

高粘性 PC グラウトの練混ぜ方法が流動性に及ぼす影響

辻 幸和 *1・中澤 亮一 *2・杉山 隆文 *3・広瀬 晴次 *4

1. 序 論

ポストテンション方式のプレストレストコンクリート (PC) 構造物の建造に用いる PC グラウトには、コンクリートとシース中の PC 鋼材とに付着を与えて両者を一体化させるため、および PC 鋼材の腐食を防ぐために、十分な充填性および流動性が求められている。そして、適切な材料、配合および練混ぜ方法によって製造された所要の品質をもつ PC グラウトを、空隙を排除し確実にシース中に充填しなければならない。

PC グラウトが良好な充填性と流動性を確保するためには、セメント等の粒子を均一に分散させるミキサ、練混ぜ方法、混和剤、配合が必要不可欠である。そこで本研究では、高粘性 PC グラウトを均一に練り混ぜることを主目的とし、一般の小型モルタルミキサと新型のミキサを使用し、練混ぜ方法、練混ぜ時間、混和剤の種類および分割練混ぜにおける一次水セメント比 W/C を変化させて高粘性 PC グラウトを製造し、その流動性および練り玉量を比較検討した結果を報告する。なお流動性の試験では、流出管の長さを変化させた JP 型漏斗を用いた PC グラウトの流動性状についても報告する。

2. 実験の概要

2.1 使用材料

本実験に用いた高粘性 PC グラウトの材料は、セメント、水および PC グラウト用混和剤（以下、混和剤と略称する）である。以下にそれぞれの材料について示す。

セメントには、普通ポルトランドセメントを用いた。その密度は 3.16 g/cm^3 で、比表面積は $3320 \text{ cm}^2/\text{g}$ であった。

練混ぜ水は、小型モルタルミキサを用いた場合には、ポリバケツ（パール）に溜めた上水道水を恒温恒湿室にて水温を 20°C に保ち使用した。新型ミキサを用いた場合には、

上水道水を水温が 20°C の一定に保つヒーターを用いて使用した。

混和剤には、主成分がメラミン系高性能減水剤のノンブリーディングタイプの混和剤 A、および主成分がメラミンスルホン酸系化合物と水溶性高分子エーテル系化合物のノンブリーディング・粘性型の混和剤 B の 2 種類を使用した。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。

水セメント比は、混和剤 A を用いた場合に 45 %、混和剤 B を用いた場合に 43 %とした。また、混和剤 A および B は、いずれもセメントの質量比で 1 %用いた。これらの値は、混和剤メーカーが推奨するものである。小型モルタルミキサの練混ぜ量が約 2 ℓ、新型ミキサの練混ぜ量が約 20 ℓの各材料の使用量を、表 - 1 に示す。

2.2 ミキサの仕様

小型モルタルミキサには、JIS R 5210「セメントの物理試験方法」で用いる練混ぜ機を使用した。このミキサは、葉脈状の練り羽根を回転させて練り混ぜる機構である。パドルは葉脈状羽、練鉢はステンレス鋼製で、最容量が 3 ℓのものをを用いた。回転数は、最大で 126 rpm、通常は 63 rpm のものをを用いた。

新型ミキサとしては、すでに報告した 100 ℓの容量のものを²⁾、30 ℓの容量までの練混ぜが可能のように新しく製作したミキサを用いた。その形状寸法を図 - 1 に示す。新型ミキサは練混ぜ槽を円筒とし、写真 - 1 に示すように、その内面に PC グラウトの円筒方向の流れを抑制する抑止板を鉛直方向に 3 箇所設置している。羽根の回転力により材料をミキサの下面に押しつけながら回転を与えて練り混ぜる機構のものである。また練混ぜ羽根を水平から約 6° 傾斜させている。このような考慮により、練混ぜ性能が従来型の PC グラウト用ミキサに比べて向上するとともに、練

表 - 1 PC グラウトの配合および練混ぜ量

ミキサの種類	セメントの種類	混和剤	水セメント比 W/C (%)	セメント (g)	水 (g)	混和剤 (g)
小型モルタルミキサ	普通ポルトランドセメント	A	45	2 564	1 154	25.6
		B	43	2 679	1 152	26.8
新型ミキサ	普通ポルトランドセメント	A	45	25 000	11 250	250
		B	43	25 000	10 750	250

