

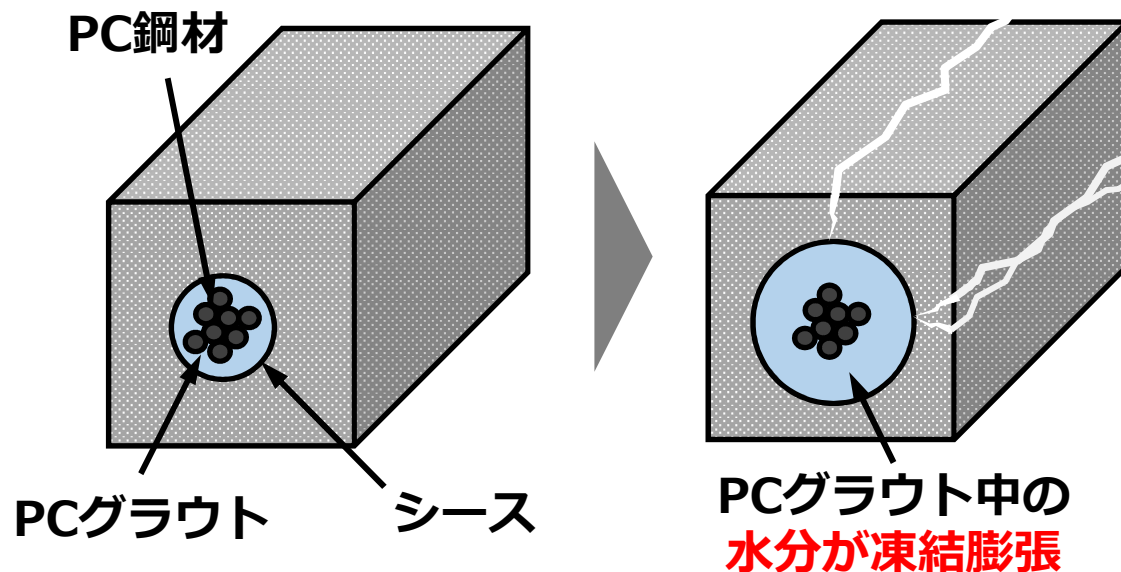
耐寒性を有するPCグラウトの開発 とその実用性

北見工業大学 工学部 社会環境系
井上真澄



寒中グラウト施工の問題点

- 所定強度が得られない
- グラウトの凍結膨張によりPC鋼材に沿ったひび割れが周囲のコンクリートに発生する危険性



ポストテンション方式のPC構造物

PCグラウト設計施工指針(PC 工学会)

【寒中グラウト工】

1. 日平均気温が4℃以下になることが予想されるときは、**グラウト注入作業を行わない**ことを標準とする
2. やむを得ず寒中グラウトを行う場合には適切な対応を取らなければならない

↓

構造物全体や大部分を覆う大がかりな養生囲いの設置が必要となるが、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る。

↓

寒中グラウト施工を避けざるを得ないケースが多い

耐寒剤(硬化促進剤)

- 無塩化・無アルカリ型(亜硝酸・硝酸塩)

— **亜硝酸カルシウム** …市販耐寒剤の主成分
 $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$

— **硝酸カルシウム** …市販耐寒剤の主成分
 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

— **亜硝酸リチウム** …補修材の防錆・ASR抑制
 LiNO_2

耐寒剤を用いた場合の特徴と使用条件

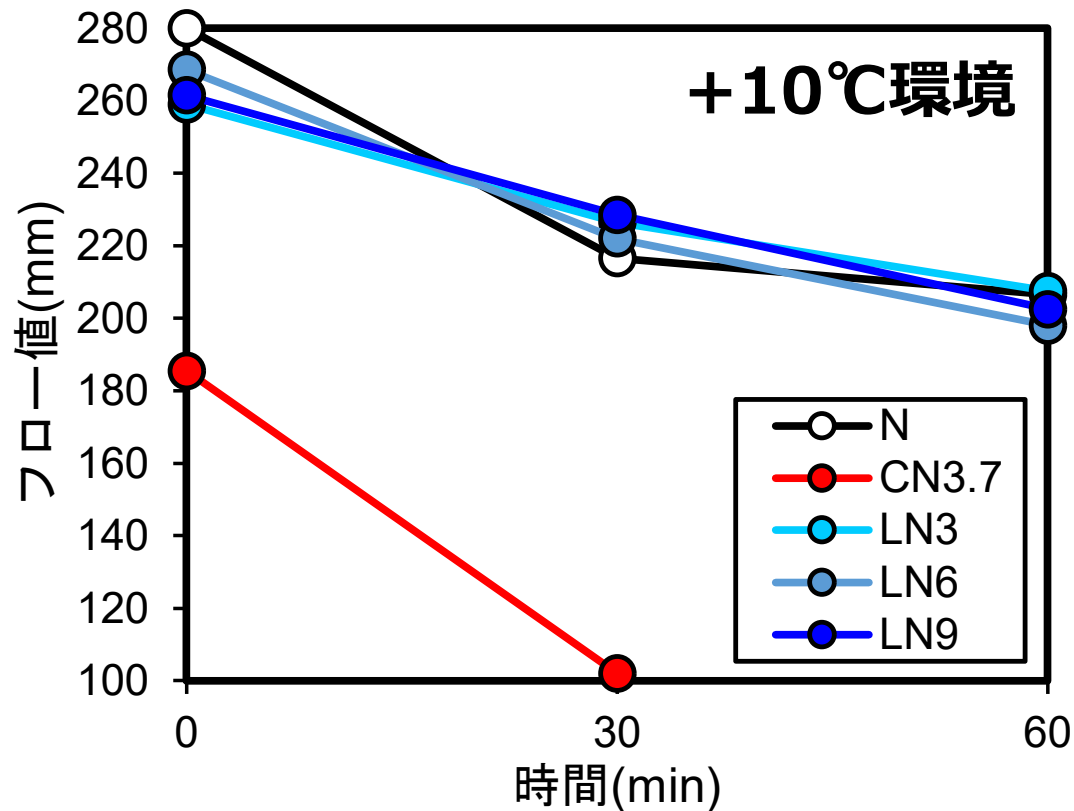
- 低温環境下においても、大幅な凝結遅延を起こさず硬化する
- コンクリート中の水分が、 -3°C 程度まで凍結しなくなる

打込み後、コンクリート温度を24時間 5°C 以上に保つ前養生を行うことが耐寒剤使用の前提条件



氷点下に曝され冷え切ったコンクリート躯体内部に充填するグラウト材を対象とした場合、耐寒剤の効果については不明

亜硝酸塩を添加したペーストの流動性



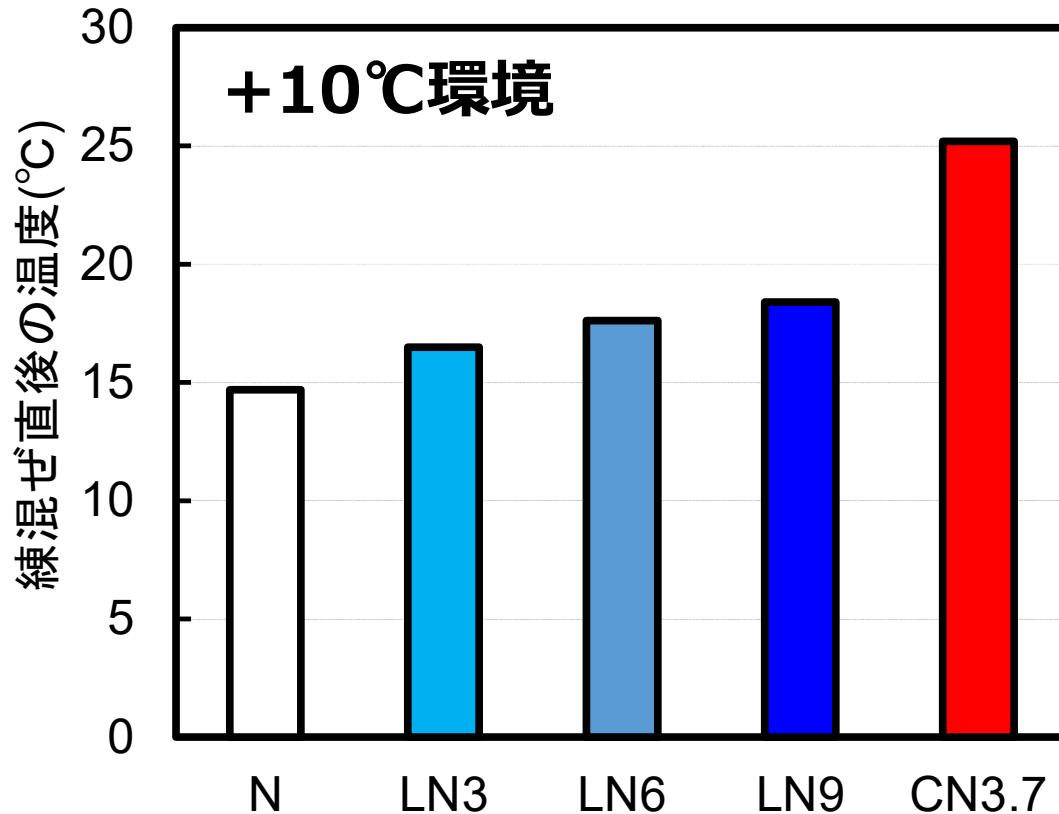
セメントペーストの配合

略号	亜硝酸塩	W/C (%)	亜硝酸塩添加率 (%)
N	—	40	—
CN3.7	Ca(NO ₂) ₂		3.7*
LN3	LiNO ₂		3*
LN6	LiNO ₂		6
LN9	LiNO ₂		9

