

まだ固まらないグラウトの新しい ワーカビリチー測定方法

NEW METHOD FOR MEASURING WORKABILITY OF FRESH GROUT

辻 正 哲*

By Masanori TSUJI

表-1 既往の試験方法

1. 序

まだ固まらないグラウトおよび硬化後のグラウトに関する研究は、近年の高性能減水剤の開発実用化および大型プレパックドコンクリートの施工に伴い数多く行われ、数多くの成果が得られるに至っている。そのなかで、まだ固まらないグラウトの性質について、レオロジー的研究が行われ、グラウトの注入性はおもに注入時のグラウトの流動勾配に関係し^{60)~62)}、その流動勾配はおもに降伏値に関係すること¹⁾、混和剂量の添加によるグラウトの流動性の変化は水セメント比の変化によるものと異なること^{1), 63), 64)}等、数多くの成果が報告されている。しかしながら、グラウトのワーカビリチーの測定方法として現在よく用いられているPロート、またはJロートによる流下試験の結果は、おもに粘性係数を反映するものであり¹⁾、近年得られた成果を反映できる簡便なグラウトの試験方法は確立されていない。

本研究は、まだ固まらないグラウトのレオロジー的性質および材料分離に対する抵抗性を定量的に測定できるロート状の簡易な試験装置を考案開発し、それらを用いて、まだ固まらないグラウトのワーカビリチーを評価することを目的として行われたものである。

2. 既往の研究

セメントモルタルのワーカビリチーの測定は、コンクリートの場合と同様に、今世紀初めより数多く行われるようになり、その測定方法も数多く提案されている。測定方法のおもなものは表-1に示すとおりであり、スラ

| | |
|-----------------------|--|
| 硬いモルタル | スランプまたはミニサイズのスランプ試験 ^{2), 3)} フローテーブルを用いたフロー試験 ⁴⁾ 土質試験の応用 (ベーン試験 ^{5)~8)} 、三軸圧縮せん断試験 ^{7)~10)} 、液性限界試験 ^{11), 12)} 、塑性限界試験 ¹²⁾ 貫入試験 ^{3), 4), 18)} 回転粘度計 (ストーマーの回転粘度計 ¹⁰⁾ を含む) ^{9), 12)~16), 19)~38)} 波動の伝播性状によるもの ^{24), 34)~37)} 平行板プラスチックメーター ^{2), 15), 33), 38)~40)} 資料中よりの球の引き上げ抵抗による試験 ^{33), 38), 39), 41)~44)} ロートによる流下試験 ^{6), 12), 19), 27), 45)~51)} 沈入試験 ^{40), 52)~54)} フローメーター ⁴⁵⁾ 管内流動時の抵抗による試験 (Capillary Tube を含む) ^{41), 42), 55)~57)} その他、モデルによる試験 ^{1), 26), 28), 58), 59)} |
| 軟かいモルタルペーパーレスト | |

ンプ試験、貫入試験、フロー試験のようにコンクリート試験と同様の原理によるもの、土質試験で行われている試験方法をモルタルに適用したもの、ロート、回転粘度計、平行板プラスチックメーター、資料中の物体が移動するときの抵抗または資料の管内流動時の抵抗を測定する装置のように液体の粘性の測定装置や各種のレオロメーターをモルタル用に改良したもの、沈入試験やフローメーターのようにグラウトの実際の使用状態をモデル化したものが中心である。

グラウトのワーカビリチー測定方法としては、現在簡便であるロートを用いた流下試験が最も広く用いられている。ロートの形状も数多く提案されており、現行の土木学会コンクリート標準示方書または土木学会プレストレストコンクリート標準示方書に採用されているPロート、JロートおよびJAロートのほかに、沈入試験の特長を生かすためにロートの流出管内に抵抗体を置配したもの⁴⁷⁾、プレパックドコンクリートを想定してロートの流出管部に粗骨材を詰めたもの^{27), 77)}等数多く提案されている。Jロートは精度に問題があり¹⁹⁾、Pロートは実績があるだけでその他の決定的な利点がないこと⁴⁹⁾が指摘されている。ロートの流出管部に抵抗体や粗骨材を配置したものは、比較的ワーカビリチーをよく表わすようになると思われるが、試験後の清掃が不良となりやすいと

* 正会員 工博 東京理科大学講師 理工学部土木工学科

思われるため、現場での管理用試験としては向かないようと思われる。いずれのロートを用いた場合にも、グラウトの流動性の指標として、流下時間のみを測定するものであり、グラウトの注入性に関する流動勾配や材料分離に対する抵抗性等の複数の性質を評価するためには、さらに検討する必要があると思われる。

グラウトの複数の材料定数を求める方法としては、回転粘度計、平行板プラスチメーター、資料中を物体が移動するときの速度と抵抗の関係を用いる試験、8 mm カメラを併用して貫入速度と貫入抵抗の関係を調べる貫入試験¹⁶⁾、複数の試験を別個に行いそれらの結果を組み合わせてワーカビリチーを評価する試み¹⁷⁾、図-1 に示したモデル⁵⁸⁾を改善し、骨材を詰めた抵抗体をグラウトが初めて通過するときのグラウトの圧力と一定量のグラウトが抵抗体を通過するのに必要な時間とに加えて、一定量のグラウトが通過した後にグラウトの移動が停止するときのグラウトの圧力を測定し、グラウトの静的な性質と動的な性質に加えてグラウトが通過したことによる抵抗体の閉塞する程度を評価する試験⁵⁹⁾等が提案されている。コンクリートに適用した場合も含めると、これらのなかで、回転粘度計が最も広く用いられているようであり、複合材料に適用された歴史も古く、1960 年頃には、複合材料の場合、(i) 流動面が内筒付近で起こること、(ii) 力が一定でも速度が一定になりにくうこと、(iii) 内筒壁面に滑りが生ずること、および、(iv) ブリージングとチクソトロピーの性質により流動面が 1 か所に集中すること等の問題点が指摘され^{18), 22)}、近年では、高速カメラを併用してこれらの問題点を解消する試みが行われている^{29)~33)}。このように、複数の材料定数を測定する装置の改良に伴い、複合材料のワーカビリチーに関する研究成果が近年多く得られるようになっている。しかし、これらの装置を直接現場管理用試験として適用するためには、装置が複雑で測定が煩雑である点、多量の資料を必要とする点等、さらに改善すべき点があると思われる。