*1 Yukikazu TSUJI：群馬大学 工学部 建設工学科 教授

*2 Ryouichi NAKAZAWA：群馬大学大学院 博士前期課程

*3 Takafumi SUGIYAMA：群馬大学 工学部 建設工学科 助教授

*4 Haruji HIROSE：FKK 極東鋼弦コンクリート振興 (株) 技術部 部長

混ぜ時に材料が上方へ噴出することがほとんどない。なお回転数は、通常 1 100 rpm である。また、PC グラウトの排出が約 6° の傾斜によりスムーズに行われるため、練混ぜ時の作業環境が改善されている。新型ミキサの外観を、写真-2 に示す。

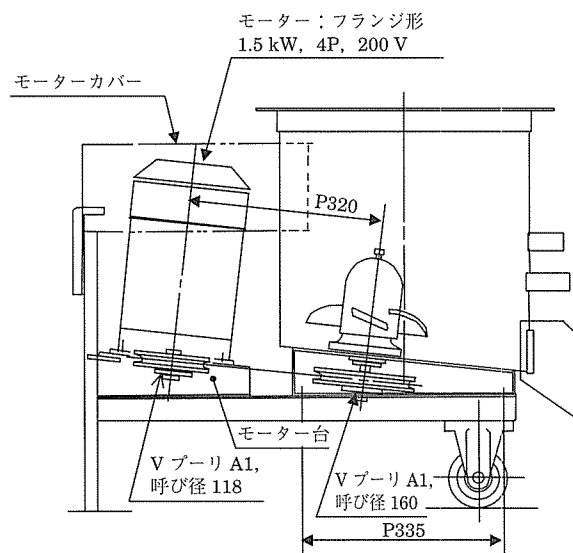


図-1 新型ミキサの形状寸法

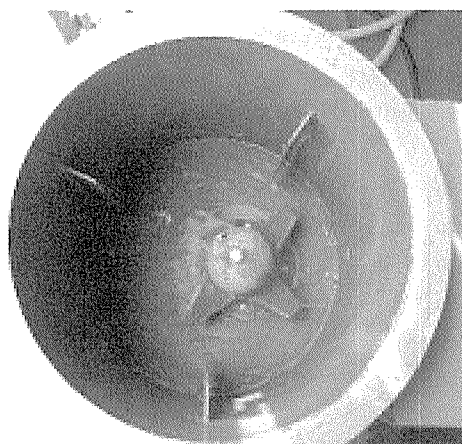


写真-1 新型ミキサの練混ぜ槽内部

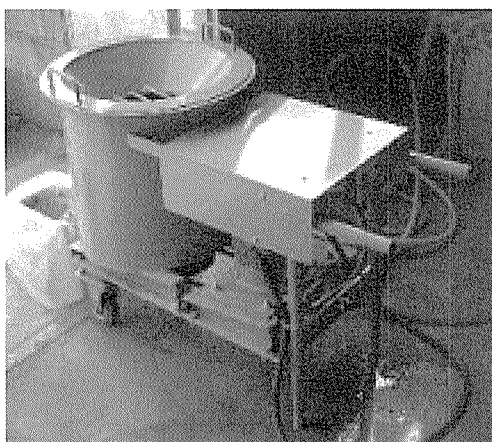


写真-2 新型ミキサの外観

2.3 一括練混ぜ方法および分割練混ぜ方法

小型モルタルミキサを用いた場合の練混ぜ方法には一括練混ぜ方法と分割練混ぜ方法を用い^{3)~6)}、新型ミキサを用いた場合には、一括練混ぜ方法のみを用いた。

一括練混ぜ方法における小型モルタルミキサを用いた場合の PC グラウトの練混ぜ方法は、混和剤 A および B ともに全材料を一度に投入して、所定の時間練り混ぜるものである。新型ミキサを用いた場合の練混ぜ方法は、混和剤 A を用いた場合は、まず水を投入した後、セメントを投入し、最後に混和剤 A を投入して所定の時間練り混ぜた。これは、混和剤 A がメラミン系化合物であることを考慮した練混ぜ方法である。混和剤 B を用いた場合は、まず水を投入して、その後混和剤 B を投入し 5 秒ほど攪拌し、その後セメントを加え所定の時間一度に練り混ぜた。これは、混和剤 B の主成分を考慮した練混ぜ方法である。

