

# PC グラウトの材料特性と体積変化特性 ならびに品質管理に関する研究

細野 宏巳\*1・俵 道和\*2・呉 承寧\*3・辻 幸和\*4

We studied PC grout material characteristic and volume change evaluation test methods for measuring PC grout volume change using the Vessel method prescribed in JSCE, improved Vessel method which utilizes the laser displacement meter measurement instrument and also prescribed by JSCE, the Vertical tube method both prescribed in ISO 14824 and EN 445, and the JH method which is an improved Vertical tube method. The results of forth volume change ratio evaluation test using showed strong correlation. The JH method showed the efficiency on basically quality test of the PC grout on the construction sites considering the facilities (availability of tools), the convenience and the test accuracy.

Key words : PC grout, volume change ratio, vertical tube test, JSCE test

## 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 グラウトの材料の選定、配合および製造を適切に行うことが、まず必要である。またそれと同時に、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、その品質を評価することが重要となる。

PC グラウトの体積変化率の測定方法としては、これまで主に土木学会のポリエチレン袋方法 (JSCE-F 532) が用いられていたが、非膨張性タイプの PC グラウトについては体積変化率の測定ができない状況であった。そこで、粘性と種類の異なる PC グラウトに対応できる、ポリエチレン袋方法以外の試験方法により体積変化特性を求めることが要請されている。

本研究では、現在、土木学会規準に制定されている鉛直管試験を PC グラウトの品質管理試験に導入するにあたり、PC グラウトの体積変化率の試験方法の確立、PC グラウトの体積変化率の規定値を定めるための基礎資料の収集、および基準試験方法としての適用性を検討することを目的とした試験結果を報告する。すなわち、セメント系材料の種類、混和剤の種類および水粉体比を変更して、流動性と粘性を変化させた PC グラウトについて、異なる試験方法により、体積変化率などを測定した結果を報告する。そして、PC グラウトの合理的な品質管理システムを構築することを目指して、それら試験方法の適用性を各種 PC グラウトと対応させて検討し、基準試験としては JH 法が適切であることを提示する。

## 2. 試験の概要

### 2.1 使用材料および配合

使用材料を表 - 1 に、配合表を表 - 2 に示す。試験に使用した混和剤タイプの PC グラウトに用いたセメント系材料は、普通ポルトランドセメント (N)、早強ポルトランドセメント (H) および高炉セメント B 種 (BB) の 3 種類である。普通および早強ポルトランドセメントについては高粘性の PC グラウト混和剤を用い、高炉セメントについては高粘性と低粘性の 2 種類の PC グラウト混和剤を用いた。配合は、これらの混和剤タイプに加えて、混和剤をブレミックスした低粘性 PC グラウト材を追加した合計 5 種類とした。

ここで、3 種類のセメントを対象としたのは、2003 年のポルトランドセメント JIS R 5210 の改正により、普通ポルトランドセメントの塩化物イオン量 ( $Cl^-$ ) が 0.02% から 0.035% に規制緩和され、当時の PC グラウトの塩化物イオン量の規制値  $0.3 \text{ kg/m}^3$  を超過する可能性が生じてきた。この対応として、ポルトランドセメントのクリンカの含有量が少ない高炉セメントや JIS 規定の改正範囲外である早強ポルトランドセメントについても試験を実施した。

また、使用するセメントは、実際に現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するものとした。

### 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 (MG-100 型 : 容器 100 L) を用いて、各 PC グラウトに用いる混和剤とブレミックス材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 - 3 に示す。

\*1 Hiromi HOSONO : 三井住友建設 (株) 土木技術部

\*2 Michikazu TAWARA : オリエンタル白石 (株) 技術研究所

\*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

表 - 1 使用材料

使用材料と略称			密度 (g/cm <sup>3</sup> )
セメント系材料	普通 ポルトランドセメント	3社等分混合品 (略称:普通)	3.16
	早強 ポルトランドセメント	3社等分混合品 (略称:早強)	3.14
	高炉セメントB種	3社等分混合品 (略称:高炉)	3.04
	プレミックス低粘性 (高炉セメントB種)	ポリカルボン酸系高性能減水剤 セルロース系増粘剤 アルコール系消泡剤 石膏系収縮低減材 (略称:プレ)	2.99
混和剤	高粘性 普通用 (略称:高粘性N)	メラミンスルホン酸系化合物 水溶性高分子エーテル系化合物	1.37
	高粘性 早強用 (略称:高粘性H)	メラミンスルホン酸系化合物 水溶性高分子エーテル系化合物	1.92
	高粘性 高炉B種用 (略称:高粘性BB)	メラミンスルホン酸系化合物 水溶性高分子エーテル系化合物	1.63
	低粘性 高炉B種用 (略称:低粘性BB)	メラミンスルホン酸系化合物 水溶性高分子エーテル系化合物	1.74
水	水道水 (W)	-	1.00