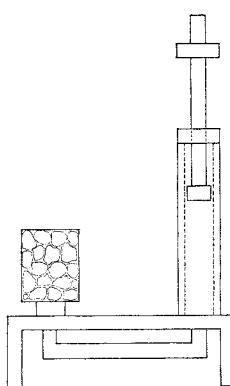


図-1 中川⁵⁸⁾らが用いた
モデル^{13, 59)}

した後にロートの底面に残るグラウトの平均的な流動勾配より、グラウトの粘性係数と降伏値を評価することを目的として案出されたものである。また、この試験方法により、グラウトを流し込んでから流出を開始するまでの時間を変化させることによってグラウトの材料分離の程度およびこわばりの程度を評価することもできる。

試験方法の手順は、次の①~④ のとおりである。

① 図-2 に示すロートを鉛直に支持し、水を通して、測定開始時には壁面が水膜で覆われるよう調整する。

② 図-2 に示すロートの流出管底部を塞ぎ、グラウトを H_1 ^{注1)} より 1 cm 程度高いところまで流し入れる。

③ グラウトの流し込みが終った約 2 秒後^{注2)}にロートの流出管底部を開きグラウトを流出させ、グラウトのロート壁面に接している部分が H_1 ^{注1)} より H_2 ^{注1)} まで下がる時間を測定する。

④ グラウトが流出した後に残ったグラウトのロート壁面に接している高さ (δ) を、3~5 か所で測定し、その平均値を用いて、平均的な流動勾配を求める。

4. 実験の概要

実験に用いたグラウトの配合条件は表-2 に示すとおりであり、混和剤の種類別に水セメント比を変化させたシリーズ (No. 1~9)、フライアッシュのセメント代替率別に水セメント比を変化させたシリーズ (No. 10~17) および今回考案したロートによる測定結果のばらつきの程度を調べるシリーズ (水セメント比の欄に丸印をつけたもの) である。No. 1~9 の配合はおもに混和剤の種類の影響および水セメント比の影響を調べるためのもので、5 種類の混和剤を用い、それぞれの混和剤について水セメント比を 6~8 段階に変化させて配合条件を定めたものである。なお、遅延型減水剤および高性能減水剤を用いたものには、細骨材の最大寸法およびセメン

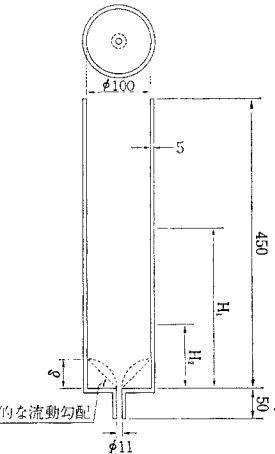


図-2 今回考案したロート

注 1) 一般に、 H_1 を 25 cm, H_2 を 10 cm とするのがよい。

注 2) 材料分離およびこわばりの程度等の経時変化を測定する場合には、施工条件等を考慮して決定するのがよい。

3. 今回考案したグラウトのワーカビリチー測定方法

この試験方法の原理は、図-2 に示すロートの H_1 より H_2 までグラウトが流下する時間と、グラウトが流出

表-2 グラウトの配合条件

| 混和剤の種類と添加量 | 細骨材 | (C+F) : S (重量比) | F/(C+F) | W/C (%) | 配合 No. |
|-----------------------------|--|--------------------|---------|----------------------------|-----------|
| 遅延型減水剤 (C×0.25%) | 5.0 mm 下 | 1:1 | 0 | 45, 46, 47, 48, 50, 52, 54 | 1 |
| | 2.5 ~ | 1:1 | | 47, 48, 50, 52, 54, 56, 58 | 2 |
| | 2.5 ~ | 1:2 | | 58, 60, 62, 64, 66, 68 | 3 |
| 高性能減水剤 (30 cc/セメント 1 kg) | 5.0 ~ | 1:1 | 0 | 35, 37, 40, 41, 43, 45 | 4 |
| | 2.5 ~ | 1:1 | | 41, 43, 45, 47, 48, 50, 52 | 5 |
| | 2.5 ~ | 1:2 | | 56, 58, 60, 62, 64, 66 | 6 |
| グラウト用混和剤A (C×1%) | 5.0 ~ | 1:1 | 0 | 45, 46, 47, 48, 50, 52, 54 | 7 |
| グラウト用混和剤B (C×1%) | 5.0 ~ | 1:1 | 0 | 45, 46, 47, 48, 50, 52, 54 | 8 |
| プレミックスタイプ グラウト材 | グラウト材 25 kg 当りの水量 (l) | | | | 9 |
| | 4.8, 4.9, 5.0, 5.2, 5.4, 5.6, 5.8, 6.0 | | | | |
| 遅延型減水剤 (C×0.25%) | 5 mm 下 | 1:1 | 0 | 45, 46, 47, 48, 50, 52, 54 | 1 |
| | | | 0.125 | 41, 43, 45, 47, 49, 52 | 10 |
| | | | 0.250 | 39, 41, 43, 45, 47, 49 | 11 |
| | | | 0.375 | 39, 41, 43, 45, 47, 49 | 12 |
| | | | 0.500 | 39, 41, 43, 45, 47 | 13 |
| 高性能減水剤 (30 cc/セメント 1 kg) | 5 mm 下 | 1:1 | 0 | 35, 37, 39, 41, 43, 45 | 4 |
| | | | 0.125 | 35, 37, 39, 43, 47 | 14 |
| | | | 0.250 | 33, 35, 37, 39, 41, 45 | 15 |
| | | | 0.375 | 31, 33, 35, 37, 41 | 16 |
| | | | 0.500 | 29, 31, 33, 35, 37, 39 | 17 |

表-3 細骨材の物理的性質

| F.M. | 比重 | 吸水率 | ふるい通過百分率 (%) | | | | | |
|------|------|------|--------------|--------|--------|--------|--------|---------|
| | | | 5 mm | 2.5 mm | 1.2 mm | 0.6 mm | 0.3 mm | 0.15 mm |
| 2.78 | 2.59 | 2.36 | 100 | 93 | 68 | 42 | 16 | 3 |
| 1.90 | 2.57 | 3.56 | 100 | 100 | 93 | 76 | 37 | 4 |

ト砂比の影響を調べるために、5 mm 下の細骨材を用いたもの以外に 2.5 mm 下の細骨材を用いたもの、またセメント砂比を 1:1 としたもの以外に 1:2 としたものについても実験を行った。また、No. 10~17 の配合は、フライアッシュのセメント代替の効果に及ぼす混和剤の種類および水セメント比の影響を調べるためのものである。

使用したセメントは普通ポルトランドセメントであり、フライアッシュはブレーン比表面積が 3220 cm²/g のものである。使用した細骨材は、物理的性質が表-3 に示すとおりの川砂である。使用した混和剤は、遅延型減水剤、高性能減水剤、グラウト用混和剤 2 種類であり、ほかに、水のみを加え練り混ぜることによってグラウトが得られるプレミックスタイプのグラウト材も使用した。混和剤の添加量および配合条件は表-2 に示すとおりである。

