

PC グラウトの塑性粘度と降伏値に関する一考察

(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 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

PC グラウトのレオロジー特性において、塑性粘度は漏斗試験の流下時間と、降伏値はフロー試験のフロー値とそれぞれ相関があり、塑性粘度と降伏値との間にはあまり相関がないことが、既往の実験で確認されている<sup>1)</sup>。また、グラウト材料の違いや水結合材比の大小によって、塑性粘度と降伏値の値は大きく変化する。本報告は、種々の粘性を有する 14 種類の PC グラウトについて、漏斗試験およびフロー試験の結果を統計的に評価し、現在使用されている PC グラウトの塑性粘度と降伏値の分類方法について一つの考え方を示すものである。

2. 試験概要

2.1 使用材料および配合

試験に用いた PC グラウトの配合を表-1 に示す。混和剤タイプは、水、セメントおよび PC グラウト用混和剤を練り混ぜるもので、セメントに対する混和剤の添加量は 1~2% (セメント質量比) である。これに対し、プレミックスタイプは、水と結合材 (粉体) のみを練り混ぜるものである。混和剤タイプには、主として普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種を用い、補足的に早強ポルトランドセメントを使用した。また、使用するセメントは 3 社の製品を等分混合するものとした。

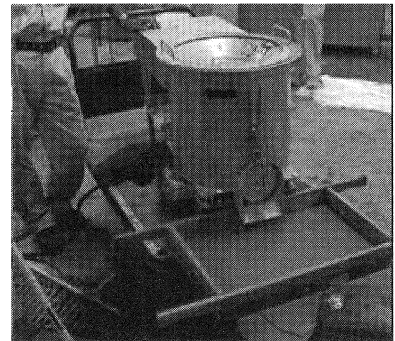


写真-1 1袋練り用ミキサ

各グラウトの水結合材比は、漏斗試験もしくはフロー試験の管理限界値を検証することを念頭に置き、6 水準程度設定することとした。その際、水結合材比の上限値および下限値は、ブリーディングの発生限界および練混ぜ限界を目安として設定した。練混ぜは、1 袋練り用 (20~300) の円筒型グラウトミキサを用いた。練混ぜ時間は、各グラウト材料の製造者が推奨する時間とし、練上り温度は 20℃を目標とした。試験で用いた練混ぜミキサを写真-1 に示す。

表-1 PC グラウトの配合

材料	粘性	タイプ	セメント種別	水結合材比 (%)					
				下限		標準		上限	
A-1-N	高粘性	混和剤	普通 (N)	39	41	43	45	47	49
A-2-N	低粘性			39	41	43	45	47	49
B-1-N	高粘性			39	40	41	43	45	47
C-1-N	超低粘性			31	33	35.5	37	—	38.5
D-1	高粘性	プレミックス	—	22	23	25	26	27	28
D-2	低粘性			26	27	28	30	31	32
C-2	超低粘性			24	26	27.5	29	31	33
E-1	高粘性			36.5	37.5	38.5	40	42	44
A-1-BB	高粘性	混和剤	高炉 B (BB)	41	42	43	45	47	49
A-2-BB	低粘性			41	43	44	45	47	49
B-1-BB	高粘性			39	40	41	43	45	47
C-1-BB	超低粘性			30	33	34	35.5	—	37
A-1-H	高粘性	混和剤	早強 (H)	36	38	40	42	44	46
B-1-H	低粘性			—	—	45		—	—

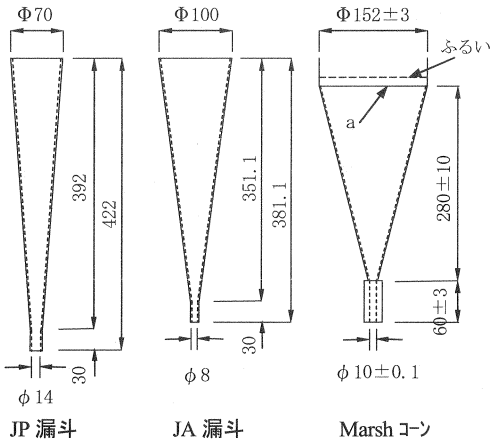


図-1 漏斗の形状

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JSCF-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、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。

