

亜硝酸リチウムを添加した耐寒 PC グラウトの実大施工実験

Full-scale construction experiments of non-freezing PC grout by using lithium nitrite

北見工業大学大学院工学研究科社会環境工学専攻	○学生員	田家康平 (Kohei Taya)
北見工業大学工学部社会環境系	正 員	井上真澄 (Masumi Inoue)
北見工業大学工学部社会環境系	正 員	崔 希燮 (Heesup Choi)
日本高圧コンクリート(株)	正 員	吉岡憲一 (Kenichi Yoshioka)
日産化学(株)	正 員	須藤裕司 (Yuhji Sudoh)

1. はじめに

ポストテンション方式のプレストレストコンクリート(以下、PC と称す)構造物では、シース内に配置されたPC 鋼材とシースの隙間に PC グラウトを注入し充填することで 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ことが極めて重要である。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 PC グラウトの強度発現の遅れや凍結膨張によりコンクリート部材に PC 鋼材に沿ったひび割れが生じる危険性がある¹⁾。そのため現行の PC グラウトの設計施工指針²⁾では、日平均気温が 4℃以下となるような寒中ではグラウトの注入作業を行わないことを標準としている。やむを得ず寒中でのグラウト注入作業を行う場合には、グラウトの凍結を防ぐために構造物全体や大部分を覆う大がかりな養生囲いを設けて給熱養生する必要がある。しかし、グラウトの使用量(材料費)に対して給熱機の燃料消費量が膨大となり養生費が過大となることから、積雪寒冷地では寒中のグラウト施工を避けざるを得ないケースが多く、PC 構造物の通年施工の大きな障害となっている。

この問題の解決には、養生囲いや給熱を行わなくとも氷点環境下において凍結しない PC グラウトの開発が必要である。これまで著者らは、亜硝酸リチウム(以下、LN と称す)を主成分とする硬化促進剤を用いた PC グラウトの流動性や氷点環境下における強度発現性について基礎的検討を行ってきた。グラウト注入時の温度条件毎に LN の添加率を適正に設定することで凍結を防止できるとともに、氷点環境下においても良好な強度発現が得られることを確認している^{3),4)}。

そこで本研究では、LN を添加した耐寒 PC グラウトの実部材への適用性を把握するため、実物大試験体を対象に厳冬期の屋外環境下において耐寒 PC グラウトを注入した場合の充填状況や強度発現性について検討を行った。

2. 透明シース管による PC グラウト注入試験

2.1 試験概要

まず実施工に向けた一検討として、透明シース管を用いた実物大のグラウト注入試験体を作製し、厳冬期の屋外環境下においてシース内に LN を添加した PC グラウトを圧送した場合の充填状況を確認するとともに、PC グラウトの品質管理試験方法²⁾に準拠して各種試験および圧縮強度の経時変化を確認した。

2.2 PC グラウト注入試験体

図-1 と図-2 に PC グラウト注入試験体の概要を示す。注入試験体は、PC グラウト&プレグラウト PC 鋼材施工マニュアル 2013 年版⁵⁾に準拠し、シースおよび PC 鋼線の形状は連続桁を、桁形状は T 桁を想定して作製した。シースの水平長は 30.7m、下りおよび上り勾配を 10°として 1.1m の高低差をもたせた。また、シース管には注入した PC グラウトの充填状況を目視で確認するため、内径 81mm の透明ポリエチレン製シースを用い、呼び径 15.2mm の PC 鋼より線を 12 本(12S15.2)挿入した。

2.3 実験方法

表-1 に実験要因を示す。PC グラウトの設計施工指針²⁾を参考に、現在市販されているグラウト混和剤を用いた高粘性型と、プレミックス材を用いた超低粘性型の 2 種類を使用し、これに LN を添加した。グラウト注入時の外気温の想定から LN の添加率は両タイプとも 5%を選定し、LN 無添加のケースと比較検討した。水粉体比 W/P(または水セメント比 W/C)は、グラウトタイプ毎に流下時間の規定値²⁾を満足させるため、実機のグラウトミキサーで試験練りを行い決定した。

