

フライアッシュ高含有シリカフェームセメント(HFSC)の吹付けコンクリートへの適用性に関する研究

(株)大林組 正会員 入矢桂史郎
核燃料サイクル開発機構 三原守弘

1 はじめに

放射性廃棄物処分場の人工バリア材料としてセメント系材料は有力な候補材料である。しかし、ひび割れなどが生じ透水性が変化するなどの可能性があり、止水バリアとして長期間保証するには、今後の継続的研究が必要である。この課題を補うために、放射性廃棄物処分場の概念設計においては、セメント系材料とベントナイト等の粘土系材料を組み合わせる人工バリアを形成するコンセプトを採用する案がある。ここでは、ベントナイトが、セメント系材料の浸出液の高アルカリ性によって変質する可能性があり、さらには、周辺の地質媒体にも影響を及ぼす可能性がある。このような背景から、セメント系材料の持つ物理的性能はそのままとし、浸出液のアルカリ性を低下させたセメントの開発が望まれている。筆者らは、フライアッシュを高含有したシリカフェーム混合セメント(HFSC: High Fly ash Silica fume Cement)を使用することで水酸化カルシウムの生成を低減させ、浸出液のpHを低下させる研究を進めてきた。HSFCは締め固め不要コンクリートやグラウトなどには適用可能であったが、フライアッシュを多量に添加しているため、吹付けコンクリートへの適用性は凝結時間の制御などに課題があった。本論文は、地下の岩盤中に建設される放射性廃棄物処分場への適用を目的として、吹付けコンクリートへの適用性について報告する。

2 浸出液の低アルカリ化

(1) 使用材料

低アルカリ化の研究においては、セメントは普通ポルトランドセメントと早強ポルトランドセメントを使用し、ポゾランとしてシリカフェームとフライアッシュを使用した。使用材料を表-1に示す。実験に使用したポゾランとセメントの組み合わせを表-2に示す。

表-1 セメントと混和材料

材料の種類	産地	仕様
普通ポルトランドセメント	T社製	比重:3.16
早強ポルトランドセメント	T社製	比重:3.14
フライアッシュ	高砂火力発電所	比重:2.22
シリカフェーム	ノルウェー	比重:2.22

表-2 低アルカリセメントの組成

略号	混合割合(%)			
	普通セメント	早強セメント	シリカフェーム	フライアッシュ
OPC	100			
OSF	40		20	40
HSF		30	20	50

(2) 供試体の作成方法

ここでは、セメントの水和とポゾラン反応を促進するために、水セメントを150%としたペーストを使用し、水和期間中のブリージングによる分離を防止するために、供試体を回転しながら、28日間20℃で養生した。養生後、乳鉢で微粉碎し60℃に制御した温水中で固液比1:2の条件で更に28日養生した。

(3) 浸出液のpHの低下

60℃で温水養生後、所定の材齢の試料を20℃に冷却して測定した溶液のpHの変化を図-1に示す。測定は、pHメータで行った。参考に測定したOPCのpHは、12.8~13.0であった。この結果、シリカフェームとフライアッシュを混入することによって、セメントの間隙水はpHが11.2程度の低アルカリ性を示した。

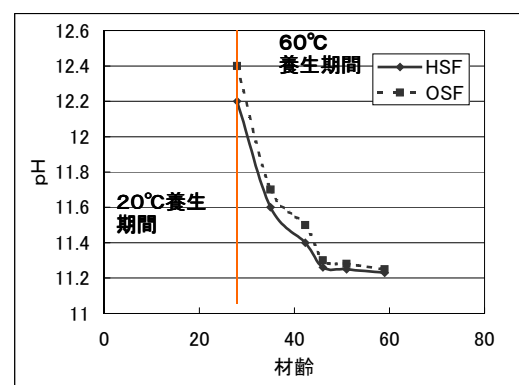


図-1 pHの時間的变化

キーワード：放射性廃棄物処分場、低アルカリセメント、ポゾラン、吹付けコンクリート

連絡先：〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟 電話 03-5769-1324

(4) セメント水和物組成

養生終了後の各ケースにおける水和物組成を図 - 2 に示す。水和物の定量は、熱分析と化学分析を組み合わせた方法により算出した。図 - 2 の不溶解残分については、未水和のフライアッシュと考えられる。この結果、OPC 以外のケースでは、水酸化カルシウムの生成が認められず、ポゾラン反応によって全て水酸化カルシウムが C-S-H ゲルに変化したことがわかる。

