

PCグラウトのJP漏斗による流下時間についての一考察

中日本高速道路 (株)	正会員	○野島昭二
三井住友建設 (株)	正会員	細野宏巳
愛知工業大学	正会員	博 (工) 吳 承寧

Abstract : In order to investigate the relation between flowing time and the quantity of the grout which flowed out from JP funnel, fluidity tests in accordance with JIS standard JSCE-F531-1999 were carried out using mechanical measuring system with load cell. From the results of test, it was confirmed that even though the initial quantity in JP funnel was not satisfied with JSCE requirements, the flowing time measured by stopwatch was obtained almost invariably. And, the flowed out quantity at final stage was varied accompany with the viscous level of grout, for example, low viscosity or high viscosity.

Key words : PC grout, JP funnel, Flowing time, Flowing quantity

1. はじめに

現在、PCグラウトの流動性の指標として、JP漏斗による流下時間が用いられている。流下時間は、JP漏斗の流出口を塞いでいた手を離した瞬間からグラウトの流出形状が急変し流出が途切れる直前までを、ストップウォッチを用いて人によって測定される。言い換えれば、JP漏斗に入れられたグラウトがほぼ全量流出する時間を測定する方法である。流出終了時の判断に人的誤差が伴わなければ、容易で合理的な手法であるが、一方では、人による計測終了判断と2回のストップウォッチの操作を伴うことから、個人差の影響を受けやすい試験方法と懸念されているのも事実である。また、ほぼ全量の流出とはJP漏斗全容量のどの程度を占めているのか、さらに、その量は試験ごとに一定なのか把握されていないのが現状である。なお、JP漏斗の内寸より計算される容量は628ccである。

本報告は、JP漏斗から流出するグラウトの量を機械的に計測するシステム（以下、「自動質量計測方法」という。）とストップウォッチによる計測（以下、「JSCE方法」という。）を併用して流下時間の計測を行い、人的誤差と測定終了時までの流出量が流下時間の測定結果におよぼす影響について論じたものである。

2. 自動質量計測方法の概要

計測機器は、写真-1に示すように荷重計、荷重指示器、パソコンと専用ソフトウェアから構成されており、JP漏斗よりPCグラウトが25ccから500ccまでの475ccの体積が流下する時間（以下、「流下体積時間」という。）を自動的に測定する¹⁾。また、その値から以下に示す換算式を利用してJSCE方法で得られる流下時間を推測することもできる²⁾。流下体積時間の測定は、荷重計で計測した流下グラウト質量をグラウトの密度より体積換算しており、PCグラウトの質量の測定間隔は0.1秒である。PCグラウトの落下の衝撃により、初期の段階では計測データが大きく変動するが、フィルターをかけ、さらに平均を取るにより計測データをスムージングしている。

換算式は、PCグラウトの設計施工指針改訂委員会の検査WGで2011年～2012年の2年間にわたり実施した室内試験と現場試験での合計251個のデータから得られた流下体積時間とJSCE方法による計測結果の関係から求められた実験式である。試験結果を図-1に示す。試験には、2種類のあと添加型混和剤と2種類のプレミックス材を用い、粘性タイプは超低粘性から高粘性に分類される様々なタイプである。試験時の環境温度は、5℃～30℃であった。得られた関係式から、換算式を式-1とした。



