

刺激剤を添加したフライアッシュ多量置換セメントの力学的特性

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
オリエンタル建設㈱

正会員 河合 研至
正会員 佐藤 良一
学生会員 ○ 栢元 淳平
正会員 松本 高明

1. はじめに

近年の石炭灰発生量の増加からフライアッシュの多量使用が重要な課題となってきた。フライアッシュセメント使用した場合、ポゾラン反応による長期強度の増進、組織の緻密化などが見込まれるが、多量使用した場合には、必然的に強度が低下し、組織はポーラスになる。そこで、本研究では、刺激剤として水酸化アルカリ（NaOH、KOH）を使用し、また、長期にわたるポゾラン反応の進行を促すため石灰石微粉末を用いた硬化体の力学的特性について実験的に検討した。

表 1. フライアッシュの化学組成および物理的性質

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

フライアッシュの種類	主成分 (%)				密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO		
ブレアソール炭 細粉	57.9	29.7	5.5	0.9	2.27	3830

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、ブ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(FA/B)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(LP)（比表面積：8130cm²/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、粗骨材には流紋岩質碎石を使用した。

2.2 モルタルの強度試験および細孔径分布の測定

水中に養生したモルタル供試体を用い、材齢 7,28,91,161 日において曲げおよび圧縮強度試験を行った。また、供試体の一部を用い、水銀圧入法による細孔径分布の測定を行った。

2.3 乾燥収縮試験

打設後湿潤養生し材齢 7 日から乾燥を開始したコンクリートを用い、コンタクトゲージ法により乾燥収縮ひずみを測定した。

3. 実験結果および考察

図 1 に 50nm 以上の累積細孔容積を示す。ポゾラン反応時には C-S-H の生成により、50nm 以上の空隙が充填される。また、50nm 以上の空隙は強度に影響を及ぼすとされている。図 1 を見ると、FA/B が高いほどポーラスな構造をしている。しかし、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空隙の充填率が高くなっている。FA/B=60%においては顕著に表れている。これは刺激剤の添加によりポゾラン反応が促進されたものと思われる。

図 2 にモルタルの強度試験結果を示す。強度は PL が最も大きく、FA/B が高いほど小さい。曲げ強度に着目すると、材齢 91 日以降、PL の曲げ強度は減少したが、FA を置換したものは増進しており、ポゾラン反応による長期強度の増進という特徴

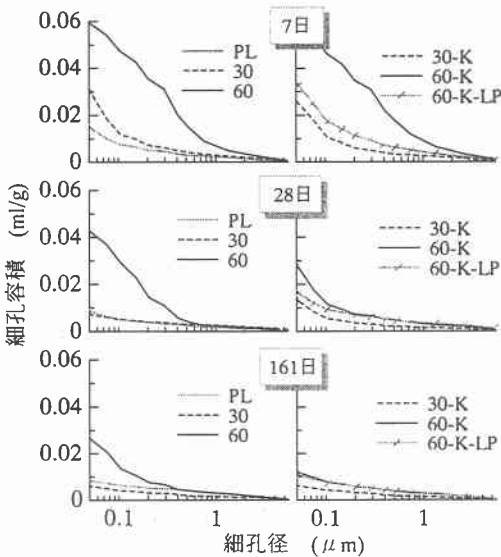


図 1 累積細孔径分布

的なパターンが見られた。しかし、FA/B=90%においては、材齢経過にともなう強度の増進があまりない。また、FA/B=60%において、LPを混入したものが大きな強度を示している。これは、LPを外割で混入したため、供試体あたりの水量が少なくなったことと、石灰石微粉末がいわゆる微粉末効果を有していることにより、強度が増加したものと思われる。図3に強度と50nm以上の累積細孔容積の関係を示す。グラフより、強度と細孔容積は比較的線形に近い関係にあるように思われる。しかし、90-K-LPは細孔容積の変化も強度の変化もさほど大きくなく、ポゾラン反応の進行が確認できない。また、刺激剤を添加したものは、添加していないものに比べて同程度の細孔容積に対して強度が劣っている。強度は、主にセメントの水和やポゾラン反応により生成されるC-S-H間の分子間力によるものと考えられる。本研究の場合、刺激剤の添加により、ポゾラン反応により生成するC-S-Hが通常のセメントの水和により生成するC-S-Hと形態が異なることが考えられる。

