

# PC グラウトの製造時における温度と計量誤差がフレッシュ性状と強度に及ぼす影響

細野 宏巳\*1・野島 昭二\*2・呉 承寧\*3・辻 幸和\*4

Influences on fluidity, bleeding, volume change, and compressive strength of PC grout of the temperature and mass measuring errors of PC grout were studied using laboratory test where ambient and low temperatures were simulated; the properties, strength development, etc. of fresh PC grout were confirmed using methods specified by the Japan Society of Civil Engineers (JP funnel, JSCE-F535) and the method defined in ISO 14824-3 and EN 445 (Marsh cone test). It was verified that there is a correlation between the rate of efflux time in JP funnel and Marsh cone tests, the PC grout kept in a low temperature was observed to have a strength of 5 N/mm<sup>2</sup> after three days of curing, while the fluidity of PC grout becomes stable with constant water-cement ratio and temperature during mixing.

キーワード：PC grout, temperature and mass dependence, test for unit mass, temperature measurement, fluidity, error of cement mass measurement

## 1. はじめに

要求性能を満足する PC グラウトを得るためには、PC グラウト用材料の選定と配合および製造を適切に行うことが、まず必要である。それと同時に、要求性能を適切に評価できる試験項目に対して品質管理試験を実施し、その要求性能を評価することが重要となる。さらに、要求性能を満足した PC グラウトをシース内に確実に充填するためには、事前の実物大試験などを実施して、充填可能な PC グラウトの流動性を設定しておく必要がある。

PC グラウトの流動性の評価と品質管理方法に関しては、すでに報告した<sup>1)</sup>。しかしながら、PC グラウトの流動性を含むフレッシュ性状と圧縮強度の発現などの品質は、施工時の外気温等の環境条件により変動することは知られているが、その影響程度についてはほとんど報告されていない。また、工事現場では、袋詰めセメントの袋を単位として、質量を計量せずに使用しているのが一般的である。しかしながら、1袋のセメント質量の相違に起因する水粉体比または水セメント比のばらつきが、PC グラウトのフレッシュ性状に及ぼす影響の程度也未解明である。

本研究では、PC グラウトの製造時における温度およびセメントの計量誤差が PC グラウトの品質に及ぼす影響に着目した既に報告した試験結果<sup>2~4)</sup>について、室温を変えた PC グラウトのフレッシュ性状と圧縮強度の発現結果をまとめて報告する。そして、フレッシュ性状の一部であるブリーディング率および体積変化率を測定する鉛直管試験の最終判定時期である 24 時間後を短縮できる時間と性状および圧縮強度の判定基準である材齢 28 日を短縮できる時期の目安を提示する。次に、1袋のセメントの質量の

相違を材料の計量誤差と称して、PC グラウトの流動性に及ぼす影響についてもまとめて試験結果を報告する。そして、PC グラウトの設計施工指針に規定されている流動性の規格値<sup>5)</sup>を満足する計量誤差の範囲とその規格値を満足させる方法を提示する。なお、採用した試験方法には、規格の国際整合化も視野に入れ、ISO 規格の ISO 14824-3 と欧州規格の EN 445 で適用されている流動性試験方法についても考慮している。

## 2. 試験の概要

### 2.1 使用材料および配合

常温環境（室内温度：20℃環境）と低温環境（室内温度：5℃環境）に設定した試験に用いた使用材料および配合を表-1と表-2にそれぞれ示す。セメントまたはプレミックス材、水などは、1日前に常温環境では20℃の室内に、低温環境では5℃の室内に保管したものを用いた。試験に用いた使用材料の温度は、それぞれ設定した温度の±1℃以内であった。

PC グラウトの粘性としては、超低粘性（ULV、JP 漏斗による流下時間：3.5～6.0秒）、低粘性（LV、JP 漏斗による流下時間：6～14秒）および高粘性（HV、JP 漏斗による流下時間：14秒以上）の3種類<sup>5)</sup>に、またタイプとしては混和剤およびプレミックス（PRE-）の2種類にそれぞれ分類される。また常温環境においては、PC グラウトの材料のタイプと粘性ごとに、水セメント比または水粉体比をそれぞれ3種類に変化させて、その変化が PC グラウトの品質に及ぼす影響も検討した。

混和剤タイプの PC グラウトには、普通ポルトランドセメント（N）を使用した。使用するセメントは、実際に現

\*1 Hiromi HOSONO：三井住友建設(株) 土木本部

\*2 Shoji NOJIMA：中日本高速技術マーケティング(株) 総務企画部

\*3 Chengning WU：愛知工業大学 工学部

\*4 Yukikazu TSUJI：群馬大学・前橋工科大学 名誉教授

場で使用されるセメントの製造会社が特定できないことから、代表的なセメント製造会社3社の製品をそれぞれ等分混合したものをを用いた。

プレミックスタイプの使用セメントは、PRE-ULVについては普通ポルトランドセメントまたは早強ポルトランドセメント、PRE-HLVについては高炉セメントB種である。

低温環境に設定した試験においては、5℃環境下におけるフレッシュ性状と圧縮強度の発現を実施した試験（ケース1）と、練上がり温度が20℃のPCグラウトを5℃環境下に移動してフレッシュ性状の経時変化を確認した試験（ケース2）をそれぞれ実施した。

5℃環境下におけるフレッシュ性状と圧縮強度の発現を実施した試験（ケース1）については、JP漏斗による流下時間を流下時間の規格値に合わせるために、常温環境の試験に比べて水セメント比または水粉体比の値を大きくした。

次に規定されたJP漏斗による流下時間<sup>5)</sup>の幅が大きい混和剤タイプの高粘性PCグラウトのHVについて、常温に設定した試験室内において、袋詰めセメントの計量誤差によるばらつきを確認するために用いた使用材料を表-3に、標準水セメント比を表-4に示す。代表的な普通ポルトランドセメント製造会社3社の製品（A, B, C）から、高粘性混和剤タイプのJP漏斗による流下時間の目安（14～23秒）<sup>5)</sup>の中心値である18.5秒程度となる水セメント比をそれぞれ求め、標準水セメント比と設定した。この標準水セメント比に対して、1バッチあたりの水量および混和剤量を一定とし、セメント量を増減させることにより、換算される水セメント比を標準水セメント比に対して-3.0%から+3.0%まで変化させて試験を実施した。

### 2.2 PCグラウトの練混ぜ方法

PCグラウトの練混ぜは、PCグラウト用練混ぜミキサのセメント袋が4袋練り用（MG-100型：容量100L）また

表 - 1 使用材料と配合（常温環境）

ケース	PC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)		
常温環境 (室内温度：20℃)	PRE-ULV-1	34.5	503	—	1 458	—	超低粘性
	PRE-ULV-2	36.0	525	—	1 458	—	
	PRE-ULV-3	37.5	547	—	1 458	—	
	PRE-HLV-1	29.0	456	—	1 574	—	高粘性～低粘性
	PRE-HLV-2	30.5	470	—	1 540	—	
	PRE-HLV-3	32.0	482	—	1 506	—	
	LV-1	43.0	567	1 322	—	13.22	低粘性
	LV-2	44.0	582	1 322	—	13.22	
	LV-3	45.0	595	1 322	—	13.22	
	HV-1	40.5	546	1 349	—	13.49	高粘性
	HV-2	41.5	560	1 349	—	13.49	
	HV-3	42.5	573	1 349	—	13.49	