表 - 2 配合

配合	PCグラウト混和剤	セメント系材料	水粉体比 (W/P)	混和剤添加率 (C×%)
高-普	高粘性N	N	42.0	1.0
高-早	高粘性H	H	39.0	1.0
高-高	高粘性BB	BB	42.5	1.0
低-高	低粘性BB	BB	44.0	1.0
低-プレ	-	プレミックス	31.5	-

表 - 3 PCグラウトの練混ぜ手順

配合	練混ぜ手順
高-普	W+高粘性N→セメント→3分間練混ぜ
高-早	W+高粘性H→セメント→5分間練混ぜ
高-高	W+高粘性BB→セメント→3分間練混ぜ
低-高	W+低粘性BB→セメント→3分間練混ぜ
低-プレ	W+プレミックス→3分間練混ぜ

### 2.3 試験方法の概要

体積変化率およびブリーディング率の試験方法の概要を表-4に示す。後述する流動性試験(漏斗試験とフロー試験), 空気量と凝結試験, 圧縮強度, 静弾性係数および引張強度も含め, 20℃の恒温室において, いずれの試験も実施した。

体積変化率およびブリーディング率は, ISO 14824や欧州規格のEN 445で規格化されている鉛直管試験とその鉛直管試験をわが国で改良した方法(JH法, 現:JSCE-F 535)により実施した。また体積変化率に関しては, これらの鉛直管試験に加えて, 土木学会規準の容器方法(JSCE-F 533)とその測定方法を変更した改良容器方法によっても併せて実施した。

流動性試験では, 土木学会規準(JSCE-F 531)に規定されているJP漏斗による流下時間の測定と日本建築学会規準(JASS 15M-103)に準拠した内径50mm, 高さ51mm(JASS 15M-103)を修正した内径50mm, 高さ100mm(以後, 修正JASSコーン)によるフロー試験を実施した。

ここで, 流動性試験を並行して実施した目的は, 次による。

- 練り混ぜられたPCグラウトが製造会社が規定した粘性の範囲内であること, つまり, 流動性に関する品質試験の規格値を満足していることを確認すること。
- レオロジー特性の指標となるJP漏斗の流下時間および修正JASSコーンによるフロー値と材料分離抵抗性の指標となるブリーディング率および体積変化率との間の関係性を確認すること。

表 - 4 PCグラウトの体積変化の試験項目と試験方法

試験項目	試験名称	試験方法・試験内容
ブリーディング率と体積変化率	土木学会法	JSCE-F 533「PCグラウトのブリーディング率および膨張率試験方法(容器方法)」に準拠するが, 測定以外の期間はガラス板で密閉する。
	改良土木学会法	JSCE-F 533試験にレーザー変位計を用いて行う。
	fib法	fib「Grouting of tendons in prestressed concrete」: 2002, ISO 14824, EN 445に記載されている, 長さが1.5m鉛直管法に準拠する。
	JH法	JSCE-F 535: 2013, 旧日本道路公団JHS420: 2004に準拠する。

### 2.4 試験方法

#### (1) 鉛直管試験

鉛直管試験では, JH法とfib法を用いた。JH法による鉛直管試験の姿を図-1に, 試験状況を写真-1に示す。両方法とも3体ずつ測定し, その平均を求めた<sup>1)</sup>。

JH法の試験方法は, 内径が79mm, 長さが1.6mの透明管の中にΦ15.2mmのPC鋼より線を鉛直管中心に1本配置する。PCグラウトは空気が混入しないように, 下部の注入口からグラウトポンプを用いて慎重に高さ1.5m程度まで注入した。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。

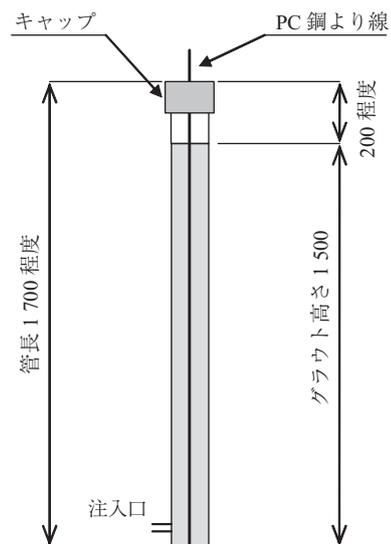


図 - 1 鉛直管試験



写真 - 1 鉛直管試験の状況

*fib* 法の鉛直管試験は、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 6 本配置し、蓋の中心に設けた孔と PC 鋼より線の隙間を密閉すること以外は、JH 法と同様である。

JH 法と *fib* 法とも、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 および 24 時間後の PC グラウトの高さを 1 mm 単位で測定し、ブリーディング率および体積変化率を算出した。なお、ブリーディング率および体積変化率は、次式により算出している。

