

## 亜硝酸リチウム添加補修材の防凍性能と強度発現性に関する実験的検討

(株)ピーエス三菱 正会員 工博 ○鴨谷 知繁  
 (株)ピーエス三菱 正会員 深川 直利  
 (株)ピーエス三菱 正会員 工博 石井 浩司  
 神戸大学大学院 正会員 工博 森川 英典

Abstract : After developing the repair method using  $\text{LiNO}_2$ -containing solution and grout for corroded PC tendons in incomplete grouting area, the method is often used for existing PC bridges in hard winter which needs warming curing for quality control.  $\text{LiNO}_2$  is known for anti-freezing admixture of concrete, and evaluating anti-freezing performance and strength increase rate of  $\text{LiNO}_2$ -containing grout improves reliability of the method. Therefore, the compressive strength test of  $\text{LiNO}_2$ -containing grout in Curing Condition of  $-5^\circ\text{C}$ ,  $5^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$  is carried out in this paper.

Key words : Lithium Nitrite, Anti-freezing Performance, PC grout, Compressive Strength

### 1. はじめに

近年、既設のポストテンション方式 PC 橋において、凍結防止剤のグラウト未充填部への侵入に起因する PC 鋼材の著しい腐食や破断が報告されている。著者らは、既報においてこのような腐食した PC 鋼材に対して、シーす内へ 40%の亜硝酸リチウム水溶液を注入後、セメント系の補修材を充填する補修工法（以下、本工法）が有効であることを報告<sup>1)</sup>し、実績を上げている。亜硝酸リチウム水溶液の注入は、錆層内に亜硝酸イオンを効率的に供給し、腐食の進行を抑制することを主目的としている。一方、補修材にはあらかじめ亜硝酸リチウムを添加し、付着の回復に加え、錆層内に供給した亜硝酸イオンが補修材に再拡散することによる腐食抑制効果の低下を抑制している。

実橋における本工法の施工時期の一事例を図-1 に示す。出水期に河川上空に足場を設置できない場合や、単年度予算のため工期が年度末となるような場合には、本工法の施工時期が 12 月~3 月になる場合が多い。本工法の適用される橋梁は、写真-1 に示すように、積雪が多く凍結防止材を散布する寒冷地に建設されていることが多く、氷点下を下回るような寒中条件で施工しているのが現状である。

寒中条件での PC グラウトは、シーす内残留水の凍結防止や PC グラウトの凍結防止を目的に、ダクトおよび周囲の温度を注入前に少なくとも  $5^\circ\text{C}$ 以上にすることや、PC グラウト温度を注入後少なくとも 3 日は  $5^\circ\text{C}$ 以上に保つことが原則として規定されている<sup>2)</sup>。実工事においては、写真-2 に示すようにシート養生やジェットヒーター等による加温養生が施されることが多く、設備的にもコスト的にも負担が多い上に、万が一養生設備にトラブルが発生した場合には、品質上の問題が生じる可能性があった。

一方、本工法で補修材に添加する亜硝酸リチウム水溶液は、コンクリートの防凍剤として知られている。既報<sup>3)</sup>では、亜硝酸リチウム水溶液の濃度が高くなるほど防凍性能が向上すること、積算温度が低下するほど強度発現率や強度発現速度が低下するものの  $-15^\circ\text{C}$ 以下の極低温履歴を受けてもある程度の強度発現が期待されること、亜硝酸リチウム水溶液の添加は加温養生に必要となる設備やコストの低減に有効であることが確認されている。本工法で使用する亜硝酸リチウム添加補修材は、標準的な配合で  $47.6\sim 49.2\text{kg/m}^3$ 程度の亜硝酸リチウムが添加されているため高い防凍性能が期待される。さらに、同補修材の標準養生における  $\sigma_{28}$  は  $70\text{N/mm}^2$  以上であり低温による強度発現速度の低下を考慮しても PC グラウトとしての要求性能  $\sigma_{28} > 30\text{N/mm}^2$  を満足すると期待され、これらの性能の定量的評価により、寒中条件下における施工の品質・

信頼性の向上が可能になると考えられる。

そこで、本稿では、実際の補修で使用する配合の亜硝酸リチウム添加補修材を練混ぜ直後から、室内温度-5℃、5℃、20℃の恒温室において気中養生を行い、防凍性能や強度発現性について確認試験を行った。

