

## H1-2

## 熱養生履歴がシリカフェュームのポゾラン反応に及ぼす影響

## The Effect of Heat Curing History on Pozoran Hydration Reaction of Silica Fume

○新沼拓也<sup>1</sup>, 佐藤正己<sup>2</sup>, 梅村靖弘<sup>2</sup>\*Takuya Niinuma<sup>1</sup>, Masaki Sato<sup>2</sup>, Yasuhiro Umemura<sup>2</sup>

Abstract: Recent years, Ultra-high-strength-concrete(UHSC) is indispensable for super span and high rise concrete structure. But flowability and quality management of UHSC is difficult. It is not clear about the hydration reaction and compressive strength of silica fume (SF). In this study, authors examined the effect of heat curing history on SF reaction rate, amount of calcium silicate hydrate (C-S-H), calcium oxide/silicon dioxide ratio(C/S).

## 1. はじめに

近年、コンクリート構造の高層化・超スパン化に伴い超高強度コンクリート(UHSC)の利用が進んでいる。しかし、UHSCは流動性が悪く、品質管理が困難であるため、プレキャストコンクリート(PCa)へ適用が進んでいる。UHSCにはシリカフェューム(SF)が不可欠であるがポゾラン反応挙動はセメントが停滞した後も反応が進行する等不明な点が多く検討が少ない。本研究では、低W/BでのSFとセメントのペースト(CP)及びSFと水酸化カルシウム(CH)のペースト(SFP)に熱養生を施した場合のSF反応率、C-S-H生成量、C/S比(CaO/SiO<sub>2</sub>モル比)の変化から熱養生履歴がSFのポゾラン反応へ及ぼす影響を検討した。

## 2. 研究概要

Table 1.に使用材料、Table 2.に配合表を示す。CP、SFP試料は材料をミキサにて練り混ぜを行った。CP試料は、ポリ瓶に打設した後熱養生を行い各材齢に切り分けアルミテープで密封し、SFP試料は成型後、アルミテープで密封し容器に入れ熱養生を行った。Table 3.に熱養生履歴パターンを示す。熱養生履歴パターンは最高温度、前置時間、最高温度継続時間を変化させた。熱養生パターンの表記は、最高温度 60°C、前置時間 48h、最高温度継続時間 48h の場合を 60A48B48 と表す。

## 2.1 試験方法

CPおよびSFPの化学的特性を決定するために(1)から(4)の実験結果より相組成を算出した。相組成よりSF反応率、C-S-H生成量を求めた。

Table 1. Materials

材料	略号	諸元
セメント	C	低熱ポルトランドセメント $\rho : 3.22 (\text{g}/\text{cm}^3)$
シリカフェューム	SF	フェロシリコン系 $\rho : 2.22 (\text{g}/\text{cm}^3)$
水酸化カルシウム	CH	試薬：化学用 $\rho : 2.22 (\text{g}/\text{cm}^3)$
水	W	蒸留水
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系超高強度用減水剤

Table 2. Mix Proportion of Cement Paste and Silica Fume Paste

	W/B(%)	単体量 (kg/m <sup>3</sup> )				SP添加量 B × %	DEF添加量 B × %
		W	C	SF	CH		
CP	15	223	1190	297	—	4.0	0.25
SFP		249	—	828	828	4.0	—

Table 3. Heat Curing Program

パターン	W/B(%)	最高温度 (°C)	前置時間 (h)	A	最高温度継続時間 (h)	B		
60A48B48	15	60	4	48	48	8		
60A48B48			48					
75A48B48			4					
75A48B48		48						
90A48B48		90	90				4	24
90A48B48							48	
90A48B48	4			8				
90A48B48	48							

## (1) 間隙水量の測定方法

間隙水量は水和停止前の試料を 105°C の乾燥機内で乾燥させ減少量を測定した。

## (2) CH 消費量と炭酸カルシウム生成量の定量方法

熱重量示差熱分析計により CH 量、炭酸カルシウム (CaCO<sub>3</sub>) 量を質量減少量から求めた。

## (3) 未反応 SF 量の定量方法

佐藤ら<sup>[1]</sup>の方法で未反応 SF 量は塩酸および炭酸ナトリウムによる選択溶解法を行った。

## (4) 未水和セメント鉱物および非晶質量の定量方法

内部標準法(標準物質  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  10% 添加)を用いて XRD/リートベルト法により、各セメント鉱物および結晶質水和物、非晶質相を定量した。

### (5) C-S-H の $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ モル比 (C/S 比) の算出

相組成より、セメント鉱物( $\text{C}_3\text{S}, \text{C}_2\text{S}$ ), SF 反応量の収支計算により  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  モル比を算出した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 SF 反応率に及ぼす熱養生履歴の影響

