

PC グラウトのレオロジー特性に関する統一試験

(株)富士ピー・エス 正会員 ○山口 光俊
 三井住友建設(株) 正会員 細野 宏巳
 日本道路公団 試験研究所 正会員 野島 昭二
 群馬大学 工学部 正会員 辻 幸和

1. はじめに

近年、ダクト内のグラウト充填度を向上させるなどの目的で、高粘性から超低粘性まで種々の粘性を有するPCグラウトが開発されているが、PCグラウトのレオロジー特性(流動特性)を評価する品質試験としては、漏斗試験(PCグラウトの流動性試験方法:JSCE-F 531)のみが運用されている。ダクト内の流動性状に影響を及ぼすPCグラウトのレオロジー特性は漏斗試験の流下時間のみでは評価できないとの指摘もあり¹⁾、PCグラウトのレオロジー特性を評価する統一的な試験方法の提案が求められていることから、高粘性型、低粘性型、超低粘性型のPCグラウトを用いた統一試験を実施した。

本稿は、レオロジー特性に着目して漏斗試験、フロー試験、回転粘度試験を実施し、それぞれの試験値の相関関係および感度・精度について比較した基礎検討結果の一部を報告するものである。

2. 試験概要

2.1 グラウトの配合および練混ぜ

試験に用いたPCグラウトの配合を表-1に示す。材料A, B, CはPCグラウト施工マニュアル²⁾の流動性試験規格値において高粘性型(JP漏斗の流下時間:14~23秒)に分類されるものであり、材料D, E, Fは低粘性型(JP漏斗の流下時間:6~14秒未満)に分類される。また、材料GはJP漏斗の流下時間が6秒未満と極端に短く、ここでは超低粘性型と称する。

材料A, C, Dは普通ポルトランドセメントと水にPCグラウト用混和剤を添加するタイプで、セメントに対する混和剤添加量は1~2wt%である。他はプレミックスタイプであり、粉体と水のみを練り混ぜる。練混ぜは、100リットル練り用の円筒型グラウトミキサが設置された練混ぜユニットを用いて、1バッチあたり60~70リットル程度のグラウトを製造した。練混ぜ時間は、各グラウト材料の製造者が推奨する練混ぜ時間を標準とし、練上り温度は20℃を目標とした。試験で用いた練混ぜユニットを写真-1に示す。

表-1 PCグラウトの配合

材料	水粉体比 W/B (%)	粉体 B (kg)	水 W (kg)	混和剤 (kg)	備考
A	42.0	78 ^{※1}	32.8	0.78	混和剤添加率(セメント×1%)
B	25.0	120	30.0	—	プレミックスタイプ
C	42.0	78 ^{※1}	32.8	1.56	混和剤添加率(セメント×2%)
D	45.0	78 ^{※1}	35.1	0.78	混和剤添加率(セメント×1%)
E	40.0	75	30.0	—	プレミックスタイプ
F	30.5	100	30.5	—	プレミックスタイプ
G	30.0	95	28.5	—	プレミックスタイプ

※1:普通ポルトランドセメント

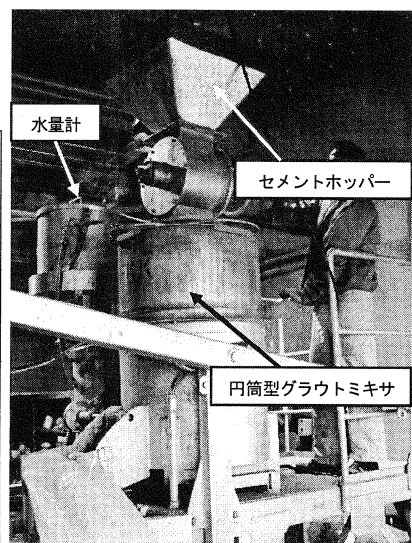


写真-1 PCグラウトの練混ぜユニット

2.2 流動性評価試験方法

(1) 漏斗試験

試験に用いた漏斗の形状を図-1 に示す。JA 漏斗および JP 漏斗は JSCE-F531 1999 に規定されているものである。グラウトを漏斗上面まで注ぎ、上面を均した後にグラウトを流出させ、流出口からのグラウト流が急激に細くなるまでの時間を計測した。また、今後の規格の国際整合化を考慮して、EN 445:1997 に規定されている Marsh コーンについても実施した。Marsh コーンによる計測方法は、図-1 に示す a のラインまでグラウトを投入後、1 リットルのグラウトが流下する時間を計測するものである。

