

PCグラウト自動質量計測方法を用いたレオロジー特性に関する一考察

三井住友建設(株) 正会員 ○藤岡 泰輔
 三井住友建設(株) 正会員 細野 宏巳
 三井住友建設(株) 正会員 大野 寛太
 三井住友建設(株) 正会員 星田 真一

1. はじめに

近年、JP漏斗より流出するPCグラウト質量から流下時間を機械的に推定する試験方法（以下、「自動質量計測方法」という。）が開発され、流下時間をより精緻に把握することが可能となった。一方、流下時間を変動させる要因としては、材料の種類や計量・練混ぜ時間および練り混ぜられたPCグラウトの温度が挙げられる。

本報告は、現場で任意に選定する材料の種類と練混ぜ時間の二つに着目し、両者がPCグラウトのレオロジー特性に及ぼす影響を検証した結果について論ずるものである。

2. 自動質量計測方法の概要

自動質量計測方法は、写真-1に示す高精度荷重計と測定器、専用ソフトウェアから構成されており、JP漏斗より流出するPCグラウトが25ccから500ccに達するまでの流下体積時間を計測し、ストップウォッチで計測される流下時間（以下、「JSCE方法」という。）に換算する。流下時間の換算は、PCグラウトの設計施工指針改訂委員会の検査WGによる試験結果で得られた推定式（式-1）を採用しており、精度は0.1sであることが確認されている^{1),2)}。

換算JSCE方法流下時間 (s)
 =1.5×流下体積時間 (s) +0.12 …… 式-1

ただし、3.5s≤換算JSCE方法流下時間≤23sの範囲
 かつ 各混和剤の規格内

3. 試験内容

試験は環境条件が安定した試験室にて行い、水粉体比と練上り温度を調整し、流下時間が規格の中心値となるように設定した。試験要因を表-1に示す。要因は、セメントと混和剤の種類および練混ぜ時間とした。使用材料は、普通ポルトランドセメントとし、3社の製品（A、BおよびC社）を用意した。混和剤は、高粘性と低粘性および超低粘性タイプとした。練混ぜ時間は、規定の練混ぜ時間とその半分に短縮した時間を設定した。超低粘性タイプはプレミックス材であるため、練混ぜ時間の短縮による影響についてのみ試験を行った。

流下時間の計測は、自動質量計測方法とJSCE方法を併用した。1バッチの試験は5回計測を行い、得られた計測結果の最大値と最小値を除外した3回の計測結果を採用した。

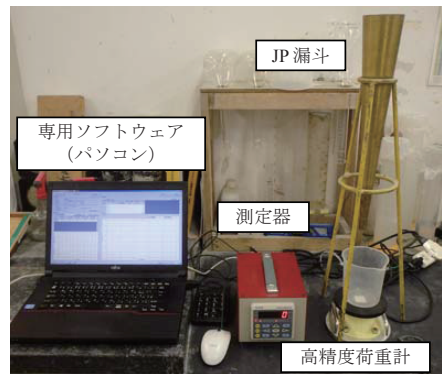


写真-1 自動質量計測方法の試験器具

表-1 試験要因

No.	記号	セメント 製造会社	混和剤	練混ぜ 時間 (min)
1	HA-3	A社	高粘性	3.0
2	HB-3	B社	高粘性	3.0
3	HC-3	C社	高粘性	3.0
4	HC-1.5	C社	高粘性	1.5
5	LA-3	A社	低粘性	3.0
6	LB-3	B社	低粘性	3.0
7	LC-3	C社	低粘性	3.0
8	LC-1.5	C社	低粘性	1.5
9	SL-1.5	—	超低粘性	1.5
10	SL-0.75	—	超低粘性	0.75

(水粉体比、練上り温度の設定値)
 ・高粘性タイプ (No. 1~4) : 41.0%, 25℃
 ・低粘性タイプ (No. 5~8) : 42.0%, 25℃
 ・超低粘性タイプ (No. 9, 10) : 34.5%, 28℃

既往の研究では、流下時間が18s程度以下の粘性においては、JP漏斗の洗浄回数が流下時間に及ぼす影響はわずかであることが確認されている³⁾。そのため、1回の試験においてJP漏斗の洗浄は実施せず、

JSCE-F531-2013に準拠した試験方法として、時間経過とともに粘性が変化しないように連続して計測を行った。ただし、試料は1回の計測ごとに新しい試料を採取し使用し、併用するストップウォッチ計測は同一人物が行い個人差の影響を排除した。

