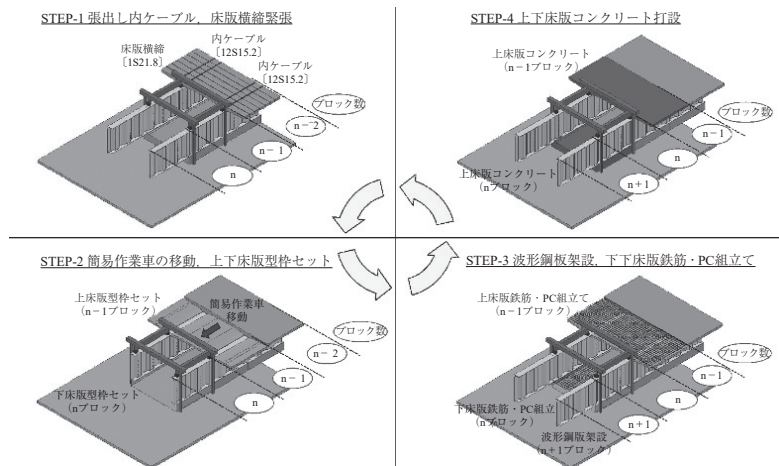


図 - 6 Rap-Con 工法概要図

囲の橋軸直角方向の下側鉄筋をランクアップして張出し床版の正曲げに対する耐力を向上させた¹⁾。また、壁高欄の損傷を緩和することを目的として、II 期線側の壁高欄外側には平均 3.5 m 間隔で緩衝ゴムを設置することとした。

なお、橋脚主鉄筋は SD685 を用いて設計荷重時、架設地震時および L1 地震時に必要な鉄筋量を配置したところ、L2 地震時には橋脚部材は降伏しない結果となった。

3.5 維持管理に配慮した設計

桁端部には通常設置する防水工に加え、伸縮装置の位置を橋台側にシフトし、その下には排水溝を設けるセットバックジョイント構造を採用した。これにより伸縮装置からの雨水の漏れがあった場合においても、橋座面に水が浸入しないため、支承などの鋼部材の腐食リスクが低減できる。従来構造との比較を図 - 7 に、完成写真を写真 - 1 に示す。

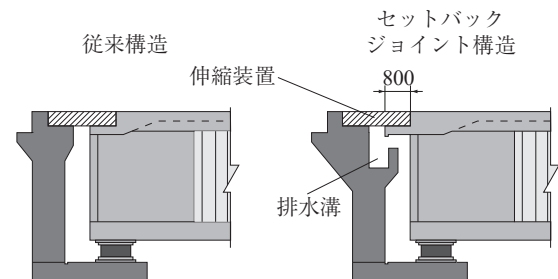


図 - 7 セットバックジョイント概念図

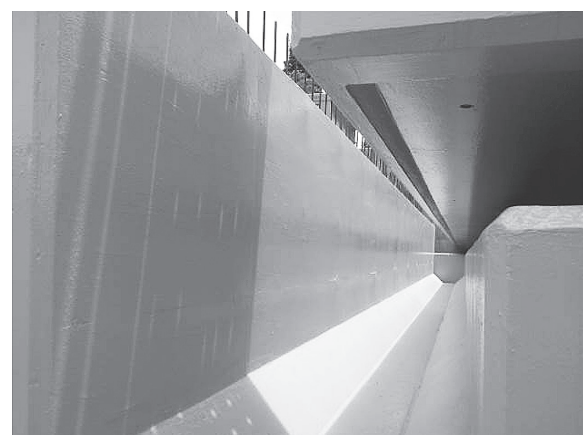


写真 - 1 セットバックジョイント

4. 施 工

4.1 準備工の施工

本体工の施工を実施するため、鷺見橋工事では図 - 8 に示す仮栈橋を構築した。山間部の橋梁のため、P3 橋脚を除くすべての下部工施工位置に栈橋を構築している。急斜面上での施工となるため、最大 GL+37m の杭長となる箇所がある大規模なものとなった。さらには岩が露出している箇所もあり、ダウンザホールハンマーを用いた杭打設を行った。P1 橋脚への栈橋工は工程短縮のため除雪を行いつつながら冬期施工を実施し、約 12 ヶ月を費やした。

