

論文 高流動コンクリートのレオロジー定数に及ぼす配合要因の影響

吉野 公^{*1}・西林新蔵^{*2}・井上正一^{*3}・黒田 保^{*4}

要旨：本研究においては、水セメント比、細骨材容積割合の異なるモルタルにおいて、増粘剤、高性能AE減水剤によって、任意のレオロジー定数を得る手法を検討するとともに、これらのモルタルに粗骨材を加えたときのコンクリートのレオロジー定数を検討した。その結果、水セメント比、細骨材容積割合の変化がモルタルのレオロジー定数に及ぼす影響の程度および任意のレオロジー定数を得るための増粘剤添加率の選択方法が明らかになるとともに、余剰モルタル膜厚とモルタルの塑性粘度から増粘剤系高流動コンクリートの塑性粘度を予測できることが明らかとなった。

キーワード：高流動コンクリート、増粘剤、レオロジー定数、粘度式、余剰モルタル膜厚

1. はじめに

高流動コンクリートの配合設計においては、その自己充填性の観点から、単位粗骨材容積を適切に選択するとともに、適切な流動性を持つモルタルを製造することが重要である。すなわち高流動コンクリートの配合設計はコンクリートをモルタルマトリックスと粗骨材からなる2相材料という考え方にに基づき行われるのが通常である。

そこで、本研究においては、まずモルタルの流動性を示すレオロジー定数（塑性粘度、降伏値）に関して、増粘剤と高性能AE減水剤を適切に用いて、モルタルの任意のレオロジー定数を得る手法を検討した。また、モルタルのレオロジー定数と単位粗骨材量から、高流動コンクリートの流動性を判断するレオロジー定数を予測する手法について、余剰モルタル膜厚とモルタルのレオロジー定数を用いて検討を行った。

2. 実験概要

使用した結合材は、普通セメント（比重：3.15、粉末度：3,150cm²/g）および高炉スラグ

微粉末（比重：2.89、粉末度：4,320cm²/g）である。混和剤として、ポリカルボン酸系の高性能AE減水剤、セルロース系およびグリコール系の増粘剤を用いた。また、粗骨材には碎石（比重：2.69、吸水率：0.80、F.M.：6.51、実積率：61.0%）、細骨材には砕砂と細かい陸砂を混合したもの（比重：2.67、吸水率：1.40、F.M.：2.72、実積率：67.3%）を用いた。

表-1および表-2にモルタルの配合条件、コンクリートの配合条件をそれぞれ示す。モルタルの配合においては、フローコーンを引き上げた直後のフロー値が240、260、280になるように高性能単位AE減水剤を添加した。また、コ

表-1 モルタルの配合条件

水結合材比	0.45, 0.50	
細骨材容積割合	0.47, 0.50, 0.52	
増粘剤の種類 (添加量 w×%)	セルロース系 (0.20~0.40)	グリコール系 (2.0~3.5)
高炉スラグ	0, 50%	-
フロー	240, 260, 280	
空気量	6.5±1.5%	

- | | | | |
|-------------|----------|----|-------|
| *1 鳥取大学講師 | 工学部土木工学科 | 工博 | (正会員) |
| *2 大阪産業大学教授 | 工学部土木工学科 | 工博 | (正会員) |
| *3 鳥取大学助教授 | 工学部土木工学科 | 工博 | (正会員) |
| *4 鳥取大学助手 | 工学部土木工学科 | 工修 | (正会員) |

ンクリートにおいては、試験を行ったモルタルの内、その塑性粘度が25~50Pa・sの範囲にあるものに対して、粗骨材容積を3水準に採り、試験を行った。

モルタルの練混ぜは、容量10リッターのモルタルミキサーを用い、土木学会の基準に準じて行ったが、全材料投入後の練混ぜ時間は120秒とした。一方、コンクリートの練混ぜは容量100リッターパン型ミキサを用い、モルタルを60秒間練り混ぜた後に粗骨材を加え、さらに90秒間練り混ぜた。また、一回の練混ぜは50リッターとした。レオロジー定数の測定はモルタルおよびコンクリートとも球引上げ粘度計¹⁾によって行った。

