

耐寒 PC グラウトの流動性と低温下における強度発現性に関する基礎的検討

北見工業大学大学院 学生員 ○田家 康平
 北見工業大学 正会員 井上 真澄 崔 希燮
 日本高圧コンクリート(株) 正会員 吉岡 憲一
 日産化学(株) 正会員 須藤 裕司

1. はじめに

ポストテンション方式の PC 構造物において、PC グラウトは PC 鋼材を腐食から保護し、コンクリート部材と一体化する役割を有する。一方で寒中のグラウト施工では、万一グラウトが凍結するとグラウトの強度発現の遅れやグラウト中の水分の凍結膨張により PC 鋼材に沿ったひび割れが発生する危険性がある¹⁾。この問題を解決するには、低温環境下でも凍結しないグラウトの開発が必要である。一般にセメント系材料に耐寒性を付与し強度促進を図る場合、無塩化・無アルカリ性型の亜硝酸塩系混和剤が使用されている。そのうち亜硝酸リチウム(LiNO₂, 以下 LN)は耐寒性ととも初期強度発現性を有する²⁾だけでなく、セメント系材料への多量添加が可能かつ流動性変化が小さいことが知られている³⁾。

そこで本研究では、-10℃を下回る低温環境下においても特別な養生をしなくても凍結しない耐寒 PC グラウトを開発することを目的として、亜硝酸リチウム(LN)の添加がグラウトの品質に及ぼす影響について検討した。

2. LN を添加したセメントペーストの物理的検討

まず本実験では、LN による低温下での硬化促進効果を確認することを目的に、LN を添加したセメントペーストの圧縮強度、水和熱および細孔構造の経時変化の測定を行った。使用材料は普通ポルトランドセメント(C, 密度 3.16g/cm³)、硬化促進剤として LN を主成分とした材料を使用した。配合は、一般的なグラウトの配合⁴⁾を参考に W/C=43%とし、LN の添加率はセメント質量に対する割合として計算し、0, 2, 4, 6%の4水準とした。材料の温度管理および練混ぜは温度+10±1℃、湿度 85±5%の環境で行い、打込み直後から-5℃の低温槽にて所定材齢(3, 7, 14, 28 日)まで封緘養生した。

図-1 に圧縮強度の経時変化を、図-2 に LN=2, 4, 6%の細孔径分布を示す。LN 無添加(LN=0%)のケースでは、いずれの材齢も硬化していなかった。また、LN=2%では材齢 28 日の圧縮強度は 5.1N/mm² であり、初期凍害の影響により強度発現が遅れていると推察される。これに対して LN=4%と LN=6%では、全ての材齢で強度発現を確認し、材齢 28 日において 30N/mm² 以上の強度が得られた。これは、LN に含有する亜硝酸イオン(NO₂)がセメントの水和反応を促進⁵⁾させたことによるものと考えられる。一方で材齢 28 日の細孔径分布をみると、LN=2%では 10～100 μm の範囲にピークが確認された。これは初期凍害の影響によるものと推測され、強度発現が遅延した一因と考えられる。

3. LN を添加した PC グラウトの品質評価

2 章の結果を踏まえて、厳冬期における施工を想定し LN を添加した PC グラウトの流動性および低温下で封緘養生(-5, -10, -15℃)した場合の圧縮強度の経時変化について検討した。また、低温養生後の強度回復を確認するため+20℃の恒温下で追加養生を行った。使用材料は 2 章のものに加えて PC グラウト設計施工指針

キーワード PC グラウト, 亜硝酸リチウム, 寒中施工, 強度発現, 流動性

連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町 165 北見工業大学工学部社会環境系 TEL0157-26-9513

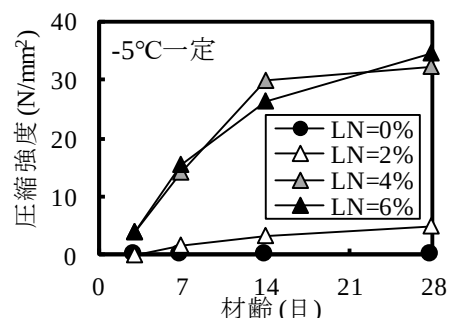


図-1 圧縮強度の経時変化

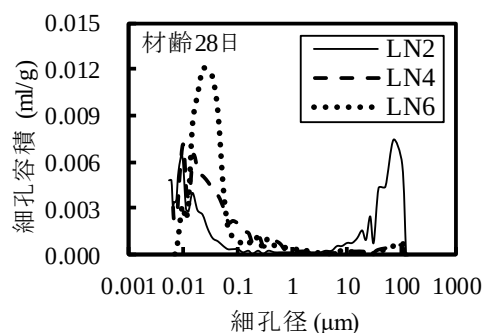


図-2 細孔径分布

5)を参考にして高粘性型グラウト混和剤(Ad)を使用した。材料の温度管理および練混ぜ方法は2章と同様である。

表-1に実験要因を示す。PCグラウトのW/Cは43.0%とした⁴⁾。LNおよびAdの添加率はセメント質量に対する割合で添加し、LN添加率は2章および既往文献^{2),3)}を参考にした。

