

北海道横断自動車道 朝里川橋の施工

(株)ピーエス三菱	正会員	工修	○藤岡	篤史
東日本高速道路(株)		工修	横山	貴士
東日本高速道路(株)		工修	松本	知也
(株)ピーエス三菱	正会員		金森	真一

キーワード：寒冷期施工，マスコンクリート，冬期養生，PC鋼材の一時防錆

1. はじめに

朝里川橋は、北海道横断自動車道の余市IC（仮称）～小樽JCT（仮称）区間の小樽市内に位置する橋梁である。架橋地点は、厳冬期の月平均気温が0℃を下回り、また年間の累計積雪深が5mを超える気候的条件である。本橋では、このような環境の中、工程的な制約条件から積雪寒冷期間においても施工を進める必要があった。そのため、これらの気候的な条件に配慮したコンクリート構造物の品質管理方法について事前に検討を行い実施した。本稿では、朝里川橋の施工時に実施した取り組みの中から、①マスコンクリート部の冬期施工、②張出し架設におけるコンクリートの冬期施工、③張出し架設における架設内ケーブルの防錆対策について報告する。

2. 工事概要

発注者：東日本高速道路(株)北海道支社
 構造形式：PC8径間連続ラーメン箱桁橋
 橋長：615.5m
 支間長：45.8m+90.0m+3×92.0m+103.0m+71.0m+27.3m
 全幅員：13.2m
 縦断勾配：2.000% ↘ ～ 1.589% ↗
 架設方法：張出し架設+固定支保工（P7-A2間）

本橋の断面図を図-1に、側面図を図-2に示す。

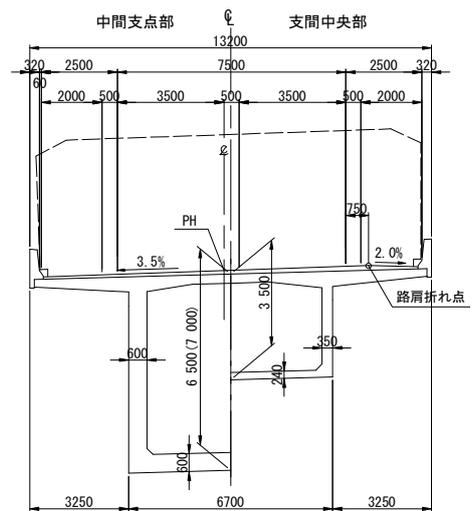


図-1 橋梁断面図

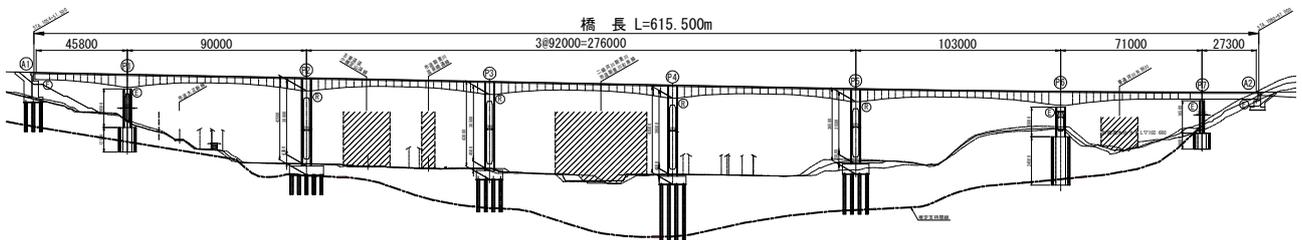


図-2 橋梁側面図

朝里川橋は地上から最大45mの高さに位置するPC8径間の連続ラーメン箱桁橋であり、経済性等の理由から張出し架設工法にて発注された。詳細設計では、大型の移動式作業車を採用することで、施工ブロック数を1橋脚あたり3ブロック減らした。これにより、全体工程で約2ヶ月の短縮を図ることができた。なお、大型移動式作業車を用いた本橋での1ブロックの施工長は3.5m～4.0mで、概ね1ブロック12日のサイクルで施工を行った。