図-3 に実験期間中の日平均気温の履歴(北海道北見市)を示す。試験は、北見工業大学・オホーツク地域創生研究パーク内の屋外試験場を使用し、2 月中旬から 5 月中旬にかけて実施した。PC グラウト注入作業時の外気温は-10.5℃であった。

LN 無添加の標準 PC グラウトの養生条件は、実際の寒中グラウト施工を想定して、試験体周辺全体に養生囲いを設置してジェットヒーターによる給熱を行い、試験体周辺の温度を注入前から材齢 3 日まで 5~10℃に保持した²⁾。一方、LN を添加した耐寒 PC グラウトでは、注入前から実験期間中を含めて給熱および保温は一切せず、雪荷重によるシースの破損(曲げ折れ)防止のため、防雪シートによる囲いのみ設置した。

2.4 測定項目

試験は、PC グラウトの品質管理試験方法²⁾に準拠し、JP 漏斗による流動性試験(JSCE-F 531)、材料分離抵抗性試験(JSCE-F 534)、ブリーディング率試験および体積変化率試験(JSCE-F 535)を実施した。圧縮強度試験は、グラウト練混ぜ直後(グラウト注入前)に試料を採取し、φ 50×100mm のぶりき製軽量型枠に打込んだ。その後、打込み面をラッピングして封緘した状態で各養生条件下に保管し、所定材齢(材齢 7, 28, 91 日)において圧縮強

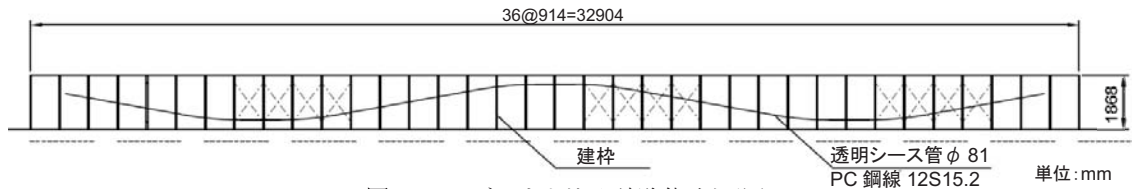


図-1 PC グラウト注入試験体(側面図)

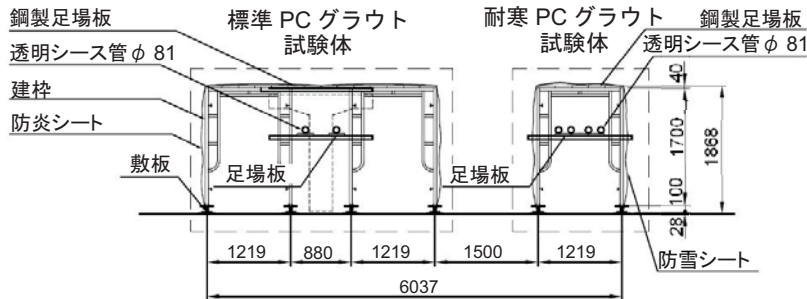


図-2 PC グラウト注入試験体(断面図)

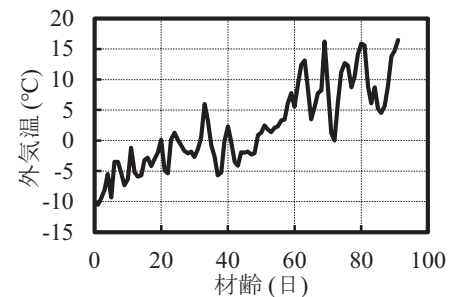


図-3 実験期間中の日平均気温の履歴

表-1 実験要因

PC グラウトの種類	養生条件	W/P* (%)	測定項目
高粘性型	標準 PC グラウト (LN=0%)	給熱	41.5
高粘性型	耐寒 PC グラウト (LN=5%)	無	42.5
超低粘性型	標準 PC グラウト (LN=0%)	給熱	37.0
超低粘性型	耐寒 PC グラウト (LN=5%)	無	37.0
			流動性 材料分離抵抗性 ブリーディング率 体積変化率 圧縮強度

