

超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

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 小泉 公志郎
 日本大学理工学部 正会員 梅村 靖弘

1. はじめに

近年、施工実績が増加している 100N/mm^2 を超える超高強度コンクリートは水粉体比が極めて低く、高性能減水剤(SP)、シリカフューム(SF)は不可欠となっている。汎用コンクリートの耐久性に及ぼす SP の影響について空隙構造およびセメント水和物に着目して検討が進んできているが、SP 添加量が多い超高強度コンクリートに SF を添加した際の水和反応、ケイ酸カルシウム水和物(CSH)の水和構造に着目した検討は少ない。

そこで、本研究では、低熱ポルトランドセメントに超高強度用 SP と SF を添加した硬化体の圧縮強度、粉末 X 線回折(XRD)リートベルト法による水和物組成を測定し、圧縮強度発現性、セメント水和反応に及ぼす SP と SF の影響を明らかにするとともに、SF 添加量の最適条件を検証することを目的とした。

2. 試験概要

表 - 1 使用材料

2.1 使用材料および試験条件

表 - 1 に使用材料、表 - 2 に配合を示す。水結合材比(W/B)は 22%一定とし、モルタルフロー値 $250\pm 20\text{mm}$ 、空気量 3% 以下となるように SP 添加量、消泡剤(DEF)添加量を調整した。分析は、

材料	略号	諸元
セメント	B	低熱ポルトランドセメント 密度: $3.22(\text{g/cm}^3)$ プレーン値: $3470(\text{cm}^2/\text{g})$
シリカフューム	SF	フェロシリコン系 密度: $2.20(\text{g/cm}^3)$ BET値: $22.0(\text{m}^2/\text{g})$
練混ぜ水	W	蒸留水
細骨材	S	ISO標準砂 密度: $2.63(\text{g/cm}^3)$
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系超高強度用高性能減水剤
消泡剤	DEF	ポリエーテル系抑泡剤

表 - 2 配合

ペースト配合としモルタル配合から細骨材を除いたものとした。セメントペーストは、減水剤有無による水和反応への影響を確認するため SP 無添加配合(NON-SP)を設定した。練混ぜは、モルタルミキサを用い注水後 5 分間、か

配合	配合名	W/B (%)	単位量 (kg/m^3)				SP量 ($\text{C} \times \text{wt}\%$)	DEF量 ($\text{C} \times \text{wt}\%$)	圧縮強度(N/mm^2)	
			W	C	SF	S			7日	28日
モルタル	SF0	22	235	1066	-	1066	1.05	0.07	90.3	131
	SF10		230	932	104		1.30	0.05	83.9	129
	SF20		223	808	202		1.80	0.06	86.5	130
ペースト	NON-SP	22	415	1883	-		-	-		
	SF0		400				1.05	0.07		
	SF10		392	1645	184		1.30	0.05		
	SF20		379	1428	357		1.80	0.06		

き落としを行い、5 分間静置した後、1 分間行った。モルタル供試体は、 $\phi 50 \times 100\text{mm}$ の軽量型枠に打設後、1 日までラップフィルムで被い、1 日以降は軽量型枠上面をアルミテープで被い所定材齢まで 20 封緘養生を施した。ペースト試料は、250ml ポリ瓶に打設後、1 日までローテータにセットしブリーディングや分離を防いだ。脱型後、ダイヤモンドカッターを用いカット後、アルミテープで被い各材齢試料とした。

2.2 試験方法

圧縮強度の測定は、JIS A 1108 に準拠し材齢 7、28 日で行った。分析に用いたペースト試料は、脱型後ハンマーおよびメノウ乳鉢で 0.15mm 以下まで粉碎しエタノールおよびアセトンで水和停止を行なったものを用いた。SF の反応率は、SF 添加したセメントペースト SF10、SF20 の SF 不溶残分量を選択溶解法¹⁾により測定し、それを未反応 SF 量として求めた。測定は、材齢 7、28 日で行った。セメント鉱物および水和物の定量は、XRD を用い星野ら²⁾の手法に準じて行った。リートベルト解析は、TOPAS(Bruker AXS)を用いた。定量は、エーライト(C_3S)、ビーライト(C_2S)、間隙質(C_3A 、 C_4AF)、二水石こう、半水石こう、水酸化カルシウム(CH)、エトリンガイト、モノサルフェートの各セメント鉱物、水和物と内部標準物質として $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (10wt%)を定量対象とし各鉱物および SF を含む非晶質を同時に定量した。CSH 量は、星野ら²⁾と同様に CSH が水和物の大半を占めるという仮定とし式(1)に従い、内部標準 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ の定量値から非晶質を求め選択溶解法により得られた未反応 SF 量を差引き求めた。測定は、材齢 7、28

キーワード シリカフューム 高性能減水剤 粉末 X 線回折 リートベルト法 反応率 超高強度コンクリート
 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

日で行った。

$$CSH = \{100 \times (A-R)\} / \{A \times (100-R)/100\} - S \quad (1)$$

ここに, CSH: CSH 量(wt%), R: α - Al_2O_3 の混合率 (wt%)

