

フライアッシュコンクリートの強度発現メカニズムの解明

背景

低レベル放射性廃棄物処分場において使用されるセメント系材料のうち、人工バリア材料として低拡散層への適用が計画されているモルタルには、フライアッシュが混合される。JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」には、モルタルとしての強度発現性の品質規格があり、28日・91日活性度指数が規定されており、フライアッシュの出荷時には、これらの長期強度の品質規格値が必須である。しかし、フライアッシュのポゾラン反応性の評価に3ヶ月間要することは不合理であり、長期強度の迅速判定法の確立が求められている。また、人工バリア材料として期待される長期耐久性を評価するために、ポゾラン反応による組織緻密化のメカニズムを明らかにすることが急務とされている。

目的

フライアッシュの物理・化学特性が、ポゾラン反応に伴うコンクリートの長期強度発現ならびに組織緻密化に及ぼす影響を明らかにする。

主な成果

1. フライアッシュの諸化学特性とポゾラン反応

フライアッシュのポゾラン反応性は、強度発現の観点で初期卓越型と中庸型の2種類に分類される(図1)。初期卓越型は、材齢半年以降の強度発現が緩慢になり、中庸型はこれ以降も強度の増大がみられる。フライアッシュの化学組成、ガラス化率、塩酸可溶性成分および水溶性成分等の指標では、ポゾラン反応初期卓越型と中庸型のフライアッシュを区別できないが、API法^{*1}ではこれらを区別できる(図2)。

2. ポゾラン反応にともなう組織緻密化と強度発現

フライアッシュの種類、混合の有無および材齢に拘らず、モルタルの圧縮強度と孔径20～330nmの範囲の細孔容積率との間には高い相関関係があり、この範囲の細孔容積が減少すると強度が高まる(図3)。ポゾラン反応中庸型のフライアッシュ粒子近傍では、孔径20～330nmに相当する練混ぜ余剰水痕が水和物により充填されるとともに、低Ca/Si比(約1.2)のC-S-Hコロイド間の密着度が高まることで組織が緻密化し、強度が高まる(図4)。一方、初期卓越型のフライアッシュ粒子周囲では、それらの現象と共にC-S-HコロイドのAl/Ca比が約0.2にまで高まり、Si、Alイオンの拡散速度が早期に律速されるため、細孔充填効果と強度発現効果が緩慢になる(図5)。

今後の展開

ポゾラン反応相を構成するC-S-Hコロイドの高Al/Ca比化が、組織の緻密化と強度発現に及ぼす影響について実験的検討を進める。さらに、ポゾラン反応初期卓越型と中庸型の判別法について検討し、API法の規格化を目指す。

主 担 当 者 地球工学研究所 バックエンド研究センター 主任研究員 山本 武志

関連報告書 「フライアッシュコンクリートのポゾラン反応に伴う強度発現メカニズムについての考察」

電力中央研究所報告: N06018

^{*1}: フライアッシュとセメントを等量混合した懸濁液中のCa²⁺消費率を指標としたポゾラン反応性迅速判定法であり、2日間で試験結果を得ることができる。

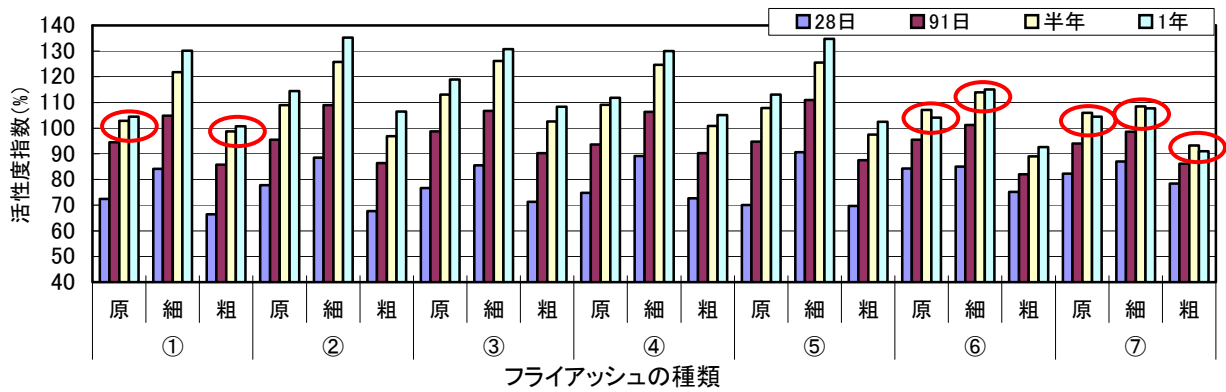


図1 モルタル活性度指数の経時変化

注) 活性度指数は、セメント単味モルタルに対するフライアッシュ混合モルタルの圧縮強度の比率を表す。○は、材齢半年以降の活性度指数の増加が鈍化することを表す。試料①～⑤はA発電設備、⑥と⑦はB発電設備から産出したフライアッシュを表し、原、細、粗は各々原粉、細粉、粗粉を表す。フライアッシュ①、⑥、⑦をポゾラン反応初期卓越型、②～⑤をポゾラン反応中庸型と判定した。