分割練混ぜ方法は、小型モルタルミキサを用いた場合のみ採用した。練混ぜ時間 $2t$ を、セメント、混和剤に一次水 $W1$ を一斉に投入して、一次練混ぜとして t 秒間練り混ぜた後、残りの水を二次水 $W2$ として投入してさらに t 秒間練り混ぜるという分割練混ぜを行い、PC グラウトを製造した（図-2 参照）。一次練混ぜとして、それぞれ 60, 90, 120, 180 秒間練り混ぜた後、残りの水を二次水 $W2$ として投入してさらにそれぞれ 60, 90, 120, 180 秒間練り混ぜて、PC グラウトを製造した。

本研究では、一次水セメント比 $W1/C$ を変化させた。混和剤 A を用いた場合では 22, 24, 26, 28, 30, 34 % の 6 種類、混和剤 B を用いた場合では 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34 % の 7 種類に、それぞれ変化させた。

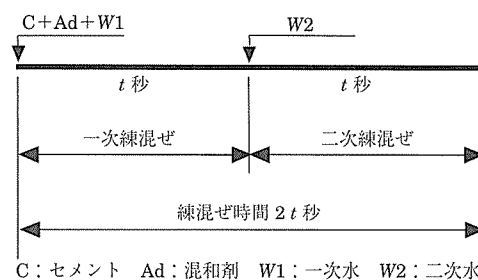


図-2 分割練混ぜ方法

2.4 PC グラウトの流動性状評価試験

PC グラウトの流動性状試験に用いた漏斗の形状を図-3 に示す。本研究では、J 14 漏斗および JP 漏斗を含む流出管の長さを 10, 30, 50, および 70 mm に変化させた JP 型漏斗 4 種類により、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の 10, 30, 50, 70 mm に対応して JP 10, JP 30, JP 50, JP 70 と表記する。ただし、JP 30 漏斗については、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 0 mm であるとして、ここでは JP 0 と表記する。

流動性状試験は室内で行い、PC グラウトの練混ぜ直後に試験を行うものと、湿布で PC グラウトをおおって 30 分、

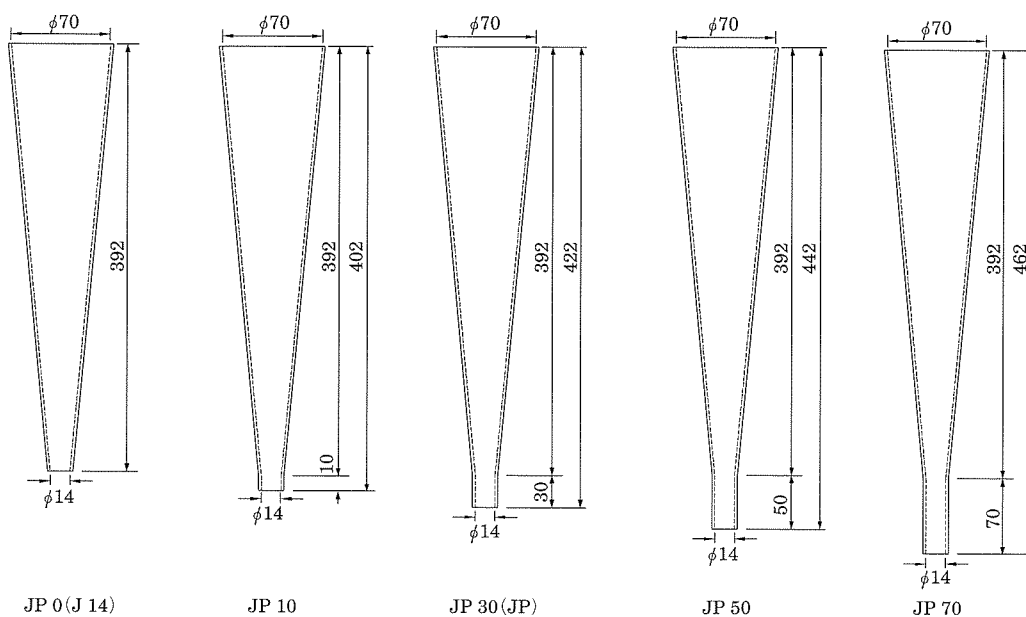


図 - 3 漏斗の形状寸法

および 60 分静置後の、3 回行った。ただし、30 分静置したものおよび 60 分静置したものは、試験の直前に手練りで 2 分間練り直した。PC グラウトの温度は、 20 ± 2 °C の範囲とした。