(2) フロー試験

試験に用いたフローコーンの外観を写真-2 に示す。JASS コーン (内径 50mm×高さ 51mm) は、JASS 15「セルフベリング材の品質規準」に規定されているものである。修正 JASS コーンは JASS コーンの高さを 100mm に修正したもので³⁾、コーンの内容量が多くなることから、容積変化に対するフロー試験の感度を検討する目的で実施した。JIS コーンは、JIS R 5201 に示されるフローコーン (上面の内径 70mm, 下面の内径 100mm, 高さ 60mm) で、通常、モルタルのフロー値測定に用いられるものである。フロー試験の手順を以下に示す。

- ①厚さ 5mm 以上のみがき板ガラス (400×400mm) を水平に置き、中央にコーンを設置する。
- ②採取したグラウトをコーンに充填し、上面を均した後、コーンを引き上げる。
- ③グラウトの広がり静止した後、直角 2 方向の直径を計測する。

(3) 回転粘度試験

試験に用いた回転粘度計の形状を図-2、回転粘度計の外観を写真-3 に示す。B 型回転粘度計および共軸二重円筒形回転粘度計の 2 種類を用い、JIS Z 8803-1991「液体の粘度測定方法」に準じて行った。B 型回転粘度計は、理論的にずり速度 (ずり応力) は確定できないが、角速度 (回転速度) を変えることにより粘性挙動を知ることができるものである。試験では、固定回転数を 30rpm とした。共軸二重円筒形回転粘度計は、同一中心軸を持つ外筒および内筒の隙間に満たされた試料を層流状態で回転流動させ、いずれか一方の円筒を一定の角速度で回転させたときの他方の円筒面に作用するトルクを測定するもので、比較的理論に近いずり速度 (ずり応力) が決められるものである。試験に使用したものは外筒定速方式のもので、回転数を 0~100rpm の範囲で変化させた。

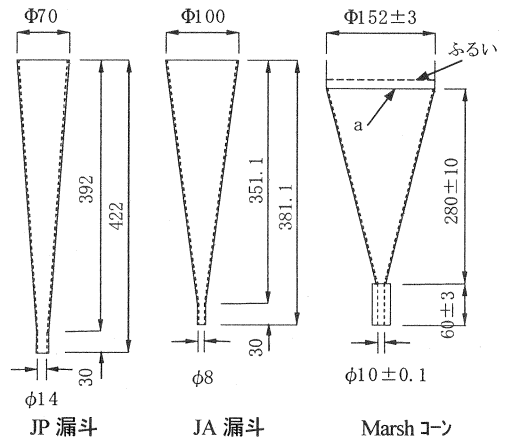


図-1 漏斗の形状

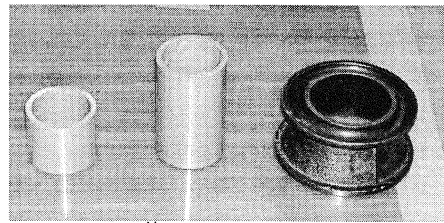


写真-2 フローコーンの外観

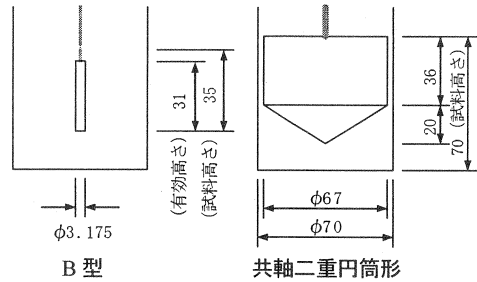


図-2 回転粘度計の形状

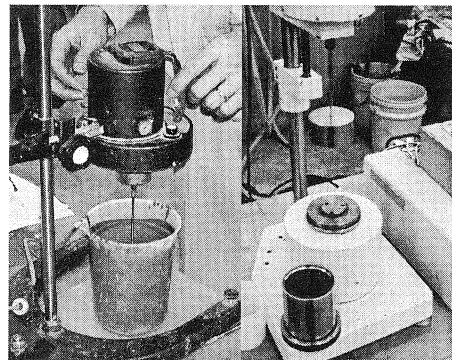


写真-3 回転粘度計の外観

表-2 流動性試験結果

材料	流下時間			フロー値			B型回転粘度計		共軸二重円筒型回転粘度計			記号	粘性
	JP (秒)	Marsh (秒)	JA (秒)	JASS (mm)	修正 JASS (mm)	JIS (mm)	粘度 (kpcs)	降伏値 (Pa)	粘度 (Pa·s)	降伏値 1 (Pa)	降伏値 2 (Pa)		
A	12.7	70.0	165	139	185	223	7.28	47.0	1.00	31.8	38.4	●	高粘性
B	18.2	118.2	230	197	260	318	2.25	14.5	1.81	4.7	14.1	▲	
C	14.7	66.7	161	193	253	317	5.67	36.6	1.08	33.0	18.9	■	
D	6.5	35.4	74	144	194	232	5.00	32.3	0.44	28.8	33.1	○	低粘性
E	6.6	33.0	65	220	295	361	1.92	12.4	0.57	10.2	5.2	△	
F	9.5	46.8	97	233	311	381	1.60	10.3	0.93	6.4	5.1	□	
G	4.4	16.5	35	183	246	320	1.57	10.1	0.15	11.0	19.4	×	超低粘性

