

# 論文 フレッシュモルタルのレオロジー性質に及ぼす骨材相の影響

渡辺 健治<sup>\*1</sup> ・ 小野 博宣<sup>\*2</sup>

**要旨：**本研究では、経時的あるいはポンプ圧送などによって変化していくコンクリートのレオロジー的な性質に注目し、これを室内でシミュレートすることを最終目的として、モルタルを用いて実験を行った。再攪拌による試料のレオロジー性質の変化は、経時変化とは異なり、特定のせん断応力度を基点に変化していく様子が観察された。このレオロジー性質の変化の程度は、骨材相によって異なることを実験的に検討した。また、同様な状況はコンクリートを用いた実験でも確認された。

**キーワード：**フレッシュコンクリート、フレッシュモルタル、レオロジー、ポンプ圧送。

## 1. はじめに

コンクリートをポンプ圧送する時に、スランプフローが低下することはよく知られており、それは単位セメント量の多い高強度コンクリートでは顕著である。しかし、現場で流動化した場合や遅延形の高性能AE減水剤を用いた場合には、同じスランプであっても、標準形を使った場合に比べてスランプロスが少ないなど、ポンプ圧送によるコンクリートの品質変化は、いまだ合理的に解明されているとはいえない。

そこで筆者らは、フレッシュコンクリートのポンプ圧送による品質変化（スランプロス）のメカニズムを解明することを最終目的として、室内実験的にフレッシュコンクリートの品質変化を検討してきた<sup>1),2)</sup>。本研究では、ミキサを用いた再攪拌によってフレッシュモルタルの流動性が変化する点に着目し、モルタル中の骨材相とレオロジー性質の変化について実験的な検討を行った。また、さらに骨材を増やしたコンクリートの場合についても若干の検討を加えた。

## 2. モルタル実験の概要

### 2.1 使用材料

セメントには普通ポルトランドセメントを用い、骨材には2.5mm以下の木曽川系川砂（比重2.56）を表乾状態で用いた。高性能AE減水剤

は、ポリカルボン酸塩系の高性能AE減水剤（標準形）を用いた。

### 2.2 調合条件

実験では、表-1に示すような調合条件の試料を用いた。水セメント比（W/C）は30%および35%とし、セメントに対する骨材の重量比（S/C）はそれぞれ1.2および1.3を中心に±0.1の調合を用意した。試料の練り上がり時の0打モルタルフロー値が210mm±5mmの範囲におさまるよう、高性能AE減水剤の添加量を調節した。

### 2.3 試験測定項目

試料のレオロジー性質（降伏値および塑性粘度）は、0打モルタルフロー試験およびロート流下試験で簡易に測定した。降伏値を推定するために用いた0打モルタルフロー試験とは、JIS R 5201で用いられるモルタルフロー試験と同様の手順だが、15回の落下を行わず、コーンを引き上げた時

表-1 モルタルの調合表

| Series | W/C | S/C | Ad  |
|--------|-----|-----|-----|
| M3011  | 30% | 1.1 | 1   |
| M3012  |     | 1.2 | 0.9 |
| M3013  |     | 1.3 | 0.8 |
| M3512  | 35% | 1.2 | 0.9 |
| M3513  |     | 1.3 | 0.9 |
| M3514  |     | 1.4 | 0.9 |

註) W/C:水セメント比, S/C:細骨材-セメント重量比, Ad:高性能AE減水剤の添加量(%)

\*1 中部大学講師 工学部建築学科 工博 (正会員)

\*2 中部大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

に、自重で崩れた試料の拡がり直径（0打モルタルフロー値）を測定する方法である。

塑性粘度を推定するために用いたロート試験では、Jロート（JSCE-F541）の吐出口が、11、14および17mmとなるように切断したそれぞれJ11、J14およびJ17ロートを用いた。塑性粘度を算定する場合には、3種類のロートそれぞれで推定された塑性粘度の平均をとって塑性粘度とすることにした。0打モルタルフロー試験および各種Jロート試験を用いたレオロジー定数の簡易推定手法の詳細については既往の研究を参照されたい<sup>1)</sup>。

