

分割練混ぜ方法による高粘性 PC グラウトの製造

群馬大学大学院

○ 宮前 俊之

群馬大学 工学部

正会員 辻 幸和

群馬大学 工学部

正会員 池田 正志

極東鋼弦コンクリート振興 (株)

正会員 広瀬 晴次

1. はじめに

PC グラウトが良好な充填性を確保してその目的を発揮するためには、セメント等の粒子を均一に分散させる練混ぜ方法の採用が必要不可欠である。しかし、最近多用されているノンブリーディングタイプの高粘性 PC グラウトの製造に関しては、高速せん断ミキサを用いない場合においてはセメントが凝集したいわゆる練り玉の発生することがある¹⁾。

本研究では、高速せん断ミキサを用いなくても一般のモルタルミキサを用いて分割練混ぜ方法により高粘性 PC グラウトを均一に練り混ぜることを目的とし、セメントの種類、PC グラウト用混和剤の種類および分割練混ぜにおける一次水結合材比 W1/C を変化させた高粘性 PC グラウトの製造結果を報告する。品質の評価方法としては、JP 漏斗による流動性ととも練り玉の量を計測した。また、流出管の長さを変化させた JP 型漏斗を用いて流動性試験を行った結果についても報告する。

2. 実験概要

高粘性 PC グラウトの材料としては、結合材には普通ポルトランドセメントおよび普通ポルトランドセメントの 20%, 40% をフライアッシュで置換したもの（以下、フライアッシュセメントと称す）の合計 3 種類を用いた。普通ポルトランドセメントの密度は 3.16g/cm^3 、比表面積が $3320\text{cm}^2/\text{g}$ であった。また、フライアッシュは、JIS A 6201 の I 種に相当するものである。その密度は 2.47g/cm^3 、比表面積は $5490\text{cm}^2/\text{g}$ であった。練混ぜ水には、ポリバケツに溜めた上水道水をあらかじめ恒温室にて水温を 20°C に保ち使用した。

PC グラウト用混和剤（以下、混和剤と略称する）には、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混和剤 A（主成分：水溶性高分子エーテル系化合物）ならびに高粘性タイプのノンブリーディング混和剤 B（主成分：メラミン系高性能減水剤）を使用した。いずれも、PC グラウトに適度な粘性と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粉末状の高性能 PC グラウト用の混和剤である。

PC グラウトの配合では、それぞれの結合材に対して水結合材比を 45% とした。また、PC グラウト用混和剤として混和剤 A, B の 2 種類を結合材の質量比で 1% 用いた。練混ぜ量が約 2ℓ の各材料の使用量を表-1

表-1 PC グラウトの配合 (1 バッチ 2ℓ 当り)

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 A, B (g)	記号*
普通ポルトランド セメント	45	2564.0	—	1154.0	25.6	CA, CB
フライアッシュセメント (20%置換)	45	2051.2	512.8	1154.0	25.6	F20A, F20B
フライアッシュセメント (40%置換)	45	1538.4	1025.6	1154.0	25.6	F40A, F40B

* CA, F20A, F40A : 混和剤 A CB, F20B, F40B : 混和剤 B

に示す。

PC グラウトの練混ぜ方法には分割練混ぜ方法を採用した。図-1に示すように、結合材、混和剤に一次水を添加して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更に1分30秒練り混ぜて、PC グラウトを製造した。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、セメントの練り玉が少なくなり、効率良く練り混ぜることができる¹⁾²⁾。

本研究では、分割練混ぜ方法において、一次水結合材比 $W1/C$ を混和剤 A においては 22, 24, 26, 28, 30, 34% の 6 種類に、混和剤 B では 22%を除いた 5 種類にそれぞれ変化させて、PC グラウトを造った。

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た。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 のものを用いた。

PC グラウトの流動性試験に用いた漏斗の形状寸法を図-2に示す。本研究では、 J_{14} 漏斗、JP 漏斗および JP 漏斗の流出管部分の長さを 10, 50, 70mm に変化させた JP 型漏斗の合計 5 種類を用いて、PC グラウトの流動性状を評価した。なお以降は 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。ただし、JP30 漏斗は JP 漏斗と表記することもある。また J_{14} 漏斗については、流出管の長さが 0mm であるとしてここでは JP0 と表記する³⁾⁻⁵⁾。

