

高炉スラグ細骨材のアルカリシリカ反応抑制効果に関する実験的検討

(株) 内山アドバンス 正会員 ○ 關 裕司
 (株) 内山アドバンス 齊藤 丈士
 太平洋セメント (株) 釜谷 健悦
 (株) 内山アドバンス 白鳥 秀幸

1. はじめに

国土交通省は、土木構造物のアルカリ骨材反応抑制対策について、コンクリート中のアルカリ総量を抑制する抑制対策、もしくはアルカリ骨材反応抑制効果のある混合セメント等を使用する抑制対策を優先するとしている¹⁾。しかし、単位セメント量によってはアルカリ総量の抑制による抑制対策が困難な場合があることや、混合セメントを用いると湿潤養生期間が長くなる場合がある²⁾ことなどにより、「無害」と判定された骨材を使用する抑制対策を採っている生コン工場が多い。

一方、高炉セメントに使用されている高炉スラグ微粉末は、アルカリシリカ反応抑制効果を有している³⁾ことから、高炉スラグ微粉末の原料である水砕した高炉スラグ細骨材（以下、BFSと称す）もアルカリシリカ反応抑制効果を有している可能性がある。BFSによりアルカリシリカ反応を抑制できれば、上述したような混合セメントを用いる場合の工程上の懸念を解決できる可能性がある。しかし、高炉スラグ微粉末のアルカリシリカ反応抑制効果については数多くの検討がなされている⁴⁾ものの、BFSのアルカリシリカ反応抑制効果を検討している事例は極めて少ない⁵⁾。

そこで本研究は、BFSのアルカリシリカ反応抑制効果を明らかにするために実験的検討を行ったものである。ここでは、アルカリシリカ反応性の高い骨材（以下、反応性骨材と称す）にBFSを混合した細骨材を用いてアルカリシリカ反応性試験を行い、BFSの混合割合の違いがBFSのアルカリシリカ反応抑制効果に及ぼす影響を調べた結果について述べる。

2. 実験概要

JIS A 1146（モルタルバー法）とJIS A 1804（迅速法）に示されるモルタル配合をそれぞれ基本として、反応性骨材に対して外割になるようにBFSの質量による混合割合を変化させた配合でモルタルバー法および迅速法（長さ変化率）の試験を行い、BFSのアルカリシリカ反応抑制効果を検討した。

(1) 使用材料

使用材料の概要を表1に示す。2種類の高炉スラグ細骨材BFS5~0.3の呼び名は、ここでは便宜上BFS1、BFS2とした。BFS1およびBFS2は、いずれもJIS A 5011-1に

規定される品質を満足していた。反応性骨材は、迅速法による長さ変化率が0.20%（JISの上限値は0.10%）と高いアルカリシリカ反応性を有していた。なお、標準砂は、迅速法において使用した。

(2) 細骨材の粒度および質量分率

細骨材の粒度および質量分率を表2に示す。細骨材の粒度および質量分率は、モルタルバー法および迅速法の各JIS試験方法に示される値とした。

(3) モルタルの配合条件

モルタルの配合条件は、質量比でモルタルバー法においてセメント1、水0.5、表乾状態の細骨材2.25、迅速法においてセメント1、水0.5、絶乾状態の細骨材2とした。ただし、骨材は、粒群ごとに計量したものを混合して試料とした。モルタル中のアルカリ量は、セメント質量に対し $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ でモルタルバー法において1.2%、迅速法において2.50%となるように水酸化ナトリウム水溶液を練混ぜ水に混合して調整した。

(4) 骨材の混合割合

既往の研究⁵⁾においては、BFS混合率の変化に伴い反応性骨材の量が変化しているため、膨張抑制効果の所在が明確でない。そこで、本実験では、膨張抑制効果の所在を明らかにするために、反応性骨材の量を一定とした。骨材の混合割合を図1に示す。骨材の混合割合は、モルタルバー法においては質量で全骨材の半量が反応性骨材、残り半量が全て石灰石砕砂とした場合、また迅速法においては、質量で全骨材の半量を標準砂、1/4が反応性骨材で残り1/4を石灰石砕砂とした場合をそれぞれ

