

長期高温作用が低熱ポルトランドセメント-フライアッシュ系硬化体の諸物性に及ぼす影響

(一財) 電力中央研究所 正会員 ○蔵重 勲 山本 武志

1. はじめに

原子力発電所の廃炉や使用済み原子燃料の再処理では、放射性核種の崩壊熱による発熱性の高い廃棄物が排出される場合があり、それらの処分においては廃棄体の発熱の影響を十分に考慮して処分施設を設計することが必要となる。低レベル放射性廃棄物の中深度処分でも発熱性廃棄体を処分する可能性があり、セメント系人工バリアに対する影響の評価が課題となっている。本稿は、バリア性能を左右する拡散抵抗性やひび割れ抵抗性に着目し、関連指標としてそれぞれ電気抵抗率および強度特性を取り上げ、20～80℃の長期高温作用(最長2年間)による物性変化をまとめたものである。

2. 実験概要

2.1 試験体および長期高温負荷試験

中深度処分のセメント系人工バリアである低拡散層¹⁾を模擬したモルタル(LF30)および比較用として普通ポルトランドセメントモルタル(OPC)を作製した。それぞれの配合を表1に示す。

試験体は、崩壊熱による部材の温度上昇が、およそ数年から十数年後以降に生じることから、20℃の湿空養生を1年間行った。また、拡散抵抗性評価試験については、上記の低拡散層の実規模試験体¹⁾から採取したコア(材齢約7年)も用いて検討した。長期高温負荷試験は、水酸化カルシウム飽和溶液に浸漬した条件の下、20、40、50、60、80℃の各温度で最長2年間実施した。

2.2 拡散抵抗性評価試験

一般に、セメント硬化体中のイオンの実効拡散係数は、セメント硬化体の電気抵抗率と反比例の関係にある。そこで、高温作用が拡散抵抗性に及ぼす影響を評価するため、高温負荷後の試験体の電気抵抗率を20℃環境にて測定した。20mm四方で厚さ5mmに切断加工した試験体を、図1に示すようにアクリルフォルダにエポキシ樹脂によって包埋し、両側を水酸化カルシウム飽和溶液で満たした状態で電気抵抗率を測定した(印加条件:正負交替電流 0.1mA, 周期 128 msec)。また、コア試験体については濃度勾配を駆動力とする透過型拡散試験により、塩化物イオンの実効拡散係数を測定した(高濃度側水酸化カルシウム飽和溶液中の塩化物イオン濃度:約 1,700 ppm, 温度条件 20℃)。

2.3 ひび割れ抵抗性評価試験

長期的な高温作用は、上記検討のような比較的微小領域の物性のみならず、部材の温度応力ひび割れなどマクロな現象にも影響を及ぼす可能性がある。そこで、ひび割れ抵抗性に関連する基礎的な強度特性(圧縮強度、静弾性係数、動弾性係数)への影響を評価し、予察的検討を行った。供試体は、直径50mm、高さ100mmの円柱供試体を用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 拡散抵抗性について

図2に、6ヶ月～2年の間、水中浸漬条件にて高温作用を与えた後に測定したLF30モルタルおよびOPCモルタルの電気抵抗率を示す。OPCモルタルでは、作用温度が高くなるほど明らかに電気抵抗率が小さくなった。また、負荷期間の影響は明瞭には認められず、負荷期間6ヶ月以降の電気抵抗率の変化はわずかであった。

一方、LF30モルタルでは、1年間の20℃湿空養生によって高温負荷開始時には既に約100kΩ・cmの高い電気抵抗率を示しており、長期高温作用によってもOPCモルタルのような作用温度の上昇に対して電気抵抗率が単調低下するような傾向は認められなかった。さらに、X線回折分析から1年間の湿空養生を行ってもなお残存していた未反応のセメントやフ

表1 作製した試験体の配合

略号	W/B (%)	スランブフロー(cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)					
				W	LPC	OPC	FA	LS	S
LF30	45	65±5	2.5以下	230	352	-	159	307	1233
OPC				301	-	670	-	-	

