

論文

[1012] シリカフュームを用いたモルタルの流動性に関する基礎的研究

岳尾 浩一*1・山崎 竹博*2・出光 隆*3・多久和佳楠子*1

1. まえがき

コンクリートの流動性は、粗骨材の形状、空隙率とその間を満たすモルタルの流動性に依存する。さらにモルタルの流動性は、細骨材の空隙率とセメントペーストの流動性に依存する。従って、コンクリートの流動性を知るには、そのペースト流動性を把握する必要がある。さて、シリカフュームはその粒径がセメント粒子の百分の1程度の超微粒子であり、高性能減水剤などの界面活性効果で液中に分散された場合、モルタルの増粘効果や高密度充填性、活性ポゾラン反応などによるコンクリートの性能改善が可能である。シリカフュームのコンクリート用混和材としての使用に関しては、フレッシュコンクリートの流動性や材料分離低減性の改善にも有効であるとの報告もあるが、その性能改善効果は必ずしも一定ではない。その原因は、超微粒子の物性の他に練混ぜ方法、減水剤との適合性、評価方法、置換率、風化等多くの因子が考えられる。本報告では、コンクリートの流動性の改善を目的として、シリカフュームで置換したセメントペーストおよびモルタルのレオロジー的性質に関する実験的考察を試みた。

2. 実験概要

従来、コンクリートおよびモルタルの流動性の評価に、各種のコンシステンシー試験が用いられているが、その性状を明確にするためには、それを構成するペーストおよびモルタルのレオロジー的評価が有効であると考えられる。一般に土木材料として用いられる硬練りコンクリートを流体として評価するのは難しく、スランプ等主として降伏値を評価した値で表されてきた。しかし、近年、省力化やポンプ施工の観点から多用化されつつある高流動コンクリートでは、使用ペーストまたはモルタルは高流動体であることが前提となるため、その粘度および降伏値は各種の粘度計で計測可能である。

本研究では、ペーストおよびモルタルの粘度、降伏値をB型粘度計で測定し、シリカフュームの練混ぜ効果や配合と流動性との関係を考察した。シリカフューム置換の範囲は、経済性から考えてコンクリートの流動化に要求される最小量が望ましく、ここでは、結合材量の5~15%の範囲を調べた。また、減水剤による分散効果の相違を調べるために3種類の減水剤を使用した。ただし、実験は全て温度20℃、湿度80%の恒温室で行うものとする。実験項目は次の通りである。

1. シリカフュームの置換率と練混ぜ効果
2. ペースト結合材比と練混ぜ効果
3. 効果的な練混ぜ方法
4. シリカフュームの置換率とレオロジー的性質
5. 高性能減水剤のタイプとレオロジー的性質
6. セメントの風化がレオロジーに及ぼす影響
7. モルタルのレオロジー的性質

2.1 使用材料

*1 九州工業大学大学院 工学研究科 (正会員)

*2 九州工業大学助教授 工学部 工博 (正会員)

*3 九州工業大学教授 工学部 工博 (正会員)

本実験で使用した粉末タイプのシリカフェームの化学組成及び諸性質を表1に示す。結合材には、普通ポルトランドセメント(M社製)を使用した。減水剤として、高性能AE減水剤にポリカルボン酸エーテル系(N社製:SP-8HS)、高性能減水剤にナフタリンスルホン酸塩系(K社製:M-150)、AE減水剤にリグニンスルホン酸化合物ポリオール複合体(N社製:P-No.70)の3種を使用した。

2.2 使用配合

配合等を明示するために、本論文では次の記号を用いる。W:単位水量、SF:単位シリカフェーム量、C:単位普通セメント量、P:単位結合材量(C+SF)、S:単位細骨材量