表1 使用材料の概要

項目	種類		概要
セメント	アルカリシリカ反応性試験用 普通ポルトランドセメント		Na ₂ O _{eq} =0.55%, K ₂ O/Na ₂ O=1.3
水	水酸化ナトリウム水溶液		—
細骨材	BFS 5~0.3	BFS1	CaO：41.9%, S：0.8% SO ₃ ：0.0%, FeO：0.3%
		BFS2	CaO：40.8%, S：0.7% SO ₃ ：0.1%, FeO：0.3%
	反応性骨材		石川県産安山岩砕砂
	石灰石砕砂		大分県津久見市産
	標準砂		セメント協会製

表2 細骨材の粒度および質量分率

粒度	5~2.5	2.5~1.2	1.2~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15
質量分率(%)	10	25	25	25	15

キーワード 高炉スラグ細骨材, アルカリシリカ反応, モルタルバー法, 迅速法
 連絡先 〒279-0043 千葉県浦安市富士見 1-7-23 Tel: 047-353-6161 Fax: 047-353-6110

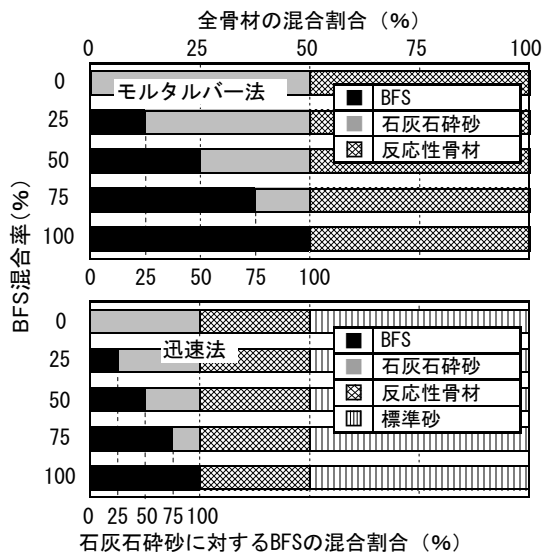


図1 骨材の混合割合

基準とし、アルカリシリカ反応に影響しない石灰石砕砂に対して BFS を質量でそれぞれ 0, 25, 50, 75 および 100%置き換えた。ここでは、この割合を BFS 混合率と称している。

3. 試験結果および考察

(1) モルタルバー法

モルタルバー法における BFS 混合率と膨張率の関係を図2に示す。試験材齢2週および4週においては、BFS 混合率が異なっても膨張率に大きな変化は見られなかったが、試験材齢8週以降においては、BFS 混合率が大きくなるほど膨張率は小さくなり、反応性骨材の量が増えている既往の研究⁵⁾と同様の傾向を示した。また、本実験では反応性骨材の量を一定としていることから、BFS がモルタルバー法において膨張抑制効果を有することを確認できた。既往の研究によると、高炉スラグ微粉末を用いた場合には、高炉スラグが細孔溶液中のナトリウムイオンを多量に固相中に取り込むため、反応性骨材とペーストマトリックスの間の界面においてアルカリシリカ反応に起因するアルカリ量が減少し、モルタルバー法では膨張が抑制されると考えられている⁶⁾。本実験で用いた高炉スラグは細骨材であるため、微粉末に比べ著しく比表面積が小さく、粒子界面におけるナトリウムイオンの吸着能は小さい可能性があるが、BFS は高炉スラグ微粉末と同様の効果によりアルカリシリカ反応を抑制したものと考えられる。しかし、試験材齢26週における膨張率は、BFS 混合率にかかわらず、JIS に示される基準値⁷⁾を上回った。このことから、BFS はアルカリシリカ反応抑制効果を有するが、その抑制効果は、従来のアルカリシリカ反応抑制対策⁸⁾による抑制効果と比べると小さいと考えられる。