プレミックス材タイプ  
PRE-ULV：PREmix Ultra Low Viscosity  
PRE-HLV：PREmix High～Low Viscosity

グラウト混合剤タイプ  
LV：Low Viscosity  
HV：High Viscosity

表 - 2 使用材料と配合（低温環境）

ケース	PC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℃環境	PRE-HLV	33.5	494	—	1 475	—	高粘性
	PRE-ULV	41.0	557	—	1 359	—	超低粘性
	LV	45.0	587	1 305	—	13.05	低粘性
	HV	42.5	573	1 349	—	13.49	高粘性
ケース 2 20℃練混ぜ後 5℃環境下	PRE-HLV	30.5	469	—	1 536	—	高粘性
	PRE-ULV	36.0	525	—	1 458	—	超低粘性
	LV	44.0	582	1 322	—	13.22	低粘性
	HV	41.5	567	1 367	—	13.67	高粘性

表 - 3 使用材料（セメントの計量誤差）

	種類	配合条件	温度
セメント	普通ポルトランドセメント(3製造会社)	水セメント比に応じて変動	19℃～20℃
水	上水道水	一定	17℃
混和剤	高粘性型	一定	15℃～17℃

表 - 4 標準水セメント比（セメントの計量誤差）

セメント銘柄	標準水セメント比 (%)	JP漏斗の流下時間 (秒)
セメントA	42.5	17.6
セメントB	43.0	17.5
セメントC	43.0	17.4

は1袋練り用 (MG-25 型:容量 25 L) を用いて, 各 PC グラウトの製造者が推奨する練混ぜ方法で実施した。その練混ぜ方法を表 - 5 に示す。また, 練混ぜに用いたミキサ (容量 100 L) を写真 - 1 に示す。

表 - 5 PC グラウトの練混ぜ手順

配合名	練混ぜ手順
PRE-HLV	水 + プレミックス → 3 分間練混ぜ
PRE-ULV	水 + プレミックス → 3 分間練混ぜ
LV	水 + 低粘性混和剤 → セメント → 3 分間練混ぜ
HV	水 + 高粘性混和剤 → セメント → 3 分間練混ぜ



写真 - 1 セメント袋 4 袋練り用ミキサ

### 2.3 試験方法

#### (1) 試験方法の概要

試験方法の概要を表 - 6 に示す。ブリーディング率および体積変化率は, 土木学会規準 JSCE-F 535 の鉛直管試験により実施した。

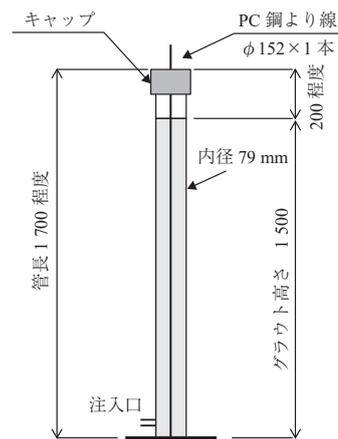
流動性試験は, JSCE-F 531 に規定されている JP 漏斗の他に, ISO 14824-3 と EN 445 で規格化されている Marsh コーンの試験<sup>1)</sup>を実施した。また, JASS コーンを使用したフロー試験, および自動質量測定方法<sup>5,6)</sup>を併せて実施した。

PC グラウトの水セメント比を検査することを目的として, 単位容積質量を JISA 1116 の質量方法に準じて実施した。

#### (2) 鉛直管試験

鉛直管試験は, JSCE-F 535 にしたがって実施した。鉛直管試験の姿図を図 - 1 に, 試験状況を写真 - 2 に示す。

試験方法は, 内径が 79 mm, 長さが 1.6 m の透明管の中に  $\phi 15.2$  mm の PC 鋼より線を鉛直管中心に 1 本配置した。PC グラウトは空気が混入しないように, 下部の注入口か



単位: mm

図 - 1 鉛直管試験



写真 - 2 鉛直管試験状況

らグラウトポンプを用いて高さが 1.5 m 程度になるまで, 手動で送量を調整して注入した。ただし, 上部に配置した蓋の中心に設けた孔と PC 鋼より線の隙間は密閉しなかった。

PC グラウトの注入後, PC グラウトの注入開始より 1, 2, 3, 5, 24 時間後の PC グラウトの高さを 1 mm 単位で測定し, 次式によりブリーディング率および体積変化率を算出した。

$$\text{ブリーディング率}(\%) = (h_w/h_g) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{体積変化率}(\%) = (\Delta h_g/h_g) \times 100 \quad (2)$$

ここに,

$h_g$ : PC グラウトの高さ (mm)

$h_w$ : ブリーディング水の高さ (mm)

$\Delta h_g$ : PC グラウト高さの変化量 (mm)

表 - 6 試験方法の概要

試験名	試験項目	仕様	試験方法・試験内容	備考
ブリーディング率 体積変化率	鉛直管試験	鉛直管長: 1.5 m (内径: $\phi 79$ mm) PC 鋼より線: $\phi 15.2 \times 1$ 本	JH 法 JSCE-F 535 (2013 年改訂より, 旧 JHS420:2004 に準拠する)	ブリーディング率および体積変化率との関係を検討
		流動性試験	JP 漏斗, 自動質量測定方法 Marsh コーン	JSCE-F 531, PC グラウトの流動性試験方法 ISO14824-3, EN445
		内径 50 mm $\times$ 高さ 51 mm	JASS 15M-103	
単位容積質量	単位容積質量試験	内径 50 mm $\times$ 高さ 100 mm 内径 100 mm $\times$ 高さ 200 mm	JISA 1116	単位容積質量試験方法の精度検討

**(3) 流動性試験 1 (漏斗試験)**

流動性試験に用いた JP 漏斗は JSCE-F 531 に、Marsh コーンは ISO 14824-3 と EN 445 に準拠した。

**(4) 流動性試験 2 (フロー試験)**

コーンは、 $\phi 50 \times H51$  mm (JASS 15M-103) を使用し、試験方法は日本建築学会基準 (JASS 15M-103) に準拠した。

**(5) 単位容積質量試験**

単位容積質量試験は、JIS A 1116 に準じて行ったが、容器は JIS A 5308 の附属書 E (規定) に規定する軽量型枠に準じたものである。すなわち、附属書 E には、コンクリート用のために  $\phi 100 \times H200$  mm のみが規定されているが、モルタル用の  $\phi 50 \times H100$  mm も市販されているため、 $\phi 50 \times H100$  mm と  $\phi 100 \times H200$  mm を簡易型枠として用いた。

**(6) 自動質量測定方法**

自動質量測定方法に用いる計測機器は、写真 - 3 に示すように JP 漏斗に加えて、ロードセル (ひょう量: 3 kg, 最少表示: 0.1 g)、荷重指示器、パソコンと専用ソフトウェアで構成されている。PC グラウトが JP 漏斗より流下する質量と経過時間を自動的に測定でき、これを流下体積時間として計測できる<sup>5,6)</sup>。測定は機器の能力上 10 Hz で行われるので、測定最小間隔はおよそ 0.1 秒となっている。

本試験では、PC グラウトが JP 漏斗からの流出を開始して、流出した PC グラウトの質量が最大に達するまでの時間である、流出口から PC グラウト流が初めて途切れるまでの時間を、流下体積時間として採用した<sup>7)</sup>。JP 漏斗による流下時間と直接対比するためである。