モルタルに用いる細骨材の諸性質は、比重=2.56、吸水率=2.14%、F.M=2.56である。ペースト配合の基準として単位結合材質量を固定し、その内割(SF/P=5~15%)でシリカフェーム(SF)を置換した。また、それぞれのシリカフェーム置換率(以後、SF置換率と称す)で水結合材比(W/P)を25~40%の範囲で変化させた。減水剤は、原液のまま計量し添加時に練混ぜ水で希釈して加えるものとし、添加率をP×0.5~3.0%の範囲で使用した。

2.3 コンシステンシー試験

2.3.1 練混ぜ方法

シリカフェームは、平均粒径が0.15μmと小さいため、均一に混ぜるには界面活性剤の分散効果を利用しなければならない。また、その分散効果は、減水剤の他に練混ぜ方法や時間によっても影響を受ける。

ペーストのみかけ粘度は、結合材が分散すればある一定値に安定する。しかし、水量が多く、粘度の低いペーストでは、シリカフェーム置換率の増加にともない、練混ぜ後にもフロック状態が生じるようになる。そこで、良好な分散状態と思われる配合で一次練混ぜを行い、目標配合になるように水を追加し、二次練混ぜを行う方法も検討した。ここで練混ぜ方法は、JIS R 5201(セメントの物理試験方法)を基準とした。各種の練混ぜ方法を図1に示す。図1に示すT法とH法の違いは一次練混ぜと二次練混ぜの時間の違いである。また、練り上がり時間を3minとし、粘度を測定した後さらに練混ぜを継続し、4、6、8、10minの各時間で粘度の測定を行った。

2.3.2 ペーストの粘性試験

みかけ粘度測定に、B型粘度計(T社製:B8H型;回転数0.5、1、2.5、5、10、20、100rpm、最大

表1 シリカフェーム分析検査表

分析項目	規格値*	検査値
SiO ₂	90%以上	90.29
Fe ₂ O ₃	3.0%以下	2.05
Al ₂ O ₃	1.5%以下	0.87
CaO	2.0%以下	0.33
MgO	3.0%以下	0.98
K ₂ O	3.0%以下	1.19
Na ₂ O	2.5%以下	0.34
L.O.I	3.0%以下	2.14
Bulk Density (Kg/m ³)	200~350	315
PH	Analyze	----

平均粒径:0.15μm 真比重:2.2
比表面積:200,000cm²/g

*表中の値は、L社の社内規格による

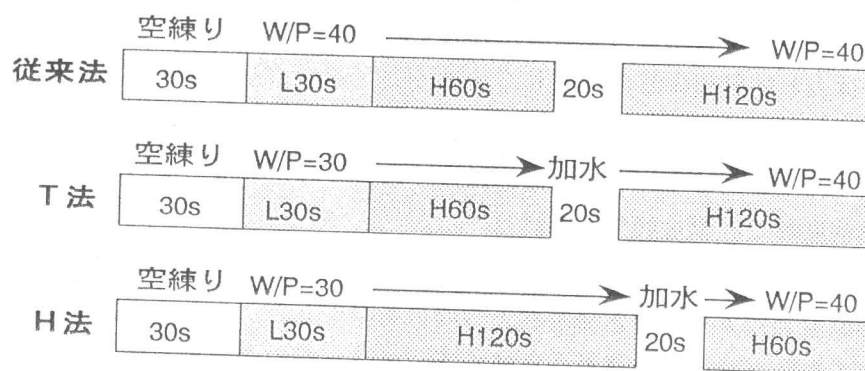


図1 練混ぜ図

トルク718.7 μ Nm、 ϕ 8.5mmガード付)を用いた。

粘度計を用いてセメントペーストの流動性を測定する場合、ずり速度とせん断応力の関係は一般に非ニュートン流体とビンガム流体の中間性状を示す。しかしながら、ずり速度が大きい場合や流動性に乏しい場合、せん断面の材料分離や不連続面が生じ、測定が困難になる。適切な流動性を有するコンクリートでは、図2に一例を示すようにローターの回転数を3段階変化させても、ずり速度とせん断応力はほぼ直線関係を保つことが判る。一般に非ニュートン流体の流動性を比較するには一定範囲のずり速度で実験を行うことが重要である。本研究では、ずり速度とせん断応力との関係が直線になる範囲の配合について、それらの傾きおよび座標軸切片の値から粘度および降伏値を求めた。

