

刺激剤を添加したフライアッシュ多量置換セメントの水和特性

広島大学大学院工学研究科
オリエンタル建設(株)
広島大学大学院工学研究科
広島大学大学院工学研究科
広島大学大学院工学研究科

正会員
正会員
学生会員 ○Paweena Jariyathitipong
学生会員
正会員

河合 研至
松本 高明
学生会員 ○Paweena Jariyathitipong
梶元 淳平
佐藤 良一

1. はじめに

近年、発生する石炭灰は増加の一途をたどっており、セメント・コンクリート分野での多量使用が強く期待されているが、フライアッシュの多量使用にはいくつかの問題がある。しかし、 Na^+ 、 K^+ がポゾラン反応を刺激している可能性があるという報告¹⁾があり、多量に置換した場合、長期材齢において充分な $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を供給することができず、それ以上ポゾラン反応が進行しないことが示唆された。そこで、本研究では、刺激剤として水酸化ナトリウム(NaOH)、水酸化カリウム (KOH)、 Ca^{2+} の補充に石灰石微粉末(LP)を用いた硬化体の水和特性について実験的に検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

本研究では、セメントおよびフライアッシュ(FA)を結合材とし、水結

合材比を 45%とした。セメントには普通ポルトランドセメントを用い、 FA には、プレアソール炭の細粉を使用した。表 1 に FA の主な化学組成および物理的性質を示す。フライアッシュ置換率は 0,30,60,90%とした。刺激剤は練混ぜ水が 0.5N 水溶液となるように添加し、石灰石微粉末（比表面積：8130 cm^2/g ）は質量で FA の 1/2 を外割で混入した。また、細骨材には風化花崗岩系山砂（密度：2.55 g/cm^3 ）を使用した。

2.2 溶存イオン濃度および生成物の分析

供試体はペーストとした。供試体から高圧抽出装置を用いて細孔溶液を抽出し、細孔溶液中の各溶存イオン濃度を分析した。また、別に打設した供試体を微粉碎し、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量の定量、結合水量の定量を行った。試験材齢は 1,7,14,28,63 および 91 日とした。

2.3 細孔径分布

試験に供するまで水中養生したモルタル供試体を微粉碎し、真空脱気後、水銀圧入法により細孔径容積を測定した。試験材齢は 7,28,91 日とした。

3. 実験結果

図 1 に細孔溶液中の OH^- 濃度をフライアッシュ置換率ごとに示す。 FA 無置換のものの OH^- 濃度が上昇し続けているのに対し、 FA を置換したものは初期の上昇後、ポゾラン反応により減少していることが確認された。また、刺激剤を添加したものに着目すれば、刺激剤無添加のものより早く、かつ多くの OH^- が消費されており、ポゾラン反応性が高まったといえる。また、 Na^+ を添加したものに比べ、 K^+ を添加したものの方が OH^- の消費が多く、ポゾラン反応性に及ぼす効果は、 K^+ のほうが強いといえる。

表 1. フライアッシュの化学組成および物理的性質

フライアッシュの種類	主成分 (%)				密度 (g/cm^3)	比表面積 (cm^2/g)
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO		
プレアソール炭 細粉	57.9	29.7	5.5	0.9	2.27	3830

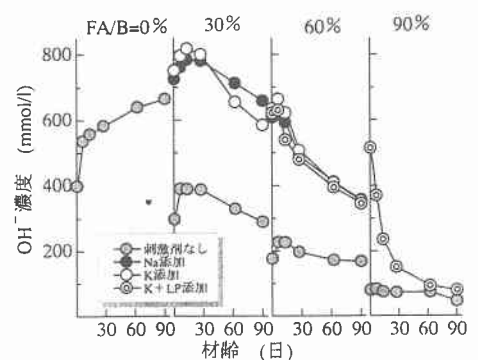
図 1 OH^- 濃度の経時変化

図2に、 K^+ 、 Na^+ の消費量の経時変化を示す。なお、PLはFA無置換のペーストを表わす。 OH^- の消費と、 Na^+ 、 K^+ の消費には同じ傾向が見られる。このことから、従来 $Ca(OH)_2$ とFAの反応であると思われていたポゾラン反応に、 Na^+ 、 K^+ が影響を及ぼしていることがうかがえる。具体的な影響として、ポゾラン反応の進行により、 Na^+ 、 K^+ の濃度が低下したことから、生成されるC-S-Hなどの中に Na^+ や K^+ が何らかの形で固定されている可能性があるといえる。

