

## 低温環境下における各種PCグラウトの材料特性 (室内試験 2)

(株)ピーエス三菱 正会員 博(工) ○鈴木 雅博  
 (株)高速道路総合技術研究所 正会員 野島 昭二  
 (株)新日鐵高炉セメント 堀 健治  
 愛知工業大学 正会員 博(工) 吳 承寧

## 1. はじめに

プレストレストコンクリート工学会(旧：技術協会)より、「PCグラウトの設計施工指針」が平成17年に発刊され7年が経過した。ここでは、PCグラウトの品質を確保する上で現行の指針で課題となっている試験方法を検討した。PCグラウトのフレッシュ性状や圧縮強度発現などの材料特性は、施工時の外気温(以下、環境条件と示す)により異なる。このため、PCグラウトの試し練りは施工時に近い環境条件で確認することが望ましい。しかし、PCグラウトの設計施工指針では圧縮強度の管理材齢を28日としているため、施工時とは異なる環境下での試験練りにより配合を決めているのが現状である。このため、特に流動性に関しては施工時の環境により異なるため、水粉体比や練混ぜ時間を調整する場合があります。品質を確保する上での課題の1つと考えられる。このことから、圧縮強度の管理材齢を短くすることにより、試し練りと施工時の環境の差を低減する方策が考えられる。しかし、圧縮強度の管理材齢を検討する上で冬期の外気温(以下、低温環境下)での圧縮強度発現を把握する必要があるが、その検討はほとんどなされていないのが現状である。

本稿では、各種PCグラウトの5°C室温(以下、5°C環境下)におけるフレッシュ性状および圧縮強度の管理材齢を決定するための圧縮強度発現性を実験的に検討した結果を報告する。また、低温環境下においては、PCグラウトの温度を高く設定した施工も考えられることから、練上がり温度20°CとしたPCグラウトを5°C環境下にした場合のフレッシュ性状の経時変化の結果もあわせて報告する。

## 2. 実験概要

## 2.1 試験ケース

試験は5°C環境下におけるフレッシュ性状試験と圧縮強度発現を実施した試験(ケース1)と練上がり温度20°CのPCグラウトの5°C環境下でのフレッシュ性状の経時変化試験(ケース2)の2つの試験を行った。

## 2.2 使用材料および配合

ケース1と2のPCグラウト配合を表-1に示す。水結合材比は各練上がり温度に対する流動性が規定の範囲になるように決定した。PCグラウト混和材料は、セメントと混和剤とを工場で混合するプレ

表-1 PCグラウトの配合

ケース	グラウト種別	W/P[W/C] (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			グラウト 混和剤 (kg)	流動性 タイプ
			水(W) (kg)	セメント(C) (kg)	プレミックス材(P) (kg)		
ケース1 5°C環境 フレッシュ性状 圧縮強度発現	PRE-HV	33.5	494	-	1475	-	高粘性
	PRE-ULV	41.0	557	-	1359	-	超低粘性
	LV	45.0	587	1305	-	13.05	高粘性
	HV	42.5	573	1349	-	13.49	低粘性
ケース2 20°C練温 5°C環境下 フレッシュ試験	PRE-HV	30.5	469	-	1536	-	高粘性
	PRE-ULV	36.0	525	-	1458	-	超低粘性
	LV	44.0	582	1322	-	13.22	高粘性
	HV	41.5	567	1367	-	13.67	低粘性

ミックス材と現場で後添加する混和剤の 2 種類がある。PC グラウトの流動性タイプは JP 漏斗試験の流下時間から高粘性タイプ(14 秒以上), 低粘性タイプ(6~14 秒)および超低粘性タイプ(3.5~6 秒)の 3 種類に区分される。本試験で使用した PC グラウト材料は, プレミックス材においては高粘性タイプ (PRE-HV)(Premix High Viscosity)と超低粘性タイプ(PRE-ULV) (Premix Ultra Low Viscosity), グラウト混和剤においては高粘性タイプ(HV) (High Viscosity)と低粘性タイプ(LV) (Low Viscosity)の 4 種類とした。プレミックス材の使用セメントは, PRE-HV においては高炉セメント B 種, PRE-ULV においては普通セメントと早強セメントである。