* : NO₂⁻量は同じ

- CN→4%以上では練混ぜ不可
- LN→添加率に関わらずNと同様なフロー変化を示す

亜硝酸塩を添加したペーストの流動性



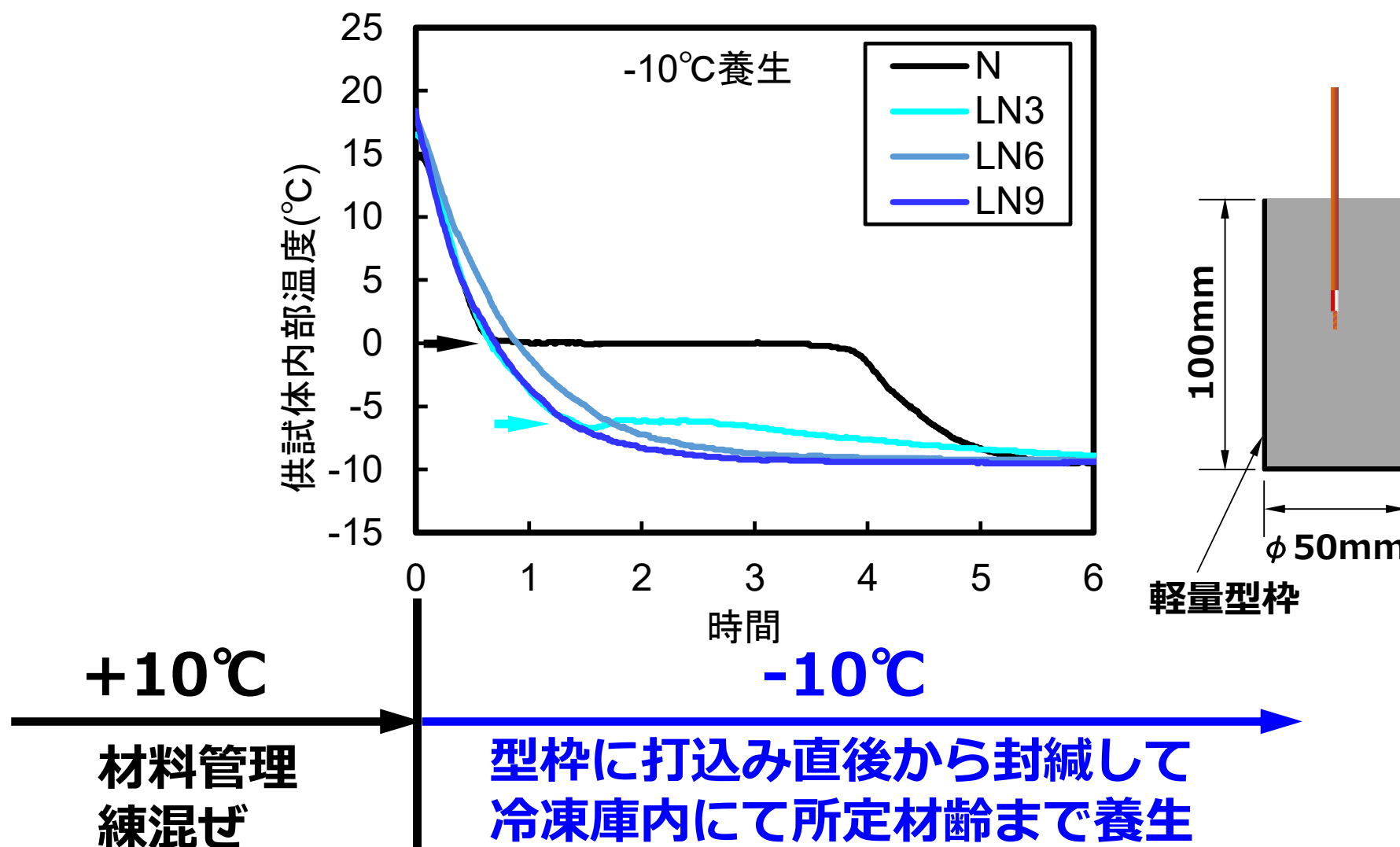
セメントペーストの配合

略号	亜硝酸塩	W/C (%)	亜硝酸塩添加率 (%)
N	—	40	—
CN3.7	Ca(NO ₂) ₂		3.7*
LN3	LiNO ₂		3*
LN6	LiNO ₂		6
LN9	LiNO ₂		9

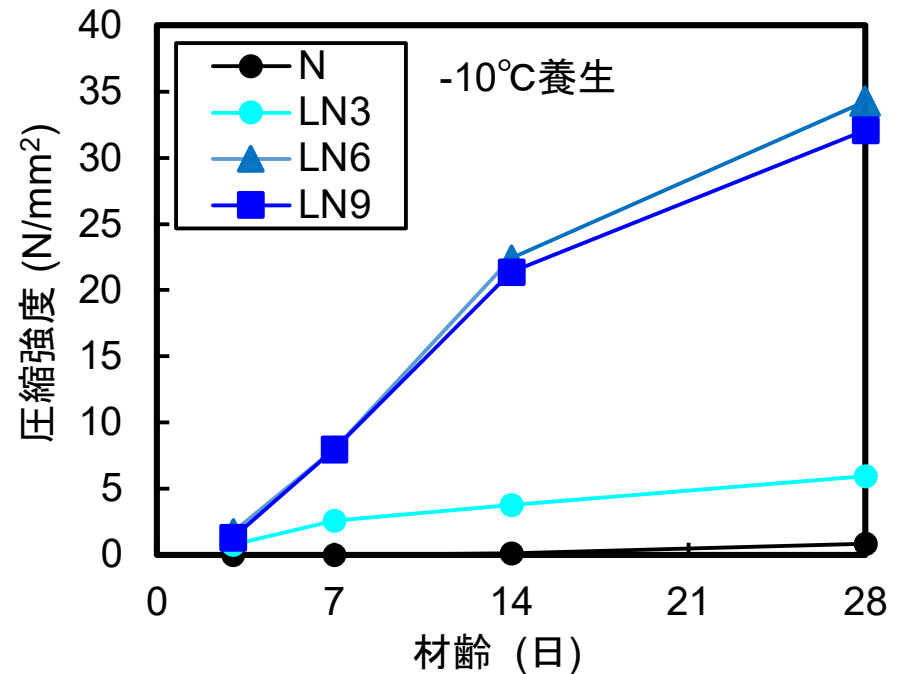
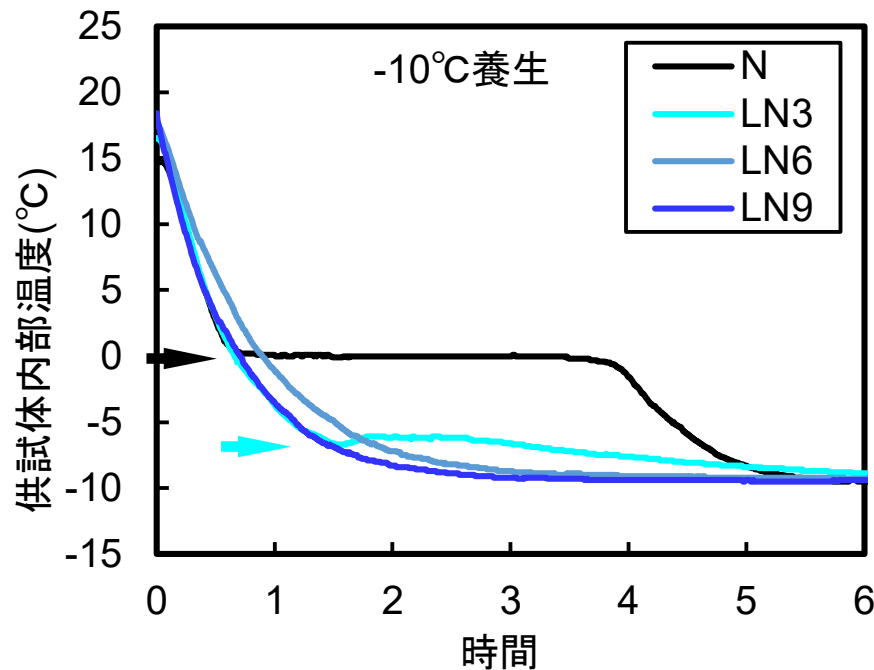
* : NO₂⁻量は同じ