流動性状試験では、1.2 mm のふるいを通した PC グラウトを用いた。また、小型モルタルミキサを用いた場合は約 2 l の 1 バッチ分を、新型ミキサを用いた場合は約 6 l の PC グラウトを、それぞれ 1.2 mm のふるいでふるって、ふるいに残ったものを、練り玉量として測定した。

PC グラウトの流動性状試験は、JSCE - F 531 - 1999 に準じて行った。その方法は、まず三脚台で鉛直に支持した漏斗に水を通して湿らせた後よく水切りをし、PC グラウトを漏斗内に注ぎ、流出管から少量の PC グラウトを流出させた後、流出口を指で押さえ、漏斗上面まで注いで上面を均一になる。その後、「指を離して流出管から PC グラウト流が初めて途切れるまでの時間」の代わりに「指を離してから流出管からの PC グラウト流が急激に細くなるまでの時間」を、流下時間として採用した。

3. 練り玉量の変化

従来型の小型モルタルミキサを使用し、PC グラウトを製造したときに発生した練り玉の質量と練混ぜ時間の関係を、図 - 4 に示す。一括練混ぜ方法および分割練混ぜ方法により製造したものである。この図の分割練混ぜ方法における一次水セメント比 $W/I/C$ は 28 % である。一括練混ぜ方法において混和剤 A を使用したものを一括 A、分割練混ぜ方法において混和剤 B を使用したものを分割 B と表記する。

練混ぜ時間の長いほうが、練り玉の質量が少なかった。そして、混和剤 A を用いたもののほうが、練り玉の質量が多かった。これらの結果から、練混ぜ時間の長いもののほうが、混和剤 A を用いたものよりも混和剤 B を用いたもののほうが、セメントが均一に分散せずに凝集して形成される練り玉の発生を抑えることが確かめられた。

また、すべての練混ぜ時間において、一括練混ぜよりも分割練混ぜ方法のほうが、練り玉の発生を抑えることが確かめられた^{3)~6)}。

しかし新型ミキサを使用した場合、一括練混ぜ方法にもかかわらず、いずれの練混ぜ時間においても、混和剤 A と B を用いた場合においても、1.2 mm のふるいに残った目視できる練り玉は直径 1.0 mm ほどの練り玉が 0~3 個程であり、練り玉の質量は PC グラウトのふるいの付着分と考え

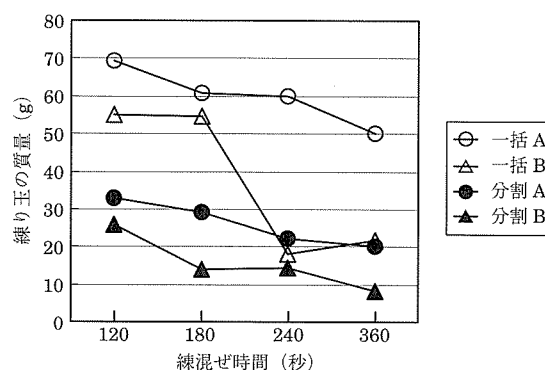


図 - 4 練り玉量と練混ぜ時間の関係

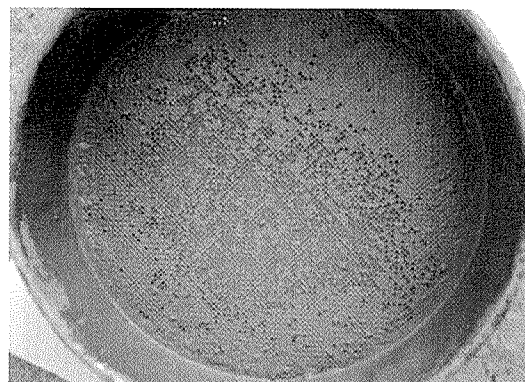


写真 - 3 新型ミキサの練り玉(練り玉が認められない)

られる 10 g であった (写真 - 3 参照)。以上の観察と小型モルタルミキサの 3 倍の PC グラウトをふるいに通過させている点を考慮し、新型ミキサを使用した場合には、従来型の小型モルタルミキサに比べ、練り玉をほぼ発生させないといえる。参考として、小型モルタルミキサを用いた場合の練り玉の質量 64.3 g の状況を、写真 - 4 に示す。

