

JP型漏斗によるPCグラウトの流動性

辻 幸和*1・宮前 俊之*2・山口 光俊*3・池田 正志*4

1. はじめに

PCグラウトは、PC鋼材を腐食から保護するとともに、コンクリートとシース中のPC鋼材とに附着を与えて両者を一体とする極めて重要な役割をもつ。このため、PC構造物が所要の性能をもち、優れた耐久性を有するためには、適切な材料、配合および練混ぜによって製造された所要の品質をもつPCグラウトを、確実にシース内に充填しなければならない。

PCグラウトに要求される品質としては、注入作業時の流動性、材料分離抵抗性、充填性および十分な強度などである。そのうち、流動性試験方法には土木学会規準JSCE-F531-1994に規定されていたように、漏斗としてJA漏斗とJ₁₄漏斗を用いていた。とくにJ₁₄漏斗は、高粘性のPCグラウトに対して提唱されたものであるが、最近多用されているノンブリーディングタイプのPCグラウトの流動性試験において、グラウト流が途切れることを判定する際に個人誤差が大きいPCグラウトが多いことが報告されている。そこで、J₁₄漏斗の先端に長さ30mmの流出管を設置したJP漏斗が1999年に改訂されたJSCE-F531-1999に採用された^{1) 2)}。

本研究では、結合材の種類、水結合材比および粘性を変化させたPCグラウトを用いて、J₁₄漏斗および流出管の長さを変化させたJP型漏斗によるPCグラウトの流動性を試験した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 漏斗の形状寸法

PCグラウトの流動性試験に用いた漏斗の形状寸法を図-1に示す。本実験では、J₁₄漏斗およびJP漏斗を含む流出管の長さを変化させたJP型漏斗4種類を用いて、PCグラウトの流動性状を評価した。なお、以降JP型漏斗の表記を流出管の長さに対応してJP10、JP30、JP50、JP70と表記する。またJ₁₄漏斗については、流出管の長さが0mmであると記してJP0と表記する。

2.2 使用材料

PCグラウトに用いた基本的な構成材料は、結合材としてのセメント、水、膨張剤および混和剤であり、混和材としてフライアッシュを用いた例もある。以下にそれぞれの材料について示す。

結合材としては、普通ポルトランドセメント、シリカフェームセメントおよび普通ポルトランドセメントの20%をフライアッシュで置換したフライアッシュセメントの3種類を用いた。3種類の結合材の品質を表-1に示す。なお、

シリカフェームセメントとは、普通ポルトランドセメントにシリカフェームが10%混合されているものである。

練混ぜ水には、ポリバケツに溜めた上水道水を恒温恒温室にて水温を20℃に保ち使用した。

混和剤には、ポゾリス物産(株)製のノンブリーディングタイプの高性能セメントグラウト注入モルタル用混和剤である「GF-1700」(粘性タイプ、主成分：高縮合トリアジン系化合物)および「GF-1720」(高粘性タイプ、主成分：水溶性高分子エーテル系化合物)を使用した。いずれも、PCグラウトに適度な粘性、材料分離抵抗性を与え、ブリーディングの発生を防止することができる高性能セメントグラウト用の混和剤である。

膨張剤としては、アルミニウム粉末を用いた。

2.3 PCグラウトの配合

使用した結合材は、前述のように普通ポルトランドセメント(C) (以下、普通セメントと略記する)、シリカフェームセメント(S) およびフライアッシュセメント(F)の3種類とし、それぞれの結合材に対して、水結合材比を38%、41%および44%の3種類とした。PCグラウト用混和剤を結合材の質量比で1%、膨張剤を結合材の質量比で0.008%それ