練り混ぜには、回転数 1500 rpm のハンドミキサーを用い、搅拌しながら 30 秒間で試料の投入を終え、その後 2 分間練り混ぜを行った。なお、グラウトの 1 回当たりの練り混ぜ量は 12 l と定めた。

測定には今回考案したロートを 3 本用い、グラウトを注ぎ込んでから流下を開始するまでの静置時間を 2 秒、3 分、6 分とした測定をグラウト練り上がり後ただちに行なった。それと平行して P ロートおよび J ロートによる測定を、それぞれ土木学会規準 H-III-1 および H-III-2 に準じて行った。静置時間を 3 分および 6 分としたものを除いて、測定はすべて練り上がり後 1 分以内で終了した。なお、材料の保管および実験作業は、室温 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $85 \pm 10\%$ の恒温室で行なった。実験を行なった時期により恒温室の室温が $20 \pm 2^\circ\text{C}$

の範囲で変動したため、グラウトの練り上がり温度は、混和剤の種類を変化させたシリーズ (No. 1~9) の場合 $24 \pm 2^\circ\text{C}$ 、フライアッシュのセメント代替率を変化させたシリーズ (No. 10~17) の場合 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の範囲となつた。

5. 実験結果および考察

(1) 新しいワーカビリチー測定方法のグラウト評価方法

図-3 は、水セメント比 (W/C) または単位水量 (W) と各流下時間ならびに平均的な流動勾配との関係の一例を示したものであり、図-4 は、今回考案したロートを用いて行なった測定結果と単位水量との関係をシリーズ別に示したものである。今回測定を行なった範囲では、全シリーズを通じて水セメント比が大きくなるに従い各流下時間はすべて小さくなる傾向にあり、また、セメント砂比が 1:1 で高性能減水剤を用いたシリーズ (No. 4~5, No. 14~17) を除けば、平均的な流動勾配も同様に水セメント比が大きくなるに従い小さくなる傾向にあった。しかし、セメント砂比が 1:1 で高性能減水剤を用いたシリーズ (No. 4~5, No. 14~17) の場合には、

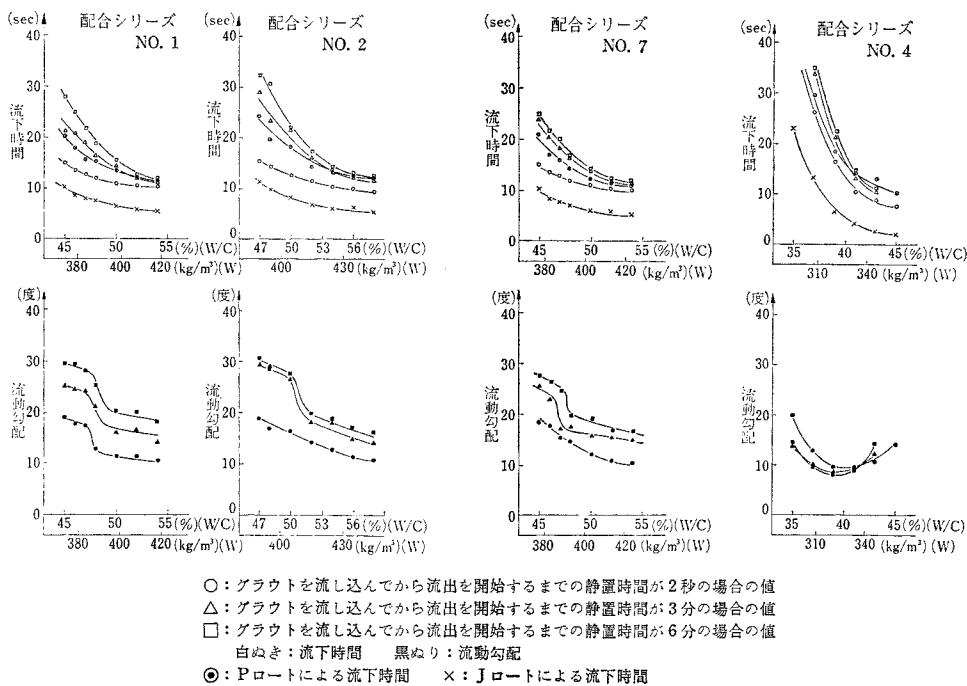


図-3 水セメント比または単位水量と測定結果との関係の一例

No. 4の場合と同様に、水セメント比がある限界値を超えるまでは、水セメント比が大きくなるに従い平均的な流動勾配は小さくなるが、水セメント比が限界値を超えると水セメント比が大きくなるに従い平均的な流動勾配が逆に大きくなる傾向にあった。これは、高性能減水剤を用いた場合には、使用に適切な水セメント比が著しく小さくなり、単位水量の変化の影響が大きく、適切な水セメント比の範囲が小さくなることにより、その適切な水セメント比の範囲より水セメント比が大きくなると、骨材の分離が著しく大きくなることによると思われる。フライアッシュを混入しなくて、混和剤として遅延型減水剤を用い、5 mm 下の細骨材を用い、セメント砂比が1:1の場合（No. 1）、水セメント比が大きくなるに従い各流下時間はすべて漸次小さくなるが、グラウトを流し込んでから1秒後に流下を開始し測定した平均的な流動勾配は、水セメント比が47%付近のところを境として急激に変化していた。また、同じくフライアッシュを混入しないで、5 mm 下の細骨材を用い、セメント砂比が1:1の場合に、混和剤としてグラウト用混和剤を用いたNo. 7およびNo. 8の結果もほぼ同様の傾向を示しており、水セメント比が47%以下となると、グラウトを流し込んでから3分間静置して測定した平均的な流動勾配は、グラウトを流し込んでから2秒後に流下を開始したものに比べ急激に大きくなる傾向にあった。グラウトが急激に硬くなると感じた水セメント比は、混和剤メーカーの技術資料に表わされている水セメント比の下

限値47%とほぼ同じであり、平均的な流動勾配の急変する水セメント比と一致している。これらのこととは、グラウトの適用範囲を判定するには、流下時間よりも平均的な流動勾配の方が適していることを表わしていると思われる。