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

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

ここに、

$h_g$  : PC グラウトの初期高さ

$h_w$  : ブリーディング水の高さ

$\Delta h_g$  : PC グラウト高さの変化量

## (2) 容器方法による体積変化率試験

容器方法による体積変化率は、土木学会規準 (JSCE-F 533) に準拠した (以下、土木学会法)。土木学会法の試験装置を図 - 2 に示す。

PC グラウトを内径 50 mm、高さ 100 mm の鋼製型枠内に、型枠天端から数 mm 下げて中央を少し盛り上げて打ち込んだ。そして PC グラウトの体積変化率を測定するため、PC グラウトの天端に直径が 40 mm のアクリル板を載せた後に、静かにアクリル板の上に埋金物を載せ、型枠天端に接触するまで押え付けた。その後埋金物を取り外し、アクリル板の上面と測定用ブリッジ上面までの上・下方向の変位量を、ダイヤルゲージを用いて測定した。測定は、練上りから 1 時間、2 時間、5 時間、その後の経過時期が 1 日、7 日、14 日および 28 日とした。測定には、測定用ブリッジの上面に開けた 4 点の測定用孔を用いて行い、その平均値を供試体 1 個の体積変化率とした。そして 3 個の平均を求めた。なお、PC グラウトの乾燥を防ぐため、型枠上端をガラス板とグリスにより密閉した。

測定方法をレーザー変位計に改良した容器方法 (以下、改良土木学会法) の試験装置を図 - 3 に示す。

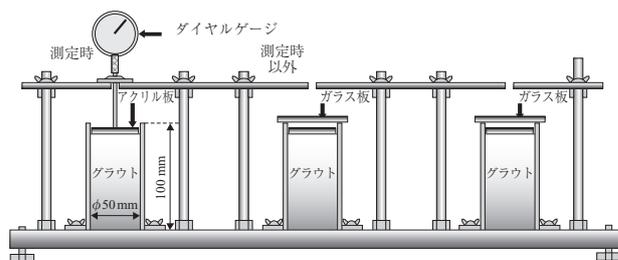


図 - 2 容器方法 (土木学会法)

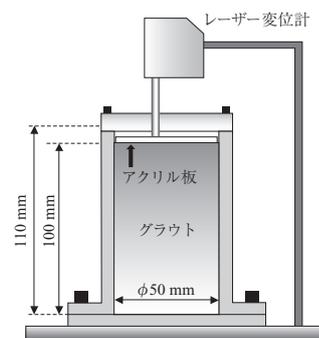


図 - 3 改良土木学会法

PC グラウトを内径 50 mm、高さ 110 mm の鋼製型枠内に、高さが 100 mm で中央を少し盛り上げて打ち込む。PC グラウトの体積変化率を測定するため、PC グラウトの天端に直径が 40 mm のアクリル板を載せたあとに、静かにアクリル板の上に埋金物を載せ、型枠天端に接触するまで押え付けた。その後埋金物を取り外し、アクリル板の上面と測定用ブリッジ上面までの上・下方向の変位量を、ダイヤルゲージからレーザー変位計 (最大測定距離が 85 mm、測定範囲が  $\pm 15$  mm、精度が  $0.2 \mu\text{m}$ ) に替えて、練上りから材齢 28 日までの上・下方向の変位量を、経過期間が 1 日までは 10 分間ごとに、その後は土木学会の容器方法に準拠して測定した。レーザー変位計は、測定用ブリッジ上面に設置し、レーザー光線を測定用ブリッジの上面に開けた 4 点の測定用孔の内の 1 点を通して、アクリル板の上面との上・下方向の変位量を測定した。そして、3 個の測定値の平均を求めた。なお測定休止の間は、PC グラウトの乾燥を防ぐため、型枠上端をガラス板とグリスにより密閉した。

## (3) 流動性試験 (漏斗試験とフロー試験)

漏斗は、土木学会規準 (JSCE-F 531) に準拠した JP 漏斗を使用した。

コーンは、日本建築学会規準 (JASS 15M-103) に準拠した内径 50 mm、高さ 51 mm (JASS 15M-103) を修正した、修正 JASS コーン (内径 50 mm、高さ 100 mm) を使用した。

## (4) 空気量と凝結試験

空気量は、JIS A 1116 に従って測定した。容器は、内径が 14 cm で、内高が 13 cm の円筒を用いた。

凝結時間は、JIS R 5201 に規定しているピカー針により求めた。

## (5) 圧縮強度、静弾性係数および引張強度

圧縮強度は、JIS A 1108 に従って求めた。静弾性係数は、

圧縮試験の時に、JIS A 1149 に従って求めた。供試体は、直径が 50 mm で、高さが 100 mm の円柱を用いた。

引張強度は、同じく直径が 50 mm で、高さが 100 mm の円柱を用いて、JIS A 1113 に従って割裂引張強度を求めた。

### 3. PC グラウトの材料特性

PC グラウトの練混ぜ後の経過時間に伴う修正 JASS コーンによるフロー値を図 - 4 に、JP 漏斗による流下時間を図 - 5 に示す。1 時間と 2 時間の経過時間における測定は、練り鉢の上面を湿布で覆って置いた残りの PC グラウトを、手で 2 分間練り直したあとに行った。