2.3.3 モルタルの粘性試験

モルタルの粘性試験では、ペーストの粘性試験と同様に粘度測定を行った。さらに、粘度による流動性表示と従来の方法によるコンシステンシー試験値との対比を行った。既に粘度、降伏値を求めたSF置換ペーストに細骨材を追加してモルタルを作製し、その細骨材容積割合(以後砂率と称す)とモルタル粘度および降伏値との関係を求めた。このとき、W/Pを一定とし砂率(S/(P+S))を10~40%変化させた。

3. 実験結果

3.1 練混ぜ時間と流動性状

SF置換ペーストは、超微粒子を含むため一定の分散状態に達するために、十分な練混ぜを要する。ここではW/P=30%、SF/P=10%、SP-8HSを添加して練混ぜ時間と粘度の関係を測定した。図3に、その結果を示す。全体の実験結果から、十分な分散効果が得られるペーストでは、練混ぜ後にフロックを生じないことが判った。また、練混ぜ時間4分後以降でほぼ粘度は安定していると考えて、配合変化による流動状態を練混ぜ4分後の状態で考察することとした。

3.2 練混ぜ方法とその効果

単位水量が多く、SF置換率が高いペーストでは練混ぜ後ペースト中にSFのフロックを生じ、十分な分散状態が得られない。そこで、W/P=40%、SF/P=15%、SP-8HS=2%の配合で図1に示す