今回の測定で、セメント砂比が1:1のプレパックド用グラウトとして適切であると感じた水セメント比の範囲は、No. 1, 7, 8の場合、46～53%の範囲であり、No. 2の場合、52～56%の範囲であった。また、高性能減水剤を用いたNo. 4, 5の場合、平均的な流動勾配が最低を示す水セメント比より1～2%程度小さな水セメント比である。この範囲における流下時間は、測定方法のいかんによらず、使用した混和剤の種類により大きく変化しているが、グラウトの流し込みが終ってから2秒後に流出を開始し測定した平均的な流動勾配は、いずれも10～13度程度の範囲であり、グラウトのワーカビリチーの判定には、平均的な流動勾配を用いるのがよいと思われる。しかし、平均的な流動勾配は、使用に適切なワーカビリチーの範囲において、水セメント比の変化をあまり反映せず、また、高性能減水剤を用いた場合には、水セメント比が数%と小さな変化を起こしても、水セメント比の限界値をはさんで1つの平均的な流動勾配に対して2つの水セメント比が存在する場合もあるため、グラウトの品質の管理には、流下時間と平均的な流動勾配の両者を用いるのがよいと思われる。

5種類の代表的な配合につき、3本の今回考案したロ

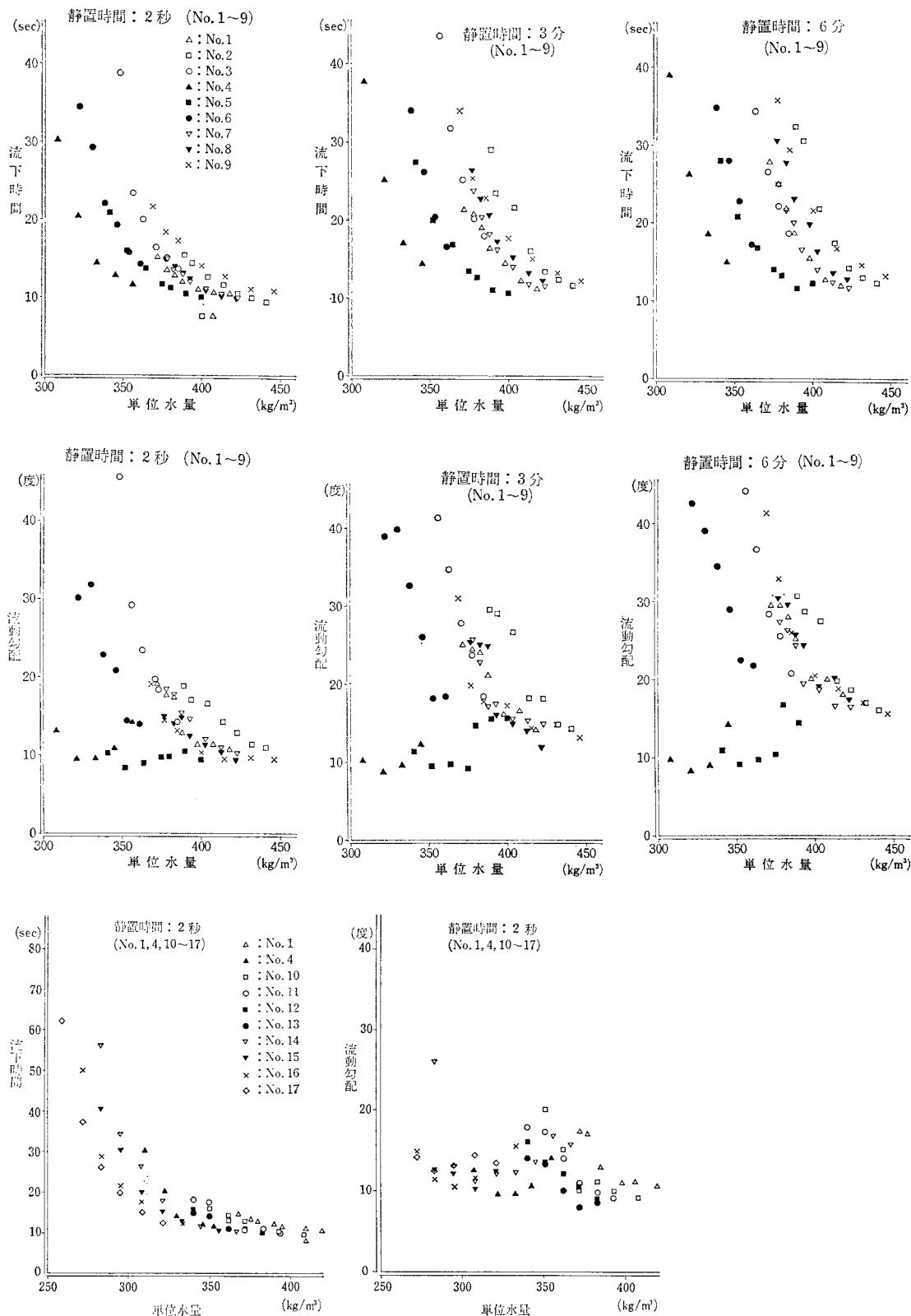


図-4 単位水量と測定結果との関係（シリーズ別）

ートによって3人が測定を行った結果、流下時間および平均的な流動勾配の測定結果の変動係数は、それぞれ1~6%、1~7%の範囲にあり、変動係数の平均値は、それぞれ3.7%および3.0%であった。これらの値は、今回考案したロートによる測定方法が実用上十分な精度をもっていることを示していると考えられる。しかし、これらの変動係数は、平均的な流動勾配を求めるための δ を±0.2 mmの精度で読み取るという比較的精度のよい実験結果より求めたものであり、 δ の読み値が1 mm変化すると、平均的な流動勾配がほぼ1度変化するということを考えると、測定現場等の条件によっては、もう少し直徑の大きいロートを用いるか、または、 δ を自動的に読み取る装置を採用するなど、 δ の読み取り精度に注意する必要があると思われる。

(2) モルタルの配合とワーカビリティー測定結果との関係

図-3および図-4において、細骨材の最大寸法の影響についてみると、セメント砂比が1:1と一定の場合、2.5 mm以下の細骨材を用いたグラウト（No. 2, 5）で流動勾配が急変または最低を示す水セメント比は、遅延型

減水剤または高性能減水剤のいずれを添加したかに関係なく、5 mm以下の細骨材を用いた（No. 1, 4）場合よりも、3%程度大きくなっている。しかし、流下時間および流動勾配の水セメント比の変化に対する変化の割合は、高性能減水剤を用いた方が大きくなってしまい、配合が一定の場合、高性能減水剤を用いた方が、遅延型減水剤を用いたものより、細骨材の粒度の影響を大きく受けていると思われる。

図-4は、今回考案したロートを用いて行った測定結果と単位水量との関係をシリーズ別に示したものである。単位水量が一定であっても、使用する減水剤の減水率が大きくてフライアッシュのセメント代替率が大きいほど、流下時間および平均的な流動勾配は小さくなる傾向にあったが、使用する減水剤の減水率およびフライアッシュのセメント代替率の影響は流下時間よりも平均的な流動勾配の方に大きく影響する傾向を示しており、全般的にみると、単位水量と平均的な流動勾配との関係は、単位水量と流下時間との関係に比べ、相関性が薄いといえると思われる。なお、プレミックスタイプのグラウト材を用いた場合は、細骨材が絶乾状態で混合されていることから細骨材の吸水率による補正を行わずにグラ

