

# 不動沢橋におけるプレキャスト PCT 桁橋の高耐久化

漆原 新一\*1・田中 実\*2・鈴木 辰幸\*3・焼田 聡\*4

東北横断自動車道釜石秋田線「釜石道路」不動沢橋（仮称）は、プレテンション方式の PC 単純 T 桁橋である。本橋は、プレテンション方式の T 桁橋として、国土交通省東北地方整備局において初めて本格的な高耐久化を目指した橋梁である。そのため、東北地方特有の凍害や凍結抑制剤散布による塩害などへの抵抗性を高めるための工夫が求められ、主桁製作および現場施工において、高い耐久性を確保することを目的に種々の対策を講じた。本稿では、使用材料、コンクリートの配合、主桁製作時および現場施工時に実施した対策について報告する。

キーワード：プレテンション T 桁、凍害、塩害、フライアッシュ入りコンクリート

## 1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災は、東日本の太平洋沿岸各地に大きな被害を与えた。現在、被災地の早期復興のリーディングプロジェクトとして三陸沿岸道路等の建設が急ピッチで進んでいる。プレストレストコンクリート（以下、PC）上部工においては、東北地方特有の劣化損傷（凍害および凍結抑制剤散布による塩害）への対策として、耐久性（耐凍害性、耐塩害性および ASR 抵抗性など）に優れた材料の選定、構造形式の採用が求められている。国土交通省東北地方整備局では、凍害・塩害の複合劣化に対応した高耐久仕様の PC 桁をプレテンションスラブ桁に関して試行的に採用し<sup>1)</sup>、将来の維持管理費の低減を目的に取り組みを進めている。これを補完するマニュアルとして、（一社）プレストレスト・コンクリート建設業協会（以下、PC 建協）東北支部では、PC 橋長寿命化委員会を設置し、“プレテンションスラブ橋げたの高耐久 PC 桁設計施工のポイント”<sup>2)</sup>（以下、プレテンスラブ橋げたのポイント）を発行し、プレキャスト PC 製品の高耐久化の対策を提案している。今回施工した不動沢橋は、国土交通省東北地方整備局において、プレテンション T 桁として初めて本格的な高耐久化を目指したものであり、主桁製作および現場施工は事前実験などで効果を確認しながら進めた。本稿は、プレテンション T 桁に高耐久仕様を適用するにあたり実施した製作・施工上の対策について報告するものである。

## 2. 橋梁の概要

不動沢橋の構造一般図を図 - 1 に示す。また、橋梁諸元は以下のとおりである。

工事名：大沢第 3 橋外上部工工事

工期：2014 年 11 月 15 日～2016 年 1 月 29 日  
 構造形式：プレテンション方式 PC 単純 T 桁橋  
 橋長：19.0 m  
 支間：18.3 m  
 幅員：車道 2@6.000 m, 中央分離帯 1.5 m

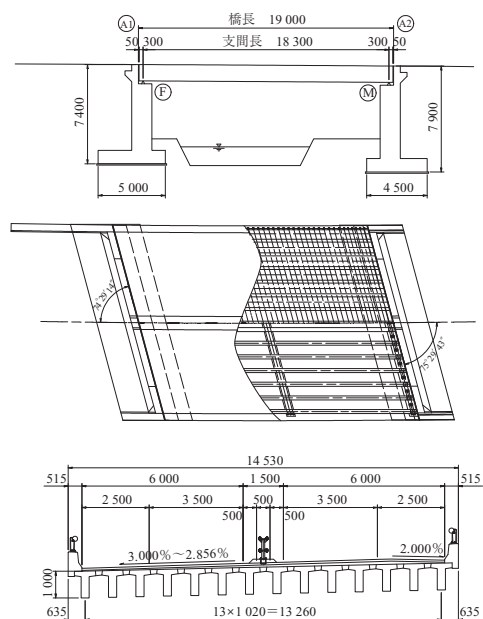


図 - 1 橋梁一般図

本橋は、岩手県釜石市近郊に位置し、冬季の月平均最低気温は約 -3℃であり、凍結抑制剤の散布が頻繁に行われる環境下にある。図 - 2 は、東北地方で問題となる 4 つの劣化（凍害、塩害、ASR、疲労）が複合的に作用した場合における耐久性確保のための多重防護の考え方を示したものである。本橋は、工種として工場製作と現場施工（床

