

H1-10

熱養生履歴がフライアッシュのポゾラン反応に及ぼす影響

The Effects of Heat Curing History on the Pozzolanic Reaction of 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. 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⁾。そこで、本研究では熱養生履歴がFA とCHで作製したFA ペーストのポゾラン反応に及ぼす影響について検討した。

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 ペーストの W/B=50%とした。熱養生履歴を Table2 に示す。熱養生履歴は最高温度を 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)を一定とし最高温度、前置時間、最高温度継続時間を変化させた熱養生履歴がFA のポゾラン反応に及ぼす影響を検討した。各材齢まで達した試料をめのう乳鉢で粉碎し、アセトンを用いて水和停止を行った。熱養生履歴の表記は最高温度 65°C, 前置時間 2h, 最高温度継続時 4h の場合は 65A2B4 と表した。

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

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)	昇温速度(°C/h)	前置時間(h)	最高温度継続時間(h)	積算温度(°C×h)
65A05B4	65	15	0.5	4	247.5
65A2B4			2	4	247.5
65B6			-	6	270
65B8			-	8	360
80A2B4	80	-	2	4	360
80B6			-	6	360

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 の反応率は佐藤ら³⁾の選択溶解法を参考にし、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佐藤³⁾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。

(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。

1:日大理工・院(前)・土木 2:日大理工・教員・土木

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。最高温度 80℃は 65℃と比べ FA 反応率は全材齢で高くなった。65B6 と 65B8 はほとんど同じ値となり、材齢 14 日まで反応率は高くなった。材齢 14 日から 28 日にかけて 65A2B4 と 80A2B4 の反応率の増加が大きかった。このことから最高温度を高くし、最高温度継続時間及び前置時間を増加させることが反応率の増加に有効である。

3. 2 C-S-H 生成量

Figure2 に C-S-H 生成量を示す。最高温度 80℃は 65℃と比べ全材齢で C-S-H 生成量が増加した。最高温度 65℃では C-S-H 生成量がほとんど同じ値になった。80B6 は 80A2B4 より C-S-H 生成量が大きくなった。このことから、最高温度 80℃は前置時間がなくても最高温度継続時間が長い場合、生成量が増加することがわかった。

3. 3 C-A-H 生成量

Figure3 に C-A-H 生成量を示す。C-A-H 生成量は最高温度 65℃の時ほどの養生履歴もほぼ同じだった。最高温度 80℃の時、材齢 14 日から 28 日にかけて生成量が減少した。80A2B4 は 80B6 より生成量が多くなり、最高温度 80℃は最高温度継続時間が長い場合生成量が低くなり C-S-H とは反対の結果となった。

3. 4 Katoite の生成量

Figure4 にカトアイトの生成量を示す。カトアイトは、標準養生 20℃で生成されないと知見がある²⁾。本研究では 65℃での熱養生後はカトアイトが生成されなかったが、80℃での熱養生後はカトアイトが生成された。さらに 80℃では C-A-H が減少していることより FA からのアルミナの溶出が活性化し、C-A-H がカトアイトに変化したことが推察された。

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 が減少しカトアイトに変化していることが明らかになった。

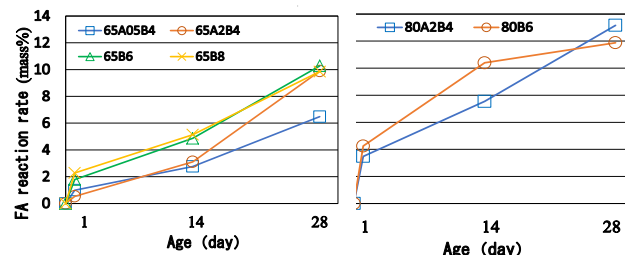


Figure1. FA Reaction Rate

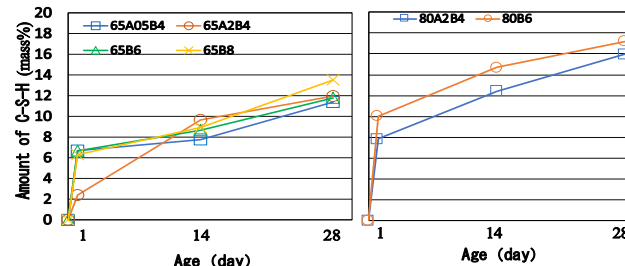


Figure2. Amount of C-S-H

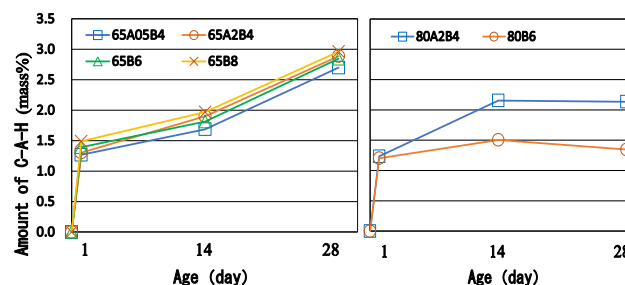


Figure3. Amount of C-A-H

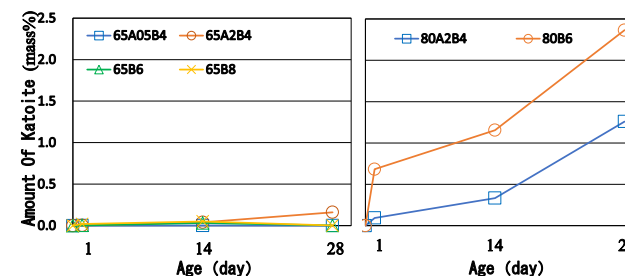


Figure4. Amount of Katoite

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
- 3) 佐藤 正己ら：「フライアッシュと水酸化カルシウムによるポズラン反応に及ぼす養生温度の影響」, Cement Science and Concrete Technology, Vol,70, 1 号 pp. 69-76, 2016