3. 結果および考察

3.1 モルタルのレオロジー定数に及ぼす配合要因の影響

コンクリートを粗骨材とモルタルからなる2相材料と考えると、コンクリートの流動性は粗骨材の量や物理的特性とモルタルのレオロジー定数に影響を受ける。モルタルのレオロジー定

表-2 コンクリートの配合条件

水結合材比	0.45, 0.50
単位粗骨材容積	0.50, 0.52, 0.54
スランプフロー	65±5 cm
空気量	4.5±1.5%

数が高流動コンクリートの間隙通過性や充填性に及ぼす影響は、配筋状態や単位粗骨材容積によるが、レオロジー定数がある値以下になると粗骨材の架橋が起こりやすく、コンクリートが閉塞しやすいことが明らかにされている²⁾。ここでは、増粘剤系高流動コンクリートのモルタルに着目し、モルタルの塑性粘度が一定となる条件を決定するために、配合要因として水セメント比(水結合材比)、細骨材容積割合、増粘剤の種類を選定し、モルタルのフロー(降伏値)別に増粘剤添加率がモルタルの塑性粘度および高性能AE減水剤添加率に及ぼす影響を検討した。

図-1に水セメント比0.45の場合の増粘剤添加率とモルタルのレオロジー定数および高性能A

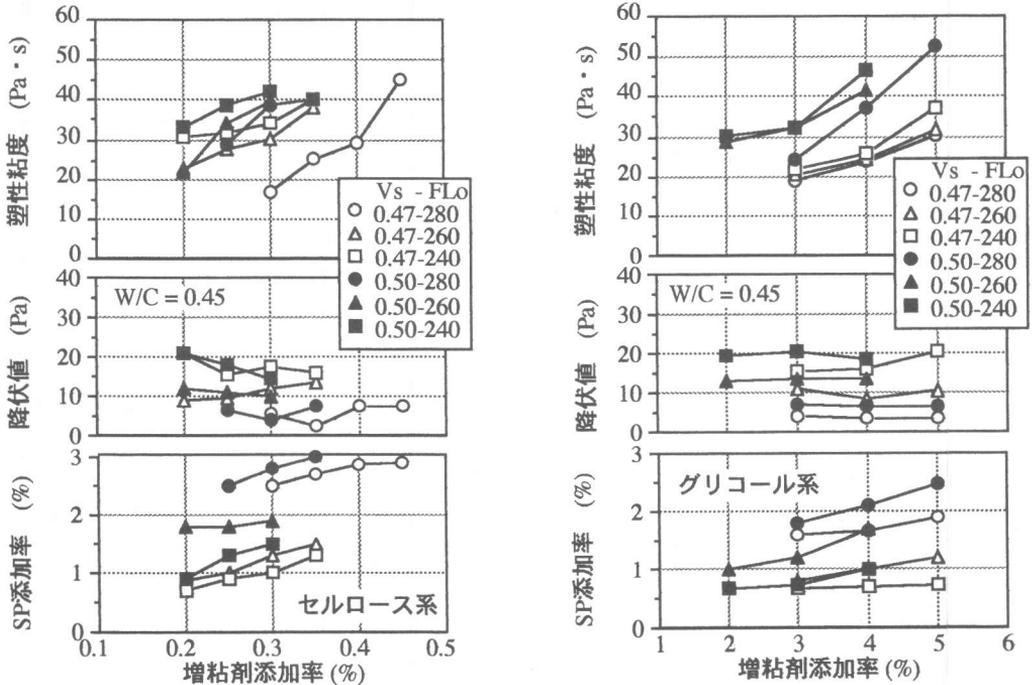


図-1 増粘剤添加率とモルタルのレオロジー定数およびSP添加率との関係

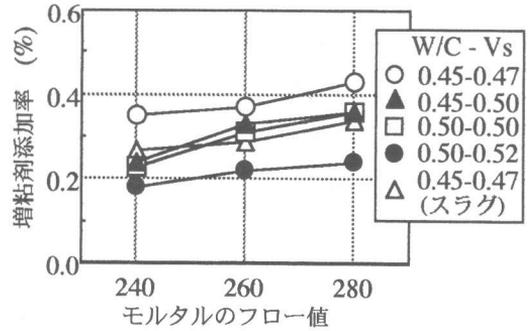
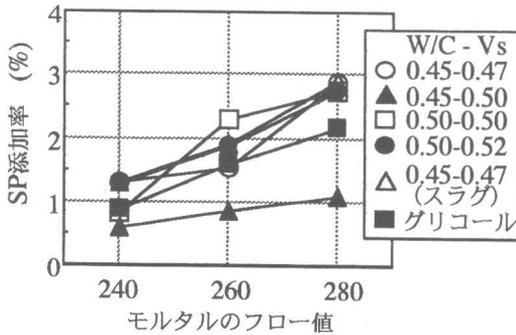


図-2 塑性粘度40Pa・sを得るための増粘剤添加率およびSP添加率

E減水剤 (SP) 添加率との関係を示す。セルローズ系、グリコール系とも、増粘剤添加率の増加に伴って塑性粘度は増加するが、塑性粘度を等しくするためには、細骨材容積割合 (Vs) が大きいほど増粘剤添加率が少なくてよいことがわかる。これは、連続相のペーストの粘度が同じ場合、分散相の細骨材が増加するとモルタルの粘度が増加するためと考えられる。また、増粘剤添加率が増加すると同一フロー (FL₀) を得るために必要なSP添加量が増加している。降伏値については、各フローごとにほぼ一定であるといえる。また、水セメント比0.50の場合においても同様の傾向がみられた。

