

フライアッシュを混和したセメント硬化体の溶脱特性に関する研究

ハザマ 正会員 福留和人
 ハザマ フェロー会員 喜多達夫
 ハザマ 正会員 小川 潔

1. はじめに

放射性廃棄物処分施設に用いるセメント系人工バリア材料の溶脱特性に関する研究において、フライアッシュの混和が Ca^{2+} 等の溶脱、溶脱に伴う組織の粗大化を低減することが明らかとされている¹⁾。一方、通常環境条件にあるコンクリートの溶脱による劣化は、一般には顕著になっていないが、今後、酸性雨の影響も含めて検討を加えていくことも必要になると考えられる。また、フライアッシュを多量に用いた硬化体の実用化を進める上で、水中での溶脱特性の評価が必要である。

本研究では、フライアッシュの種類、置換率を変化させたセメント硬化体の浸せき試験を実施し、溶脱特性に及ぼすフライアッシュの効果を調査した。

本試験では、フライアッシュの種類、置換率を変化させたセメント硬化体の浸せき試験を実施し、溶脱特性に及ぼすフライアッシュの効果を調査した。

2. 使用材料・配合および試験体

表-1 に使用材料の一覧を、表-2 にセメントおよびフライアッシュの化学成分を示す。表-3 に試験ケースを示す。

試験体は、水結合材比 35% のペーストとし、 $40 \times 40 \times 160 \text{mm}$ の角柱供試体の中心部からメチルアルコールを冷却溶媒として切り出した $20 \times 20 \times 20 \text{mm}$ の試験体とした。試験体の養生は、温度 50°C の封緘養生とし、養生期間は、水和がほぼ終了した後の試験開始となるように約 2 年間とした。

3. 試験項目および試験方法

(1) 浸せき条件：浸せき水として、イオン交換水を使用し、水量は、 $2,000 \text{ml}$ とした。浸せき期間は、26 週とし、1,5,9,13,17,21 週において、液交換を行った。浸せき水の交換および浸せき容器（ポリ容器）の保管は、それぞれ窒素ガスを充てんしたグローブボックスおよびデシケータ内で行った。

(2) 試験項目および試験方法：浸せき水の交換時に pH および液相組成の測定を行った。液相組成の測定は、イオンクロマト法 (Ca^{2+}) および吸光度法 (Si) によった。固相分析として浸せき開始前に、細孔径分布測定（水銀圧入式ポロメータ）、示差熱重量分析 (TG-DTA) および粉末 X 線回折 (XRD) を行った。

4. 試験結果

(1) 浸せき開始前の固相分析結果：図-1 に細孔径分布を示す。フライアッシュ置換率 30% までは、無置換と大きな差はないが、

表-1 使用材料

使用材料	種類	仕様
セメント C	普通ポルトランドセメント (セメント協会研究用)	密度: 3.15g/cm^3 比表面積: $3,090 \text{cm}^2/\text{g}$
フライアッシュ F	JIS 種 FA2	密度: 2.34g/cm^3 比表面積: $4,040 \text{cm}^2/\text{g}$
	細粉 FA1	密度: 2.52g/cm^3 比表面積: $9,170 \text{cm}^2/\text{g}$
混和剤	硬化促進剤	NaCl 特級試薬
水 W	イオン交換水	

表-2 セメントおよびフライアッシュの化学成分

材料	化学成分 (%)								
	Igloss	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O
OPC	0.53	30.0	5.28	2.63	64.6	2.11	2.00	0.25	0.55
FA2	2.39	56.5	22.5	10.1	4.67	0.77	0.42	0.20	0.91
FA1	4.25	51.3	29.7	4.69	4.52	1.08	0.65	0.60	0.61

表-3 試験ケース

No	W/(C+F) (%)	フライアッシュ F		硬化促進剤
		種類	F/(C+F) (%)	
1	35	-	-	-
2		-	30	-
3		FA2	50	-
4		FA2	85	W × 3.3%
5		FA1	30	-

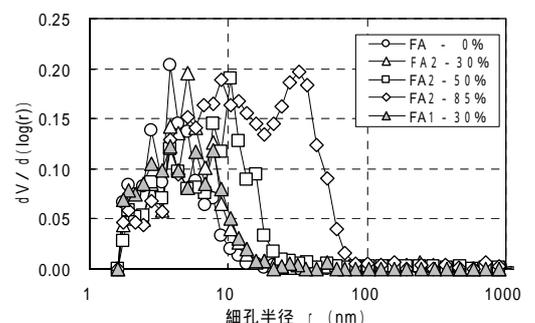


図-1 細孔径分布

キーワード：溶脱，耐久性，フライアッシュ，セメント硬化体

連絡先：ハザマ技術研究所，〒305-0822 茨城県つくば市苅間 515-1 tel: 029-858-8813, fax: 029-858-8819

50%以上では、置換率の増加に伴って内部組織の粗大化が見られる。特に、置換率 85% の場合は、他に比べて疎な組織となっている。図-2 に水酸化カルシウム量（以下、CH）の定量結果を示す。CH 量は、フライアッシュ置換の増加に伴って減少し、置換率 85% では、ほとんど存在しない。X 線回折においても、置換率 85% では、CH の存在は確認されなかった。フライアッシュ置換率以上に CH 量が低減しており、ポゾラン反応により CH が消費されていることがわかる。一方、細粉の FA1 の方が、CH 量が少なく、ポゾラン反応性が高いことがわかる。

