

オートクレーブ処理したフライアッシュ高含有セメントペーストの圧縮強度と水酸化カルシウム残存量

金沢大学工学部 正会員 ○山戸博晃 金沢大学大学院 学生員 伏木 明
(株)ホクコン 正会員 澤崎晴彦 金沢大学工学部 正会員 鳥居和之

1. まえがき

近年、コンクリート構造物における環境適合能力が注目されている。一方、水環境下においては、コンクリートから溶出する水酸化カルシウムが生態系に悪影響を及ぼすことが懸念されるために、ポーラスコンクリートには水酸化カルシウムの生成を抑制することが求められる。

本研究は、水酸化カルシウムを含有しない高強度のポーラスコンクリートの開発を目的として、オートクレーブ処理したフライアッシュ高含有セメントペーストの圧縮強度と水酸化カルシウム残存量の検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料 使用材料は、普通ポルトランドセメント(比重:3.16, 粉末度:3300cm²/g)及び2種類のフライアッシュ(FA・A(分級品, SiO₂量:57%, 強熱減量:3.0%)及びFA・B(原粉, SiO₂量:68%, 強熱減量:2.2%))である。混和剤はナフタリン系高性能減水剤を使用した。フライアッシュの重量置換率は0、10、20、30、40、50、60及び70%の8種類とし、水粉体比は同一のフロー値を確保するためにFA・A及びFA・Bに対してそれぞれ26%及び31%とした。

2.2 試験体の作製方法 練り混ぜは、容量5リットルのモルタルミキサーを使用し、φ5×10cmの円柱試験体に2層に分けて詰め、テーブル型振動機により締固めを行った。養生は、蒸気養生(温度65℃で3時間保持)後に、オートクレーブ養生(温度180℃, 10気圧で4時間保持)とし、その後7日間水中養生(または気中養生)を行った。比較のためにオートクレーブ養生を行わない試験体も作製した。試験項目は、圧縮強度、pH値、Ca²⁺イオンの溶出量、Ca(OH)₂生成量、X線回折分析などである。アルカリ成分の溶出試験は、セメント硬化体を88μm以下に粉砕し、蒸留水と粉末試料(粉末試料1gに対して蒸留水100ccの固液比)を10分間攪拌した後のろ過液に対して行った。また、アセトン浸漬し、水和反応を完全に停止させた粉末試料(真空乾燥1日)に対して、セメント硬化体に含まれるCa(OH)₂量をDSCにより測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 pH値 オートクレーブ養生したセメント-フライアッシュ硬化体のpH値を図-1に示す。セメント-フライアッシュ硬化体のpH値は11~13の範囲にあり、フライアッシュの置換率が大きくなるにつれてpH値が減少するのが認められた。しかし、フライアッシュの種類によるpH値の相違は明確ではなかった。また、気中養生の試験体は水中養生のものと比較してpH値が低くなったが、これは気中養生期間中の炭酸化による影響と考えられた。

3.2 水酸化カルシウムの生成量 オートクレーブ処理したセメント-フライアッシュ硬化体の水酸化カルシウムの生成量を図-2に示す。本測定では、DSC曲線におけるCa(OH)₂の吸熱ピーク(420~480℃)の面積より定量的に分析した。図-2に示すように、セメント硬化体の水酸化カルシウムの生成量は、フライアッシュの置換率が増加するとともに大きく減少しており、

