

国道 49 号揚川改良 揚川橋新設工事の設計・施工 — 上下部一体のデザイン&ビルド型橋梁工事 —

曾我部 直樹*¹・佐藤 忠宏*²・黒川 篤*³・矢野 一正*⁴

国道 49 号揚川改良揚川橋新設工事は、一般国道 49 号線のバイパス計画の一部であり、上下部一体のデザイン&ビルド型橋梁工事である。本橋は、豪雪地帯である新潟県阿賀町の阿賀野川に架設される橋梁であり、寒冷地における交通への配慮、耐久性の確保、維持管理の容易性、阿賀野川に調和する景観性が求められた。上部工では、これらの要求事項を満足しつつ、さらに建設コストを縮減できる工夫として、PC 3 径間連続ラーメン箱桁橋の採用、高強度コンクリートの適用、ウェブ厚さの低減、斜めウェブの採用、塩害地域を対象としたかぶりの設定を行った。さらに、外ケーブルにおける三重防食 PC 鋼より線の適用や地覆や打継目部に対する浸透性吸水防止剤の塗布等、PC 鋼材や付帯構造物の耐久性向上を目的とした対策も実施した。また、施工においては、上記の特徴を有する上部工におけるコンクリート打設時の品質確保や、張出し施工におけるアンバランス施工時の上げ越し管理、斜めウェブを有する柱頭部での効率的な外ケーブル緊張等が課題であった。

本報告では、揚川橋新設工事における設計上の工夫と、上部工の施工実績について報告する。

キーワード：高強度コンクリート、斜めウェブ、三重防食 PC 鋼より線、中流動コンクリート、上げ越し管理

1. はじめに

国道 49 号揚川改良は、一般国道 49 号の岩石崩壊および雪崩の危険を解消する目的で、新潟県東蒲原郡阿賀町津川～同町黒岩に延長 7.5 km のバイパス道路を建設する計画である。このうち揚川橋新設工事は、一級河川阿賀野川を渡河する延長 360 m の PC 3 径間連続ラーメン箱桁橋の架橋工事である（写真 - 1、図 - 1）。架橋位置の下流 450 m には揚川ダム（東北電力）があることから、河川部はダム湖となっている。

本工事は総合評価落札方式（高度技術提案型（Ⅱ型））

による上下部一体のデザイン&ビルド型の橋梁工事であり、その設計・施工においては、河積阻害率の制限を考慮した構造形式、寒冷地における交通への配慮、耐久性の確保、維持管理の容易性、阿賀野川に調和する景観性への配慮がとくに求められた。

本橋の上部工では、上記の要求事項を満足しつつ、建設コストを縮減できる工夫として、PC 3 径間連続ラーメン箱桁橋の採用、設計基準強度 50 N/mm² の高強度コンクリートの適用とそれによるウェブ厚の低減等の軽量化、斜めウェブの採用、凍結防止剤に起因する塩害に対応したかぶりの設定などを行っている。また、外ケーブルにおける三重防食 PC 鋼より線の適用や、地覆に対する浸透性吸水防止剤の塗布など、PC 鋼材や付帯構造物の耐久性向上を目的とした対策も実施した。

施工では、厚さが薄い斜めウェブのコンクリート打設における品質確保や張出し施工におけるアンバランス施工時の上げ越し管理、桁高が高く斜めウェブを有する柱頭部での効率的な外ケーブル緊張が課題となった。これらの課題に対しては、スランプフローが 45 cm 程度である中流動コンクリートのウェブへの部分的な適用、上げ越し管理システムによる上げ越し管理の高精度化、軽量のシングルストランドジャッキによる外ケーブルの緊張等によって、品質、出来形の確保、施工の効率化を図った。