### 2.3 練混ぜ方法

PC グラウトの練混ぜ公称容積 50 リットルの抑止板を設置した円形ミキサを使用した。練混ぜ時間は材料メーカー推奨時間とし, PRE-HV においてケース 1 では 210 秒, ケース 2 では 180 秒とし, PRE-ULV において両ケースとも 90 秒とし, LV および HV では最初に練混ぜ水に混和剤を投入し 30 秒練混ぜ, ミキサを回転した状態で普通セメントを投入後に 60 秒の練混ぜとした。ケース 2 の 1 時間後のフレッシュ性状試験は 1300rpm のハンドミキサで再攪拌したのち行った。

### 2.4 低温環境下のフレッシュ性状および圧縮強度発現の試験方法(ケース1)

練混ぜ, フレッシュ性状試験および圧縮強度試験体の養生は 5°C 環境下の室内で行った。PC グラウトのフレッシュ性状は, PC グラウト温度, 単位容積質量, JP 漏斗による流下時間, フロー値および鉛直管試験による体積変化率の測定を行った。単位容積質量は φ 50mm の簡易型枠を用いて行った。JP 漏斗による流下時間試験は JSCE-F531 に準拠して行った。フロー値は JASS15 「セルフレベリング材の品質基準」に記載されている JASS コーン(内径 50mm×高さ 51mm)を用い測定した。鉛直管試験は NEXCO 試験法 420 に準拠して行い, ブリーディングと体積変化を測定した。圧縮強度試験は JSCE-G531 に準拠して行った。圧縮強度試験の試験材齢は材齢 1,2,3,4,5,6,7,10,14 および 28 日とした。

### 2.5 練上がり温度20°CとしたPCグラウトのフレッシュ性状試験方法(ケース2)

本試験は目標練上がり温度 20°Cとした PC グラウトを低温環境下で施工した場合を想定した場合のフレッシュ性状を把握することを目的に実施した。練上がり温度 20°Cとした PC グラウトを練混ぜ後, 直ちに 5°C環境下の室内でフレッシュ性状を測定した。フレッシュ性状は JP 漏斗による流下時間およびフロー値を測定した。

## 3. 試験結果および考察

### 3.1 5°C環境下のフレッシュ性状および圧縮強度発現

フレッシュ性状を表-2に示す。試験結果は PC グラウト温度とフロー値を除き 3 回の平均値で示す。同表には単位容積質量から推定した水粉体比をあわせて示す。PC グラウト種別 PRE-HV, PRE-ULV および HV の流下時間は流下時間の目安の範囲内となったが, PC グラウト種別 LV は流下時間の目安の範囲に入らなかった。この理由として, PC グラウト種別 LV は単位容積質量から推定した水粉体比が配合上の水粉体比より大きくなっており, 結果として流下時間が長くなったことが考えられる。こ

表-2 PC グラウトのフレッシュ性状

グラウト種別	PC グラウト温度 (°C)	単位容積質量 (g/cm <sup>3</sup> )	水粉体比推定値 (%)	配合上の水粉体比 (%)	JP 流下時間 (秒)	流下時間目安(秒)	フロー値 (mm)
PRE-HV	7.4	1.981	32.6	33.5	14.0	14 秒以上	235
PRE-ULV	9.6	1.917	41.0	41.0	3.9	3.5~6 秒	187
LV	9.0	1.898	47.1	45.0	16.7	6~14 秒	153
HV	9.5	1.901	44.2	42.5	27.9	14 秒以上	147