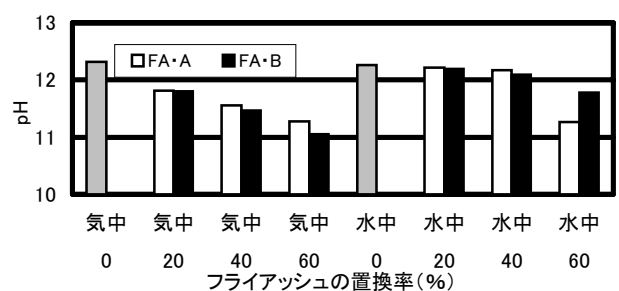


図-1 セメント-フライアッシュ硬化体の pH 値

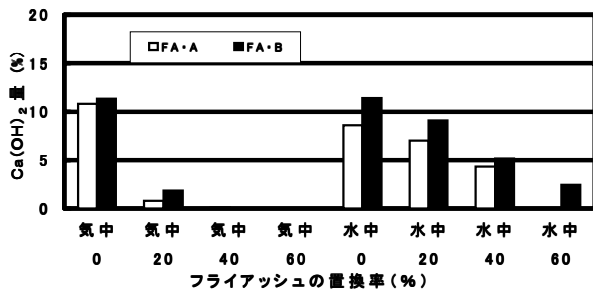


図-2 セメント-フライアッシュ硬化体の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 生成量

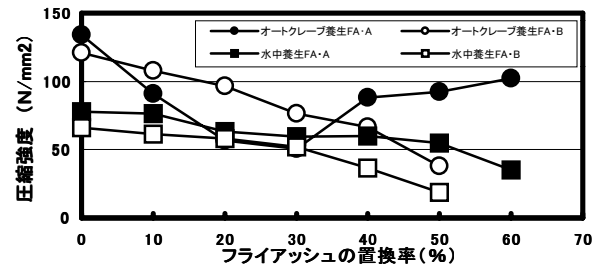


図-3 セメント-フライアッシュ硬化体の圧縮強度

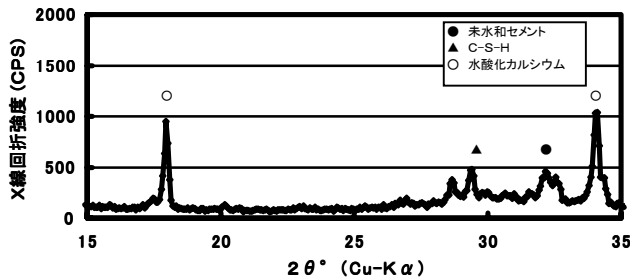


図-4 セメントペースト硬化体の X 線回折図

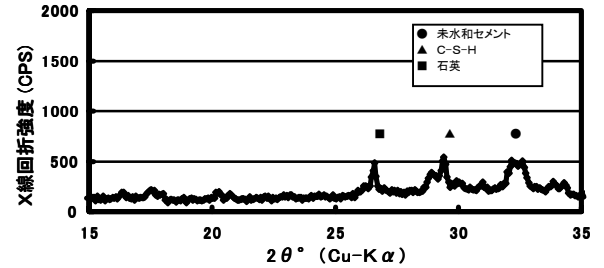


図-5 セメント-フライアッシュ硬化体の X 線回折図
(FA・A40%置換)

フライアッシュの種類に関係なく気中養生のものはフライアッシュの置換率が 40%で水酸化カルシウムが材令 7 日にてすでに消失しているのが確認された。これは、オートクレーブ処理によりフライアッシュと水酸化カルシウムの水和反応が活発になり、生成した水酸化カルシウムの大部分が C-S-H ゲルまたはトバモライトゲルの形で硬化体中に取り込まれたことによるものである。

3.3 圧縮強度 通常、オートクレーブ処理により高強度の硬化体を得るには、30～50%の活性シリカを混入することが必要になるが、フライアッシュを混和した場合にはフライアッシュのガラス相に含まれるシリカ分が水熱反応に携わるものと考えられる¹⁾。オートクレーブ養生および水中養生を行ったセメント-フライアッシュ硬化体の圧縮強度(材令 7 日)を図-3 に示す。通常の水養生の場合には、7 日材令程度の初期には、フライアッシュのポゾラン反応による効果がほとんど期待できないために、いずれのフライアッシュにおいても置換率の増加とともに圧縮強度が減少している。一方、オートクレーブ処理した場合には、フライアッシュの反応が最も活発になる置換率が存在するようであるが、低水セメント比の場合にはフライアッシュの種類により置換率にともなう強度発現性が大きく相違する。とくに、FA・A の場合、圧縮強度が置換率 30%までは減少するが、それ以上の置換率にて圧縮強度が急激に増大していることは非常に興味深い点である。

3.4 X 線回折分析 オートクレーブ養生したセメントペースト硬化体及びセメント-フライアッシュ硬化体の X 線回折図を図-4 及び図-5 に示す。これらの図より、セメントペースト硬化体には、水酸化カルシウムの大きなピークが存在しているが、FA・A 置換率 40%のものには、水酸化カルシウムのピークが消失しているのが確認できた。また、両硬化体ともに未水和のセメント粒子が存在するとともに、フライアッシュ中の石英の一部が水熱反応後にも残存しているのが確認できた。

4. あとがき

今回の試験結果より、オートクレーブ処理したセメント-フライアッシュ硬化体では、フライアッシュ置換率 40%程度にて水酸化カルシウムの生成量をほぼゼロにすることができた。同時に、オートクレーブ処理によりセメント-フライアッシュ硬化体は内部組織が緻密となり、強度発現性が大きく改善されることが確認された。

<参考文献> 1)長瀧重義他、高温養生下におけるフライアッシュコンクリートの力学特性、土木学会論文集、No.390、pp.189-197、1988