- 同じ亜硝酸塩でもCNに比べてLNはセメントとの水和反応速度が緩慢であり, **LNは多量添加が可能**

LiNO₂(LN)を添加した β -ストの温度履歴

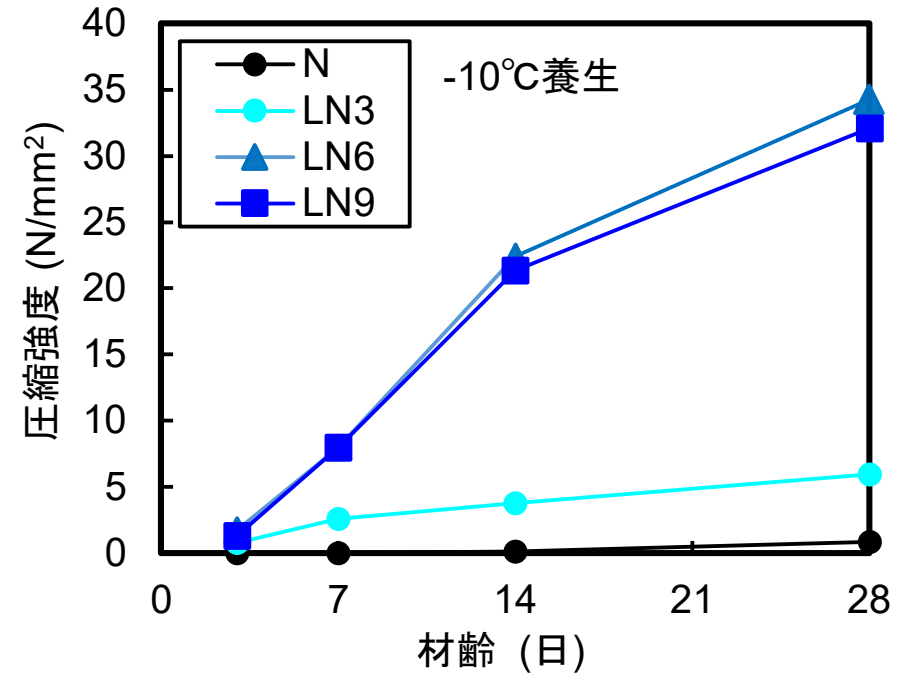
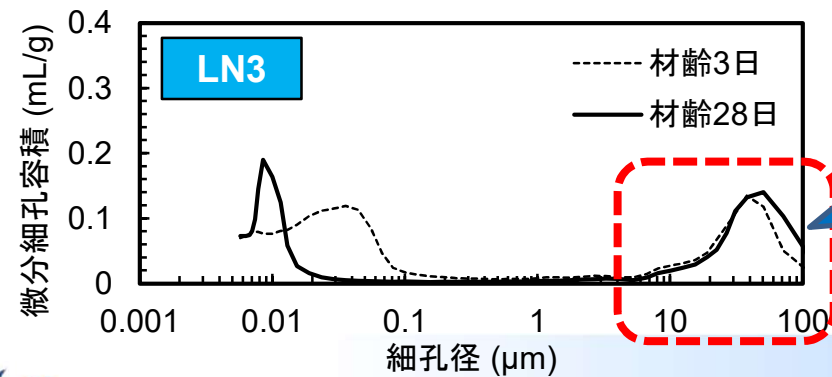
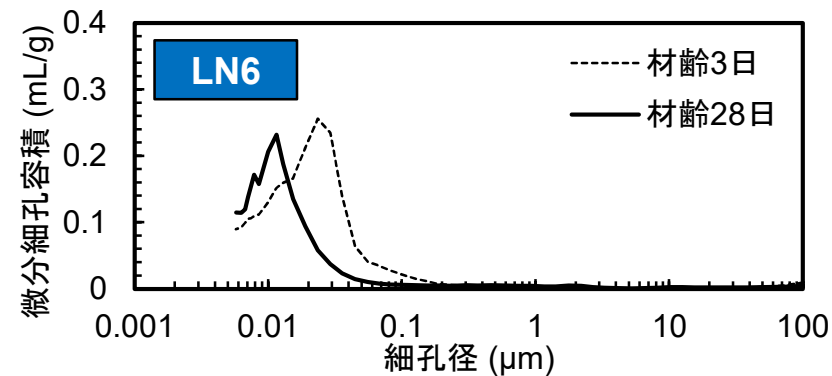
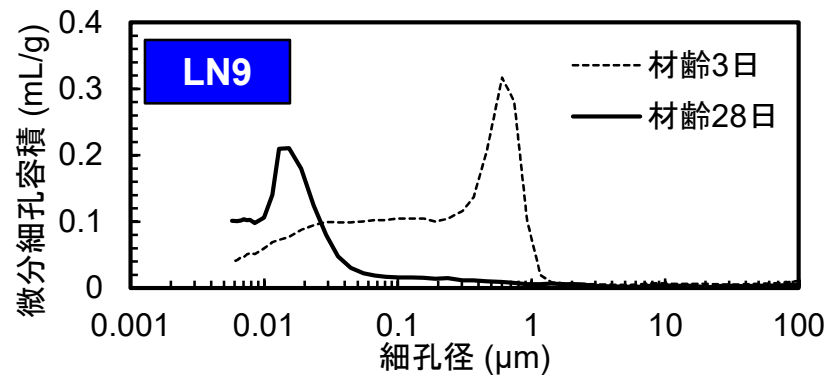


氷点下で養生した H° -ストの強度発現性



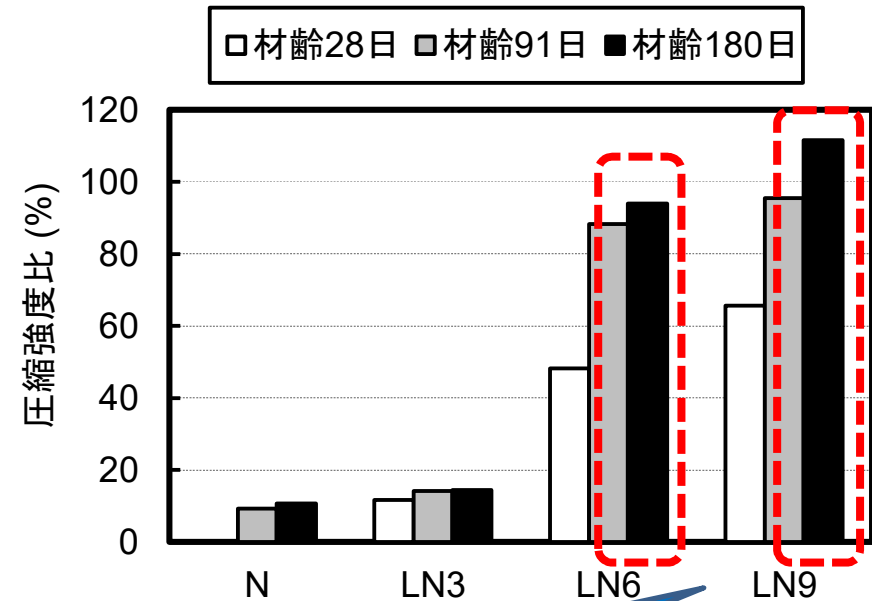
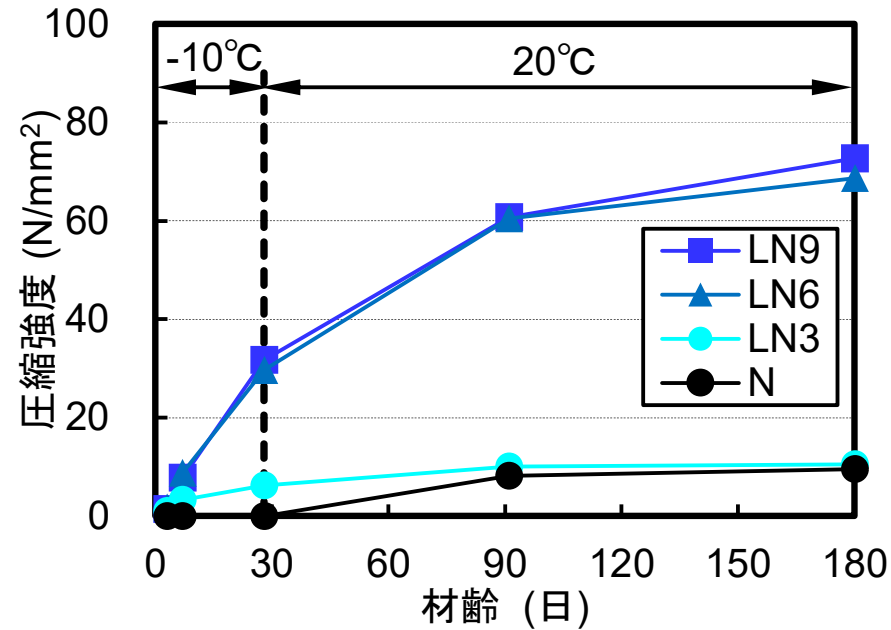
N, LN3 : 凍結の影響により強度停滞
LN6, LN9 : -10°Cでも凍結せず, 強度増進