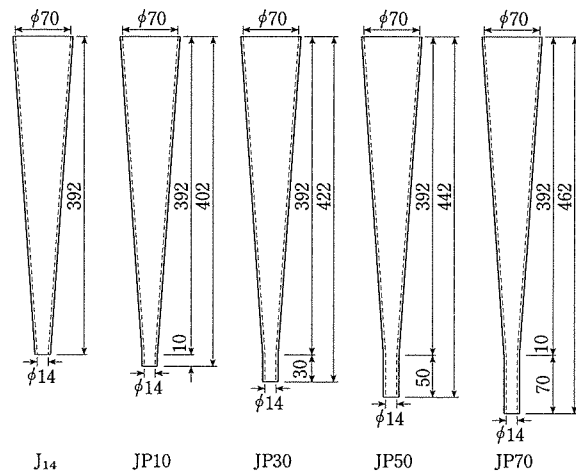


図-1 漏斗の形状寸法 (単位:mm)

表-1 結合材の種類と品質

種類	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	記号
普通ポルトランドセメント	3.16	3 320	C
シリカフェームセメント	3.08	5 600	S
フライアッシュ	2.22	4 050	F

*1 Yukikazu TSUJI: 本協会理事, 群馬大学 工学部 建設工学科 教授
 *2 Toshiyuki MIYAMAE: 群馬大学大学院 博士前期課程 建設工学専攻
 *3 Mitsutoshi YAMAGUCHI: 群馬大学大学院 博士前期課程 建設工学専攻
 *4 Masashi IKEDA: 群馬大学 工学部 建設工学科 技術官

表 - 2 PCグラウトの配合

結合材Bの種類	水結合材比 W/B (%)	セメント (g)	混和材 (g)	水 (g)			混和剤 (g)		膨張剤 (g)	記号*
				総量	一次水	二次水	1 GF-1700	2 GF-1720		
普通ポルトランドセメント C	38	2 871.7	—	1 091.2	631.8	459.5	28.72	28.72	0.230	C1 C2
	41	2 753.1	—	1 128.8	605.7	523.1	27.53	27.53	0.220	
	44	2 643.9	—	1 163.3	581.7	581.7	26.44	26.44	0.212	
シリカフェームセメント S	38	2 871.7	—	1 091.2	631.8	459.5	28.72	28.72	0.230	S1 S2
	41	2 753.1	—	1 128.8	605.7	523.1	27.53	27.53	0.220	
	44	2 643.9	—	1 163.3	581.7	581.7	26.44	26.44	0.212	
フライアッシュセメント F	38	2 297.4	574.3	1 091.2	631.8	459.5	28.72	28.72	0.230	F1 F2
	41	2 202.5	550.6	1 128.8	605.7	523.1	27.53	27.53	0.220	
	44	2 115.1	528.8	1 163.3	581.7	581.7	26.44	26.44	0.212	

