幌延地下水環境下における低アルカリ性セメント系材料の溶脱挙動の検討

（株）大林組技術研究所　正会員　○人見　尚
（株）大林組土木本部　正会員　入矢桂史郎
（株）大林組原子力本部　正会員　納多　勝
（独）日本原子力研究開発機構　中山　雅

１．はじめに

高レベル放射性廃棄物の処分施設は、地下 300m 以深の地下深部に建設される。堆積岩を対象とした場合，処分施設の建設および操業期間中の空洞安定性を確保するために，コンクリート材料の使用が予想される。コンクリート材料は，周辺の地下水を高アルカリ化し，人工バリアとして用いられるベントナイトを変質させることが懸念されている。日本原子力研究開発機構は，上記のような影響を低減するため，セメント中の水酸化カルシウムをポゾラン化させ pH11 程度の低アルカリを示す HFSC(Highly Fly ash contained Silica-fume Cement)を開発し，地下施設での実証試験を行っている。本報告では，HFSC を用いたセメント硬化体の幌延の地下水環境を模擬した溶液に対する溶脱挙動について述べる。

２．試験概要

試料は HFSC および普通ポルトランドセメント(OPC)の W/B=50%のセメントペーストとした。使用材料を表 1，試験体の配合を表-2 に示す。混練後 28 日間の標準養生を行い、幌延の地下約 300m の地下水を模擬した溶液（以下，模擬地下水）による浸漬水交換溶脱試験(以下，浸漬試験)を実施した。試料の形状は一辺 10mm の立方体で、5 面をエポキシ樹脂でシールし，1 面で模擬地下水と接触させた。模擬地下水の構成を表-3 に示す。浸漬水は試料からの溶脱が進行し各イオン濃度が飽和に近づく 3 日間隔で交換した。累積水交換回数が 120 回となったおよそ 1 年経過時点で試料内部の元素分布を測定した。

浸漬試験機は、図-1 に示すようにアクリル製の円筒セル内の浸漬水を自動で連続して交換ができる。浸漬試験はその中に試料を静置して実施した。浸漬試験開始 1 年の時点で試験体を中心部で切断し，水接面を原点に深さ方向の元素分布を EPMA により測定した。観察領域は，水接面と平行な方向に 2mm，深さ方向に 10mm とした。対象とした元素は Ca，Si および Cl とした。なお Cl 以外の元素は酸化物換算で求めた。また，同材齢まで，標準養生を行った試料に関しても，同様の観察を行っ

表-1　使用材料

材料名	詳細
普通ポルトランドセメント(OPC)	セメント協会製　試験用普通ポルトランドセメント　密度 3.18g/cm^3
フライアッシュ(FA)	北電厚真発電所産　JIS II 種相当
シリカフューム(SF)	ノルウェー産 エルケム 940U
混練水	イオン交換水
セルロース系増粘剤	S 社製　SFCA2000
高性能減水剤（SP）	B 社製　レオビルド 4000
消泡剤	B 社製　マイクロエアー404

表-2　試料の配合

セメントの種類	W／B (%)	単位量(kg/m^3)						
		W	OPC	SF	FA	増粘剤	消泡剤	減水剤
OPC	50	614	1228	0	0	12	0	0
HFSC	50	557	446	223	446	0	0	22

表-3　模擬地下水の構成

濃度　(mg/l)					pH
Na^+	K^+	Ca^{2+}	NH_4^+	Cl^-	
3980	115	293	－	7170	7.0

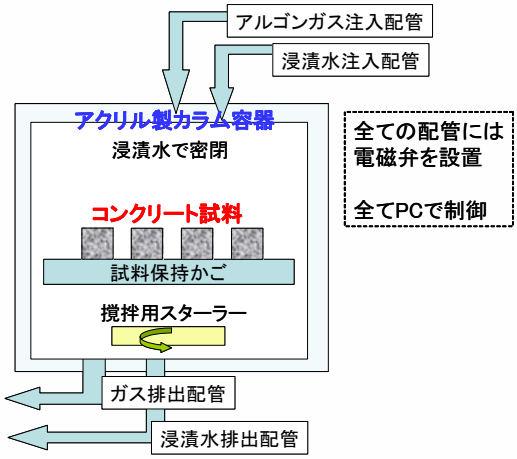

図-1 浸漬水交換溶脱試験機

キーワード　放射性廃棄物処分，低アルカリ性セメント，溶脱，元素分布
連絡先　〒204-8558　東京都清瀬市下清戸 4-640　（株）大林組技術研究所 生産技術研究部　ＴＥＬ042-495-1012

た。こちらは，試料内部の 2mm ×2mm の領域について観察を行った。

３．試験結果

図-2 に浸漬試験による水交換回数と Ca の溶出量，図-3 に Si の溶出量との関係を示す。Ca の溶出量は本試験期間を通じほぼ同じ量が継続して溶出しており，OPC の溶出量が多い傾向を示した。また Si の溶出量は，Ca に比べると非常に少なく，HFSC では溶出量に減少傾向が見られ，本期間の終わり頃には OPC と同程度となった。