氷点下で養生したペーストの細孔径分布



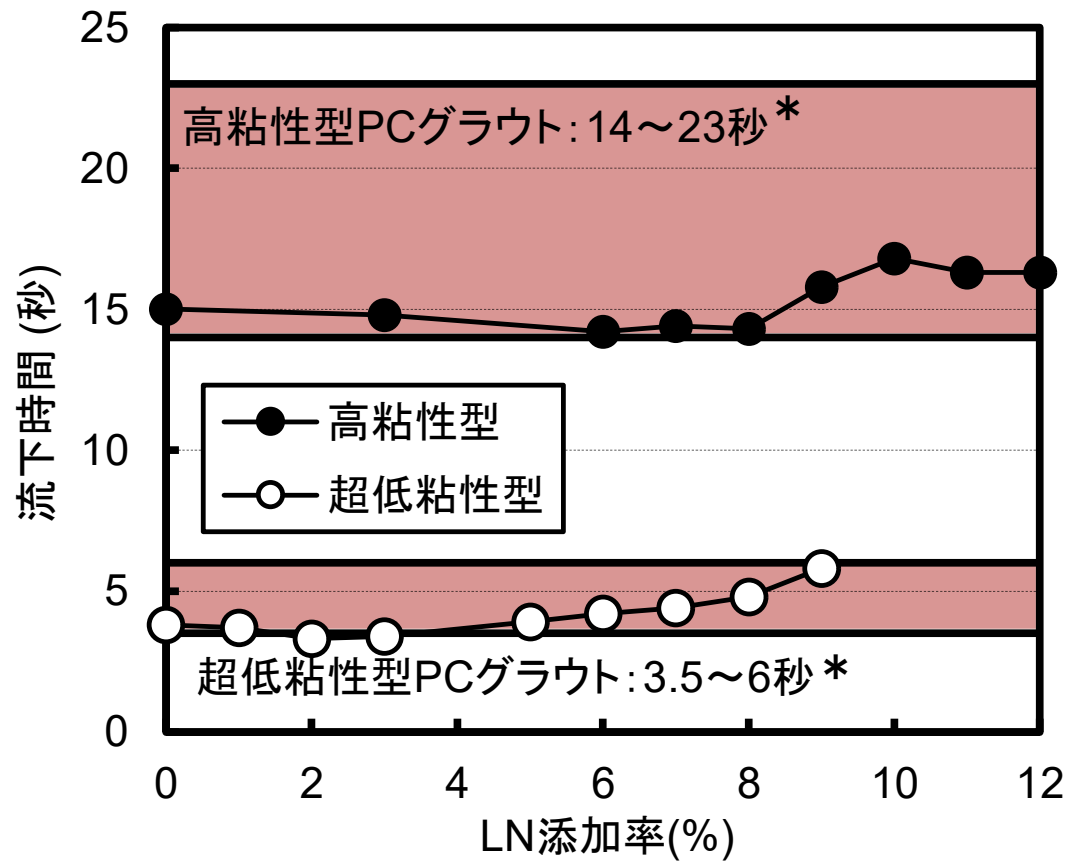
フレッシュ状態で凍結を受けたことで、ペースト中の水分が凍結し、融解後に空隙が残存

回復養生後の強度発現



材齢180日では常温養生した場合に対して90%以上まで強度増進しており,初期凍害は受けていないと考えられる。

LiNO₂(LN)を添加した市販PCグラウトの流動性

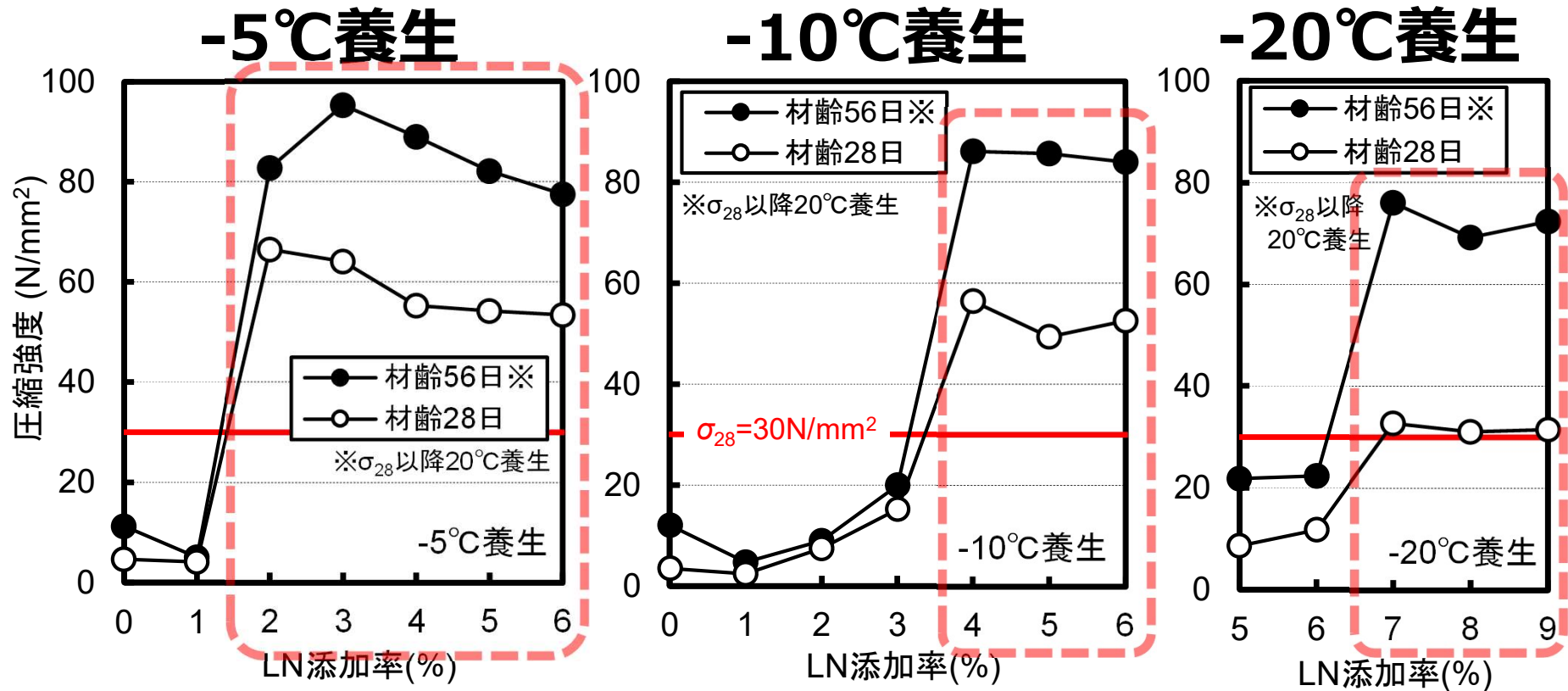


* : PCグラウト設計施工指針(PC工学会)



JP漏斗試験

LN添加PCグラウト(超低粘性型)の強度発現



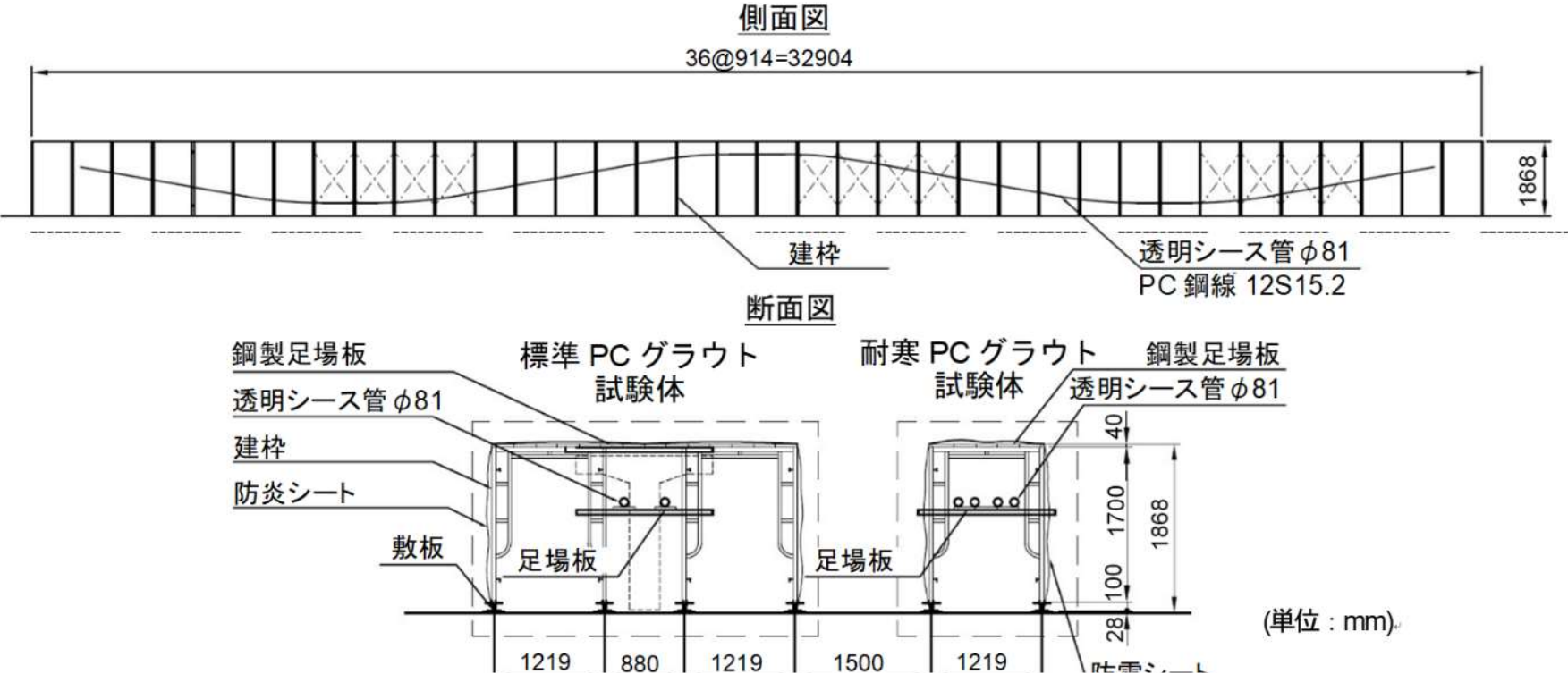
【PCグラウトの圧縮強度判定基準*】

材齢7日以降で28日までに**30N/mm²以上**

実物大PCグラウト注入試験



実験1：実物大PCグラウト注入試験



PCグラウトの種類		養生条件	W/P (%)	LN 添加率(%)
高粘性	標準PCグラウト(H-LN0)	給熱	41.5	0
	耐寒PCグラウト(H-LN5)	無	42.5	5
	耐寒PCグラウト(H-LN9)	無	42.5	9
超低粘性	標準PCグラウト(L-LN0)	給熱	37.0	0
	耐寒PCグラウト(L-LN5)	無	37.0	5
	耐寒PCグラウト(L-LN9)	無	37.0	9