* C1, S1, F1 : 混和剤1 フライアッシュセメントは普通ポルトランドセメントに対して20%置換
C2, S2, F2 : 混和剤2

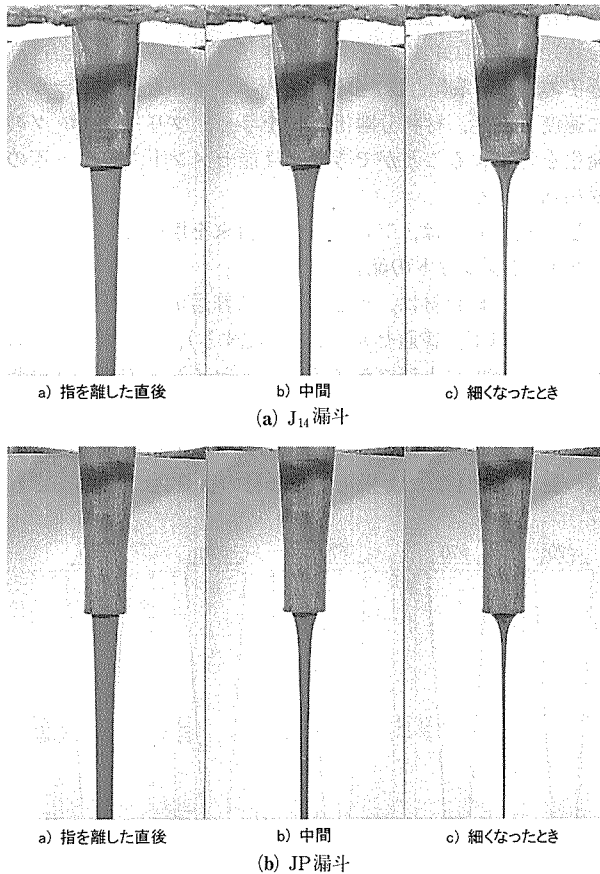


写真 - 1 PCグラウトの流出状況

ぞれ用いた。練混ぜ量が2lの各材料の使用量を、表-2に示す。

2.4 練混ぜ方法

PCグラウトの練混ぜにはJIS R 5201「セメントの物理試験方法」で用いる練混ぜ機を使用し、パドルは葉脈状羽、練鉢はステンレス鋼製で、最大容量が4.5lのものを用了。

練混ぜ方法は、分割練混ぜ方法を採用した。すなわち、結合材と膨張剤に一次水として結合材の質量比で22%の水を添加して1分30秒練り混ぜた後、残りの水を二次水として添加してさらに1分30秒練り混ぜて、PCグラウトを造った。分割練混ぜ方法は、全材料を一度に投入して練り混ぜる一括練混ぜ方法に比べて、セメントのダマが少なくなり、効率よくPCグラウトを練り混ぜることができる³⁾。

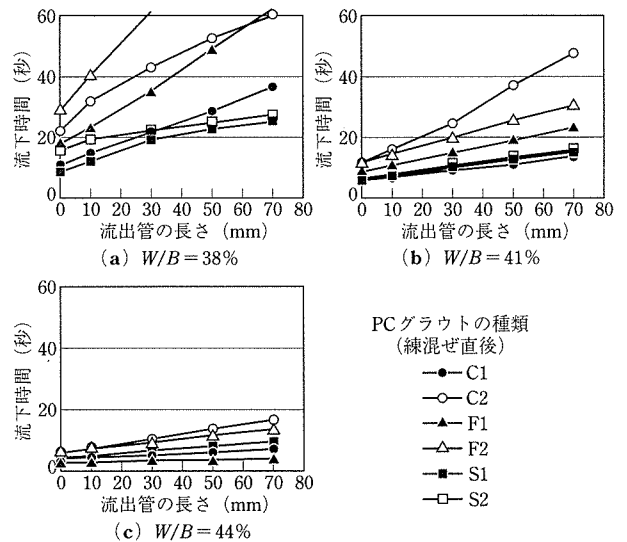


図 - 2 流出管の長ささと流下時間

2.5 PCグラウトの流動性試験方法

流動性試験は、PCグラウトの練混ぜ直後に加え、恒温恒湿室内で湿布を覆って30分および60分静置した後、手練りで2分～3分間練り直した後も行った。

PCグラウトの流動性試験は、JSCE-F531-1999に準じて行った。すなわち、まず台で鉛直に支持した漏斗に水を通して濡らし、試料を漏斗内に注ぎ、流出管から少量の試料を流出させた後、指で押さえ漏斗上面まで注ぎならす。その後、指を離して、流下時間を測定した。なおJP型漏斗の流下時間には、流出管からのグラウト流が初めて途切れるまでの流下時間の代わりに、流出管からのグラウト流が急激に細くなるまでの時間を採用しているため、JPO (J₁₄漏斗)についても同様な計測を行った。PCグラウトの流出状況を写真-1に示す。

3. 流下時間に及ぼす流出管の影響

練混ぜ直後のPCグラウトの流下時間と漏斗の流出管の長さとの関係を、水結合材比ごとに図-2に示す。いずれの水結合材比においても、流出管の長さが長くなるに従い、流下時間も長くなる。このことは、流出管の存在によりPCグラウト流の流れが妨げられていることを示している。流出管の長ささと流下時間の間には、W/Bが41%と44%のPCグラ

