

熱養生履歴がフライアッシュ由来の水和物生成に及ぼす影響
The Effects of Heat Curing History on Hydrate Formation from Fly Ash

○奥田直樹¹, 佐藤正己², 梅村靖弘²

*Naoki Okuda¹, Masaki Satou², Yasuhiro Umemura²

Abstract: Recent years, Fly-Ash(FA) is emitted in coal-fired power plant that is demanded that using increase for concrete admixture. FA cement is increased strength by pozzolanic reaction of FA. However, it's not clear about the pozzolanic reaction. Pozzolanic reaction is alumina and silica in the FA react with calcium hydroxide. In this study, authors examined the effect of heat curing history on FA reaction rate, amount of calcium silicate hydrate (C-S-H), calcium aluminate hydrate(C-A-H), and calcium aluminate silicate hydrate(Katoite)

1. はじめに

近年, 石炭火力発電所から排出されるフライアッシュ(FA)はコンクリートの混和材として利用の拡大が求められている. FA を混和したコンクリートはポゾラン反応によって強度が増進する. このポゾラン反応は FA とセメントの水和物である水酸化カルシウム(CH)との水和反応によってケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)とアルミン酸カルシウム水和物(C-A-H)及び, ケイ酸アルミン酸カルシウム水和物(カトアイト)などが生成される反応である¹⁾. このポゾラン反応は温度に依存することが確認されている²⁾. しかし, プレキャスト(PCa)コンクリートを製造する際の熱養生履歴を与えた後のFAのポゾラン反応については明らかではない. そこで本研究は, FA と CH で作製したFAペースト試料を対象に, 水和物の種類, 生成量から熱養生温度, プログラムの違いがポゾラン反応に与える影響を検討した.

2. 研究概要

2. 1 試験条件

本実験における使用材料を Table1 に示す. FA ペーストは W/B=50%とした. 熱養生プログラムを Table2 に示す. 養生プログラムは最高温度を 65, 80°C, 前置時間を 0, 0.5, 2h 及び最高温度継続時間を 4, 6, 8h とした. 20°Cを基準温度とした積算温度(°C×h)を一定にした時の最高温度, 前置時間, 最高温度継続時間, 昇温を変化させた. 熱養生後の試料はアルミテープで密封し材齢 1, 14, 28, 91, 182, 365 日まで 20°C一定

Table1. Materials

材料	記号	諸元
フライアッシュ	FA	JIS II 種灰 密度:2.28(g/cm ³) ブレン値:3320(cm ² /g)ケイ酸量:51.6%
水酸化カルシウム	CH	等級:化学用 密度:2.21(g/cm ³)
水	W	蒸留水

Table2. Heat Curing History

パターン	最高温度(°C)	前置時間(h)	最高温度継続時間(h)	昇温速度(°C/h)	加熱積算温度(°C×h)	
		A	B	C		
65A05B4C	65	0.5	4	15	247.5	
65A2B4C		2				
65B6		0	6	∞		270
65B8			8			
80A2B4C	80	2	4	15	360	
80B6		0	6	∞		

で封緘養生した. 材齢まで達した試料はめのう乳鉢で粉砕しアセトンを用いて水和停止を行った. 熱養生プログラムの表記において, 昇温速度が「∞」は, 熱養生開始直後に最高温度に設定した場合を表す.

2. 2 試験項目

- (1) 間隙水量の測定は水和停止を行う前の質量と 105°Cの乾燥炉で二日間乾燥した質量の差より求めた.
- (2) CH 消費量と炭酸カルシウム(CaCO₃)生成量の測定は熱重量示差熱分析計(TG-DTA)により CH 量, CaCO₃量の吸熱ピークでの質量減少量から求めた.
- (3) FA の反応率は神越の選択溶解法を参考にし²⁾, FA の不溶残分量から反応率求めた.
- (4) FA ペーストの結晶質及び非晶質は神越²⁾らが行った方法と同様に内部標準物質に α-Al₂O₃(10mass%)を用いてピークの認められた CH, CaCO₃, FA 結晶相であるムライト, マグネタイト, 石英, 結晶相水和物であるカトアイトと非晶質の定量を行った.