4. 試験結果と考察

試験結果の一覧を表-2に示す。練上り温度の差は最大2.3℃(No.1とNo.3)、簡易型枠を用いて推定する水粉体比の差は最大0.6%(No.6とNo.7)であり、いずれも小さい。そのため、計測した流下時間は練り混ぜられたPCグラウトの温度と材料の計量誤差による影響をほとんど受けていないと判断できる。また、No.3(HC-3)の試験結果を除外すれば、自動質量計測方法とストップウォッチで計測した流下時間の平均値の差

表-2 試験結果一覧

No.	記号	練上温度(℃)	推定水粉体比(%)	自動質量計測方法			ストップウォッチ計測		平均値の差 a-b (s)
				流下体積時間 (s)		平均換算流下時間 (s):a	流下時間 (s)		
				計測値	平均		計測値	平均:b	
1	HA-3	27.3	40.6	11.36	11.68	17.65	16.88	17.15	0.49
				11.79			17.19		
				11.90			17.38		
2	HB-3	25.7	40.3	10.47	10.66	16.11	15.08	15.48	0.63
				10.59			15.52		
				10.92			15.84		
3	HC-3	25.0	40.5	14.31	15.65	23.59	19.99	22.45	1.14
				15.83			22.95		
				16.80			24.41		
4	HC-1.5	25.9	40.2	17.14	18.16	27.37	26.53	27.63	-0.26
				18.24			27.53		
				19.11			28.82		
5	LA-3	24.9	41.2	7.10	7.17	10.88	10.43	10.39	0.49
				7.21			10.29		
				7.21			10.44		
6	LB-3	25.3	41.1	6.44	6.73	10.22	9.70	9.93	0.29
				6.77			9.94		
				6.99			10.16		
7	LC-3	24.6	41.7	8.08	8.63	13.06	11.97	12.78	0.28
				8.63			12.78		
				9.17			13.60		
8	LC-1.5	25.0	41.1	11.03	11.98	18.09	16.27	17.61	0.48
				12.01			17.37		
				12.89			19.19		
9	SL-1.5	29.8	35.1	3.06	3.10	4.77	4.33	4.38	0.39
				3.06			4.37		
				3.17			4.44		
10	SL-0.75	29.9	34.8	3.06	3.06	4.71	4.43	4.46	0.25
				3.06			4.46		
				3.06			4.49		

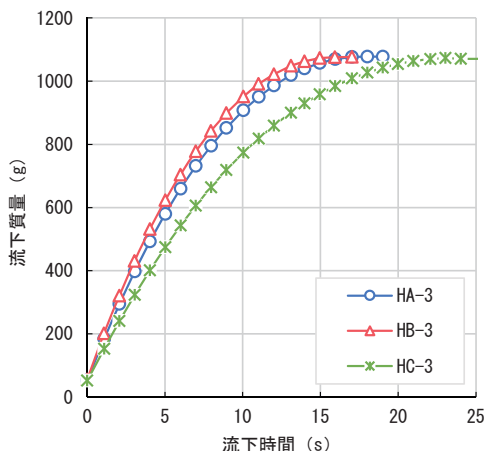


図-3 流下質量と流下時間の関係(高粘性タイプ)

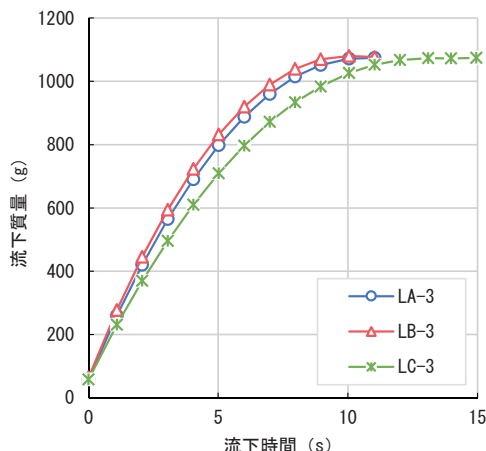


図-4 流下質量と流下時間の関係(低粘性タイプ)