なお、流下体積時間の値から以下に示す式 (3) の換算式を利用して JSCE 方法 (JP 漏斗) で得られる流下時間を推測できることが報告されている<sup>5~7)</sup>。この換算式は、PC グラウトの設計施工指針 - 改訂版 - にも図 - 2 に示すように規定されている<sup>5)</sup>。

$$y = 1.5 \times x + 0.12 \quad (3)$$

ここに、

$x$ : 25 cc ~ 500 cc まで流下する経過時間 (秒)

$y$ : JSCE 方法 (JP 漏斗) による流下時間 (秒)

ただし、式 (3) は換算 JSCE 方法の流下時間が 3.5 秒から 23 秒の範囲で、かつ、各混和剤により設定されている流

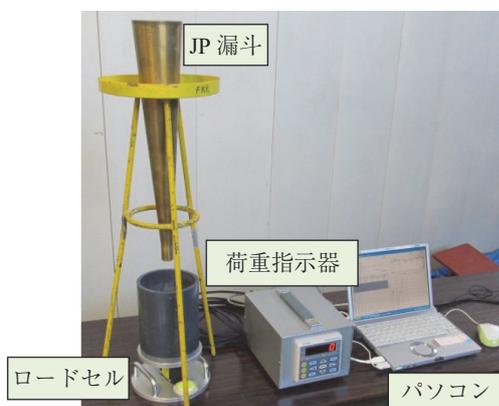


写真 - 3 自動質量計測方法 (構成機器の一例)

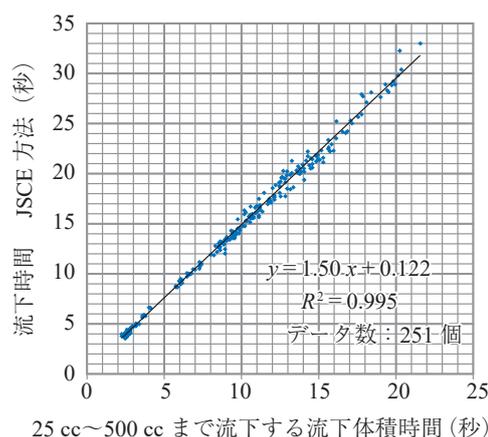


図 - 2 流下体積時間と流下時間の関係

下時間の規格内での適用となるため、本試験では、この式を用いなかった。

**(7) 計量方法**

セメントまたはプレミックス材と水の計量に用いたのはかりは、ひょう量 32 100 g で、最少表示が 0.1 g のものを使用した。

**3. 常温環境における試験結果****3.1 流動性**

PC グラウトの流動性試験として、JP 漏斗と Marsh コーンによる流下時間の測定、自動質量測定方法による流下体積時間の測定、およびフロー試験によるフロー値の測定をそれぞれ行った。練混ぜ直後と、練混ぜ 30 分後および 1 時間後にはハンドミキサーにより約 1 分間の再攪拌を行ったあとに、それぞれ測定した。

JP 漏斗と Marsh コーンの流下時間の関係を図 - 3 に、JP 漏斗の流下時間と自動質量測定方法の流下体積時間との関係を図 - 4 に示す。また、JP 漏斗の流下時間とフロー値の関係を図 - 5 に示す。いずれも、練混ぜ直後と練混ぜ 1 時間後について対比して示す。なお、いずれの PC グラウトも水セメント比または水粉体比は 3 水準に変化している。

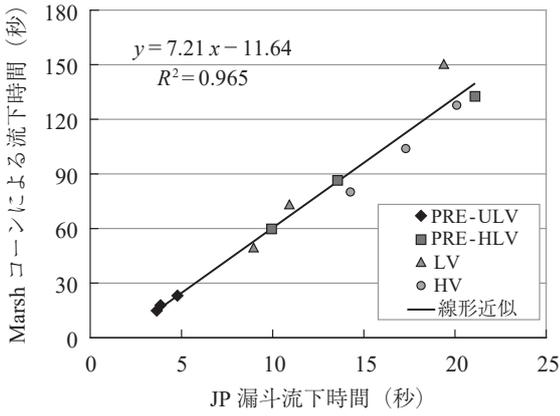
既往の研究<sup>1,5~8)</sup>と同様に、JP 漏斗と Marsh コーンによる流下時間および自動質量測定方法の流下体積時間には、相互に相関関係が認められる。そして、練混ぜ 30 分後については、練混ぜ直後と練混ぜ 1 時間後における試験結果の中間の性状を示した。

なお、JP 漏斗の流下時間とフロー値の間には、既往の報告<sup>8)</sup>と同様に、相関関係が認められない。

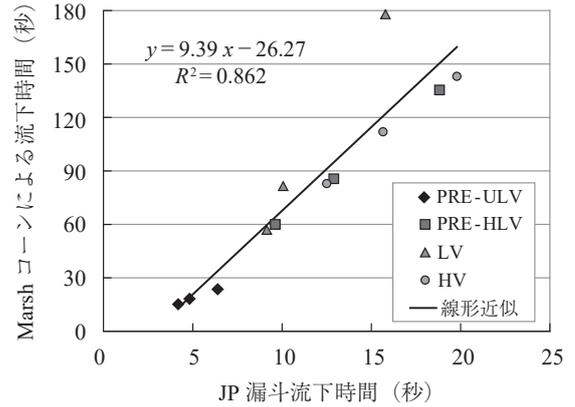
**3.2 ブリーディング率および体積変化率**

ブリーディング率試験および体積変化率試験では、練混ぜ直後より 5 時間程度までは 30 分間隔で計測を行い、最終的に 24 時間後に計測を行った。ブリーディング率試験の結果を図 - 6 に示す。また、体積変化率試験 (5 時間経過後まで) の結果を図 - 7 に示す。

PC グラウトの種別が PRE-ULV では、水粉体比が 37.5 % と一番大きい PRE-ULV-3 のみについてブリーディング水が確認されたが、練混ぜ後 4 時間において確認されなく

