

フライアッシュによるアルカリシリカ膨張抑制のメカニズムに関する一考察

電気化学工業 正会員 荒野 憲之
 金沢大学工学部 正会員 川村 満紀
 金沢大学工学部 学生会員 寺島 努

1、はじめに

フライアッシュなどの鉱物混和材を使用することにより、アルカリシリカ反応によるコンクリート構造物の劣化が抑制されることは良く知られているが、その反応機構とコンクリートの膨張性との関係には不明な点が多い。

本研究は、種々の置換率でフライアッシュを添加したモルタルを作製し、その膨張量の測定および生成したアルカリシリカゲルの組成分析を行い、ゲルの化学組成と膨張性の関係から、フライアッシュのアルカリシリカ膨張抑制のメカニズムについて考察したものである。

2、実験概要

- (1) 使用材料：反応性骨材として焼成フリント（略号C.F.）、非反応性骨材として豊浦標準砂を使用した。セメントは、等価 Na_2O 量が1.12%の高アルカリポルトランドセメントを使用した。鉱物混和材として使用したフライアッシュ（略号F.A.）は、 SiO_2 : 65wt%, Al_2O_3 : 21wt%を主成分とするものである。
- (2) 配合：モルタルの配合は、セメント：骨材：水=1：2：0.55であり、全骨材の30%をC.F.で置換した。F.A.の置換率は、0%（無添加品）、5%、10%、20%、30%である。
- (3) 養生方法：モルタル供試体は、ビニール袋中に密封した状態で38°Cの湿気槽内で養生した。
- (4) 実験方法

①膨張試験：モルタル供試体（40×40×160mm）は、打設後24時間で脱型し、上述の条件下でそれらの長さ変化を測定した。

②BSE（反射電子像）-EDS（エネルギー分散型X線マイクロアナライザー）の組み合わせによるゲルの分析：膨張測定用モルタル供試体のうち、膨張量が一定となった材齢120日における試料3本中1本より分析用試料を作製した。分析用に切断した試料片は真空乾燥炉で水分を除去した後、長さ変化測定方向に垂直に切断し、灯油を潤滑剤として研磨を行った。試料の研磨面に対して、SEM観察およびBSE-EDS分析を行った。

3、実験結果

(1) 膨張試験

図1に種々の添加率でF.A.を添加したモルタル供試体の膨張量曲線を示した。F.A.無添加の場合は、打設直後から大きな膨張を示し始め、材齢60日で0.18%に達しその後一定となっている。無添加モルタルと比較し、F.A.を添加したものではその置換率の増加とともに、最終膨張率が低くなることがわかった。F.A.を20、30%添加したものではいずれも膨張を示さず、F.A.添加による膨張抑制効果が顕著であることが確認された。

(2) BSE-EDSの組み合わせによるゲルの分析結果

上記結果に基づき、膨張を示さなかったF.A.20%のモルタル供試体（材齢120日）および比較のための標準としてF

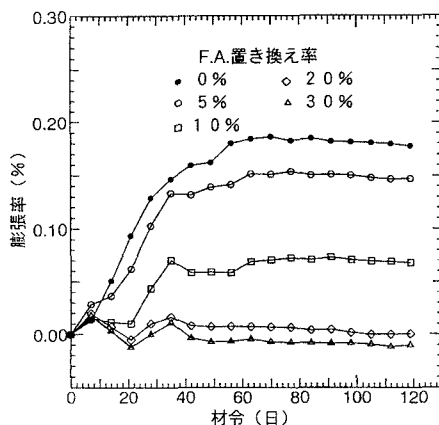


図1 F.A.添加モルタルの膨張曲線

A. 無添加の試料を用い、BSE像観察およびEDSにて面分析・点分析によるゲルの分析を行った。骨材粒子-セメントペースト界面および骨材粒子内部のBSE像観察例を写真1に示した。EDSによる点分析は、骨材粒子内部に発生したひび割れ内に存在したゲルにつき10~20点を選択し行った。点分析の結果より求めたゲルの $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{SiO}_2$ 比と CaO/SiO_2 比の関係を図2にプロットした。

