

フライアッシュの CaO 量およびブレン値の変動がモルタル初期特性に及ぼす影響

(財)電力中央研究所 正会員 ○山本 武志
日本原燃(株) 正会員 庭瀬 一仁
(株)ニュージェック 正会員 枝松 良展

1. 目的

低レベル放射性廃棄物処分施設においてセメント系材料を用いた人工バリアとして、フライアッシュ（以下 FA）を混和した低拡散モルタルを用いることが計画されている。FA の物理化学特性の変動がモルタルの流動性および強度発現性に及ぼす影響を評価する必要がある。

2. 実験概要

(1) 使用材料および配合

ブレン値および CaO 含有量の変動に着目し、それらの指標値が異なる 3 種類の FA を使用した。それらの FA の代表的な物理・化学特性値を表-1 に示す。FA-A および FA-C は JIS A 6201-II 種相当であるが、FA-C は CaO 量が多いことを特徴とする。また、FA-B はブレン値（粉末度）が低いため、IV 種相当であるが、活性度指数が II 種相当であることを特徴とする。これらの特性値に大きな違いが認められたが、非晶質相の特性としてのガラス化率および塩基度に有意な差異は認められなかった。一方、API 法¹⁾による 91 日活性度指数の予測値と実測値がほぼ等しくなり、FA のポゾラン反応性を迅速に判定できることを確認した。

表-1 フライアッシュの諸特性値

フライアッシュ	強熱減量(%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO(%)	ブレン値 (cm ² /g)	密度 (g/cm ³)	ガラス化率 (%)	塩基度 ^{注)}	フロー値比 (%)	活性度指数 (%)	
										28 日	91 日 (予測値 ^{注)})
FA-A	1.2	56.5	29.6	2.5	3630	2.23	74.1	0.58	110	84	95 (95)
FA-B	0.6	58.0	29.5	1.8	2230	2.10	72.9	0.60	97	82	91 (88)
FA-C	0.6	55.9	22.5	9.9	3910	2.18	76.6	0.67	110	82	95 (94)

注) 塩基度：非晶質相の (Al₂O₃+CaO+MgO) /SiO₂ 比から求めた。91 日活性度指数予測値：API 法による予測式¹⁾から算出した。

表-2 高粉体量モルタルの配合

本モルタルの配合を表-2 に示す。低熱ポルトランドセメント、FA、石灰石微粉末 (4970cm²/g)、膨張材、高性能 AE 減水剤を用いた低拡散モルタルである。

W/B (%)	W/P (%)	使用材料および単位量 (kg/m ³)							
		W	LPC	FA	LEX	LS	S1	SP (P×%)	AS (P×%)
45.0	28.1	230	338	153	20	307	1223	0.7	0.012

W：水、LPC：低熱ポルトランドセメント、FA：フライアッシュ、LEX：膨張材、LS：石灰石微粉末、S1：細骨材、SP：高性能 AE 減水剤、AS：空気量調整剤、B=LPC+FA+LEX、P=LPC+FA+LEX+LS

(2) 試験項目

スランプフローおよび材齢 28 日、91 日における圧縮強度を求めた。フロー値は、練混ぜ後 5 分間静置した後にフローテーブル上での一連の作業を実施した。圧縮強度測定用モルタル養生条件は、20℃水中養生である。そして、材齢 28、91 日におけるモルタル片を 2～3 時間アセトン浸漬した後に、D-Dry 装置にて 1～2 日間の乾燥処理を行い、十分な乾燥状態に至らしめた後に水銀圧入式細孔径分布測定装置にて細孔径分布を測定した。

3. 実験結果

(1) フロー値および圧縮強度

本研究で標準的な粉末度となる FA-A、FA-C のうち、CaO 含有量も一般的であった FA-A のフロー値を基

キーワード フライアッシュ、高粉体量、モルタル、スランプフロー、圧縮強度

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (財)電力中央研究所 地球工学研究所 TEL 04-7182-1181

準とした場合、FA-C のフロー値は 28mm 高まった。一方、粉末度が低い FA-B は FA-A に比べて 13mm 低くなった。本モルタルの流動性評価結果と表-1 の JIS モルタルで得られる結果に相関が認められなかった要因として、低拡散モルタルでは、FA の他に石灰石微粉末を混合していることによる粉体系材料全体の粒度分布特性の影響、もしくは、低水結合材比による粘性の増大の影響と推察した。一方、圧縮強度は材齢 28 日、91 日で各々 47~48, 76~77N/mm²であり、いずれの材齢においても FA 試料間で有意な差は認められなかった。これは、低水結合材比となるモルタルであるために、セメントの水和反応と伴にポズラン反応に対しても十分な水分供給が行われなかったことに起因すると推察した。

