

高強度モルタルの強度発現に及ぼす混和材料の影響

Effects of Admixtures on Strength Development of High-Strength Mortar

室蘭工業大学工学部 正員 菅田 紀之 (Noriyuki Sugata)

室蘭工業大学大学院 ○学生員 寺澤 貴裕 (Takahiro Terasawa)

1. はじめに

近年、高強度、高耐久、高流動などの特性を持つ高性能コンクリートが要求されてきているが、高強度コンクリートは水結合材比が小さく、若材齢時から自己収縮が大きくなることが知られている¹⁾。そのため、自己収縮応力により若材齢においてもひび割れが発生する可能性がある。そこでひび割れの発生を精度よく評価するためには、収縮特性はもとより強度特性についても若材齢時から精度よく把握することが重要である。また、高強度コンクリートにおいては、流動性改善などを目的としたシリカフェームや高性能 AE 減水剤等の混和材料の使用が不可欠となる。これらの混和材料はフレッシュ性状を改善するだけではなく、ポゾラン反応やセメント粒子の分散を高める効果などにより、硬化後の組織にも影響を与えるものである。

そこで本研究では、高強度コンクリートの強度発現に関する基礎資料を得ることを目的として、シリカフェームおよび高性能 AE 減水剤を用いた高強度モルタルの強度発現特性に及ぼすシリカフェーム置換率および高性能 AE 減水剤添加量について、若材齢時の圧縮強度試験をもとに検討を行った。

2. 使用材料、配合およびモルタルの作製

本研究に用いたモルタルの使用材料、実験ケースおよび記号を表-1および表-2に示す。結合材には普通ポルトランドセメントおよびシリカフェーム (SF)、細骨材には白老産の陸砂を用いた。高性能 AE 減水剤 (SP) にはポリカルボン酸系のもを用いた。モルタルの配合は、単位水量 140 kg/m³ 程度の高強度コンクリートから換算し、単位水量を 230 kg/m³ とした。シリカフェーム置換率 (SF/B、SF 置換率) は 0% (無混

入)、5%、10%、20%の4種類とした。高性能 AE 減水剤添加率 (SP 添加率) については、予備実験の結果より、高強度コンクリートのスランブフローが 600 mm 程度の場合、それから得られたモルタルのスランブフローが 200 mm 程度であったことから、本研究においては、モルタルにおいてスランブフロー 200 mm 程度を生じたケースの SP 添加率を中心にして、SF 置換率ごとに添加率を設定した。

モルタル試料の作製には、水平二軸強制練りコンクリートミキサーを用いた。モルタルの練り時間は、1 分間の休止およびかき落としを含め、4 分間とした。

3. 試験方法

(1) スランブフロー試験

モルタルのフロー試験は、「JIS R 5201-1997 セメント物理試験方法」規定のフローコーンおよびフローテーブルを用い、無打フローおよび 15 打フローを測定した。ただし、無打フロー 250 mm 以上のケースに対しては 15 打フローの測定は行わなかった。

(2) 凝結試験

凝結試験は、プロクター貫入抵抗試験により凝結始

表-2 実験ケースおよび記号

記号 (SF/B - SP)	単位水量 (kg/m ³)	W/B (%)	SF/B (%)	SP (%)
0-0.45	230	25	0	0.45
0-0.5				0.50
0-0.55				0.55
5-0.6			5	0.60
5-0.7				0.70
5-0.8				0.80
5-1.0				1.00
10-0.4			10	0.40
10-0.6				0.60
10-0.8				0.80
10-1.0				1.00
10-1.2				1.20
10-1.4				1.40
20-1.0			20	1.00
20-1.2				1.20
20-1.4				1.40
20-1.8				1.80

表-1 使用材料

材料・記号	種類・特性
セメント(C)	普通ポルトランドセメント 密度: 3.15 g/cm ³
シリカフェーム (SF)	比表面積: 230,000cm ² /g 平均直径: 0.2 μm 密度: 2.2 g/cm ³
細骨材(S)	白老産陸砂 表乾密度: 2.69 g/cm ³
高性能 AE 減水剤 (SP)	ポリカルボン酸系