耐寒PCグラウト(LN添加/養生なし)



※グラウト注入作業時の外気温：-10.5℃

標準PCグラウト(LN無添加/養生なし)



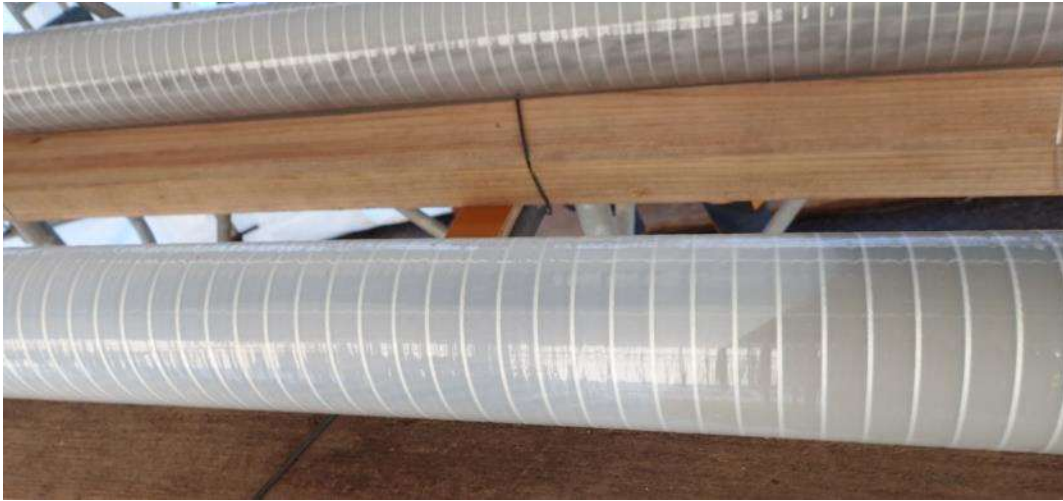
※養生上屋内は5～10℃に温度管理

PCグラウト品質基準試験

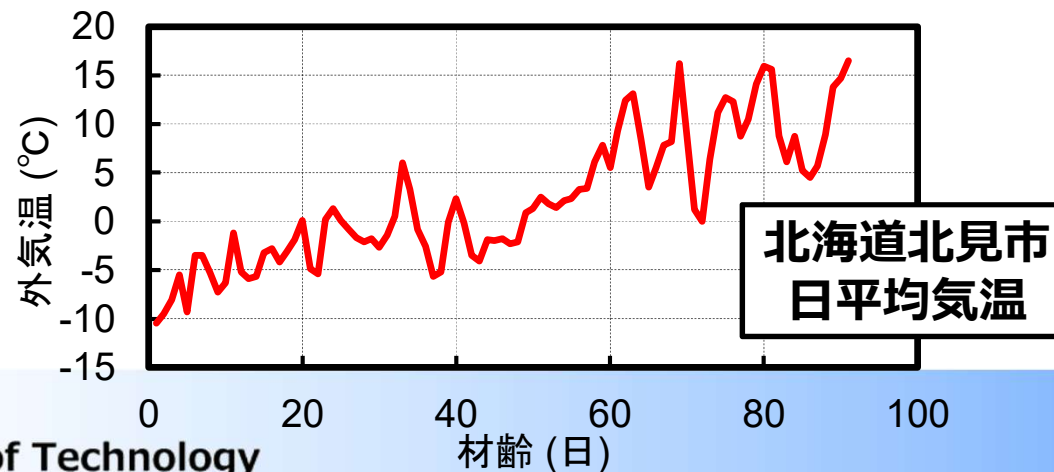
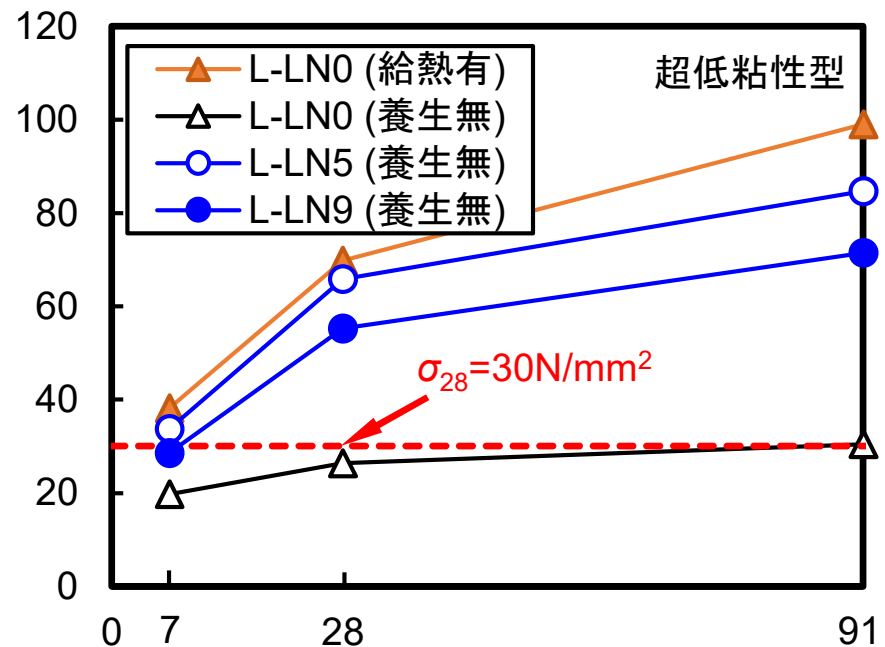
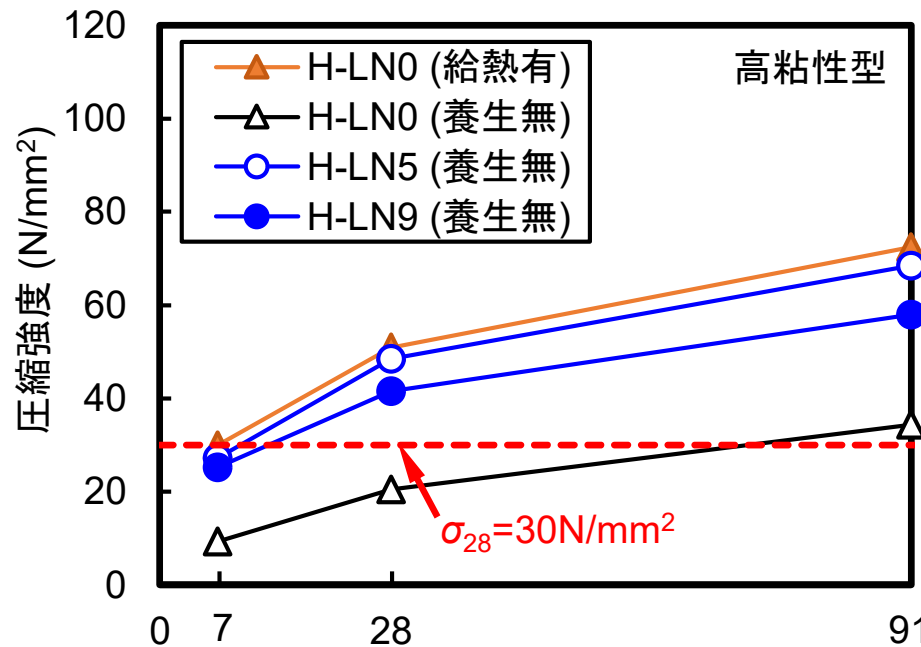


試験項目	試験方法	判定基準	高粘性型			超低粘性型		
			H-LN0	H-LN5	H-LN9	L-LN0	L-LN5	L-LN9
レオロジー	JSCE-F 531	14～23秒	22.8秒	15.7秒	15.2秒	—	—	—
		3.5～6秒	—	—	—	3.6秒	4.9秒	4.7秒
材料分離抵抗性	JSCE-F 534	ブリーディングは認められない	ブリーディングは認められない	ブリーディングは認められない	ブリーディングは認められない	ブリーディングは認められない	ブリーディングは認められない	ブリーディングは認められない
ブリーディング率	JSCE-F 535	0.3%以下	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
体積変化率		-0.5～0.5%	0.0%	-0.3%	-0.3%	-0.5%	-0.3%	-0.3%