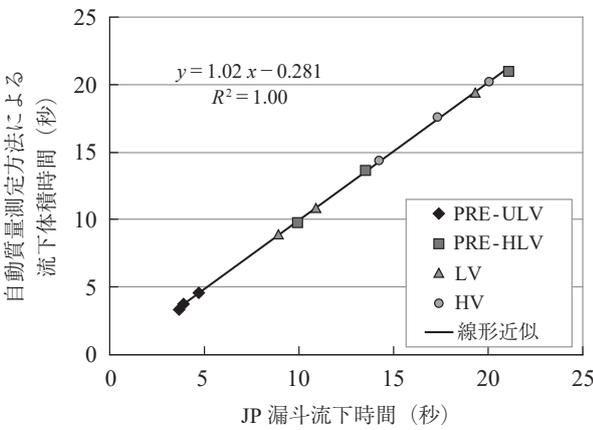


(a) 練混ぜ直後

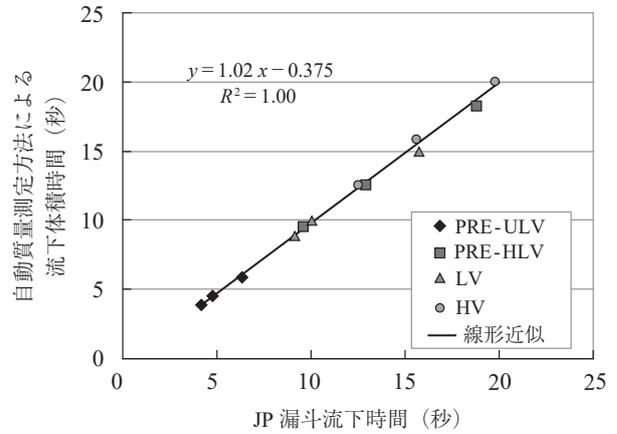


(b) 練混ぜ 1 時間後

図 - 3 JP 漏斗と Marsh コーンによる流下時間

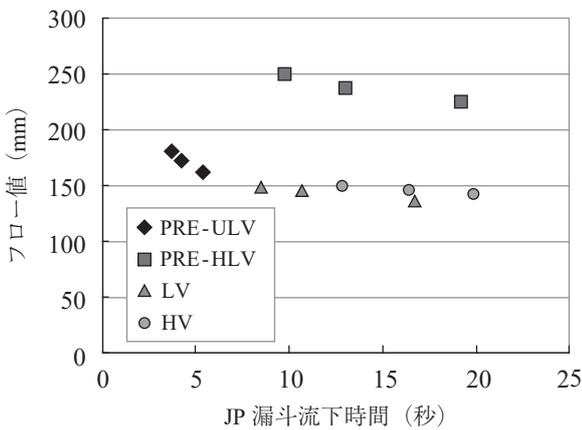


(a) 練混ぜ直後

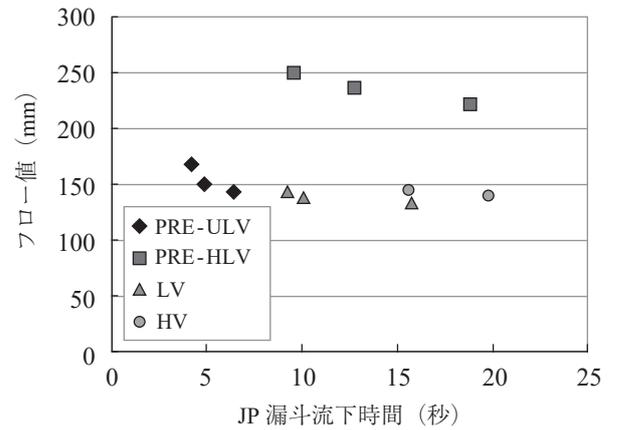


(b) 練混ぜ 1 時間後

図 - 4 JP 漏斗による流下時間と自動質量測定方法による流下体積時間の関係



(a) 練混ぜ直後



(b) 練混ぜ 1 時間後

図 - 5 JP 漏斗による流下時間とフロー値の関係

なった。種別が PRE-HLV では、水粉体比の大きい PRE-HLV-2 と PRE-HLV-3 は練混ぜ 5 時間後もブリーディング水が確認されたが、24 時間後には確認されなくなった。

混和剤タイプの PC グラウトの種別が LV では、すべての水セメント比の配合でブリーディング水が確認された。そして、練混ぜ 5 時間後も若干のブリーディング水が確認

されたが、24 時間後には確認されなくなった。また種別が HV では、いずれの水セメント比の配合でも練混ぜ直後から 24 時間後まで、ブリーディング水は確認されなかった。

体積変化は、PC グラウトの種別が PRE-ULV では、練混ぜ 3 時間においてほぼ収束した。そして、種別が PRE-

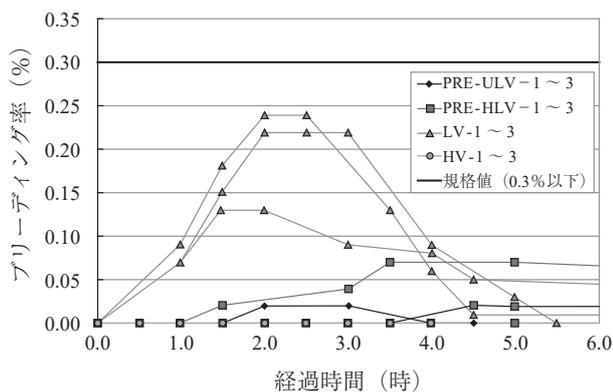


図 - 6 プリーディング率

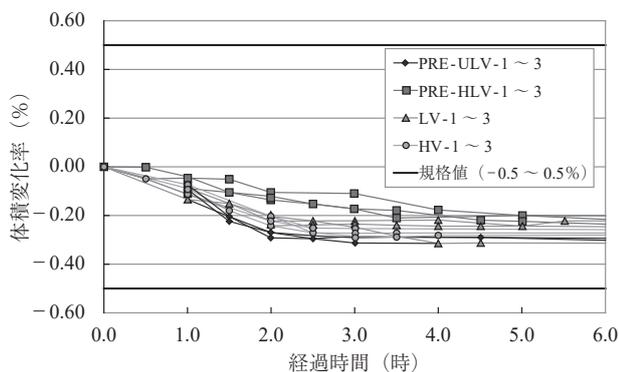


図 - 7 体積変化率

HLV では、水粉体比が小さい PRE-HLV-1 は練混ぜ 5 時間で体積変化はほぼ収束したが、水粉体比が大きい PRE-HLV-2 と PRE-HLV-3 は、5 時間以降 24 時間後においても体積変化はまだ進行していた。

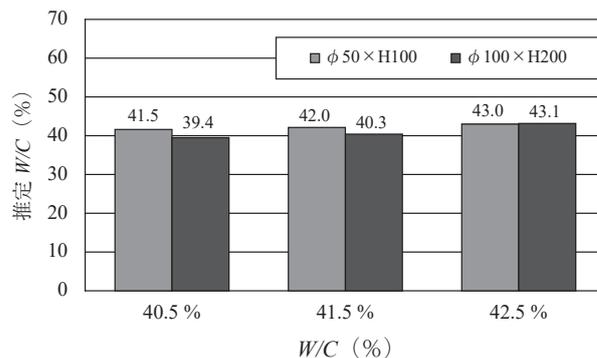
混和剤タイプの PC グラウトの種別が LV、HV では、練混ぜ後 4～5 時間経過すると、体積変化はほぼ収束した。

以上の結果より、プリーディング率試験および体積変化率試験において、PC グラウトの設計施工指針の規格値であるプリーディング率<sup>5)</sup>が 0 で、体積変化率<sup>5)</sup>が ± 0.5 % 以内となる状態が 2 時間以上続いた PC グラウトの場合には、その時点で計測を終了しても 24 時間後の試験結果にはほぼ変化がないことが確認できた。

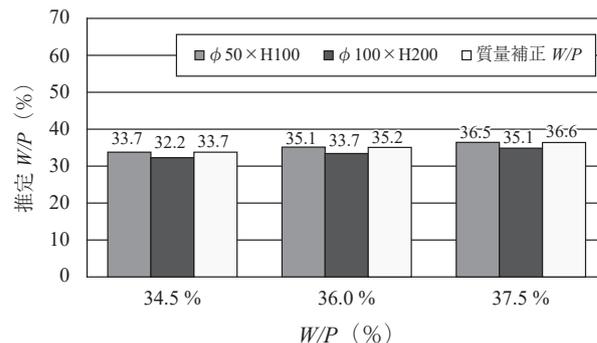
### 3.3 単位容積質量からの推定 W/C と W/P

混和剤タイプの HV およびプレミックスタイプの PRE-ULV の PC グラウトの単位容積質量の測定結果から推定した W/C または W/P を、図 - 8 に示す。φ 50 × H100 mm と φ 100 × H200 mm の簡易型枠を用いた場合である。この W/C または W/P の推定には、含まれている空気量は 0 と仮定した。