3. マスコンクリート部の冬期施工

本橋の脚頭部および柱頭部はマスコンクリート部材となるため、標準的な寒中養生のみでは硬化時の内外温度差の影響による温度ひび割れが発生しやすい状況にあった。そのため、この内外温度差を低減する目的で、通水および通風によるパイプクーリングと保温型枠による対策を行った。

3. 1 マスコンクリート供試体による事前試験

脚頭部および柱頭部の温度応力解析に先立ち、実際に使用するコンクリートやクーリングパイプの熱物性値を把握する目的で、マスコンクリート供試体による事前試験を行った。

試験は、2タイプの供試体を作製して行った。1体は、発熱特性計測用で、実際に使用するコンクリートの断熱温度上昇特性を把握することを目的とした。もう1体は、クーリングパイプ（通水用、通風用）の熱伝達率を把握する目的としたものである。そして、これらの供試体から得られた温度計測データと温度応力解析値との比較から熱物性値の推定を行った。

3. 2 事前試験により高精度化した温度応力解析

前述したマスコンクリート供試体から得られた熱物性値をフィードバックした脚頭部および柱頭部の温度応力解析を実施して、ひび割れ指数が1.4以上となるように保温型枠の設置期間およびクーリング（通水、通風）の実施期間を検討した。図-3に温度応力解析による検討から、コンクリート表面でのひび割れ指数の改善に効果のあったそれぞれの養生期間を示す。また、これらの養生条件による脚頭部および柱頭部でのひび割れ指数分布を図-4に示すが、コンクリート表面ではひび割れ指数がほぼ1.40以上（ひび割れ発生確率15%以下）になっていることが確認できる。

3. 3 施工時におけるモニタリング

高精度化した温度応力解析結果と実際との相違がないかを確認する目的で、脚頭部および柱頭部のコンクリート内部と表面付近に熱電対を設置して、実際のコンクリート温度をモニタリングした。その結果、温度応力解析結果に近い温度履歴を示すことが確認できた（図-5）。なお、実際の脱枠やクーリングの終了は、このモニタリングにより得られるコンクリートの内外温度差が、温度応力解析から得られた養生終了時の内外温度差以下となることを確認してから行った。

これらの養生およびモニタリングを実施した結果、脚頭部および柱頭部において、有害となるひび割れの発生は確認されなかった。

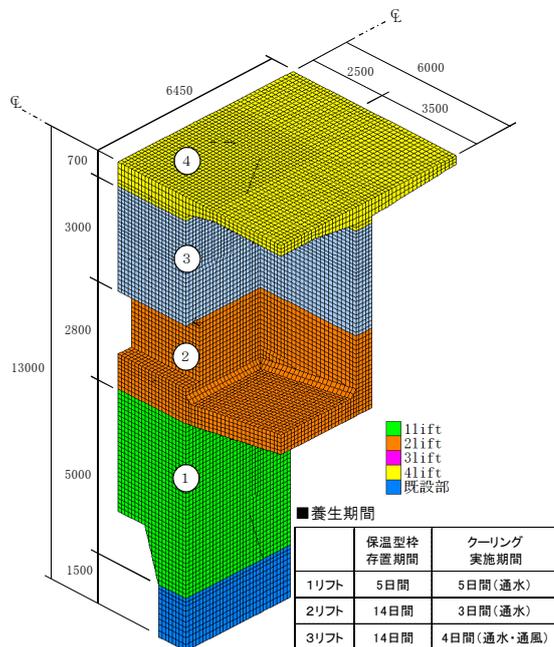
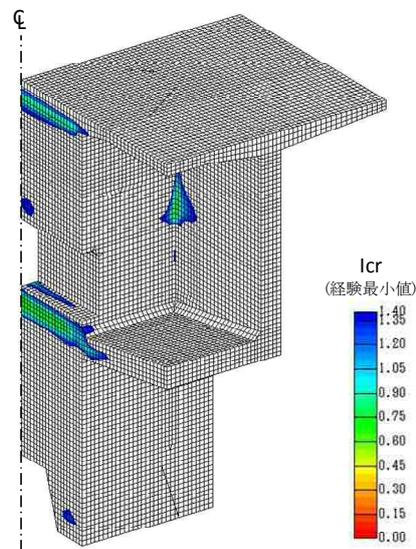