注)*: 高粘性型では水セメント比(W/C)を示す。

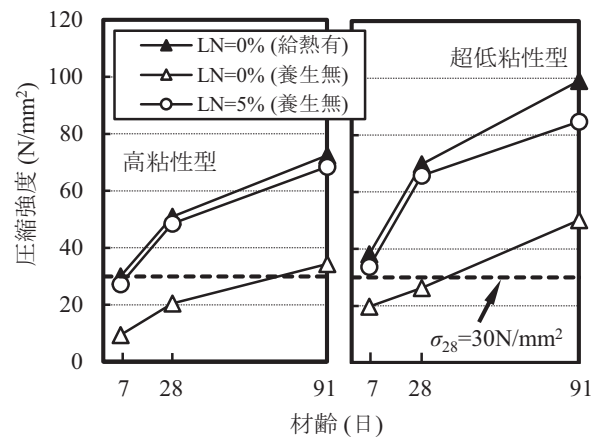


図-4 圧縮強度の経時変化

表-2 PC グラウト品質管理試験結果

試験項目	試験方法	判定基準	高粘性型		超低粘性型	
			LN = 0%	LN = 5%	LN = 0%	LN = 5%
レオロジー試験	JSCE-F 531	14～23 秒	22.8 秒	15.7 秒	—	—
		3.5～6 秒	—	—	3.6 秒	4.9 秒
材料分離抵抗性試験	JSCE-F 534	ブリーディングが認められない	ブリーディングは認められない	ブリーディングは認められない	ブリーディングは認められない	ブリーディングは認められない
ブリーディング率試験	JSCE-F 535	0.3%以下	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
体積変化率試験		-0.5～0.5%	0.0%	-0.3%	-0.5%	-0.3%

度(JSCE-G 531)を測定した。なお、LN 無添加の標準 PC グラウトについては、φ 50×100mm 供試体の一部を給熱養生せずに防雪シート内で養生し、圧縮強度を比較検討した。

2.5 実験結果および考察

表-2 に PC グラウトの品質管理試験結果を示す。LN の添加の有無に関わらず、いずれの品質管理試験結果も判定基準²⁾を満足した。また、PC グラウトの透明シース管への圧入作業では、グラウトタイプに関わらずシース管内に空隙を残留させることなくグラウトを確実に充填できることを確認した。

図-4に圧縮強度試験結果を示す。LN無添加の標準PCグラウトにおいて給熱養生の有無で比較すると、給熱養生無では強度発現が遅れており、材齢28日では高粘性型で20.5N/mm²、超低粘性型で26.3N/mm²であった。一方、LNを添加した耐寒PCグラウトでは、LN無添加で給熱養生した標準PCグラウトと概ね同様の強度発現が得られた。また、材齢28日においては高粘性型で48.5N/mm²、超低粘性型で65.8N/mm²を示しており、PCグラウトの判定基準(材齢7日以降28日までに30N/mm²以上)²⁾を満足することを確認した。