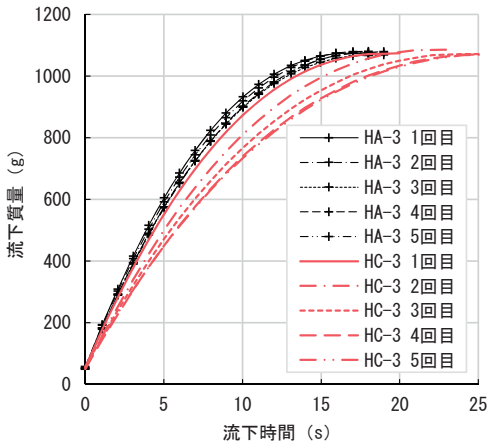


図-5 流下質量と流下時間の関係 No. 1 と No. 3

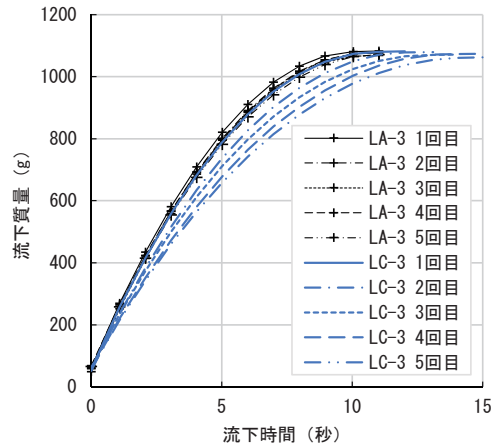


図-6 流下質量と流下時間の関係 No. 5 と No. 7

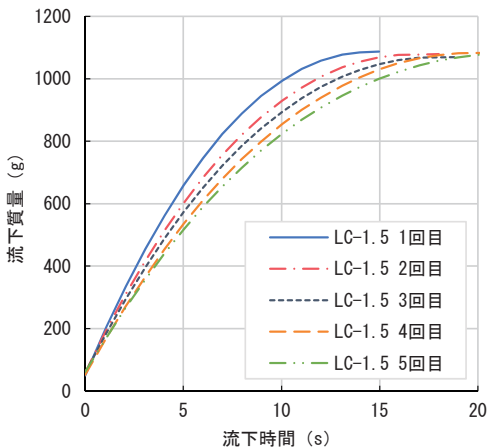


図-7 流下質量と流下時間の関係 No. 8 (LC-1.5)

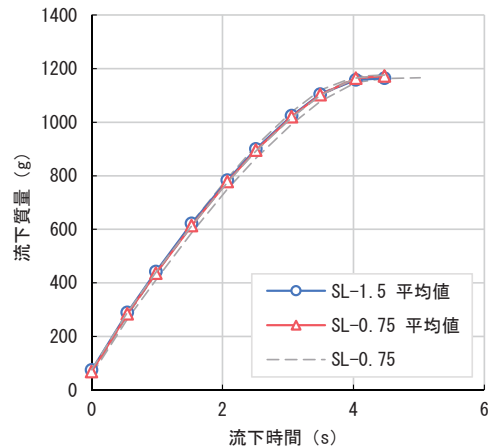


図-8 流下質量と流下時間の関係 (超低粘性タイプ)

は最大でも0.6s (No. 2) であり, 本試験ではストップウォッチで計測した精度も高かったことがわかる。

高粘性, 低粘性タイプごとの流下質量と流下時間の関係を図-3, 図-4に示す。高粘性, 低粘性タイプいずれにおいても, 試験3回の平均値である流下曲線は, セメント製造会社により異なる軌跡を描いた。平均換算流下時間の差は, 高粘性で最大7.5s (No. 2とNo. 3), 低粘性で最大2.8s (No. 6とNo. 7) となり, ややばらつきが大きくなった。この原因は, 製造会社のセメント比表面積 (粉末度) の違いがPCグラウトのレオロジー特性に影響を与えたものと推察する。日本工業規格JIS R 5210では, セメントの種類ごとに比表面積の下限値を規定しているが, セメント製造時のクリンカ粉砕工程において, 各社が設定する微粉砕の程度に左右されるため, 避けられないばらつきだとも考えられる。