ウトについては比例関係が認められる。しかし、水結合材比が小さい38%においては、その比例関係が認められない場合がある。

普通セメントおよびフライアッシュセメントを用いたPCグラウトにおいて、流出管の長さが流下時間に及ぼす影響は、粘性が高いほど顕著である。しかし、シリカフェームセメントを用いたPCグラウトについては、いずれの水結合材比においても粘性の違いによる流下時間の影響は小さい傾向が見られた。

いずれの結合材比についても、流出管の長さが短いJP0漏斗では、PCグラウトの種類の違いによる流下時間の差異は小さい。また、流出管の長さを長くすることで、PCグラウトの種類による流下時間の影響は大きくなる。

4. JP30漏斗とその他の漏斗との流下時間の関係

JSCE-F531-1999において採用されたJP30漏斗による流下時間を、その他の各漏斗による流下時間と対応させて図-3に示す。

JP30漏斗とJP0, JP10, JP50, JP70漏斗の間には、以下の式に示すような直線関係が認められた。すなわち、JP30漏斗とJP0, JP10, JP50, JP70各漏斗の流下時間の関係を、それぞれ式(1)～式(4)に示す。

$$y = 2.14x - 3.10 \quad \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

$$y = 1.52x - 1.43 \quad \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

$$y = 0.69x + 1.16 \quad \dots\dots\dots \text{式(3)}$$

$$y = 0.54x + 1.73 \quad \dots\dots\dots \text{式(4)}$$

ここに、 y : JP30 漏斗による流下時間(秒)
 x : 各漏斗による流下時間(秒)

5. 流下時間に及ぼす水結合材比の影響

図-4に、PCグラウトの練混ぜ直後における流下時間と水結合材比の関係、漏斗別に示す。すべての結合材において、水結合材比が大きいPCグラウトほど流下時間が短くなる。そして、流出管の長さが長くなると、その傾向が顕著になる。漏斗の種類が異なるとPCグラウトの流下時間の値は異なるが、水結合材比が大きいPCグラウトほど流下時間が短くなることは、いずれのJP型漏斗を用いた場合でも明瞭である。

また、PCグラウト用混和剤として混和剤1を用いたPCグラウトが高粘性タイプの混和剤2を用いたものよりも流下時間が短くなる傾向も、水結合材比が小さいPCグラウトほど著しい。そしてこの現象は、いずれの結合材の種類、またいずれの漏斗を用いても、等しく認められる。

6. 流下時間の経時変化

図-5には、練混ぜ直後から60分後までのPCグラウトの流下時間の経時変化を、普通セメントに混和剤1を用いた場合を例に、水結合材比 W/B ごとに示す。

W/B が38%のPCグラウトは時間の経過に伴い流下時間が長くなる。また、漏斗による差も顕著である。しかし、 W/B が41%と44%のPCグラウトのように、水結合材比が大き