図-3に流下時間とLN添加率の関係を示す。図中グレー色の範囲は高粘性型PCグラウトの流下時間の管理範囲⁴⁾である。練混ぜから15分後および30分後では、LN添加率が7%までは流下時間の変化は小さいが、8%以上になると急激に長くなる傾向を示し、12%では測定不能となった。これは、LN添加率が増加するに伴い、LNに含有する亜硝酸イオン(NO_2^-)がセメントの水和反応を促進⁵⁾させたことにより、流動性を失ったと考えられる。

図-4に養生条件毎の圧縮強度とLN添加率の関係を示す。図中の太線は圧縮強度の判定基準⁴⁾である。圧縮強度の変化には共通点があり、LN添加率が小さい領域では強度発現が小さく、強度発現が遅れている。また、目視により供試体側面に凍結模様を確認したことから、初期凍害を受けていると推察される。一方でLN添加率を増加させると、 -5°C の場合で3%、 -10°C の場合で4.5%、 -15°C の場合で7%において圧縮強度が著しく増大した。材齢28日強度を見ると -5°C および -10°C 養生では判定基準(30N/mm^2)⁴⁾を満足したが、 -15°C 養生では、いずれの添加率においても 30N/mm^2 を下回った。しかし、 $+20^\circ\text{C}$ の回復養生を行った結果、LN添加率7%以上の範囲では 30N/mm^2 を大きく上回ったことから、初期凍害は受けていないと推測される。

4.まとめ

- 1) LN添加率が7%以下の範囲では、PCグラウトの流下時間に及ぼす影響は小さい。しかし、15～30分後では10%を超える添加率では流下時間の測定は不能となった。
- 2) PCグラウトに亜硝酸リチウムを適量添加することで低温環境下での初期凍害を防止し、良好な強度発現性が得られることを確認した。

参考文献

- 1) 日本道路協会：コンクリート道路橋施工便覧，pp.361-362，1984.2
- 2) 藤堂勝也ほか：亜硝酸リチウムを防凍剤として使用したコンクリートの性状，土木学会年次学術講演会講演概要集(第5部)，Vol.51，pp.468-469，1996.9
- 3) 堀孝廣ほか：防錆モルタルに関する研究，コンクリート工学論文集，Vol.5，No.1，pp.89-91，1994.1
- 4) プレストレストコンクリート工学会：PCグラウトの設計施工指針(改訂版)，2012.2
- 5) Ramachandran, V.S. : Concrete Admixture Handbook, Noyes Publications, U.S.A., pp.740-799, 1995

表-1 実験要因

要因		仕様
PC グラ ウト	W/C	43.0%
	LN 添加率	0～12.0%
	Ad 添加率	1.0%
養生条件		-5°C 、 -10°C 、 -15°C (材齢28日まで) ↓ $+20^\circ\text{C}$ (材齢56日まで)
測定項目		流下時間(JP漏斗試験) 圧縮強度

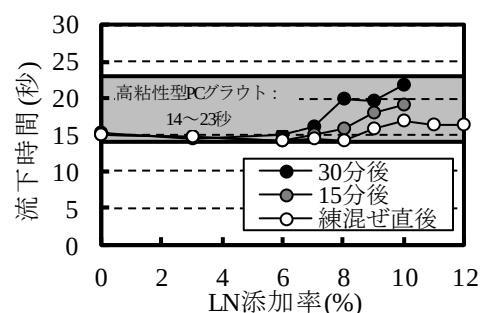


図-3 流下時間とLN添加率の関係

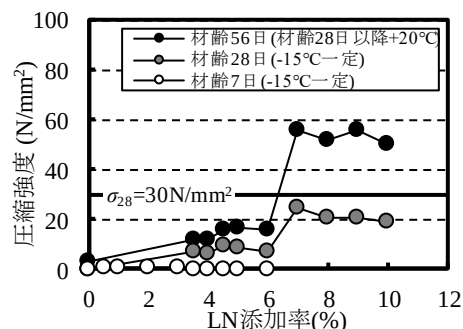
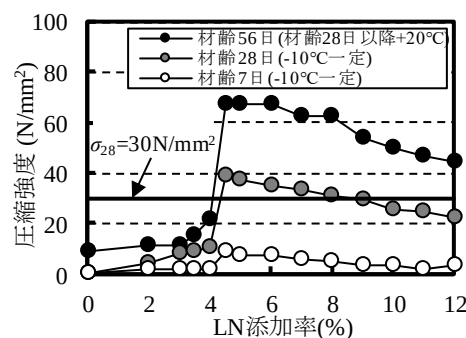
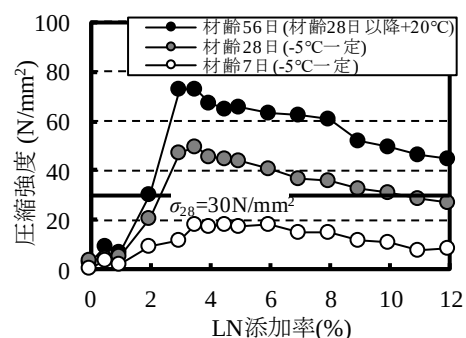


図-4 圧縮強度とLN添加率の関係