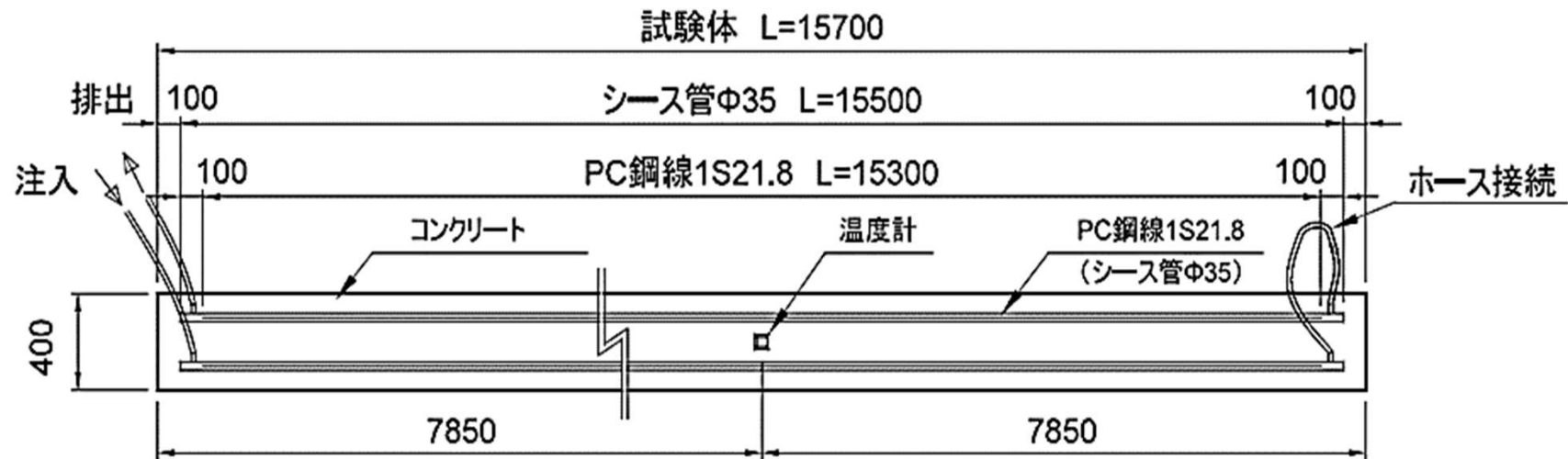
PCグラウトの注入状況



PCグラウトの圧縮強度



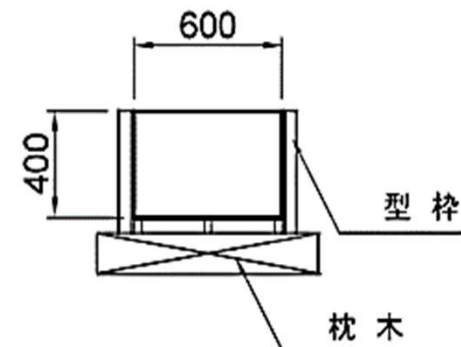
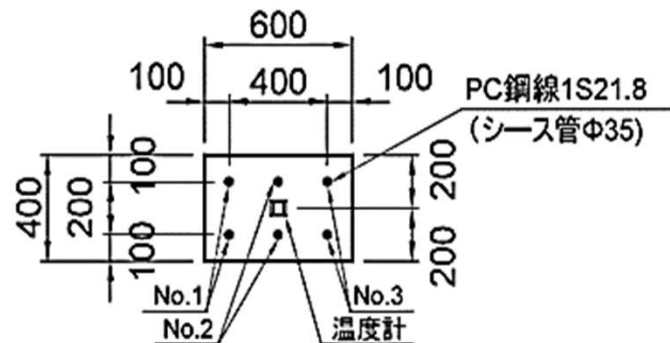
実験2：コンクリート試験体を用いたPCグラウト注入試験

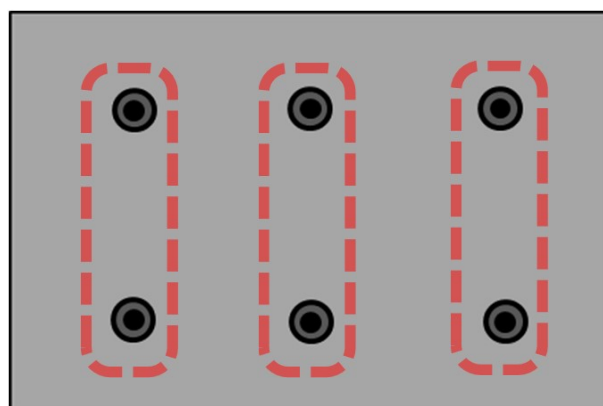
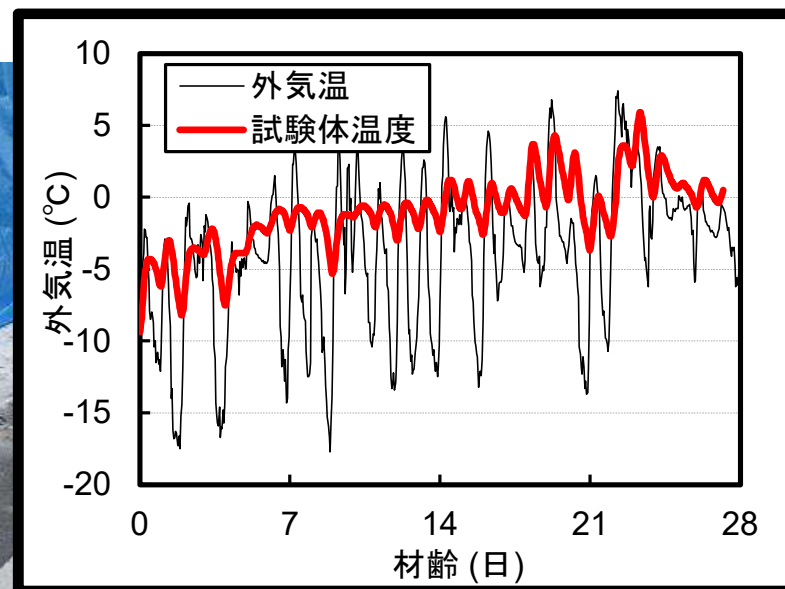


試験体断面図

試験体製作図

単位：mm





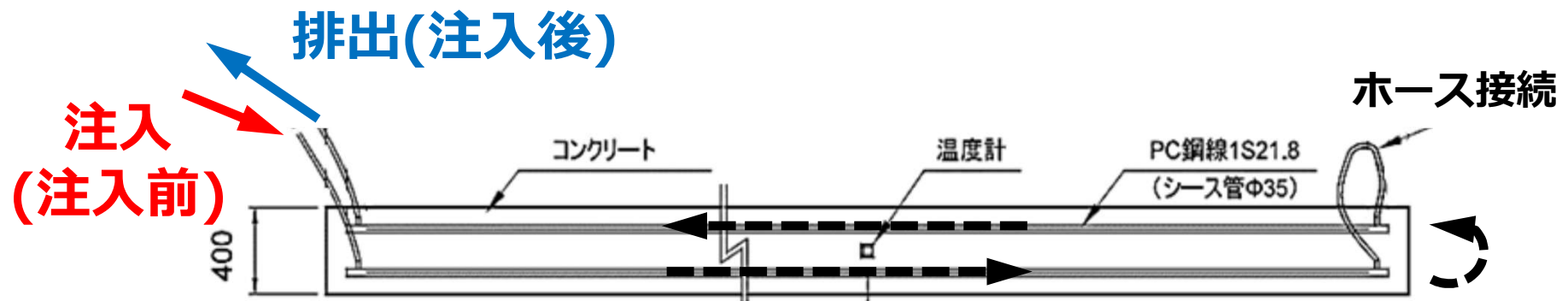
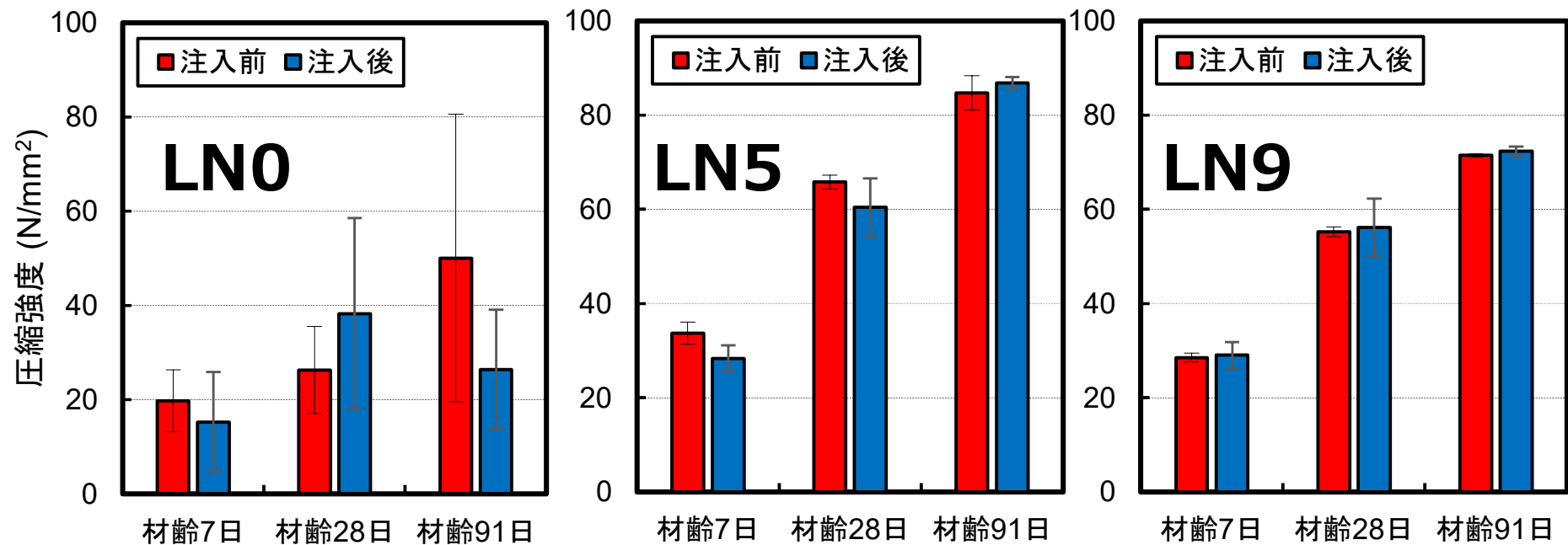
No.1 No.2 No.3

