

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

日本大学大学院理工学研究科 学生会員 ○新沼 拓也
 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

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は低水結合材比(W/B)であり流動性が悪く、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。PCa部材の養生は早期強度を得られるため熱養生が適用されている。UHSCにはシリカフェューム(SF)が不可欠であるがUHSC中のSFのポゾラン反応挙動は不明な点が多い。しかし、UHSC中のような極めて低いW/B下でのSFのポゾラン反応挙動は検討がなされていない。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生成量のCaO/SiO₂モル比(C/S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

表-1に使用材料、表-2に配合表を示す。CPではC,SF,Wを投入し低速で6分高速で3分行った。SFPは、CH,SF,Wを投入し低速で10分で行った。CPは練り混ぜ後250mlポリ瓶に打設し、脱型後、ダイヤモンドカッターで各材齢に切り分けアルミテープで密封し熱養生を行った。SFPはW/B=15%で単位水量が極めて少ないため、練混ぜ後も外観が粉末のままであったためサミットモールドに詰めプレス成型を行った。SFP試料は水分が飛ばないようにアルミテープにより密封しステンレス容器に入れ熱養生を行った。表-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。

(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

表-1 使用材料

材料	略号	諸元
セメント	C	低熱ポルトランドセメント ρ : 3.22(g/cm ³)
シリカフェューム	SF	フェロシリコン系 ρ : 2.22(g/cm ³)
水酸化カルシウム	CH	試薬 : 化学用 ρ : 2.22(g/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

表-2 配合表

	W/B (%)	単位量 (kg / m ³)					SP添加量 (B×%)	DEF添加量 (B×%)
		W	SP	C	SF	CH		
CP	15	223	60	1190	297	—	4.0	0.25
SFP		138	37	—	459	459	4.0	—

表-3 熱養生履歴パターン

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				
90A48B	15	90	4	48	48	8
90A48B24			24			
90A48B48			48			
90A48B8		8				
90A48B24		24				
90A48B48		48				

熱重量示差熱分析計によりCH量、炭酸カルシウム(CaCO₃)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¹⁾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 α-Al₂O₃ 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。

キーワード シリカフェューム、プレキャストコンクリート、水和、養生、C-S-H、C/S比

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14 日本大学理工学部土木工学科 TEL/FAX 03-3259-0682

(5) C-S-H の CaO/SiO₂ モル比 (C/S 比) の算出

相組成より、セメント鉱物(C₃S, C₂S), SF 反応量の収支計算により CaO/SiO₂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

図-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と比較して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°C, 75°C, 90°Cで前置時間 4hを除き、前置時間、最高温度継続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¹⁾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ー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

図-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 CaO/SiO₂ モル比 (C/S 比) に及ぼす熱養生履歴の影響

図-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°Cや90°C, 前置時間 4hで高くなっており、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。

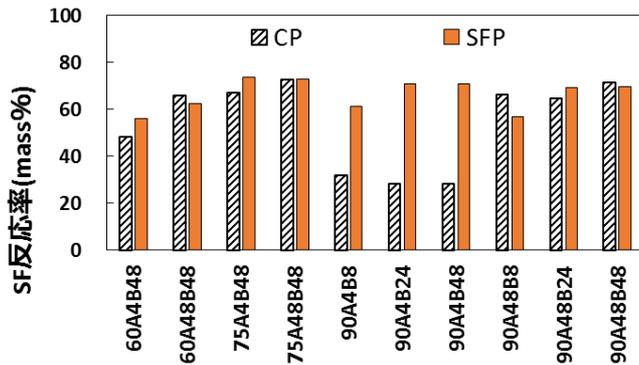


図-1 SF 反応率

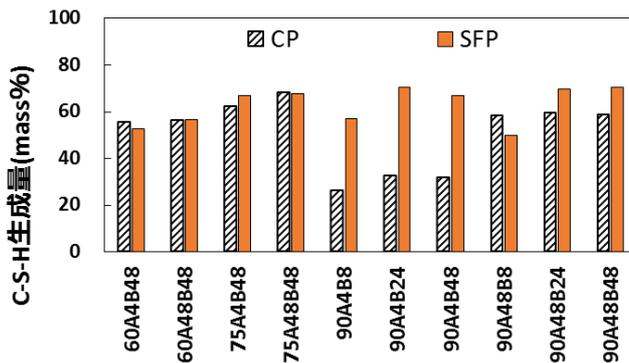


図-2 C-S-H 生成量

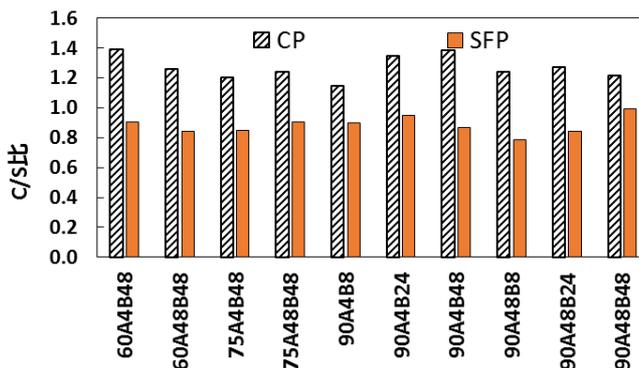


図-3 C-S-H の CaO/SiO₂ モル比

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CaO/SiO₂モル比は、CPと比較して0.4程度低くなった。

【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 (2015) No. 1p. 558-564