※共軸二重円筒形回転粘度計で算出した塑性粘度および降伏値 1 は、外筒の回転上昇時の測定結果について、ひずみ速度に比例してせん断応力が増加する領域を直線近似して求めた値。降伏値 2 はひずみ速度が 3(1/s)程度の初期段階のせん断応力を降伏値として仮定して求めた値。

3. 試験結果および考察

流動性試験結果の一覧を表-2 に示す。共軸二重円筒型回転粘度計の測定結果を除き、試験結果はすべて 3 回測定した平均値である。なお、表中の記号は後述する図中(試験結果)の記号に対応している。

3.1 漏斗試験

各漏斗における流下時間の相関を図-3 に示す。横軸は JP 漏斗の流下時間を示し、縦軸は JA 漏斗および Marsh コーンの流下時間をそれぞれ示している。JP 漏斗の流下時間は、各グラウトに設定されている粘性に対する規格値²⁾に概ね適合していた。漏斗試験の流下時間は、JP 漏斗, March コーン, JA 漏斗の順で大きくなった。そして、March コーンと JA 漏斗の流下時間は JP 漏斗の流下時間とそれぞれ強い相関が認められ、March コーンおよび JA 漏斗の流下時間は、JP 漏斗の流下時間に対し、それぞれ 5 倍および 11 倍程度となった。Marsh コーンと JA 漏斗の流下時間は JP 漏斗と比較して感度は良くなるので、超低粘性型の PC グラウトには有効であるが、高粘性型の PC グラウトの流下時間は非常に大きい値となるため、品質管理方法としては非効率となる場合が想定される。効率と感度を考慮したうえで、PC グラウトの粘性に応じた漏斗を選定することが必要となる。

3.2 フロー試験

JASS コーンに対する各コーンのフロー値の比を図-4 に示す。横軸は JASS コーンのフロー値を示し、縦軸は JASS コーンのフロー値に対する修正 JASS コーンと JIS コーンのフロー値の比を示している。各フローコーンの内容積は、JASS が 100cm³、修正 JASS が 196cm³、JIS が 344cm³であり、フロー値は JASS コーン、修正 JASS コーン、JIS コーンの順で大きくなった。また、フロー値の比は、いずれの PC グラウトを用いた場合でもほぼ一定の値を示し、その平均値は修正 JASS/JASS で 1.33、JIS/JASS で 1.64 となった。なお、超低粘性材料(×)のフロー値比が若干大きい値を示しているのは、変形速度の影響と思われるが、今後、フローコーンの形状と内容積の影響について検討が必要である。