写真-1 自動質量計測方法の機器例

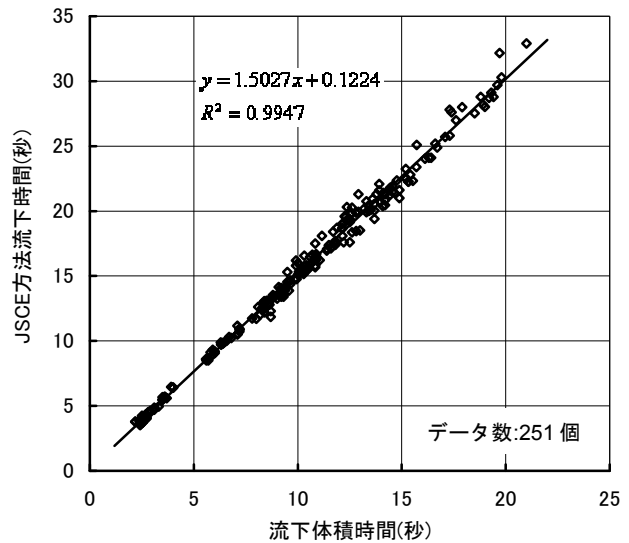


図-1 流下体積時間と流下時間の関係

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

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

式-1より、10Hzで計測する流下体積時間が約0.1秒変化するごとに、換算JSCE流下時間は約0.15秒間隔で変化することがわかる。

3. 自動質量計測方法とJSCE方法の併用試験

3.1 試験方法

試験は環境条件の安定した試験室で行い、試験時の室内温度とグラウトの練混ぜ後の温

度の目標値は、20～25℃の範囲とした。試験要因は表-1に示すとおりであり、グラウト用混和剤の有無とその種類、セメントの種類、およびJP漏斗を洗浄するタイミングとその回数とした。ここで、JP漏斗を洗浄するタイミングとその回数とは、1バッチの試験で流下時間を計測する際に、漏斗を水洗いせずに3回の流下時間を計測する手順（洗浄回数1回）と、3回の流下時間の計測前にJP漏斗の水洗いを行う手順（洗浄回数3回）のことであり、記号の添え字で区別した。練混ぜは合計10バッチ行い、1バッチでの試験回数は3回とした。なお、ストップウォッチの計測者は、試験を通じて同じ人物とした。

3.2 試験結果と考察

得られた試験結果の一覧を表-2に示す。試験室などで短時間に集中して同じ人物が計測を行い、かつ、流下時間が18秒程度以下の今回のケースのような場合、計測終了時の判断も容易である。すなわち、JSCE方法での流下時間の計測で、計測値のばらつきは平均値に対して最大でも0.4秒以内に収まっており、人的な誤差は少ないと判断できる。また、自動質量計測方法とJSCE方法の併用試験において、JSCE方法の流下時間が3.5秒より小さいグラウトは含まれなかったため、式-1は3.5秒以上の結果より求められたものであった。本試験では、3秒以下のグラウトも多く含まれており、3回の平均値を比較すると、JSCE方法による流下時間の計測値と、流下体積時間から式-1を用いた換算値との間には大きな差はなく、粘性が極めて小さい場合でも式-1は適用できることが判明した。

表-1 試験要因

No.	記号	混和剤	セメントの種類	粘性タイプ	同バッチでの漏斗洗浄回数
1	N-1	無	普通	超低粘性	試験前に1回
2	N-2	無	普通	超低粘性	試験ごと3回
3	A-1	ボゾリス No.8	中庸熟	超低粘性	試験前に1回
4	A-2	ボゾリス No.8	中庸熟	超低粘性	試験ごと3回
5	AL-1	ボゾリス No.8 +アルミ粉体	中庸熟	超低粘性	試験前に1回
6	AL-2	ボゾリス No.8 +アルミ粉体	中庸熟	超低粘性	試験ごと3回
7	B-1	GF-1720	普通	高粘性	試験前に1回
8	B-2	GF-1720	普通	高粘性	試験ごと3回
9	P-1	ハイジェクター	プレミックス	超低粘性	試験前に1回
10	P-2	ハイジェクター	プレミックス	超低粘性	試験ごと3回

自動質量計測方法における1回ごとの値を詳細に見てみると、N-2の2回目とAL-2の3回目の流下質量とJSCE方法流下時間の関係は、興味深い値を示している。図-2にN-2の3回の流下質量と流下時間の関係を示す。2回目の流下質量の増加勾配は不均一で、通常の挙動とは異なる曲線を描いている。図-3には、AL-2の3回の流下質量と流下時間の関係を示す。1回目と2回目に比べて3回目の全流出量は80g(約7%)程度少なくなっている。これらの原因としては、グラウトを漏斗に注ぎ入れる際に空気を巻き込むなどして、初めから所定の量が入ってなかったことなどが考えられるが、試験時には特に異常は把握できなかった。ストップウォッチによる計測での流下時間も前2回の値と大きく変わらず、自動質量計測方法を併用していなかったら何の疑問も持たずに試験を終えていたと思われる。自動質量計測方法の結果は、グラウト量が少なかったことにより流下体積

