

外部アルカリの浸入に対するフライアッシュ及び高炉スラグの
アルカリ・シリカ膨張抑制効果

金沢大学 正会員 川村満紀
金沢大学 正会員 竹本邦夫
石川高専 正会員 榎場重正
金沢大学○学生員 長藤祐典

1. まえがき

一般に、フライアッシュ及び高炉スラグは、アルカリ・シリカ膨張の抑制に有効とされている。また、モルタル及びコンクリートにおけるアルカリ・シリカ反応は、使用材料中のアルカリ成分だけでなく、外部から浸入するアルカリ量によっても助長されることが指摘されている。そして、このような場合におけるフライアッシュ及び高炉スラグのアルカリ・シリカ膨張抑制は、混和材の使用にともなうコンクリートの水密性の改善効果によって一層大きな効果が期待されるが、必ずしも明らかになっていない。そこで、本報告は、長期材令のフライアッシュ及び高炉スラグ添加モルタルをNaOH溶液に浸漬したときの膨張を測定することによって、混和材のアルカリ・シリカ膨張抑制効果を明らかにするとともに、NaOH溶液浸漬にともなう各モルタルの細孔溶液中の水酸化アルカリ量の変化との関係について検討したものである。

2. 実験概要

(1) 膨張試験 使用セメントは、等価 Na_2O 量0.93%(Na_2O :0.59%, K_2O :0.51%)の普通ポルトランドセメントであり、使用混和材は、9種類のフライアッシュ及び8種類の高炉スラグである。骨材は、標準砂及び反応性骨材として米国産 Beltaneオパールを使用した。作成したモルタル供試体(25.3×25.3×253mm)の配合は、セメント:骨材:水=1:1.4:0.4, 反応性骨材:全骨材=1:14である。混和材の置換率(セメントに対する重量百分率)は、フライアッシュが10, 20及び30%、スラグが20, 40及び60%である。モルタル供試体は、温度38℃の湿気槽中で、長さ変化の少なくなった材令約5ヶ月まで養生し、その後、温度20℃の1N NaOH溶液中に浸漬した。(2) 細孔溶液の抽出 細孔溶液抽出用モルタルの配合は、膨張試験の配合における骨材を標準砂のみとしたものである。モルタル供試体(直径5.6cm、高さ10cmの円柱体)は、ポリエチレン袋で密封し、膨張試験用モルタル供試体と同様に、湿気槽中で約5ヶ月間養生した。さらに、1N NaOH溶液に7日及び28日間浸漬した後、各モルタル供試体について、写真-1に示す装置を使用し400~600Mpaの圧力をかけ細孔溶液を抽出した。

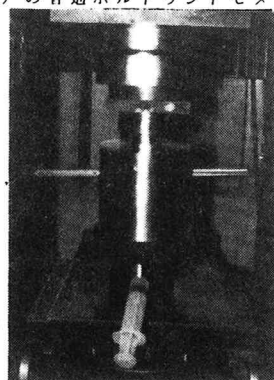


写真-1 細孔溶液抽出装置

3. 試験結果及び考察

(1) 膨張試験結果 図-1に、一例として、フライアッシュB及びD添加モルタルの膨張試験結果を示す。この図より、NaOH溶液浸漬前の各モルタルの膨張量は、全体的に小さいが、フライアッシュDを少量添加したモルタルの膨張量は無添加モルタルを上回っているしかし、その他のモルタルはほとんど膨張していないことがわかる。一方、NaOH溶液浸漬2週以後、無添加モルタルは急激に膨張量が大き

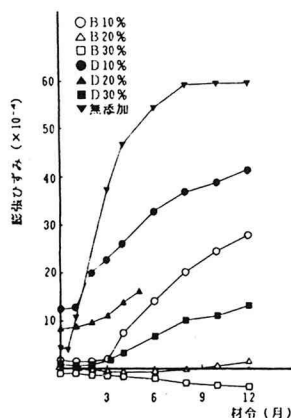


図-1 フライアッシュ添加モルタルの膨張試験結果

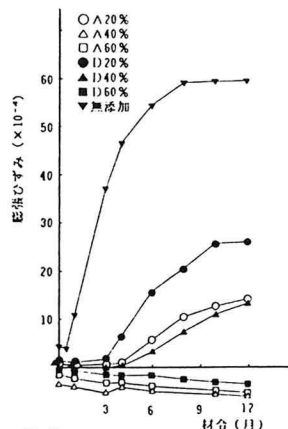


図-2 高炉スラグ添加モルタルの膨張試験結果

きくなっているのに対し、フライアッシュ添加モルタルでは、その種類及び置換率によって浸漬にともなう膨張量の増加状況が異なる。しかし、全てのフライアッシュ添加モルタルの膨張量は無添加モルタルの場合より小さい。そして、置換率が増加するとともに膨張開始時期は遅く、さらに、膨張速度も小さく、膨張抑制効果が大きいことがわかる。特にフライアッシュBを用いた場合、添加率30%では、全く膨張していないことがわかる。図-2に、一例としてスラグA及びD添加モルタルの膨張試験結果を示す。NaOH溶液浸漬前は、全てのスラグ添加モルタルは、ほとんど膨張していない。また、浸漬後における添加率の変化による膨張挙動の相違は、フライアッシュ添加モルタルとほぼ同様の結果が得られ、置換率60%以上では全く膨張していない。