すべての PC グラウトは、練り混ぜられた PC グラウトが製造会社が規定した粘性の範囲内であることが確認されている。

フロー値については、すべての PC グラウトは時間の経過に関わらず、練混ぜ後 2 時間まであまり変動しないことが認められる。

JP 漏斗の流下時間については、「高-早」と「低-プレ」の PC グラウトのように、経過時間に伴い徐々に流下時間が遅くなるもの、「高-高」や「低-高」の PC グラウトのように、逆に経過時間に伴い流下時間が早くなっているもの、あるいは、「高-普」の PC グラウトのように、経過時間 1 時間まではあまり変化がないが、2 時間経過すると流下時間が遅くなるものがあり、それぞれの材料特性に依存した経時変化が認められる。

PC グラウトの通常の注入作業に掛かる時間としては、最長でも 2 時間以内（練り混ぜられた PC グラウトが、練混ぜ直後からダクト内に注入され、そのダクトの注入が完了するまでの時間）であると推定される。一部の高粘性の PC グラウトについては、2 時間経過すると流下時間が遅くなるもの、つまり粘性が高くなるものがあるため、練り混ぜられた PC グラウトをタンク内で緩やかに攪拌して、PC グラウトのフレッシュ性状の変化を極力抑えること、練り混ぜられた PC グラウトの温度上昇を抑えること、さらに注入時の注入ポンプの注入圧力上昇に注意を払い、場合によっては、注入速度を落とすなどして、注入圧力を制御するような施工方法が求められる。また、PC グラウト

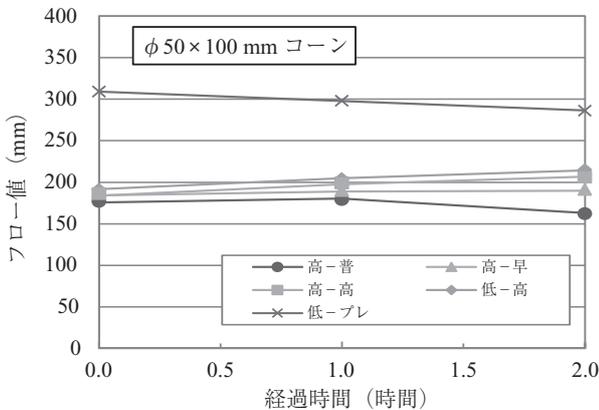


図 - 4 修正 JASS コーンによるフロー値と経過時間の関係

の粘性に関しては、練り混ぜられた PC グラウトの温度や外気温の影響を受けるため、今後、PC グラウトの温度依存性に関する影響を確認しておく必要があると考えている。

PC グラウトの経過時間に伴う空気量と凝結試験結果を表 - 5 に、材齢 14 日の圧縮強度、静弾性係数および引張強度を表 - 6 に示す。

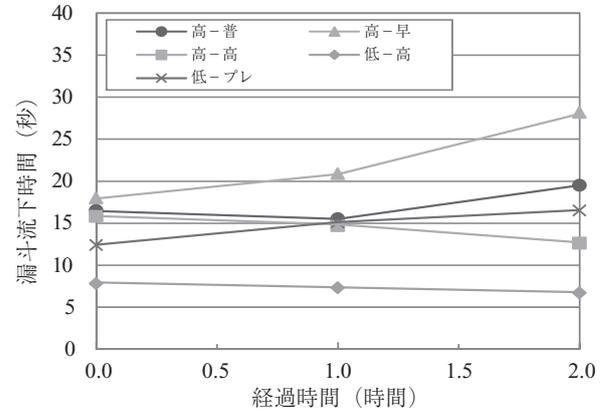


図 - 5 JP 漏斗による流下時間と経過時間の関係

表 - 5 空気量と凝結試験

配合名	空気量試験			凝結試験 (プロクター)	
	空容量 (%)			凝結時間 (h-m)	
	測定時間 (時間)			始発	終結
高-普	0.0	0.0	0.0	-	-
高-早	0.0	0.0	1.3	-	-
高-高	0.0	0.0	0.2	11 : 49	14 : 24
低-高	0.0	0.0	0.1	10 : 29	13 : 16
低-プレ	0.2	0.1	0.1	16 : 52	18 : 53

表 - 6 圧縮強度、静弾性係数および引張強度

配合名	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
	材齢 (日)		
	14	14	14
高-普	61.1	15.7	3.09
高-早	86.9	17.2	4.05
高-高	56.9	14.8	1.36
低-高	56.3	14.1	2.03
低-プレ	90.8	22.4	2.35

空気量については、コンクリートと比較して非常に小さな値であること、特異的に大きな値を示した 1 点「高-早」を除いてほとんど変化していないことから、空気量は少なく、かつその変動は小さいことが認められる。

凝結時間については、すべての PC グラウトが、通常の注入作業に必要なとされる 2 時間を十分に満足する始発時間を保持しているとともに、始発開始後は、早期に終結することが認められる。ブリーディング率や体積変化率を測定する試験方法である鉛直管試験においては、24 時間後の測定が義務付けられており、その段階で凝結が完了してい