図-2は、予備試験により、コンクリートにおいて良好な流動性および間隙通過性が得られた塑性粘度40Pa・sのモルタルを得るためのセルローズ系増粘剤添加率および所定のフロー値を得るために必要なSP添加率を示したものである。図より、細骨材容積割合が多い配合ほど、増粘剤量は少なくなることがわかる。また、所定のフロー値を得るために必要なSP添加率は、セルローズ系増粘剤よりもグリコール系増粘剤あるいはスラグを用いた方が少なくて済むことがわかる。

表-3は今回の実験から得られた図から読みとって求めた、水セメント比および細骨材容積割合が変化したときのモルタルのレオロジー定数を一定とするためのセルローズ系増粘剤と高性能AE減水剤の変化量を示したものである。所定のレオロジー定数を得るために、細骨材容

表-3 配合の変化に対する増粘剤と高性能AE減水剤の変化量

区分	増粘剤の変化 (W×%)	SPの変化 (C×%)
Vs : ±0.02	〒0.05~0.10	±0~0.5
W/C : ±0.05	±0.02	〒0.15~0.45

積割合あるいは水結合材比が変化すると、増粘剤および高性能AE減水剤の添加率を変化させる必要があることがわかる。したがって、塑性粘度および降伏値をある範囲に収めるため、増粘剤および高性能 (AE) 減水剤の種類あるいは組合せごとに表3に示すような関係を明らかにすることが必要であると考えられる。また、モルタルの配合修正において、レオロジー定数を増粘剤と高性能AE減水剤の添加率で調整することが必要となるが、その手法についてセルローズ系増粘剤を対象として検討した。

図-3はモルタルの塑性粘度を10Pa・s増加させるのに必要な増粘剤添加率を示したものである。この増粘剤添加率は、図-1に示した増粘剤添加率と塑性粘度との関係から、直線近似した式によって求めたものである。図より、配合条件および使用材料の違いによる明確な傾向は見られず、塑性粘度を10Pa・s増加させるのに必要な増粘剤添加率は0.05~0.15%の範囲である。また、同一フローを得るために増粘剤の増加とともに高性能AE減水剤の添加率も増加する必要がある。