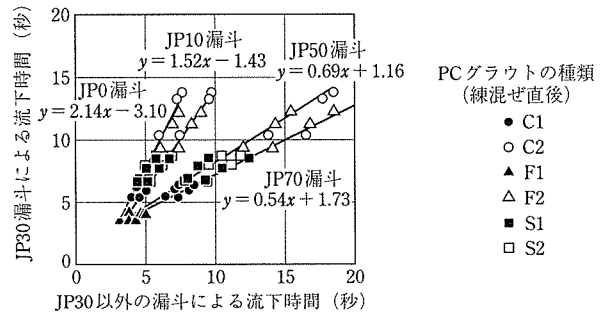


図-3 JP30 漏斗とその他の漏斗との流下時間の関係

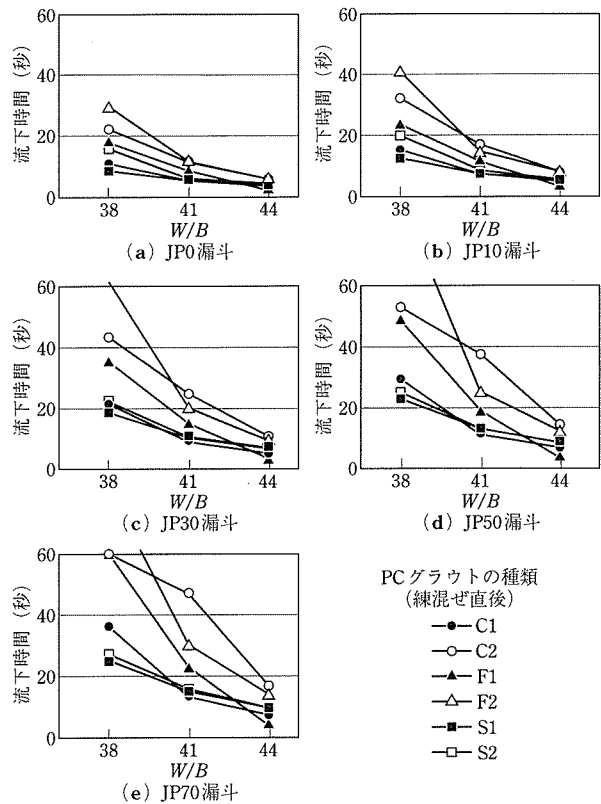


図-4 流下時間と水結合材比の関係

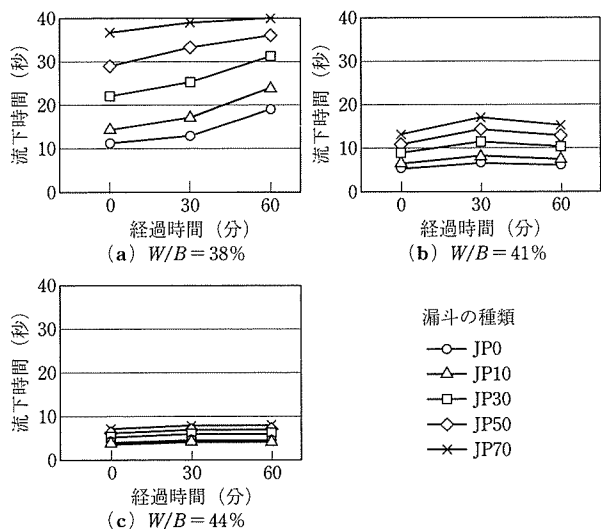


図-5 流下時間の経時変化(普通ポルトランドセメント)

なるに従い経過時間に伴う流下時間の変化は小さくなり、ほとんど認められないものが多い。また、漏斗による差もほとんど認められなくなっている。

水結合材比 W/B が大きくて粘性の低いPCグラウトの場合には、漏斗の種類が変わっても流下時間の経時変化に及ぼす影響が小さくなる傾向は、普通セメントを用いたPCグラウトだけでなく、シリカフュームセメントやフライアッシュで置換したPCグラウトにおいても等しく認められた。

なお、粘性が高いPCグラウトでは、流出管が長い漏斗において、PCグラウトが漏斗内に残留してしまう、いわゆる閉塞現象が見られた。また、PCグラウトの粘性が同じであれば、流出管の長い漏斗ほどPCグラウトの残留量は多かった。そしてこの現象は、練混ぜ後の経時変化が大きいPCグラウトほど顕著であった。

7. JP30 漏斗による流下時間

図-6には、JSCE-F531-1999に採用されたJP30漏斗によるPCグラウトの流下時間を結合材ごとに示す。ただし、漏斗閉塞を起こした配合についてはプロットしてない。