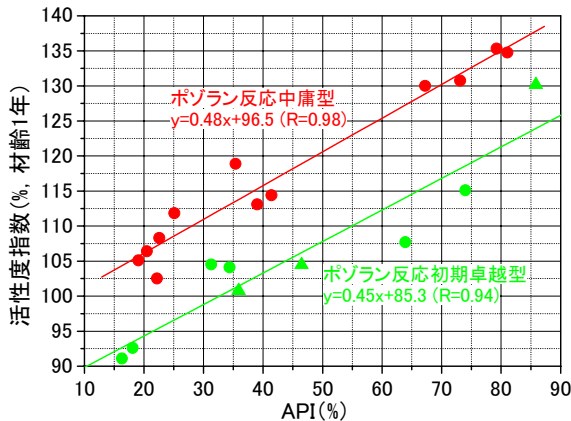


図2 API値と材齢1年活性度指数との相関

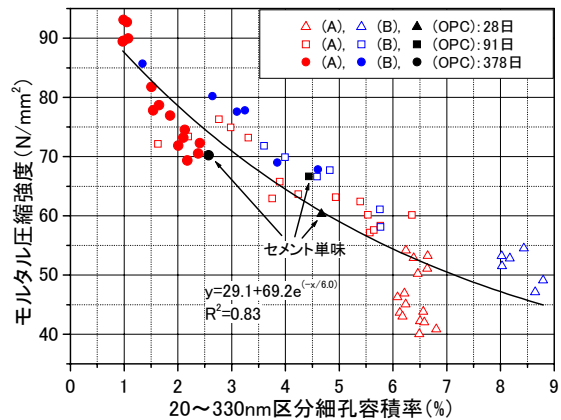


図3 20～330nm区分細孔容積率と圧縮強度の関係

注) 活性度指数は、タイプ毎に API 値に対して良好な相関を示し、発電設備毎の事前調査にて予めタイプ分けを行い、実用時には API 値を基に活性度指数を予測可能になる(図2)。モルタル中の孔径20～330nmの細孔量が減少することで組織の緻密化がもたらされ、圧縮強度は増加する(図3)。

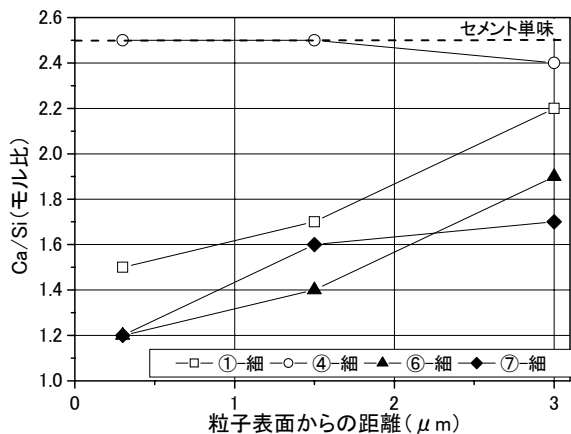


図4 材齢28日における反応相のCa/Si比分布

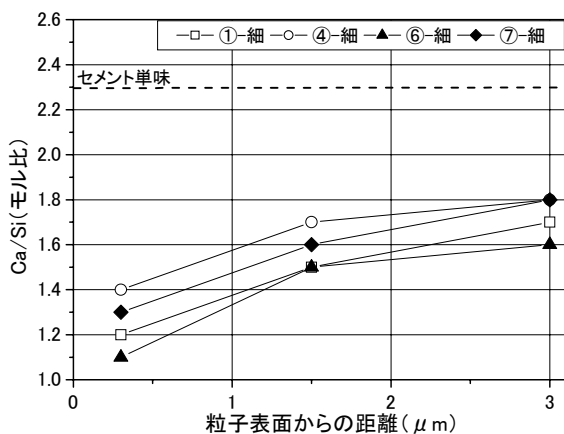


図5 材齢1年における反応相のCa/Si比分布

注) 水酸化カルシウム消費量が少ない材齢28日においてもポゾラン反応初期卓越型フライアッシュの粒子近傍では、セメント水和物C-S-HへのSiの拡散が生じる。しかし、材齢1年ではタイプによるSi拡散量の差は小さい。