混和剤タイプのセメントについては、代表的なセメント製造会社 3 社の製品をそれぞれ等分計量して混合しているため、配合時の水セメント比がそのまま換算する単位容積質量となる。一方、プレミックスタイプについては、内容量の表示質量の 25 kg に対して若干の誤差 (± 1.0 % 以内) があった。そのため、製造品の質量を計量し、その結果か



(a) 混和剤タイプ (HV)



(b) プレミックスタイプ (PRE-ULV)

図 - 8 単位容積質量からの推定 W/C と W/P

ら換算した水粉体比についても、質量補正 W/P として図に表記した。

単位容積質量試験に用いた 2 種類の簡易型枠については、どちらのタイプの PC グラウトでも、良い精度が確保されていることが認められる。ただし、φ 100 × H200 mm の簡易型枠を用いると、簡易型枠にグラウト材を充填する際に巻き込む空気量が多くなり、推定した W/C または W/P が小さくなると考えられる。そこで、実用上の使用には、簡易型枠にグラウト材を充填する際に巻き込む空気量の影響を極力排除でき、かつ計量に用いるはかりのひょう量が小さくできる φ 50 × H100 mm の簡易型枠を用いるのが妥当であると考えている。

## 4. 低温環境における試験結果

### 4.1 5℃一定温度における試験結果 (ケース 1)

本試験は、室内温度を 5℃一定に設定した低温恒湿室内で実施した。

#### (1) 流動性と単位容積質量

フレッシュ性状を表 - 7 に示す。PC グラウトの単位容積質量と JP 漏斗の流下時間の試験結果は 3 回の平均値で示しており、単位容積質量から推定した水粉体比または水セメント比も併せて示している。

PC グラウトの種別が PRE-HLV、PRE-ULV および HV の流下時間は PC グラウトの設計施工指針の規格値の範囲内となったが、種別が LV の流下時間は規格値の範囲を少し長い方向に外れている。単位容積質量から推定した水粉体比は配合上の水粉体比より大きくなっており、これとは逆の結果となっている。その理由として、配合の目安<sup>5)</sup>

表 - 7 フレッシュ性状 (5℃一定)

PC グラウト種別	PC グラウトの温度 (℃)	単位容積質量 (g/cm <sup>3</sup> )	水粉体比 (水セメント比) の推定値 (%)	配合上の水粉体比 (水セメント比) (%)	JP 漏斗による流下時間 (秒)	流下時間の規格値 (秒)	フロー値 (mm)
PRE-HLV	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

で示されている使用可能範囲を超した水粉体比となっていることから、PC グラウト混和剤の本来の効果が発揮されなかったことなどがあると考えている。

(2) ブリーディング率および体積変化率

ブリーディング率の経時変化を図 - 9 に示す。ここでは、各 PC グラウトの水粉体比または水セメント比は表 - 2 に示した値を用いて実施した。

ブリーディング率は、すべての PC グラウトにおいて、PC グラウトの設計施工指針の規格値 (0.3% 以下、24 時間後に 0%)<sup>5)</sup> を満足している。そして、すべての PC グラウトにおけるブリーディング水は、経過時間 5 時間で消失している。

体積変化率の経時変化を図 - 10 に示す。すべての PC グラウトにおいて、体積変化率は PC グラウトの設計施工指針の規格値 (-0.5 ~ 0.5%)<sup>5)</sup> を満足している。また、体積変化率の変動が小さくなる経過時間は、PC グラウトの種別が PRE-ULV, LV および HV については 5.5 時間、

PRE-HLV については 7 時間となっている。

これらの結果から、5℃の低温環境下においても、ブリーディング率および体積変化率は PC グラウトの設計施工指針の規格値を満足する結果を得た。

ただし、低温環境であると、経過時間が 24 時間に向かい体積変化率が ±0.5% 以内でありながら若干収縮している傾向が確認された。したがって、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伴う変化量に閾値を設ければ、4 時間後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。このような早期判定が可能となれば、まだ固まらない PC グラウトを洗い流し、鉛直管試験の鉛直管を再利用することが可能となり、廃棄物の低減につながると考えられる。

(3) 圧縮強度

PC グラウトの圧縮強度の発現を図 - 11 に示す。すべての PC グラウトの圧縮強度は、5℃の低温環境の材齢 28 日においても、30 N/mm<sup>2</sup> 以上の PC グラウトの設計施工指針の規格値<sup>5)</sup> を満足している。そして、圧縮強度の規格を満足する材齢は、PC グラウトの種別が PRE-ULV と HV については材齢 7 日、種別が PRE-HLV と LV については材齢 10 日となっており、現在の規準である管理材齢 28 日より短くできる可能性が示される。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。

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は、養生する期間の目安として圧縮強度が 5 N/mm<sup>2</sup> に達することが規定されている。

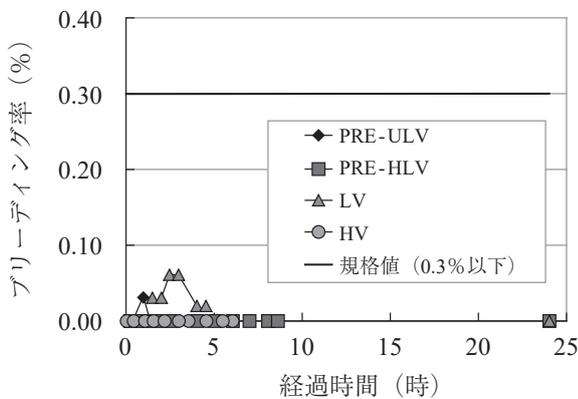


図 - 9 ブリーディング率の経時変化 (5℃一定)

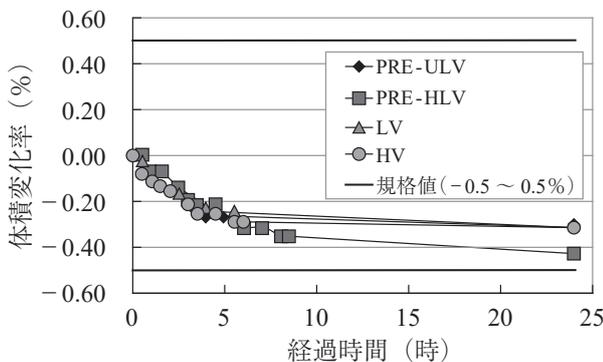


図 - 10 体積変化率の経時変化 (5℃一定)

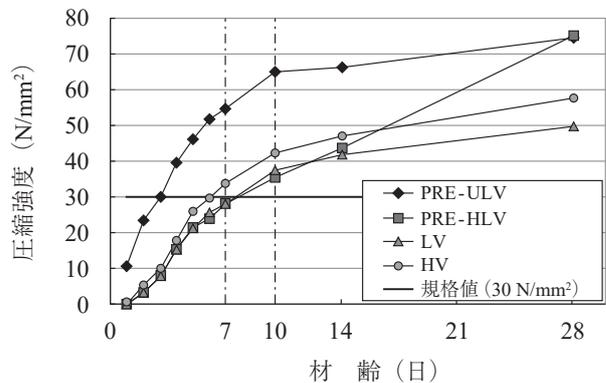


図 - 11 圧縮強度の経時変化 (5℃一定)