図-4は、増粘剤添加率を変化した場合に必要な

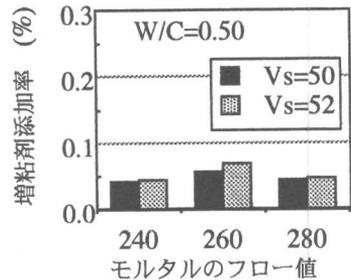
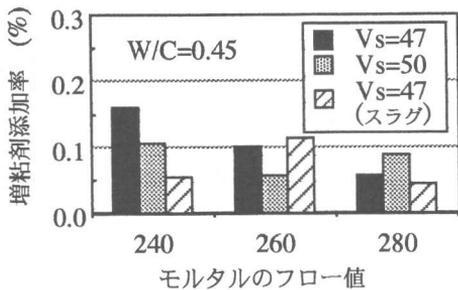


図-3 塑性粘度10Pa・s増加させるために必要な増粘剤添加率

な高性能A E減水剤の添加率を示したものである。図より、配合にかかわらず、増粘剤添加率の増加にともない、高性能A E減水剤の添加率も直線的に増加していることがわかる。したがって、増粘剤および高性能A E減水剤の種類あるいは組合せごとにこのような関係が求めれば、増粘剤系高流動コンクリートの配合修正に大いに役立つと考えられる。

3.2 コンクリートのレオロジー定数の検討

図-5に単位粗骨材容積を0.52と一定としたときの、モルタルのフローとコンクリートのスランプフローおよびレオロジー定数との関係の一例を示す。ここでのモルタルは、塑性粘度が約40Pa・sの配合のモルタルであり、コンクリートからウェットスクリーニングにより取り出したモルタルのフローおよびレオロジー定数を測定したところ、所定のモルタルが得られていた。

図より、モルタルのフローが大きくなるにしたがって、コンクリートの降伏値は小さくなっているが、この程度の降伏値の差は、スランプフローでは、65±5cmの範囲にあることがわかる。また、塑性粘度は、モルタルの塑性粘度が等しく単位粗骨材容積も等しいことから、ほぼ一定の値となった。

図-6に単位粗骨材容積とコンクリートのスランプフローおよびレオロジー定数との関係の一例を示す。ここでは、単位粗骨材容積-モルタルのフローの組合せとして、コンクリートの降伏値がほぼ同程度になるように、0.50-240, 0.52-260, 0.54-280と設定した。また、モルタル

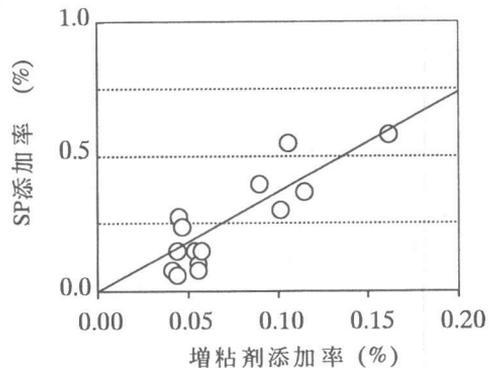


図-4 増粘剤添加率とSP添加率との関係

ルの塑性粘度は約40Pa・sである。図より、単位粗骨材容積が増加するのにもなってモルタルのフローを増加させたため、降伏値の変化は、図-5よりも小さくなった。一方、塑性粘度は、単位粗骨材容積が増加するのにもなって増加する傾向を示した。

本研究で設定したモルタルのフローの範囲では、モルタルのフロー（降伏値）がコンクリートのスランプフロー（降伏値）に及ぼす影響はほとんど見られなかった。一方、コンクリートの塑性粘度は単位粗骨材容積およびモルタルの塑性粘度の影響を受けた。そこで、コンクリートの塑性粘度と単位粗骨材容積およびモルタルの塑性粘度との関係を、コンクリートを分散相が粗骨材、連続相がモルタルである高濃度サスペンションと考えることによって考察した。すなわち、余剰モルタル膜厚とモルタルの塑性粘度から増粘剤系高流動コンクリートの塑性粘度の予測手法の検討を行った。