W/B が大きいほど、流下時間は時間の経過に対し変化が少なくなる。 W/B が小さいと、時間の経過に対する粘性の変化が現れるのが早くかつ顕著なためである。また、 W/B が大きく粘性が低いほど、結合材の種類が流下時間そのものと経時変化の程度に及ぼす影響は小さくなっている。この傾向は、PCグラウト用混和剤および水結合材比が異なっても等しく認められる。

8. 流下時間の測定の精度

測定の精度は、JP0漏斗を用いたときに比べ、流出管を有するJP型漏斗を用いた方がよい。流下時間の判定に必要なPCグラウト流が急激に細くなる時点が、JP0漏斗を用いたときより流出管を有するJP型漏斗の方が明確なためである。

しかし、PCグラウトの粘性が高くなると、JP50やJP70漏斗の流出管が長い漏斗ではPCグラウト流が急激に細くなる状況が明確にはならず、流下時間の判定が困難になる場合が生じた。これは、流出管がPCグラウト流を妨げる影響が大きくなることによりPCグラウト流が安定しないためである。また、このような現象は、 W/B が小さく、粘性が高いPCグラウトでは、流出管の短いJP型漏斗でも認められた。

9. まとめ

本研究では、J₁₄漏斗およびJP漏斗を含む流出管の長さ

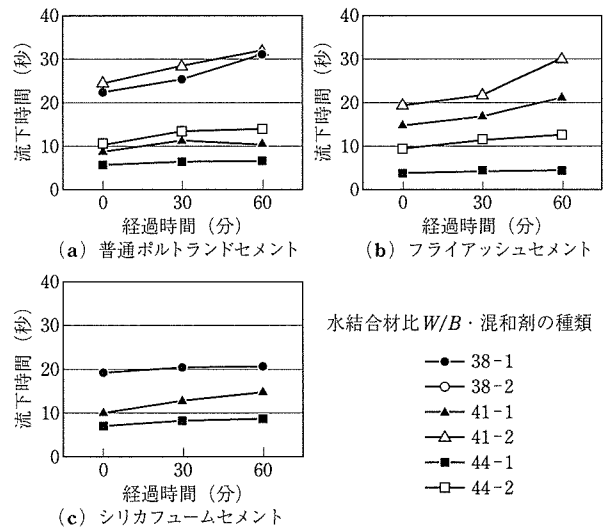


図-6 JP30 漏斗による流下時間

を変化させたJP型漏斗4種類の合計5種類の漏斗を用いてPCグラウトの流動性評価試験を行った結果を報告した。

本研究の範囲内で、次のことが言える。

- ① PCグラウト流が急激に細くなる場所の判定は、いずれのJP型漏斗を用いても流出管のないJ₁₄漏斗よりも容易にできる。
- ② 一般のノンブリーディングタイプのPCグラウトは、30mm以上の流出管を設置したJP型漏斗を用いると、流下時間がより明確に判定できる。
- ③ 流出管の長さと言下時間の間には比例関係が認められる。流出管を長くの方が流下時間の差異が顕著に現れるため、PCグラウトの品質の違いが明確となる。
- ④ 粘性の高いPCグラウトでは、PCグラウト流がすべて流下せず、漏斗内で閉塞が起こる場合がある。この現象は、流出管の長さが長いものほど顕著であった。

本研究は、平成11年度科学研究費補助金(基盤研究(B)1)、課題番号11555115)により実施した。

参考文献

- 1) 池田, 辻, 山口, 金田: PCグラウトの流動性評価試験方法, 第9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.497~502, 1999.10
- 2) プレストレスト・コンクリート建設業協会耐久性委員会: PCグラウト&プレグラウトPC鋼材施工マニュアル(改訂版), 1999.11
- 3) 辻, 池田, 橋本, 浦野: 高強度PCグラウトの製造に関する基礎研究, プレストレストコンクリート, Vol.36, No.3, pp.47~56, 1994

【2000年3月13日受付】