

# 内部養生を模擬した水分供給がフライアッシュセメントペーストの 細孔構造および水酸化カルシウム量に与える影響

広島大学 正会員 ○小川 由布子  
 広島大学 Bui P. Trinh  
 広島大学 正会員 半井 健一郎  
 広島大学 フェロー会員 河合 研至

## 1. はじめに

コンクリート内部の骨材などから水分を供給する内部養生の効果は、自己収縮の低減や強度特性の向上等が報告[1, 2等]されている。しかし、セメントペースト中の細孔構造、セメントやフライアッシュの反応に対する内部養生の効果に関する実験的検討は多くない。そこで本研究では、シリンジを用いて供試体内部へ自然に水を供給することにより、内部養生を模擬し、フライアッシュセメントペースト供試体の細孔構造ならびにフライアッシュのボゾラン反応による水酸化カルシウム消費量を検討することとした。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料および配合

セメントは早強ポルトランドセメントを、フライアッシュは、JIS II 種相当品

表1 セメントおよびフライアッシュの物理的特性および化学組成

|              | 密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 比表面積<br>(cm <sup>2</sup> /g) | 化学組成(%) |                  |                                |                                |       |      |                 |                   |                  |
|--------------|----------------------------|------------------------------|---------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|-------------------|------------------|
|              |                            |                              | ig.loss | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O |
| 早強ポルトランドセメント | 3.14                       | 4590                         | 1.19    | 20.3             | 4.96                           | 2.71                           | 65.49 | 1.21 | 2.98            | 0.22              | 0.35             |
| フライアッシュ      | 2.21                       | 3290                         | 2.80    | 57.7             | 27.54                          | 5.43                           | 1.26  | 1.06 | 0.36            | 0.44              | 0.76             |

を使用した。セメントおよびフライアッシュの化学組成を表1に示す。セメントペーストの水結合材比は0.3の一定とし、フライアッシュを混入しない配合(FA0)とフライアッシュをセメントに対して40mass%置換した配合(FA40)を用意した。

### 2.2 供試体の作製

針の公称内径が0.395mm、容量が1mLのシリンジを用いて内部養生材からの水分供給を模擬した。セメントペーストは、40 x 40 x 40 mmの型枠に打ち込み、打ち込み面をアルミ粘着テープで封緘し、針先が供試体中心に位置するようにシリンジを配置した。ここで、針先の乾燥等を防ぐため、シリンジのプランジャー側を封緘した。材齢1日に脱枠し、すべての面にアルミ粘着テープを貼付し、材齢28日まで20°Cの恒温室内にて封緘養生した。その後、材齢1ヶ月にシリンジに水を入れ、針先における湿度勾配によって自然に水が供試体内部へ供給されるようにした。比較のため、シリンジに水を入れない供試体も用意した。

### 2.3 試験項目

試験項目は、細孔径分布試験による細孔構造および示差熱質量分析試験による水酸化カルシウム(CH)量とした。材齢2, 4, 6, 8, 12ヶ月の時点で針先付近から試料を採取した。細孔径分布試験は、針先から10mm以内の範囲より採取した2.5mmから5.0mmを対象とし、水銀圧入ポロシメータにより0.003μmから10μmの範囲で行った。示差熱質量分析試験には針先から4mm以内の範囲より採取した600μm以下の粉末試料を対象とし、20°C/minで100°Cまで昇温し、30分保持した後、同じ速度で1000°Cまで昇温する温度履歴を用いた。なお、採取した試料は、直ちにアセトンへ1日以上浸漬し、真空脱気を行うことで水和反応を停止した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 細孔構造の変化

図1に総細孔量の経時変化を示す。なお、“Water”は水分供給した場合を、“Control”は水分供給の無い場合を示している。FA0の総細孔量は、水分供給の有無にかかわらず、材齢2ヶ月以降の変化が小さい。一方で、

キーワード 内部養生, フライアッシュ, 細孔構造, 水酸化カルシウム消費量

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山一丁目4-1 広島大学 大学院工学研究院 TEL: 082-424-7786

FA40 の総細孔量は材齢 2 ヶ月以降も総細孔量が減少する傾向にあり、フライアッシュのポゾラン反応による緻密化がうかがえる。

また、水の供給により、すべての材齢において、フライアッシュの混和の有無に関わらず、総細孔量が小さくなっていることがわかる。これは材齢 1 ヶ月からの水分供給により、セメントおよびフライアッシュの水和反応が促進されたためと考えられる。材齢 12 ヶ月において両配合とも水分供給の無い場合に対して 15% 程度小さくなる結果となった。

