

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

Examinations for construction of PC bridge super-structure under snowy and the low temperature conditions

東日本高速道路(株) 北海道支社 ○正 員 松本知也 (Tomoya Matsumoto)
 (株)ネクスコ・エンジニアリング北海道 中村泰誠 (Yasunobu Nakamura)
 (株)ネクスコ・エンジニアリング北海道 松本大輔 (Daisuke Matsumoto)

1. はじめに

NEXCO 東日本小樽工事事務所では北海道横断自動車道の余市～小樽間を建設中であり、橋長 600m を超える 2 橋の PC 橋の冬期施工である。冬期施工では PC 鋼材の防食及びコンクリートの品質確保が課題である。

PC 鋼材は PC 橋における生命線であるため、腐食や破断を防ぐ防錆処理には特に留意する必要があるが、それを目的とする低温環境下における PC グラウトの施工は、凍結等により所要の性能が発揮されないため、PC 鋼材の防食については代替方法を検討する必要がある。また、低温環境下でのコンクリート品質確保については、初期材齢時におけるコンクリート表面の急激な温度低下により、ひび割れが発生する恐れがあるため、特に養生方法に留意する必要がある。

これらを踏まえ、本検討では一時防錆処理を施した PC 鋼材の暴露試験及び、保水養生テープを用いたコンクリートの暴露試験を実施し、両試験結果より積雪寒冷期の施工における適切な PC 鋼材の防食方法及び、コンクリートの養生方法を検討した。

2. 対策方法の検討

2.1. PC 鋼材防食方法

一般に、PC 鋼材は PC グラウト工等による防食を行う必要がある。ここで、PC グラウト工は PC 鋼材とコンクリート部材の一体化と鋼材の保護を目的としたもので、PC 鋼材緊張後速やかに行う必要がある。しかし、PC グラウト工を積雪寒冷期に施工する場合、凍結により所要の強度が得られないこと等により性能が発揮されないことが懸念される。このため、一般には日平均気温が 4℃以下となる場合は PC グラウトの注入及び充填は行わないこととされており、冬期に PC グラウト工の施工を行う場合には凍結しないよう主桁全長を 5℃以上に保つ必要があるものの、現実的に困難である。

そこで、積雪寒冷期に施工を行う張出し施工部の PC 鋼材の防錆には防錆剤を用いた一時防錆処理を施した後、冬期施工期間終了後に PC グラウトの注入を行うことによる対策が挙げられる。しかしながら、この方法については今回想定する冬期間の 6 ヶ月程度の長期間の防錆効果については保証されていないこと、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る。このため、一時防錆処理による防錆効果確認のため一時防錆処理を施した PC 鋼材の暴露試験を実施し、積雪寒冷期における防食方法を検討した。

2.2. コンクリート養生方法

積雪寒冷期におけるコンクリートの品質確保については、給熱養生により温度を保持するとともに湿潤状態に保つことが重要である。しかし、冬期間においては養生終了後、低温環境にさらされるため夏期と比べて品質が劣ることが懸念される。そこで、積雪寒冷期のコンクリートの品質確保を図るには保水養生テープを用いた長期養生を行う方法が挙げられる。しかしながら、冬期間に保水養生テープを用いた場合の施工性や効果的な使用方法については未だ十分に検証されているとは言い難いという問題がある。このため、保水養生テープを用いたコンクリート暴露試験により、積雪寒冷期におけるコンクリートの養生方法について検討した。

3. 試験概要

3.1. PC 鋼材暴露試験

(1) 試験内容

積雪寒冷期における PC 鋼材の防食方法に関する検討のため、一時防錆処理を施した PC 鋼材の暴露試験を実施し、PC 鋼材の腐食状況を確認した。本試験における暴露試験期間については 12 月から 5 月の 6 ヶ月間とし、腐食状況の確認は設置から 3 ヶ月後及び 6 ヶ月後に目視により確認を行った。

暴露ケースを表-1 に示す。

表-1 PC 鋼材暴露ケース

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

(2) 暴露ケース

本試験に用いる供試体はコンクリート中にポリエチレン（以下、PE）シースを埋設し、PE シース内に PC 鋼より線（7 本より鋼線φ15.2）を 1 ケースにつき 12 本（1 本当たり PC 鋼材長さ L=900mm）を静置したものとした。なお、ブランク供試体を含むすべての PC 鋼材は同一のロットから採取したものである。