## 2.4 実験手順

試料はホバートミキサー（容量20リットル）で2リットル練りとした。混練手順としては、空練りの後、高性能AE減水剤の入った混練水を添加して150秒間混練した。練上り直後に0打モルタルフロー試験を行って、目的のコンシステンシーになっていることを確認してからロート試

験を行い、レオロジー定数を測定した。

経時変化実験では、練り上がりから30毎に90分後までレオロジー定数を測定した。再攪拌実験では、練り上がりから30分後に1～30分程度ミキサーで攪拌し、試料の流動性の違いを検討した。

## 3. モルタル実験結果と考察

### 3.1 経時変化

試料の練り上がりから90分後までの0打モルタルフローおよびJ14ロート流下時間の変化を図-1および図-2にそれぞれ示す。30分後に一旦やや軟らかくなる傾向もみられるが、全体には時間とともにフローダウンしており、流下時間も増加している。

0打モルタルフロー値およびロート流下時間を用いて試料のレオロジー定数を推定した結果を図-3および図-4に示す。多少のバラツキはみられるものの、降伏値は100Pa程度からはじまり90分後

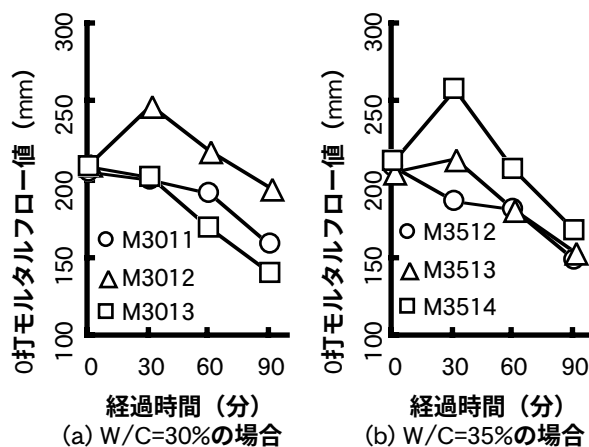


図-1 0打モルタルフロー値の経時変化

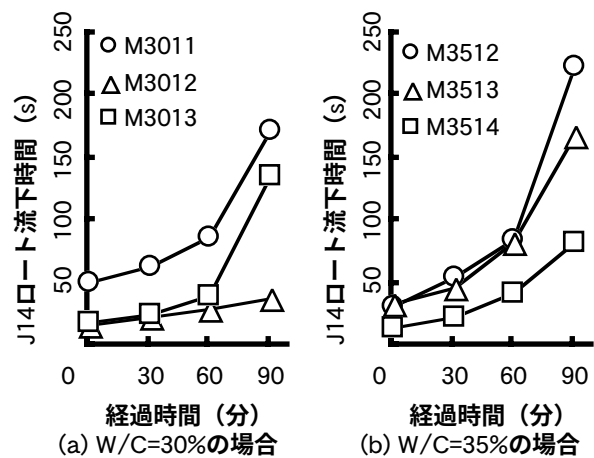