図-3 解析により決定した養生条件



※無着色はひび割れ指数1.40以上の箇所を示す。

図-4 ひび割れ指数 (Icr) 分布

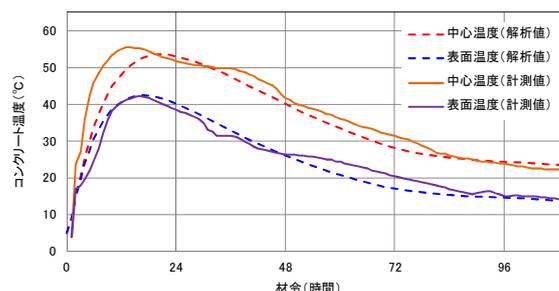


図-5 コンクリートの温度履歴 (2リフト)

4. 張出し架設におけるコンクリートの冬期施工

通常の張出し架設の施工サイクルでは、コンクリート打込み後3日で移動式作業車を移動するため、若材令のコンクリートが外気に曝されることになる。このため、寒冷期においては低温環境に起因するコンクリートの強度発現不良や急冷によるひび割れの発生が懸念された。

4. 1 移動式作業車の養生設備

本工事では移動式作業車に屋根材および密閉性の高いパネル式防護設備を装備し(写真-1)、冬期間における外気や風雪の侵入を遮断するとともに、給熱養生によりコンクリートの打込みおよび養生箇所の温度を5℃以上に保持した。移動式作業車外周に設置するパネル材には採光性パネルを使用し、太陽光を採り込むことで屋内温度を効率的に保持し、良好な作業環境を確保した。また、屋内にはジェットファーンレス2台を配置し、コンクリート打込み前日からプレヒーティングを行い、養生完了時まで継続して給熱を実施した。さらに、当該期間中の温度低下を確実に防止するため、モバイル式養生温度管理システムを用いて養生設備内および打込み後のコンクリートの温度を24時間連続計測・監視した。

当管理システムは、スマートフォンや現場事務所の端末で計測データを常時確認することが可能で、設定した警戒温度を下回った場合には警報メールが携帯電話に送信されるため、養生温度の異常低下等のトラブルを防止できる。本工事においても給熱設備の故障や外周防護設備の破損時に、温度推移の監視と警報メール(警戒温度を7℃に設定)により迅速に対応したことで急激な温度低下や養生温度が5℃以下となる事態を回避することができた。

さらに、移動式作業車は後方に下段作業台等の設備を増設し、次施工ブロック施工箇所への移動に伴う露出面(主桁側面および底面)に対して、給熱と湿潤養生の延長が可能な仕様とした(図-6)。

4. 2 養生方法

コンクリート打込み後、露出面となる床版上面には保温および保湿性に優れた高機能養生マットを敷設し、材齢7日まで湿潤養生を実施した(写真-2左)。さらに、初期材齢時の散水による急冷でコンクリート面に生じるひび割れを防止するため、コンクリートの温度に近い水温に調整した水を散布するよう配慮した。また、移動式作業車の移動に伴う露出面には、速やかにコンクリート保水養生テープを貼り付け、加えて保温養生シートを固定金具で取り付けることで、乾燥の防止と保温状態の維持を可能とし、上床版上面と同様に材齢7日まで保温・保湿養生を実施した(写真-2右)。

本工事での寒冷期における施工では、上記に示した張出し架設の養生設備および養生方法の工夫により、冬期に-12℃を下回る最低気温を記録する工事箇所において、品質管理上の懸念事項であったコンクリートの急激な温度低下に起因する強度発現不良やひび割れを発生させることなく、高品質の主桁コンクリートを構築することができた。



写真-2 養生状況 (左：上床版, 右：主桁側面)