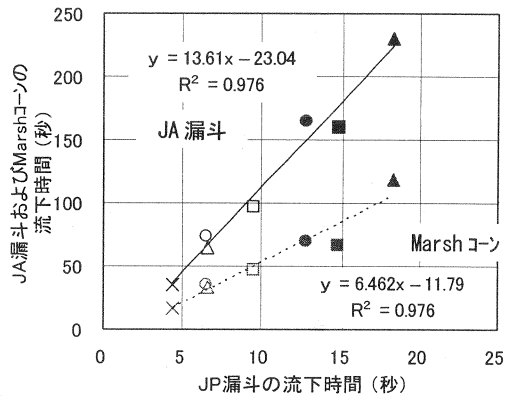


図-3 各漏斗の流下時間の相関

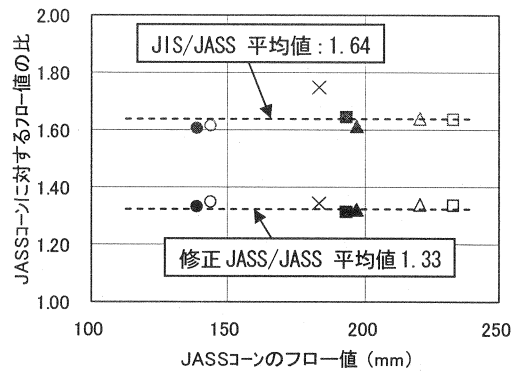


図-4 JASS コーンに対する各コーンのフロー値の比

3.3 塑性粘度と降伏値の関係

塑性粘度は流動中の速度に比例して増加する抵抗性であり、降伏値とは流動を起こさせるのに必要な応力(または、流動後の最終変形量)である。すなわち、塑性粘度(粘性)は、施工中の流動性に対して影響度が大きく、PCグラウトの品質管理(水粉体比の管理)の指標として用いられるほか、ポンプ圧力等の施工性の指標としてとらえることができる。また、降伏値はケーブルの曲下げ部等におけるPCグラウトの先流れ現象の指標になりうるものと思われる。

JP漏斗の流下時間とB型回転粘度計より得られた塑性粘度の関係を図-5に示す。また、JASSコーンと共軸二重円筒型回転粘度計より得られた降伏値の関係を図-6に示す。流下時間と塑性粘度、フロー値と降伏値の関係は線形であり、強い相関が認められた。このことは、塑性粘度および降伏値は、漏斗試験およびフロー試験という簡易的な試験方法により評価できることを示している。

なお、降伏値と塑性粘度の関係は図-7に示すように、高粘性材料の「■」と超低粘性材料の「×」はほぼ同じ降伏値を示しているにもかかわらず、塑性粘度は大きく異なり、相関は認められない。塑性粘度、降伏値はPCグラウトの種別毎に管理する必要があると考えられる。

4. まとめ

- (1) 漏斗試験およびフロー試験は、試験器具の形状により感度は異なるものの、同一試験内では強い相関関係を示した。
- (2) 漏斗試験の流下時間と塑性粘度、フロー試験のフロー値と降伏値はそれぞれ強い相関を持ち、線形関係が認められた。
- (3) PCグラウトの塑性粘度(流下時間)と降伏値(フロー値)の間には相関が認められなかった。
- (4) PCグラウトの品質の向上を目的として、降伏値の指標を取り入れる必要があり、塑性粘度と降伏値の両者を管理する必要があると考えられる。

本稿は、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15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) 土木学会：PC構造物の現状と問題点とその対策-委員会報告，コンクリート技術シリーズ52，2003年6月
- 2) (社)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(改訂版)2002，2002.10
- 3) 永淵強：無収縮グラウト材「エッセイパーG」の技術情報，GBRC，pp25-32，2001.4

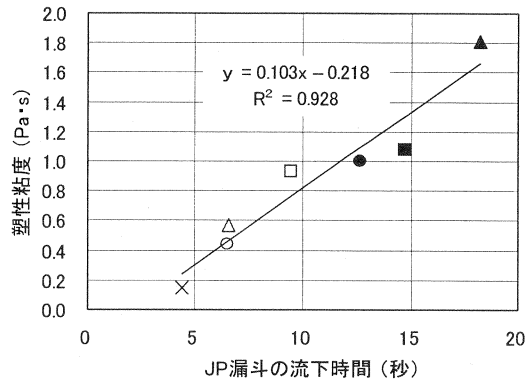


図-5 流下時間と塑性粘度の関係

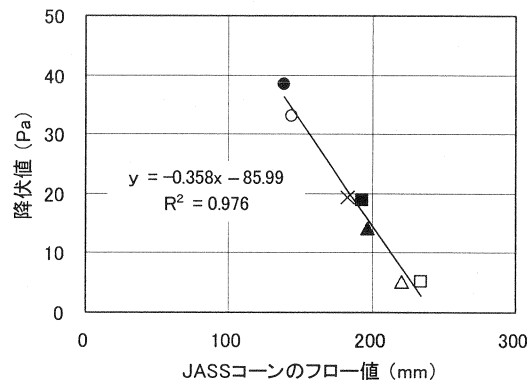


図-6 フロー値と降伏値の関係

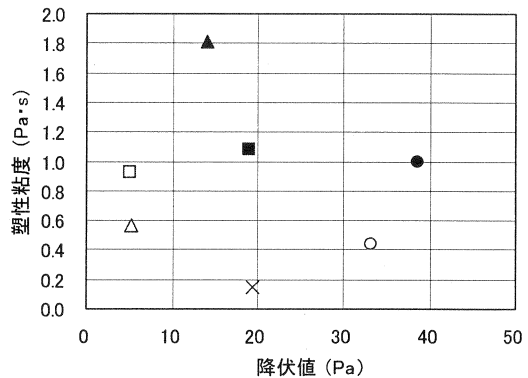


図-7 塑性粘度と降伏値の関係