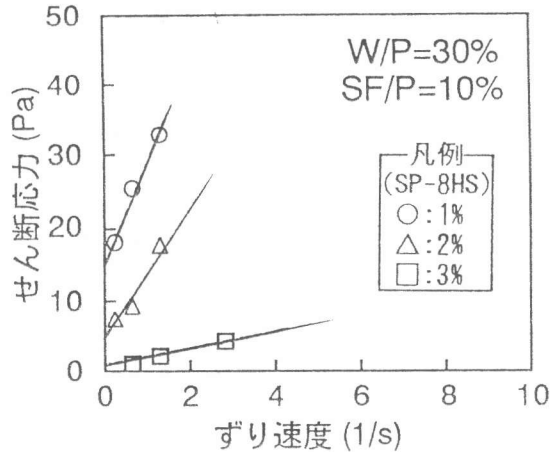


図2 ずり速度とせん断応力

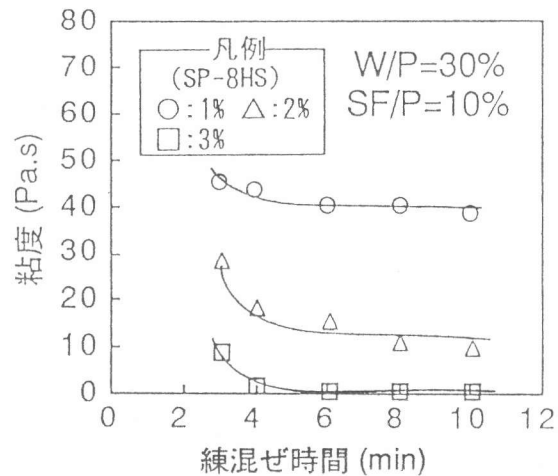


図3 練混ぜ時間と粘度

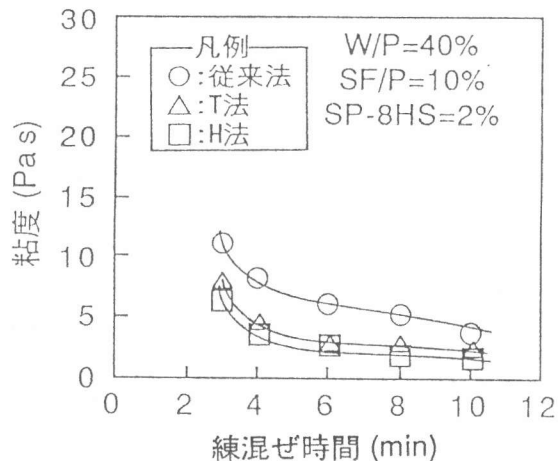


図4 練混ぜ時間と粘度

分割練混ぜを行った。これらの練混ぜ状態を粘度から検討し、図4に示す。

その結果、分散状態の不十分な配合は、一度に全水量を加え攪拌するよりも、分散良好な配合(W/P=30%)で一次練混ぜを行った後、二次練混ぜで所定の水量とすることが有効であることがわかった。そのとき、同一の粘度に達するまでの練混ぜ時間は、直接全水量を混合した場合に10分要するところ、T法では4分で達成されることが判った。

3.3 減水剤の種類と流動性

SF置換率とペースト粘度との関係を図5に、降伏値との関係図を図6に示す。同実験の配合条件は、全てW/P=35%、減水剤添加率=2%であり、3種類の減水剤を用いた場合の実測値を併記し

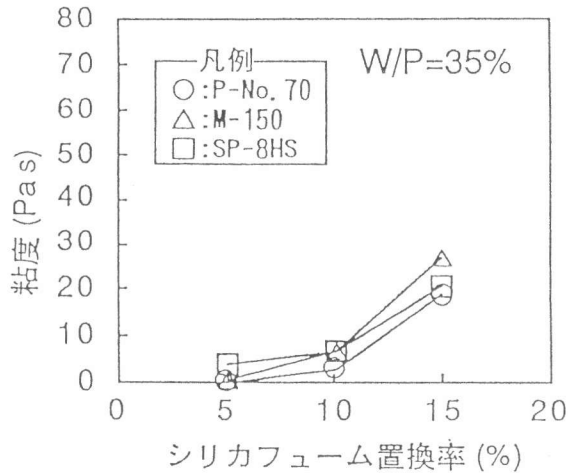


図5 SF置換率と粘度

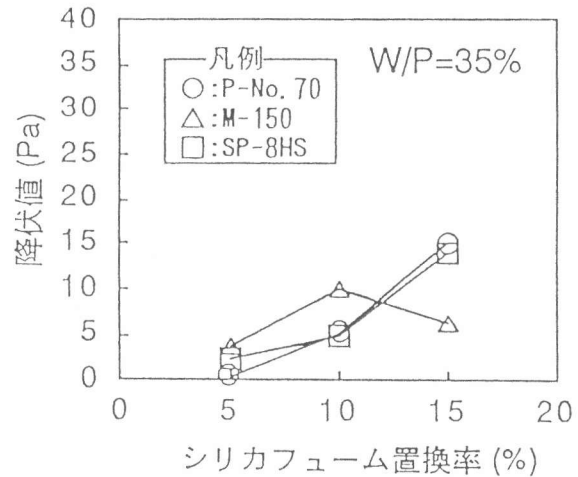


図6 SF置換率と降伏値

た。いずれの減水剤も置換率の増加とともに粘度は増加する傾向を示すが、M-150の場合置換率が10%を越えても減水効果が著しく、降伏値は減少する。この傾向は、W/P=30%の配合でも確認され、シリカフェーム置換率が大きい場合、SF置換コンクリートの流動性が使用する減水剤の種類によってもかなり相違することを意味する。

3.4 高性能AE減水剤の効果

SF置換の異なるペーストの粘度および降伏値に及ぼす減水剤の効果を図7、8に示した。また、W/Pの異なるペーストのそれらを図9、10に示した。この結果、W/Pが小さいほど、あるいはSF/Pが大きいほど高性能AE減水剤が粘度および降伏値に与える影響が大きいことがわかる。特に図9にみられるようにW/Pが小さいペースト配合では高性能減水剤による粘度の低減効果が