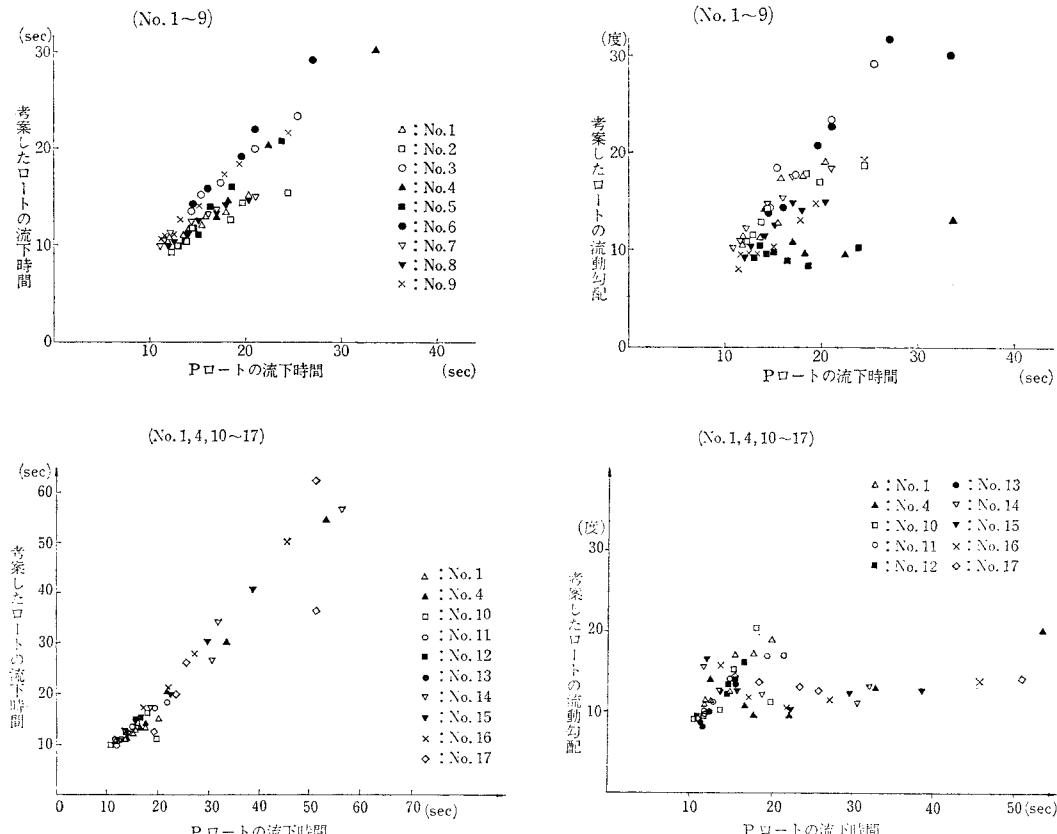


図-5 Pロートの流下時間と今回考案したロートの測定結果との関係

フにプロットしたため、細骨材の吸水量のぶんだけ少し流下時間が大きくなつたものと思われる。また、グラウトの平均的な流動勾配、および流下時間の経時変化は高性能減水剤を用いた方が遅延型減水剤を用いた場合よりも小さく、また、平均的な流動勾配の経時変化はフライアッシュのセメント代替率が大きいほど少し小さくなる傾向を示していることのように、グラウトを流し込んでから流下を開始するまでの静置時間が長くなるほど、単位水量と測定結果との相関性が薄くなる傾向を示していた。

図-5は、今回考案したロートでグラウトの流し込みが終つてから2秒後に流出を開始した測定結果とPロートの流下時間との関係を示したものである。また、Jロートの流下時間との関係も、まったく同様の傾向を示していた。PロートまたはJロートの流下時間が同一の場合、今回考案したロートの流下時間は、平均的な流動勾配の小さいものほど、少し大きくなる傾向にあったが、これは、今回考案したロートの流下時間を測定するときの流出管部よりグラウト表面までの平均的な距離がPロートまたはJロートの場合より長いため、流出管内のグラウトに作用する平均的な圧力が大きくなり、グラウト流下時のグラウトの変形速度が大きくなることから、今回考案したロートの方が、PロートやJロートより、グラウトの降伏値の影響を反映する度合が小さくなり、グラウトの粘性係数の影響を大きく反映したことによるものと思われる。しかし、全体的には、今回考案したロートの流下時間はPロートおよびJロートの流下時間となりよい相関関係を示していることが認められる。平均的な流動勾配とPロートおよびJロートの流下時間との関係はあまりなく、今回の実験でプレパックド用グラウトの適切なワーカビリチーの範囲と思われる平均的な流動勾配が10~13度の範囲であっても、PロートおよびJロートの流下時間は混和材料の影響により大きく変化しており、グラウトのワーカビリチーをPロートまたはJロートの流下時間のみで判定するのは困難であると思われる。

図-6は、今回考案したロートによってグラウトの流し込みが終つてから2秒後に流出を開始し測定した平均的な流動勾配の流下時間に対する比を表わしたものである。平均的な流動勾配の流下時間に対する比は、プレミックスタイルのグラウト材を使用すると遅延型減水剤を用いた場合よりも小さくなり、また、セメント砂比が1:1で高性能減水剤を用いると(No.4, 5)、細骨材の最大寸法にかかわらず一般的に使用可能と思われる範囲のグラウトの平均的な流動勾配は流下時間に比べ著しく小さくなる傾向にあった。しかし、高性能減水剤を用いた場合でもセメント砂比が1:2と大きくなると(No.