流動性試験は、PC グラウトの練混ぜ直後に加え、 $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ の恒温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 2-3 分間練り直した後にも行った。PC グラウトの流動性試験では、1.2mm のふるいを通して PC グラウトを用いた。また、約 2ℓ の 1 バッチ分をふるってふるいに残ったものを、練り玉として計測した。

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、 J_{14} 漏斗についても同様な測定を行った。

JP 漏斗と J_{14} 漏斗による PC グラウトの流出状況を写真-1に示す³⁾⁴⁾。

3. 練り玉に及ぼす一次水結合材比の関係

表-2に混和剤 B を用いた場合の各一次水結合材比における

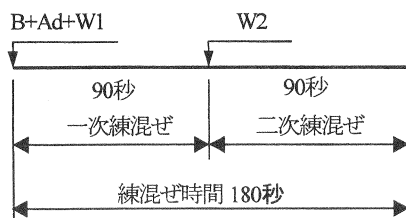


図-1 分割練混ぜ方法

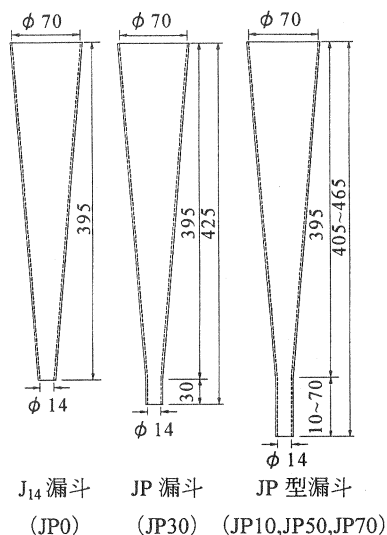


図-2 漏斗の形状寸法 (単位:mm)

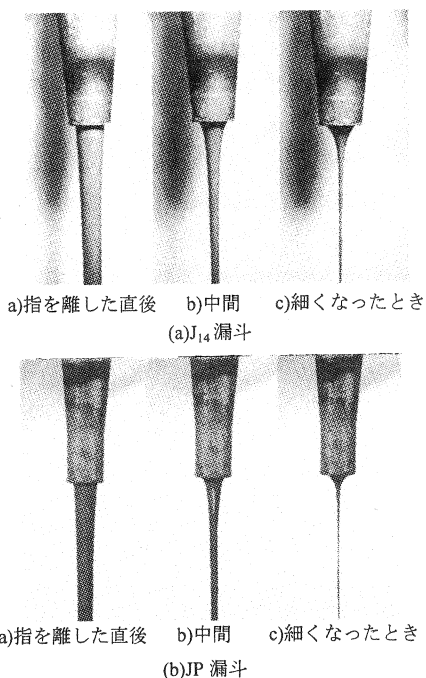


写真-1 PC グラウトの流出状況

表-2 練り玉の量 (混和剤 B)

W1/C		24%	26%	28%	30%	34%
結合材の種類	CB	非常に少ない 12.5	少ない 31.2	少ない 22.8	少ない 31.2	少ない 26.1
	F20B	少ない 21.1	少ない 25.1	少ない 25.8	少ない 25.6	少ない 29.1
	F40B	非常に少ない 14.3	多い 41.8	多い 52.8	多い 55.5	少ない 27.7

※上段：練り玉の量 下段：練り玉の質量(g)

「非常に少ない」 < 18g < 「少ない」 < 35g < 「多い」

練り玉の量を示す。練り玉の量は、練り玉の質量で 18g 以下を「非常に少ない」、18g を超え 35g 以下を「少ない」、35g を超えるものを「多い」とした。また図-3 には、横軸に一次水結合材比 W1/C を、縦軸に練り玉の質量をそれぞれ記したものを示す。

一次水結合材比 W1/C を変化させることにより、練り玉の量が変化していることは明瞭である。特に混和剤 B を用いた PC グラウトでは、全体的に混和剤 A を用いたものに比べて練り玉の発生量は多く、フライアッシュを 40% 置換した場合には特に練り玉が多く発生する場合がみられた。また、練り玉の量が「非常に少ない」となる PC グラウトは CB と F40B のセメントで W1/C が 24% のときだけであった。そして混和剤 B を用いた場合の練り玉の量が最小となる W1/C は、CB, F20B, F40B のセメントともいずれも 24% となった。