LPC: 低熱ポルトランドセメント, OPC: 普通ポルトランドセメント, FA: フライアッシュ(II種), LS: 石灰石微粉末, S: 石灰石砕砂

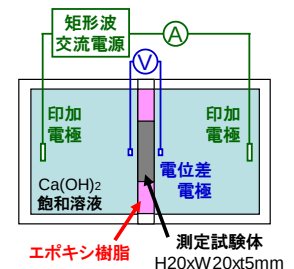


図1 電気抵抗率の測定方法

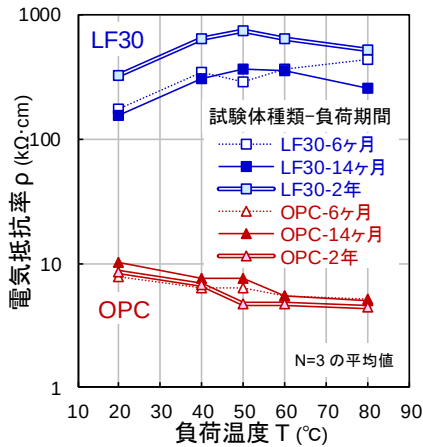


図2 長期高温作用によるLF30 および OPC 試験体の電気抵抗率の変化

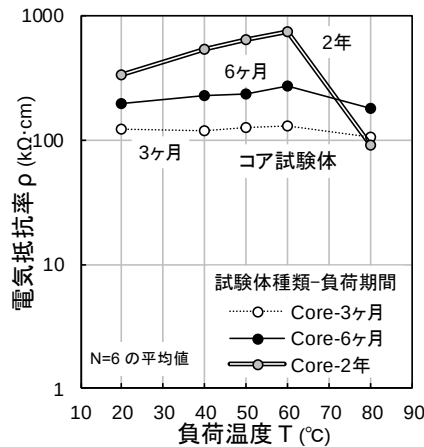


図3 長期高温作用によるコア試験体の電気抵抗率の変化

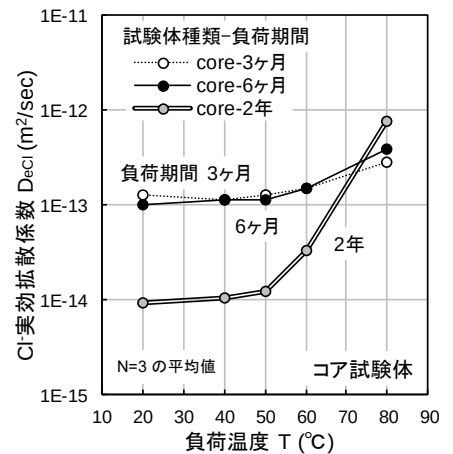


図4 長期高温作用によるコア試験体の塩化物イオン実効拡散係数の変化

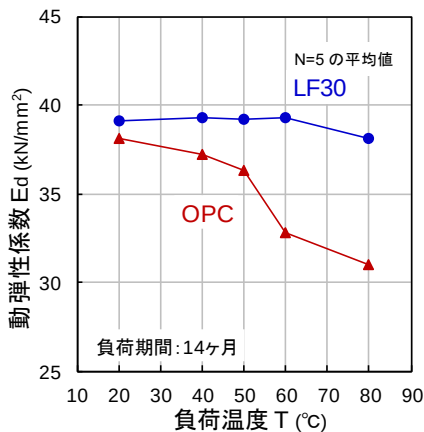


図5 長期高温作用によるLF30 および OPC 試験体の動弾性係数の変化

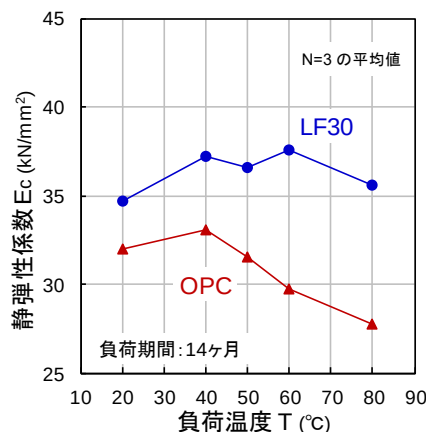


図6 長期高温作用によるLF30 および OPC 試験体の静弾性係数の変化

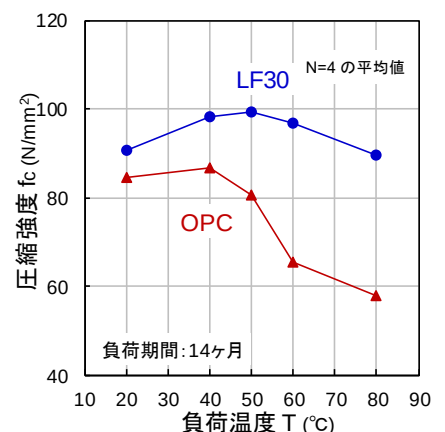


図7 長期高温作用によるLF30 および OPC 試験体の圧縮強度の変化

ライアッシュが反応しており、負荷温度 50℃程度までは負荷期間が長くなるほど電気抵抗率が上昇する結果となった。しかしながら、負荷温度 60℃以上では、負荷温度が高くなるほど電気抵抗率が比較的小さくなることが明らかとなった。これらの現象機構については、長期的な高温作用によるセメント硬化体組織や水和物相組成の変化が影響しているものと考えられ、気体吸脱着試験、水銀圧入試験、ならびに XRD、NMR 測定などを行っており、その分析結果は別途報告したい。

図3は、材齢約7年の低拡散層実規模試験体コアに対する長期高温負荷試験の結果である。基本的な配合は表1に示すLF30と同一であるが、80℃にて2年間の高温負荷を行った場合、電気抵抗率が大きく低下する結果となった。この傾向を確認するために行った約1年(負荷期間2年試験体)～約3年(同3ヶ月試験体)の拡散試験の結果を図4に示す。塩化物イオンの実効拡散係数も2年間の80℃といった高温作用を受けることで大きく上昇することが明らかとなった。

コア試験体とLF30試験体の違いとして、養生や材齢の条件の相違もあるが、配合上の大きな要因としてコア試験体には膨張材が添加されていることが挙げられる。実験室で作製したLF30試験体は、膨張に対する拘束などの実験上の都合から膨張材無添加の配合としている。現状、80℃負荷における実効拡散係数の上昇の原因を断定するには至っていないが、一般に抑制効果が期待できるとされているフライアッシュを30%と多量に置換した配合においても、長期の高温作用によってDEF(エトリンガイト遅延生成)が生ずる可能性があるものとして、単位セメント量の低減や膨張材の影響など、引き続き検討を進めている。

3.2 強度特性について

図5～7に、負荷期間14ヶ月の高温作用が、動・静弾性係数および圧縮強度に及ぼす影響をまとめる。温度応力ひび割れに対する抵抗性の評価には、この他にも、引張強度や熱物性も必要となるので、今後調査を進める予定である。

参考文献

- 1) 庭瀬一仁, 杉橋直行, 辻幸和: 低レベル放射性廃棄物処分施設の低拡散層の実規模試験による初期性能の設定, コンクリート工学論文集, Vol.21, No.3, pp.53-62, 2010.