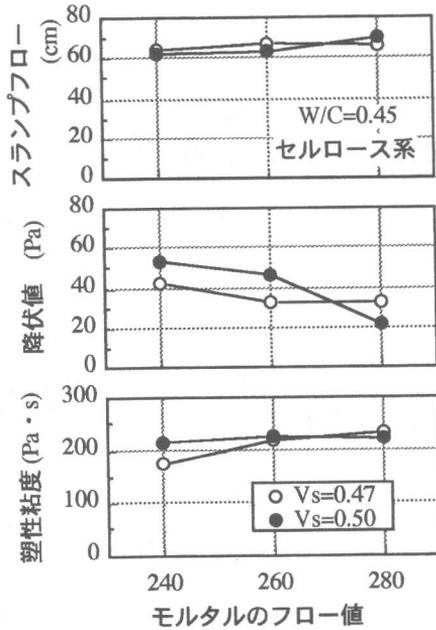


図-5 モルタルのフロー値がコンクリートの流動性に及ぼす影響

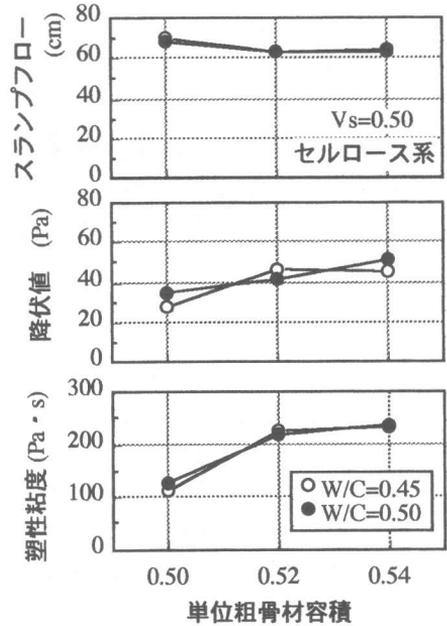


図-6 単位粗骨材容積がコンクリートの流動性に及ぼす影響

図-7に余剰モルタル膜厚と相対粘度との関係を粉体系高流動コンクリートの結果³⁾とともに示す。なお、余剰モルタル膜厚は以下の式で計算した。

$$F_m = \frac{1 - V_g \times 10^2 / C_g}{S_g \times V_g} \times 10 \quad (1)$$

ここで、 F_m は余剰モルタル膜厚 (mm)、 V_g は粗骨材の容積割合、 C_g は粗骨材の実積率 (%)、 S_g は粗骨材の比表面積 (cm^2/cm^3) である。また、相対粘度はコンクリートの塑性粘度をモルタルの塑性粘度で除したものである。

図より、粉体系、増粘剤系にかかわらず、余剰モルタル膜厚の増加に伴い相対粘度は減少しているが、同一余剰モルタル膜厚では、セルローズ系増粘剤を用いたものが粉体系よりも小さな相対粘度を示す傾向にある。著者らは既往の研究において、粉体系高流動コンクリートの余剰モルタル膜厚と相対粘度 (η_r) との関係について次式を得ている³⁾。

$$\eta_r = -4.5F_m + 19.0 \quad (2)$$

式(2)とモルタルの塑性粘度から計算したコンクリートの塑性粘度と実験から得られたコンクリ

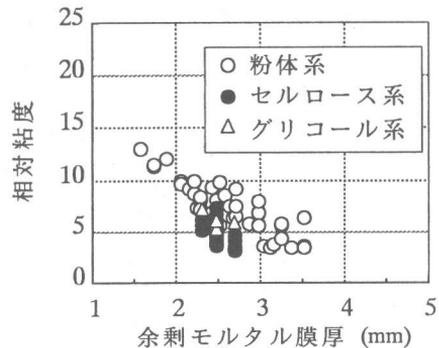


図-7 余剰モルタル膜厚と相対粘度との関係

ートの塑性粘度とを対応させたものを図-8に示す。図より、粉体系およびグリコール系は式(2)とモルタルの塑性粘度から、コンクリートの塑性粘度がある程度推定できるが、セルローズ系では、計算値の方が実験値よりもかなり大きな値を示すことがわかる。セルローズ系増粘剤には、潤滑性があることが認められており、古澤ら⁴⁾は、モルタル試験において、セルローズ系の増粘剤は増粘作用を有するとともに、増粘剤が細骨材およびセメント粒子に吸着し、それら粒子間の摩擦力を低減させる潤滑作用を報告して