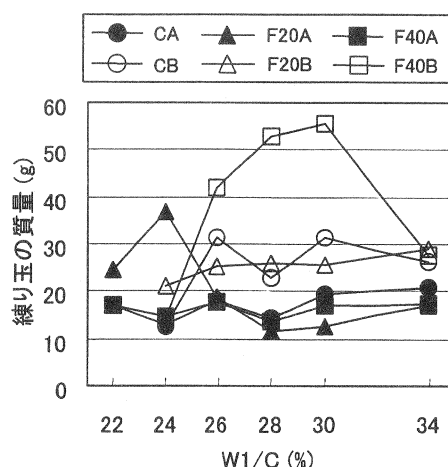
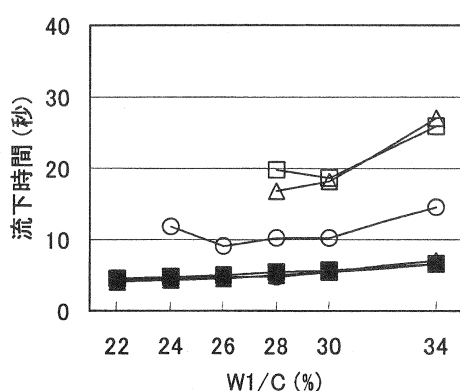
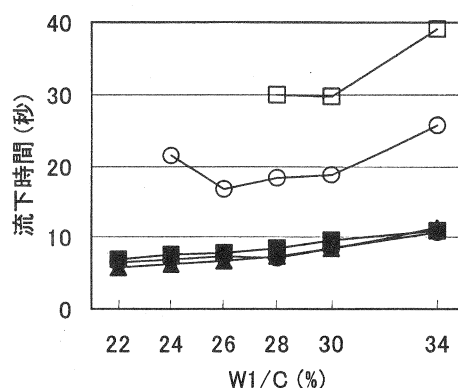


図-3 各 W1/C における練り玉の質量


 (i) J₁₄ 漏斗


(ii) JP 漏斗

PC グラウトの種類

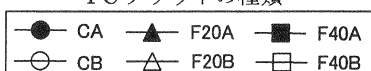


図-4 一次水結合材比と流下時間の関係 (練混ぜ直後)

混和剤 A を用いた PC グラウトでは、全体的に練り玉の量は少ない。そしてフライアッシュを置換した場合においても、置換しないものと同程度の値となった。混和剤 A の練り玉が最小となる W1/C は、CA では 24%，F20A と F40A では 28%と、セメントの種類により異なった。混和剤の種類とセメントの種類によっても、練り玉の量が最小となる W1/C は異なるようである。

4. 一次水結合材比と流下時間の関係

図-4 に、一次水結合材比 W1/C を 22% から 34% に変化させた場合の練混ぜ直後における PC グラウトの JP 漏斗および J₁₄ 漏斗により測定した流下時間を示す。セメントの種類と混和剤の種類をパラメータにとっている。

混和剤 A を用いた場合では、JP 漏斗と J₁₄ 漏斗のどちらを用いた場合も W1/C が大きくなるに従い流下時間は徐々に長くなる傾向がみられた。また、フライアッシュを 40% まで置換した PC グラウトでも、置換し

