

フライアッシュのアルカリシリカ反応抑制メカニズムに関する 実験的検討

背景

コンクリート用骨材の品質低下により、コンクリートにひび割れを生じさせるアルカリシリカ反応(ASR)の発生が懸念されている。コンクリートへのフライアッシュ(石炭灰中の微粒子、写真 1)の混和使用は ASR 抑制対策として有効であるが、フライアッシュの品質が ASR 抑制効果に及ぼす影響を考慮する必要がある。特にフライアッシュに含まれるアルカリ、カルシウムの影響、そして骨材から溶出するアルカリの影響に関して、綿密な観察、分析が必要である。

目的

ASR を長期に亘り抑制するフライアッシュの選定法の確立に資するために、ASR 抑制メカニズムを実験の観察結果から明らかにする。特に ASR の過程におけるアルカリの挙動、および骨材から溶出するアルカリの挙動を明らかにする。

主な成果

ASR 反応速度が非常に速いパイレックスガラスをモデル骨材として用い、骨材とセメントペースト界面での各種元素の移動を電子線マイクロアナライザーにより詳細に分析した。併せてフライアッシュから溶出する可溶性アルカリ量の評価手法を検討した。それらの結果を踏まえ、フライアッシュの ASR 抑制メカニズムを考察した。

1. フライアッシュの ASR 抑制メカニズム

フライアッシュを混和した場合は、吸水膨張性の ASR ゲルの生成量が減少するため、膨張抑制効果がもたらされることを確認した。既往の知見と本実験結果を総合的に判断すると、フライアッシュ混和によるセメント量の減少効果、ならびにポゾラン反応^{*1}による pH の低下が骨材で生じる ASR を抑制すると推察した。

2. フライアッシュのアルカリが ASR 抑制効果に及ぼす影響

フライアッシュ混和時は、フライアッシュから溶出したアルカリが ASR ゲルに取り込まれ、アルカリ構成比率の高い ASR ゲルを骨材近傍に形成することを明らかにした。また、細骨材代替として混和した場合、フライアッシュのアルカリ量(等価 Na₂O 量)が 1.5%程度でも ASR 抑制効果を低下させる影響が認められた(図 1)。ASR 抑制効果に優れたフライアッシュを選別する際には、当所で開発した API 法^{*2}で得られるポゾラン反応性指標とともに、その懸濁液中の可溶性アルカリ量を考慮することが効果的であることを明らかにした。

3. 骨材およびフライアッシュから溶出するアルカリの挙動

ASR の反応過程で骨材から溶出したアルカリは、ASR ゲルに向かって移動し、取り込まれることを明らかにした(図2、図3)。また、フライアッシュから溶出するアルカリは、ポゾラン反応の過程で溶解する粒子表層部の一部であり、未反応領域内のアルカリは固定されていることを明らかにした(図 4、図 5)。

今後の展開

フライアッシュの選定方法を確立するために、フライアッシュの可溶性アルカリ量と ASR 抑制効果の関係を定量的に評価する。また、骨材から溶出するアルカリが ASR に及ぼす影響を明らかにする。

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 「フライアッシュのアルカリシリカ反応抑制メカニズムに関する実験的検討」 電力中央研究所報告：N07016

*1 :ポゾラン反応:高 pH となるセメント水和物相中でフライアッシュ等のポゾランに含まれる Si、Al が溶解し、それらが周囲のカルシウムシリケート系水和物(C-S-H)および水酸化カルシウム(CH)に取り込まれ、低 Ca/Si 比となる C-S-H 系水和物相を形成する反応である(写真 1)。

*2 :API 法:フライアッシュとセメントを等量混和した懸濁液中の 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 日程度で試験結果を得ることができる。