(2) NaOH溶液浸漬前後の水酸イオン濃度の変化 図-3及び図-4は、それぞれフライアッシュB、D添加モルタル及びスラグA、D添加モルタルの細孔溶液の分析結果を示す。フライアッシュ及びスラグ添加モルタルではともに、NaOH溶液浸漬したことにより水酸イオン濃度が高くなる。これは、各モルタル中

にNaOHが浸透していることを示し、このようなアルカリ濃度の上昇が、前述のように、各モルタルのアルカリ・シリカ膨張を助長することがわかる(図1, 2)。また、高添加率になる程、水酸イオン濃度はほぼ直線的に低下している。図-5、図-6に、フライアッシュ及びスラグ添加モルタルの細孔溶液中の水酸イオン濃度と膨張量との関係を示す。両者ともかなりの相関性がみられる。また、これらの図は、アルカリ・シリカ膨張が、細孔溶液中の水酸化アルカリ濃度をある値以下に低下させることによって完全に防止することができることを示唆している。図-7に、各種の細孔溶液中の水酸イオン濃度について、28日間NaOH溶液に浸漬したことによる無添加モルタルの濃度上昇量を1とした場合の、各混和材添加モルタルの濃度上昇量と、添加率との関係を示す。混和材の種類によっては、モルタルの水酸イオン濃度の上昇量が、無添加モルタルの上昇量を大きく上回る。しかし、両者とも高添加率になる程、無添加モルタルの上昇量を下回り、フライアッシュ30%及びスラグ60%では、無添加モルタルの50%あるいはそれ以下になる。このことは、少量の混和材の添加によっては、アルカリの浸透を大きく低減する効果が無く、混和材の種類によっては、相当量使用されなければ、外部からのアルカリの浸透量を小さくするのは不可能であることがわかる。しかし、前述の膨張挙動において、混和材添加モルタルの膨張量が無添加モルタルより小さいことは、アルカリ環境下における混和材のアルカリ・シリカ膨張抑制効果は、アルカリの浸透低減効果だけではなく、混和材の細孔溶液中のアルカリ濃度低減効果にも影響されるようである。

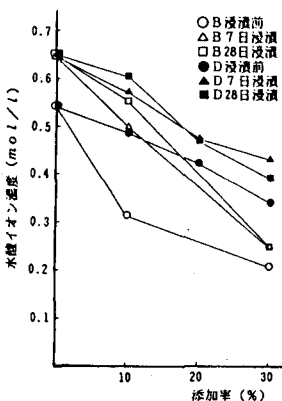


図-3
フライアッシュ添加モルタルの細孔溶液中の水酸イオン濃度

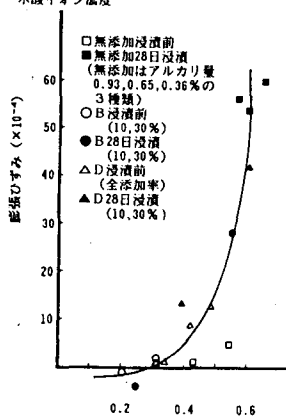


図-5
フライアッシュ添加モルタルの細孔溶液中の水酸イオン濃度と膨張量の関係

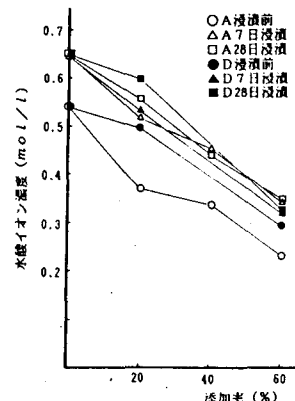


図-4
スラグ添加モルタルの細孔溶液中の水酸イオン濃度

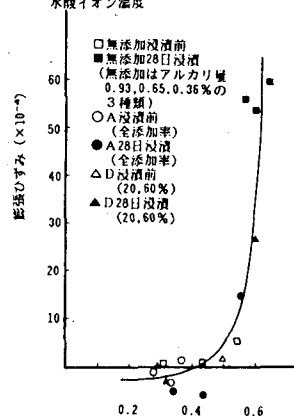


図-6
スラグ添加モルタルの細孔溶液中の水酸イオン濃度と膨張量の関係

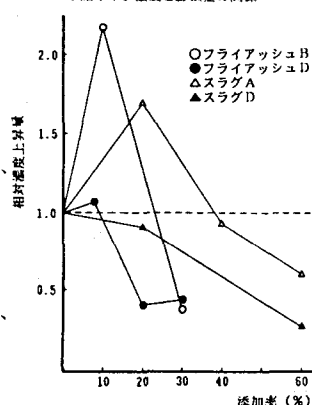


図-7
相対濃度上昇量と添加率との関係