写真-1 移動作業車の養生設備

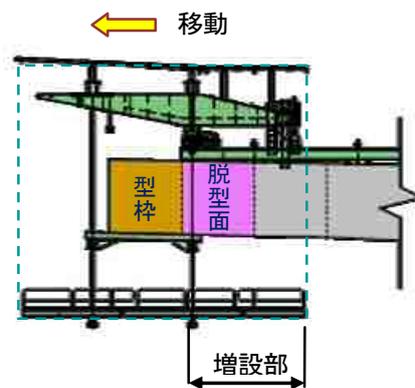


図-6 移動式作業車後方の増設

5. 張出し架設における架設内ケーブルの防錆対策

一般に、PCグラウト工はPC鋼材緊張後速やかに行う必要があるものの、積雪寒冷期に施工する場合は、主桁全長を給熱養生により5°C以上に保つ必要があり、グラウトの施工が困難となるのが実状である。そこで、積雪寒冷期に施工を行う張出し架設部のPC鋼材には工場出荷時に一時防錆処理を施しておき、冬期施工期間終了後にPCグラウトの注入を行うこととした。しかしながら、この方法については、今回想定する長期間(約6ヶ月)の防錆効果についてはメーカー保証がされていないこと、また、架橋地点と同様な積雪・低温環境における防錆効果には不明な部分があるといった課題があった。このため、PC鋼材の暴露試験を実施して、積雪寒冷期における防錆効果の確認を行った。

5. 1 PC鋼材暴露試験概要

本試験における暴露期間については実施工を想定して12月から5月の6ヶ月間とした。暴露試験を行った供試体ケースを表-1に示す。なお、初期濡れについては、初めにPC鋼材上方からジョウロを用いて全体を濡らした後、乾布で3回程度拭い表層部の水分を拭き取ったものと、水分が飛ばなくなるまでコンプレッサーを用いて水分を吹き飛ばしたものの2種類とした。さらに、シースの密閉性が及ぼす影響についても確認を行った。

本試験に用いた供試体はコンクリート中にポリエチレンシースを埋設し、その中にPC鋼より線(7本より鋼線φ15.2mm)を1ケースにつき12本(1本あたりのPC鋼材長さL=900mm)を静置するものとした(写真-3)。

5. 2 PC鋼材暴露試験結果

試験結果から、乾布により表層部の水分を拭き取ったPC鋼材に比べて、コンプレッサーにより水分を吹き飛ばしたPC鋼材の方が錆の発生程度は軽微であることが確認できた。また、写真-4, 5に試験開始から6ヶ月後における未防錆PC鋼材と一時防錆処理を施したPC鋼材の腐食状況を示す。両者とも表面に錆が発生したものの、未防錆PC鋼材(PN-5)ではウエスで拭き取ることができない程度であったのに対して、一時防錆処理を行ったもの(PN-7)は、拭き取ることで軽微な錆であった。なお、シースの密閉性による差異については、今回の試験結果からは確認できなかった。

以上の結果を踏まえて、実施工では、一時防錆処理を施した上で、PC鋼材挿入時にコンプレッサーにより水分を除去する対応を行った。これにより、PCグラウト施工前のファイバースコープを用いた検査では、PC鋼材の表面に錆はなく、PC鋼材の防錆効果は十分にあったことが確認できた。

参考文献

- 1) 松本知也, 中村泰誠, 松本大輔: 積雪寒冷期におけるPC橋上部工工事の施工に関する検討, 土木学会北海道支部 論文報告集, 第72号, 2016
- 2) 横山貴士, 金森真一, 中村収志: 北海道横断自動車道(余市IC~小樽JCT)における寒冷期のコンクリート品質向上に対する取組み, コンクリート工学, Vol. 55, No. 3, pp. 239-244. 2017

表-1 暴露試験の供試体ケース

供試体No.	防錆剤塗布	初期濡れ	シース端部
PN-1	なし	あり ※1	密閉
PN-2			開放
PN-3	あり		密閉
PN-4			開放
PN-5	なし	あり ※2	密閉
PN-6			開放
PN-7	あり		密閉
PN-8			開放

※1 初期濡れ後、乾布で水分を拭き取る
 ※2 初期濡れ後、コンプレッサーで水分を吹き飛ばす



写真-3 供試体設置状況



写真-4 未防錆 PC 鋼材 (PN-5)



写真-5 一時防錆 PC 鋼材 (PN-7)