

フライアッシュのポゾラン反応に及ぼす熱養生の影響

日本大学大学院 学生会員 ○荒川 理加
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、環境問題の観点から産業副産物であるフライアッシュ(FA)の有効利用が求められており、プレキャストコンクリート(PCa)への利用が期待されている。FA セメントではセメントの水和反応で生成される水酸化カルシウム(CH)と FA の非晶質相から溶出したシリカ(SiO₂)、アルミナ(Al₂O₃)が反応し、ケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)、アルミン酸カルシウム水和物(C-A-H)などを生成するポゾラン反応が生じる。しかし PCa 製品を製造する際に行う養生温度がポゾラン反応に及ぼす影響についての研究は少ないのが現状である。本研究では、FA ペーストに加熱養生を施した場合のポゾラン反応へ及ぼす熱養生の影響を検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料と試料作製方法

本実験における使用材料を表一に示す。配合条件は FA と CH を 1:1 で混合し水結合材比を 50%とし、試験材齢を 1, 3, 7, 28 日とした。試験材齢まで温度を各々 20, 40, 60, 80℃と一定として封緘養生を行い養生終了後は粉末状にし、アセトンにより水和停止を行った。

2.2 実験項目

(1)～(5)の実験を実施し、FA 硬化体の相組成を求めた。ここで、ポゾラン反応で生成した非晶質水和物 C-S-H、C-A-H(C₃AH₆)と仮定し、FA から溶出した SiO₂ 及び Al₂O₃ 量を用いて算出した。

(1)間隙水量の測定

水和停止を行う前 105℃の乾燥炉で 2 日間乾燥し、質量を量り、その結果をもとに間隙水を算出した。

(2)選択溶解法による FA の反応率の測定

佐藤ら¹⁾が行った遠心分離法による選択溶解法を参考に、未反応 FA の残存量(FA の反応率)を求めた。

(3)吸光光度法による SiO₂ および Al₂O₃ の定量

SiO₂ は試料 150mg を塩酸 250ml, Al₂O₃ は試料 500mg を塩酸 50ml に加えて、攪拌しながら 30 分間保持後、シリンジで回収した上澄み溶液を試料とし、それぞれ JIS K 0555-1995, JIS K 0400-58-10 に従い試験を行った。

(4) TG-DTA による CH 消費量および CaCO₃ 生成量の測定

試料を熱重量示差熱分析計により測定し、CH 量を 400～450℃付近、CaCO₃ 量を 650～900℃付近の吸熱ピ

表一 使用材料

材料	略号	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	一級試薬
水	W	蒸留水

ーク、質量減少量から求めた。

(5)XRD/リートベルト法による FA ペーストの結晶質および非晶質の測定

XRD/リートベルト法により解析ソフト TOPA(Bruker AXS)を用いて、CH, CaCO₃, FA 鉱物(ムライト、マグネタイト、石英)と FA の水和により生成される結晶質水和物 C-A-S-H(カトアイト, C₃A₂SH₄)を定量した。また内部標準物質として α-Al₂O₃(10mass%)を用いて内部標準法により非晶質(FA の非晶質及び水和物)の定量を行った。

2.3 C-S-H の CaO/SiO₂ モル比 (C/S 比) の算出

FA 硬化体中の相組成から、C-S-H の CaO 量は CH の反応量の CaO 量から C-A-S-H と C-A-H ならびに CaCO₃ の CaO 量を差し引いて求めた。さらに C-S-H 中の SiO₂ 量を(3)で求めた水和物中の SiO₂ から C-A-S-H の SiO₂ 量を差し引いて求め、C-S-H 中の CaO 量と SiO₂ 量の比である CaO/ SiO₂ モル比を算出した。

3. 結果と考察

3.1 FA の反応率

図一に FA の反応率を示す。養生温度が高くなるにつれ反応率が増加した。PCa 製品の養生では一般的に 60～70℃で養生されているが、80℃で材齢 1 日から反

キーワード ポゾラン反応, C-S-H, C-A-H, C-A-S-H, CaO/SiO₂ モル比(C/S 比)

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

応が活性化し、養生温度が上がるにつれて反応率が増加することから、FA セメントでは 80℃で養生することにより FA のポズラン反応が促進し、養生の効率を高められると考えられる。

3.2 水和物の生成量

図-2 に C-S-H の生成量を示す。養生温度が高くなるにつれて C-S-H の生成量は増加した。図-3 に C-A-S-H の生成量を示す。20℃、40℃では生成されなかった。60℃では材齢 7 日で 1.7%生成されたが、その後の伸び率は小さく材齢 28 日では 2.3%しか生成されなかった。80℃では材齢 1 日で 3%生成され、材齢 28 日では 5%まで増加した。図-4 に C-A-H の生成量を示す。20℃では材齢の経過に伴い徐々に増加し 80℃と同等の値となった。40℃は初期材齢でほとんど生成されなかったが、材齢の経過に伴い材齢 28 日では 80、60℃を上回る 8%生成した。60℃では材齢 1 日で 80℃と同等の値を示したが、材齢 3 日以降 5%でほぼ変化しなかった。80℃では材齢 1 日以降 3%でほぼ変化しなかった。これらの結果より養生温度を 60℃以上にすると非晶質の C-A-H の一部が結晶性の C-A-S-H に変化していると推察される。