4.2 基礎工の施工

基礎の構築に先駆け、斜面上の P1 および P3 橋脚位置には竹割り型土留め工を施工した。リングビームを構築後、モルタル吹付け+ロックボルトを施しながら掘削を行った。

P3 橋脚位置においては、I 期線施工時の切土法面に径 13m 高さ 17m の規模の竹割り型土留め工を 58° の急勾配を有する箇所に構築した。完成状況を写真 - 2 に示す。

大口径深礎の掘削は発破により掘り下げながら、リング

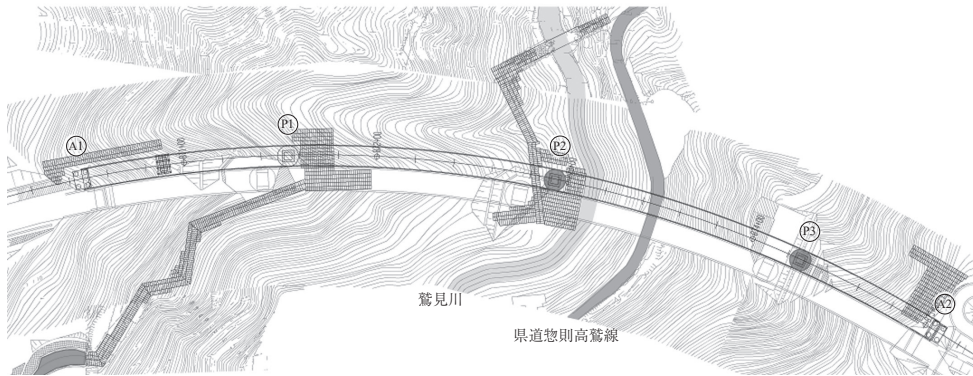


図 - 8 栈橋工平面図

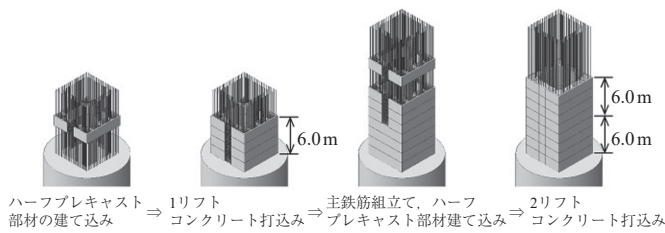


図 - 10 SPER 工法施工概念図

支保工を設置し、竹割り型土留め工と同様にモルタル吹付け+ロックボルトにて施工を行った (写真 - 3)。

隣接する I 期線への影響に配慮し、竹割り型土留め工および大口径深礎工施工時には動態観測を実施し、異常となる変位が発生していないことを確認しながら施工を行った。

4.3 橋脚工の施工

P1, P2 橋脚に採用した SPER 工法では、工場で製作された PCa 部材を現場へ搬入し、主鉄筋の組立て後にクレーンを用いて建て込み、間詰め部に型枠を設置したあと、内部にコンクリートを打ち込み橋脚を構築する。P2 橋脚のリフト割りを図 - 9 に、SPER 工法施工概念図を図 - 10 に示す。

1 施工サイクルは、高さ 12.0m を 2 リフトに分けて構築するものであり、①足場組立て、②主鉄筋組立て、③ PCa 部材建て込み、④型枠設置・中詰めコンクリート打込み、の順で実施した。1 リフトは PCa 部材を 4 段積み重ねたあとに高さ 6.0m の中詰めコンクリートを打ち込んで構築する。