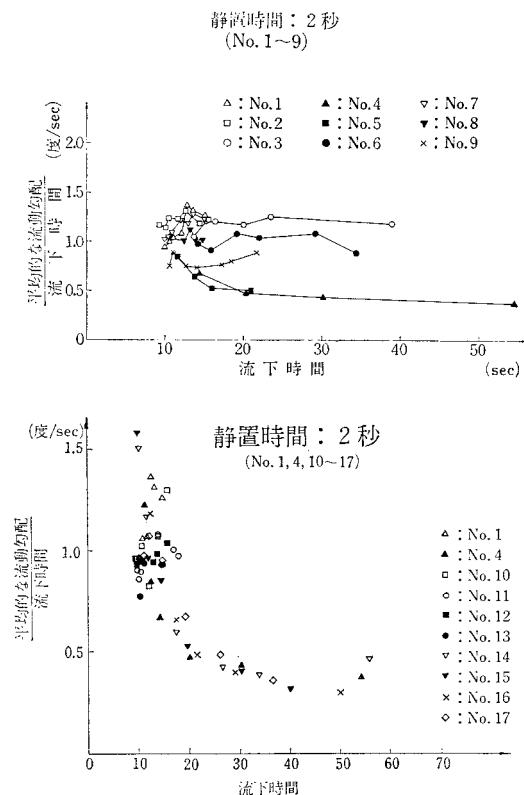


図-6 平均的な流動勾配の流下時間に対する比と流下時間との関係の例

6)，グラウトの平均的な流動勾配と流下時間との比率は従来の一般的な減水剤を用いた場合に近づいてくる結果となっている。これは砂セメント比が大きくなるに従い、セメントペーストの単位量が減少することから、混和剤の減水率の影響が小さくなつたことによると解釈できる。これらのこととは、高性能減水剤のように減水率の著しく大きな減水剤を用いる場合には、適切なワーカビリチーを有するグラウトの流下時間は、従来の減水剤を用いた場合に比べ、著しく長くなること、また、水セメント比を大きくして高性能減水剤を用いる場合には、セメントペーストが著しく軟らかくなることから起こる材料分離を防ぐために、砂セメント比を大きくするかまたは砂の最大寸法を小さくして、単位量中に占める骨材の表面積を増すことの必要性を表わしていると思われる。

図-7は、水セメント比が35%および45%の場合について、フライアッシュのセメント代替率($F/(F+C)$)と流下時間および平均的な流動勾配との関係を示したものである。今回測定を行つた範囲では、全シリーズを通じてフライアッシュの代替率が大きくなるに従い各流下時間は全般的に小さくなる傾向にあり、また、水セメント比が37%程度以下となるものを除けば、同様に平均的な流動勾配もフライアッシュの代替率が大きくな

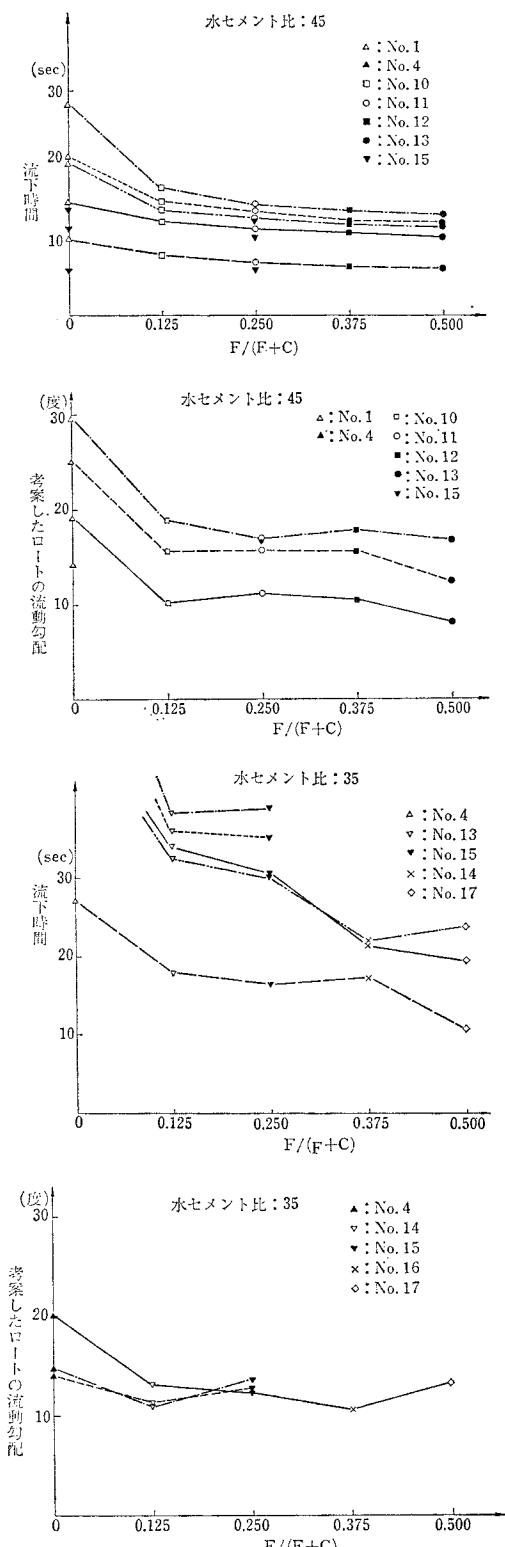


図-7 フライアッシュのセメント代替率 $[F/(F+C)]$ と測定結果との関係の例

るに従い全般的に小さくなる傾向にあった。しかし、高性能減水剤を用いた水セメント比が 37% および 35% のものは、フライアッシュの代替率がある限界値を超えるまではフライアッシュの代替率が大きくなるに従い平均的な流動勾配は小さくなるが、フライアッシュの代替率がある限界値を超えると、フライアッシュの代替率が大きくなるに従い平均的な流動勾配が逆に大きくなる傾向にあった。これは、高性能減水剤を用いた場合には、フライアッシュの代替率がある限度より大きくなると粘性が小さくなり材料分離が大きくなることによるものと思われる。そのため、図-4 の平均的な流動勾配と水セメント比の関係より求めた材料分離の程度が急激に大きくなると思われる水セメント比の限界は、高性能減水剤を用いた No. 4 および No. 14~17 の場合、フライアッシュの代替率が大きいほど小さくなる傾向になったと思われる。以上の傾向は、フライアッシュの代替率が大きくなると流下時間は小さくなるが、高性能減水剤を用いた場合には材料分離の傾向が大きくなる水セメント比の限界が小さくなることを意味しているものと思われる。

6. 結 論

今回の実験結果より、次のことが推定された。

(1) 今回考案したロートを用いた簡易なグラウトのコンシスティンシー測定方法によると、グラウトの流下時間および底面に残るグラウトの量（平均的な流動勾配）が同時に測定でき、グラウトの粘性係数のみならず平均的な流動勾配によっても注入時のグラウトの適用性を定量的に評価することができる。

(2) 今回考案したロートにグラウトを流し込んでから流出を開始するまでの静置時間を変化させることにより、注入時のグラウトの閉塞に関すると思われるグラウトの分離の程度およびこわばりの程度を定量的に評価することができる。

(3) グラウトの適用範囲を測定するには、グラウトの流下時間よりも平均的な流動勾配の方が適切である。また、グラウトの品質管理には、グラウトの平均的な流動勾配だけでなく流下時間も併用するのがよい。