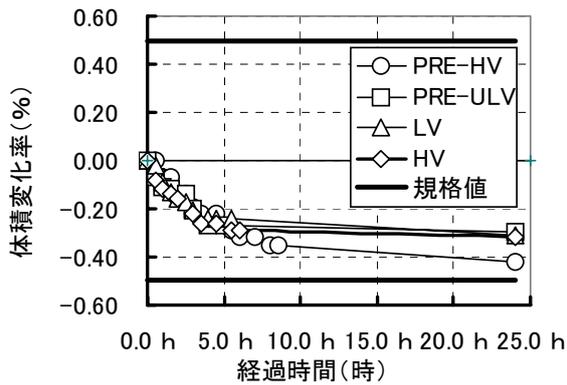


図-1 体積変化率の経時変化

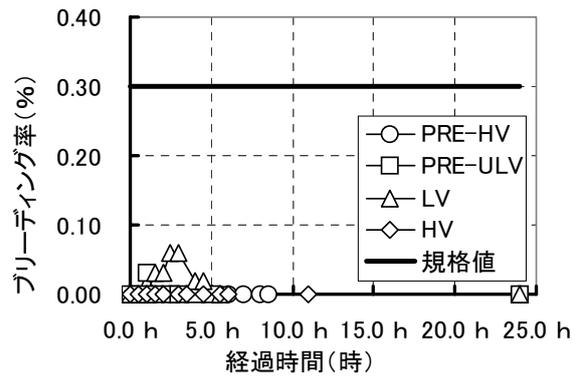


図-2 ブリーディング率の経時変化

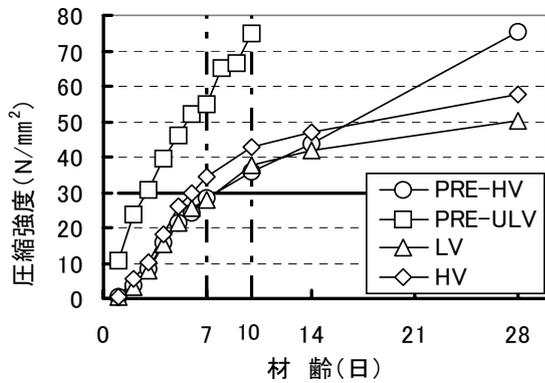


図-3 圧縮強度発現

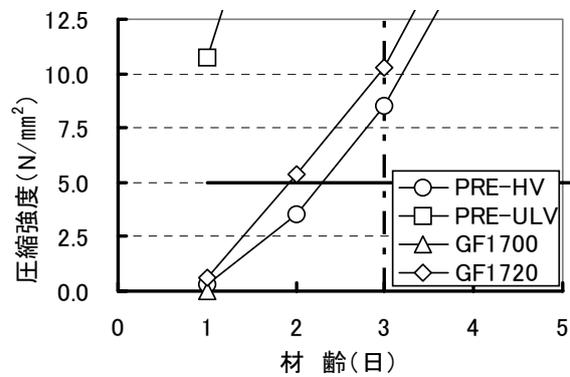


図-4 材齢4日までの圧縮強度発現

ここでは、鉛直管試験は、各種 PC グラウトの水粉体比(水セメント比)の調整を行わずに実施することとした。鉛直管試験の体積変化率の経時変化を図-1に示す。全ての PC グラウト種別において体積変化率は規格値(-0.5~0.5%)を満足する結果となった。また、体積変化率の経時変化にともなう増加量が小さくなる経過時間は、PC グラウト種別 PRE-ULV, LV および HV においては 5.5 時間、PRE-HV において 7 時間となった。ブリーディング率の経時変化を図-2に示す。全ての PC グラウト種別において規格値(0.3%以下、24 時間後に 0%)を満足する結果となった。なお、ブリーディング水は経過時間 5 時間で消失した。これらの結果から低温環境下においても体積変化率およびブリーディング率の規格を満足する結果を得た。さらにデータを蓄積する必要があるが、体積変化率の経時変化にともなう変化量に閾値を決めれば 24 時間の結果を待たずに規格値の判定ができる可能性があると考えられる。この早期判定が可能となれば、鉛直管を再利用でき、廃棄材料の低減につながると考えられる。

各 PC グラウト種別の圧縮強度発現を図-3に示す。全ての PC グラウト種別の圧縮強度は材齢 28 日において規格(30N/mm<sup>2</sup> 以上)を満足する結果を得た。圧縮強度の規格を満足する材齢は、PC グラウト種別 PRE-ULV と HV において材齢 7 日、PC グラウト種別 PRE-HV と LV は材齢 10 日となり、現在の規準である管理材齢 28 日より短くすることができると考えられる。管理材齢を短く設定することが可能であれば、実施工時と試し練り時との環境条件を近づけることができる可能性がある。

寒中PCグラウトをやむをえず実施する場合には初期凍害を防止する目的から、注入したPCグラウトは所定の日数を5℃以上の条件で養生する必要がある。土木学会コンクリート標準示方書 [施工編] の寒中コンクリートにおいて養生する期間の目安として5N/mm<sup>2</sup>に達することが示されている。コンクリートとPCグラウトでの寒中環境下における圧縮強度発現の相違はあると思われるが、ここでは、コン

クリート標準示方書と試験結果を用いて養生日数を検討することとした。材齢4日までの圧縮強度発現を図-4に示す。本試験の範囲内では材齢3日において全て圧縮強度5 N/mm<sup>2</sup>以上となった。このことから、低温環境下におけるPCグラウト施工では、5℃以上に保つ期間を3日間実施すればPCグラウトの品質を確保できると考えられる。