### 3.2 CH 量および CH 消費量の変化

図 2 に各材齢における CH 量を示す。FA0 の CH はすべての材齢において、水分供給した場合に多くっており、セメントの水和反応の促進が伺える。一方、FA40 の場合は、ほぼ同等であった。そこで、FA0 および FA40 の CH 量 ( $CH_{FA0}$ ,  $CH_{FA40}$ ) および置換率( $r$ )を用いた式(1)によりフライアッシュのポゾラン反応による CH 消費量を算出した。

$$CH \text{ 消費量} = CH_{FA0} \times (1-r) - CH_{FA40} \quad (1)$$

算出した結果を図 3 に示す。フライアッシュのポゾラン反応による CH 消費量は、水分供給の有無に関わらず材齢 2 ヶ月から 6 ヶ月ではほぼ同様に増加した。一方、その後の CH 消費量は水分供給した場合の方が増加した。これより、水分供給により、セメントの水和反応のみならずフライアッシュのポゾラン反応も促進されることが明らかとなった。

### 3.3 細孔構造と CH 消費量の関係

図 1 に示した総細孔量のうち、 $0.01\mu\text{m}$  以上  $10\mu\text{m}$  以下の空隙を毛細管空隙、 $0.003\mu\text{m}$  以上  $0.01\mu\text{m}$  未満の空隙をゲル空隙として[3]、CH 消費量との関係を図 4 および図 5 に示す。これらの図に示すとおり、CH 消費量が増加すると毛細管空隙が減少し、ゲル空隙が増大している。すなわち、水分供給によりセメントの水和反応およびフライアッシュのポゾラン反応が促進され、これによる水和生成物が毛細管空隙を埋め、組織を緻密にしたと考えられる。

## 4. まとめ

内部養生を模擬してフライアッシュセメントペーストの内部へ水分供給をした場合、供給源付近のセメントペーストは緻密になることがわかった。これは内部養生によるセメントおよびフライアッシュの反応の促進によるものであると考えられる。

### 参考文献

- [1]Kovler K and Jensen OM: Internal Curing of Concrete. State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 196-ICC, 2007.  
 [2] Suzuki M et al.: Use of porous ceramic waste aggregate for internal curing of high-performance concrete. Cement and Concrete Research 39(5):373-381, 2009. [3] Mindess S and Young JF: Concrete, 1st ed., Prentice-hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J.07632,1981

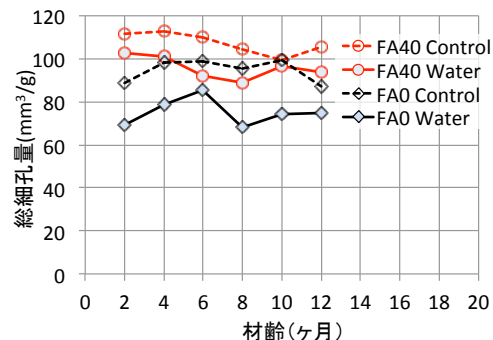


図 1 総細孔量の経時変化

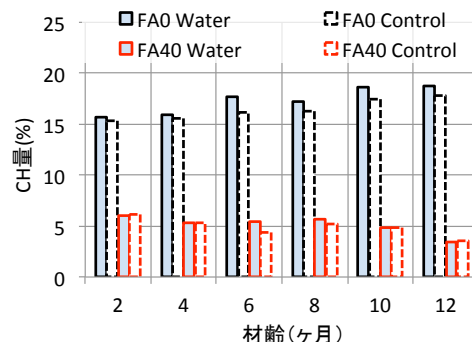


図 2 CH 量の変化

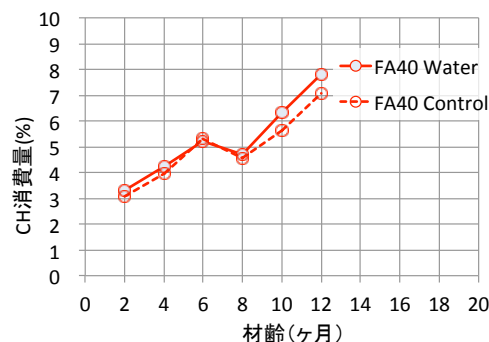


図 3 CH 消費量の経時変化

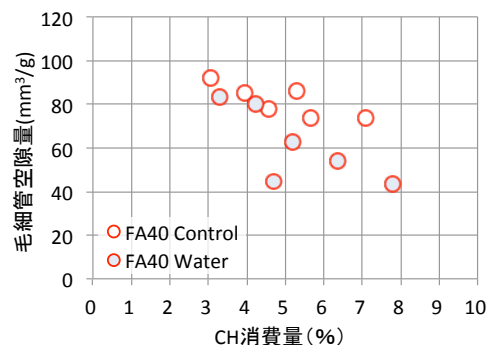


図 4 CH 消費量と毛細管空隙量の関係

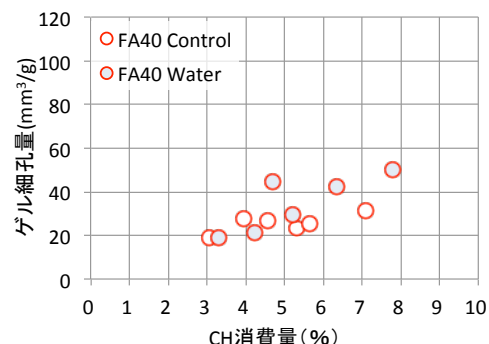


図 5 CH 消費量とゲル空隙量の関係