3.3 C-S-H の CaO/SiO_2 モル比 (C/S 比)

図-5 に C-S-H の C/S 比と FA の反応率の関係を示す。20℃では FA の反応率は 10%未満と低く、FA の反応率の進行に伴い C/S 比は増加した。40℃で材齢 1 日における反応率は 4%となり、その時の C/S 比は 5.6 と高い値を示し、その後は FA の反応の進行に伴い減少した。60℃では材齢 1 日における反応率は 8%で、その時の C/S 比は 3.8 であったが、反応の進行に伴い減少した。80℃では材齢 1 日における反応率は 16%となり C/S 比は 1.8 と非常に小さく反応率が 30%近くになると C/S 比が 1.3 にまで減少し、エーライト(C_3S)から生成される C-S-H の常温での材齢 28 日における C/S 比 1.7 と比較して小さい値となった。

4. まとめ

FA セメントの場合、養生温度を 80℃にすることにより FA のポズラン反応が促進し、従来の PCa 製品で行われている養生温度 60~70℃よりも養生の効率が高められると考えられる。また、養生温度 60℃以上で非晶質の C-A-H の一部が結晶性の C-A-S-H に変化し、さらに、ポズラン反応で生成される C-S-H の C/S 比は養生温度が高くなるにつれて減少した。

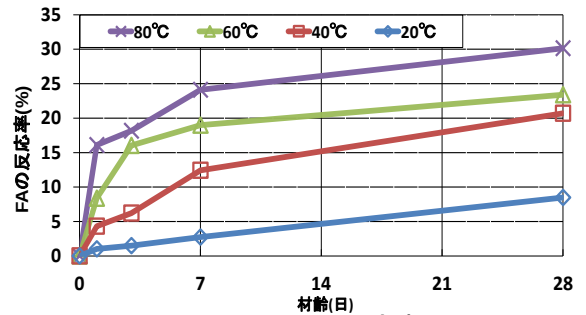


図-1 FA の反応率

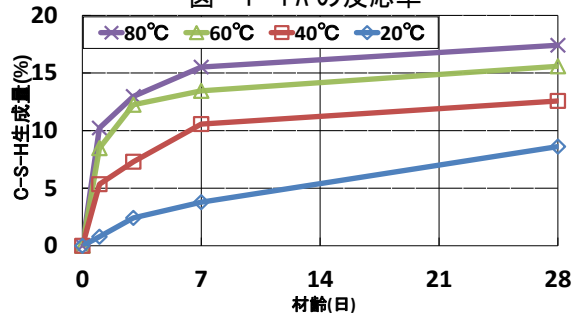


図-2 C-S-H の生成量

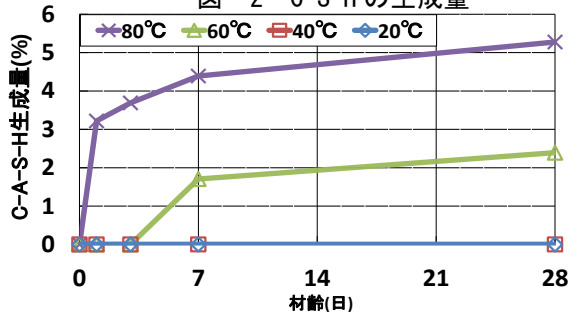


図-3 C-A-S-H の生成量

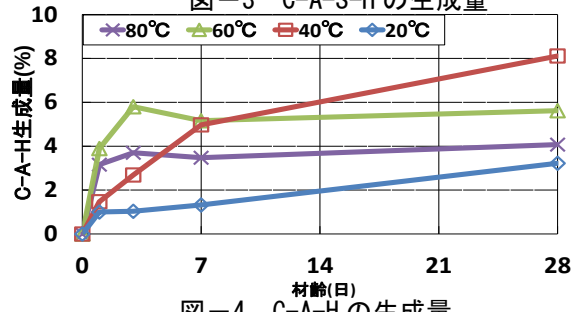


図-4 C-A-H の生成量

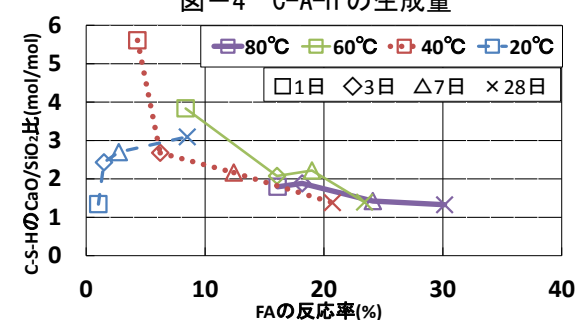


図-5 C-S-H の C/S 比と FA 反応率の関係

[参考文献]

- 1) 須田裕哉他: C-S-H の組成と物理的性質に関する基礎的研究, 土木学会論文集 E Vol.66 No.4, 528-544, 2012