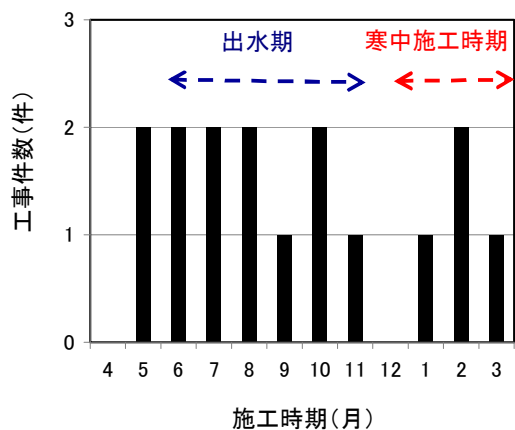


図-1 本工法の施工時期の一例



写真-1 寒中条件下で加温養生を行って施工した橋梁の一例



写真-2 寒中条件下での加温養生の一例

(左：足場側面のシート養生状況 右：ジェットヒーターによる加温養生状況)

## 2. 試験概要

亜硝酸リチウム添加補修材の配合を表-1 に示す。練混ぜ水の調整範囲は、7.25～7.75kg/バッチであり、本試験では亜硝酸リチウムの濃度がもっとも低くなるように最大練混ぜ水量にて試験を行った。表中の水結合材比は、亜硝酸リチウム水溶液に含まれる水と練混ぜ水の合計を結合材で除した値であり、水結合材比の上限45%を満足している<sup>2)</sup>。本配合における亜硝酸リチウム濃度は47.6kg/m<sup>3</sup>と算出される。

試験要因は、養生温度と材齢とし、それを表-2 に示す。1000rpm のハンドミキサーで練り混ぜた亜硝酸リチウム添加補修材を、φ50mm×L100mm の簡易型枠に打設しテストピースとした。テストピースは3本/材齢とし、気温20℃および5℃養生条件では、材齢3日、7日、28日について検討し、気温-5℃養生条件では前者に加え、材齢14日、21日についても検討した。養生温度はテストピース採取後、圧縮強度試験の直前まで一定とした。

表-1 亜硝酸リチウム添加補修材の配合

配 合	練上がり 温度 (°C)	水結合材比※ (%)	練混ぜ水 (kg)	結合材 (kg)	40%亜硝酸 リチウム水溶液 (kg)
1m <sup>3</sup>	15.7	44.5	485	1251	119
1バッチ			7.75	20	1.9

※水結合材比は、練混ぜ水と亜硝酸リチウム水溶液に含まれる水の合計を結合材で除した値である。

表-2 試験要因

材 齢		テストピース本数				
		3日	7日	14日	21日	28日
養生 温度	20°C	3本	3本	/		3本
	5°C	3本	3本	/		3本
	-5°C	3本	3本	3本	3本	3本

### 3. 試験結果

圧縮強度の試験結果を図-2 に示す。養生温度 20°Cでは、材齢 3 日で規格値を超える強度が発現しており、材齢 7 日までの強度発現速度は大きかった。また、材齢 3 日以降強度発現速度は低下するものの、材齢 28 日は規格値を大きく上回る 83.8N/mm<sup>2</sup>となった。次に、養生温度 5°Cでは、養生温度 20°Cと比較して、材齢 7 日までの強度発現速度が低下し材齢 3 日は 30N/mm<sup>2</sup>を下回ったものの、概ね材齢に比例して強度発現し、材齢 28 日は規格値を大きく上回る 70.3N/mm<sup>2</sup>となった。最後に、養生温度-5°Cは、強度発現速度がさらに低下したが、材齢に比例して強度発現し材齢 28 日は規格値を上回る 39.1N/mm<sup>2</sup>となった。