次に、結合材あたりの $Ca(OH)_2$ 量の経時変化を図3に示す。フライアッシュ置換率が高いほど生成する $Ca(OH)_2$ 量は少ないことがわかる。 OH^- 濃度と同様に、フライアッシュ無置換のものは材齢経過とともに $Ca(OH)_2$ 量が増加しているのに対し、FAを置換したものは初期の上昇後減少していることから、ポゾラン反応の進行がうかがえる。刺激剤を添加したものは刺激剤を添加していないものに比べて早い時期から消費を開始しており、刺激剤の添加がポゾラン反応の開始時期や、消費量に影響することが確認された。

図4に、50nm以上の細孔径分布を示す。FA置換率が高いほど50nm以上の空隙が多く、ポーラスな構造をしていることがわかる。どの配合も、材齢経過とともに50nm以上の細孔容積が小さくなっているが、FAを置換したものはその傾向が強く、ポゾラン反応による組織の緻密化という特徴的なパターンがみられた。さらに、FA置換率60%のものに着目すれば、刺激剤を添加したものは刺激剤を添加していないものに比べて、材齢経過と共に空隙の充填の程度が大きく、刺激剤の添加によりポゾラン反応の進行が促進される場合があるといえる。

4. まとめ

本研究で得られた結論を以下に示す。

1. 刺激剤の添加することにより、 $Ca(OH)_2$ や OH^- の消費時期が早まり、また消費量も多くなることから、ポゾラン反応性が高まったといえる。また、ポゾラン反応性に及ぼす効果は K^+ のほうが強い。
2. ポゾラン反応時に生成するC-S-Hなどの中に Na^+ 、 K^+ が何らかの形で固定された可能性がある。
3. ポゾラン反応の進行により、50nm以上の空隙が充填されることが確認された。FA置換率60%においては、刺激剤の添加により空隙の充填効果が高まった。

(参考文献) 1) 松本高明、河合研至ほか：フライアッシュを多量使用したセメントペーストの水和特性、第54回セメント技術大会、講演要旨、pp.116～117、2000

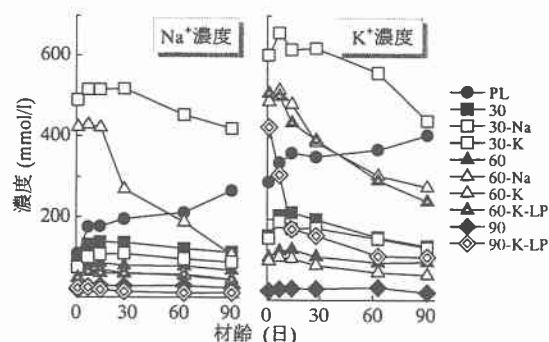


図2 Na^+ 、 K^+ 濃度の経時変化

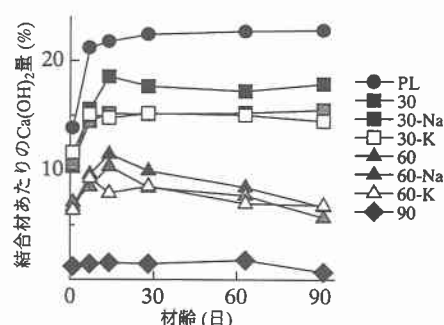


図3 結合材あたりの $Ca(OH)_2$ 量

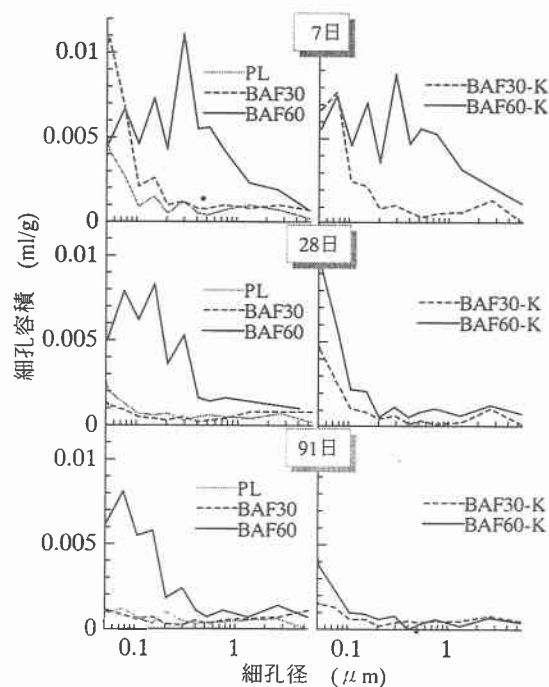


図4 50nm以上の細孔径分布