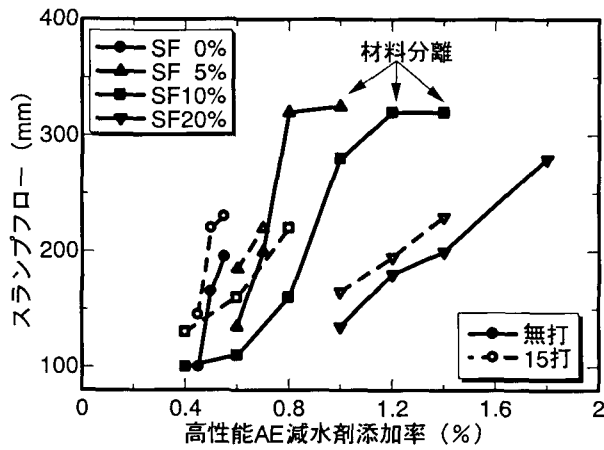
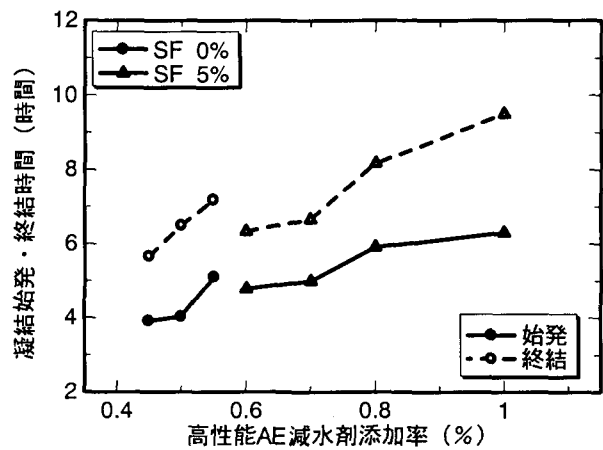
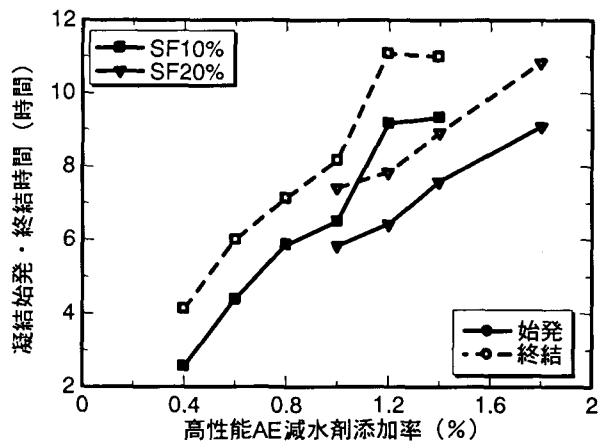


図-1 スランプフロー



(a) SF 置換率 0% および 5%



(b) SF 置換率 10% および 20%

図-2 凝結試験結果

発および終結時間を測定した。試験環境は温度 20 ± 1 °C、湿度 65 ± 5 % に制御された室内である。

(3) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、直径 100 mm、高さ 200 mm の円柱供試体を用いて行った。試験材齢は 12 時間以前（凝結の程度により 6.5 時間から 10 時間）、12 時間、16 時間（または 18 時間）、24 時間、3 日、7 日、28 日とした。供試体は、材齢 24 時間までは 20 ± 1 °C に制御された室内において封緘養生、それ以降は、標準養生とした。供試体の端面は、材齢 24 時間未満までは硬質セッコウを用いてキャッピングを行った。それ以降は研磨機を用いて研磨仕上げとした。

4. 試験結果および考察

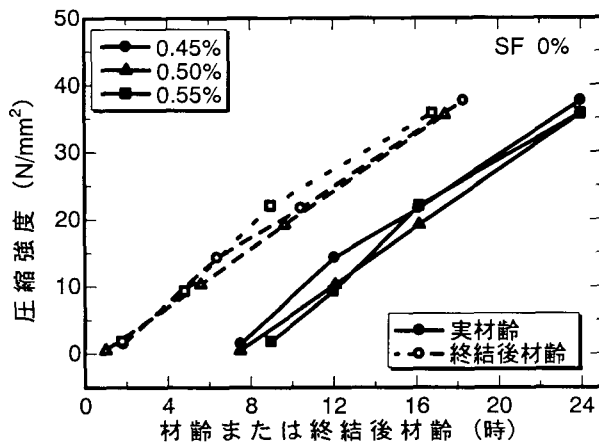
(1) フレッシュ性状およびスランプフロー試験

設定した実験ケースのうち、5-1.0、10-1.2 および 10-1.4 においては、やや材料分離の傾向が練り上がり後に見られた。また、10-0.4 においては 4 分間（休止、かき落としも含む）の練り混ぜではまったく流動性が得られなかったため、さらに 2 分間練り混ぜを延長したが、これによっても性状に変化が見られなかった。これら 4 ケースにおいては、一般的なモルタルがもつコンシステンシーは得られなかったが、比較参考のため他のケースと同様に各種試験に供した。スランプフロー試験結果を図-1 に示す。これより SF 置換率が少ないほど、モルタルのコンシステンシーに及ぼす SP 添加率の影響は敏感であることがわかる。SF 置換率 20% および 10% では SP 添加率の範囲が 0.8% であったのに対し、SF 置換率 5% および 0% ではその範囲が 0.2% および 0.1% であった。