\*1 Shinichi URUSHIHARA：(株) IHI インフラ建設 PC 事業部 PC 技術部

\*2 Minoru TANAKA：(株) IHI インフラ建設 PC 事業部 PC 工事部

\*3 Tatsuyuki SUZUKI：(株) IHI インフラ建設 技術計画部

\*4 Satoshi YAKITA：国土交通省 北陸地方整備局

版・横組工および橋面工，付属物工）に大別され，各工程においてこの多重防護の考え方をもとに種々の対策を講じている。

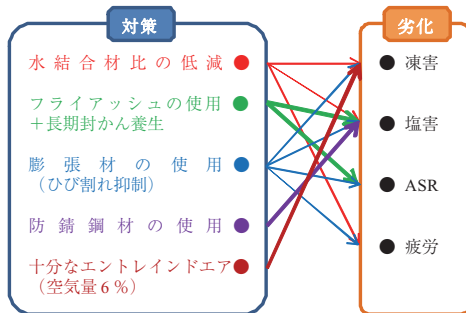








図 - 2 耐久性確保のための多重防護の考え方<sup>3)</sup>

### 3. 主桁製作時における対策

#### 3.1 プレテンション T 桁の仕様

本橋のプレテンション T 桁の仕様は，プレテンスラブリングのポイントに記載される高耐久の仕様に準じて決定している。表 - 1 に，プレテンション T 桁の使用材料を示す。

表 - 1 プレテンション T 桁の使用材料

使用材料	標準仕様	高耐久仕様
コンクリート	設計基準強度 $\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$ W/C = 55% 以下 空気量 $4.5 \pm 1.5\%$	設計基準強度 $\sigma_{ck} = 50 \text{ N/mm}^2$ W/C = 40% 以下 空気量 6.0% 目標 (4.5%~6.9%) ASR を起こさない骨材を使用
PC 鋼材 (主ケーブル)	SWPR7BL 1S15.2 mm 	SWPR7BL 1S15.2 mm エポキシ樹脂被覆 PC 鋼材 (付着型) 
鉄筋	SD345 普通鉄筋 	SD345 エポキシ樹脂塗装鉄筋 (付着型) 
シース	鋼製シース 	PE シース 

#### 3.2 実物大試験桁の製作による高耐久仕様の検証

本橋では高耐久仕様のプレテン T 桁の製作に先立ち，試験桁を製作して種々の検討を実施した。試験桁は，JIS-A-5373 に従った標準仕様および高耐久仕様の 2 種類を製作した。写真 - 1 に高耐久仕様の実物大試験桁製作状況を，写真 - 2 に被覆 PC 鋼材や塗装鉄筋，PE シース配置状況を示す。

高耐久仕様では，コンクリートの配合において空気量 6% を目標（管理値：4.5～6.9%）とし，十分なエントレインドエアを連行した耐凍結融解性に優れたコンクリートを目指した<sup>4)</sup>。凍結融解抵抗性の確認として，硬化コンクリートの凍結融解抵抗性を示す指標である気泡間隔係数の測定を行った。2 種類の試験桁に対して気泡間隔係数の測定を行った結果，高耐久仕様の気泡間隔係数は  $200 \times 10^{-6} \text{ m}$  以下であり，標準仕様の気泡間隔係数が  $250 \sim 300 \times 10^{-6} \text{ m}$  程度であるのに対し，小さな値となっていた。気泡間隔係

数の評価については，凍害から完全に保護するためには  $250 \times 10^{-6} \text{ m}$  以下とされている<sup>5)</sup>。これらから，耐凍結融解性に対して，高耐久仕様が標準仕様より優れていることを確認した。