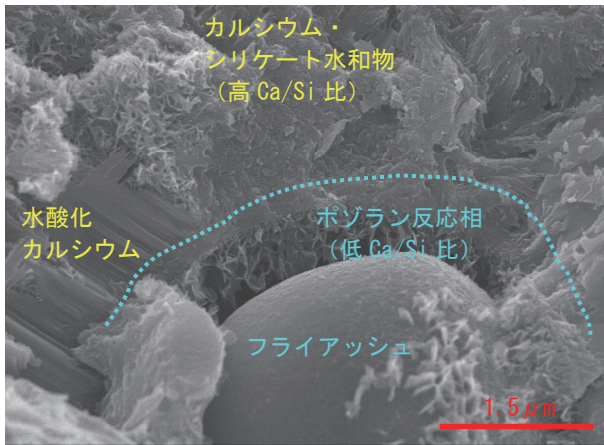


写真1 フライアッシュとポゾラン反応相

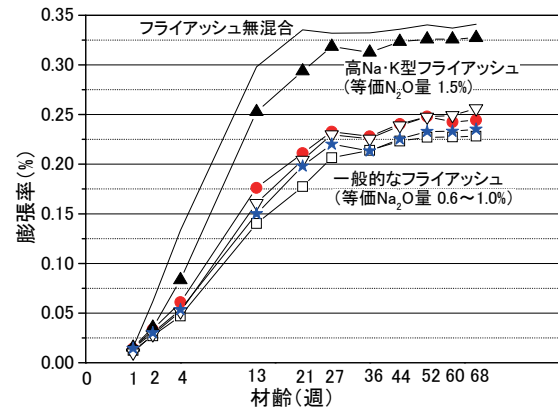


図1 フライアッシュ混合によるASR抑制効果 (細骨材体積10%置換混合)

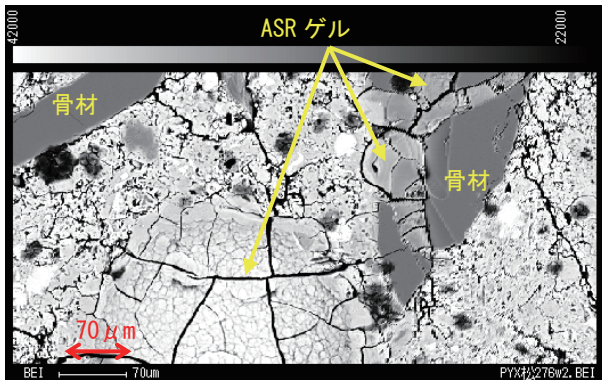


図2 骨材周囲に生成したASRゲル

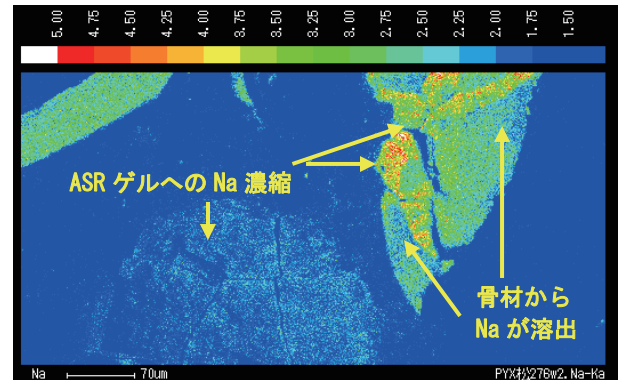


図3 骨材から溶出したNaとASRゲルへのNaの濃縮

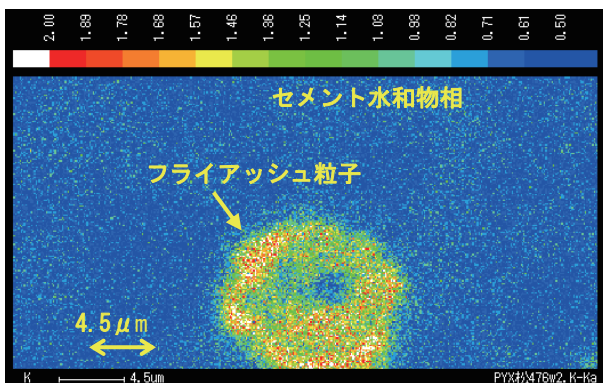


図4 フライアッシュ粒子中に留まるK

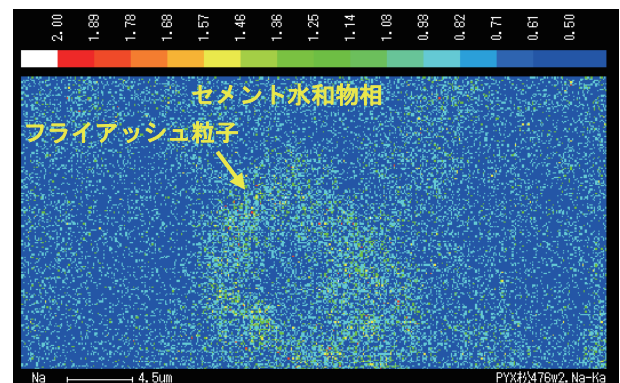


図5 フライアッシュ粒子中に留まるNa

フライアッシュ混和時はASRゲルのK含有量が僅かに高まる傾向が認められた。フライアッシュ表層部から溶出したアルカリ成分がASRゲルに濃縮されるが、フライアッシュ中のアルカリはポゾラン反応が進行しても大部分が粒子中に留まると推察した。