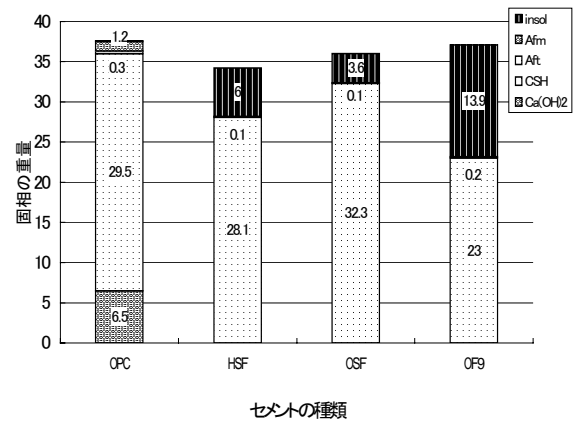


図 - 2 セメント中の水和物
表 - 3 急結剤の種類

3 吹き付けコンクリートに適用のための基礎試験

(1) 使用材料とモルタルの配合

フライアッシュを多量に添加したセメントは凝結が遅れ、吹き付けコンクリートには不向きであることが懸念される。ここでは、急結剤を使用することを前提としてモルタルを使用して、吹き付けコンクリートへの適用性を評価する実験を行った。セメントの種類は、OPC と OSF の 2 種類を用い、急結剤の種類としてできるだけアルカリを下げる観点から、一般用と低アルカリタイプの全部で 3 種類を比較検討した。使用した急結剤を表 - 3 に示す。添加率はセメントに対して概ね 10% とした。モルタルの配合は、セメント砂比 (C/S) を 1/3 とし、水セメント比を 60% とした。細骨材は姫川水系の川砂で、比重 2.6、FM2.90 であった。

種類	鉱物組成	pH	用途
A	カルシウムアルミネート	12~13	一般用
B	カルシウムサルホアルミネート	10~11	高強度用
C	アルミニウム塩 + 硫酸アルミニウム	7以下	アルカリフリータイプ

(2) 目標仕様

- 吹き付けコンクリートの目標仕様は、以下の通りとした。
- 凝結速度：始発 5 分以内 (貫入抵抗値 3.5N/mm²)
- 終結 15 分以内 (貫入抵抗値 28.0N/mm²)
- 圧縮強度：材齢 3 時間において 1.0N/mm² 以上
- 試験方法：土木学会基準「吹き付け用急結剤の品質規格(案)」に従った。

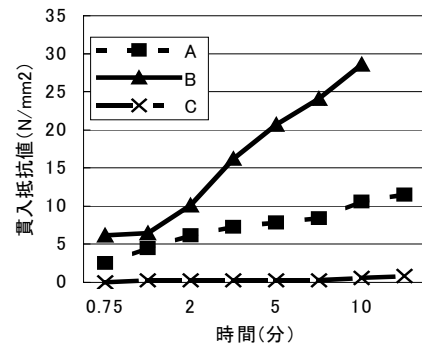


図 - 3 凝結時間

(3) 試験結果

凝結時間に関する試験結果を図 3 に示す。一般用の急結剤 A は始発 5 分以内を満足するが、終結の仕様を満足しなかった。アルカリフリーの急結剤 C は、凝結速度が遅く、フライアッシュを多量添加した HFSC では急結効果を発揮できないという結果であった。高強度用の急結剤 B は、この試験の中では唯一凝結の仕様を満足した。カルシウムサルホアルミネートがフライアッシュを多量添加したセメントの凝結改善にも有効であることが確認された。圧縮強度試験結果を表 - 4 に示す。材齢 3 時間において 1.0N/mm² 以上という圧縮強度に関する仕様を満足したのは、急結剤 B のみであった。急結剤 B では、他の急結剤に比べて、カルシウムサルホアルミネートの自己硬化性が期待できるために、HFSC の急結性向上にも効果が発揮できたものと考えられる。

表 - 4 圧縮強度試験結果

種類	材齢 圧縮強度 (N/mm ²)					
	1時間	3時間	1日	3日	7日	28日
A	0.5	0.7	4.6	11.0	16.6	29.6
B	1.6	1.9	5.4	10.9	18.3	35.2
C	0.0	0.3	2.0	3.1	6.1	18.7

4 まとめ

本研究により、HFSC にカルシウムサルホアルミネートを主成分とする急結剤を使用することにより、乾式方法にて、吹き付けコンクリートとしての適用性が可能であることが示された。今後、実際の吹き付け工法である湿式工法について研究を続けていく予定である。