

H1-3

## フライアッシュのポゾラン反応に及ぼす加熱養生の影響

## The Effects of Heat Curing on the Pozzolanic Reaction of Fly Ash

○神越俊基<sup>1</sup>, 佐藤正己<sup>2</sup>, 小泉公志郎<sup>3</sup>, 梅村靖弘<sup>2</sup>\*Toshiki kamikoshi<sup>1</sup>, Masaki Sato<sup>2</sup>, Koshiro Koizumi<sup>3</sup>, Yasuhiro Umemura<sup>2</sup>

Abstract: Nowadays, fly-ash cement is also being used in precast concrete products. In general, precast concrete products receive to heat by steam curing. However, the mechanism of pozzolanic reaction of fly-ash is not clear. In this study, we have investigated the influence of curing temperature in order to clarify the mechanism of pozzolanic reaction in the process of steam curing. As a result, the reaction rate of fly ash was activated at the curing temperature of 60°C or higher. However, curing temperature did not affect the reaction rate of fly ash after the age of the 7th material. Silica eluted from the fly ash has been found to be calcium silicate hydrate by reacting rapidly with calcium hydroxide.

## 1. はじめに

フライアッシュ(FA)の利用先としてプレキャストコンクリート(PCa)製品への利用実績がある。FA を混和したセメントは、セメントの水和反応で生成される水酸化カルシウム(CH)のカルシウムとFA から溶出するシリカが反応し、ケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)を生成するポゾラン反応が生じる。しかし、PCa 製品で施される蒸気養生がポゾラン反応へ及ぼす影響については明らかでない。本研究では、加熱養生時のポゾラン反応のメカニズムを明らかにするため、FA の反応率およびFA から溶出するシリカの挙動における養生温度の影響を調べた。

## 2. 実験概要

## 2. 1 使用材料および試料作製

本実験の使用材料を Table1 に示す。実験①ではFA1 とCH の等量混合粉末(S:質量比)に対してW/S=1.0 となるように蒸留水を加えFA ペーストを練混ぜた。練混ぜ後20, 40, 60 および80°C で24時間加熱を行い、その後、各試験材齢まで20°C で養生した。試験材齢は注水から7, 14, 28 および91 日とした。試験材齢に達した各試料の反応を停止させて2.2(1)に記載する方法でFA の反応率を測定した。

実験②では、FA2 とCH の等量混合粉末試料(S:質量比)をW/S=10.0 となるように20, 40, 60 および80°C に加熱した蒸留水に分散させ各試験材齢まで攪拌した。攪拌後、5分間放置し未溶解分を沈澱させ、上澄み水溶液と分けた。上澄み水溶液は0.45 $\mu$ m フィルターに通して注射器で回収し、上澄み水溶液試料とした。また、沈澱した未溶解分は、アセトンを用いて吸引ろ過で回収し、真空乾燥を行い反応を停止させて沈澱試料とした。上澄み水溶液試料ではFA から溶出するシリカについて調べるため2.2(2)の方法でケイ素量を測定した。さらに、沈澱試料では2.2(1)の方法でFA の反応率および2.2(2)の方法でポゾラン反応によって生成したC-S-H に含有するケイ素量を測定した。材齢は1, 2, 3, 6 および24 時間で行った。

## 2. 2 試験項目

(1)FA の反応率の測定: 実験①と実験②の沈澱試料において狩野ら<sup>[1]</sup>の手法に従い希塩酸によるFA の選択溶解法を行った。実験①では回収した各材齢のFA ペースト1000mg を50ml の2M ・塩酸水溶液に投入し60分間攪拌した。その後、回収した未溶解分を1000°C で加熱焼成した残存重量を差し引くことにより、ポゾラン反応によるFA の反応率を推算した。実験②では回収した各材齢の沈澱試料500mg を50ml の2M ・塩酸水溶液に投入し30分間攪拌した。実験①と同様に、未溶解分を加熱焼成した残存重量を差し引いてFA の反応率を推算した。

(2)ケイ素の測定: 実験②の上澄み水溶液試料を対象にJIS K 0555 に規定されている吸光光度法を行った。これにより、FA から水溶液中に溶出したケイ素量を定量した。また、実験②の沈澱試料を希塩酸に溶解した際の上

1: 日大理工・院(前)・土木 2: 日大理工・教員・土木 3: 日大理工・教員・一般

Table1. Material

Materials		Specifications
Fly Ash	FA1	JIS type II Density: 2.20(g/cm <sup>3</sup> ) Blaine Value: 3320(cm <sup>2</sup> /g) SiO <sub>2</sub> : 51.6(%)
	FA2	JIS type II Density: 2.28(g/cm <sup>3</sup> ) Blaine Value: 4320(cm <sup>2</sup> /g) SiO <sub>2</sub> : 61.3(%)
Calcium Hydroxide	CH	Extrapure Reagent
Water	W	Distilled Water

澄み塩酸溶液について同様の試験を行うことにより、ポズラン反応で生成した C-S-H に含有するケイ素量を定量した。

### 3. 結果及び考察

実験①の FA1 の反応率を Fig.1 に示す。養生温度 60℃では材齢の進行に伴い反応率は増加し、材齢 28 日での反応率は約 15%となったが、それ以降の反応率の増加率は低くなった。20 および 40℃でも同様に、材齢の進行に伴い反応率は増加したが、材齢 91 日までの反応率は 60℃よりも低かった。また、80℃では材齢 7 日に反応率が約 40%となったが、材齢 7 日以降の増加率は 60℃と同様の傾向であった。