写真 - 1 高耐久仕様実物大試験桁製作状況

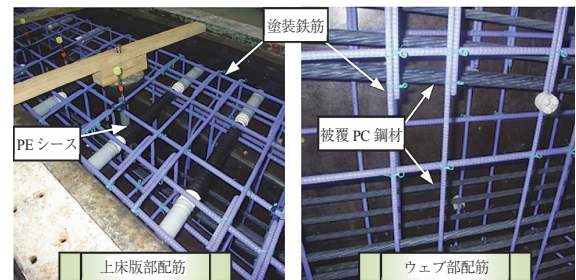


写真 - 2 高耐久仕様材料の配置状況

#### 3.3 被覆 PC 鋼材のバンドアップ治具の開発

本橋では，耐久性確保の多重防護として，プレテンション鋼材に付着型の被覆 PC 鋼材を使用する。本工事で使用する主桁の形式は T 桁であり，プレテンション鋼材をバンドアップ配置する形式である。付着型の被覆 PC 鋼材をバンドアップ配置した場合，角度変化を付けるためのバンドアップ治具との摩擦により被覆部の損傷が懸念される。そのため，被覆 PC 鋼材の損傷を最小限に抑えるバンドアップ治具を開発し，実物大試験により確認した。実験は治具の穴部に以下の 3 つの方法で行い，被覆 PC 鋼材の損傷が最小となる方法を確認した。実験の結果，バンドアップ治具の穴部にテフロン加工を施す対応が，被覆 PC 鋼材への損傷が少なく，施工性に最も優れることを確認して，桁製作を行った。

- 1) テフロン加工
- 2) テフロン加工+テフロンシート
- 3) エポキシ樹脂塗装+テフロンシート

写真 - 3 にバンドアップ治具の形状を，写真 - 4 にベ

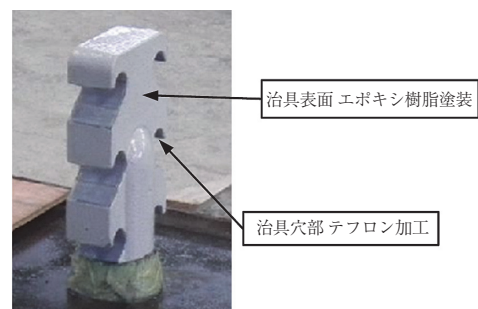


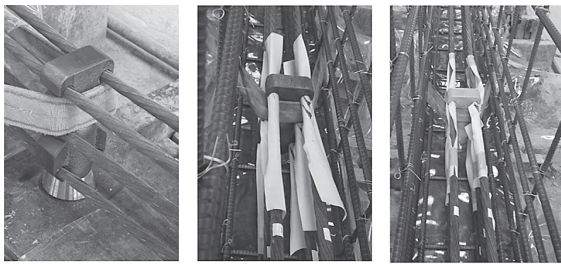
写真 - 3 バンドアップ治具形状（開発品）



ンドアップ治具の実験状況を、写真 - 5 に被覆 PC 鋼材緊張時の治具穴部付近の状況を示す。



写真 - 4 ベンドアップ治具実験状況



テフロン加工のみ	テフロン加工 +テフロンシート	エポキシ樹脂塗装 +テフロンシート
----------	--------------------	----------------------

写真 - 5 被覆 PC 鋼材緊張時の治具穴部の状況

### 3.4 付着型被覆 PC 鋼材使用に伴う主桁端部の検討

高耐久仕様のプレテンション T 桁では付着型被覆 PC 鋼材を使用する。付着型被覆 PC 鋼材は普通 PC 鋼材に比べて付着力が大きく、付着伝達長が普通 PC 鋼材の 65φ (φ: PC 鋼材径) から 40φ になり、桁端面でのひび割れの発生が懸念された。プレテンスラブ橋げたのポイントでは、スラブ桁の端部でボンドコントロールを行い、ひび割れ発生応力を抑制して対応している。“設計・製造便覧 JIS A 5372-2000 附属書 2 道路橋用 PC 橋げた<sup>6)</sup>”(PC 建協)では、桁端部でのオーバーストレスの防止を目的にボンドコントロールを設定しているが、ここでは桁端面での局部ひび割れ対策を目的にボンドコントロールを行っている。一般に、プレテンション T 桁ではボンドコントロールを行わないが、本橋ではひび割れ発生を抑制するため、スラブ桁と同様に桁端部でのボンドコントロールを行った。ボンドコントロール鋼材の位置や本数は、FEM 解析にて桁端部に発生する引張応力がひび割れ発生応力の限界値以下となるように決定した。ここで、ひび割れ発生応力の限界値はプレテンスラブ橋げたのポイントを準用して 2.45 N/mm<sup>2</sup> と設定した。検討の結果、最大引張応力が限界値以下となるボンドコントロール 4 本を適用し、桁製作を行った。図 - 3 に本橋で適用したボンドコントロール区間の設定を示す。

