

シリカフュームの品質が高強度セメント硬化体の圧縮強度発現性と水和反応に及ぼす影響

日本大学大学院理工学研究科 学生会員 ○後藤 健太
 日本大学理工学部 正会員 佐藤 正己
 日本大学理工学部 正会員 梅村 靖弘

1. はじめに

超高強度コンクリートは低水結合材比(W/B)でありシリカフューム(以下SF)の添加は不可欠となっている。SFは産地によって化学組成(主にJISで基準となっているSiO₂, MgO), BET比表面積などの品質がそれぞれ異なり, JIS規格の強度発現性の指標である活性度指数により評価されている。しかし, 実際の高強度コンクリートのW/BはJIS規格で評価されている50%よりも低い。そこで本研究ではSiO₂量, BET比表面積の相違に着眼し, 低W/Bの超高強度セメント硬化体に品質の異なる4種類のシリカフュームを使用した際の活性度指数とセメントおよびシリカフュームの水和に与える影響について, 選択溶解法によるSFの反応率, TG-DTAによる水酸化カルシウム(CH)量, XRD/リートベルト法より求めたセメント鉱物の反応率の観点から検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び配合条件: 表-1に使用材料, 表-2にモルタル配合, 表-3に使用したシリカフュームの種類とそのBET比表面積とSiO₂量を示す。配合はW/B=22%, 砂結合材比1.0としSF添加量を内割10mass%とした。配合の表記は, 例としてSFの種類がSF-Aを使用し10mass%添加したものをSFAとし, SF無添加のものをNON-SFとした。フロー値(JIS R 5201)および空気量は高性能減水剤, 消泡剤で250±20mm, 2%以下に調整した。練混ぜは, モルタルミキサーを用い注水後5分間, 5分間静置した後, 1分間とした。圧縮強度測定はモルタル試料を用い, 供試体寸法φ50×100mm, 20℃封緘養生で所定材齢まで保管した。CH量測定, SF反応率測定, XRD/リートベルトによる各鉱物の定量は, モルタル配合から細骨材を除いたセメントペースト試料を用いた。ペースト試料は, 250mlポリ瓶に打設し硬化した後, カッターで切断後, アルミテープで被い所定材齢7, 28日まで保管した。分析時には0.15mm以下まで粉碎した後エタノール, アセトンで水和停止を行なったものを用いた。

2.2 試験方法: 圧縮強度はJIS A 1108に準拠し, φ50×100mm円柱モルタル供試体で材齢7, 28日に測定し, 活性度指数はJIS A 6207に準拠し, 式(1)により求めた。

$$A_s = C_1 / C_2 \times 100 \tag{1}$$
 A_s: 活性度指数 C₁: 各材齢における各SF添加試料の圧縮強度 C₂: 各材齢におけるNON-SFの圧縮強度
 SF反応率は, 浅賀らの選択溶解法¹⁾を参考にSFの不溶残量を測定し, 反応率を求めた。CH量の測定は, 熱重量-示差

熱重量分析計(TG-DTA)を用いて質量減少量から求めた。XRD/リートベルト解析による各鉱物の定量は, リートベルト解析ソフトTOPAS (Bruker AXS)を使用し佐藤ら²⁾の手法に従った。定量は, シリケート相(C₃S, C₂S), 間隙質(C₃A, C₄AF), 石こう(二水, 半水), CH, エトリンガイトの各セメント鉱物, 水和物と内部標準物質α-Al₂O₃(10mass%)を定量対象としC-S-H及びSFを含む非晶質を同時に測定した。その定量値と間隙水量, 選択溶解法によるSF量から相組成を算出し, セメント鉱物の反応率, C-S-H生成量を求めた。

表-1 使用材料

材料名	記号	諸元
セメント	LC	低熱ポルトランドセメント(ρ=3.22g/cm ³)
シリカフューム	SF	シリカフューム4種類(ρ=2.27g/cm ³)※物性値は表3参照
練混ぜ水	W	蒸留水
細骨材	S	JIS標準砂(ρ=2.63g/cm ³)
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系グラフトコポリマーを主成分とするアニオン型高分子界面活性剤
消泡剤	DEF	ポリエーテル系抑泡剤