図-2 J14ロート流下時間の経時変化

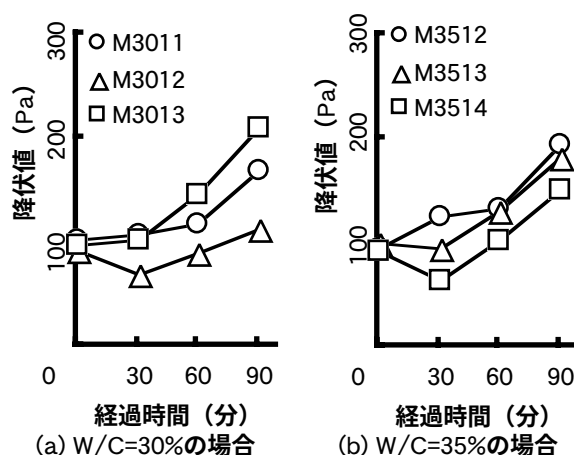


図-3 降伏値の経時変化

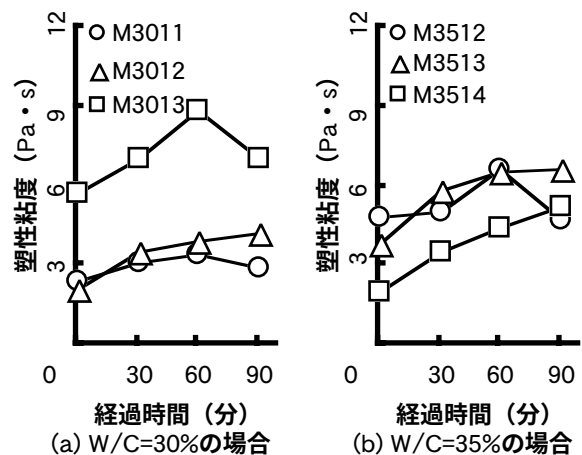


図-4 塑性粘度の経時変化

には200Pa程度まで増加している。同様に、塑性粘度も時間とともに増加している様子が観察される。

### 3.2 再攪拌による変化

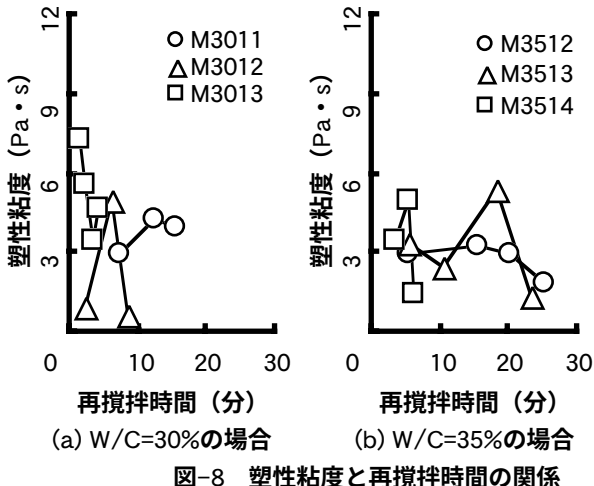
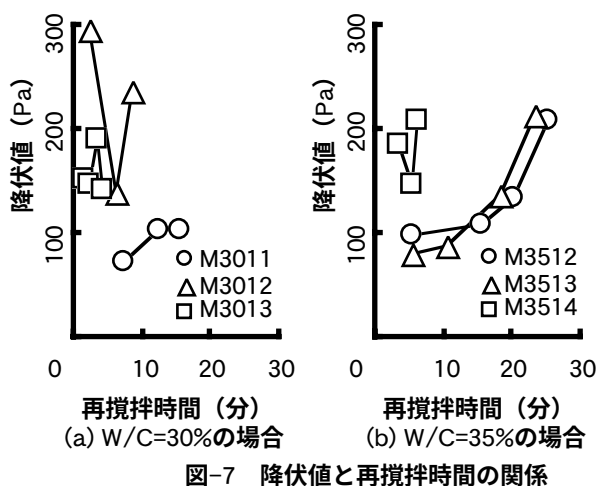
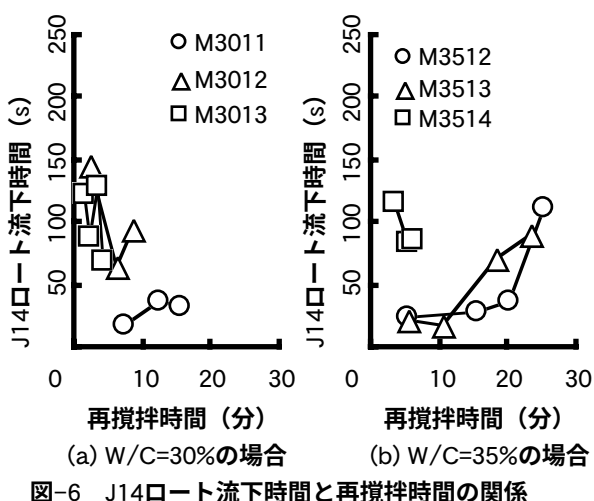
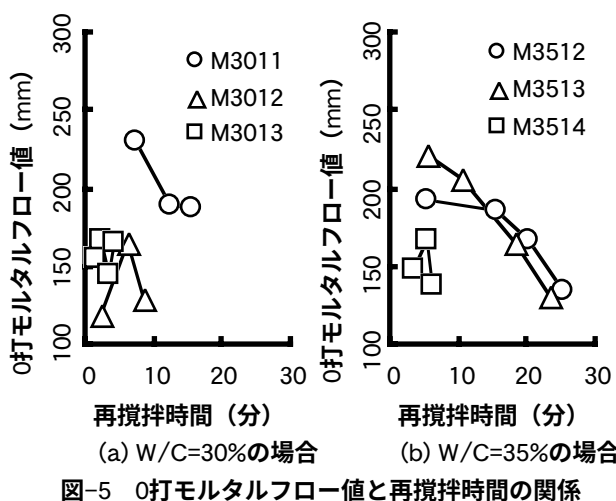
経時変化と同様に、30分後に再度攪拌した試料の、再攪拌時間と0打モルタルフローおよびJ14ロート流下時間の変化を図-5および図-6にそれぞれ示す。再攪拌時間は1分から最大で20分を超えており、試験値には、せん断力の影響の他に、経時変化の影響も含まれていることになる。W/C=30%のシリーズが再攪拌時間とあまり相関がみられないものの、W/C=35%のシリーズでは、攪拌時間が增加するほど0打モルタルフロー値が小さくなる傾向が観察される。また、ロート流下時間も攪拌時間の増加とともに増加している。