桁端部のボンドコントロール区間の設置のほか、主桁製作における桁端部のひび割れ防止対策として以下を実施している。

- 1) 桁端部 CFRP 格子筋の配置 (写真 - 6)
- 2) 桁端部封かん養生の実施

ひび割れ発生の有無については、目視観察およびひずみ計測により確認した。計測は埋込型および表面ゲージの設

置により行い、計測器は FEM 解析の最大引張応力の発生位置付近に設置した。ひび割れ観察およびひずみ計測は、コンクリート打込み直後から材齢 28 日まで行った。桁端部のひび割れ観察では、ひび割れの発生は確認されなかった。また、計測されたコンクリートひずみは緊張力導入 100% 時で解析値の約 85% ~ 90% の値を示し、その後は大きな変化は見られなかった。以上の結果から、本橋におけるひび割れ対策が有効に機能し、ひび割れの発生を抑えられたと考えられる。

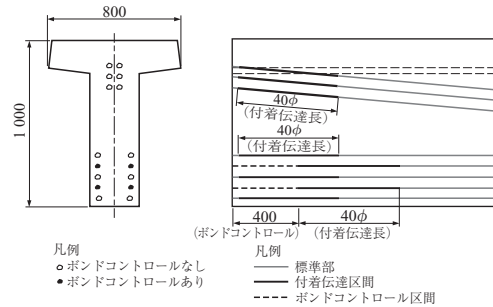


図 - 3 ボンドコントロール区間の設定

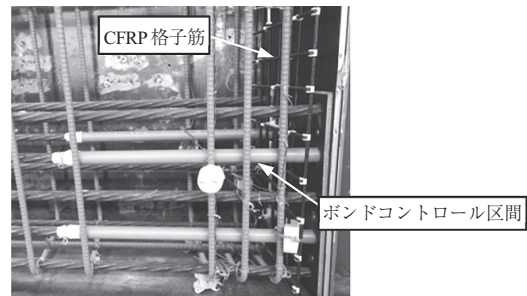


写真 - 6 桁端部ひび割れ防止対策

### 3.5 主桁コンクリート打重ねの時間短縮

標準仕様の主桁では、コンクリート打設時にホッパーを 1 台使用して、ウェブ部と上床版部の 2 層仕上げで打設する。そのため、ホッパーの移動や機材の段取り替えに時間を要して打重ね時間間隔が長くなるのが懸念された。そこで、高耐久仕様の主桁では、コンクリート打設時にホッパーを 2 台使用して、ウェブ打設用と上床版打設用に分けて打設人員を 2 班体制とした。これにより、打重ね時間間隔が長くなることなく、予定した時間どおりにコンクリート打設を完了した。写真 - 7 に主桁コンクリートの打設状況を示す。

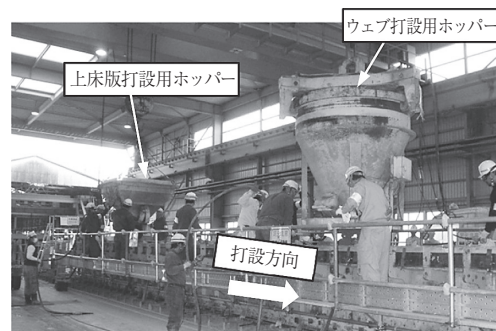


写真 - 7 主桁コンクリートの打設状況




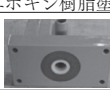
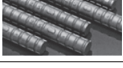



## 4. 現場施工時における対策

### 4.1 現場施工における使用材料の選定

本橋の現場施工においては、工場製作工と同様に、耐凍害性および耐塩害性に着目して使用材料の選定を行った。

表 - 2 に現場施工で使用した材料を示す。

表 - 2 使用材料 (現場施工)