図4にコンクリートの乾燥収縮の経時変化を示す。90-K-LPが大きく収縮していることがわかる。これは、90-K-LPは弾性係数が小さく変形に対する抵抗性が弱いいため、小さな収縮応力でも大きく変形してしまうためと思われる。FA/B=30、60%に着目すれば、刺激剤を添加したものの、特にK⁺を添加したものは収縮が大きい。図5に供試体の質量減少率を、図6に乾燥収縮ひずみと質量減少率の関係を示す。同程度の質量減少率で比較して、刺激剤を添加したものが刺激剤を添加していないものよりも収縮が大きい。このことを細孔構造と関連付けて考察すると、乾燥を受けながらも、刺激剤の添加によりポゾラン反応が組織を緻密化させ、収縮を引き起こす径を増加させたことが考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた結論を示す。

刺激剤を添加したFA多量置換セメントはポゾラン反応が促進され、50nm以上の空隙を充填する。しかし、その充填効果ほど強度の増進はみられないことから、ポゾラン反応により生成するC-S-Hが通常のC-S-Hと形態が異なる可能性がある。また、ポゾラン反応が活性化され、組織が緻密になることによって乾燥収縮が大きくなる。

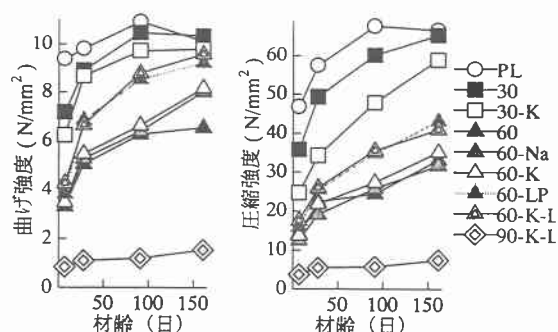


図2 モルタル強度試験結果

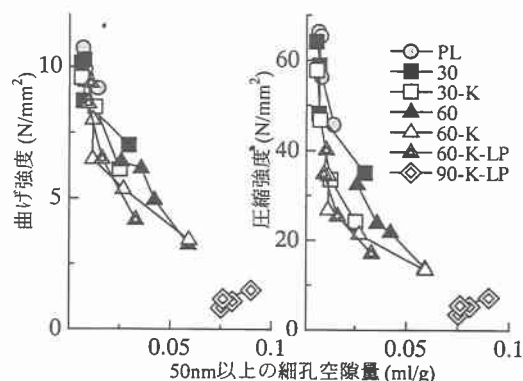


図3 強度と細孔容積の関係

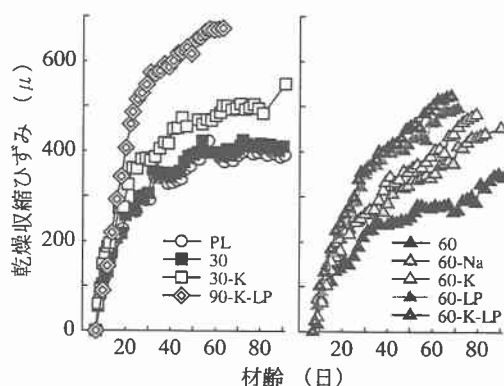


図4 コンクリートの乾燥収縮ひずみ

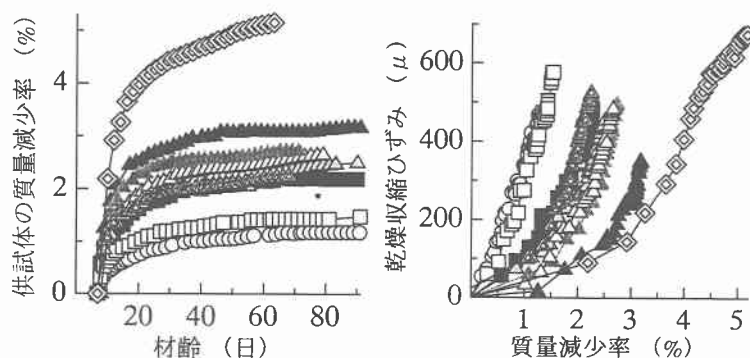


図5 供試体の質量減少率 図6 ひずみと質量減少率の関係