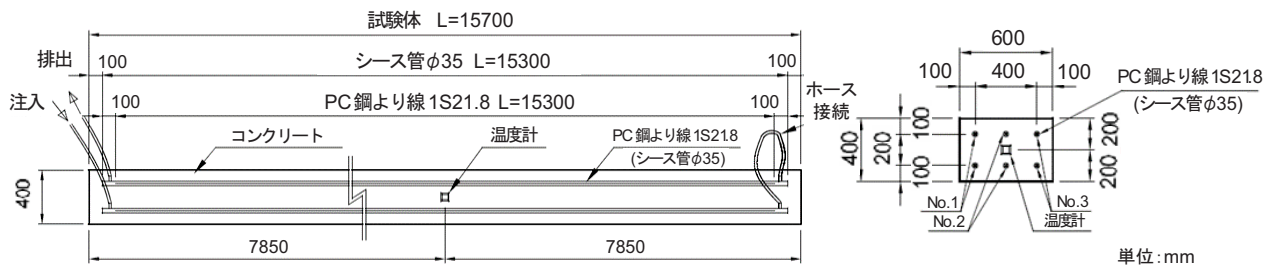


図-5 コンクリート試験体の概要

表-3 実験要因

配合名	グラウト タイプ	W/P (%)	LN 添加率 (%)	シース 番号	測定項目
LN0	超低粘性型	37	0	No.1	流下時間 圧縮強度
LN5			5	No.3	
LN9			9	No.2	

3. コンクリート試験体を用いた PC グラウト注入試験

3.1 実験概要

前章の実物大注入試験に引き続き、実施工に向けた検討として、シース管を埋設したコンクリート試験体を作製し、厳冬期の屋外環境下においてLNを添加した耐寒PCグラウトを注入した場合の充填性を確認した。また、氷点下に曝されたコンクリート中のシース内での温度低下が注入直後のPCグラウトの品質に与える影響を確認することを目的として、注入前後に強度測定用の供試体採取し、圧縮強度の経時変化を比較検討した。

3.2 コンクリート試験体

図-5 にコンクリート試験体の概要を示す。試験体寸法は、幅 600mm、高さ 400mm、長さ 15700mm とし、図に示す位置にφ35mmの鋼製シース管を6本埋設した。上下2本のシース管は、注入口および排出口とは反対側の端部でビニールホースにより接続し、すべてのシース管内に呼び径 21.8mm の PC 鋼より線を1本(1S21.8)挿入した。コンクリートは設計基準強度 24N/mm² とし、W/C は 52%とした。試験体は、コンクリート打込み後材齢 1 日まで給熱養生(10℃)した後、材齢 7 日まで屋外環境下で養生してから PC グラウトの注入作業を行った。

3.3 実験方法

表-3 に実験要因を示す。実験期間中の最低気温を-15℃～-10℃と想定し、室内試験⁹⁾の結果に基づいて-15℃養生下で材齢 28 日圧縮強度の規定値(30N/mm²以上)を満足した超低粘性型 PC グラウトを使用した。LN の添加率は 5%と 9%の2水準を選定し、LN 無添加のケースと比較検討した。水粉体比は、超低粘性型 PC グラウトの流下時間の管理範囲²⁾を満足させるため、実機のグラウトミキサーでの試験練りにより決定した。PC グラウト用材料およびグラウトミキサーおよびポンプは雰囲気温度が 5～10℃程度の養生囲い内で保管し、試験当日の PC グラウトの練混ぜも同養生囲い内で行った。

実験は、まずグラウト練混ぜ直後に流下時間を測定し、注入前の圧縮強度測定用ぶりき製軽量型枠(φ50×100

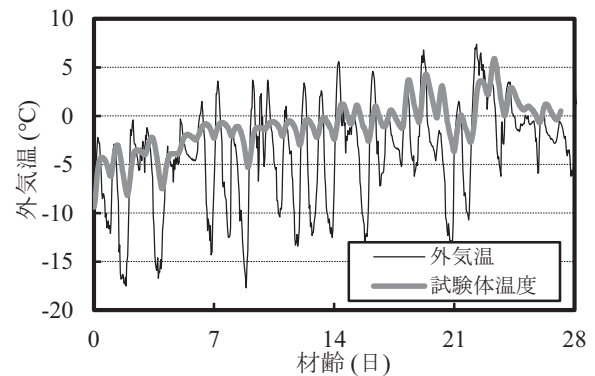


図-6 実験期間中の日平均気温の履歴

mm)に打込んだ。次に図-5に示す注入口からPCグラウトを圧送し、排出口から排出されたPCグラウトを注入後の圧縮強度測定用として同軽量型枠に打込んだ。採取した供試体は、打込み面をラッピングして封緘した状態で屋外環境にて暴露養生した。