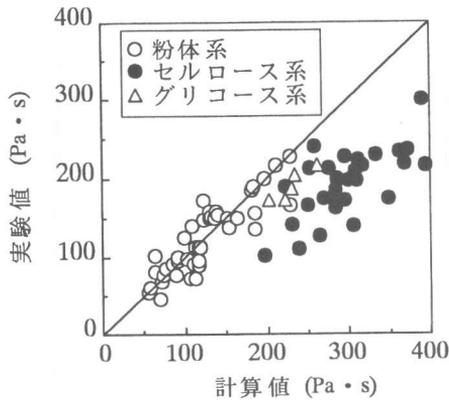


図-8 計算値(式(2))と実験値との比較

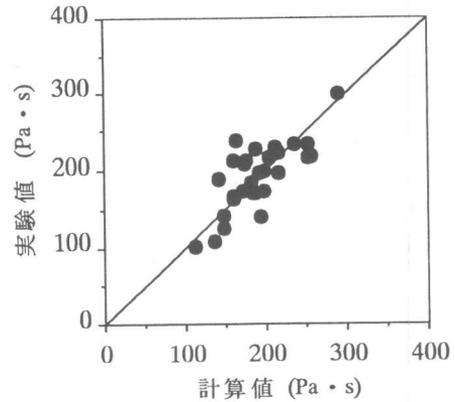


図-9 計算値(式(3))と実験値との比較

いる。このセルローズ系増粘剤の潤滑性のため、コンクリートを高濃度サスペンションと考えたとき予想されるコンクリートの塑性粘度より低い値となり、粉体系およびグリコール系と比較して同じ余剰モルタル膜厚において小さな相対粘度となったものと考えられる。したがって、セルローズ系増粘剤を用いた高流動コンクリートの塑性粘度をそのモルタルの塑性粘度から予測するためには、セルローズ系に適用できる式が必要である。

本研究で得られたデータに基づいてセルローズ系における余剰モルタル膜厚と相対粘度との関係を直線近似すると次式が得られた。

$$\eta_r = -5.3Fm + 18.2 \quad (3)$$

式(3)とモルタルの塑性粘度から計算したセルローズ系高流動コンクリートの塑性粘度と実験から得られたコンクリートの塑性粘度とを対応させたものを図-9に示す。図より、式(3)によってセルローズ系増粘剤を用いたコンクリートの塑性粘度がある程度推定できることがわかる。

4. 結論

本研究は、水セメント比、細骨材容積割合の異なるモルタルにおいて、増粘剤、高性能AE減水剤によって、任意のレオロジー定数を得る手法を検討するとともに、これらのモルタルに粗骨材を加えたときのコンクリートのレオロジー定数を検討した。以下に本研究で得られた主な結果を示し結論とする。

(1) 増粘剤添加率および高性能AE減水剤の添加率を調整することによって、任意のモルタルのレオロジー定数を得ることが可能であり、本研究の範囲では、塑性粘度を10Pa·s増加させるのに必要なセルローズ系増粘剤添加率は0.05~0.15%であった。

(2) 余剰モルタル膜厚とモルタルの塑性粘度からコンクリートの塑性粘度が予測できるが、その予測式は、粉体系およびグリコール系とセルローズ系では異なることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 吉野 公ほか：コンクリートのレオロジー定数に及ぼす使用材料の影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17，No.1，pp. 581-586，1995
- 2) 藤原浩巳ほか：高流動コンクリートの間隙通過性に関する研究，土木学会論文集，No.550/V-33，pp. 23-32，1996. 11
- 3) 吉野 公ほか：高流動コンクリートの塑性粘度予測に関する研究，フレッシュコンクリートの流動性と施工性に関するシンポジウム論文集，日本コンクリート工学協会，pp. 13-18，1996. 4
- 4) 古澤靖彦ほか：水溶性高分子を添加したフレッシュモルタルの性状に関する基礎実験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.11，No.1，pp. 415-420，1989