本試験では一時防錆処理による防錆効果確認のため、

防錆剤を塗布する PC 鋼材と塗布しない PC 鋼材の 2 種類とした。さらに、積雪寒冷期における実施工を想定していることから、事前処理として PC 鋼材を PE シース内に配置する前に初期濡れ及び初期損傷を与えた。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 回程度拭き表層部の水分を拭き取ったもの、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。初期損傷としては PC 鋼材に予め PE シース内で 100mm 相当移動させ損傷を与えることとした。また、PE シースの端部は PE シースキャップにより密閉するものと、PE シースキャップにグラウトホースを接続し、開放するものの 2 種類を用意した。

架橋地点にて暴露させる供試体の設置状況を写真-1 に示す。



写真-1 供試体設置状況

3.2. 保水養生テープを用いたコンクリート暴露試験

積雪寒冷期におけるコンクリートの品質確保を目的とした養生方法の検討のため、保水養生テープの有無による保水効果ならびに、気泡シートを併用した場合の効果を材齢 28 日まで確認した。本試験に用いたコンクリート供試体寸法は高さ 600mm×幅 1200mm×厚さ 600mm とした。

保水養生テープを用いたコンクリート供試体の施工状況を写真-2 に示す。



写真-2 保水養生テープ施工状況

保水状況は含水率計を用いて表面水分率を測定するこ

とにより確認することとし、品質向上効果は表面強度及び表面密実性から確認することとした。表面強度についてはテストハンマーを用いたコンクリートの反発度、表面密実性はトレント法による表層透気試験により測定される透気係数より確認した。

暴露ケースを表-2、試験項目及び、試験方法を表-3、表層透気試験状況を写真-3 に示す。

表-2 コンクリート暴露ケース

養生方法	型枠の 存置期間	養生期間
N 型枠養生のみ	5日	5日
N+TP 型枠養生+保水養生テープ	5日	28日
N+TP+A 型枠養生+保水養生テープ+気泡シート	5日	28日

表-3 試験項目及び試験方法

試験項目	試験方法
水分保持状況	含水率計
品質向上	コンクリートの反発度の試験方法
効果	(JIS A 1155)
表面密実性	表層透気試験 (トレント法)



写真-3 表面透気試験実施状況

4. 試験結果

4.1. 暴露試験時の環境

試験時の環境を図-1 に示す。

暴露試験環境は、試験開始から 2 ヶ月は 0℃以下の気温となっており、以降、徐々に気温が上昇し、開始 3 ヶ月以降は平均して 0℃以上となっている。

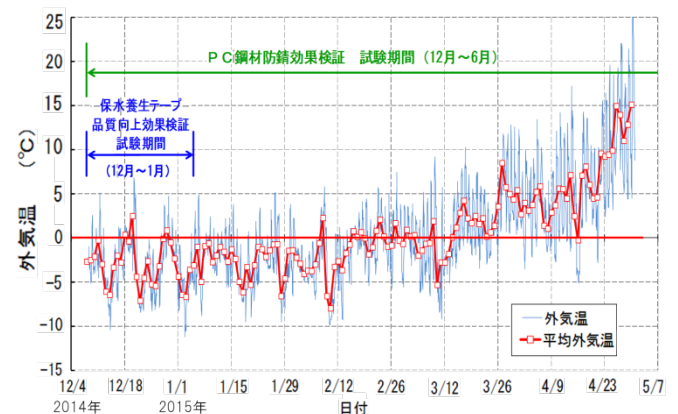


図-1 試験時の環境 (外気温)

4.2. PC鋼材暴露試験結果

試験開始から6ヵ月後における未防錆 PC 鋼材の腐食状況を写真-4 に、一時防錆処理を施した PC 鋼材の腐食状況を写真-5、発生した錆の程度及び引張試験結果を表-4、錆の評価基準を表-5 に示す。

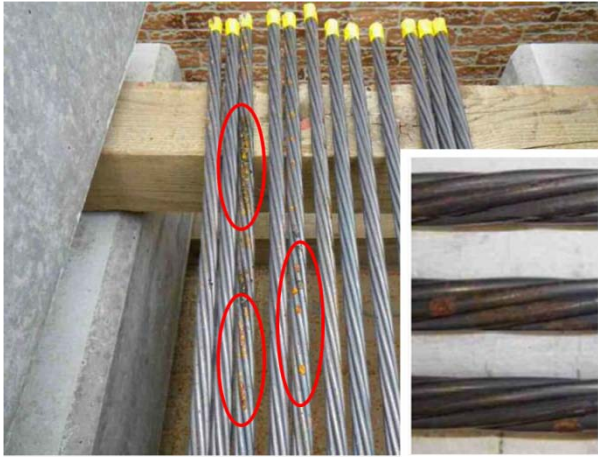


写真-4 未防錆 PC 鋼材の腐食状況 (PN-5)