ることは、試験結果を判定する時間を設定するためには重要な条件であると考えている。

圧縮強度については、すべてのPCグラウトについて、2012年制定の土木学会コンクリート標準示方書に定められている材齢28日における圧縮強度の規格値である30 N/mm<sup>2</sup>を十分に満足していることが認められた。今回の試験結果では、すべてのPCグラウトに関して、水セメント比が45%以下とすると、20℃の養生条件においては、材齢14日で十分な圧縮強度が発現されることが確認できたため、今後、5℃程度の温度環境における圧縮強度の発現材齢を確認することにより、2012年制定のコンクリート標準示方書で示されている材齢期間の短縮が図れる可能性があると考えている。

#### 4. 容器方法による体積変化率

土木学会法および改良土木学会法による体積変化率を図-6および図-7に示す。それぞれの試験結果は、供試体3個の平均値である。

試験結果は、すべてのPCグラウトについて収縮傾向を示している。材齢7日の体積変化率は、土木学会法では-0.72%~-0.92%となり、改良土木学会法では-0.38%~-0.95%となった。また、改良土木学会法においては、PCグラウトの違いによる試験結果の違いが顕著に現れている。さらに、土木学会法においては、材齢1日までにほとんどの収縮が測定され、それ以降の7日までに収縮量の増加が非常に小さく観測されている。改良土木学会法においては、材齢1日までに大半の収縮が生じていることが明瞭に測定できるとともに、材齢1日以降の収縮量の増加も明瞭に観測されている。そして、材齢1日から28日までの体積変化率は、PCグラウトの種類の影響が少なく、ほぼ-0.2%の範囲に収まっている。

両試験方法の違いとしては、PCグラウトの上面の膨張・収縮による変動量を、土木学会法がダイヤルゲージを用いて探触子をPCグラウトの上面にアクリル板を介して直接接触して測定する方法であり、一方、改良土木学会法は、レーザー変位計を用いて、材料面に非接触で測定する方法である。

測定方法のみの違いによって、測定結果がかなり異なる理由としては、下記に示す測定精度の違い等が原因であると推定している。

- PCグラウトの上面に直接探触子を接触させて測定する土木学会法では、PCグラウトの硬化途中の非常に低強度の時に探触子の重量が作用することにより、探触子の重量分によるPCグラウトの上面の沈下量を含めて測定している可能性が高いこと
- 計測器の最小測定精度（土木学会法では、ダイヤルゲージの精度が0.01 mmのもの、改良土木学会法では精度が0.2 μmのレーザー変位計）の違いにより、PCグラウトの硬化途中の微小な収縮（膨張）量を測定した精度が異なることといった測定精度の違いなどが原因であること

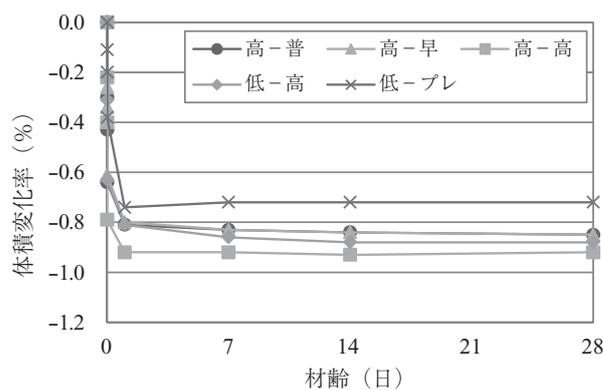


図-6 土木学会法による体積変化率

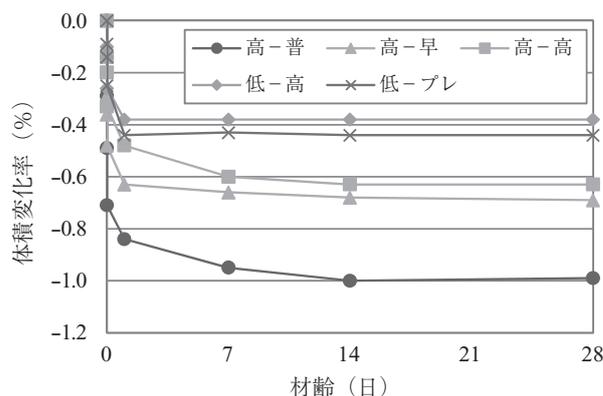


図-7 改良土木学会法による体積変化率

容器方法による体積変化率については、PCグラウトに対する規格値が提示されていないため、体積変化率の妥当性を判断する試験方法にはなり得ない。ただし、PCグラウト自身の体積変化率を正確かつ長期的に観測できる方法であると考えられるため、今後、鉛直管試験による体積変化率との相関性を確認しておくなどして、PCグラウトの材料の製造会社において実施される新規材料の開発を行う場合、材料組成を変更した場合、または標準配合や練混ぜ方法を変更した場合などの基準試験として位置付けるのが望ましい試験であると考えている。