(2) 細孔径分布の比較

材齢 28 日では、FA-A と FA-C の細孔径分布はほぼ同等になり、孔径 30~40nm の範囲で細孔容積率が最大となった。また、FA-B は孔径 30nm 以下の範囲における細孔容積率が FA-A および FA-C に比べて少なく、孔径 40~100nm の範囲で FA-A および FA-C と比べて細孔容積率が高まる傾向を確認した。C-S-H 相の間に形成される比較的粗大な空隙としての練混ぜ余剰水痕は、後者の空隙径に相当する¹⁾。低粉末度となる FA を使用した場合は、練混ぜおよび硬化の過程における練混ぜ水の分散効果が低下する傾向を確認した。

材齢 91 日においては、いずれのモルタルにおいても 10~20nm の範囲で細孔容積率が最大となり、材齢 28 日に比べて組織の緻密化が進行したことを確認した。なお、圧縮強度の測定結果では、材齢 91 日においても FA の試料間での差異が認められないことからポズラン反応量は僅かであり、組織の緻密化は主にセメントの水和反応の進行に伴うものと考えられる。低ブレン値となる FA-B を用いた場合は、材齢 91 日においても他の FA に比べて大きな細孔径となる範囲 (20~100nm) で細孔容積率が高まった。これは、材齢 28 日で形成された孔径 40~100nm となる粗大細孔中にセメント水和物である C-S-H が析出し、その細孔を充填する量が少ないことを示唆している。CaO 量が多い FA-C では、孔径 10nm 以下の細孔径容積率が FA-A と同等であったが、孔径 10nm 以上の領域で FA-A に比べて僅かに分布値が粗粒側に存在し、水和初期に形成された粗大な空隙を充填する速度が僅かに緩慢であった。

4. まとめ

- 1) 石灰石微粉末を併用する低拡散モルタルでは、低粉末度の FA を使用した場合でも流動性が大幅に低下することはない。
- 2) 低粉末度および高 CaO 量となる FA を混和したモルタルでは、孔径数 10nm に相当する練混ぜ余剰水痕が C-S-H 相で充填される組織緻密化の速度が低下する可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 山本 他:フライアッシュのポズラン反応性を評価するための促進化学試験法 (API 法) の適用性の拡張, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.195-200, 2008

表-3 高粉体量モルタルのフロー値, 圧縮強度

フライアッシュ	フロー値 (mm)	圧縮強度 (N/mm ²)	
		28 日	91 日
A	237	46.6	67.0
B	224	48.4	65.8
C	265	48.4	67.2

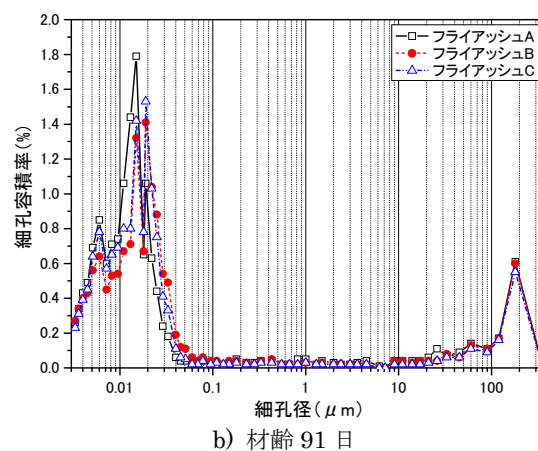
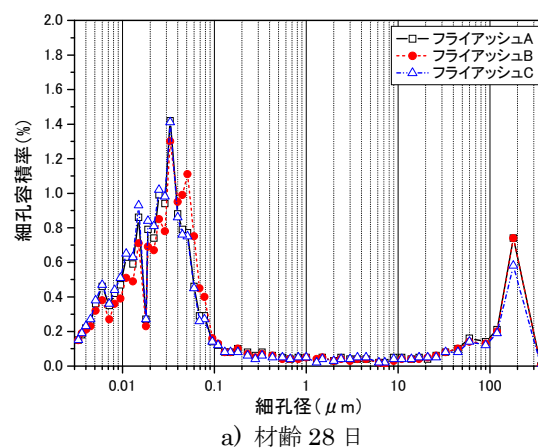


図-1 細孔径分布の比較