写真-5 一時防錆処理済み PC 鋼材の腐食状況 (PN-7)

表-4 PC 鋼材の錆の程度及び引張試験結果

供試体 No.	3ヵ月後	評価値 6ヵ月後 ※		発錆面積率 (%)	引張試験 最大試験力 (kN)
		ウエス 錆除去前	ウエス 錆除去後		
PN-1	-	4	4	31	269 272 271
PN-2	-	4	4	28	272
PN-3	-	1	1	1	270 272
PN-4	-	1	1	2	270
PN-5	-	2	2	13	269 273
PN-6	1	2	2	7	-
PN-7	-	1	0	0	271 269 272
PN-8	1	1	0	0	-

※ 腐食状況確認のためウエスで錆を拭き取れるか判断

表-5 錆の程度の評価値

評価値	錆の程度
0	錆が発生しない
1	わずかな錆が発生
2	錆点が所々に発生
3	錆点がかなり発生
4	表面を侵す錆が発生
5	かなり表面を侵す錆が発生

PC 鋼材暴露試験により腐食状況を確認した結果、写真-4 よりコンプレッサーにより水分を吹き飛ばした未防錆鋼材(PN-5) には錆が発生していた。一方、写真-5 より、一時防錆処理を施した上でコンプレッサーにより水分を吹き飛ばした PC 鋼材(PN-7) にも錆が確認されたものの、ウェスで拭き取ることでできる軽微な錆であった。また、表-4 より、乾布により表層部の水分を拭き取った PC 鋼材とコンプレッサーによって水分を吹き飛ばした PC 鋼材では、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いことが確認できた。また、PE シース端部の密閉または開放による影響、引張試験結果による強度の差については差異が認められなかった。以上より、一時防錆処理を施した上でコンプレッサーにより水分を除去することで一定の防錆効果を確認できた。

4.3. 保水養生テープ暴露試験結果

(1) 表面水分率

コンクリートの表面水分率を測定した結果を図-2 に示す。

水分率を測定した結果、型枠のみの養生の場合では、脱型直後 12%であった水分率が、4%～5%まで低下する結果となった。これに対し、脱型後に養生テープを施した場合では、シート撤去後まで 8.9%、気泡シートを併用した場合は 10.8%の水分率であった。脱型後に保水養生シートを用いると表面水分率が高いことがわかった。

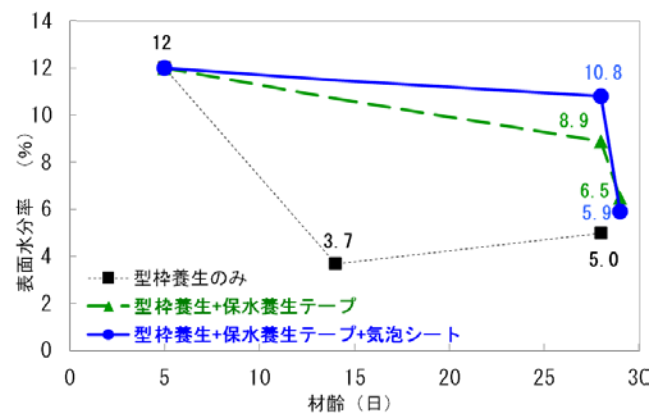


図-2 各種養生後の水分率

(2) 表面強度

材齢 30 日程度において、反発度により表面強度を測定した結果を図-3 に示す。

反発度を測定した結果、5 日間型枠のみの養生の場合では、反発度 37 であったのに対し、脱型後に養生テー

プを用いた場合では、反発度 37.7 と 2%程度反発度が向上し、気泡シートを併用した場合は反発度 39.2 と約 6%反発度が向上する結果となった。

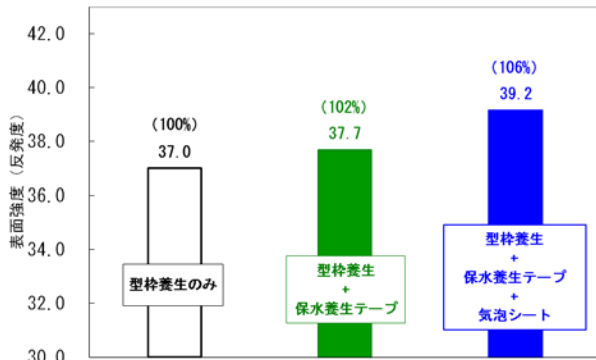


図-3 各種養生後の表面強度

(3) 表面密実性

材齢 30 日程度において、トレント法により表層の密実性を測定した結果を図-4 に示す。なお、透気係数は小さいほど緻密であることを示している。測定の結果 5 日間型枠のみの養生の場合では $0.024 (\times 10^{-16} \text{m}^2)$ であったものが、脱型後に養生テープを用いた場合では、 $0.016 (\times 10^{-16} \text{m}^2)$ と 30%程度透気係数が小さくなり、気泡シートを併用した場合は、 $0.011 (\times 10^{-16} \text{m}^2)$ と約 50%程度、透気係数が減少する結果であった。