A: α - Al_2O_3 定量値 (wt%), S: 未反応 SF 量(wt%)である。

3. 試験結果および考察

圧縮強度試験結果を表-2に示す。SF10, SF20は, SF0に対して材齢7日で5~7%低下したが28日ではほぼ同等となった。粉末XRD/リートベルト法により得られた C_3S および C_2S の反応率を図-1, 図-2, CH生成量を図-5, 選択溶解法により求めたシリカフェームの反応率を図-3, 式(1)より求めたCSH生成量を図-4に示す。 C_3S の反応率は, SF添加量にかかわらず全ての配合において材齢7日で70~80%に達し28日でも伸びがわずかであり反応が緩慢になった。 C_2S 反応率は, 材齢7日でNON-SP, SF0がほぼ反応していないのに対しSF10が約12%, SF20が約5%となった。材齢28日では, NON-SP, SF0が各7%, 10%であったのに対しSF10は約22%, SF20は約27%となった。SF反応率は, 材齢7日50~55%, 28日で60~70%に達した。SF20の反応率は, SF10に対して材齢7日で5%, 材齢28日で10%低くなった。SF0のCSH生成量は, 材齢7日でNON-SPに対して約5%増加したが, 材齢28日では同等となった。SF10, SF20のCSH量は, SF0に対して材齢7日でSF10が約7%, SF20が約11%増加した。材齢28日では, SF10は約13%の増加を示したが, SF20は約9%増加となった。SF10, SF20のCH生成量は, 材齢7日でSF0に対しSF10は約1.5%, SF20では約2.5%低くなった。材齢28日は, SF10が2.5%, SF20では約4.5%低くなった。材齢7日から28日にかけての変化量は, NON-SPで変化無し, SF0で0.8%に対して, SF10は変化が無く, SF20-Fでは0.7%減少した。このSF20のCH量減少は, SFのポゾラン反応の進行によりCHの生成量が消費量を上回ったためであると考えられる。

以上より, SFを10wt%添加したSF10は, C_2S , SFの反応率の増加, CSH生成の進行を確認できた。

4. まとめ

本研究では, 高強度セメント硬化体に超高強度用SPを使用し, SFを添加した際の硬化体性状および水和物の分析を行なった結果, CSHの生成に対する高性能減水剤有無の影響は少なく, SF添加量は水和反応の観点から考察すると, 10wt%が最適であることが確認された。

参考文献

- 1) 浅賀喜与志ほか: セメント-石英系水熱反応における未反応石英の定量, 窯業協会誌, Vol.90, pp.397-400, 1982.
- 2) 星野清一ほか: 石灰石微粉末を添加したセメントのX線回折/リートベルト法による水和反応解析と強度発現機構に関する検討, セメント・コンクリート論文集, vol.60, pp.47-54, 2006.

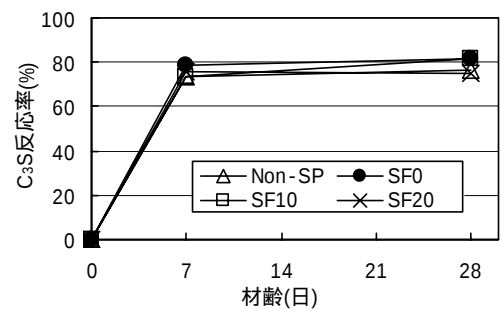


図-1 C_3S 反応率

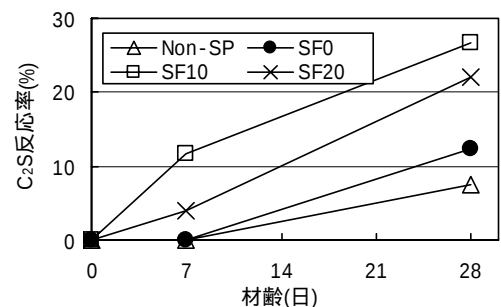


図-2 C_2S 反応率

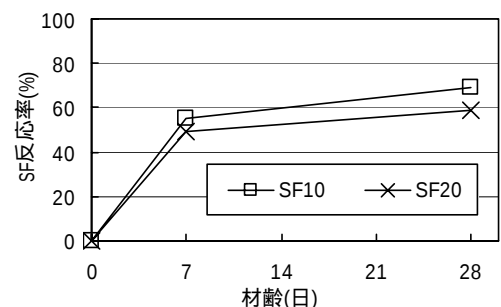


図-3 SF 反応率

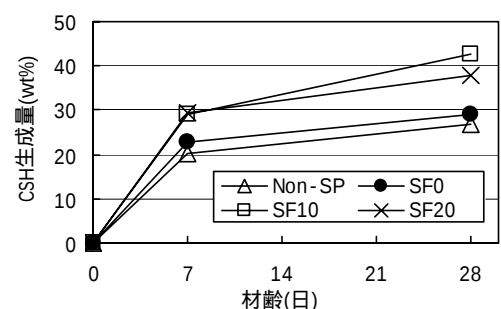


図-4 CSH 生成量

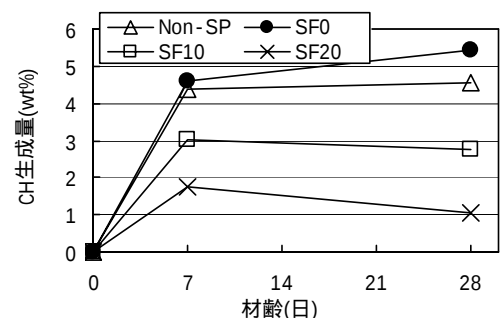


図-5 CH 生成量