4. 分割練混ぜにおける練り玉量の変化

小型モルタルミキサのみを使用し、分割練混ぜ方法を用いて PC グラウトを製造したときに発生した練り玉量と一次水セメント比 $W/I/C$ との関係を図 - 5 に示す。混和剤 A を用いた場合には、練混ぜ時間が異なっても $W/I/C$ の増加に伴い練り玉量が減少する傾向が認められた。そして、練混ぜ時間が短い場合においては、その傾向が著しくなっている。

練り玉量の変化を、練混ぜ時間別に表 - 2 に示す。一次水セメント比 $W/I/C$ を 22 % から 34 % に変化させたことに

表 - 2 分割練混ぜ方法における練り玉量の変化

混和剤の種類	練混ぜ時間 (秒)	レンジ (g)	平均値 (g)	標準偏差 (g)
A	120	34.2	38.9	12.5
	180	47.6	30.7	14.4
	240	14.5	33.6	4.9
	360	20.1	20.5	7.1
B	120	17.2	20.5	6.7
	180	19.2	15.7	5.8
	240	9.7	12.1	3.0
	360	8.0	9.7	2.5

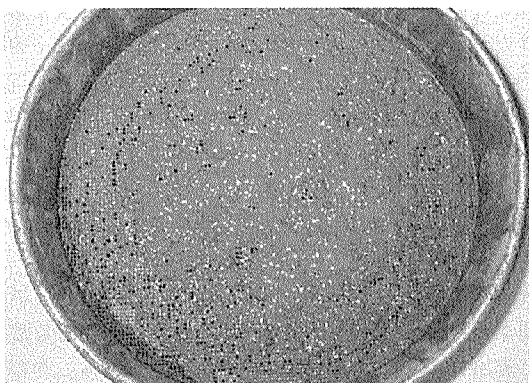


写真 - 4 小型モルタルミキサの練り玉 (練り玉質量 64.3g)

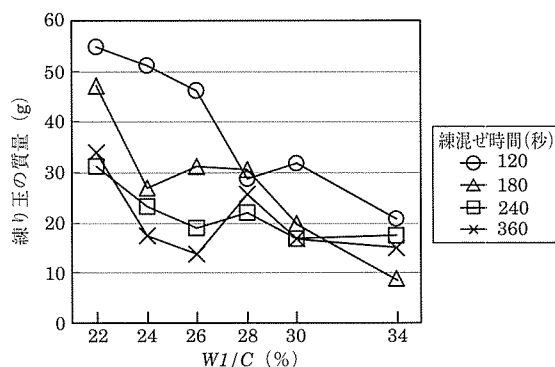


図 - 5 $W/I/C$ と練り玉量の関係 (混和剤 A)

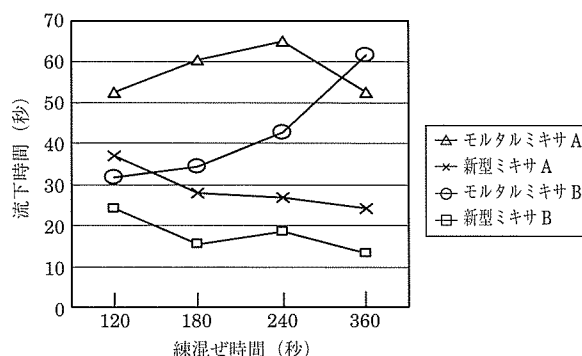


図 - 6 練混ぜ時間と流下時間の関係

よる練り玉量の最大と最小の差を示すレンジ (R) は、練混ぜ時間が 120 秒、180 秒に比べ 240 秒、360 秒の方が小さい。また標準偏差 (σ) も、 $W/I/C$ を変化させたことに伴う練り玉量の変化を小さくしていると考えられる。

5. 練混ぜ時間、ミキサ、混和剤が流下時間に及ぼす影響

一括練混ぜ方法を用いて、ミキサの種類と混和剤の種類を変えた PC グラウトの流下時間の結果を、図 - 6 に示す。漏斗は JP 30 を用い、練混ぜ直後の流下時間である。