#### 5. 鉛直管試験による体積変化率

JH法およびfib法による体積変化率を図-8および図-9に示す。

材齢24時間の体積変化率は、JH法では-0.2%~-0.5%、fib法では-0.4%~-0.8%となり、fib法が大きな体積変化を示している。また低粘性のプレグラウトを除くすべてのPCグラウトが、試験開始4時間後からはほぼ体積変化が収束している。そして低粘性のプレグラウトについては、JH法およびfib法とともに、4時間後から24時間後までに明確に体積が変化したことが確認できる。

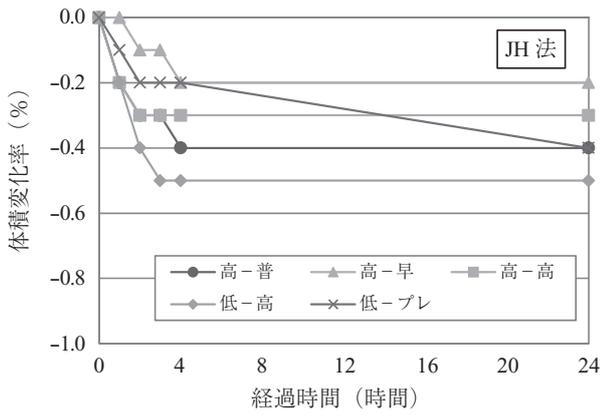


図 - 8 JH 法による体積変化率

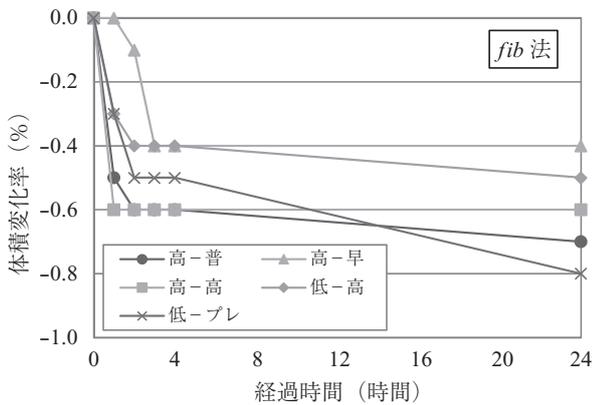


図 - 9 fib 法による体積変化率

JH 法と fib 法は同じ材質と内径の透明シースの容器に高さが 1.5 m まで PC グラウトを注入したあとに、PC グラウトの沈下量を測定して体積変化率を求めている。両法での相違点は、透明シース内に配置した PC 鋼より線の本数（6 本と 1 本）と蓋の密閉性である。

ここで、毛細管現象により PC グラウトが素線間の隙間を上昇していることと、両法での体積変化率の差を確認するために、PC 鋼より線素線間の隙間に含まれる PC グラウトの量を測定することとした。対象材料としては、最も粘性の高い「高-高」に着目し、PC グラウトの硬化後、両試験の鉛直管内に配置した PC 鋼より線を取り出し、素線を解体し、素線間に含まれている PC グラウトの質量を測定した。PC グラウトを採取した素線間（対象面積）および採取区間を図 - 10 に、採取した PC グラウト含有量を表 - 7 に示す。

採取した箇所は、PC グラウトに埋まらない頂部付近の PC 鋼より線の 100 mm の範囲とし、含有量は単位長さ 1.0 m あたりの含有量として換算した。その理由としては、PC グラウトに埋まっている部分の PC 鋼より線から、毛細管現象のみにより含有された PC グラウトの量を正確に確認できないこと、頂部付近にまで PC グラウトが含有されている場合、それより下部には同様に、あるいはそれ以上の PC グラウトが含有されていることが想定され、その値を比較するためには、単位長さあたりで比較することが

妥当であると考えたからである。

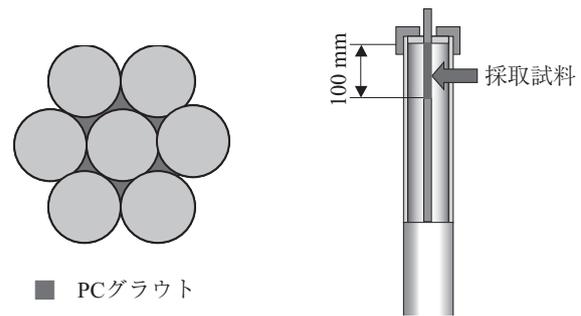


図 - 10 素線間の隙間の PC グラウトおよび採取位置

表 - 7 PC グラウトの含有量

配合	試料	PC 鋼より線から採取された PC グラウト量 (g)	PC 鋼より線 1 本に含まれる PC グラウトの換算量 (g/m)	PC 鋼より線全数に含まれる PC グラウトの換算量 (g/m)
高 - 高	fib 法	0.07	0.7	4.2
	JH 法	0.12	1.2	1.2