3. 試験結果および考察

3.1 流下時間とフロー値

JP漏斗およびMarshコーンではすべてのPCグラウトで流下時間を計測することができた。しかし、JA漏斗を使用した場合、水結合材比が小さい配合(一部の材料D-1、D-2を除く)では閉塞して流下時間を計測することができなかった。流下時間を測定できたPCグラウトについて、各漏斗の流下時間を比較した結果

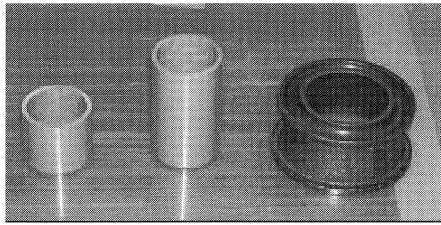


写真-2 フローコーンの外観

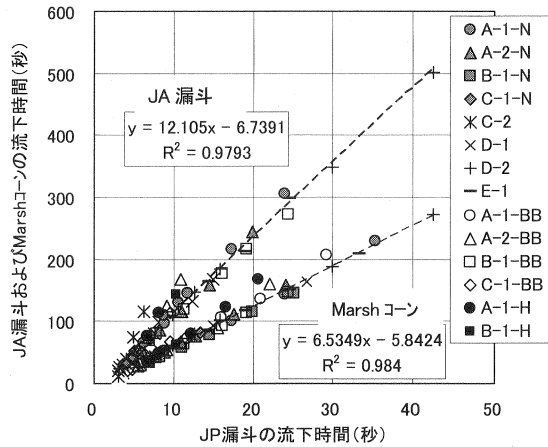


図-2 各漏斗の流下時間の比較

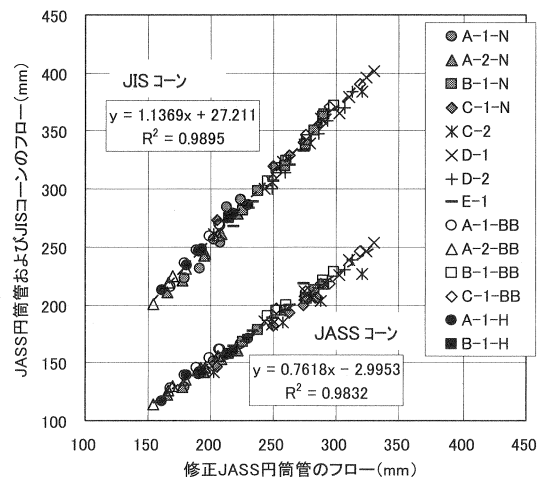


図-3 各コーンのフロー値の比較

を図-2 に示す。JP 漏斗, JA 漏斗, Marsh コーンの流下時間は既往の研究と同様に, それぞれで強い相関関係が認められた。また, 各コーンのフロー値についても図-3 に示すように3種のフローコーンでそれぞれ強い相関関係が確認された。そこで, JP 漏斗および修正 JASS コーンの試験結果をそれぞれの代表値として, 以降の考察を行うこととする。

### 3.2 水結合材比と流下時間

各 PC グラウトの水結合材比と JP 漏斗の流下時間の関係を図-4 に示す。低粘性タイプおよび高粘性タイプの PC グラウトの流下時間は, 水結合材比の変化に対し比較的大きく変化している。しかし, 超低粘性タイプの PC グラウト (C-1-N, C-1-BB, C-2) では水結合材比に対する流下時間の変化率が比較的小さく測定感度がやや劣るので, JP 漏斗より流下時間が大きくなる JA 漏斗もしくは Marsh コーンを用いることも有効な方法と考えられる。

### 3.3 水結合材比とフロー値

各 PC グラウトの水結合材比とフロー値 (修正 JASS コーン) の関係を図-5 に示す。各 PC グラウトとも, 水結合材比が小さい配合では急激なフロー値の低下が見られるが, それを除くと概ね線形関係が認められる。比較的大きい水結合材比を採用している PC グラウトでは, 回帰直線の傾きが小さくなる傾向にある。