ここでは、寒冷地におけるデザイン&ビルド型橋梁工事である揚川橋の設計上の工夫と、その施工実績について報告する。



写真 - 1 上部工施工時現場全景

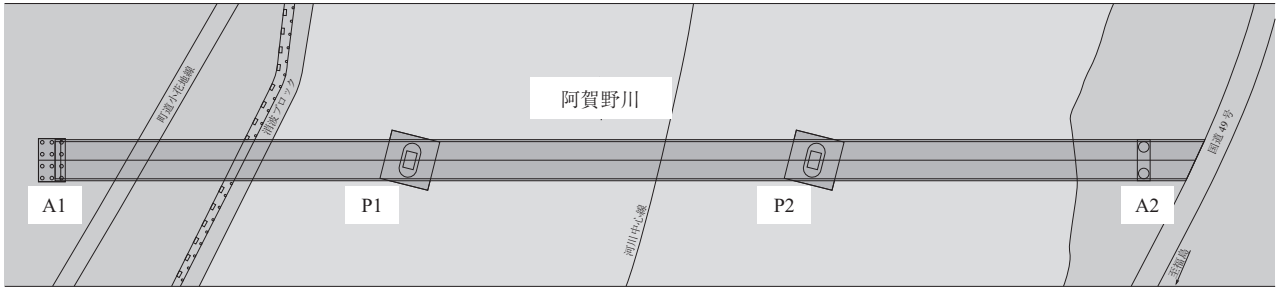
*¹ Naoki SOGABE：鹿島建設（株）土木管理本部

*² Tadahiro SATO：鹿島建設（株）土木管理本部

*³ Atsushi KUROKAWA：鹿島建設（株）北陸支店

*⁴ Kazumasa YANO：鹿島建設（株）土木設計本部

平 面 図



側 面 図

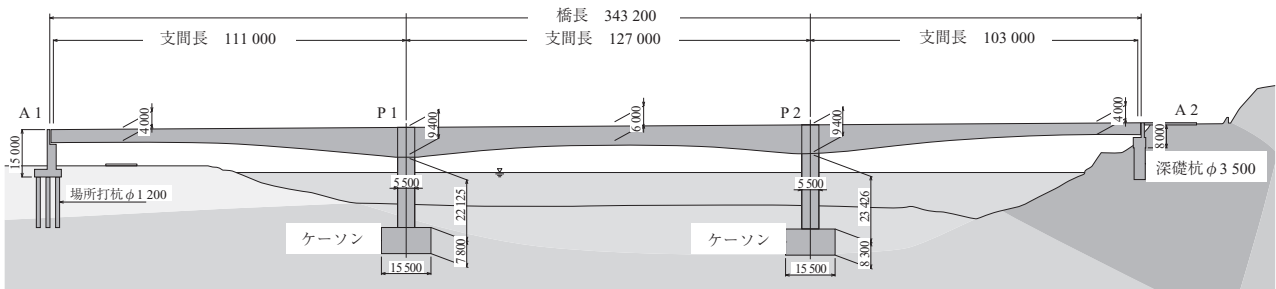


図 - 1 全体一般図

2. 工事概要

2.1 一般条件

工 事 名：国道49号揚川改良 揚川橋新設工事

発 注 者：国土交通省北陸地方整備局新潟国道事務所

設 計 者：下部工：(株)大本組

上部工：鹿島建設(株) 土木設計本部

施 工 者：鹿島・大本異工種建設工事共同企業体

工事場所：新潟県東蒲原郡阿賀町小花地地先

工 期：2009 (H.21). 3.5 ~ 2013 (H.25) 3.29

設計範囲：橋梁上部工，橋梁下部工，橋台工，橋梁舗装工，道路付属物工 各1式

施工範囲：橋梁上部工，橋梁下部工，橋台工，橋梁舗装工，道路付属物工 各1式

橋 長：343.2 m

支 間 割：111.0 m + 127.0 m + 103.0 m

幅 員：1.25 m + 2 × 3.50 m + 1.25 m + 2.50 m

線 形： $R = \infty$

勾 配：縦断：0.75 %

横断：2.0 %

上 部 工：PC 3 径間連続ラーメン箱桁橋

下 部 工：P1, P2：小判型 RC 中空橋脚

A1, A2：逆 T 式橋台

基 礎 工：P1, P2：ケーソン基礎

(鋼殻吊降ろし式ニューマチックケーソン)

A1：場所打ち杭

A2：深礎杭

2.2 揚川橋の特有の条件と要求事項

揚川橋の架橋位置には，以下の特有の条件があった。

- ダム湖内に橋脚を設置する場合には，河積阻害率を 5.0 % 以内に留めなければならない。
- 基本条件書により橋脚設置可能位置が定められており，3 径間とした場合，中央径間長に対する側径間長の比が大きくなる。
- 揚川橋が架設される阿賀町は豪雪地帯であり，降積雪や雪害，さらには凍結防止剤に対する配慮が必要となる。
- 阿賀野川水面については，阿賀野川ライン県立自然公園に指定されているため，新潟県立自然公園条例の適用を受け，周辺の景観に配慮しなければならない。

上記の条件等に基づき，揚川橋の計画においては，以下の点に配慮することが特に求められた。

- 寒冷地における通行時の安全性
- 寒冷地における耐久性
- 維持管理の容易さ
- 阿賀野川に調和する景観性への配慮

3. 揚川橋の上部工の設計

前述の要求事項に対して，揚川橋の設計では，以下の点が重要視された。

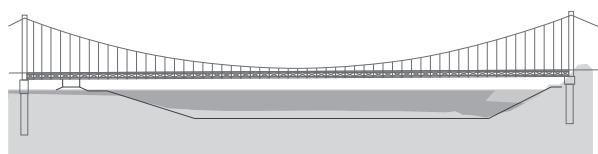
- 橋梁本体がメンテナンスフリーであり，実績の多いコンクリート橋とすること
- 点検箇所を大幅に削減できる構造形式
- 雪害および凍結防止剤に対する各種配慮
- コンクリート，PC 鋼材，および橋梁付属物の耐久性向上により，維持・補修作業を回避できる構造
- 建設コストの縮減