0打モルタルフロー値およびロート流下時間を用いて試料のレオロジー定数を推定した結果を

図-7および図-8に示す。多少のバラツキはみられるものの、W/C=35%のシリーズでは、攪拌時間が増加するほど降伏値が増加する傾向がみられる。一方、塑性粘度の変化を示した図-8によれば、全体的には再攪拌時間の増加とともに塑性粘度が小さくなる傾向は読み取れるものの、個々のデータにはバラツキが大きかった。これは、降伏値が大きいほどロート内部で閉塞ぎみとなったことも一因と考えられる。

### 3.3 コンシステンシー曲線による検討

コンシステンシー座標（ひずみ速度-せん断応力度の関係図）の上に、コンシステンシー曲線（レオロジー性質から算定した試料の流動曲線）をプロットし、せん断応力を受けた試料のコンシステンシー曲線が、どのような変化を示すかを検討した。コンシステンシー曲線の変化の一例を、経時変化の場合および再攪拌による場合それぞれ図-9および図-10に示す。紙面の都合から、それ



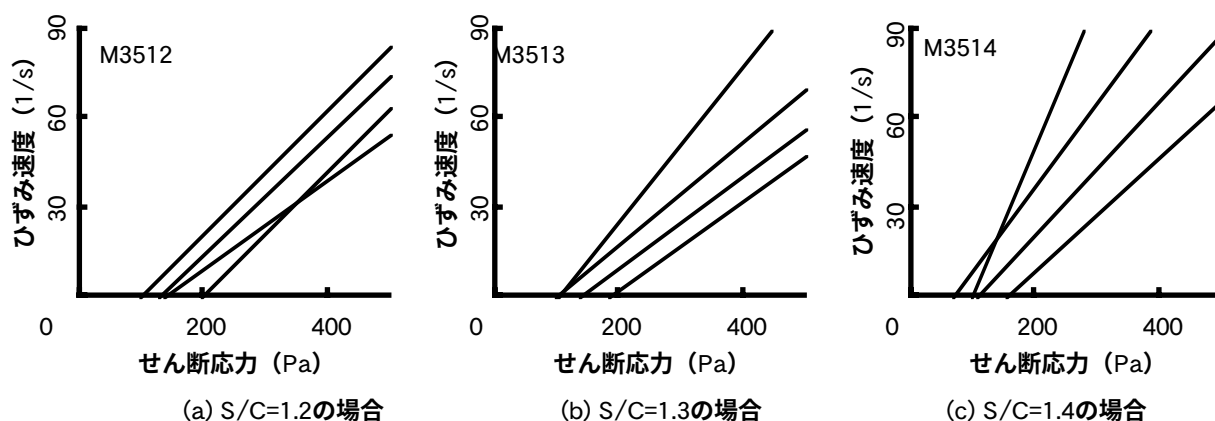


図-9 コンシステンシー曲線の一例（経時変化）

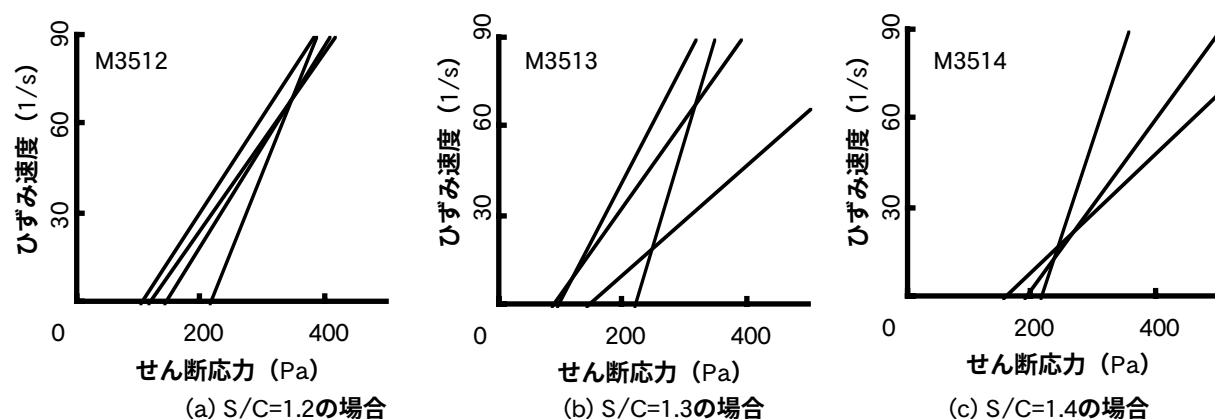


図-10 コンシステンシー曲線の一例（再攪拌）

それぞれの図にはW/C=35%の場合を例示した。経時変化の場合は、全体として、コンシステンシー曲線は平行あるいはやや上に開くような形で散在していることが分かる。一部例外的な点もあるが、曲線が交わることはほとんどない。ところが、再攪拌の場合は、コンシステンシー曲線がとある特定のせん断応力レベルで交差する現象が観察されている。図-10(b)に多少のバラツキがみられるものの、図-9と比較すると、交点を有するか否かの違いは明瞭である。