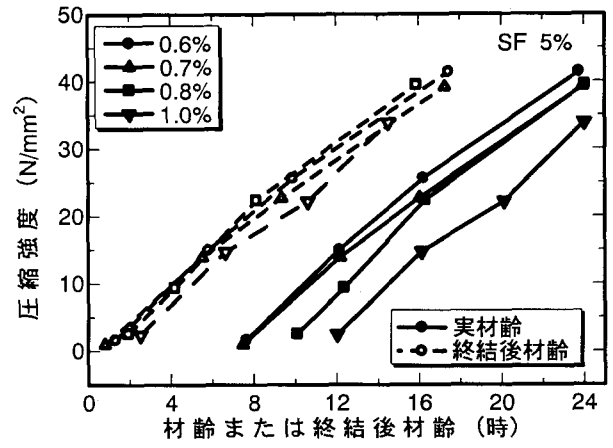
(2) 凝結試験

凝結試験の結果を図-2 に示す。図(a) は、SF 置換率 0% および 5%、図(b) は、SF 置換率 10% および 20% のケースである。凝結の始発は、SP 添加率が少ないほど、つまりスランプフローが小さく、流動性が小さいほど早いことがわかる。SF 置換率に着目すると、200 mm 程度の無打スランプフローであった 0-0.55、

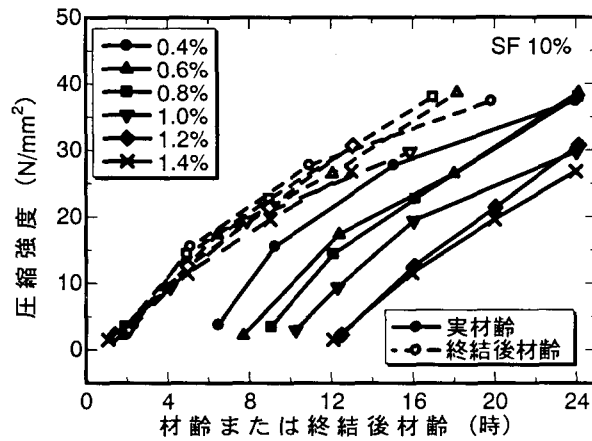
5-0.7、20-1.4 の始発時間はそれぞれ 5:00、5:06、7:35 であり、それにスランプフローの多少はあるが、10-0.8（スランプフロー：160 mm）および 10-1.0（同：280 mm）の始発時間 5:52 および 6:30 を考慮に入れても、SF 置換率が少ないほど凝結の始発が早くなることがわかる。次に、終結までの凝結に要する時間は SP 添加率にはよらずほぼ同程度であり、SF 置換率の影響を受けることがわかる。SF 置換率が少ないほど凝結時間は長く、おおむね置換率 0% で 2 時間から 2 時間 30 分程度、置換率 5% および 10% で 1 時間 30 分から 2 時間程度、置換率 20% では 1 時間 20 分程度であった。練り上がり後にやや材料分離の傾向が見られた前述の 3 ケースにおいては、凝結性状が他の SP 添加率による傾向と異なっている。しかしながら SF 置換率 5% の 5-1.0 と SF 置換率 10% の 10-1.2 および 10-1.4 とでは凝結性状が異なり、5-1.0 では始発時間は遅れないものの終結までに 3 時間を要したのに対し、10-1.2 および 10-1.4 では始発時間が 3 時間ほど遅いが、凝結に要した時間は他の SP 添加率と 10 分ほどしか差がなかった。