流下時間は、小型モルタルミキサに比べ新型ミキサを用いた方が短くなっている。また、混和剤 A を用いたほうが混和剤 B を用いた場合よりも、小型モルタルミキサによる PC グラウトの流下時間は一般に長くなっている。新型ミキサを用いた場合には、混和剤の種類にかかわらず練混ぜ時間の増加とともに流下時間が減少している。これに対し、小型モルタルミキサを用いた場合には、混和剤 B では練混ぜ時間の増加とともに流下時間が増加し、混和剤 A を用いた場合では練混ぜ時間 240 秒を頂点とする山型のグラフを描いた。すなわち、混和剤 B を用いた場合は、練混ぜ時間が長くなると流下時間が長くなる傾向が著しくなり、練混ぜ時間が 360 秒では、混和剤 A を用いた場合よりも流下時間が長くなっていることがわかる。

一括練混ぜ方法を用いた、JP 30 漏斗における経過時間と流下時間の関係を図 - 7 に示す。新型ミキサを用いたものでは、60 分の時間経過に対して、流下時間はほぼ変化しないといえる。小型モルタルミキサを用いたものでは、60 分までの時間経過に対し、流下時間は新型ミキサを用いたものに比べ、変化が大きいといえる。また図 - 7(c) の混和剤 B を用いて小型モルタルミキサで練り混ぜたものにおいては、流下時間が 40 秒前後に収束する傾向がみられるが、図 - 7(a) の小型モルタルミキサにより練り混ぜた混和剤 A を用いた PC グラウトにおいては、流下時間がある一定値に収束する傾向はみられなかった。これらは、小型モルタルミキサを用いた PC グラウトでは、最大で 360 秒間練り混ぜたあとにおいても、まだ十分に練り混ぜられていない可能性を示唆するものと考えられる。

新型ミキサを用いた PC グラウトの流下時間では、経過時間が 30 分後および 60 分後の PC グラウトにも練混ぜ直後と同様の傾向が認められた。しかしながら、小型モルタ

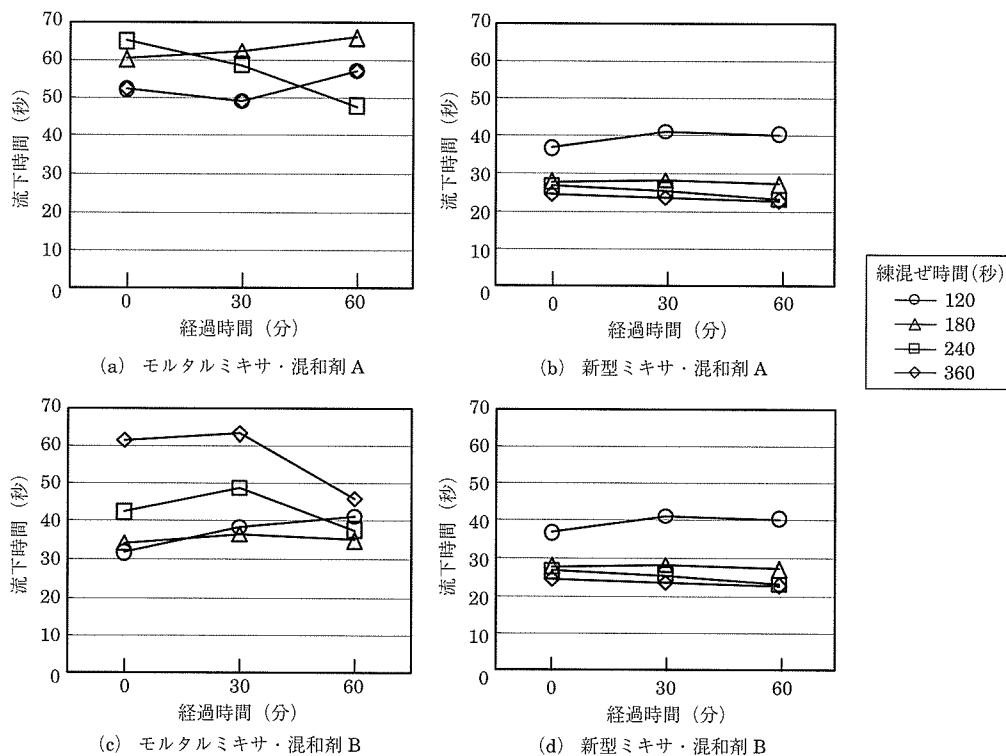


図 - 7 流下時間の経時変化

ルミキサを用いた場合には、図 - 7(a), (c)に示すように、経過時間が0分、30分後においては練混ぜ時間が異なることによる流下時間のばらつきが大きく、とくに0分後と60分後では異なる傾向を示す練混ぜ時間があつた。