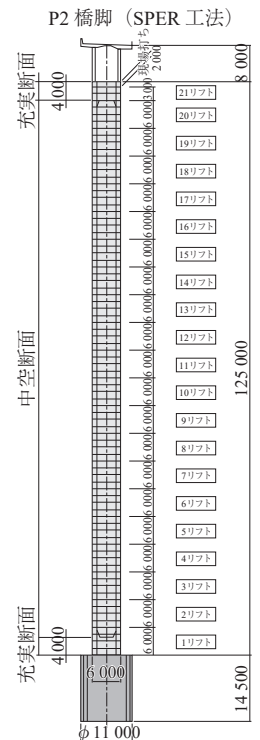


図 - 9 P2 橋脚

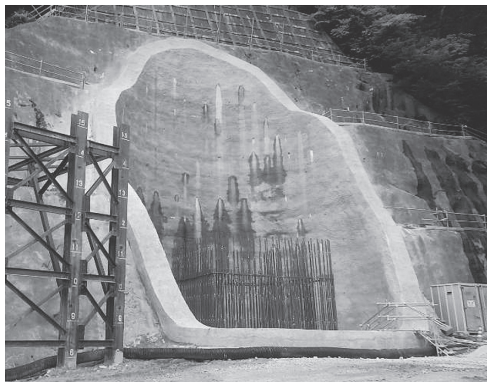


写真 - 2 竹割り型土留め工 (P3)



写真 - 3 大口径深礎施工状況



写真 - 4 プレキャスト部材架設状況

プレキャスト部材により中詰めコンクリートを外気から保護した状態となるため、寒冷地における低温の影響を最小限に抑えるとともに、従来の型枠施工のような型枠取り外しによる急激な温度低下や乾燥の影響を回避できる。また、本施工に先立ち、実物のPCa部材を用いて工場での製作から運搬、PCa部材の架設、中詰めコンクリートの打込みまで、一連の作業についての試験施工を行い、品質および安全性・施工性の確認を行った³⁾。

本工事では1サイクル（2リフト12.0m）に要する施工日数としては、SPER工法では最短で実働14日となり、従来工法による実働23日に対し、最大約40%の短縮を実現した。充実断面部の施工なども含めた橋脚工全体では21%の工程短縮を達成している。施工状況写真を写真 - 4に、P2橋脚完成写真を写真 - 9に示す。

4.4 高橋脚橋梁でのコンクリート打設

高橋脚におけるポンプ圧送が厳しくなることが予想されたため、橋脚のコンクリート打設時は大型バケットを利用して施工を行った（写真 - 5）。上部工打設時には大型バケットで橋面まで揚重したあと、柱頭部に設置した定置式ポンプによりブロック先端まで圧送する手法とした。高所へのポンプ圧送が無い場合、ポンパビリティの確保が不要となり、単位水量の低減が可能となり材料分離抵抗性の向上を図ることができた。

4.5 I期線との隣接施工

供用中のI期線との離隔は50cm程度であるため、揚重



写真 - 6 柱頭部施工状況



写真 - 5 大型コンクリートバケット

作業時に吊荷がI期線にはみ出すことが懸念された。そこで、タワークレーンのジブ先端にカメラとGNSS（GPS）クレーン位置管理システムを設置した。この管理システムは吊荷位置がI期線に近づくとき警報が鳴り、さらに近づく方向への操作ができなくなるシステムである。

さらには、フック先端に回転誘導装置を取り付け、オペレーターが合図者と連絡を取りながら自由に吊荷の向きを調整し、I期線へのはみ出しを防止するとともに高所における取回し作業を低減した。

4.6 上部工の施工

架設作業車の組立てスペースより柱頭部長さは10.4mと必要最低限の大きさとして、高所に設置する柱頭部バケット鋼材重量を低減した。柱頭部においても橋脚と同様大型バケットによる打設を行った（写真 - 6）。