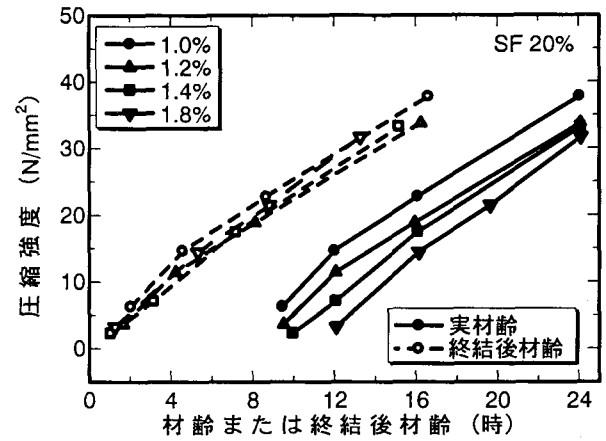
(a) SF 置換率 0%



(b) SF 置換率 5%



(c) SF 置換率 10%



(b) SF 置換率 20%

図-3 材齢 24 時間までの圧縮強度

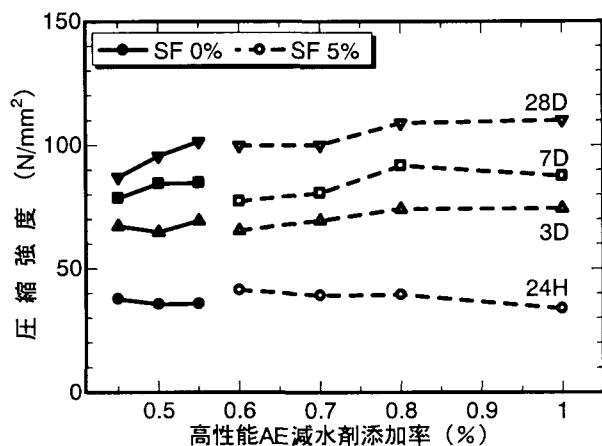
(3) 圧縮強度試験

図-3 に材齢 24 時間までの圧縮強度試験結果を SF 置換率ごとに示す。図中黒塗り実線は、横軸に実材齢をとったもの、白抜き破線は、材齢を終結後からの材齢とした場合である。また圧縮強度は各材齢において供試体 3 本の平均値とした。まず実材齢で比較すると、いずれの SF 置換率においても SP 添加率の少ないほうが圧縮強度が大きいことがわかる。セメントペーストの硬化および強度の発現が凝結の終結付近からであることを考慮すると、単純に材齢で比較した場合には終結時間の差が圧縮強度に影響し、特に強度発現が著しい若材齢時においてはそれが大きく現れた結果であると考えられる。次に材齢を終結後からの材齢に換算して検討すると、強度発現の開始がほぼそろい、強度発現の開始が凝結の終結付近からであることが確認できる。また、SF 置換率の小さい場合、強度発現の初期の段階においては SP 添加率の影響はほとんど見られず、SF 置換率 0% および 5% の材料分離傾向が見られた 5-1.0 を除いたケースで、凝結の終結からおおむね 6 時間まではほぼ同一の圧縮強度であり、その後 SP 添加

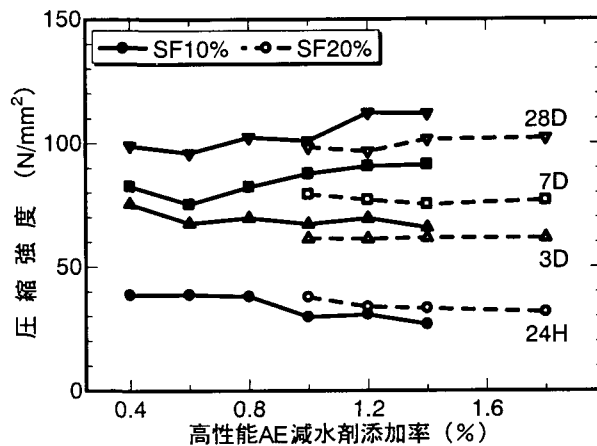
率の影響が現れていることがわかる。しかしながら SF 置換率が多くなるにつれて SP 添加率の影響が現れ始めるまでの時間は短くなり、SF 置換率 10% では 4 時間程度から、置換率 20% においては強度の発現直後から SP 添加率の影響が見られる。

強度発現の進行に着目すると、置換率 0% および 5% の場合は、材齢 24 時間までの圧縮強度は材齢に比例しほぼ直線的に増加していくが、SF 置換率が 10% および 20% になると終結後材齢 6 時間程度から圧縮強度の増加は前者に比べやや緩やかであることがわかる。