細骨材-セメント比 (S/C) と図-10で得られたコンシステンシー曲線の交点におけるせん断応力の関係をプロットしたものを図-11に示す。交点が複数得られた場合は、全ての交点の平均値を採用した。図中にはW/C=30%の場合も併記したが、M3011 (W/C=30%でS/C=1.1の場合) は、交点が得られなかったため、図中にはプロットしていない。細骨材-セメント比 (S/C) が大きくなるほど、交点におけるせん断応力が減少する傾向がみられ、両者に相関関係があるものと推

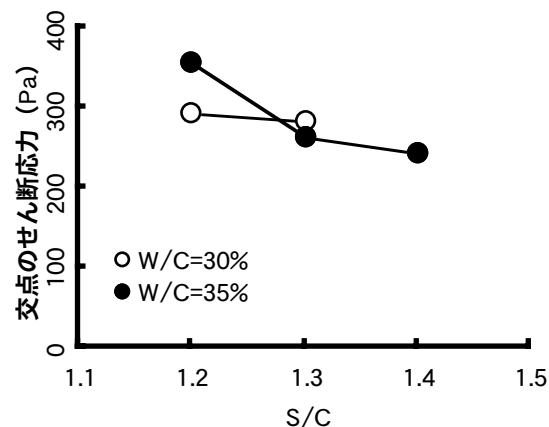


図-11 S/Cとコンシステンシー曲線交点におけるせん断応力の関係

測できる。

再攪拌中の試料は、何らかのせん断応力状態に置かれており、その時間の長短を今回の実験ではパラメータとした。モルタル試料をペーストと細骨材から成る2相材料と仮定すると、全体系としては同じせん断変形であっても、ペースト部分の変形量は、単位ペースト量によって異なる。単位ペースト量の違いとは、図-11中でW/CやS/Cとして表現されており、実際にせん断変形するペース

トの質と量によってコンシステンシー曲線の交点の応力状態が異なってくると考えられる。

## 4. コンクリート実験

### 4.1 実験の概要

細骨材を含むモルタルを巨視的にマトリックスと考え、粗骨材相とマトリックス相から成るコンクリートを再攪拌した場合のレオロジー性質の変化についても、若干の検討を行った。実験の詳細については既報<sup>2)</sup>を参照されたい。