Rap-Con工法では架設作業車を波形鋼板ウェブ上のフランジにて支持するため、パネル継ぎ目では上下フランジを添接板でボルト接合している。P1張出し施工においては5.6mの大型ブロックを採用したため、架設作業車の大型化によりフランジおよび添接板に作用する断面力が大きくなる。そこで、P1張出しの波形鋼板ウェブにはSM570材を適用した。さらには架設作業車上には積雪が残らないよう傾斜を設けた屋根を設置し、雪荷重が作用しない構造として、波形鋼板への負担を軽減するよう配慮した（写真 - 7）。

Rap-Con工法を適用したことで、P2およびP3張出しの4.8mブロック、P1張出しの5.6mブロックにおいて、と



写真 - 7 P1架設作業車

○ 工事報告 ○

もに実働9日/ブロックを達成し、急速施工による工期短縮を実現することができた（ただし、P1張出し施工における冬期の除雪作業が発生した場合を除く）。

4.7 閉合部の施工

閉合部においても工程短縮を目的として、架設作業車を用いて施工する方法とした。上部工の構築はP3張出し→P2張出し→P1張出しという順序であったため、P2～P3閉合部はP2張出しの架設作業車、P1～P2閉合部はP1張出しの架設作業車を用いた。高橋脚のP2においては張出し施工が完了したのが平成29年の10月であり、冬期に入る前に使用しないP1側の架設作業車を解体する必要があった。しかしその場合、作業車の荷重がアンバランスとなることにより、高橋脚の曲げ変形がP3側に倒れる方向に発生する。そのためP2～P3閉合部が狭くなり、閉合パネルが落とし込めない状況になることが懸念された。そこで、波形鋼板下側のコンクリートウェブ部を利用して水平ジャッキにより押し広げて閉合パネルの架設スペースを確保した。イメージ図を図-11に施工状況を写真-8に示す。



写真-8 閉合部施工状況（水平ジャッキ）

5. おわりに

鷺見橋工事の設計施工について述べた。高橋脚を有し、I期線との隣接という条件の下、プレキャスト部材を有効活用するなどの急速施工に取り組んだ。鷺見橋における施工方法は工程短縮・省人化効果に加え、作業期間の短縮による安全性の向上や周辺環境への影響低減（振動・騒音）、工場製作による高品質化など、その効果は多岐にわたると考えられ、生産性の向上に寄与できる。平成30年7月現在、上部工の張出し施工を終えて、橋面工を施工中である（写真-10）。平成30年12月のしゅん功に向けて、最期まで安全に施工を進める所存である。本稿が同種橋梁の計画・設計・施工の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 関 哲明, 酒井修平, 塩田良一, 諸橋 明: 東海北陸自動車道 鷺見橋 (II期線) の維持管理と近接影響を考慮した計画・設計, コンクリート工学, Vol.52, No.8, pp652-658, 2014.
- 2) 山口岳思, 丸山健太郎, 早川慎治, 岩立次郎: 東海北陸自動車道 (白鳥IC～飛騨清見IC) 4車線化事業における取り組み, コンクリート工学, Vol.54, No.7, pp719-724, 2016.
- 3) 富山茂樹, 今塩屋勝, 吉川真仁, 池谷博文: 高さ125mの橋脚を有する東海北陸自動車道鷺見橋 (II期線) 工事 - ハーフプレキャストを適用した橋脚の急速施工 -, コンクリート工学, Vol.55, No.10, pp894-899, 2017.

【2018年7月2日受付】

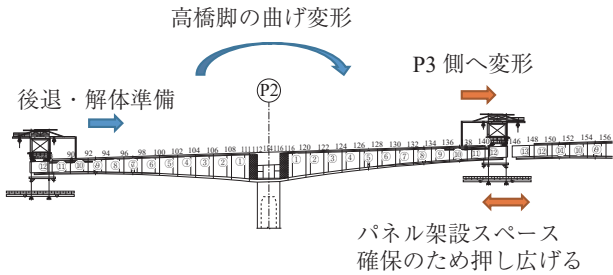


図-11 閉合部施工時の変形イメージ



写真-9 P2橋脚完成全景



写真-10 全景写真（平成30年7月撮影）