図-4 に材齢 24 時間以降の圧縮強度の推移を示した。図(a) は、SF 置換率 0% および 5%、図(b) は、SF 置換率 10% および 20% のケースである。なお、材齢はいずれも実材齢である。材齢 24 時間の場合、前述のとおり終結時間の差異により SP 添加率の少ないほうが圧縮強度が高いが、材齢が進むにつれて SP 添加率が多くなるにつれ圧縮強度が高くなる傾向にある。しかしながら、強度発現の進行程度は SF 置換率により異なっていることがわかる。まず、SF 置換率 0% では、SP 添加率が少ないほど圧縮強度が大きく増進する



(a) SF 置換率 0%, 5%



(b) SF 置換率 10%, 20%

図-4 材齢 24 時間以降の圧縮強度

時期は早く、SP 添加率 0.45 %では材齢 3 日まで、0.5 %では材齢 3 日から 7 日の間、0.55 %では、材齢 7 日以降である。SF 置換率 5 %では、材料分離傾向が見られた 5-1.0 の圧縮強度が材齢 3 日において 5-0.8 とほぼ同程度になっている。SF 置換率 10 %では、材齢 3 日において SF 0%、5 %とは異なり 10-0.4 がもっとも圧縮強度が大きく、その他のケースはほぼ同程度の圧縮強度であった。しかしながら、材齢 7 日までの強度増進は SP 添加率が多くなるほど大きく、材料分離が見られた 10-1.2、10-1.4 においても圧縮強度が大きくなっていった。それ以降材齢 28 日までは、SP 添加率によらず同程度の増進であった。SF 置換率 20 %では、他の SF 置換率で見られるような強度増進におよぼす SP 添加率の影響が明確には表れておらず、圧縮強度の差は小さいが、SP 添加率多いほど材齢 7 日から 28 日にかけての強度増進が大きいことがわかる。

図-5 に各 SF 置換率において 200 mm 程度の無打スランプフローであったケースの材齢 24 時間以降の圧縮強度の推移を示した。示したケースは、SF 置換率 0%、5%、および 20%でそれぞれ 0-0.55、5-0.7、20-1.4、SF 置換率 10%には、図-1 および図-4 (b)を用い、スランプフロー 200 mm 程度の圧縮強度を推定したものを示した。なお、材齢は実材齢である。SF 置換率 10%以下では材齢 7 日においても圧縮強度に大差は見られないが、SF 置換率 20 %では 10 N/mm² 程度小さかった。しかしながら、材齢 7 日から 28 日にかけての強度増進は SF 置換率 20 %でもっとも大きく、材齢 28 日においては SF 置換率 20 %のケースも他の SF 置換率と同程度の圧縮強度であることがわかる。

5. まとめ

本研究では、シリカフューム置換率および高性能 AE 減水剤添加率を実験パラメータとした高強度モルタルを用い、若材齢時からの圧縮強度試験を行い強度発現に及ぼす混和材料の影響を検討した結果、次のような

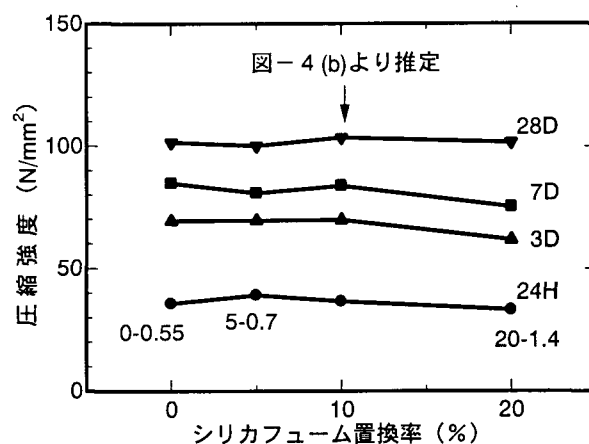


図-5 圧縮強度におよぼす SF 置換率の影響

結論を得た。

- (1) モルタルのコンシステンシーに及ぼす SP 添加率の影響は、SF 置換率が少ないほど大きい。
- (2) 凝結の始発は、SP 添加率および SF 置換率が少ないほうが早いですが、凝結に要する時間には SP 添加率はあまり影響せず、SF 置換率が少ないほうが長い。
- (3) 圧縮強度を終結後からの材齢で比較検討した場合、強度発現の初期においては SP 添加率の影響は小さい。
- (4) 圧縮強度に及ぼす SP 添加率の影響は材齢が進むにつれて現れるようになり、SP 添加率が多いほど圧縮強度は高くなる。

<参考文献>

- 1) コンクリートの自己収縮研究委員会報告書：日本コンクリート工学協会、2002 年 9 月