表-2 試験結果の一覧

No.	記号	流下体積時間(秒)		平均換算 流下時間 (秒):a	JSCE 方法 流下時間(秒)		((a-b)/a) *100 (%)
		計測値	平均		計測値	平均:b	
1	N-1	1.64	1.64	2.58	2.60	2.60	-0.8%
		1.64			2.60		
		1.64			2.60		
2	N-2	1.75	1.68	2.64	2.60	2.65	-0.4%
		1.53			2.70		
		1.75			2.65		
3	A-1	1.86	1.90	2.97	2.70	2.77	6.7%
		1.86			2.70		
		1.97			2.90		
4	A-2	1.86	1.90	2.97	2.70	2.73	8.1%
		1.86			2.70		
		1.97			2.80		
5	AL-1	1.86	1.90	2.97	2.90	2.77	6.7%
		1.86			2.70		
		1.97			2.70		
6	AL-2	1.86	1.97	3.08	2.80	2.83	8.1%
		1.86			2.80		
		2.19			2.90		
7	B-1	11.9	12.3	18.6	18.00	18.20	2.2%
		12.5			18.60		
		12.6			18.30		
8	B-2	12.2	12.4	18.8	18.10	18.40	2.1%
		12.5			18.60		
		12.6			18.60		
9	P-1	2.84	2.77	4.27	4.20	4.13	3.3%
		2.73			4.10		
		2.73			4.10		
10	P-2	2.73	2.73	4.22	4.10	4.10	2.8%
		2.73			4.10		
		2.73			4.10		

時間が長くなり、それを基に計算した換算流下時間も長く粘性が高くなったと判断された。途中の流下時間が長いにもかかわらずJSCE方法では、流下時間に変化がなかったのは、流下量が少ないため流下終了までの時間が短くなったためである。JSCE方法は、初期投入量が少なくてもそれに伴い流出量も少なくなるので、流下速度に関係なく結果として得られる流下時間はほとんど変動しない方法であることが確認できた。図-2, 3に示すように、3回の試験より得られた流下質量-流下時間の関係曲線にばらつきが見られた場合、試験が一定条件で行われなかったと考えられ、試験のやり直しの判断材料となる。ばらつきの許容範囲などは、これから混和剤ごとに試験を重ね、データを蓄積してから求めていく必要がある。

図-4, 5に超低粘性、図-6, 7に高粘性の流下質量と流下時間の関係の一例を示す。超低粘性の場合、試験後にJP漏斗の内面に付着し残存するグラウトはほとんど無いと見なせるが、図-4, 5を比較してもわかるように差が無く、試験ごとにJP漏斗を洗浄しなくとも結果には影響していない。一方、高粘性の図-6, 7を比較すると、JP漏斗を試験前に1回しか洗浄しないB-1の場合には、1回目と2, 3回目の流下時間に若干の差がみられるが、試験ごとに3回洗浄したB-2の場合、3回の流下挙動は同じであった。JSCE流下時間が18秒程度の粘性では1回目と2, 3回目の間の差はわずかであったが、粘性が高くなるにつれてその差は大きくなると推定され、高粘性の場合、試験ごとに洗浄した方が3回のデータのばらつきは小さくなると考える。

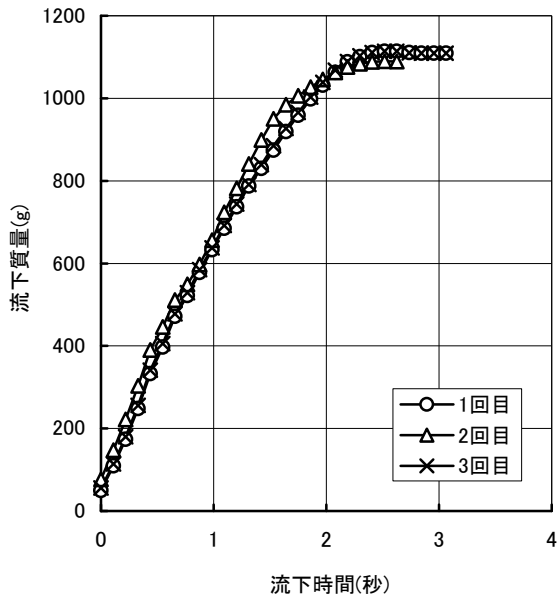


図-2 流下質量と流下時間の関係 (N-2)