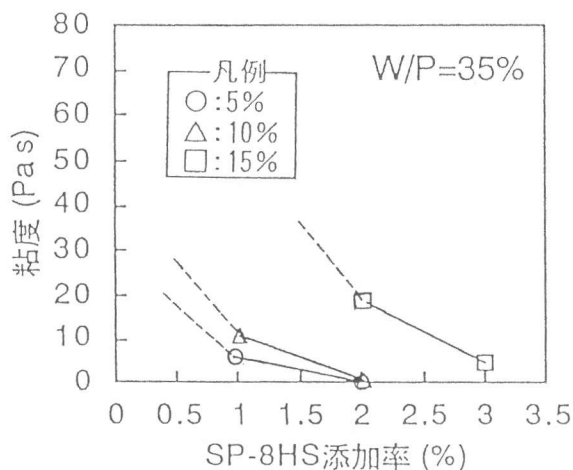


図7 減水剤添加率と粘度

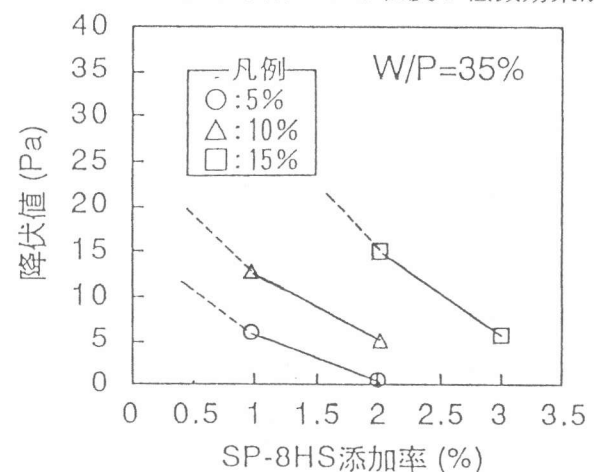


図8 減水剤添加率と降伏値

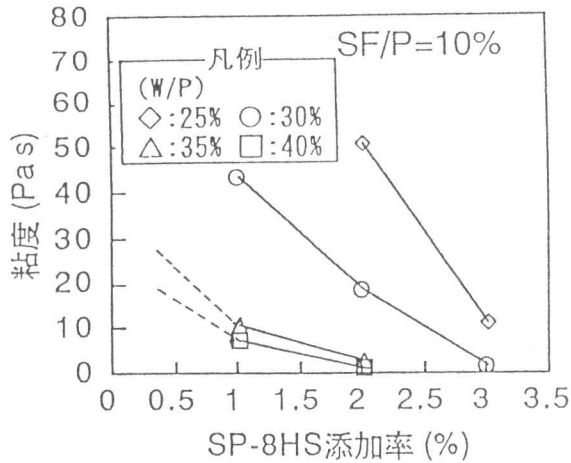


図9 減水剤添加率と粘度

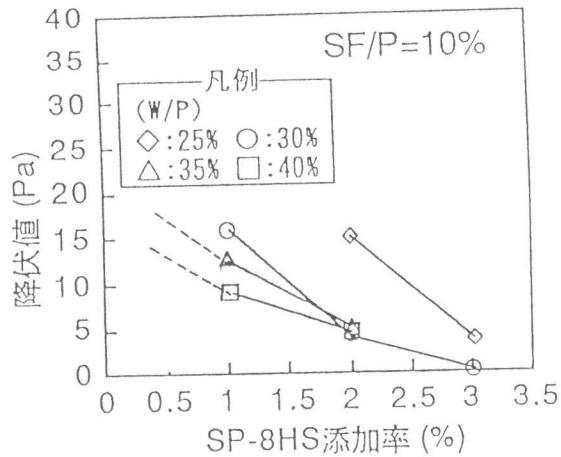


図10 減水剤添加率と降伏値

著しいことが判った。すなわち、安定した流動性を得るためには適切な水量が必要である。図中の破線は定性的関係から推測した値である。図8に示すようにW/P=35%ではSF置換率10%の時減水剤量1%、SF置換率15%の時減水剤量2%で測定可能な最大値が得られ、SF置換率と減水剤量の組み合わせによっても、任意の流動のセメントペーストが得られることが判った。ここで、ペーストの状態を感覚的に表現すれば、降伏値15Pa程度で、流動性の良いクリーム状のペーストとなった。また、減水剤量が少なすぎる場合には塑性状態となり、ローターと試料との肌離れが生じるため、不安定な測定状態となり、見かけ上降伏値が低下する結果となったので図から削除した。

3.5 流動性に及ぼす粘度と降伏値の関係