(4) セメント砂比が 1:1 のプレパックド用グラウトの適切な流下時間は混和材料の種類により大きく変化するが、平均的な流動勾配は 10~13 度の範囲にあると思われる。

(5) グラウトを流し込んでから 2 秒後に流出を開始した場合において、単位水量と平均的な流動勾配との関係は単位水量と流下時間との関係に比べ混和材料の影響を大きく受け、相関性が薄いといえる。

(6) P ロートおよび J ロートによって測定した流下

時間は、今回考案したロートによって測定した流下時間とかなりよい相関関係を示したが、平均的な流動勾配とは、混和材料の影響を大きく受けたためほとんど相関関係を示さず、PロートやJロートの流下時間のみでグラウトのワーカビリチーを判定するのは困難であると思われる。

(7) 高性能減水剤を用いると使用可能な単位水量が著しく少なくなり、単位水量およびフライアッシュのセメント代替率がある限度より大きくなると分離の傾向が急激に大きくなることおよび高性能減水剤を用いて単位水量を大きくする場合には、分離の傾向を防ぐために、砂セメント比を大きくするかまたは砂の最大寸法を小さくする等の何がしかの方法を用いるのがよいことが確認された。

(8) 細骨材の最大寸法が大きくなるに従い、流下時間ならびに平均的な流動勾配は小さくなる傾向にあり、また、高性能減水剤を用いた場合の方がその他の混和材を用いたものよりも細骨材の最大寸法の影響を大きく受ける傾向にあることが確認された。

(9) 平均的な流動勾配の流下時間に対する比は、セメント砂比が1:1程度の場合、高性能減水剤を用いると著しく小さくなる。これは、高性能減水剤を使用した場合の適切な流下時間は従来の減水剤を使用した場合の適切な流下時間よりかなり大きくなることを表わしているといえる。

(10) フライアッシュのセメント代替率が大きくなると適切な単位水量が少なくなることが確認された。

(11) 今回考案したロートの試験結果のばらつきは、変動係数で平均3.4%と小さく、実用上十分な精度をもつといえる。

謝 辞：本研究は、東京大学において博士論文の作製を主目的として行われたもの一部であり、大局の方針決定を主として御指導賜った東京大学 樋口芳郎教授に心から感謝の意を表わす次第であります。また、本研究を続けるにあたり、常に便宜を図っていただいた法政大学 小林正几教授ならびに田中 弘助手、実験を行っていただいた住友セメント(株)の渡辺夏也、法政大学卒論生 岡本和宣、熱田昌紀、文献の調査にあたって協力していただいた関矢みち子、ならびにまとめるにあたり協力していただいた橋本昌子、西川久美子の関係各位皆様に深甚の謝意を表わす次第であります。

参考文献

- 長瀧重義・文 輵英：プレパックドコンクリート用注入モルタルの流動特性に関する研究、セメント技術年報 XXVIII, pp. 168~172, 1974年。
- 中村 伸・大沢清八：左官用セメントモルタルのポンプ輸送について、セメント技術年報 XIX, pp. 273~291, 1965年。
- 水口裕之・近藤明生・荒木謙一：フレッシュモルタルのレオロジー的性質に関する研究—細骨材粒度がレオロジー定数に及ぼす影響—、第33回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 119~120, 1978年。
- 野村芳太郎：軟練りモルタルの軟度測定特殊型稠度計、建築雑誌, pp. 1267~1280, 1935年11月。
- Raymonde D., E.C. Jansen and W.T. Neelands : Restoration of Barker Dam, Journal of A.C.I., pp. 633~667, Apr., 1948.
- 常山源太郎：注入用セメントおよびグラウトの性質と試験方法(1)・(2)、セメント・コンクリート, No. 155, pp. 3~10 および No. 156, 1960年1月, pp. 9~16, 1960年2月。
- 奥村忠彦・石塚敬之・金沢克義：若材令における注入モルタルのセン断特性について、第30回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 89~90, 1975年。
- 武川恵之助・奥村忠彦・金沢克義：若材令における注入モルタルのセン断特性について、コンクリート工学, Vol. 14, No. 11, pp. 7~15, 1976年11月。
- 菊川浩治：フレッシュコンクリートのレオロジーに関する基礎的研究、第27回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 5~8, 1971年。
- 西林新蔵・木山英郎・吉田和正(阪田憲次)：フレッシュコンクリートのレオロジー的性質に関する基礎的研究—三軸圧縮試験による一考察—、第29回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 79~80, 1974年(および第30回, pp. 103~104, 1975年)。
- Stamatopoulos A.C. and P.C. Kotzias : Concrete without Coarse Aggregate, A.C.I. Journal, pp. 704~711, Sept., 1971.
- 有泉 昌：フライアッシュの流動に関する実験、セメント・コンクリート, 134号, pp. 8~14, 1958年4月。
- 木村 熱・村田敦盛：メソソリーモルタルのレオロジー的挙動について、セメント技術年報 XIV, pp. 260~265, 1960年。
- 長野蘭蔵・和田尚志・西原 豊：塗装用セメントの研究、セメント技術年報 XV, pp. 137~145, 1961年。
- 木村 熱・高橋 泰・京塙賢二・羽藤美徳：セメントのプラスチシティ測定方法の研究、セメント技術年報 XVII, pp. 185~193, 1963年。
- 中村 伸・大沢清八：モルタルの流動性測定方法に関する研究、セメント技術年報 XVIII, pp. 215~219, 1964年。
- 木村 熱・瀬高龍輔：セメントモルタルのフロー試験方法の研究 ワーカビリチー測定装置として、セメント技術年報 XXIII, pp. 184~188, 1969年。
- JIS-A-6902 左官用消石灰, 1976年。
- 田中一彦・田沢栄一・橋本博和：PCグラウトの流動性の研究、セメント・コンクリート, No. 187, pp. 2~7, 1962年9月。
- 細谷繁好：セメントペースト部分の粘性について、セメント技術年報 XI, pp. 166~171, 1957年。
- 井上嘉亀・浅野駿吉・安部英司・木下 昇：セメントモルタルの空けき率について、セメント技術年報 XV, pp. 130~136, 1961年。
- 木村 熱：プラスチックセメントのレオロジー的研究、セメント技術年報 XVI, pp. 219~226, 1962年。
- 岩崎訓明：プレパックドコンクリートの施工方法に関する基礎的研究、土木学会論文報告集, 第98号, pp. 26~40, 1963年10月。
- 岡田 清・水口裕之：フレッシュモルタルのレオロジー定数に関する一実験、第26回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 237~238, 1971年。
- 西林新蔵・木山英郎・阪田憲次：フレッシュペーストな