以下では，これらを反映させた設計上の特徴について示す。

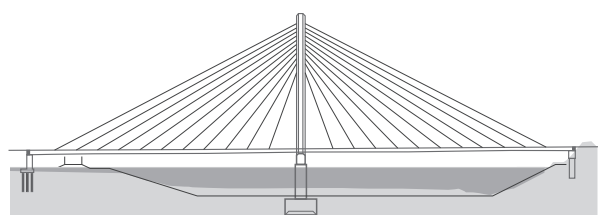
3.1 PC 3 径間連続ラーメン箱桁橋の採用

構造形式の選定においては、図 - 2 に示すように、単径間の吊橋形式、2 径間の斜張橋形式、3 径間の PC 連続ラーメン箱桁橋形式について、比較検討を行った。その結果、施工実績が多いこと、基本条件書に定められる橋脚設置可能位置を満足できること、その他 2 案に比べて施工コストが安価となることから、PC 3 径間連続ラーメン箱桁橋を採用した。同構造の利点は、主要構造部材をすべてコンクリートとし橋梁全長を連続化することで、支承および伸縮装置の設置が桁端のみに限定され、維持管理を必要とする箇所の最少化を図ることができることである。さらに、吊橋やエクストラード橋のように、橋面上空に主塔や斜材等が存在せず、維持管理作業が軽微であるとともに落雪・落水が発生しないため、冬期の交通性においても有意である。

ただし、河積阻害率を 5.0 % 以内に留める必要性から橋脚設置が制約され、中央径間に対する側径間の比が、一般的な連続ラーメン橋よりも大きくなっている（図 - 1）。



1 径間吊橋形式



2 径間斜張橋形式



3 径間 PC 連続ラーメン箱桁橋形式

図 - 2 構造形式の比較

3.2 高強度材料の適用と軽量化

揚川橋の上部工では、設計基準強度 50 N/mm² の高強度コンクリートを適用した。これは、コンクリートの強度を高めることで所要の耐久性を確保しつつ、部材厚を小さくすることによる軽量化、コンクリートの施工数量の低減を目的としたものである。設計では、図 - 3 に示すように、側径間側のウェブ厚が 250 mm、下床版厚が 270 mm となっている。

3.3 斜めウェブの採用

図 - 4 に示すように斜めウェブを採用することで、下

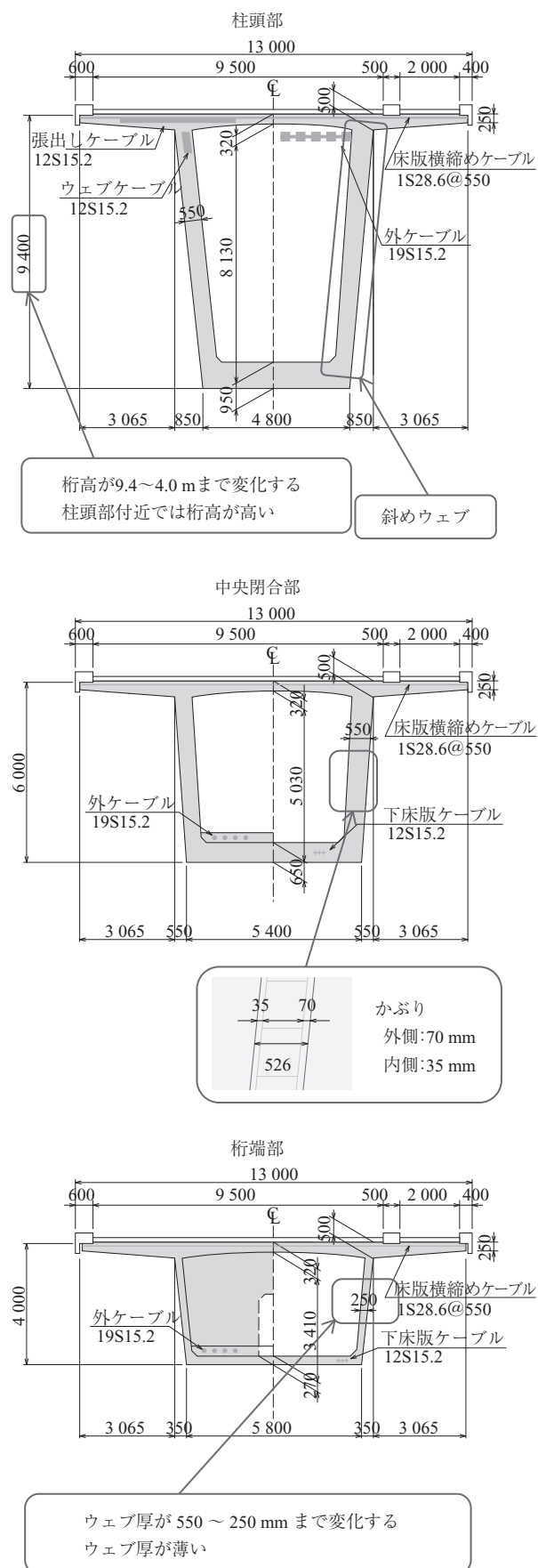
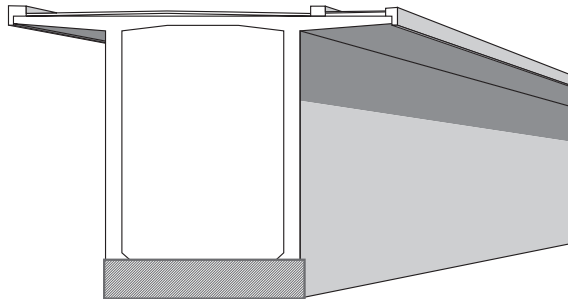
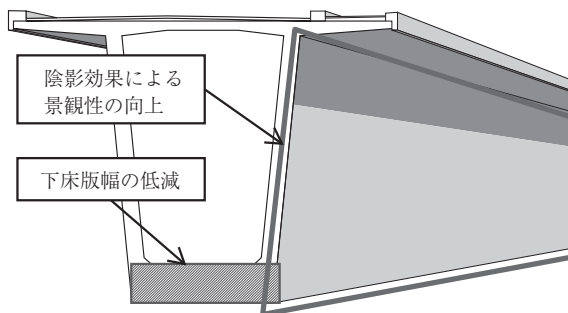