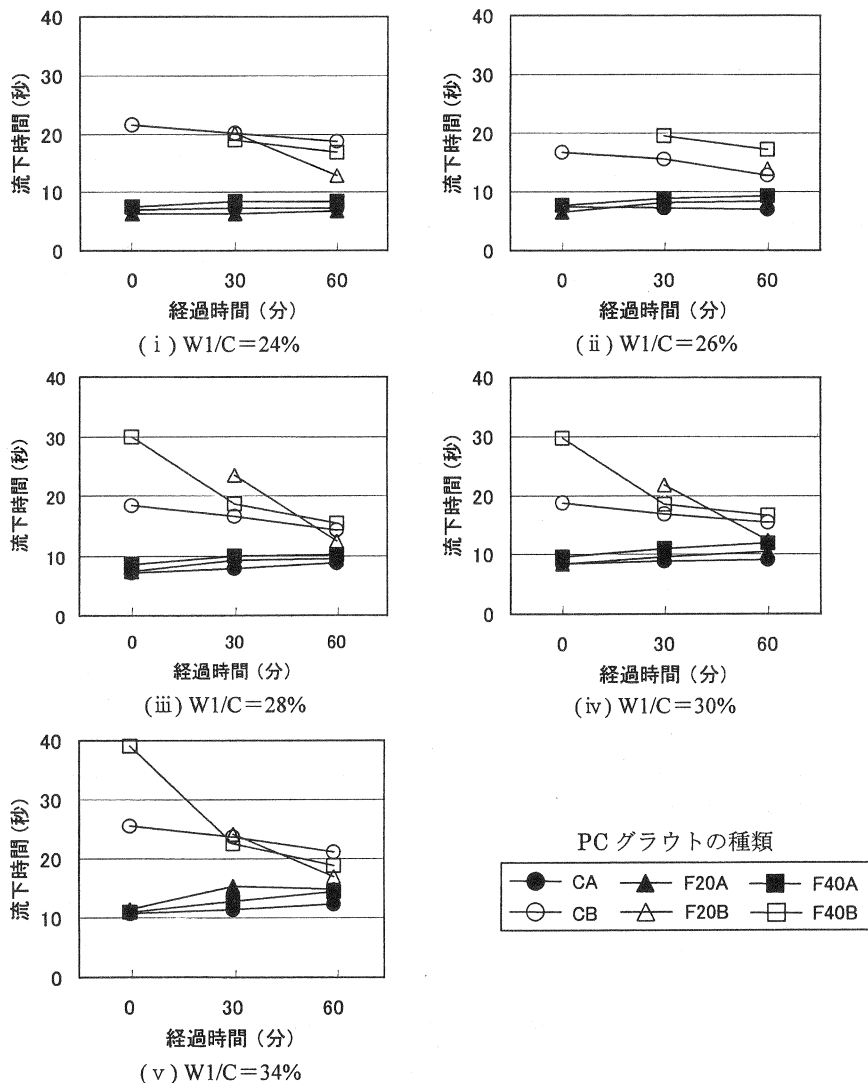


図-5 流下時間の経時変化 (JP 漏斗)

ないものとはほぼ同様の流下時間と W1/C による傾向を示している。

混和剤 B を用いた PC グラウトでは、粘性が大きく、混和剤 A を用いたものに比べて流下時間が長くなっている。また、フライアッシュを置換することにより漏斗が閉塞する現象がみられた。この現象は流出管が長い JP 型漏斗において顕著にみられた。なお、漏斗が閉塞したデータについては、図中には表記していない。

5. 流下時間の経時変化

図-5に、各一次水結合材比 W1/C における JP 漏斗を用いた PC グラウトの流下時間の経時変化を示す。図-4と同様に、セメントの種類と混和剤の種類をパラメータにとっている。

経過時間に伴う流下時間の変化は、混和剤 A を用いた PC グラウトではセメントの種類および W1/C を変えた場合においてもほとんど認められない。これに対し混和剤 B を用いた PC グラウトは、いずれの W1/C においても経過時間に伴って流下時間は減少する傾向がみられる。そして、フライアッシュセメントを用いた場合にはこの減少傾向は著しく、60 分後においてはフライアッシュを置換しないものと同程度の流下時間となった。また、混和剤 A を用いた PC グラウトの流下時間にほぼ等しくなるものもある。

これは、混和剤 B を用いた PC グラウトでは練混ぜ後においてもセメントと混和剤との反応が存続していたためと考えられる。この現象は、今後練混ぜ時間を変化させるなどして検討していきたい。

6. 流下状況

表-3に混和剤 B を用いたときの流動性試験における PC グラウトの流下状況を示す。○は PC グラウトがすべて流下したものの、△は「グラウト流が急激に細くなる」状況が判断しづらいものの、×は漏斗内に PC グラウトが残留する、すなわち閉塞したものを示す。

普通ポルトランドセメントを用いた PC グラウトでは、W1/C と経過時間が異なるほとんど

表-3 漏斗からの流下状況 (混和剤 B)