### 3.2 練上がり温度 20℃とした PC グラウトの低温環境下のフレッシュ性状の経時変化

各種PCグラウト温度の経時変化を図-5に示す。PCグラウト種別PRE-ULVにおいてPCグラウト温度が上昇したが、その他のPCグラウト種別では60分後にはわずかに下がる傾向が認められた。

各種PCグラウトのJP漏斗流下時間の経時変化を図-6に示す。PCグラウト種別PRE-ULVを除けば、経過時間60分後のJP流下時間は直後とほとんど変わらない結果となった。一方、PCグラウト種別PRE-ULVではJP流下時間が長くなり、粘性が高くなる傾向が認められた。この理由として、PCグラウト種別PRE-ULVにはPCグラウト温度が上昇していることから、他のPCグラウトと比較して水和反応が比較的はやい段階で生じていることが考えられ、そのためにJP流下時間が長くなったと考えられる。

各種PCグラウトのフロー値の経時変化を図-7に示す。フロー値に関してもJP漏斗流下時間と同様の傾向が認められた。

### 4. まとめ

各種PCグラウトの 冬期の外気温(低温環境下)におけるフレッシュ性状および圧縮強度発現を検討した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 所定の圧縮強度となる材齢はPCグラウト種別プレミックス材の高粘性タイプで材齢10日、その他PCグラウト材で7日であった。圧縮強度を早期に判定する目安を把握できた。
- (2) 低温環境下におけるPCグラウトは養生日数を3日程度で5N/mm<sup>2</sup>の圧縮強度発現が認められた。
- (3) 低温環境下における鉛直管による体積変化率は規定値を満足することが認められた。
- (4) 鉛直管による体積変化率の経時変化に伴う増分量はプレミックス材の高粘性タイプで経過時間7時間、その他PCグラウト材で5.5時間以降で小さくなる傾向が認められた。
- (5) 目標練上がり温度20℃のPCグラウトの低温環境下におけるフレッシュ性状の経時変化はプレミックス材の超低粘性タイプを除き、ほとんど変化しないことが認められた。

本稿は、公益社団法人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定委員会 検査WG(委員長池田尚治横浜国立大学名誉教授)の平成23年度の活動成果の一部を報告したものである。

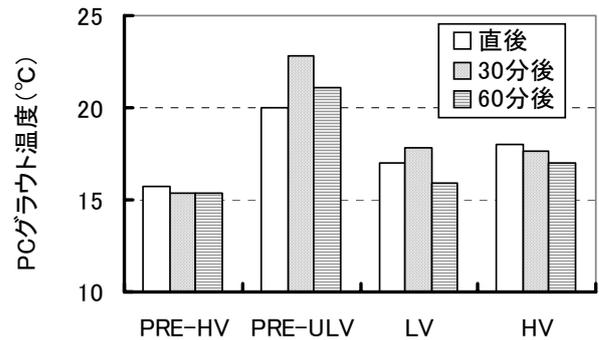


図-5 各種 PC グラウト温度の経時変化

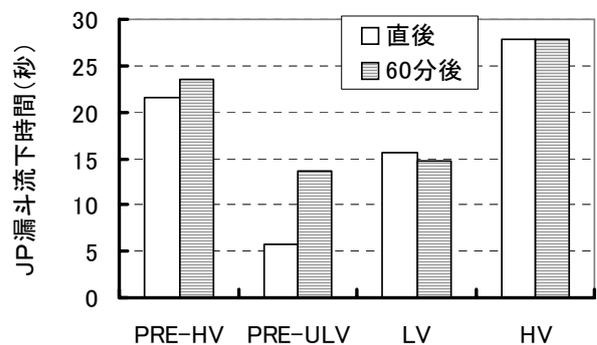


図-6 各種 PC グラウト JP 流下時間の経時変化

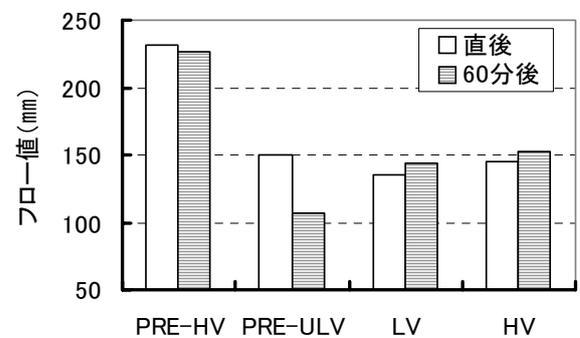


図-7 各種 PC グラウトフロー値の経時変化