コンクリートとPCグラウトでは寒中環境下における圧縮強度の発現に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、必要な養生日数を以下のように検討することとする。

図 - 11 に示した材齢4日までの圧縮強度の発現状況を拡大して、図 - 12 に示す。本試験の範囲内では、材齢3日においてすべてのPCグラウトの圧縮強度が5 N/mm<sup>2</sup>以上となっている。この結果から、低温環境下におけるPCグラウト施工では、5℃以上に保つ養生期間を3日間以上とすれば、PCグラウトの強度に関する品質を確保できると考えられる。

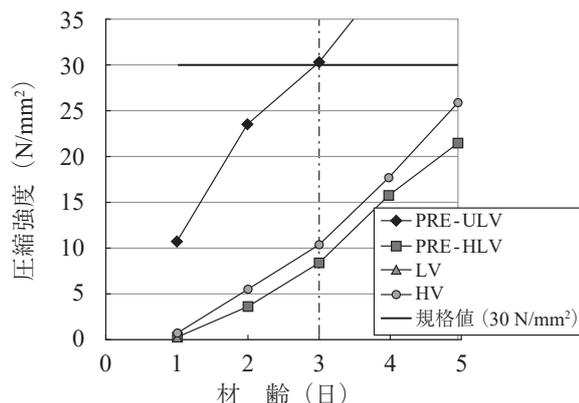


図 - 12 材齢4日までの圧縮強度の発現 (5℃一定)

#### 4.2 20℃で練り混ぜて5℃に移した流動性 (ケース2)

練混ぜを20℃の室内で行い、その後5℃の室内へ移した直後を起点にして、PCグラウトの温度の経時変化を、図 - 13 に示す。練混ぜ終了後に5℃の室内へ移す時間にばらつきがあったため、直後の温度が15℃から20℃の範囲にある。

プレミックスタイプの超低粘性のPCグラウトの種別がPRE-ULVと混和剤タイプの低粘性のPCグラウトの種別がLVのPCグラウトは、移動30分後において温度が上昇した。早強ポルトランドセメントをプレミックス材に用いているためである。そして、PRE-HLV以外のPCグラウトでは移動60分後には練混ぜ直後よりもわずかに下がる傾向が認められる。練混ぜ後におけるセメントの初期水和反応が、PCグラウトの種類により少し異なっていることを示している。

JP漏斗による流下時間の経時変化を図 - 14 に、フロー値の経時変化を図 - 15 にそれぞれ示す。図 - 13 で述べたセメントの初期水和による温度が高くなっている種別がPRE-ULVのPCグラウトを除けば、移動60分後のJP流下時間は移動直後とほとんど変わらない流下時間となっている。フロー値についても、JP漏斗による流下時間と同様の傾向が認められ、PRE-ULVのPCグラウトのみが移動後60分経過すると、フロー値は低下している。

これらの結果より、PRE-ULV以外のPCグラウトは、5℃での1時間程度の放置時間であれば、外気温がPCグラウトのフレッシュ性状にはほとんど影響を及ぼさないこと

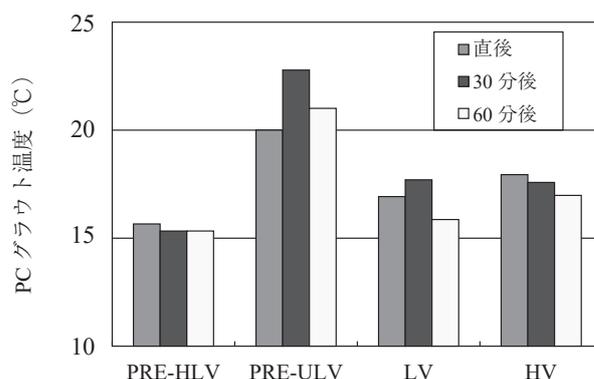


図 - 13 PCグラウト温度の経時変化 (ケース2)

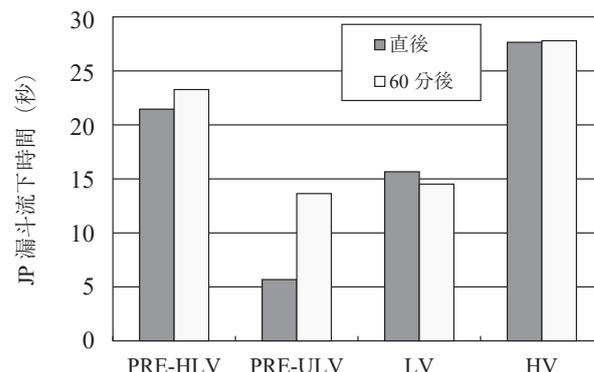


図 - 14 PCグラウトのJP漏斗による流下時間の経時変化 (ケース2)

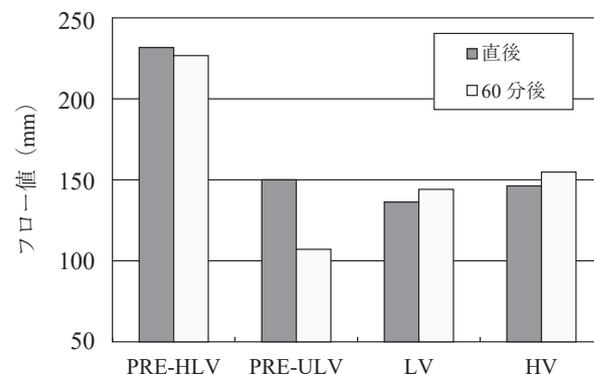


図 - 15 PCグラウトのフロー値の経時変化 (ケース2)

が確認できた。

一方、早強ポルトランドセメントをプレミックス材に用いているPRE-ULVのPCグラウトでは、JP流下時間が著しく長くなり、粘性が高くなる傾向が認められる。この理由として、移動30分後、1時間後のPCグラウト温度が移動直後よりも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早い段階で始まったためであると考えられる。つまり、このような性状を示すPCグラウトを採用する場合には、注入計画時点で季節ごとに試し練りを行い、その都度、PCグラウトの硬化特性を把握した上で注入可能時間を適切に設定し、施工時の注入時間管理

を厳密に実施する必要があると考えられる。

### 5. セメントの計量誤差による影響

セメントの計量誤差の影響を検討するために、まず、高粘性混和剤タイプのJP漏斗による流下時間の目安（14～23秒）<sup>5)</sup>の中心値である18.5秒程度となる水セメント比を標準水セメント比と定義した。それぞれのセメントでの標準水セメント比は、セメントAでは42.5%、セメントBおよびCでは43.0%となった。その標準水セメント比となった水量と混和剤量を一定として、セメント量を増減させることにより、水セメント比を±3.0%まで増減させ、計量誤差の影響を考慮した。

水セメント比を増減させた試験結果を表-8に、水セメント比の増減とJP漏斗による流下時間の関係を図-16に示す。

網掛けしている部分が、高粘性PCグラウトのJP漏斗による流下時間の規格値である14秒以上<sup>5)</sup>を外れた範囲である。いずれの製造会社の普通ポルトランドセメントについても、標準水セメント比から水セメント比を+2%増加させると、高粘性のJP漏斗による流下時間の規格値である14秒以上を下回る結果となっている。

実用上、水セメント比の設定を標準水セメント比に設定していた場合には、セメントの製造会社に関わらず、水セメント比の増加を+1.0%程度に収める計量管理が実施されれば、高粘性混和剤タイプのPCグラウトについては、JP漏斗による流下時間の規格値を外れないことが認められる。