(2) 迅速法

迅速法における BFS 混合率と長さ変化率の関係を図3に示す。BFS 混合率と長さ変化率の関係は、BFS の種類により異なる傾向を示した。BFS1 を用いた場合の長

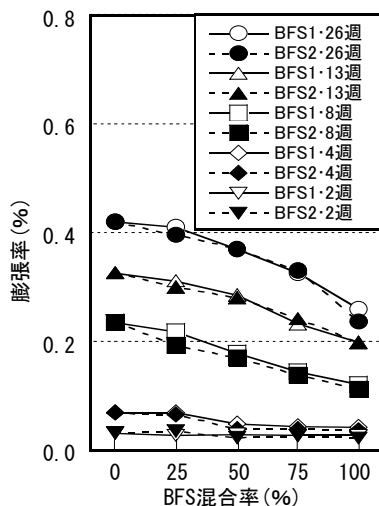


図2 モルタルバー法におけるBFS混合率と膨張率の関係

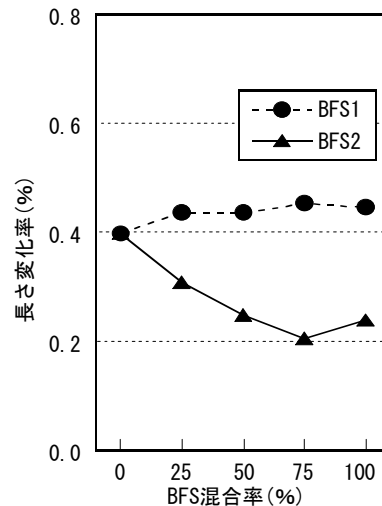


図3 迅速法におけるBFS混合率と長さ変化率の関係

さ変化率は、いずれの BFS 混合率においても BFS 混合率が0%の場合より大きくなった。また、BFS2 を用いた場合、BFS 置換率75%までの範囲において BFS 混合率が大きくなるほど長さ変化率は小さくなる傾向を示した。BFS の種類により傾向が異なる原因は本実験の範囲では不明であるが、迅速法は高温高压で反応を促進させる試験方法のため、モルタルバー法とは反応機構が違ふと考えられることから、BFS の種類により異なる部分が迅速法における反応機構に何らかの影響を及ぼしている可能性がある。

4. まとめ

BFS のアルカリシリカ反応抑制効果を明らかにするために実験的検討を行った結果、本実験の範囲では次の知見を得た。

- (1) モルタルバー法においては、BFS 混合率が增大するほど試験材齢26週における膨張率は小さくなった。
- (2) 迅速法においては、BFS の種類により BFS 混合率と長さ変化率の関係は異なっていた。

実際の反応に近いモルタルバー法の結果より、BFS はアルカリシリカ反応抑制効果を有していると考えられる。ただし、この効果の判定に迅速法を用いる場合には、BFS の種類によりモルタルバー法とは結果が異なる可能性があるため注意を有する。

【参考文献】

- 1) 国土交通省：アルカリ骨材反応抑制対策について、国官技第 112 号，2002.7
- 2) (社)土木学会：コンクリート標準示方書[施工編]，p.127，2007.12
- 3) (社)日本建築学会：高炉セメントを使用するコンクリートの調査設計・施工指針・同解説，pp.35-36，2001.7
- 4) 例えば、(社)日本建築学会：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの技術の現状，1992.6
- 5) 羽原俊祐ほか：高炉スラグ細骨材及び微粉末がアルカリ骨材反応の膨張抑制効果について，コンクリート工学年次論文集 Vol.30，No.1，pp.975-979，2008.7
- 6) 小林茂敏ほか：高炉スラグ微粉末の ASR 抑制効果のメカニズムに関する考察，セメント技術年報，Vol.40，pp.336-339，1984
- 7) (財)日本規格協会：JIS A 1146「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（モルタルバー法）」，2007
- 8) (財)日本規格協会：JIS A 5308「レディーミクストコンクリート附属書 B（規定）アルカリシリカ反応抑制対策の方法」，2009