Fig.2 に実験②における FA2 の反応率を示す。60℃では材齢 2 時間で反応が開始し、材齢 6 時間以降に反応率は大きくなった。80℃では材齢 1 時間で反応が開始し、材齢 2 時間以降に反応率が急激に増加した。60℃以上で加熱養生を行なう事によってポズラン反応が活性化することが確認できた。Fig.3 に実験②における上澄み水溶液試料に含まれるケイ素量を示す。これは、ポズラン反応により FA から水溶液中に溶出したシリカ量に相当するが、どの試料においても溶出量は極めてわずかであった。したがって、ポズラン反応によって FA から溶出したシリカは、水溶液中に溶出した段階で速やかに CH 中の  $Ca^{2+}$  と反応したと推察される。Fig.4 に実験②における上澄み塩酸溶液に含まれるケイ素量を測定した。これは C-S-H に含有するケイ素量であり、Fig.3 の結果からポズラン反応によって FA から溶出したシリカと見なす事ができる。養生温度 60℃以上で FA から溶出するシリカの量は増加する事が確認できた。また、C-S-H に含有するケイ素量は Fig.2 の FA2 の反応率と同様の傾向であった。このことから、FA から溶出したシリカは CH 中の  $Ca^{2+}$  と速やかに反応し C-S-H になる事が確認できた。

### 4. まとめ

- (1)養生温度 60℃以上で FA から溶出するシリカは増加し、CH 中の  $Ca^{2+}$  と速やかに反応し C-S-H になる。
- (2)養生温度 60℃では材齢 2 時間で FA の反応を確認した。また、養生温度 80℃では材齢 2 時間以降に FA の反応率は急激に増加し、7 日間で反応率は 40%まで進行した。しかし、それ以降の反応増進率は 60℃と同等であった。

### 5. 参考文献

[1] 狩野和弘ほか：ポズラン高含有低熱ポルトランドセメントの相組成と空隙率，セメント・コンクリート論文集，No.55，1981，pp956-963

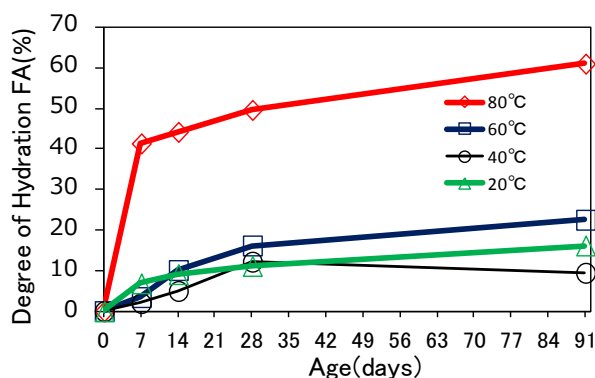


Fig.1. Degree of Hydration FA1

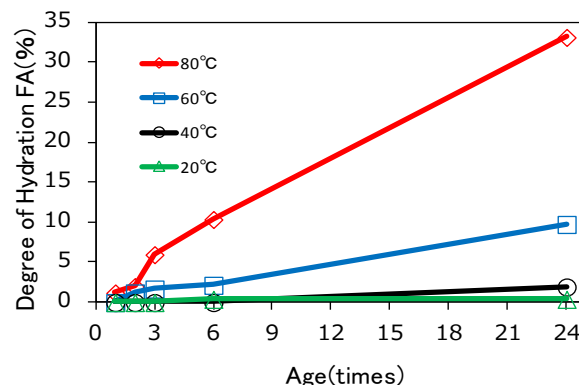


Fig.2. Degree of Hydration FA2

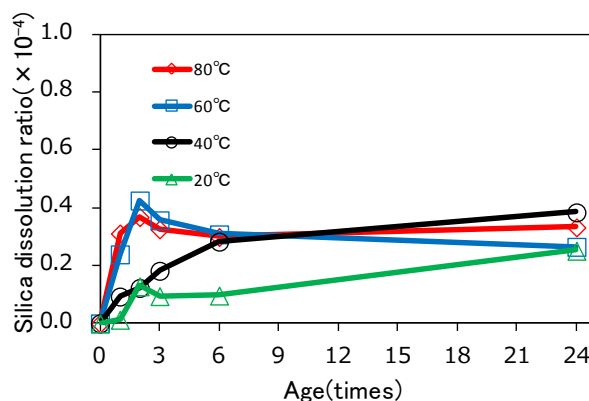


Fig.3. Amount of the silica eluted from FA2

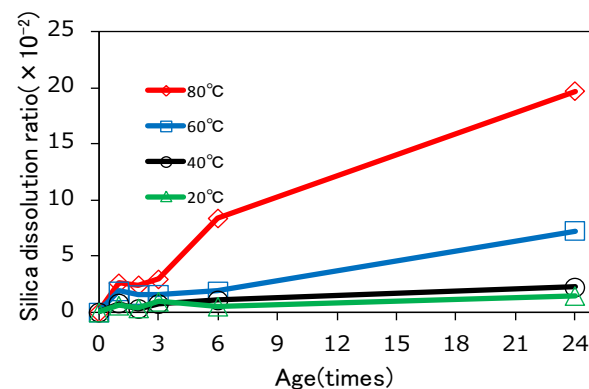


Fig.4. Amount of the silica contained in the C-S-H