図-6 にグラウト注入日から材齢 28 日までの外気温(北海道北見市)とコンクリート試験体中心部(測定位置は図-5 参照)の温度履歴を示す。試験は、前章と同じく北見工業大学・オホーツク地域創生研究パーク内の屋外試験場を使用し、2月中旬から5月中旬にかけて実施した。グラウト注入作業時の外気温は-8.8℃、コンクリート試験体内部の温度は-8.3℃であった。

3.4 実験結果および考察

PC グラウト練混ぜ直後の流下時間は、すべてのケースで超低粘性型 PC グラウトの管理範囲²⁾を満足した。また、いずれのケースもコンクリート試験体に埋設したシース管への注入作業に支障はなく、排出口から排出された PC グラウトの凍結や材料分離などの変状は目視の範囲では観察されなかった。

図-7 に注入前後に採取した供試体の圧縮強度の経時変化とそのばらつきを示す。圧縮強度は各ケース3体の平均値で示した。LN 無添加の LN0 では、LN を添加したケースより強度が小さい。試験値のばらつきが大きく注入前後の圧縮強度の差も大きいことから、シース内での凍結作用に伴う材料分離等の影響により品質が変動しているものと考えられる。また、LN0 の圧縮強度供試体表面には目視により氷針状の幾何学的模様が部分的に浮き出ていることを確認しており、凍結の影響も受けていると考えられる。一方、LN5 および LN9 では、注入前後の圧縮強度の差異は小さく、注入前後で PC グラウトの品質変動も小さいものと考えられる。また、材齢の