配置された PC 鋼より線の全数に含まれていた PC グラウトの量は、大きな体積変化を示した fib 法が JH 法よりも大きくなることが認められた。ただし、1 本あたりの PC 鋼より線を比較した場合には、大きな体積変化を示した fib 法よりも JH 法が、より多くの PC グラウトが含まれていることが認められた。1 本あたりの PC グラウト含有量が、PC 鋼より線の本数の少ない JH 法が fib 法より大きくなった理由としては、PC 鋼より線を 1 本しか配置していないため、内部の PC グラウトが中央に配置されたその 1 本により多量に絞り出された結果であると推定している。

いずれにしても、両法の鉛直管試験における体積変化率の値は、PC グラウトの体積変化率の規格値である  $-0.5 \sim 0.5\%$  に対して、変化率を十分に確認できる値であると判断している。したがって、体積変化率を測定するための試験方法としては、より簡便性の高い JH 法を採用するのがよいと考えている。

## 6. 試験方法による体積変化率の相違

4 種類の試験方法の違いによる注入 24 時間後の体積変化率を図 - 11 に示す。24 時間後の各試験結果を比較すると、PC グラウトの種類によって、試験方法ごとの体積変化率が異なり、各試験方法の特徴が検出されることが認められる。ただし、ほとんどの PC グラウトにおいて、土木学会法で計測された体積変化率の絶対値が最も大きな値となっており、逆に JH 法が最も小さな値を示している。また、JH 法は fib 法に比べて、PC グラウトの種類の違いによる体積変化率が小さくなる傾向が見られる。

なお、最も小さな値を示す JH 法においても、鉛直管の計測精度である  $0.1\%$  単位の体積変化を十分に確認できる値となっている。したがって、いずれの試験方法を用いて

も、十分な精度で体積変化率を測定できるものと考えられる。

土木学会法および改良土木学会法は容器方法に、*fib* 法および JH 法は鉛直管試験にそれぞれ準拠している。そのため、容器方法と鉛直管試験による体積変化率の違いは、容器の内径、高さそれらの比率、容器内面の表面状態および PC 鋼より線と PC グラウトとの付着による拘束などにより現れたものだと考えられる。

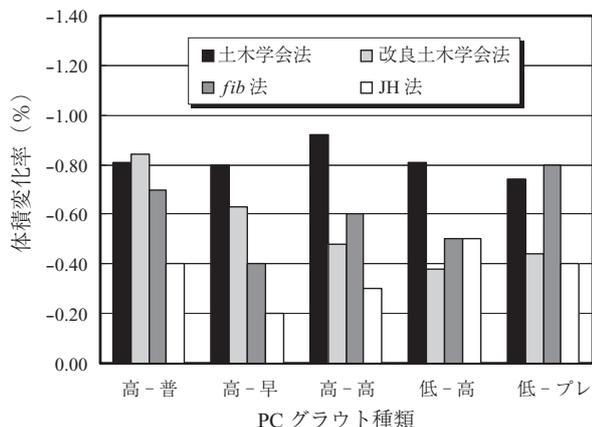


図-11 注入 24 時間後の体積変化率

## 7. PC グラウトの品質管理方法

今回の検討に用いた PC グラウトを対象とした既存の実験結果<sup>2,3)</sup>によると、試験に用いた PC グラウトについては、過去の試験を含めても、問題となる体積変化やひび割れが発生していないことが確認されている。また、各種の PC グラウトに対して、容器方法、傾斜管試験および鉛直管試験のいずれの試験方法を用いても、ブリーディング率と体積変化率の規格値（ブリーディング率の規格値は 3 体の試験の平均値が 0.3% 以下および計測終了時点で 0.0% であること、体積変化率の規格値は 3 体の試験の平均値が -0.5% ~ 0.5% であること）に対する精度が確保されていることが確認できた。

そのため、ブリーディング率および体積変化率を評価するための各現場で実施する工事ごとの基準試験方法としては、簡便性や設備から考えて、容器方法や傾斜管試験よりも JH 法および *fib* 法による鉛直管試験が適切であると考えられる。

次に、鉛直管試験に分類される JH 法と *fib* 法の試験結果を比較するために、両法の体積変化率を測定した時の PC グラウト上面の拡大写真を写真 - 2 と写真 - 3 に示す。

*fib* 法は JH 法に比べて、PC 鋼より線が 6 本と密に配置されていることから、ブリーディング率や体積変化率を求める PC グラウトの上面高さの測定位置が不明瞭になり、測定誤差が懸念される。すなわち、目視確認の観点から、JH 法が *fib* 法よりも良好であると考えられる。