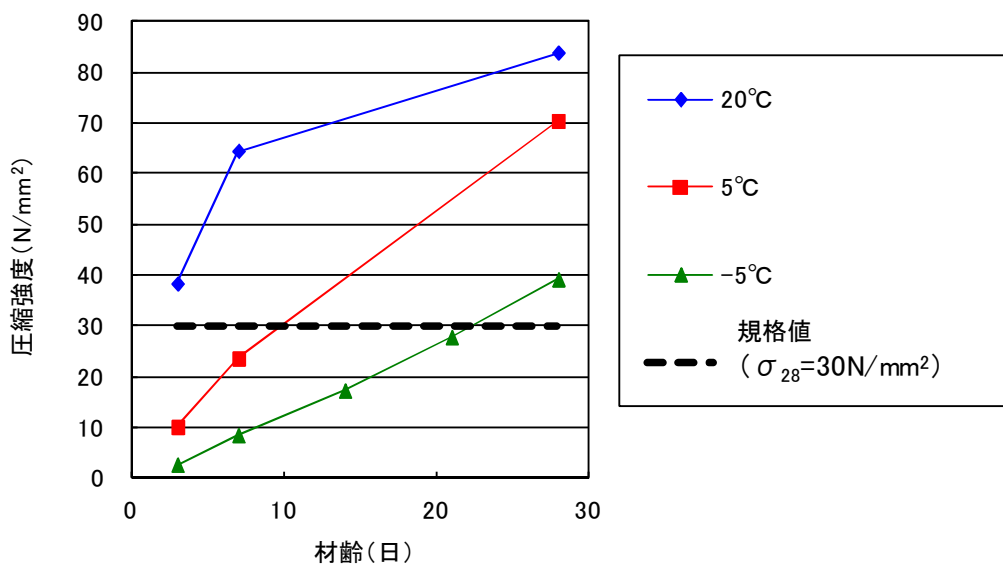


図-2 圧縮強度試験結果

-5℃養生条件のテストピースの圧縮強度試験直前の外観を写真-3 に示す。比較のために同じ結合材で亜硝酸リチウムを添加しなかった場合も合わせて示す。写真左の亜硝酸リチウム無添加の場合には、テストピース表面に細かな凹凸が生じている。これは、テストピース内の水分の凍結による初期凍害が発生し、脱枠時にテストピース表面の一部が型枠に付着したために生じたものである。写真右の亜硝酸リチウム添加補修材では、支障なく脱枠でき、亜硝酸リチウム無添加のテストピースのような初期凍害による表面の凹凸は発生は発生しなかった。

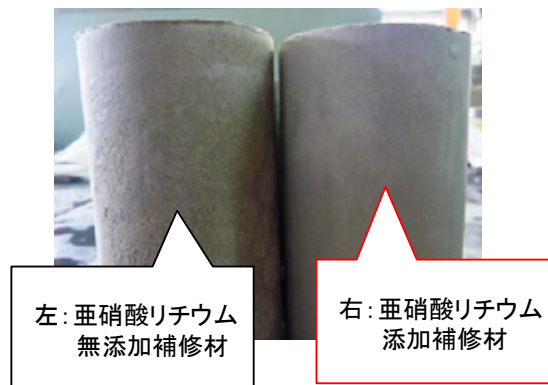


写真-3 養生温度-5℃のテストピースの外観（材齢 28 日）

#### 4. まとめ

本稿では、凍結防止剤に起因して PC 鋼材が腐食した PC グラウト充填不足部への充填用に開発した亜硝酸リチウム添加補修材の冬期における施工を念頭に、防凍性能および強度発現性について実験的な検討を行った。以下に本実験の範囲で得られた知見をまとめる。

- 1) 亜硝酸リチウム添加補修材は、少なくとも-5℃以上の環境であれば防凍性能により強度発現し、 $\sigma_{28} > 30\text{N/mm}^2$  という PC グラウトとしての要求性能を満足するため、亜硝酸リチウム添加補修材の使用により、寒中条件下における施工の品質・信頼性が向上すると考えられる。
- 2) 亜硝酸リチウムを添加しない補修材については、亜硝酸リチウム添加補修材のような防凍性能は期待できない。
- 3) 亜硝酸リチウム添加補修材の強度発現性は、-5℃～5℃の条件では、ほぼ経過時間に比例する。

本稿で設定した養生条件に加えて、さまざまな条件で追加試験を実施しデータを蓄積していくことで、加温養生の簡素化や合理的な寒中対策の立案が可能になるもの考えられるが、この点については今後の課題としたい。

#### 参考文献

- 1) 鴨谷知繁，青山敏幸，石井浩司，堀健治，森川英典：凍結防止剤により腐食した PC 鋼材のグラウト再注入補修方法の検討，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第 11 巻，pp.521-528, 2011
- 2) プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC グラウト&プレグラウト PC 鋼材施工マニュアル 2013 改訂版
- 3) 宮田修司，藤堂勝也：三浦ダムの取水塔に対する寒中コンクリートを用いた補修工事，ダム工学，Vol.7, No.1, pp40-48, 1997