使用材料	標準仕様	高耐久仕様
コンクリート	設計基準強度 $\sigma_{ck} = 30\text{N/mm}^2$ $W/C = 55\%$ 以下 空気量 $4.5 \pm 1.5\%$	設計基準強度 $\sigma_{ck} = 30\text{N/mm}^2$ $W/C = 45\%$ 以下 空気量 6.0% 目標 4.5%~6.9% フライアッシュ膨張剤
PC 鋼材 (床版横組)	SWPR19L 1S19.3 mm 	SWPR7BN 1S17.8 mm 高強度エポキシ樹脂被覆 PC 鋼材 (附着型) 
PC 定着具	SWPR19L 1S19.3 用 	SWPR7BN 1S17.8 用 エポキシ樹脂塗装 
鉄筋	SD345 普通鉄筋 	SD345 エポキシ樹脂塗装鉄筋 (附着型) 
シース	鋼製シース 	PE シース 

本工事では、耐塩害性の向上を目的としてコンクリートにフライアッシュを混和している。また、主桁コンクリートの拘束による間詰め部コンクリートのひび割れを抑制するため、膨張材を混和した。フライアッシュは、能代火力発電所産の JIS II 種を使用した。フライアッシュの置換率は、混合セメントとして ASR 抑制効果が期待できる 15% 以上 (JIS A 5308 付属書 B<sup>7)</sup>)、かつ単位水量の減少効果が期待できる 20% 以下<sup>5)</sup> の観点から、一般にはセメント量の内割りでセメント質量の 20% 程度とするが、本橋で使用したフライアッシュを混和したコンクリート (以下、フライアッシュコンクリート) の配合は、初期強度発現の問題を回避するために細骨材置換とし、セメント量の外割りで 20% 程度とした。

また、PC 鋼材は附着型高強度エポキシ樹脂被覆 PC 鋼材とし、定着具についてもエポキシ樹脂塗装を施し、耐塩害性の向上を図っている。鉄筋についても同様に附着型のエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した。凍結抑制剤散布の影響が特に懸念される床版横組については、多重防護の観点から被覆 PC 鋼材に加えて PE シースを使用した。

本工事では、間詰め床版の他に凍結抑制剤散布の影響を受けることが想定される地覆・壁高欄および中央分離帯にもフライアッシュコンクリートを使用した。フライアッシュコンクリートの使用箇所を図 - 4 に示す。

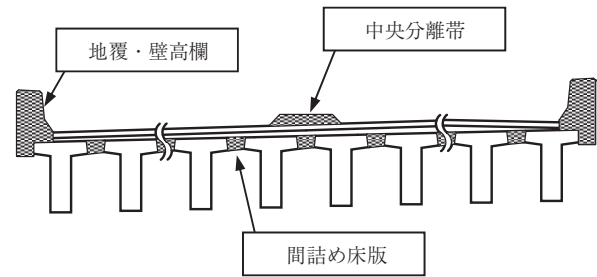


図 - 4 フライアッシュコンクリート使用箇所

### 4.2 床版・横組 PC 鋼材挿入時の塗膜損傷防止対策

床版・横組工の横組 PC 鋼材は、通常、図 - 5 のように主桁上より PC 鋼材を湾曲させてシース内へ挿入する。エポキシ樹脂被覆 PC 鋼材でも同様の方法を採用した場合、シース挿入口での塗膜の損傷が懸念される。そこで、単管でエポキシ樹脂被覆 PC 鋼材配置用の架台を組み立て、クレーンで架台を吊り上げてシースの真横から PC 鋼材を挿入する方法を採用 (図 - 6) し、塗膜の損傷を防止した。写真 - 8 にエポキシ樹脂被覆 PC 鋼材の挿入状況を示す。

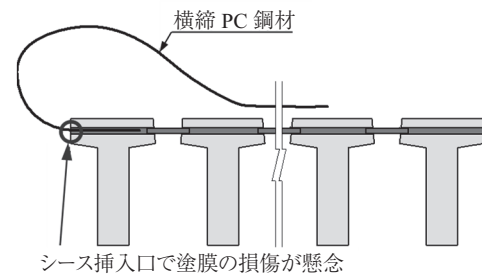


図 - 5 PC 鋼材の挿入方法 (通常)

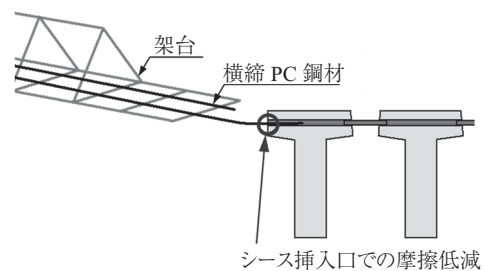


図 - 6 PC 鋼材の挿入方法 (塗膜損傷防止)