表 - 2 モルタル配合

配合	単位量(kg/m ³)				SP (B × mass%)	DEF (B × mass%)
	W	B		S		
		C	SF			
NON-SF	236	1065	—	1065	0.80	0.07
SFA	231	937	104	1065	0.85	0.05
SFB	230	932	104	1065	1.20	0.05
SFC	231	937	104	1065	1.00	0.05
SFD	231	937	104	1065	1.10	0.05

表-3 使用SFの種類とそのBET比表面積とSiO₂量

		BET 比表面積(m ² /g)	
		15	20
SiO ₂ 量 (%)	85	SF-A	SF-B
	95	SF-C	SF-D

キーワード シリカフューム XRD/リートベルト解析 超高強度コンクリート 選択溶解法
 連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14 理工学部土木工学科 TEL/FAX 03-3259-0682

3 試験結果及び考察

3.1 圧縮強度試験結果：図-1, 2にモルタル供試体の圧縮強度, 活性度指数を示す。活性度指数はSFA～Dでは材齢7日でSFの品質により大きく分散したが28日では100%に近い値に収束した。また, 圧縮強度への品質の影響はSiO₂量では認められず, BET比表面積20m²/gのSFB, SFDではBET比表面積15m²/gのSFA, SFCと比較して, 材齢7日の活性度指数が増加し初期強度発現性に有利となることを確認した。

3.2 SF反応率測定試験結果：図-3にSF反応率を示す。SF反応率は, 品質の影響としてSiO₂量では認められず, BET比表面積の違いにより20m²/gのSFBは15m²/gのSFAと比較して, 材齢7日の反応率が約1.8倍となり初期材齢のポズラン反応の進行を確認した。

3.3 CH量測定試験結果：図-4にCH量測定結果を示す。CH量は, 材齢7日でSFを添加したものではNON-SFと比較すると減少し, 28日でNON-SFでは増加したがSFA, SFCではほぼ横ばいとなった。また, SFB, SFDでは材齢7日から28日にかけて減少した。これは, セメントからのCH生成量に対してポズラン反応による消費量が上回ったと考えられた。品質の影響は, SiO₂量では認められず, BET比表面積の違いにより20m²/gのSFB, SFDのポズラン反応の進行が15m²/gのSFA, SFCの進行より卓越していることが示唆された。

3.4 XRD/リートベルト解析による各鉱物の定量結果：図-5, 6にC₃SおよびC₂Sの反応率を示す。C₃S反応率は, 材齢7日でSFの添加の有無に拘らず80%程度まで増加し, 28日でNON-SFが約95%まで増加したがSFA～DではSFの種類に拘らず緩慢となった。SFを添加配合のC₂Sの反応率は, NON-SFと比較して増加し促進された²⁾。図-7にC-S-H生成量を示す。SF添加配合のC-S-H生成量はSFAがSFB～Dと比較して低くなった。以上のことからC-S-H生成量にはC₂S反応率が大きな影響を与えていると考えられた。

3.5 まとめ

本実験条件の範囲内で以下のことが明らかになった。

- (1) SiO₂量の違いでは, 圧縮強度, CH量, SF反応率において影響が認められなかった。
- (2) 比表面積の増加により, 初期強度, SF反応率の増加に効果が認められた。
- (3) C₃S反応率はSFを添加しないものと比較して, SFの種類に拘らずほぼ同等となり, 材齢7日及びそれ以降では大きな変化はなかった。C₂S反応率は, SFを添加しないものと比較してSFを添加したものは増加した。C-S-H生成量は, SFを添加しないものと比較してSFを添加したものは