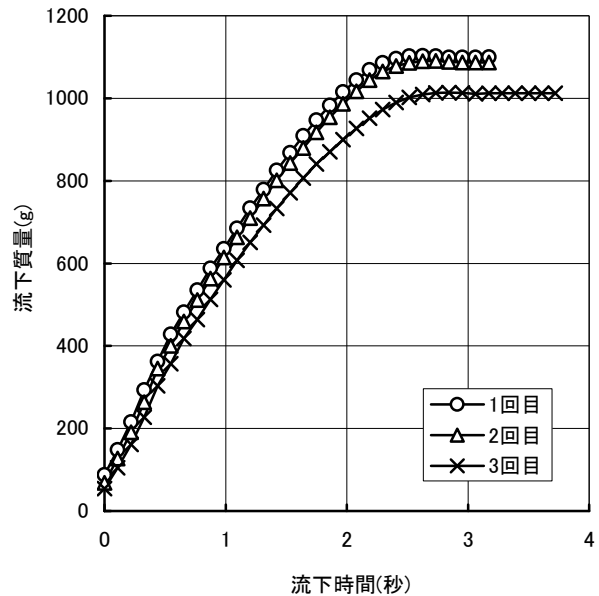


図-3 流下質量と流下時間の関係 (AL-2)

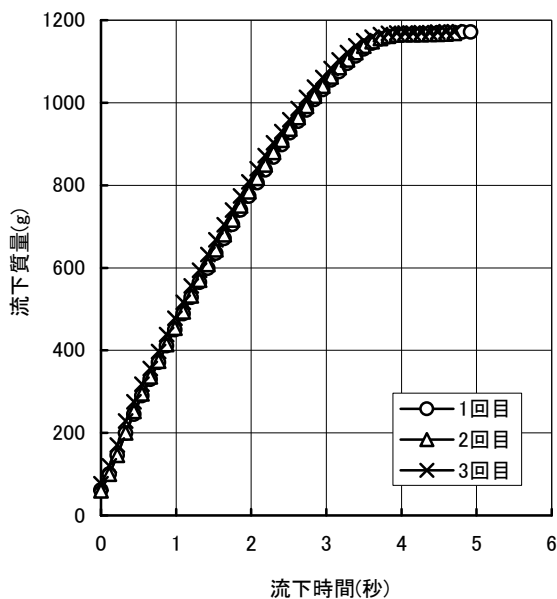


図-4 流下質量と流下時間の関係 (P-1)

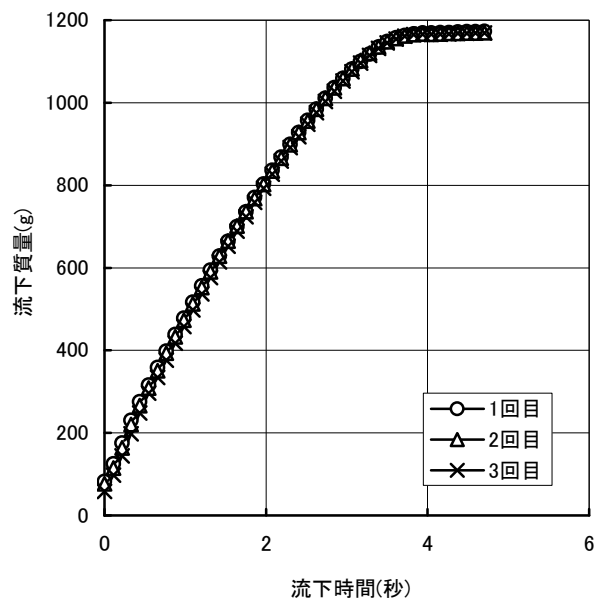


図-5 流下質量と流下時間の関係 (P-2)

一方、図-4～7を比較すると、超低粘性と高粘性では流下総量が異なっていることがわかる。グラウトの密度差の影響を除いた流下体積と流下時間の関係を図-8に示す。試験値はB-2とP-2のそれぞれ1回目の値である。流下総量の差としては40cc程度、率にして約8%あった。粘性が高くなるにつれて、測定終了時までの総流下量は少なくなっていくと推定できる。粘性の指標として流下時間を測定するのに、粘性により流下総量が異なる条件下で測定しているため、得られる結果に大きな差が生じず実用的に問題がないとしても、試験方法としては一考すべき点である。例えば、ヨーロッパ基準 (EN445) の流動性試験においては、流下総量を測定することについての誤差を回避するために、流下時間の測定は漏斗容量約1800ccのうち一定量1000ccが流下するまでの時間を測定する方法となっている³⁾。