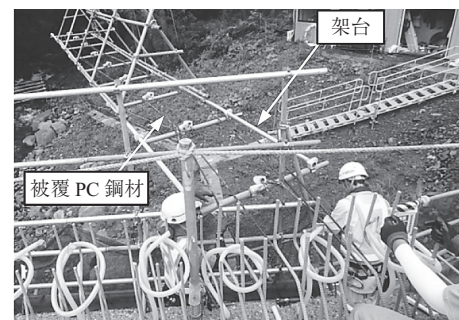


写真 - 8 エポキシ樹脂被覆 PC 鋼材の挿入状況



挿入した横締 PC 鋼材は、エポキシ塗装を施した定着具により定着し、定着後の被覆 PC 鋼材の切断端面は被覆材と同等のエポキシ塗装により防錆対策を行った。写真 - 9 に横締め定着部の防錆対策を示す。

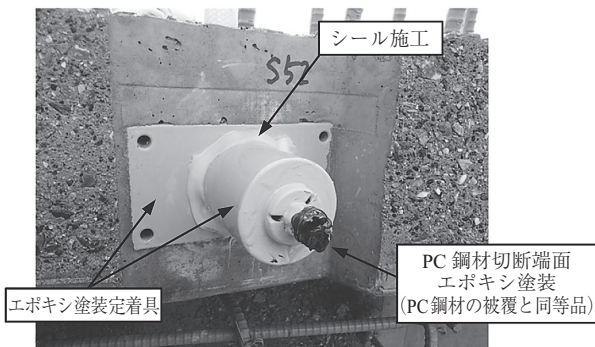


写真 - 9 横締め定着具の防錆対策

#### 4.3 間詰め床版の養生方法の検討

プレテンスラブ橋げたのポイントでは、高耐久仕様の場所打ち床版部は、空気量 4.5% の膨張コンクリートとなっている。しかし、本橋の間詰め床版に使用する場所打ちコンクリートは、空気量 6% のフライアッシュコンクリートとした。フライアッシュコンクリートは湿潤養生を確実に実施することで耐久性が確保される。そこで、間詰め部の施工を模した実物大試験を実施し、適切な養生方法の設定を検討した。実験で検討した養生方法は、初期養生対策としてフレッシュコンクリートの水分の逸散を防止するための保水養生シートの有無、湿潤養生対策として間詰め部の保水型養生シートの種類（液体搬送型養生テープ、湿潤養生マットの 2 種類）および養生範囲とした。写真 - 10 に実物大試験実施状況を示す。



写真 - 10 実物大試験実施状況

実物大試験の評価方法としては、トレント法による透気係数試験とし、測定された透気係数の値で優・良・可の判定を行った。試験の結果、養生方法による透気係数の明確な差は確認できなかったが、実際の間詰め部は面積が大きく、水分の逸散によるプラスチック収縮ひび割れの懸念があるため、初期養生（コテ仕上げから養生マット敷設までの時間）に保水養生シートを使用し、その後、液体搬送型養生テープ（全面+自動散水装置+1ヵ月間）により湿潤養生する方法とした。写真 - 11 に間詰め床版の養生状況を示す。

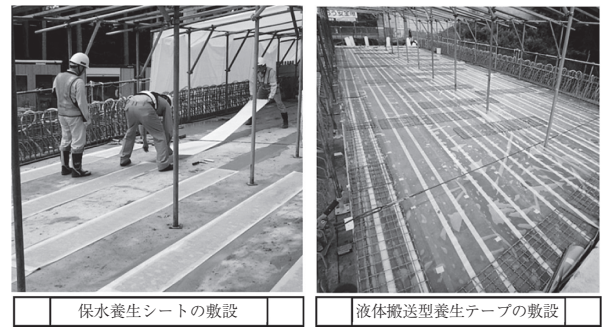


写真 - 11 間詰め床版の養生状況

#### 4.4 地覆・壁高欄の養生方法の検討

壁高欄に使用するコンクリートは、凍結抑制剤の影響が大きく、凍害および塩害に対して高い耐久性を要求されるため、間詰め床版部のコンクリートと同じ配合とした。壁高欄の型枠には透水性型枠を計画し、コンクリートの表層品質を確保するうえで、透水性型枠の有効性および養生期間の影響を実物大実験により確認した。写真 - 12 に壁高欄試験体への透明型枠の設置位置を示す。