ここで, 高粘性タイプNo. 1 (HA-3) とNo. 3 (HC-3) の自動質量計測結果に着目し, それぞれの流下質量と流下時間の関係を図-5に示す。No. 1 (HA-3) は, 5回の計測で得られた流下曲線がほぼ同一の軌跡を描くのにに対し, No. 3 (HC-3) では計測回数とともに粘性が増大するような傾向を示した。特に粘性が高い場合, JP漏斗から流出が途切れる瞬間は目視判定しづらく, 表-2で示すように, 自動質量計測方法とストップウォッチで計測する流下時間の平均値の差が大きくなった原因だと考える。また, 既往の研究で提言されている通り, 高粘性の場合, JP漏斗の洗浄有無が流下時間に影響を及ぼしていることも推測できる。しかしながら, 図-6に示す低粘性タイプNo. 5 (LA-3) とNo. 7 (LC-3) の流下質量と流下時間の関係を確認すると, 流下時間が18s程度以下の粘性にもかかわらず, 高粘性タイプと同

様の流下特性を示した。本検証では、ばらついた流下特性が示された原因がセメント製造会社の違いなのか、JP漏斗の洗浄有無が原因なのかは特定できていない。しかし、同一バッチでも、練り混ぜられたPCグラウトのレオロジー特性に大きく影響を与える要因が存在することがわかった。

次に、練混ぜ時間を短縮した低粘性タイプNo.8 (LC-1.5) の試験結果を図-7に示す。いわゆる練混ぜ不良により不均等質なPCグラウトの流下特性が得られることを期待した。結果、練混ぜ直後の粘性が安定せず、時間経過とともに試料の粘性が増大するような流下特性を示した。着目したいのは、この流下特性が、No.3 (HC-3) とNo.7 (LC-3) の流下特性に類似しているということである。いいかえれば、規定の練混ぜ時間で製造されたPCグラウトでも、練混ぜが不十分となるセメントの物理的性質が存在し、所要の品質・性能を満足しない可能性があることを示唆している。PCグラウトの練混ぜは、材料をグラウトミキサ内に投入する時間と投入完了後の練混ぜ時間を規定している。しかし、使用するセメントの品質状態によっては、PCグラウトのレオロジー特性が安定するように練混ぜ時間を見直す必要があるとも考える。したがって、自動質量計測方法で得られた流下曲線にばらつきが確認される場合、速やかに原因を調査し、PCグラウトの品質を精査する必要があるといえる。

一方、図-8に示すように、超低粘性タイプでは、練混ぜ時間を短縮した試料でも、規定時間練混ぜられたPCグラウトとほぼ同一の流下曲線を描いた。No.10 (SL-0.75) で得られた計測5回の流下曲線も安定した軌跡を描いている。しかしながら、本試験では、超低粘性タイプの試験データが少ないため、その良否は考察できない。今後、さらに試験を重ねデータの蓄積を行い、判断指標が得られるか確認する必要があると考える。

5. まとめ

本検証において、自動質量計測方法から得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) レオロジー特性が安定しているPCグラウトの流下時間を計測した結果、JSCE方法で計測する流下時間は、自動質量計測方法で計測する流下時間と同等の精度が得られた。
- (2) レオロジー特性がばらつくPCグラウトの流下時間を計測した結果、JSCE方法による計測では人的誤差の影響が大きく、自動質量計測方法と同等精度で計測しているか判定できない。
- (3) 水粉体比と練上り温度および練混ぜ時間がほぼ同一条件でも、製造会社のセメント比表面積の違いにより、異なる流下曲線を描く場合がある。
- (4) 高粘性、低粘性タイプでは、規定の練混ぜ時間を満足しないPCグラウトにおいて、粘性が増大するような流下曲線が得られた。しかしながら、規定の練混ぜ時間で製造されたPCグラウトでも、同様にレオロジー特性が安定しない場合がある。本検証では、その原因を特定できなかったが、速やかに原因を調査するとともに、PCグラウトの品質を精査する必要がある。
- (5) 高粘性、低粘性タイプは練混ぜ時間の短縮による流下時間への影響を確認したが、超低粘性タイプではその影響を確認できなかった。試験方法や練混ぜ時間を再考する必要があると考える。

本検証では、材料の種類と練混ぜ時間がPCグラウトのレオロジー特性に及ぼす影響を確認した。今後、材料分離抵抗性やブリーディング率および体積変化率、硬化後の圧縮強度との関係を明らかにするとともに、自動質量計測方法の品質管理手法への適用性を検討することが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) (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—，付録 I-8～I-9，2012.12
- 2) 山口，広瀬，笹子，島根：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，Sep.2002
- 3) 野島，細野，呉：PCグラウトのJP漏斗による流下時間についての一考察，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，Vol.23，pp.41～46，2014.10