4. JP漏斗で測定される流下時間と品質管理

現在、現場で測定されるJP漏斗での流下時間は、グラウト注入時の粘性指標として用いられている。

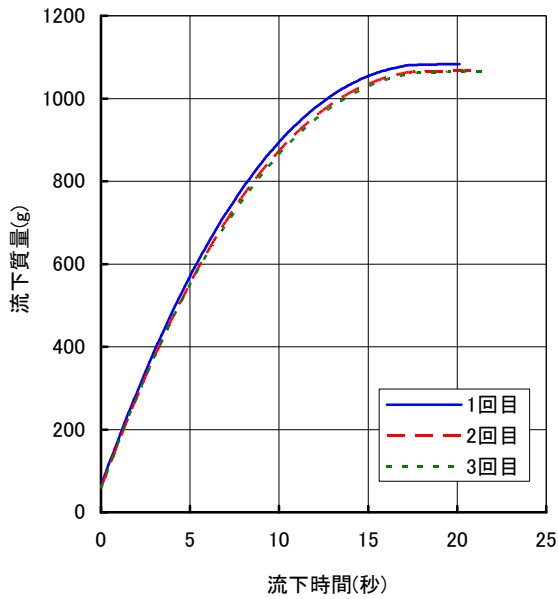


図-6 流下質量と流下時間の関係 (B-1)

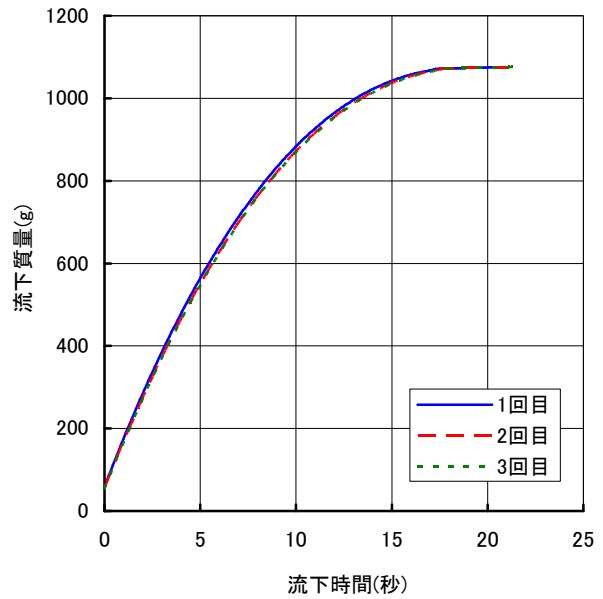


図-7 流下質量と流下時間の関係 (B-2)