ここでは、漏斗はJP 30について述べたが、これらの傾向は他の漏斗 (JP 0, JP 10, JP 50, JP 70) を用いた場合においてもほぼ同様に認められた。

6. 流出管の長さとの流下時間の関係

漏斗の流出管の長さとの流下時間の関係を図 - 8 と図 - 9 に示す。これは、新型ミキサによる一括練混ぜ方法を用い、経過時間が60分後の混和剤 A と B を用いたものである。それぞれの練混ぜ時間において、流出管長の増加に伴い流下時間が直線的に増加する傾向が確かめられた。すなわち、漏斗の流出管の長さが長くなるに従い、流下時間も長くなり、流出管の長さとの流下時間の間には比例関係があることが確認できた。

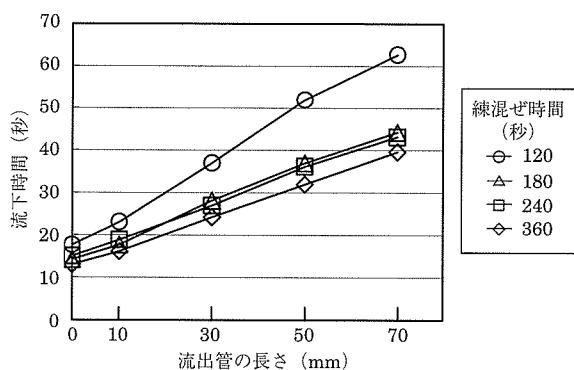


図 - 8 流出管の長さとの流下時間の関係 (新型ミキサ・混和剤 A)

流下時間が流出管の増加に伴い直線的に大きくなる現象の原因は、流出管の長さが長いものほど、流出管の内側部分での PC グラウトの付着に起因する粘性抵抗の影響を受けるためである。よって、流下時間が流出管の増加に伴い直線的に大きくなる場合、または直線にばらつきが見られるといった場合、PC グラウトの粘性以外による影響を受けていると考えられる。具体的には、PC グラウトの時間経過による材料反応に起因する性質の変化、試験中における材料分離、ふるいの網目を通過した練り玉が考えられる。また、反応熱や摩擦熱の影響、機械誤差、人的誤差の影響も無視できない。つまり直線的なグラフのものほど、十分に練り混ぜられた高品質な PC グラウトで、また信頼性の高いデータといえる⁵⁾。

流出管の長さとの流下時間の関係を図 - 10 に示す。練混ぜ時間が一番長い 360 秒の例である。いずれの場合も流下時間と流出管の間にはほぼ直線関係が認められる。その近似式と相関係数を表 - 3 に示す。これらの図・表より、①混

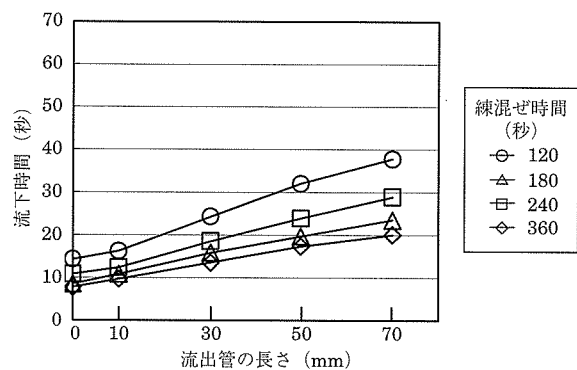


図 - 9 流出管の長さとの流下時間の関係 (新型ミキサ・混和剤 B)

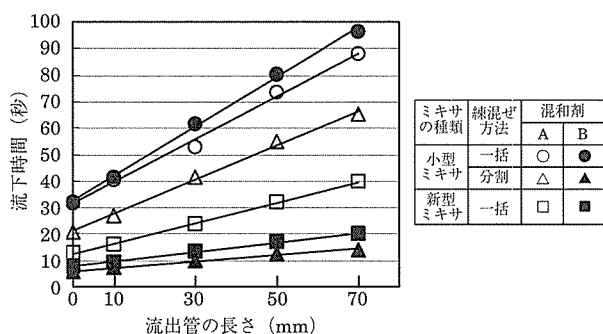


図 - 10 流出管の長さとの関係(練混ぜ時間 360 秒)