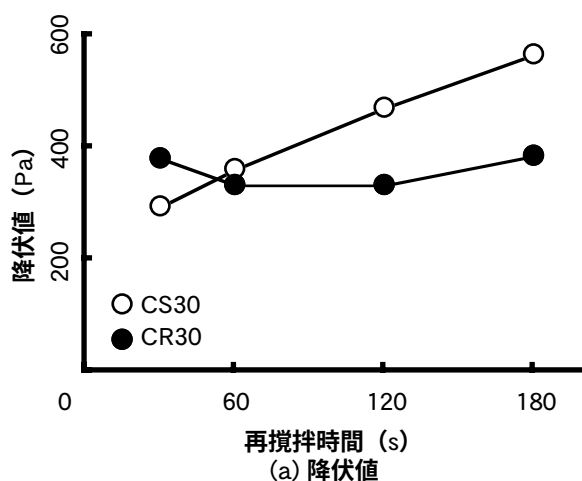
実験に用いた試料の標準調合を表-2に示す。標準形の高性能AE減水剤（ポリカルボン酸系）を用いたCS30は、練上がり時の目標スランプフローを60cmとし、高性能AE減水剤の添加量で管理幅±1.5cmとなるように調整した。遅延形の高性能AE減水剤を用いたCR30の場合は、CS30と同量の高性能AE減水剤の添加量で実験を行い、練上がり直後のスランプフロー値は管理しなかった。

実験では、モルタル実験と同様に、一旦練り上がったコンクリートを30分後に再度コンクリートミキサ（1軸強制練り、容量50リットル）で攪拌し、攪拌時間とフレッシュコンクリートの品質変化を検討した。

表-2 コンクリートの標準調合 (kg/m<sup>3</sup>)

| W/C | s/a | Air | W   | C   | S   | G   | Ad    |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 30% | 50% | 2%  | 170 | 567 | 807 | 816 | 1.2%C |

註) W/C:水セメント比, s/a:細骨材率, Air:空気量, W:水, C:セメント, S:細骨材, G:粗骨材, Ad:高性能AE減水剤の添加量。



### 4.2 レオロジー性質の変化

モルタル実験と同様に、再攪拌によるコンクリートのレオロジー性質（降伏値および塑性粘度）の変化を図-12に示す。標準形の高性能AE減水剤を使ったCS30は、再攪拌時間の増大とともに、降伏値も増加しているものの、遅延形を使ったCR30は、再攪拌時間が増加してもそれほど降伏値には大きな変化はみられなかった。また図-12(b)に示す塑性粘度に注目すると、いずれの種類の高性能AE減水剤を用いた場合でも、再攪拌時間が増加するほど塑性粘度は減少していった。

### 4.3 コンシステンシー曲線

モルタル実験と同様に、再攪拌によるコンクリートのコンシステンシー曲線の変化を図-13に示す。同図によれば、標準形の高性能AE減水剤を用いたCS30の場合は、明瞭なコンシステンシー曲線の交点が得られるものの、遅延形の高性能AE減水剤を用いたCR30の場合は、明瞭な交点が得られなかった。CS30の交点のせん断応力およびひずみ速度はそれぞれ約720Paおよび10.2/sであった。

ミキサによる再攪拌のようなせん断力が加わるにより、コンクリートのコンシステンシー曲線が、このように特定の応力状態（図-13(a)でいう交点）を通過しながら変化すると仮定すれば、再攪拌時間の大小によってコンクリートのレオロジー性質がどのように変化するかを予測する手がかりになると考えられる<sup>3)</sup>。