高性能減水剤にSP-8HSを用いたペーストの各種の配合で得られた粘度と降伏値の関係を図11に示した。それらの関係を感覚的な流動状態で分類すると大きくI～IIIに示す3つの状態に分けられる。Iの状態は、懸濁水の状態であり、フロック状態のSFを生じるものもある。IIは流動状態の高いクリーム状の液体、IIIはかなり硬い状態で、速いせん断速度ではローターとの肌離れが生じるため測定できない。

3.6 セメント風化

セメントの風化が、セメントペーストのレオロジーに与える影響を調べるため、セメントを開封してから恒温20℃、湿度80%の養生室に3日、6日および10日間放置した後4種採取し、SF置換率10%のペースト粘度を測

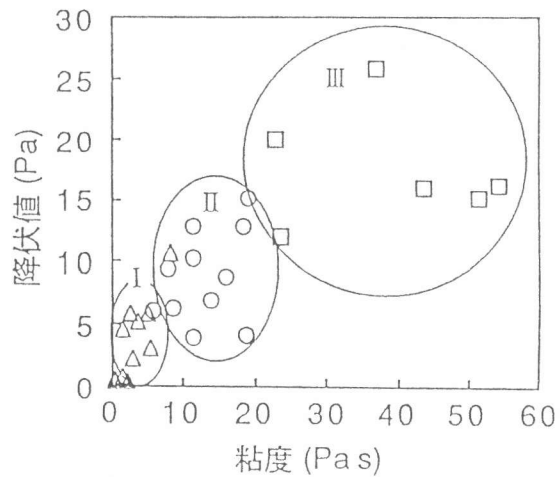


図11 粘度と降伏値

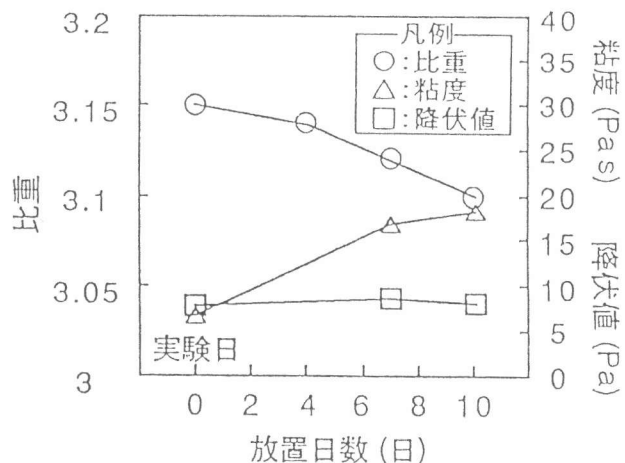


図12 比重・粘性試験結果

定した。このほか、風化の程度を確認するため、比重および凝結試験も実施した。その結果を図12、13に示す。比重は、放置日数10日(初回採取)で、3.15から3.11までに低下した。これに伴い粘度も増加し、10日間で10Pa s程度の増加が見られたが、降伏値は変わらない値が得られた。始発時間は、10日間で1時間30分の遅れとなり、終結時間は2時間の遅れとなった。