また、水セメント比がマイナス側になる場合には、高粘性のJP漏斗による流下時間の規格値を下回ることはない。

しかし、標準水セメント比から-1.0%の減少により、流下時間が3.0秒程度長くなることから、粘性が高くなることによる注入圧力の上昇や注入作業の長期化によるトラブルが懸念される。そのため、水セメント比の増加を±1.0%程度に収める計量管理を実施する必要があると考えている。

次に、図-16の横軸をセメント質量の増減率に置き換えて、JP漏斗による流下時間との関係を図-17に示す。高粘性PCグラウトのJP漏斗による流下時間の規格値である14秒以上<sup>5)</sup>を下回る時のセメント質量の減少率は、セメントAについては-3.5%以下、セメントBについては-3.9%以下、セメントCについては-3.3%以下である。同時に、高粘性混和剤タイプのJP漏斗流下時間（14～23

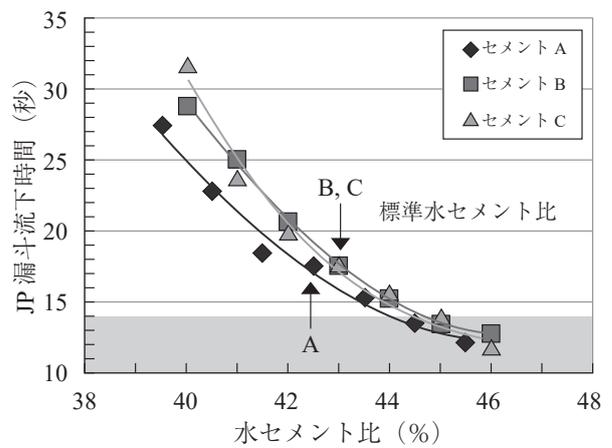


図-16 水セメント比の増減とJP漏斗による流下時間の関係

表-8 セメントの計量誤差による試験結果一覧

No.	水セメント比 (%)	JP漏斗の流下時間 (秒)	フロー値 (mm)	単位容積質量 (g/cm <sup>3</sup> )	推定水セメント比 (%)	グラウト温度 (°C)
A-1	45.5 (標準+3%)	12.1	168	1.884	45.5	23
A-2	44.5 (標準+2%)	13.6	163	1.910	43.3	23
A-3	43.5 (標準+1%)	15.3	160	1.900	44.1	23
A-4	42.5 (標準)	17.6	153	1.914	42.9	23
A-5	41.5 (標準-1%)	18.5	150	1.925	42.0	22
A-6	40.5 (標準-2%)	22.5	145	1.930	41.7	23
A-7	39.5 (標準-3%)	27.5	137	1.951	40.0	22
B-1	46.0 (標準+3%)	12.7	171	1.877	46.3	24
B-2	45.0 (標準+2%)	13.4	168	1.890	45.1	24
B-3	44.0 (標準+1%)	15.2	163	1.907	43.7	24
B-4	43.0 (標準)	17.5	156	1.919	42.8	24
B-5	42.0 (標準-1%)	20.6	155	1.921	42.6	22
B-6	41.0 (標準-2%)	25.1	146	1.945	40.7	22
B-7	40.0 (標準-3%)	28.8	137	1.947	40.6	23
C-1	46.0 (標準+3%)	11.8	165	1.885	45.6	24
C-2	45.0 (標準+2%)	13.9	161	1.888	45.3	24
C-3	44.0 (標準+1%)	15.6	155	1.898	44.5	24
C-4	43.0 (標準)	17.4	147	1.910	43.4	23
C-5	42.0 (標準-1%)	20.1	145	1.915	43.0	23
C-6	41.0 (標準-2%)	23.8	141	1.932	41.7	23
C-7	40.0 (標準-3%)	31.8	132	1.943	40.8	23

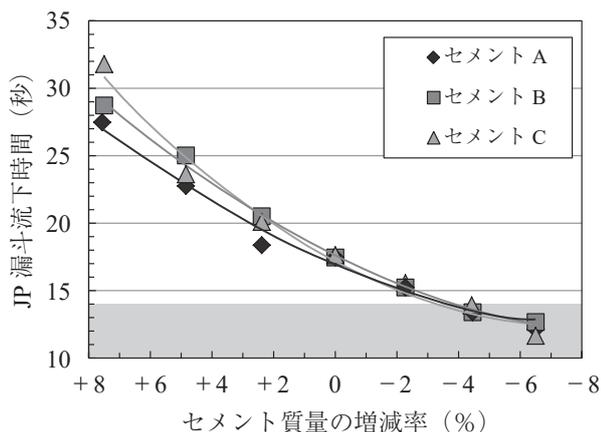


図 - 17 セメント質量の増減率と JP 漏斗による流下時間の関係

秒)<sup>5)</sup>を上回る時のセメントの質量の増加率は、セメント A については+4.9%以上、セメント B については+3.9%以上、セメント C については+3.8%以上である。これらの下限と上限の範囲にセメント質量の増減率が収まっていれば、セメントの計量誤差が許容されることになる。

現場で計測した袋詰めセメントの質量のばらつきは、内容量の表示質量が 25 kg に対して、最大は 25.597 kg から最少は 24.577 kg (平均: 25.038 kg) であり、製造誤差としては-1.7~2.4% (標準偏差: 0.176 kg) であったことが報告されている<sup>9)</sup>。この報告を参考にすると、現場に搬入された袋詰めセメントの一部または全部を計量し、平均質量を算出して、その平均質量を用いて配合計画を実施すれば、袋詰めセメント製造時の質量のばらつきを許容しても、JP 漏斗による流下時間の PC グラウトの設計施工指針の規格値<sup>5)</sup>を外れずに PC グラウトが製造できると考えられる。

水セメント比の変動に伴うフロー値の変動を図 - 18 に示す。いずれの製造会社のセメントにおいても、水セメント比の増減とフロー値には高い線形性が認められる。また、セメントの製造会社によって多少の勾配の違いはあるものの、おおむね同様の傾向が認められる。

JP 漏斗による流下時間との関係よりもフロー値との関係の方が水セメント比との線形性が高いために、フロー値のほうが水セメント比のばらつきを容易に推定しやすい可能性もある。今後、両試験方法について、水セメント比との関連性に関するデータを蓄積して検討していく必要がある。

JP 漏斗による流下時間とフロー値の関係を図 - 19 に示す。

既往の研究<sup>8)</sup>とは異なるが、混和剤タイプの高粘性の PC グラウトについては、JP 漏斗による流下時間とフロー値には狭い範囲ではあるが、線形性が認められる<sup>1)</sup>。

配合の水セメント比と単位容積質量の試験結果より求めた推定水セメント比との関係を図 - 20 に示す。配合の水セメント比と推定水セメント比には高い相関性が認められる。そして、配合の水セメント比と推定水セメント比の差