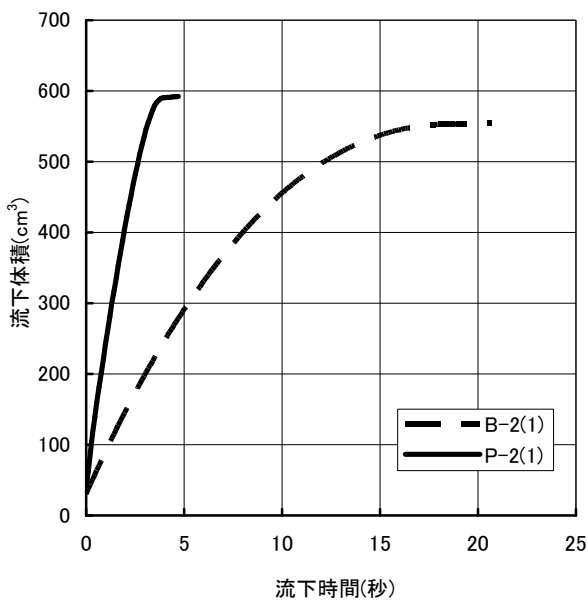


図-8 流下体積と流下時間の関係

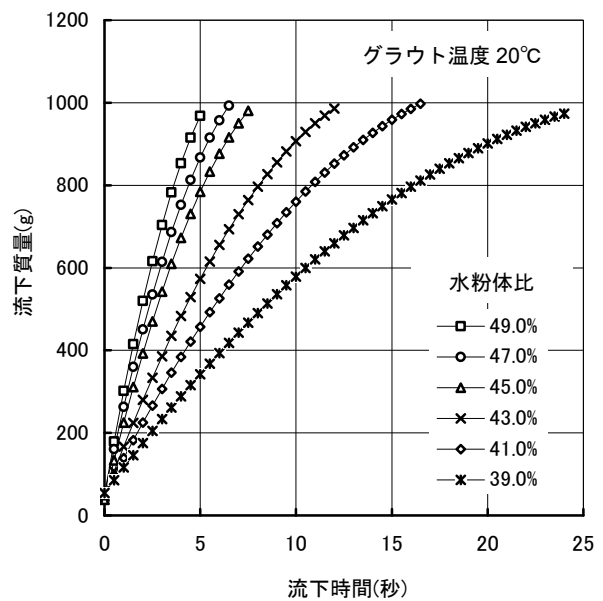


図-9 品質管理用の流下質量と流下時間の関係

本来は、ある環境条件で、使用材料、水粉体比、練混ぜ方法や機器が規定されたなかで、設計値に近い流動性（流下時間）が得られなければ、何らかの問題が生じたと判断し練り直す必要がある。しかしながら、JSCE方法で得られる流下時間の測定精度とデータベースの未整備から、超低粘性、低粘性、高粘性の3段階の粘性に区別したときの目標粘性に入っていれば問題はないとしているのが現状である。

ここに一つの提案として、図-9に示すような水粉体比ごとの品質管理用の流下時間-流下質量曲線を明らかにしておくことにより、実施工の現場で自動質量試験方法により得られた流下時間-流下質量曲線を比較することによって、練混ぜられたグラウトの品質を判断することができると考えている。図-9はグラウト混和剤の製造会社が推奨する水粉体比の範囲で、流下時間-流下質量曲線がどのように変化するかを室内試験で実施し、それを集計して示した図である。現場において自動質量試験方法で計測した流下質量-流下時間曲線が品質管理用の流下時間-流下質量曲線と同等であれば、練混ぜられた

グラウトは所定の性能を有するものと見なすことができ、注入時の材料分離抵抗性やブリーディング率、硬化後の強度や体積変化が基準値内であることが保証されることになる。さらに、得られた流下体積-流下時間曲線が、どの水粉体比と対応しているかを照合することで、練混ぜられたグラウトの水粉体比を推定し、配合、練混ぜが設計どおり行われたか判定できる。

図-9は例として、グラウト温度が20℃の場合を示した。試験室においてグラウト温度ごとの流下時間-流下質量の関係データを整備したうえで、現場で自動質量試験方法を適用することにより、流下時間のみでは判定できない高度な品質管理方法として十分に利用できるものとする。

5. まとめ

流下時間が18秒程度以下における今回の試験から得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) JSCE方法による流下時間の計測は、試験室などで短時間に集中して同じ人物が計測を行った場合、計測終了時の判断も容易であり、試験時において人的な誤差はなかったと判断できる。
- (2) 自動質量計測方法で得られる流下体積時間は、JSCE法で得られる流下時間と比べて試験時に生じた何らかの異常と密接に連動して変動することが示された。また、同条件での3回の試験より得られた流下質量-流下時間曲線のばらつき程度が、試験が一定の条件で安定して行われたかの判断材料になることが判明した。
- (3) JSCE方法は、初期投入量が少なく流下速度が遅くなっても、それに伴い流出量も少なくなるため、結果として得られる流下時間がほとんど変動しないという現象を確認した。
- (4) 粘性により流下総量が異なる条件下で測定しているJSCE方法は、得られる結果に大きな差が生じなく実用的に問題がないとしても、粘性の指標として流下時間を測定する試験方法としては課題がある方法といえる。
- (5) 今回の粘性レベルでは、試験ごとにJP漏斗を洗浄しなくとも試験結果に及ぼす影響はほとんどなく、実用的には問題がない。ただし、粘性が高くなるにつれてその差は大きくなると推定でき、高粘性の場合、試験ごとに洗浄した方が3回のデータのばらつきは小さくなることが判明した。
- (6) 規定どおり試験を行った場合、流下体積時間より換算した流下時間は、JSCE方法の流下時間とほぼ対応していた。
- (7) 品質管理用の流下質量と流下時間の関係データを混和剤メーカーから入手し、現場において自動質量試験方法で計測した流下質量と流下時間の関係と比較する品質管理方法を新たに提案した。

謝辞

本論文は、公益社団法人プレストレストコンクリート工学会におけるPCグラウトの設計施工指針改訂委員会（委員長 池田尚治横浜国立大学名誉教授）で行った試験データの一部と、2012年11月に株式会社高速道路総合技術研究所で行った試験データの一部を使用したものである。ここに、深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) (公) 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～付録 I -9，2012.12
- 2) 吉松，山口，野島，呉：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），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.21，pp.597～600，2012.10
- 3) EUROPEAN STANDARD，EN445，1996