図 - 3 上部工の断面図

床版幅の低減による上部工の軽量化，下部工断面の縮小化を図った。なお，斜めウェブは陰影効果により地覆ラインを明るく目立たせる役割も果たす。これは橋梁を美しくシンプルに見せ，かつ地覆ラインと阿賀野川の水面ラインに統一性が付与され，周辺環境との調和に寄与する。



直ウェブの場合



斜めウェブの場合

図 - 4 斜めウェブの採用

3.4 寒冷地における耐久性への配慮

揚川橋の架橋地点である阿賀町は豪雪地帯であるため，冬季には凍結防止剤が散布される。そのため凍結防止剤に起因する塩害に対し，コンクリート，鉄筋，PC 鋼材の耐久性の向上を図る必要がある。揚川橋では下記の提案により耐塩害性の確保を図った。

(1) 塩害対策区分Ⅰのかぶりの適用

凍結防止剤に起因する塩分に対する対策として，上部工のかぶりを塩害対策区分Ⅰの 70 mm の厚さとした。

(2) PC 鋼材の耐久性の向上

PC 鋼材の防食対策として，外ケーブルに対する防錆グラウトキャップ，三重防食 PC 鋼より線（図 - 5）を採用した。三重防食 PC 鋼より線は，PC 鋼より線に高品質エポキシ紛体塗装を施した防食鋼材を，高密度ポリエチレンで被覆した上に，その隙間に防食層として WAX グラウトを封入した PC ケーブルである。

(3) 付帯構造物の耐久性の向上

路面に散布された凍結防止剤に起因する塩分が，もっとも飛沫するのが地覆である。そこで，揚川橋では，地覆コンクリートへの塩化物イオンの浸透抑制を目的として，地覆表面全体に対して，浸透性吸水防止剤を塗布した。適用した浸透性吸水防止剤は，コンクリート構造物の延命化を目的に開発されたシラン・シロキサン系高性能浸透性吸水

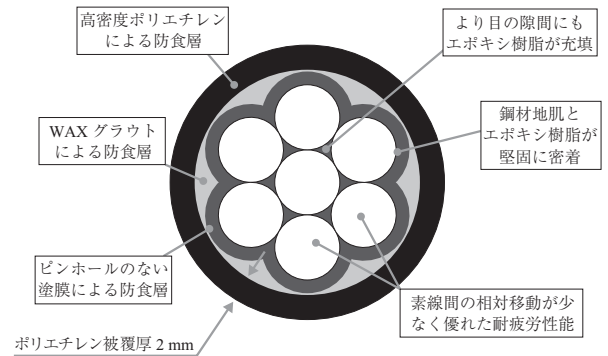
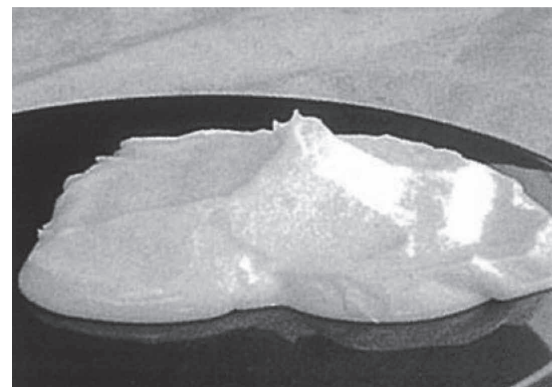


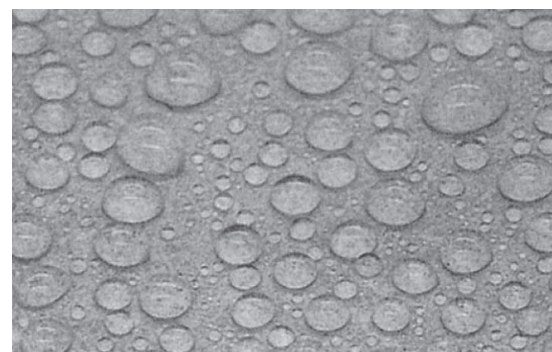
図 - 5 三重防食 PC 鋼より線

防止剤¹⁾である。本材料は，コンクリートに浸透しやすくかつ揮発しないように 2 種類のシリコン分子が混合されており，これによりコンクリート表層部に高密度の吸水防止層が形成されることで，高い吸水防止効果を長期間持続できることが特徴である（図 - 6）。

また，地覆コンクリートの設計基準強度を 24 N/mm² から 30 N/mm² として高強度化することによる緻密化，地覆鉄筋にエポキシ鉄筋を用いるなどの対策も併せて行った。



ペースト状の浸透性吸水防止剤



塗布後の撥水状況

図 - 6 浸透性吸水防止剤

4. 揚川橋の上部工の施工

4.1 上部工のコンクリート打設

揚川橋の上部断面では，前述のような設計上の提案により，厚さが比較的小さい斜めウェブを有している。そのた

め、ウェブにおけるコンクリート打設時の初期欠陥の防止、品質の確保が課題であった。ここでは、スランプフローを45 cm程度としたコンクリートを、ウェブへ部分的に用いた上部工のコンクリート打設の実績について述べる。