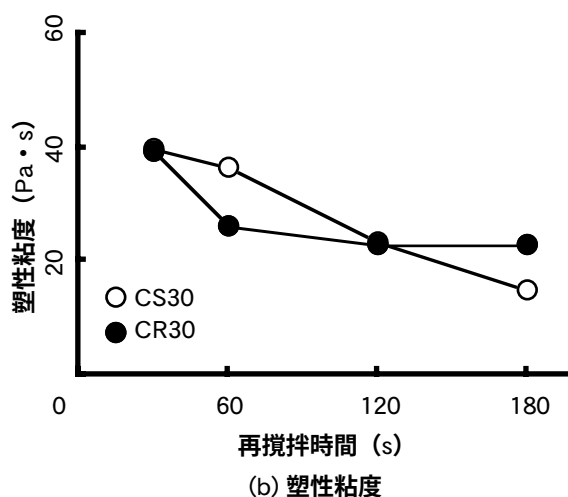


図-12 再攪拌によるレオロジー性質の変化（コンクリート）

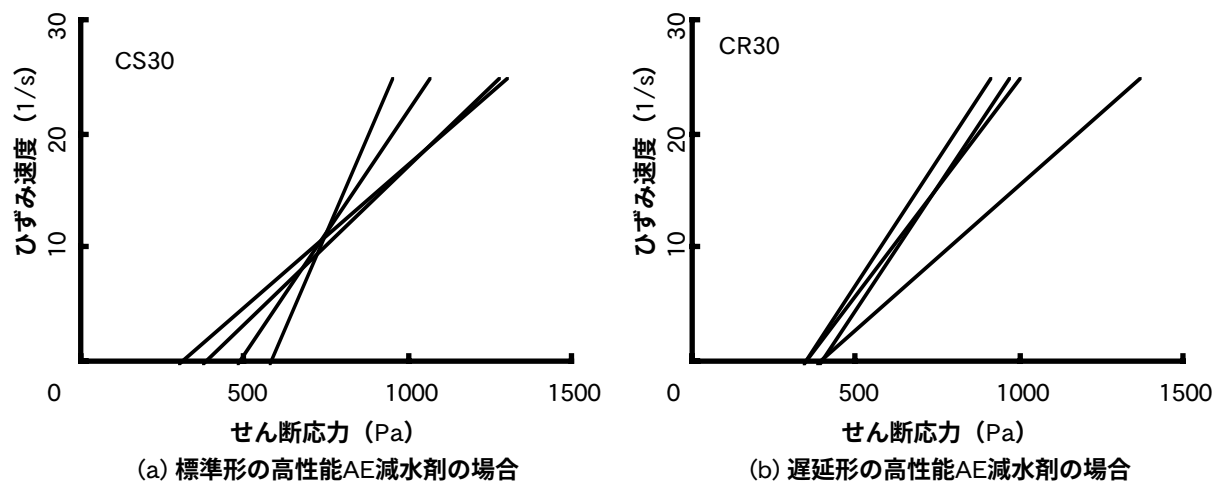


図-13 コンクリートのコンシステンシー曲線（再攪拌）

## 5. まとめ

本研究では、せん断力を受けるフレッシュモルタルのレオロジー性質の変化について、骨材相に注目して実験的に検討を行った。また、より骨材相の影響を受け易いコンクリートの場合についても若干の実験的な検討を加えた。

練り上がったモルタルあるいはコンクリートを再度ミキサに投入し攪拌することによってせん断力を付与したときに、降伏値は増加するものの、塑性粘度は減少する傾向を示した。試料のレオロジー性質が経時変化する場合は、塑性粘度は増加傾向にあるため、経時変化とせん断力を受けた時のレオロジー性質の変化の仕方には違いがあることが分かった。さらに、コンシステンシー座標上に試料のコンシステンシー曲線を描くと、特定のせん断応力レベルのところでコンシステンシー曲線どうしが交差する現象が認められた。この曲線が交差する点のせん断応力度レベルは、骨材相の大小によって変化していることが分かった。

せん断力を受けるコンクリートのレオロジー性質の変化の構成即が分かれば、将来的に、高

い圧力とせん断力を受けるポンプ圧送前後のフレッシュコンクリートの品質変化を事前に予測する手がかりになると考えられる。今後、実際のポンプ圧送前後のコンクリートのレオロジー性質の変化について検討をすすめる予定である。

## 謝辞

本研究は、佐久間厚志君、土方利浩君、平松千永君の助力を得た。また、本研究費の一部は、文部省科学研究費補助金・奨励研究(A)およびハイテクリサーチセンター整備事業の援助によった。付記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 渡辺健治, 小野博宣, 谷川恭雄: フレッシュモルタルのレオロジー性質に及ぼす再攪拌の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.2, pp.427-432, 2000.7
- 2) 渡辺健治, 小野博宣: フレッシュコンクリートのレオロジー性質に及ぼす再攪拌の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2, pp.295-300, 2001.7