3.7 モルタルの流動性

SF置換セメントを用いたモルタルフロー試験結果を図14に示す。図14では、SF置換率0、10%のモルタルフロー値と砂率の関係を示した。その結果、SF置換率10%で砂率40%に対してフロー値は45から25へ半減した。SF置換0%の場合は粘度不足と高い降伏値のためローターとのすべりによって測定不可能なモルタル粘度も、SF10%混入による増粘効果によって10~15Pa sとなった。SF置換によってフロー値が小さくなるが、材料分離、特に水分との分離はなくなった。また、砂率の増加につれ、SFの有無によるフロー値の相違は小さくなる傾向を示した。

4. 結論

以上、SF置換ペーストおよびモルタルの流動性について明らかになった点を示す。

1. SF置換ペーストを十分練り混ぜるには、4分以上の時間を要する。また、適切な水量で分割練混ぜを行うことが望ましい。
2. SF置換ペーストでは、粘度と降伏値が同時に増大するパターンでモルタル、コンクリート等使用材料に対して適切な値をもつ場合に良好な流動性、材料分離低減性を発揮する。
3. 減水剤の種類によっては減水剤添加率とSF置換率の組み合わせによって、降伏値がある値以上増大しないケースが生じる。
4. SF置換モルタルでは明らかに増粘作用を生じ、材料分離が阻止される。
5. SF混入による増粘効果は、セメントの風化の程度によっても異なるので注意を要する。

【参考文献】

- [1] 吉野 公：高流動コンクリートの流動性に及ぼすシリカフェーム添加の影響
土木学会 コンクリート技術シリーズ No.4 11月 1993
- [2] 菊川 浩治：シリカフェームを用いたフレッシュコンクリートのレオロジー特性
土木学会 コンクリート技術シリーズ No.4 11月 1993
- [3] 長瀧 重義：シリカフェームのコンクリートへの応用
コンクリート工学 Vol.29 No.4 4月 1991

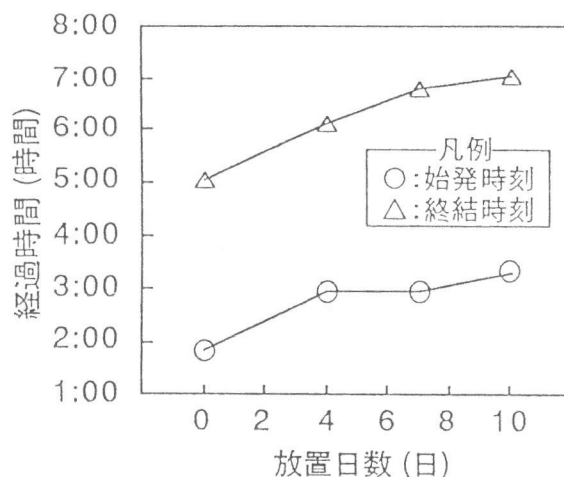


図13 凝結試験結果

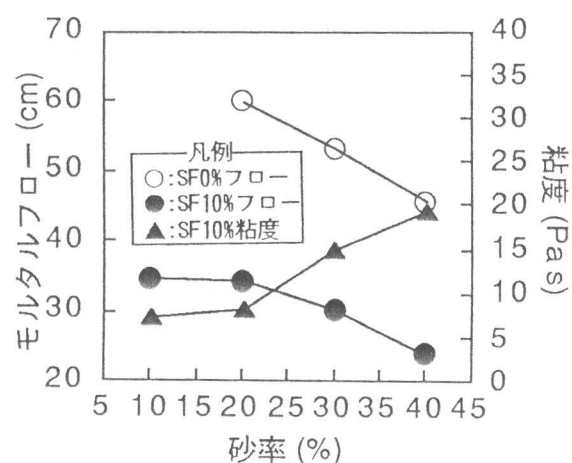


図14 砂率とモルタルフロー、粘度