(1) コンクリート打設における課題

ウェブのコンクリート打設では、落下高さが1.5 m以下となり、かつ型枠内でコンクリートを横移動させない位置に打設窓を設け、そこからコンクリート(50-15-20H)の投入、パイプレタによる締固めを行う方法を想定していた。しかしながら、上部工の断面が、前述のような特徴を有しているため、打設窓による方法については、図-7のような課題が考えられた。

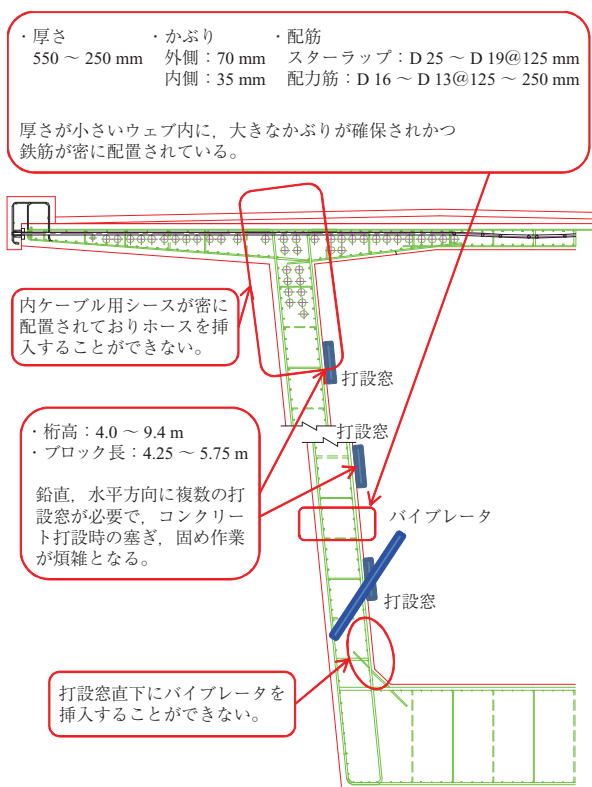


図-7 コンクリート打設における課題

(2) 中流動コンクリート

当初は、スランプが15 ± 2.5 cmである50-15-20Hを使用する計画であったが、上記の課題の対策として、ウェブについては橋面から中流動コンクリートを打設することを検討した。なお、ここでは、50-15-20Hの配合において高性能AE減水剤の添加量を調整して、スランプフローを45 cm程度としたコンクリート(50-45-20H)を中流動コンクリートと呼称している(表-1)。

(3) 中流動コンクリートのフレッシュ性状

50-45-20Hのフレッシュ性状を確認するため、事前に試験練りを行った。試験練りは夏期における打設を想定して実施したものであり、パラメータとして高性能AE減水剤の添加量をC×1.2%, 1.25%, 1.3% (Cは単位セメント量)としている。C×1.25%, 1.3%の練上がり後15分経過時のフローについて写真-2、各配合のフローの経

表-1 中流動コンクリートの配合

配合名	スランプまたはフローの範囲 (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)				
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤*
50-15-20H	15 ± 2.5	41.9	48.4	159	380	838	940	2.47
50-45-20H	45 ± 5	41.9	48.4	159	380	838	940	4.28

*: 高性能AE減水剤を使用した



写真-2 中流動コンクリートのスランプフロー

時変化を図-8に示す。なお、経時変化は、実機で練り上げたコンクリートをアジテータ車へ移し、そこから15分ごとに試料を採取してスランプ試験を行った結果である。

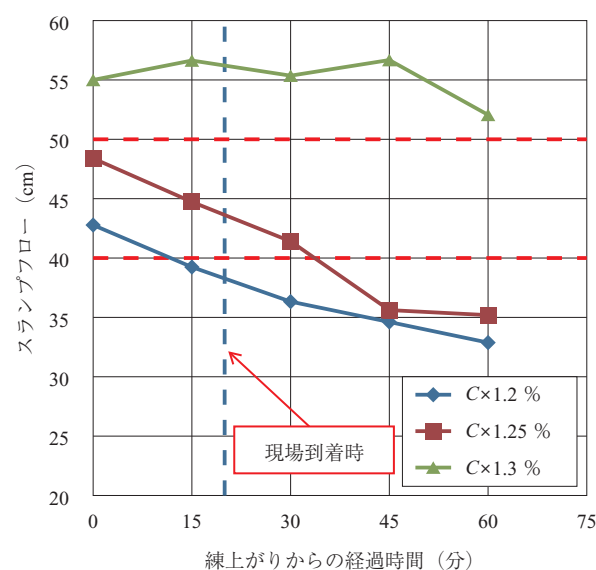


図-8 スランプフローの経時変化

C×1.25%ではフローが45.0×44.5 cmとなり、粗骨材もフローの先端まで均一に分布していることから材料分離抵抗性も良好であると判断された。一方、C×1.3%ではフローが57.0×56.5 cmと大きく、その中央部分に粗骨材が多く集まり、材料分離している傾向が確認された。このことから、C×1.25%を基準として、フローの管理値を45 ± 5 cmとした。なお、経時変化によるフローのロスは、C×1.3%が最も小さい。その他についてはおおむね