(2) 浸せき試験結果：図-3 に累積 Ca^{2+} 溶脱量の経時変化を示す。フライアッシュ置換率の増加に伴い、 Ca^{2+} の溶脱量が低減する傾向が見られる。なお、いずれの置換率においても、26 週までの浸せき期間中ほぼ一定の割合で Ca^{2+} の溶脱が進行している。

図-4 に CH 量と浸せき 26 週までの累積 Ca^{2+} 溶脱量の関係を示す。CH 量と Ca^{2+} 溶脱量の関係は、若干下に凸の傾向が見られるが、ほぼ線形に近く、フライアッシュ置換による CH 量の低減に伴って、 Ca^{2+} の溶脱量が低減しているといえる。一方、置換率 85% では、CH は、ほとんど存在しないという分析結果であったが、 Ca^{2+} の溶脱が若干見られた。これは、CH 以外の C-S-H 等の水和物の溶脱も進行しているためと考えられる。pH の変化（図-5）は、 Ca^{2+} の溶脱量にほぼ対応している。

図-6 に累積 Si 溶脱量の経時変化を示す。Si の溶脱量は、フライアッシュ置換率との関係が一定でなく、置換率 30%、50% で増加し、85% では、無置換より低下した。置換率 85% では Ca^{2+} および Si のいずれも溶脱量が少なく、水中において安定した特性を有している可能性があるといえる。

5. まとめ

フライアッシュ置換により CH 量が低減し、置換率の増加に伴って Ca^{2+} の溶脱量が低減する。

フライアッシュを 85% と多量置換した硬化体は、 Ca^{2+} および Si のいずれも溶脱量が少なく、水中において比較的安定した特性を有している可能性がある。

今後、実環境を考慮した浸せき試験を実施するとともに、反応生成物の分析および浸せき試験後の固相分析（EPMA、XRD 等）を行い、溶脱特性の評価をさらに加える予定である。【謝辞】本研究を実施するに当たり、電力中央研究所広永上席研究員および山本主任研究員には、貴重なご助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】1) 山本，広永他：各種セメント系材料の溶脱特性の比較その 1，2，土木学会全国大会 V 部門，2004.9

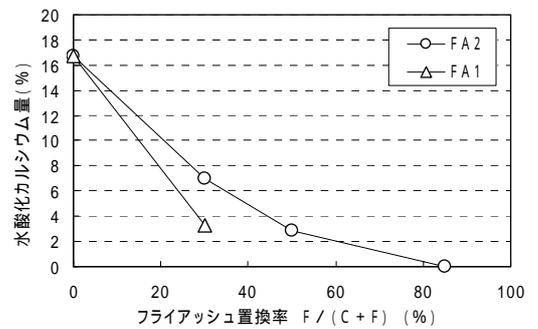


図-2 フライアッシュ置換率と CH 量の関係

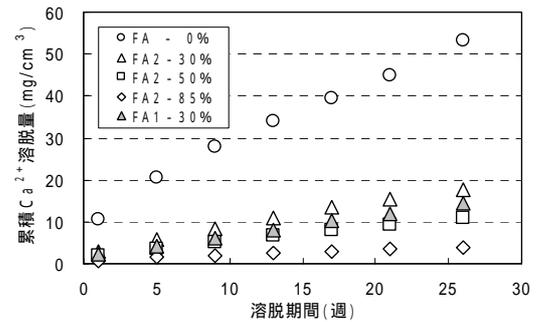


図-3 累積 Ca^{2+} 溶脱量の経時変化

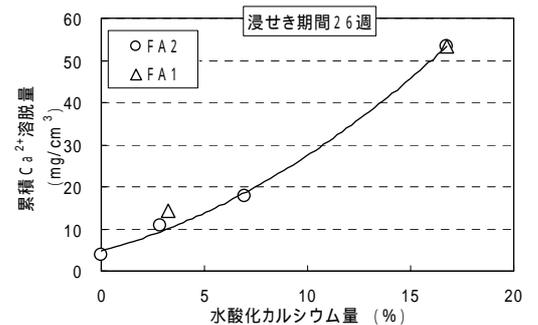


図-4 CH 量と累積 Ca^{2+} 溶脱量の関係

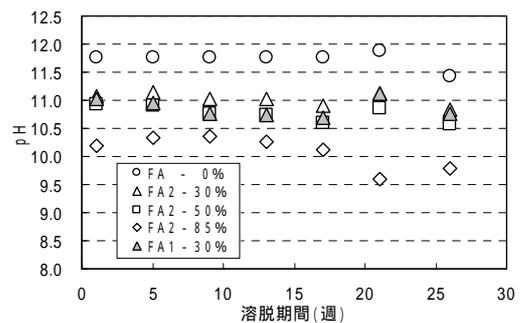


図-5 pH の経時変化

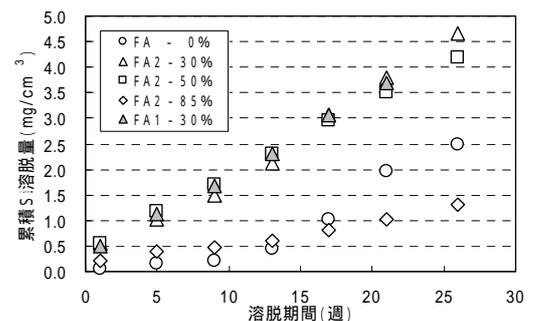


図-6 累積 Si 溶脱量の経時変化