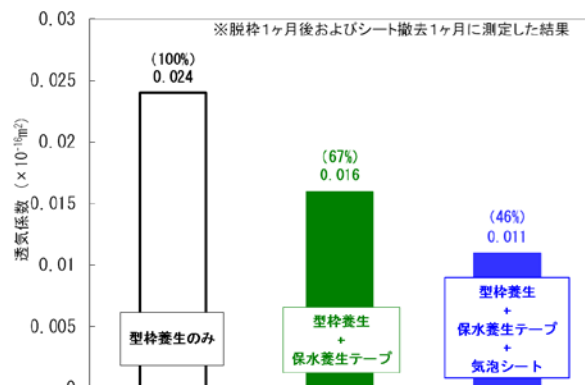


図-4 各種養生後の透気係数

5. 対策方法の決定

5.1. PC 鋼材防食方法

前述の PC 鋼材暴露試験結果から、積雪寒冷期における PC 鋼材の防錆方法について検討した。

一時防錆処理を施した PC 鋼材の防錆性能に関しては「PC グラウト設計・施工マニュアル (案) 平成 16 年 3 月 財団法人高速道路技術センター」によると、布製のウェスで簡単に拭き取れない錆が発生しないことが判断基準として示されている。今回の試験によりこの判断基準を満足するものはコンプレッサーにより水分除去を行った供試体 PN-7 及び PN-8 であった。

また、参考のために実施した引張強度試験結果からどの供試体についても錆の発生による初期の強度低下は見

られなかったものの、ウェスで拭き取ることのできない錆が発生したものについては経年劣化による強度低下が生じる可能性は否定できない。

したがって、積雪寒冷期における PC 鋼材の防食方法としては、防錆剤による一時防錆処理を施すこととする。

なお、試験結果より PE シース端部の違いによる差は見られなかったが、グラウトホースからシース内部に水分が入らないよう対策する必要があると考える。このため PC 鋼材に水分が付着した場合はコンプレッサーにより十分に水分を吹き飛ばすこととする。

5.2. コンクリート養生方法

前述の保水養生テープを用いたコンクリート暴露試験結果から、コンクリート品質確保のための養生方法について検討した。

保水養生テープに気泡テープを併用する養生方法では、表面水分率、表面強度、表面密実性のいずれの測定結果からも最も高い効果が得られた。したがって本工事における養生方法としては、保水養生テープと気泡シートの併用により行うものとする。

なお、保水養生テープのみによる養生についても各種測定結果より十分な効果が得られることを確認できた。このことから積雪寒冷期におけるコンクリート品質の確保のためには脱型後、保水養生テープのみを用いる養生方法でも十分な品質確保が可能である。

6. まとめ

積雪寒冷期における PC 橋上部工施工時の PC 鋼材の防食方法ならびに、保水養生テープを用いたコンクリートの養生方法について検討を行った。

本検討から得られた知見を以下にまとめる。

6.1. PC 鋼材防食方法

本検討で実施した PC 鋼材暴露試験より、一時防錆処理を施した PC 鋼材の防錆効果を確認した。

このことから積雪寒冷期において課題となる、PC グラウトの注入及び充填のできない期間の PC 鋼材の防食に関して、PC 鋼材に一時防錆処理を施した上で水分が付着しないよう対策を行うことにより、積雪寒冷期のように PC 鋼材の緊張後速やかに PC グラウト工を行えない場合であっても、冬期間の張出し施工は可能である。

6.2. コンクリート養生方法

本検討で実施したコンクリート暴露試験より、積雪寒冷期においても、脱型後、保水養生テープを用いて材齢 28 日まで養生を継続することによりコンクリートの品質確保が図れることを確認した。

このことから、積雪寒冷期では夏期に比べてコンクリート品質が劣る懸念があるといった問題に対して、保水養生テープを用いた養生を行うことにより、積雪寒冷期においても一定のコンクリート品質を確保することは可能である。