15 分で 3 cm 程度ロスしており、45 分経過した時点では、35 cm 程度まで低下している。

(4) 中流動コンクリートの硬化性状

50-15-20H と 50-45-20H の圧縮強度、弾性係数、曲げ、引張強度および長さ変化率の試験結果を表 - 2 に示す。なお、各試験の供試体は、標準配合についての試験練りにより採取したものである。50-45-20H の圧縮強度、弾性係数などの各種強度が必要性能を満足していること、また、長さ変化率が 50-15-20H と同様であることが分かる。これらの結果より、今回の検討範囲では、高性能 AE 減水剤の添加量が硬化性状に及ぼす影響が小さいことが確認できた。

表 - 2 各種強度の比較

項目	単位	50-15-20H	50-45-20H	差
圧縮強度	N/mm ²	65.8	62.2	-5.5 %
見掛け密度	kg/m ³	2 440	2 427	-0.5 %
静弾性係数	kN/m ²	39.6	39.0	-1.5 %
引張強度	N/mm ²	4.53	4.57	0.9 %
曲げ強度	N/mm ²	7.42	7.43	0.1 %
長さ変化率*	× 10 ⁻⁶	-540	-545	0.9 %

*保管材齢 182 日時の結果である

(5) 中流動コンクリートの施工性

50-45-20H の施工性については、上部工のウェブへのコンクリートの投入を、橋面から行うことを想定した施工試験によって確認した。写真 - 3 に試験状況を示す。施工試験は、高さ 4.0 m からロート (100 × 80 mm) + ホース (φ 125 mm) 内へ 50-45-20H を投入して、ウェブを模した模型型枠に打設するという方法で行った。なお、試験では、前述の経時変化の結果から、流動性が低下した状態を想定して、フロー 35 cm に調整したコンクリートを使用した。

打設試験では、50-45-20H がロート、ホース内で閉塞せず、型枠内に打設され、パイププレートによる締固めを行うことで、かぶりにも良好に充てんされることが確認できた。

(6) 中流動コンクリートによる上部工の打設

中流動コンクリートである 50-45-20H は、流動性が高いことから、仕上げを必要とする上床版や浮き型枠のため噴出しが問題となるウェブ下方のハンチ部分への打設には適さない。そのため、揚川橋では、50-45-20H は、ウェブのみに適用した。これにより、断面内に 50-15-20H と 50-45-20H が混在することとなるが、両者の硬化後の性状が変わらないことから問題ないと判断した。

図 - 9 にコンクリートの打設順序を示す。まず、図 - 9 内 ①、②、③ に 50-15-20H を打設した。この時、②については、内枠に設置した打設窓からコンクリートの投入を行い、ハンチ部分からコンクリートを噴出させた。③の打設中に 50-45-20H へ切り替え、同部分の打設終了後、橋面へホースを盛り替える間に打設窓を塞ぎ、型枠を固めた。④～⑦については、写真 - 4 に示すように橋面から