配合名	グラウト タイプ	W/P (%)	LN添加率 (%)	シース 番号
L-LN0	超低粘性型	37	0	No.1
L-LN5			5	No.3
L-LN9			9	No.2

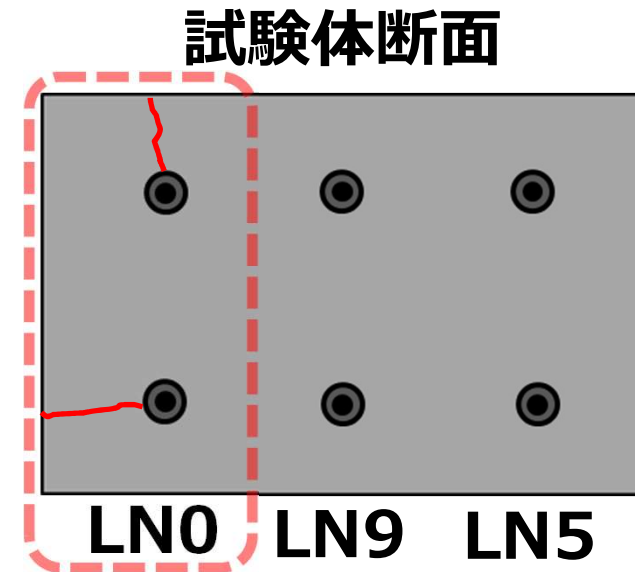


グラウト注入時
 コンクリート試験体温度：-8.3℃
 外気温：-8.8℃

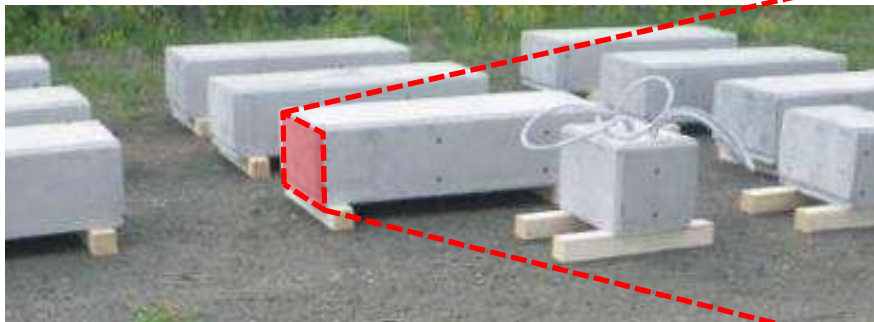
PCグラウトの強度発現(注入前後比較)



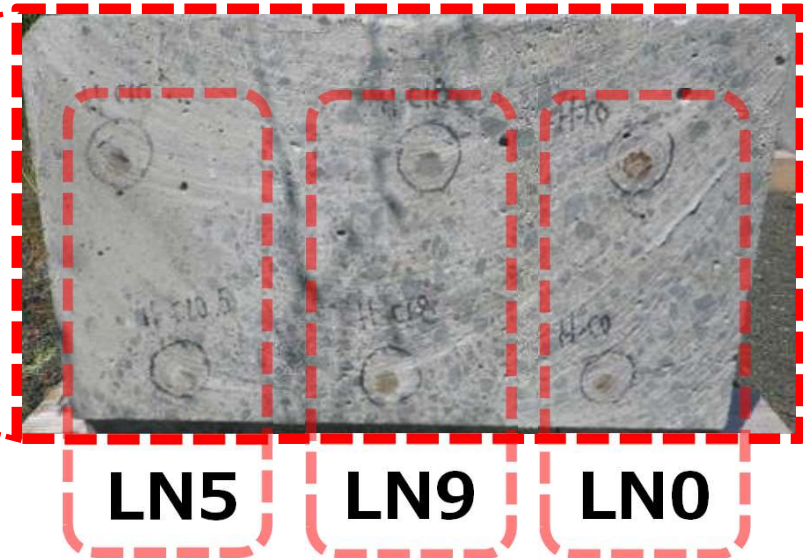
標準PCグラウトの凍結膨張によるひび割れ



PCグラウト充填状況確認

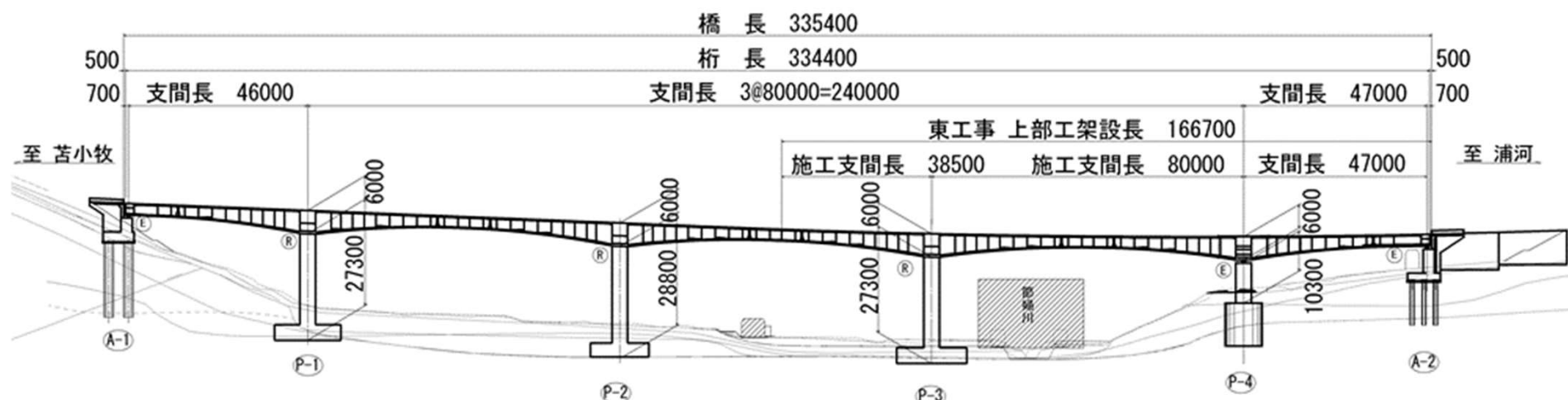


コンクリート試験体切断後の暴露状況



切断面におけるシース内のグラウト充填不良
や空隙等は確認されていない

極寒期における耐寒PCグラウトの実施工(その1)



5径間連続PCラーメン橋

耐寒PCグラウトの仕様	
PCグラウトのタイプ	超低粘性型
W/P	38.0%
亜硝酸リチウム(LN)添加率	5%
PC鋼材諸元	
PC鋼より線(マルチストランド)	12S15.2mm

極寒期における耐寒PCグラウトの実施工(その1)