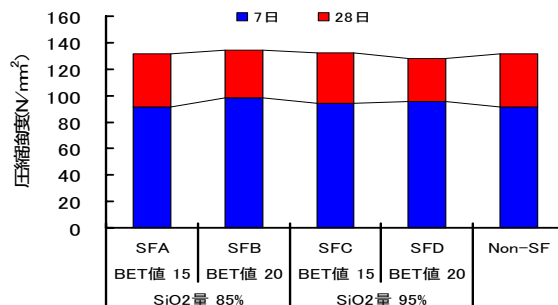


図-1 圧縮強度

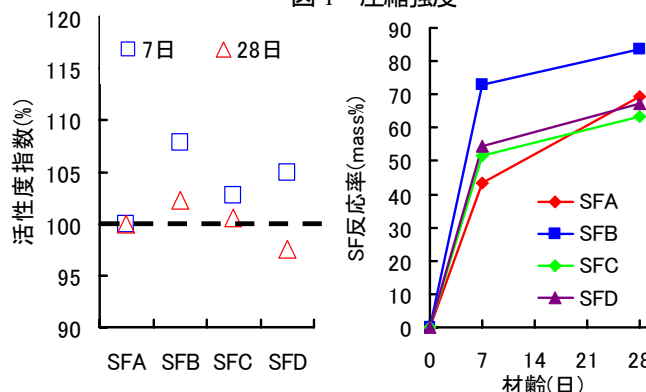


図-2 活性度指数

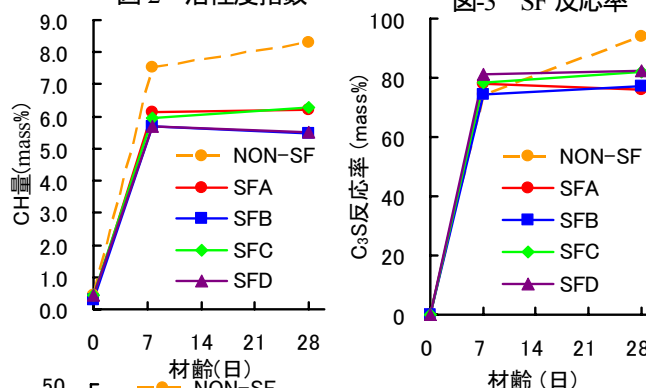


図-3 SF反応率

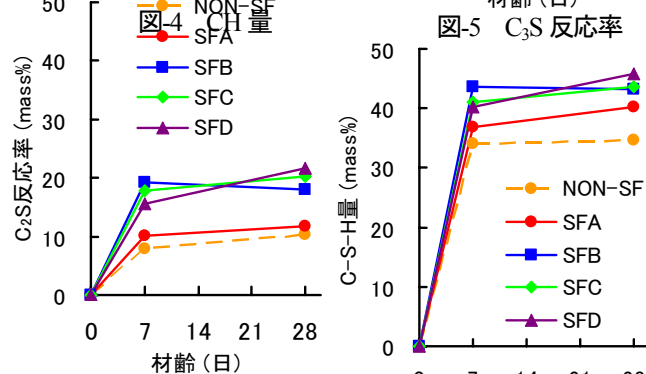


図-4 CH量

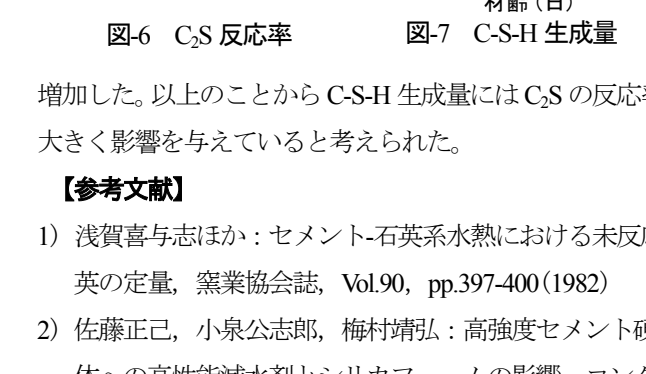


図-5 C₃S反応率

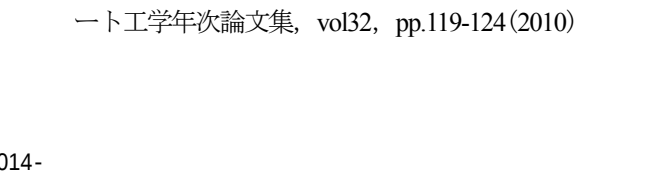


図-6 C₂S反応率



図-7 C-S-H生成量

増加した。以上のことからC-S-H生成量にはC₂Sの反応率が大きく影響を与えていると考えられた。

【参考文献】

- 1) 浅賀喜与志ほか：セメント-石英系水熱における未反応石英の定量, 窯業協会誌, Vol.90, pp.397-400(1982)
- 2) 佐藤正己, 小泉公志郎, 梅村靖弘：高強度セメント硬化体への高性能減水剤とシリカフュームの影響, コンクリート工学年次論文集, vol.32, pp.119-124(2010)