表 - 3 流下時間と流出管長さとの直線式(練混ぜ時間 360 秒)

練混ぜ方法	混和剤 A		混和剤 B	
	近似式	相関係数	近似式	相関係数
小型一括	$y = 0.78x + 35.98$	0.985	$y = 0.54x + 32.95$	0.987
小型分割	$y = 0.51x + 22.61$	0.998	$y = 0.16x + 6.91$	0.999
新型一括	$y = 0.32x + 12.72$	1.000	$y = 0.18x + 8.59$	1.000

和剤では A よりも B を用いた PC グラウト、②一括練混ぜ方法よりは分割練混ぜ方法によるもの、③小型モルタルミキサよりも新型ミキサを用いたものが、より直線的となる傾向となった。新型ミキサの実験は室内環境で行ったので、恒温恒湿室で行った小型モルタルミキサよりも湿度や温度変化の影響を受けていると考えられるにもかかわらず、小型モルタルミキサを用いたものよりもグラフが直線的となる傾向が強かった。

7. 結 論

本研究では、高粘性 PC グラウトを均一に練り混ぜることを主目的とし、小型モルタルミキサと新型ミキサを用いて、混和剤、練混ぜ方法、練混ぜ時間を変化させた高粘性 PC グラウトを製造し、練り玉量の測定、JP 型漏斗を用いた流動性試験を行った。その結果、本研究の範囲内では以下の知見が得られた。

- ① 高粘性 PC グラウトを製造するにあたっては、考案した新型ミキサを用いることにより従来型の小型モルタルミキサよりも、短い練混ぜ時間で均一な PC グラウトを製造することができることが確かめられた。また、高粘性 PC グラウトは、高粘性 PC グラウト用混和剤の種類によって影響を受けるが、用いるミキサの種類によりその影響が異なることが認められた。
- ② 高粘性 PC グラウトを製造する際に発生する練り玉の量は、ミキサの種類によって大きな影響を受けることが

明らかになった。小型モルタルミキサの場合は、高粘性 PC グラウト用混和剤の種類、練混ぜ時間、練混ぜ方法、一次水セメント比の違いによって練り玉の量が大きく変化することが明らかになった。新型ミキサを用いた場合は、高粘性 PC グラウト用混和剤の種類、練混ぜ時間の違いによらず、練り玉はほとんど観測されなかった。

- ③ 高粘性 PC グラウトの流下時間が、練混ぜ直後からの経過時間によって変化する現象は、ミキサの種類および混和剤の種類ならびに練混ぜ時間によって異なることが確認された。新型ミキサを用いたものは、混和剤の種類により経過時間による影響が異なることが認められた。
- ④ 流出管の長さが長くなるほど、流下時間は徐々に長くなる傾向が確かめられた。そして、流出管の長さとの流下時間は直線的になっていることも確かめられた。そのため、本実験における流下時間は、PC グラウトの粘性抵抗の大きさを表しているといえる。小型モルタルミキサを用いたものよりも新型ミキサを用いたもののほうが、両者の関係がより直線的であった。

謝 辞

本研究を実施するに際し、斉藤 静保氏 (旭テック (株)) および池田 正志氏 (群馬大学工学部技術官) より多大なご協力を頂いた。付記して厚くお礼を申し上げる。

参 考 文 献

- 1) PC グラウト施工マニュアル (改訂版), 社団法人プレストレストコンクリート建設業協会, 1999
- 2) 辻・広瀬・北山・田中: 新型ミキサによる高粘性 PC グラウトの製造, 第 11 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.769~774, 2001.11
- 3) 辻・杉山・池田: 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
- 4) 宮前・辻・池田・広瀬: 分割練混ぜ方法による高粘性 PC グラウトの製造, 第 11 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.763~768, 2001.11
- 5) 宮前・辻・池田・大和田: 高粘性 PC グラウトの製造に関する基礎研究, 第 23 回コンクリート工学年次論文集, pp.535~540, 2001.11
- 6) SEEE 協会グラウト特別分科会: PC グラウトの練混ぜ方法に関する基礎研究, プレストレストコンクリート Vol.45, No.1, pp.90~96, 2003.1

【2003 年 1 月 31 日受付】