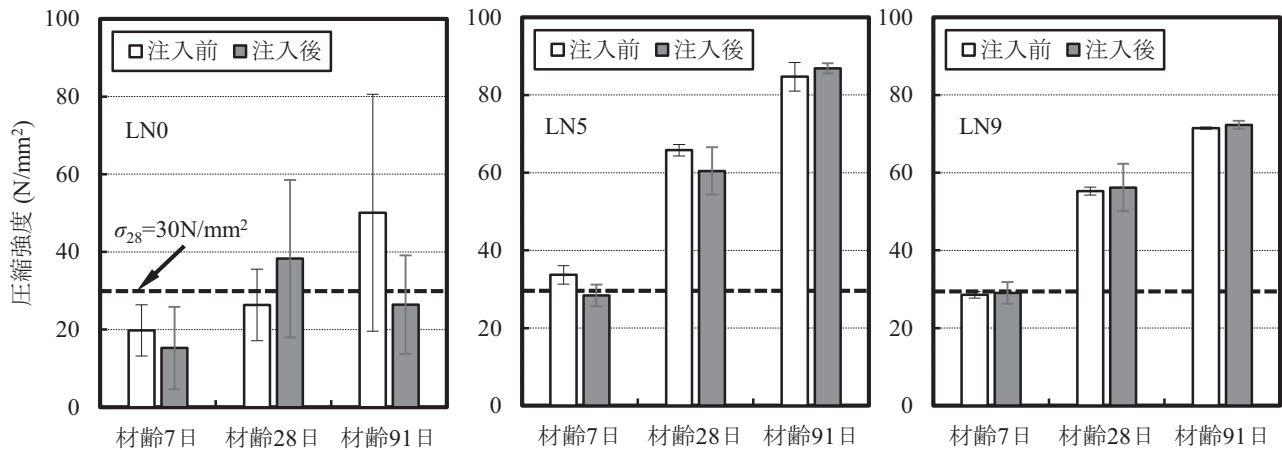


図-7 圧縮強度の経時変化

経過に伴い強度増進しており、材齢 28 日には PC グラウトの圧縮強度の規定値である 30N/mm^2 を大きく上回ることを確認した。

写真-1 にグラウト注入翌日に確認されたコンクリート試験体のひび割れ状況を示す。シース管 No.1 に注入した LN0 のケースでは、試験体全長に渡って試験体側および打込み面にシース管に沿ったひび割れ(最大ひび割れ幅で 0.15mm 程度)を確認した。ひび割れが確認された断面で試験体を切断すると、シース管まで貫通するひび割れも観察された。図-6 の温度履歴が示すようにグラウト注入日から翌日にかけてのコンクリート試験体中央部の温度は $-9\sim-5^{\circ}\text{C}$ 程度を推移しており、シース管内に注入した PC グラウトの凍結膨張がひび割れの原因になったものと推察される。一方、LN9 および LN5 を注入した No.2 および No.3 のシース管周辺のコンクリート試験体表面にはひび割れ等の変状は確認されなかった。また、材齢 91 日までの暴露試験終了後にコンクリート試験体を長手方向に約 2m 間隔で切断し、全切断面でシース管内の PC グラウトの充填状況を目視で観察したところ、いずれのケースにおいても充填不良や空隙などは確認されなかった。

4. まとめ

本研究では、 -10°C を下回る氷点環境下において特別な養生を必要としない耐寒 PC グラウトの開発を目的として、亜硝酸リチウム(LN)を添加した PC グラウトの実部材への適用性を把握するために、実物大試験体を対象に厳冬期の屋外環境下において耐寒 PC グラウトを注入した場合の充填状況や強度発現性などの基礎的性状を確認した。以下に本実験の範囲で得られた知見をまとめる。

- 1) 透明シース管を用いた実物大 PC グラウト注入試験の結果、LN を添加した耐寒 PC グラウトは、厳冬期の屋外環境下においてもシース管への確実な充填が可能であるとともに、PC グラウトの品質基準を満足することを確認した。
- 2) コンクリート試験体を用いた注入試験において、グラウト注入前後に採取した供試体の圧縮強度は、LN を添加した耐寒 PC グラウトは注入前後で圧縮強度の差異は小さく、材齢 28 日には PC グラウトの圧縮強

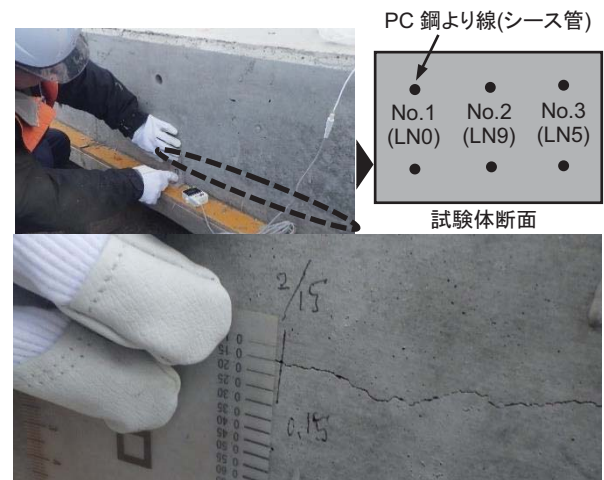


写真-1 ひび割れ発生状況(No.1 : LN0)

度の規定値(30N/mm^2 以上)を満足することを確認した。また、試験体を切断してシース管内への充填状況を確認した結果、耐寒 PC グラウトの充填不良や空隙は確認されなかった。

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) 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
- 3) 田家康平，井上真澄，崔希燮，吉岡憲一，須藤裕司：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，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.75，V-17，2020.8
- 4) 田家康平，井上真澄，崔希燮，吉岡憲一，須藤裕司：亜硝酸塩を添加したセメント系材料の氷点下における強度特性，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.76，V-09，2021.8
- 5) 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 年版，2013.8
- 6) 吉岡憲一，井上真澄，須藤裕司，星博夫：耐寒 PC グラウトの開発とその実用性に関する検討，プレストレストコンクリート，Vol.63，No.5，pp.52-59，2021.9