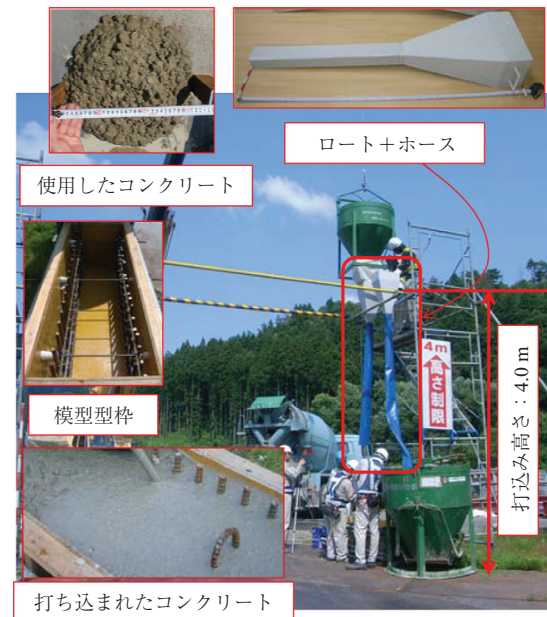


写真 - 3 施工試験の状況

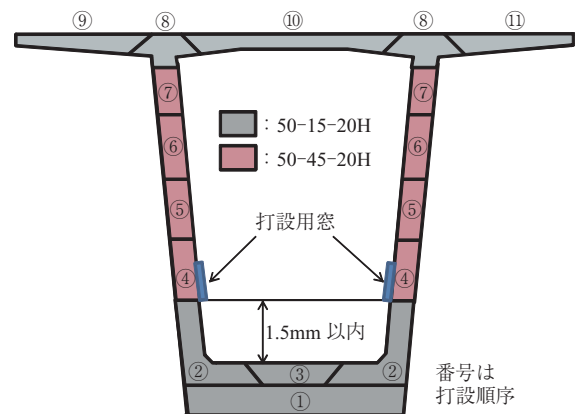


図 - 9 打設順序



写真 - 4 50-45-20H の打設状況

ロート + ホースを使用して、層ごとに 50-45-20H を打設した。

50-45-20H の適用区間では、内側、外側ともに良好な仕

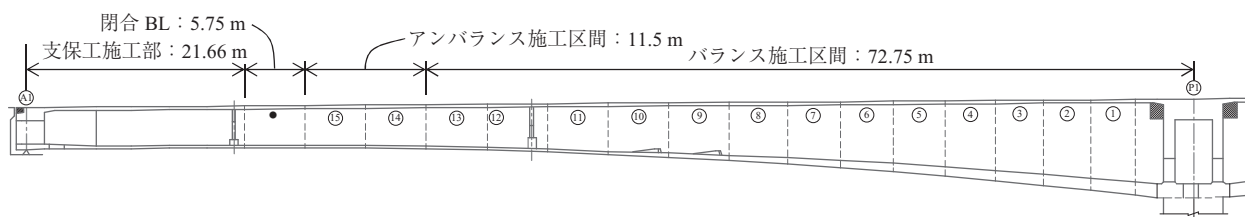


図 - 10 A1 側径間の施工区分

上がりが確認できた（写真 - 4）。

4.2 アンバランス施工区間を伴う張出し施工

揚川橋では、橋脚設置位置の制限から、中央径間長に対する側径間長の比が一般的な連続ラーメン橋よりも大きく、側径間では最大張出し付近で片側のみ張出していくアンバランス施工となる計画であった（図 - 10）。アンバランス施工時のコンクリートの打設によるレベルの変動量は、100 mm 以上となることが予想されたことから、出来形確保のための高精度な上げ越し管理が求められた。ここでは、アンバランス施工区間を伴う張出し施工と上げ越し管理の実績について述べる。

(1) 上げ越し管理における課題

図 - 11 に当初想定された上げ越し量と閉合順序、また、上げ越し管理における課題を以下に示す。

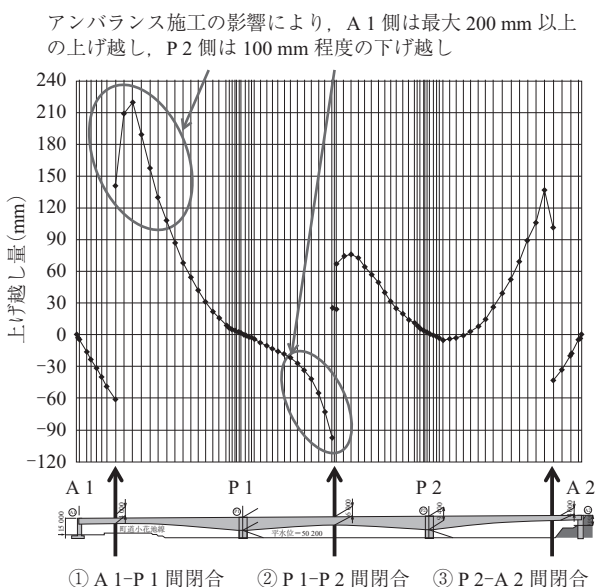


図 - 11 上げ越し量と閉合順序

- A1 側径間では、アンバランス施工のため、上げ越し量が最大で 200 mm 以上であり、最大張出し時（⑮ BL 施工時）のコンクリート打設では、約 100 mm のレベルの変動が想定された。
- アンバランス施工時、橋脚の傾斜による影響が大きい。例えば、A1 側径間側⑮ BL のコンクリート打設によるレベルの変動量の約 40 %が、橋脚の傾斜に起因するものである。
- 最大張出し付近では、施工時の一時的な荷重によるレベ

ルの変動が大きい。

- 張出し長が大きいため、上下床版の温度差による影響が大きい。なお、影響線解析による 5℃ の温度差による変動量は、最大張出し時の先端で約 20 mm である。

(2) 上げ越し管理の流れ

揚川橋では、上げ越し管理システムを活用した管理を行った。図 - 12 に同システムによる上げ越し管理のフローを示す。上げ越し管理システムとは、上げ越し計算結果に対して、施工ステップごとの主桁のレベル、橋脚の傾斜、床版の温度差等の計測値、施工時荷重を入力することで、現在の出来形の管理、確認、および将来の出来形の予測を