セメントの種類	W1/C (%)	経過時間 (分)	流出管の長さ (mm)				
			0	10	30	50	70
普通ポルトランドセメント	24	0	○	○	△	△	△
		30	○	△	△	△	△
		60	○	△	△	×	×
	26	0	○	○	○	○	○
		30	○	○	○	○	○
		60	○	○	○	○	○
	28	0	○	○	○	○	○
		30	○	○	○	○	○
		60	○	○	○	○	○
	30	0	○	○	○	○	○
		30	○	○	○	○	○
		60	○	○	○	○	○
	34	0	○	○	○	○	○
		30	○	○	○	○	○
		60	○	○	○	○	○
フライアッシュセメント (20%置換)	24	0	×	×	×	×	×
		30	△	△	△	△	△
		60	○	○	○	○	○
	26	0	×	×	×	×	×
		30	×	×	×	×	×
		60	○	○	○	○	○
	28	0	△	×	×	×	×
		30	○	○	○	○	○
		60	○	○	○	○	○
	30	0	△	×	×	×	×
		30	○	○	○	○	○
		60	○	○	○	○	○
	34	0	△	×	×	×	×
		30	○	○	○	○	○
		60	○	○	○	○	○
フライアッシュセメント (40%置換)	24	0	×	×	×	×	×
		30	△	△	△	×	×
		60	△	△	△	×	×
	26	0	×	×	×	×	×
		30	△	△	△	△	△
		60	○	○	○	○	○
	28	0	△	△	△	△	△
		30	○	○	○	○	○
		60	○	○	○	○	○
	30	0	○	○	○	○	○
		30	○	○	○	○	○
		60	○	○	○	○	○
	34	0	△	△	△	△	△
		30	○	○	○	○	○
		60	○	○	○	○	○

の場合ですべて流下する結果となった。また、フライアッシュセメントを用いた場合での練混ぜ直後では、20%置換したものはほとんどすべての PC グラウトが漏斗を閉塞させる結果となった。また、フライアッシュを 40%置換した場合でも W1/C が 24%、26%で閉塞した。

この閉塞現象は時間の経過により改善されている。前述したように、セメントと混和剤の反応が進んだためと考えられる。

閉塞現象は、漏斗の流出管の長さが長いものほど顕著にみられる。これは、PC グラウトの粘性の影響を流出管部分で最も受けるため、流出管の長いものほど粘性の影響が大きく現われたためである。

なお混和剤 A を用いた場合では、セメントの種類、W1/C に関わらず PC グラウトはすべて流下した。

7. まとめ

高粘性 PC グラウトを一般のモルタルミキサを用いて均一に練り混ぜるために、分割練混ぜ方法を採用して一次水結合材比を変化させた。そして、練り玉の量の計測および JP 型漏斗を用いた流動性試験を行った結果を報告した。本研究の範囲内で、以下のことがいえる。

- ①高粘性 PC グラウトの製造に関しては、分割練混ぜ方法を採用することにより、一般のモルタルミキサを用いても均一な PC グラウトを製造することが出来ることを確かめた。この場合、一次水結合材比 W1/C の影響が大きく、PC グラウト用混和剤およびセメントの種類によっても大きく影響されることも認められた。
- ②1.2mm のふるいに残る練り玉は、流下時間と同様に W1/C の影響を大きく受けるとともに、PC グラウト用混和剤とセメントの種類により異なることが明らかになった。

参考文献

- 1) 辻 幸和・宮崎弘毅・門倉 智・広瀬晴次：分割練混ぜ方法による高粘性 PC グラウトの練混ぜ効果，第 54 回セメント技術大会，pp.102~103，2000.4
- 2) 辻 幸和・池田正志・橋本親典・浦野真次：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，No3，pp.47~56，1994.5
- 3) 辻 幸和・宮前俊之・山口光俊・池田正志：JP 型漏斗による PC グラウトの流動性，プレストレストコンクリート，pp.27~30，Vol.42，No3，2000.5
- 4) 辻 幸和・杉山隆文・池田正志：高粘性 PC グラウトの流動性状，第 27 回セメント・コンクリート研究討論会論文集，pp.55~60，2000.11
- 5) 宮前俊之・辻 幸和・池田正志・大和田雅仁：高粘性 PC グラウトの製造に関する基礎研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.3，pp.535~540，2001