Figure 1. に SF 反応率を示す。CP において最高温度の影響は、最高温度 75, 90°C の SF 反応率が 60°C と比べ 10~15% 高くなった。また前置時間、最高温度継続時間の影響は、最高温度 60, 75, 90°C で前置時間 4h を除き、時間の延長に伴い増加した。最高温度 90°C, 前置時間 4h では、本研究と同じ配合である佐藤らの研究<sup>[1]</sup>で前置時間の短縮によりシリカフェームの反応が停滞したとされ、本研究においても同様に SF 反応率が停滞した。一方、SFP において SF 反応率は CP と比較すると最高温度 90°C, 前置時間 4h を除きほぼ同等の反応率となった。ただし最高温度 90°C, 前置時間 4h では CP と異なり前置時間の影響を受けず、他の熱養生履歴と同様反応率が高くなった。このことから SF のポズラン反応は、セメントのように前置時間を必要とせず C-S-H を生成するための CH 等の Ca 源の存在と加熱を加えることにより反応が進行することが分かった。また、本研究により SFP は極めて低い W/B のため極めて単位水量が少なくミキサによる攪拌後も外観が粉末であったが CP 中の SF を模擬した反応挙動の確認が可能であることが分かった。

### 3.2 C-S-H 生成量に及ぼす熱養生履歴の影響

Figure 2. に C-S-H 生成量を示す。CP および SFP において C-S-H 生成量は、SF 反応率と同傾向となった。

### 3.3 C-S-H の $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ モル比 (C/S 比) に及ぼす熱養生履歴の影響

Figure 3. に C/S 比を示す。CP から生成された C-S-H の C/S 比は 1.1~1.4 の範囲となった。C/S 比は反応率の低かった最高温度 60 や 90°C, 前置時間 4h で高くなり、SF 反応率の上昇に伴い低くなった。一方、SFP から生成された C-S-H の C/S 比は 0.8~0.9 の範囲となった。しかし、SFP から生成された C-S-H の C/S 比は、CP と比較して熱養生履歴による違いが見られなかった。これらの結果より C-S-H の C/S 比は、SF 由来が SF セメント由来と比較して 0.4 程度低くなった。

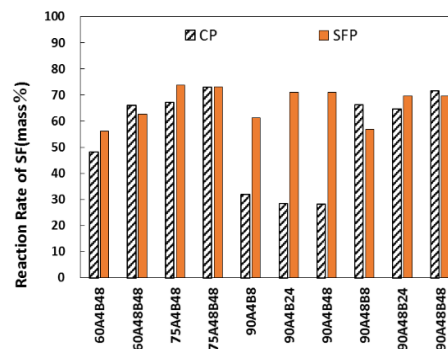


Figure 1. Reaction Rate of SF

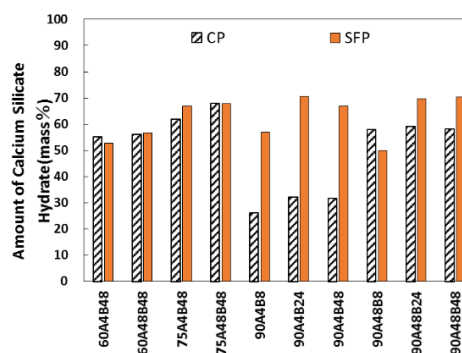


Figure 2. Amount of Calcium Silicate Hydrate

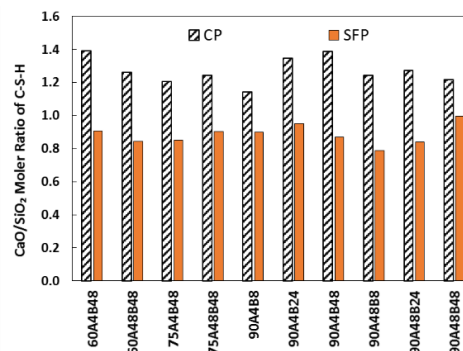


Figure 3.  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  Molar Ratio of C-S-H

## 4. まとめ

本研究により、熱養生を加えた低水結合材比の CP および SFP 中の SF 反応率は 90°C, 前置時間 4h を除き熱養生履歴に伴いほぼ同じ傾向が得られることがわかった。また、SFP で生成された C-S-H の  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  モル比は、CP と比較して 0.4 程度低くなった。

## 5. 参考文献

- [1] 佐藤正己ほか:超高強度コンクリートの熱養生サイクルの最適化に関する基礎的研究,セメント・コンクリート論文集,Vol.69,No.1p.558-564,2015