HFSC および OPC の各構成元素の濃度マッピングを図-4 に示す。濃度の高い元素ほど暖色で、濃度の低い元素は寒色で示している。HFSC および OPC のいずれの材料においても水接面からの溶脱が見られる結果となった。OPC の浸漬試験の試料では，試料のほぼ全域に渡って Ca の濃度が低下したため，全体にわたり Si の濃度が相対的に高くなっている。このため，OPC では溶脱は試料のほぼ全体に及んでいると判断された。このような傾向は，HFSC の内部では見出されなかった。標準養生の元素分布のと比較して，Ca 濃度の低下範囲は OPC で 9.75mm, HFSC で 2.83mm となり, HFSC の溶脱範囲は 1/3 以下となり、OPC と比較すると高い溶脱抵抗性を持つことがわかった。また，Si についても水接面に近い領域で濃度の低下が見られた。この傾向は，HFSC で顕著であった。次に、Cl の浸透範囲に顕著な違いが見られた。OPC では、変質域での Cl の含有量は比較的低いが、特に変質していない範囲おいて Cl の侵入が見られ，最深部までの侵入が確認された。これに対し、HFSC では、変質領域での Cl 量の増加は見られるものの、変質していない範囲では Cl は見られないという結果になった。。

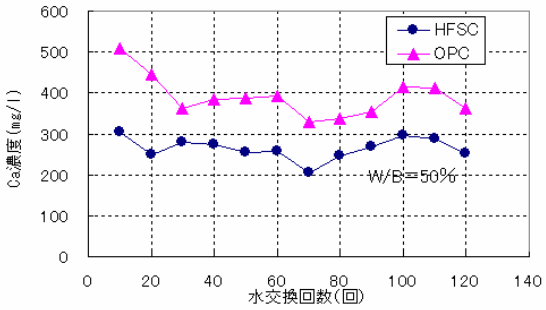

図-2　水交換回数と溶出 Ca の濃度の関係

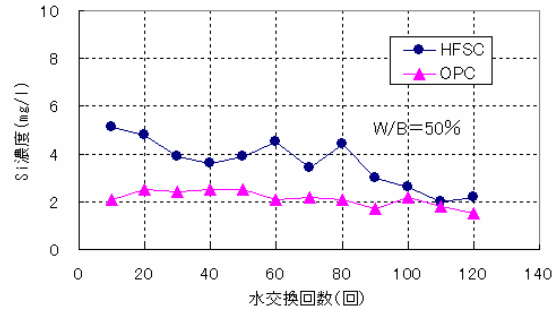

図-3　水交換回数と溶出 Si の濃度の関係

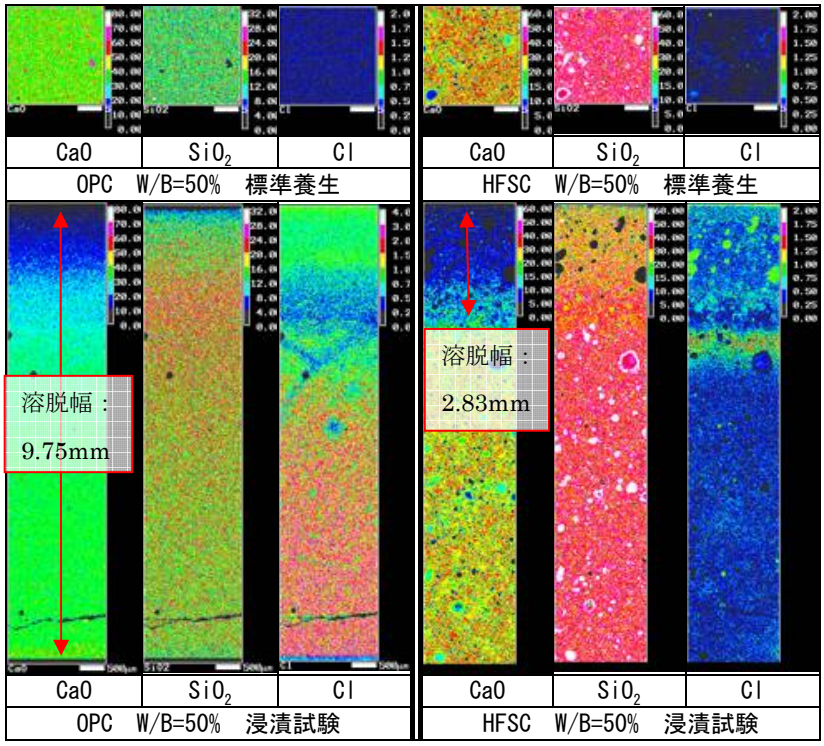

図-4　浸漬試験後の EPMA 観察結果

４．まとめ

幌延地下水環境を模擬した溶液での浸漬試験を行い，HFSC は OPC に比べ溶脱抵抗性が高いと思われる結果を得た。今後も浸漬試験を継続し，幌延の地下水環境における HFSC の溶脱特性について検討をする計画である。

参考文献

中山雅ほか：幌延深地層研究計画における低アルカリ性セメントの適用性に関する研究，JAEA-Research 2009-036,2009.