PCグラウトの品質基準試験結果

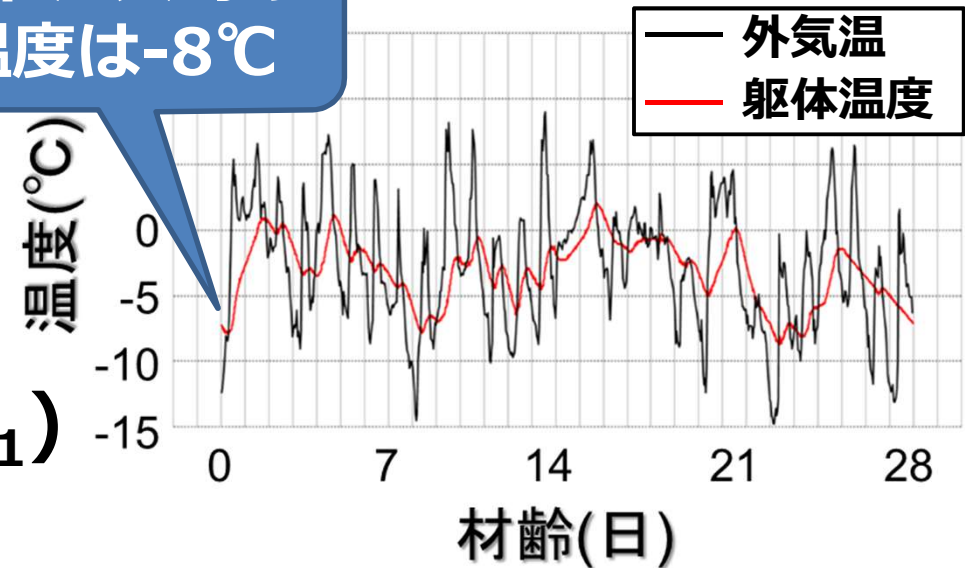
試験項目	試験方法	判定基準	試験結果
レオロジー	JSCE-F531	3.5～6秒	3.9秒
圧縮強度	JSCE-G531	30N/mm ² 以上	58.0 N/mm ²
ブリーディング率	JSCE-F535	0.3%以下	0.0%
体積変化率		-0.5～0.5%	-0.3%

極寒期における耐寒PCグラウトの実施工(その1)

- グラウト温度

▶ 注入口 : **+21℃**
▶ 排出口 : **-5℃**

グラウト注入時の
主桁温度は-8℃



- グラウトの長期強度(σ_{91})

▶ 注入口 : 80.1N/mm²
▶ 排出口 : 87.8N/mm²

- グラウトの流動性変化

▶ 注入前 : 3.9秒
▶ 排出後 : 4.6秒(+0.7秒)

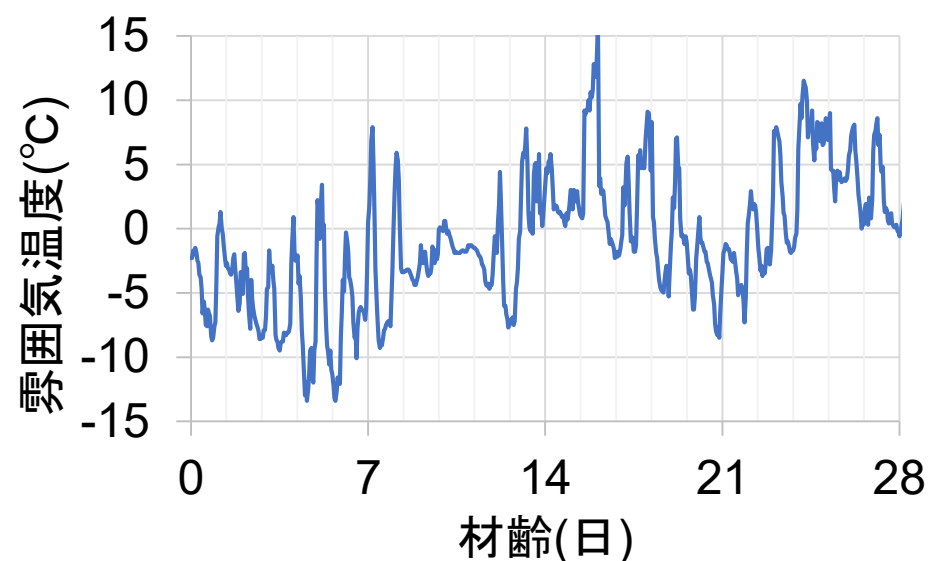
- 注入圧力の変化

▶ ほぼゼロ

極寒期における耐寒PCグラウトの実施工(その2)



PCポータルラーメン橋



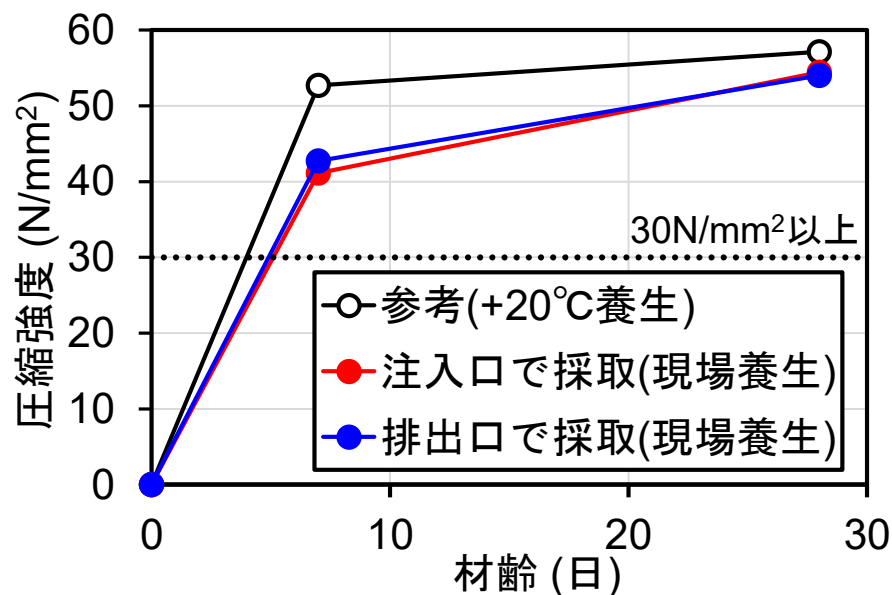
耐寒PCグラウトの仕様

PCグラウトのタイプ	高粘性型
W/P	43.0%
亜硝酸リチウム(LN)添加率	5%
PC鋼材諸元	
PC鋼より線(マルチストランド)	12S12.7mm
シース径	φ 65mm

極寒期における耐寒PCグラウトの実施工(その2)

● PCグラウトの品質基準試験結果

試験項目	試験方法	判定基準	試験結果
レオロジー	JSCE-F531	14～23秒	16.8秒
圧縮強度	JSCE-G531	30N/mm ² 以上	54.4 N/mm ²
ブリーディング率	JSCE-F535	0.3%以下	0.0%
体積変化率		-0.5～0.5%	-0.2%



- 約40m圧送後の流下時間は20.2秒(+3.6秒)
- 注入口と排出口で採取したサンプルの強度に差異なし

極寒期における耐寒PCグラウトの実施工(その2)

● 通常グラウト混和剤使用時の燃料消費量

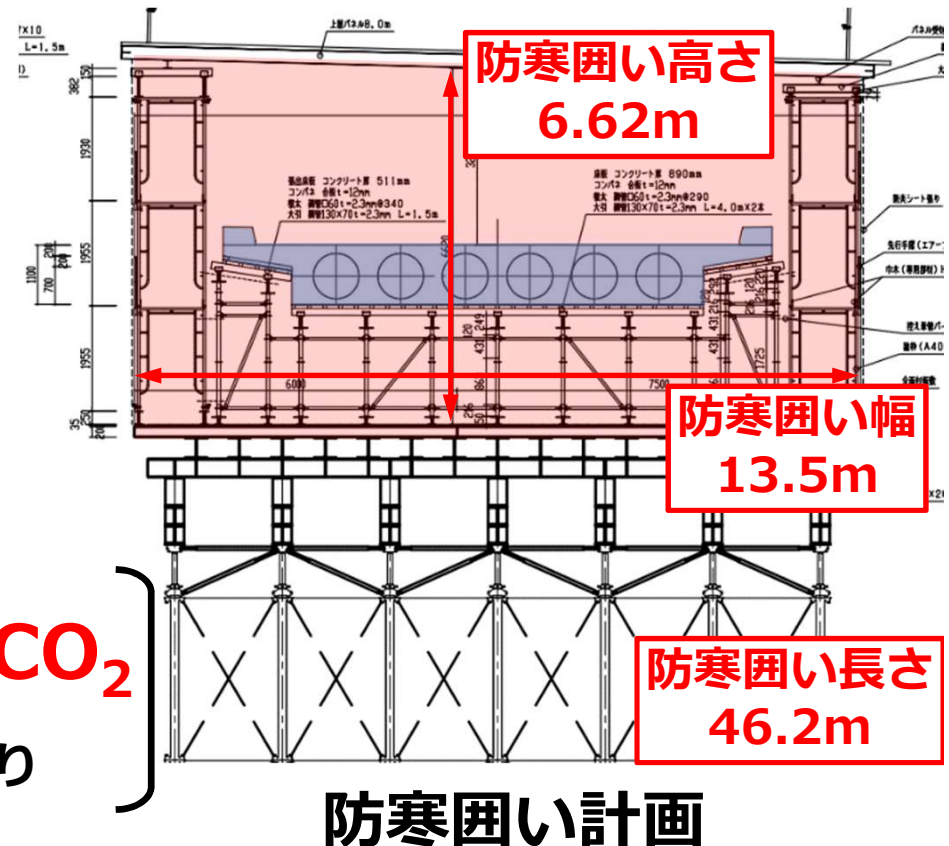
✓ 外気温：-8.3℃

✓ 防寒囲い内温度設定：+5℃
(グラウト注入後3日間)

燃料消費量：3,890 L

CO₂削減量*：▲9,670 kg-CO₂

*：CO₂排出係数(灯油) 2.49kg-CO₂/Lより



ご視聴ありがとうございました