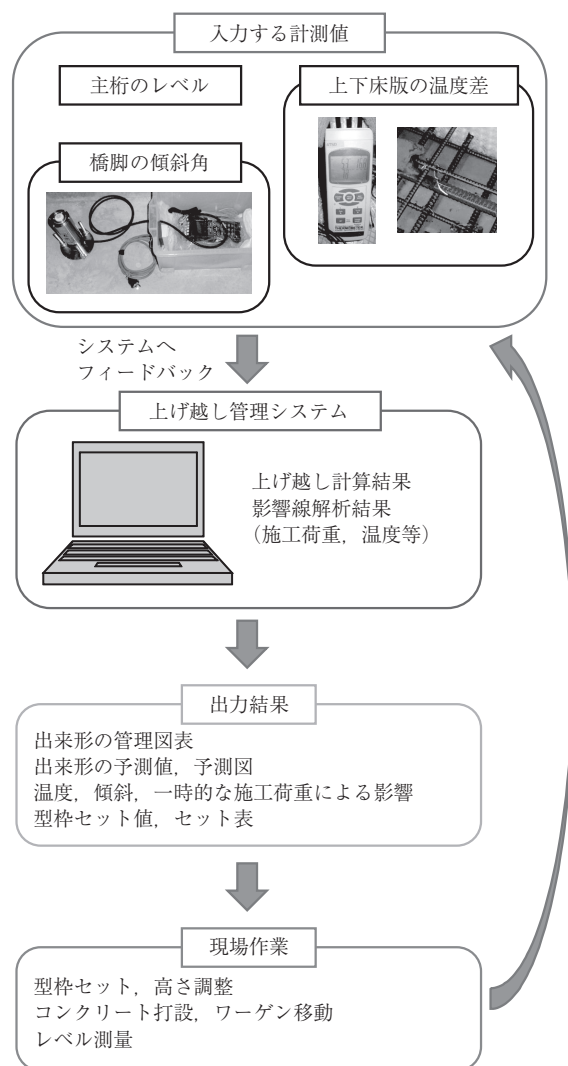


図 - 12 上げ越し管理システムによる管理の流れ

統括できるシステムである。

アンバランス施工時においては、橋脚の傾斜が先端のレベルの変動に大きく影響することから、橋脚の傾斜計による計測値の変動の把握と、同結果に基づいた出来形の予測に重点を置いた管理を行った。その結果、アンバランス施工区間を伴う側径間側の閉合について問題なく行うことができた。

4.3 三重防食 PC 鋼より線による外ケーブルの施工

揚川橋では、写真 - 5 に示すように、三重防食 PC 鋼より線（19S15.2）を外ケーブルへ適用した。外ケーブルは、通常のケーブルと同様に、ドラムからウインチで一括して桁内へ引き込み、挿入した。ただし、ケーブルが三重防食 PC 鋼より線であったことから、引き込み時に外側の高密度ポリエチレン層が傷つかないように、挿入時の架台の突起部や角当りする部分を養生するなどの配慮を行った。

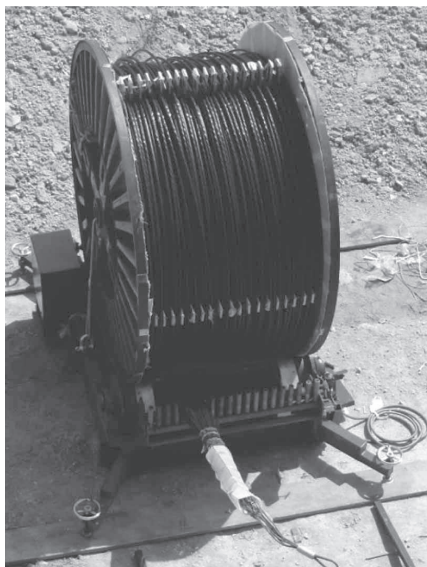


写真 - 5 三重防食 PC 鋼より線

緊張では、図 - 13 に示すように定着部が斜めウェブの上部となることで、マルチストランドジャッキ（重量 750 kg）のセットが困難であった。そのため、写真 - 6 に示すようにシングルストランドジャッキ（重量 30 kg）によって、ケーブルを 1 本ずつ逐次緊張を行う方式で緊張を行った。これにより、緊張本数が増加した反面、ジャッキのセット、盛り替え時間が短縮できたことにより、全体の緊張作業時間はマルチストランドジャッキを用いた場合の同等以下に短縮できた。

5. おわりに

揚川橋は、平成 25 年 3 月 29 日に竣工し、現在は小花地大橋という名称で国道 49 号線のバイパスの一部として供用されている（写真 - 7）。寒冷地におけるデザイン&ビルド型橋梁工事であった本橋の事例が、今後の同種橋梁の設計・施工の一助となれば幸いである。

また、多大なご協力とご指導をいただいた関係各位に感謝する次第である。

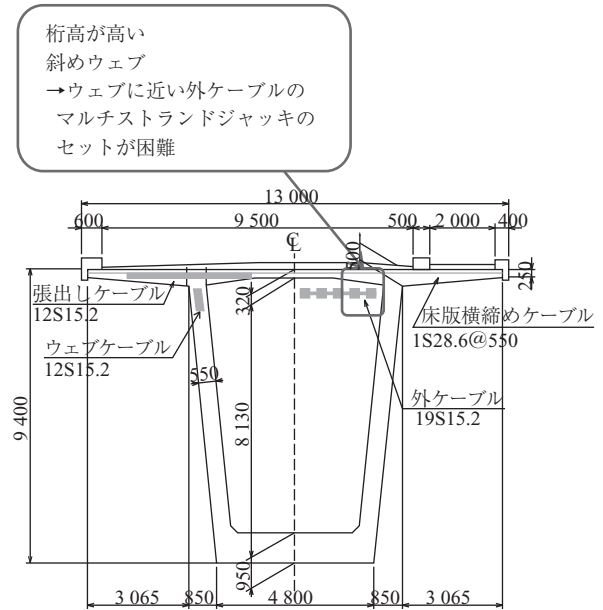


図 - 13 外ケーブル緊張の課題



写真 - 6 外ケーブルの緊張状況



写真 - 7 完成写真

参考文献

- 1) 坂田 昇, 渡邊賢三, 林 大介: 土木構造物におけるコンクリートの表面保護技術, 橋梁と基礎, Vol.3, pp.41-46, 2005

【2013 年 11 月 7 日受付】