分析の結果より、F.A.の添加有無によらず反応性骨材粒子内部にはアルカリシリカゲルが生成しているのが確認された。また、 $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{SiO}_2$ 比はほとんど一定であるのに対し、 CaO/SiO_2 比はかなり大きく変動し、特にF.A.無添加ではその変動幅が大きいことが認められた。ゲルの化学組成(モル%)は、F.A. 0%の試料の平均値が SiO_2 : 78.0%、 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$: 11.5%、 CaO : 8.6%に対し、F.A. 2.0%では、 SiO_2 : 79.3%、 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$: 14.6%、 CaO : 4.1%と、F.A.添加量が多い場合にゲル中の CaO の割合が大きく減少することが明らかとなった。

4. 考察

F.A.添加によるアルカリシリカ反応の抑制として、従来ボゾラン反応による細孔溶液中の OH^- イオンやアルカリイオンの減少およびアルカリイオンの移動速度の低下による効果が指摘されている。

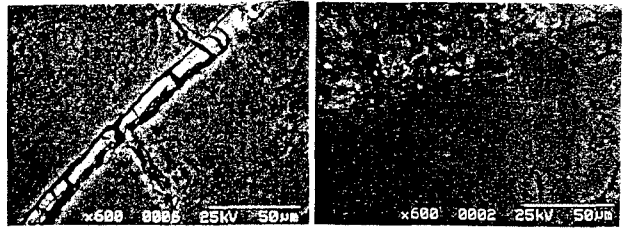
さらに今回の分析結果より、フライアッシュを添加したモルタル中生成されるアルカリシリカゲル中の CaO 量が少ないことが明らかとなった。F.A.を添加したものでは、ボゾラン反応により骨材粒子周辺のセメントペースト部において $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が消費され、アルカリシリカゲルへの Ca^{2+} イオンの供給量が減少するため、低 CaO 量のゲルとなり、その結果吸水時にゲルの粘性が低下しゾル化流動し易く、膨張圧が緩和されるために、モルタル供試体全体の膨張が抑制されたと推察される。実際に、分析用試料片を水処理した研磨面の観察を行ったところ、フライアッシュを添加したモルタルにおいてのみ、アルカリシリカゲルの流出を確認しており、これは上述のような考え方の妥当性を裏付けるものと考えられる。

5. まとめ

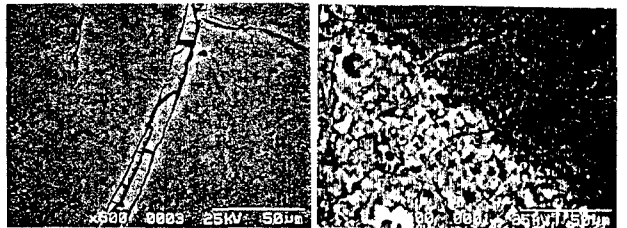
フライアッシュの添加によるアルカリシリカ膨張抑制のメカニズムは、従来報告されているアルカリシリカ反応の抑制に加え、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が減少することにより、生成したアルカリシリカゲルの組成が変化し、吸水時のゲルの粘性が低くなるため、膨張応力が大きく緩和され膨張を抑制すると推察される。

骨材粒子内部

骨材粒子-セメントペースト界面

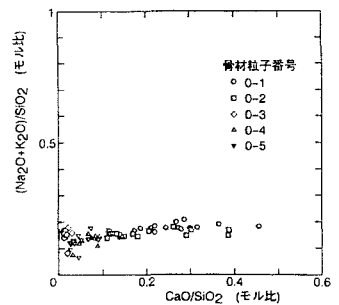


F.A. 0% (無添加) モルタル

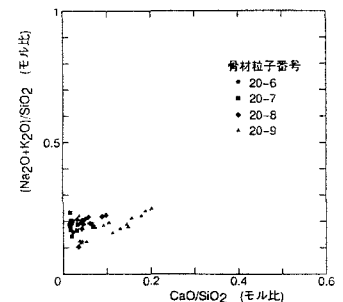


F.A. 2.0% 添加モルタル

写真1 モルタル研磨面のBSE像



F.A. 0% (無添加) モルタル



F.A. 2.0% 添加モルタル

図2 EDS点分析結果