PC 鋼より線が密に配置されている *fib* 法の PC 鋼より線間の空隙と素線間に PC グラウトが置き換わることによる

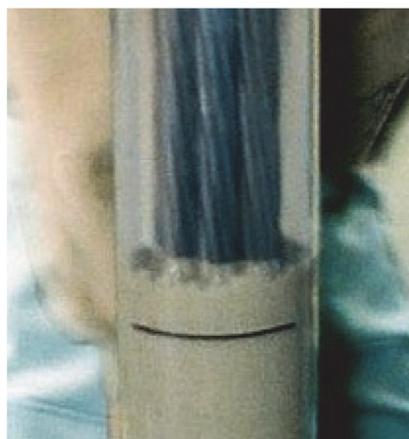


写真 - 2 *fib* 法における体積変化率測定時の PC グラウト上面



写真 - 3 JH 法における体積変化率測定時の PC グラウト上面

見かけの体積変化率が大きくなったことによると考えられる。なお、JH 法で測定されるブリーディング率と体積変化率の値は、鉛直管試験として規格化されているそれぞれの規格値の計測精度と比較した場合に、十分な検出精度があると判断できる。したがって、簡便性および測定精度の両面を考慮すると、工事ごとの基準試験としては、JH 法が適切であると考えられる。

また、土木学会法に準拠した容器方法による体積変化率は、JH 法と *fib* 法に比べて、PC 鋼より線の素線間の毛細管現象の影響がないため、PC グラウトそのものの体積変化率を正確に計測できることから、設備面さえ整えば、PC グラウトの体積変化を評価するためには、有効な方法であると考えられる。特に、PC グラウトに直接接触せずに測定できるレーザー変位計を用いた改良土木学会法によれば、人的な測定誤差が排除でき、かつ経時に伴う測定頻度を容易に増やすこともできることから、非常に有効な方法であると考えられる。したがって、現場での工事ごとの基準試験に用いるのではなく、設備が整った PC グラウト材料の製造会社において、定期的実施する基準試験や新しい材料を開発する時に実施する性状確認試験として位置

付けるのが妥当である<sup>4)</sup>と考えられる。

なお、写真 - 2 と写真 - 3 に示した鉛直管試験による体積変化試験の状況と比較すると、傾斜管試験によっては、体積変化率を精度よく測定することは困難であることが認められる。しかし、傾斜管試験では傾斜管上面に鉛直管試験では確認できないブリーディング水の移動現象が確認される。その状況を写真 - 4 に示す。これにより、傾斜管試験は体積変化率試験の位置付けよりも、ブリーディング、すなわち材料分離抵抗性の試験として位置付けるのが妥当と考えられる。

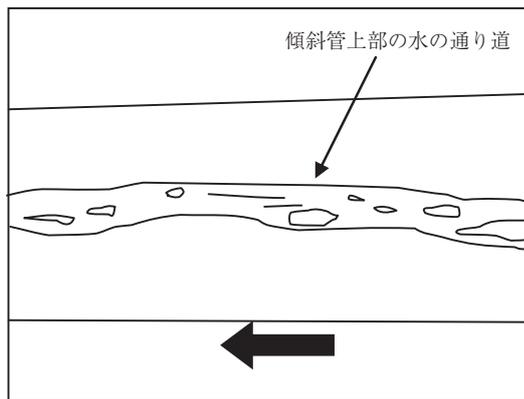


写真 - 4 ブリーディング水の移動現象

## 8. ま と め

PC グラウトの体積変化特性を把握するために、セメント系材料の種類、PC グラウト混和剤の種類および水粉体比を変化させた PC グラウトについて、測定方法の異なる

体積変化率の試験を主として実施した結果を報告した。そして、PC グラウトの合理的な品質管理システムを構築することを旨として、それら試験方法の適用性を各種 PC グラウトと対比して検証した。本研究により、以下の知見が得られた。

- (1) 体積変化率は、試験方法によって測定値が大きく変化する結果となった。そして、容器方法では、土木学会法に比べ改良土木学会法の測定値の絶対値が小さい PC グラウトが多く、鉛直管試験では、すべての PC グラウトについて、*fib* 法に比べて、*JH* 法の測定値の絶対値が小さい。
- (2) 体積変化率を確認する工事ごとの基準試験としては、鉛直管試験による *JH* 法が、設備と簡便性から判断して適切であると考えられる。
- (3) 容器方法による体積変化率試験については、設備が整った PC グラウト材料の製造会社において、定期的実施する基準試験や新しい材料を開発する時に実施する性状確認試験として位置付けるのが適切であると考えられる。

## 謝 辞

本論文は、プレストレストコンクリート技術協会 PC グラウトの設計・施工規準作成委員会 品質試験 WG の平成 16 年度の活動成果の一部を報告したものである。WG 幹事を当時務められた野島昭二氏（中日本高速技術マーケティング(株)）および濱田譲氏（ジェイアール西日本コンサルタンツ(株)）のご助言に対し、厚くお礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 細野宏巳, 岩永豊司, 呉承寧, 辻幸和: PC グラウトのブリーディングと体積変化に関する基礎的研究, プレストレストコンクリート工学 pp.65-72, Vol.59, No.5, Sep. 2017
- 2) 依道和, 濱田譲, 野島昭二, 辻幸和: PC グラウトの体積変化率の測定に及ぼす試験方法の影響, 第 14 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.65-68, 2005.10
- 3) 岩永豊司, 濱田譲, 野島昭二, 辻幸和: PC グラウトのブリーディング率および体積変化率の統一試験, 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.171-174, 2004.10
- 4) (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

【2015 年 12 月 1 日受付】