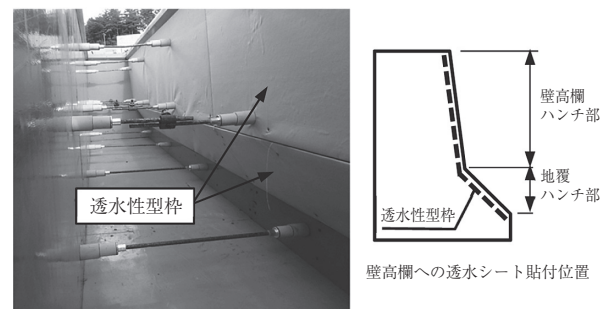


写真 - 12 壁高欄試験体（透水性型枠設置位置）

実物大試験による検討の結果、地覆ハンチ部の透水性型枠が効果的に機能するため、養生期間 1 週間で可の評価が良の評価となった。一方、高欄ハンチ部については透水性型枠の効果は少ないが、養生期間を長期（1ヵ月）とすることで良評価となった。以上から、本工事においては、ハンチ部に透水性型枠を使用し、壁高欄の養生期間を 1ヵ月とした。写真 - 13 に壁高欄の養生状況を示す。



写真 - 13 地覆・壁高欄の養生状況

#### 4.5 場所打ちコンクリートの暑中対策

本橋の間詰め床版、地覆・壁高欄および中央分離帯部場所打ちコンクリートは、夏季での施工となった。そのため、生コン車での運搬中や現場待機中のコンクリート温度上昇によるワーカビリティの低下が懸念された。そこで、生コン車のドラムに保温カバーを装着させ、待機場所にはドラム部への散水装置を設置し、暑中施工の対策を行った。写真 - 14 にドラムカバー装着状況を、写真 - 15 に待機場所での散水装置使用状況を示す。



写真 - 14 ドラムカバー装着状況



写真 - 15 待機場所での散水装置使用状況

## 5. おわりに

不動沢橋は、平成 27 年 11 月に本体工の工事を終え、無事竣工した (写真 - 16)。



写真 - 16 不動沢橋全景

本橋は、東北地方の凍結抑制剤散布地域におけるプレテンション T 桁として、国内で初めて高耐久仕様を試行した橋梁である。その適用の可能性については、種々の実験および検討を実施して、十分適用可能であることを確認した。本稿が、高耐久仕様を適用した PC 桁の普及の一助になれば幸いである。

最後に、本工事に多大なご協力をいただいたプレストレスト・コンクリート建設業協会 東北支部 PC 橋長寿命化委員会の委員の皆様、日本大学工学部 岩城教授および子田准教授、東京大学生産技術研究所 田中特任准教授に深く感謝致します。

#### 参考文献

- 1) 遠藤雅司：高耐久 PC 桁の概要について - 凍害、塩害の複合劣化に対応した PC 桁 - プレストレストコンクリート Vol.57, No.2, pp.33-36, 2015.
- 2) (一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会 東北支部 PC 橋長寿命化委員会：高耐久 PC 桁設計施工のポイント [プレテンションスラブ橋げた編], p.2, 2014.
- 3) 岩城一郎：道路橋コンクリート床版の疲労問題解説を旨として、土木学会誌, Vol.100, No.10, pp.18-19, 2015.
- 4) 北野勇一, 池田正行, 岩城一郎, 阿波稔：プレキャスト PC 桁における空気量と耐凍害性に関する調査, 第 23 回シンポジウム論文集, プレストレストコンクリート工学会, pp.627-632, 2014.
- 5) A.M.Neville (訳：三浦尚)：ネビルのコンクリートバイブル, 技報堂出版, pp.674-676, pp.809, 2004.
- 6) (一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会：設計・製造便覧 JIS A 5372-2000 附属書 2 道路橋用 PC 橋げた, pp.40-41, 2002.
- 7) 土木学会：コンクリート標準示方書 規準編 JIS 規格集, pp.723-724, 2013.

【2016 年 11 月 24 日受付】