### 3.4 流下時間とフロー値の関係

各 PC グラウトの JP 漏斗の流下時間と修正 JASS コーンのフロー値の関係を図-6 に示す。高粘性タイプの PC グラウトの流下時間の範囲が 14~23 秒<sup>2)</sup>であることを考慮し, JP 漏斗の流下時間が 30 秒以下のデータについて整理している。

流下時間とフロー値の関係は, 必ずしも 1 対 1 ではなく, 既往の実験<sup>1)</sup>と同様の結果が得られた。各 PC グラウトとも, 流下時間の増加 (塑性粘度の増加) に伴いフロー値が低下 (降伏値が増加) する傾向は同じであるが, フロー値の低下率 (降伏値の増加率) には差異が見られた。

### 3.5 塑性粘度と降伏値の分類

図-6 に示す流下時間とフロー値は, 塑性粘度と降伏値として考えることができる。このように, 現在使用されている PC グラウトは多種多様のレオロジー特性を有していることから, PC グラウトごとに水結合材比の違いによるレオロジー特性の変化を把握し, 適切な試験方法や適用範囲を規定していく必要があると考えられる。

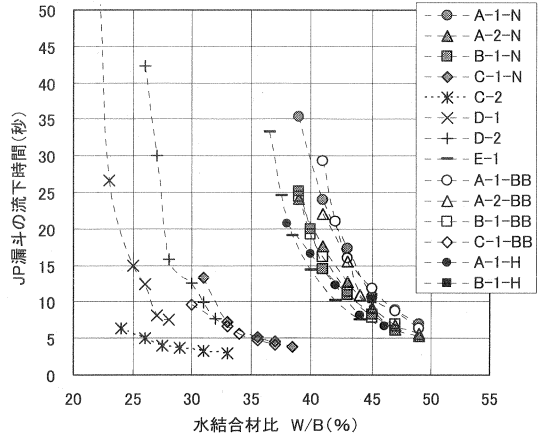


図-4 水結合材比と JP 漏斗の流下時間の関係

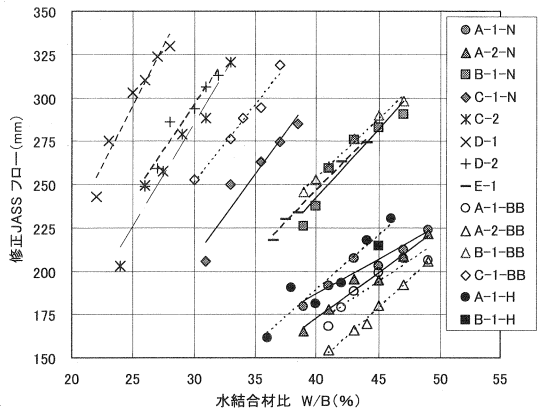


図-5 水結合材比とフロー値 (修正 JASS) の関係

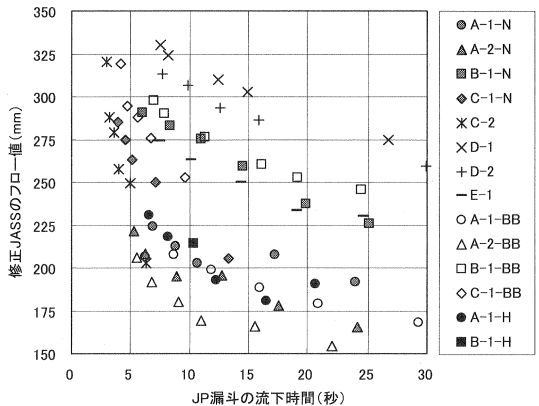


図-6 JP 漏斗の流下時間と修正 JASS コーンのフロー値の関係

塑性粘度と降伏値に着目した PC グラウトの分類方法の概念を図-7に示す。図-7(a)は流下時間(塑性粘度)とフロー値(降伏値)の関係に基づいて PC グラウトを分類しようとするもので、PC グラウトをビンガム流体と仮定した場合、区分 I~IV に分類された PC グラウトのずり速度とずり応力の関係は図-7(b)のようになる。この分類方法に基づいて、