1:日大理工・院(前)・土木 2:日大理工・教員・土木

(5)非晶質相中の C-S-H と C-A-H を判別するため、神越²⁾の方法と同様に試料に塩酸を加え、攪拌しながら 30 分保持しシリンジで回収した上澄み溶液を試料とし、Al₂O₃量を JIS K 0400-58-10 に従い測定した。

(1)～(5)の 5 つの試験結果より相組成を求めた。

3. 結果と考察

3. 1 フライアッシュの反応率

Figure1 に FA 反応率を示す。FA 反応率は材齢 28 日まで最高温度 80℃が 65℃より高くなった。一方、材齢 91 日以降では最高温度 80℃と 65℃のすべてが同等となった。しかし、材齢 182 日から 365 日の反応率の増加率は 80℃が 65℃よりも小さくなった。このことから PCa コンクリートを想定した場合、脱型強度を上げるには、最高温度を高くし FA 反応率の増加率を大きくすることが有効であり、一方、長期材齢の強度を大きくする場合には、最高温度を高くせず長期に亘る FA 反応率の増加率を大きくすることが有効である。

3. 2 C-S-H 生成量

Figure2 に C-S-H 生成量を示す。全材齢で C-S-H 生成量は最高温度 80℃が 65℃より、全ての養生パターンで多くなった。特に、材齢 28 日までは C-S-H 生成量は最高温度 80℃と 65℃の差が大きかった。このことから、全材齢で最高温度を高くすることが C-S-H 生成量を増加させるのに有効であることが分かった。

3. 3 C-A-H 生成量

Figure3 に C-A-H 生成量を示す。全材齢で C-A-H 生成量は最高温度 80℃が 65℃より、全ての養生パターンで少なくなった。また最高温度 65℃では、材齢 182 日以降では C-A-H 生成量はほとんど変化しなかった。このことから最高温度を高くすると C-A-H の生成量が減少することが分かった。

3. 4 Katoite の生成量

Figure4 にカトアイト生成量を示す。カトアイトは、養生温度 20℃では生成されないとの知見があるが²⁾、最高温度 80℃の熱養生ではカトアイトが生成された。一方、65℃の熱養生はカトアイトが生成されなかった。熱養生後のカトアイトの生成量は、最高温度 80℃のみで材齢の進行に伴い増加した。これらの結果よりアルミネート系の水和物は、最高温度により種類が異なり、

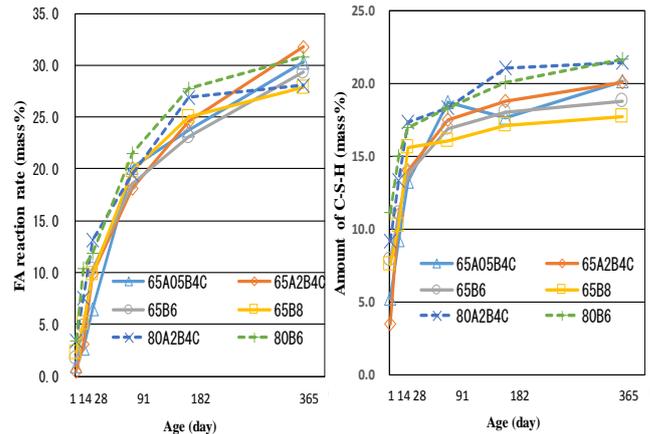


Figure1. FA Reaction Rate

Figure2. C-S-H

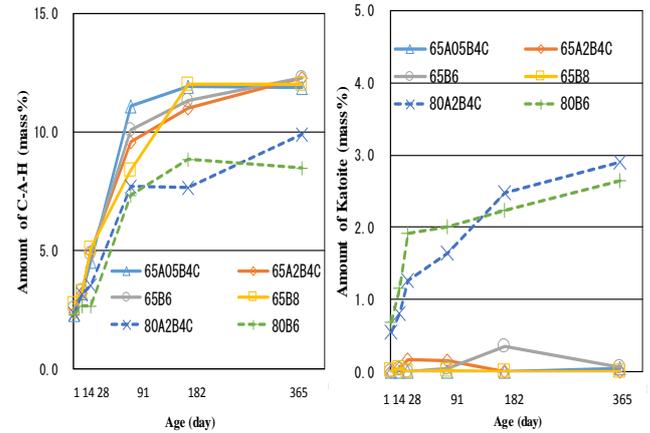


Figure3. C-A-H

Figure4. Katoite

最高温度 80℃の場合、熱養生中に生成されたカトアイトが種結晶となり熱養生後の標準養生 20℃でカトアイトが生成されやすくなることが推察された。

4. まとめ

- (1)フライアッシュのポズラン反応を促進し、C-S-H 生成量を増加させるには、最高温度を高くし、最高温度継続時間と前置時間を長くすることが有効である。
- (2)最高温度 65℃では C-A-H が増加するが、80℃では C-A-H がカトアイトに変化することが明らかだった。

参考文献

- 1) 山本武志ら：「フライアッシュのポズラン反応に関する研究-ポズラン反応機構解明と促進化学試験法 (API 法) の最適化-」, 電力中央研究所報告 N04008, pp10-11, 2004
- 2) 神越俊基ら：「フライアッシュのポズラン反応における養生温度の影響」, 土木学会第 69 回年次学術講演会講演要旨, pp. 395-396, 2014