- らびにモルタルの粘性的性質に関する基礎的研究, 第 26 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 239~242, 1971 年.
- 26) 長滝重義・文 翰英：高強度プレパックドコンクリートの基礎研究, 第 27 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 191~194, 1972 年.
- 27) 長滝重義・文 翰英：高強度プレパックドコンクリートに関する基礎的研究, セメント技術年報 XXVII, pp. 158 ~162, 1973 年.
- 28) 長滝重義・文 翰英・唐沢 潔：高性能減水剤を用いた注入モルタルの流動性に関する基礎的研究, 第 28 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 151~153, 1973 年.
- 29) 菊川浩治・杉山秋博：二重円筒型回転粘度計におけるコンクリートの流速分布について, 第 29 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 83~84, 1974 年.
- 30) 長滝重義・米倉亜州夫：回転粘度計によるモルタルの流動性解析の一考察, セメント技術年報 XXIX, pp. 207~212, 1975 年.
- 31) 菊川浩治：回転粘度計によるフレッシュコンクリートのレオロジー定数測定方法, 第 30 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 96~97, 1975 年.
- 32) 長滝重義・米倉亜州夫・丸山 博：フレッシュモルタルの流動性に関する研究, 第 30 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 98~100, 1975 年.
- 33) 村田二郎：まだ固まらないコンクリートのレオロジーに関する基礎的研究, コンクリート工学, Vol. 15, No. 1, pp. 25~34, 1977 年 1 月.
- 34) 角田 忍・明石外世樹：パルス波によるフレッシュモルタルの物性測定に関する一実験, 第 28 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 144~145, 1973 年.
- 35) 西林新蔵・木山英夫・井上正一：フレッシュコンクリートのレオロジーの性質に関する基礎的研究, 第 30 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 105~106, 1975 年.
- 36) 角田 忍：フレッシュコンクリートの複合機構がレオロジー特性に及ぼす影響, 第 31 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 270~271, 1976 年.
- 37) 角田 忍・明石外世樹：フレッシュコンクリートの音速について, 第 33 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 133~134, 1978 年.
- 38) 水口裕之・安永正三：フレッシュモルタルのレオロジー定数測定法, セメント技術年報 XXVII, pp. 186~191, 1973 年.
- 39) 水口裕之・藤崎 茂・大城豊治：フレッシュコンクリートの塑性粘度および降伏値の測定, セメント技術年報 XXVII, pp. 154~158, 1974 年.
- 40) 水口裕之・入山佳治・荒木謙一：細骨材料がフレッシュモルタルのレオロジー定数に及ぼす影響, 第 32 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 398~399, 1977 年.
- 41) Bates, P.H. and J.R. Dwyer : Cement as a Factor in the Workability of Concrete, Journal of A.C.I., pp. 43~55, 1928.
- 42) Clark, B.E. : Theoretical Basis of Pressure Grout Penetration, Journal of A.C.I., pp. 215~224, Oct., 1955, Discussion, Part II, pp. 1161~1164, Dec., 1956.
- 43) 明石外世樹・葛目和宏：フレッシュコンクリートの振動時の粘性について, セメント技術年報 XXVI, pp. 272~274, 1972 年.
- 44) 水口裕之・安永正三：フレッシュモルタルの配合と塑性粘度および降伏値との関係, 第 28 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 142~143, 1973 年.
- 45) A.C.I. Committee 304 : Preplaced Aggregate Concrete for Structural and Mass Concrete, A.C.I. Journal, pp. 788~790, Oct., 1969.
- 46) 横道英雄：プレストレストコンクリート用グラウトの品質と試験方法に関する研究, セメント・コンクリート, 158 号, pp. 2~9, 1960 年.
- 47) 村上義彦：PC グラウトの練り混ぜについての実験, プレストレストコンクリート, Vol. 2, No. 2, pp. 28~33, 1960 年.
- 48) 木庭宏美・有吉保憲：プレパックドコンクリート工法における粗骨材空隙中のモルタルの流動と粗骨材の粒径について, 運輸技術研究所報告, 第 11 卷, 第 5 号, pp. 15 ~26, 1961 年 5 月 30 日.
- 49) 赤塚雄三：注入モルタルの流動性測定について, 土木学会誌, pp. 71~73, 1963 年 5 月.
- 50) 大沢清八：左官材料の流動性測定に関する研究, セメント技術年報 XVI, pp. 231~235, 1962 年.
- 51) 長滝重義・米倉亜州夫・長瀬秀喜：円錐管によるセメントモルタルの流動性解析, セメント技術年報 XXX, pp. 273~277, 1976 年.
- 52) 横道英雄・伊福部宗夫：北海道土木技術会制定「PC グラウト注入施工指針」について, 第 14 回土木学会年次学術講演会講演概要集 I, p. 44, 1959 年.
- 53) 横道英雄・林 正道・尾崎 誠：PC グラウトの品質試験方法について, 第 14 回土木学会年次学術講演会講演概要集 I, p. 45, 1959 年.
- 54) 武田昭彦・小野誠一：PC グラウトに関する一実験, セメント技術年報 XV, pp. 360~365, 1961 年.
- 55) 吉田 弘・土田秀郎：沈埋箇底部袋モルタル注入について, 第 26 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 123~124, 1971 年.
- 56) 村田二郎・鈴木一雄：傾斜管によるグラウトのコンシスタンシー試験法, 第 33 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 131~132, 1978 年.
- 57) 村田二郎・鈴木一雄：無收縮グラウトの流動特性, セメント技術年報 XXXII, pp. 386~389, 1978 年.
- 58) 中川三郎：圧入コンクリートの実験, 第 10 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, p. 125, 1954 年.
- 59) 原島龍一・剣持三平・伊東靖郎：高強度スラリー・モルタルの特性について, 第 33 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 223~224, 1978 年.
- 60) 桜井紀明・藤山三郎・谷 建史：プレパックドコンクリートの施工実験と実験体取扱いによる内部観察について, 第 22 回土木学会年次学術講演会講演概要集 IV, p. 73, 1967 年.
- 61) 宮坂維新・原田 宏・大友忠典：プレパックドコンクリート工法における注入モルタルの分離について, 第 23 回土木学会年次学術講演会講演概要集 IV, pp. 193~194, 1968 年.
- 62) 長滝重義・文 翰英・長瀬秀喜：注入モルタルの流動性と強度に関する研究, 第 29 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 64~65, 1974 年.
- 63) 桜井紀明・宗澤修郎・太田 孝・古賀和敏：大寸法の砕石を用いたプレパックドコンクリートについての実験的研究, 第 25 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 31~34, 1970 年.
- 64) 久保直志・藤倉 徹：プレパックド用グラウトの粘性, 流動性について, 第 31 回土木学会年次学術講演会講演概要集 V, pp. 282~283, 1976 年.

(1980.2.14・受付)