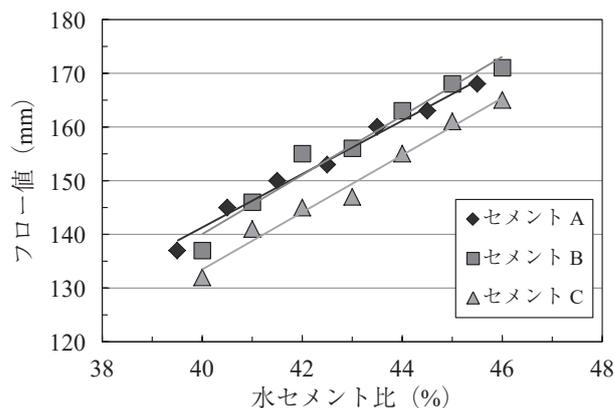


図 - 18 水セメント比の増減とフロー値の関係

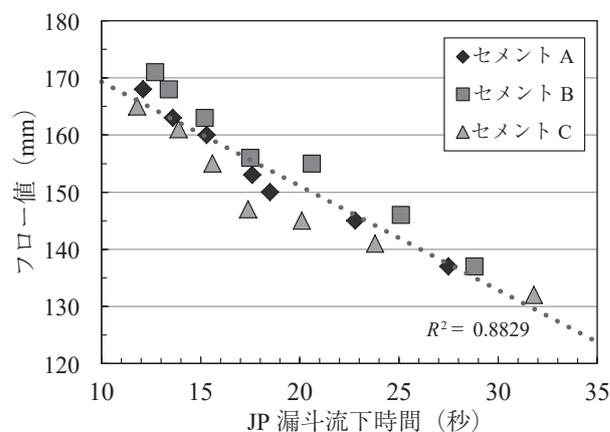


図 - 19 JP 漏斗による流下時間とフロー値の関係

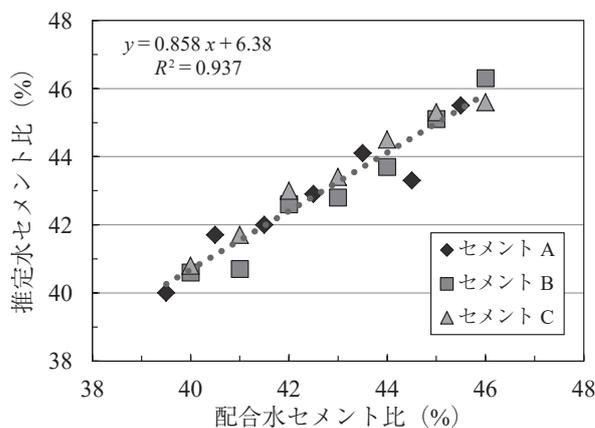


図 - 20 配合上の水セメント比と単位容積質量より推定した水セメント比との関係

は、-1.2~+1.0%と小さい値である。単位容積質量試験は、水セメント比を推定するためにはかなり精度の高い、計量誤差の検出ができる試験方法であると考えられる。

## 6. ま と め

PC グラウトの製造時における温度およびセメントの計量誤差がフレッシュ性状と圧縮強度に及ぼす影響を把握す

るために実施した試験結果を報告した。すなわち、室温を変えた試験室において実施したPCグラウトのフレッシュ性状と圧縮強度の発現に関する試験結果、およびセメントの計量誤差がPCグラウトの流動性に及ぼす影響に関する試験結果を報告した。本研究により、以下の知見が得られた。

- (1) 流動性を測定する試験方法として、JP漏斗およびISO14824-3とEN 445で規定されているMarshコーンによる流下時間ならびに自動質量測定方法による流下体積時間の間には、それぞれ強い相関があることが認められた。
- (2) 鉛直管試験においては、ブリーディング率がPCグラウトの設計施工指針の規格値<sup>5)</sup>の0となり、さらに体積変化率が±0.5%以内かつ1時間おきの計測で3回連続で変化しないことが確認されたPCグラウトの場合、その時点で試験を終了しても24時間後の試験結果に変化がないことが確認できた。
- (3) 単位容積質量試験に用いた2種類の簡易型枠については、どちらのタイプのPCグラウトでも、良い精度が確保されていることが認められた。ただし、実用上の使用には、簡易型枠にグラウト材を充填する際に巻き込む空気量の影響を極力排除でき、かつ計量に用いるはかりのひょう量が小さくできるΦ50×H100mmの簡易型枠を用いるのが妥当である。
- (4) 5℃の低温環境下におけるPCグラウトが、所定の圧縮強度<sup>5)</sup>となる材齢は、PCグラウトの種別がプレミックスタイプの高粘性では材齢10日、その他PCグラウトでは7日であった。圧縮強度を材齢28日ではなく、早期に判定する目安を把握できた。
- (5) 5℃の低温環境下におけるPCグラウトは、養生日数が3日程度で、コンクリート標準示方書の寒中コンクリートで初期凍害を防ぐために必要となる圧縮強度の標準値に定められている5N/mm<sup>2</sup>の圧縮強度を発現することが認められた。
- (6) 目標練上がり温度が20℃のPCグラウトを5℃の低温環境下に移動した場合のフレッシュ性状の経時変化は、プレミックスタイプの超低粘性の早強ポルトランドセメントを用いたPCグラウトを除き、ほとんど変化しないことが認められた。
- (7) 混和剤タイプの高粘性PCグラウトにおいて、標準配合のPCグラウトは、セメントの製造会社に関わらず、水セメント比の変動が±1.0%程度であれば、JP漏斗による流下時間はPCグラウトの設計施工指針の規格値<sup>5)</sup>を外れない。
- (8) 現場に搬入された袋詰めセメントの一部または全部を計量し、平均質量を算出して、その平均質量を用いて配合計画を実施しておけば、袋詰めセメント製造時の質量のばらつきを許容しても、PCグラウトの設計施工指針のJP漏斗による流下時間の規格値<sup>5)</sup>を外れない。
- (9) 単位容積質量試験は、水セメント比を推定するためにはかなり精度の高い、計量誤差の検出ができる試験方法である。

## 謝 辞

本論文は、プレストレストコンクリート工学会 PCグラウトの設計・施工規準改訂委員会の検査WGにおける平成23、24年度の活動成果の一部を報告したものである。

## 参考文献

- 1) 細野宏巳, 山口光俊, 野島昭二, 山口隆裕, 辻 幸和: PCグラウトの流動性評価と品質管理方法に関する研究, 土木学会論文集E2(材料・コンクリート構造) Vol.71, No.1, pp.72-85, 2015.1
- 2) 吉松秀和, 山口隆裕, 野島昭二, 呉 承寧: PCグラウトのフレッシュ性状確認に関する統一試験(室内試験1), 第21回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.597-600, 2012.10.
- 3) 鈴木雅博, 野島昭二, 堀 健治, 呉 承寧: 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), 第21回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.593-596, 2012.10.
- 4) 本田 亮, 二井谷教治, 野島昭二, 呉 承寧: PCグラウトのフレッシュ性状確認に関する統一試験(室内試験3), 第21回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.601-604, 2012.10.
- 5) (公社)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-, 2012.12.
- 6) 山口隆裕, 広瀬晴次, 笹子和弘, 鳥根征哉: PCグラウトの流動性に関する試験システムの開発研究, プレストレストコンクリート, Vol.44, No.5, pp.77-81, 2002.9.
- 7) 野島昭二, 細野宏巳, 呉 承寧: PCグラウトのJP漏斗による流下時間による一考察, 第23回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.41-46, 2014.10.
- 8) 山口光俊, 細野宏巳, 野島昭二, 辻 幸和: PCグラウトのレオロジー特性に関する統一試験, 第13回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.175-178, 2004.10.
- 9) 西村一博, 矢口 稔, 細野宏巳, 呉 承寧: PCグラウトのフレッシュ性状に関する統一試験(フィールド試験2), 第21回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.609-612, 2012.10.

[2017年10月12日受付]