図-6 に示す各 PC グラウトを区分 I~IV に分類すると図-8 のようになる。ここで、流下時間は、低粘性タイプと高粘性タイプの境界値(14秒)に準拠して15秒で分類した。また、フロー値は、全体の平均フロー値が240mm程度であることから、決定論的に225mmで分類した。このように分類することで、PC グラウトの物性をより明確に捉えることができると考えられ、従来の粘性区分も概ね反映できているものと思われる。ただし、区分 I に分類された D-2 は低粘性タイプであるが、水結合材比を適切に選定することにより高粘性領域の区分 II にも適用の可能性があり、同様に、区分 II に分類された4種類の PC グラウトは高粘性タイプであるが、低粘性領域の区分 I に適用できる可能性がある。なお、区分 I に分類される流下時間の短い PC グラウトには JA 漏斗試験やフロー試験を適用するなど、分類ごとに適切な試験方法を適用することにより、合理的に PC グラウトのレオロジー特性を検査することが可能であると思われる。

4. まとめ

PC グラウトの分類における塑性粘度と降伏値の境界値については、流体解析を行い、先流れ現象などを指標として妥当性を検証する必要があるが、塑性粘度と降伏値の間接的指標である流下時間とフロー値という2つの物性値に対し、一つの分類方法を示すことができた。

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16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) 山口, 細野, 野島, 辻: 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, 2004.10, pp175-178
- 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

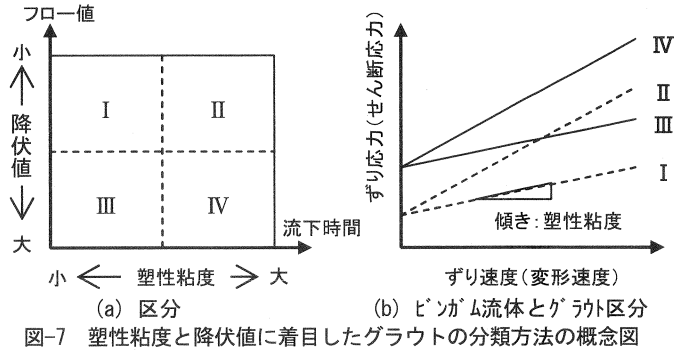


図-7 塑性粘度と降伏値に着目したグラウトの分類方法の概念図

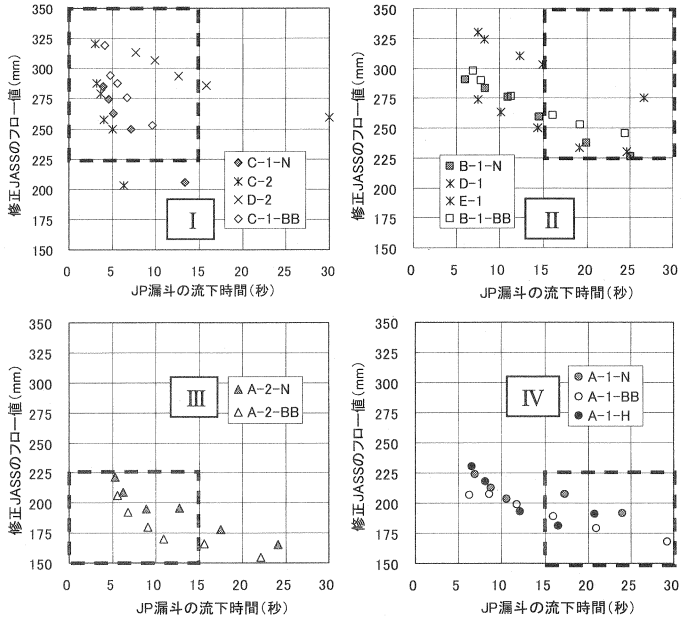


図-8 PC グラウトの区分例