

放射性廃棄物処分施設の埋戻し材（セメント系材料）の特性について（その2）

日本原燃 正会員 尾崎 充弘
 日本原燃 正会員 庭瀬 一仁
 ニュージェック 正会員 平川 芳明
 大林組 正会員 ○三 浦 律彦

1. はじめに

低レベル放射性廃棄物処分施設のうち余裕深度処分施設の施設概念案では、核種の移行を長期にわたって抑制できる安全なバリアシステムとして、低透水バリアとしてのベントナイト層と低拡散バリアとしてのセメント系材料と、覆工コンクリートとベントナイト層との間に位置する埋戻し材の組合せが考えられている。余裕深度処分施設の埋戻し材の要件としては、施設建設・作業時における空間の確保および自重・外力に対する安全性確保、施設閉鎖後における人間侵入防止、地下水移動の抑制が考えられる。これらの要件を満たす埋戻し材として、筆者らは低熱セメントとフライアッシュを併用したセメント系埋戻し材のフレッシュ特性および強度特性について検討した¹⁾。本研究では、それらのセメント系埋戻し材の発熱特性、収縮特性、透水性および化学特性について検討したものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合

使用材料を表-1に示す。埋戻し部はマスコンクリートとなること、および隣接するベントナイトの化学変質の影響を考慮して、本研究では結合材として低熱ポルトランドセメントにフライアッシュを30%混合したもの（以下Lと略）と、低熱ポルトランドセメントにフライアッシュを40%、シリカフェームを20%混合したもの（以下Hと略）を用いた。また比較のために普通ポルトランドセメント(OPC)を用いた。検討配合の概要を表-2に示す。粗骨材最大寸法は底部や側部埋戻しの施工条件に応じて選定できるように40mmまたは20mmとした。スランブは12±2.5cm、スランブフローはGmax20mm(以下20mm)の場合65±5cm、Gmax40mm(以下40mm)の場合、粗骨材とモルタルの材料分離を抑制する目的で20mmの場合より小さい55±5cmとした。単位水量は、40mmの締固め配合で136kg/m³、高流動で142~145kg/m³、20mmの締固め配合で146kg/m³、高流動で148kg/m³とした。空気量は2.5±1.0%とした。水結合材比は、上部埋戻しでは建設・作業時における強度・剛性を要求されないことから、比較的高い範囲まで検討した。なお、石灰石微粉末は細骨材に置換して使用した。

表-1 セメント系埋戻し材の使用材料

分類	記号	種類	物性
結合材	B	L	LPC+FA 密度 2.85g/cm ³ (LPC70wt.%, FA30wt.%)
		H	HFSC 密度 2.55g/cm ³ (LPC40wt.%, SF20wt.%, FA30wt.%)
	OPC	普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm ³ 、比表面積 3260cm ² /g	
	LPC	低熱ポルトランドセメント 密度 3.22g/cm ³ 、比表面積 3430cm ² /g	
	SF	シリカフェーム 密度 2.22g/cm ³ 、比表面積 20000cm ² /g	
	FA	フライアッシュ 密度 2.25g/cm ³ 、比表面積 3750cm ² /g	
混和材	LP	石灰石微粉末 密度 2.71g/cm ³ 、比表面積 4500cm ² /g	
細骨材	S	石灰砕砂 密度 2.63g/cm ³ 、吸水率 1.62%、粗粒率 2.79、実積率 70.9%	
粗骨材	G	石灰砕石(2005)	密度 2.70g/cm ³ 、吸水率 0.32%、粗粒率 6.60、実積率 60.5%
		石灰砕石(4020)	密度 2.72g/cm ³ 、吸水率 0.38%、粗粒率 7.94
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤	標準形 I 種、ホリカルボン酸系
	AE	AE 剤	I 種、変形アルキルホリカルボン酸系

表-2 検討配合の概要

セメント系埋戻し材の要件	仕上り性 平滑性 充てん性		低グリーディング、低収縮、低熱強度、剛性（底部、側部） 自立性（側部、2次覆工と分割施工） 透水性（閉鎖後）			
	部位	Gmax (mm)	施工区分	W/B (%)	セメント種類	
					OPC L H	
底部	20	締固め	45	—	⑥	⑦
			55	—	⑤	—
	40	高流動	45	—	③	—
			55	①	②	④
側部	20	締固め	45	—	⑥	⑦
			55	—	⑤	—
	高流動	45	—	⑨	⑩	
		55	—	⑧	—	
	40	締固め	45	—	③	—
			55	①	②	④
高流動		75	—	⑪	⑫	
		55	—	⑭	—	
上部	40	高流動	75	—	⑬	⑮
			55	—	⑭	—
			95	—	⑯	⑰

数字は配合 No. を示す

2.2 試験項目(表-3)

発熱特性として断熱温度上昇を、収縮特性として自己収縮ひずみおよび乾燥収縮ひずみを、透水性として透水係数を、化学特性としてpH履歴をそれぞれ計測した。また、収縮特性や透水性は細孔構造と密接な関係があることから、細孔径分布の計測を行った。

3. 実験結果と考察

3.1 発熱特性(図-1)

発熱特性は、余裕深度処分施設建設・作業時の寸法・形状の安定性

表-3 セメント系埋戻し材の各種試験項目

試験項目	試験方法
断熱温度上昇試験	空気循環式
自己収縮試験	JCI 超流動コンクリート研究委員会推奨法
乾燥収縮試験	JIS A 1129 (ダイヤゲージ法)
透水試験	インパット法 (加圧力 3MPa、約1週間)
pH履歴計測	粉碎試料 10g とイオン交換水 50ml (固液比 1.5) を振とう機で3日間攪拌し安定後 pH 計測
細孔径分布測定	水銀圧入法

キーワード：余裕深度処分, セメント系埋戻し材, 断熱温度上昇量, 収縮特性, 透水係数, 化学特性

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 TEL0424-95-0930

において要件となる¹⁾。温度上昇速度 α はポズラン量の多いHの方がLより小さく、Lでは締固め配合より高流動配合の方が若干大きくなった。終局断熱温度上昇量Kは締固め配合の方が高流動配合より大きくなった。なお、図中の配合記号は、左から結合材種類、水結合材比、Gmaxおよび施工分類（高流動F、締固めC）を示す。

3.2 収縮特性(図-2、図-3、図-4、図-5)

収縮特性は、発熱特性と同様に建設・作業時の寸法・形状の安定性において要件となる¹⁾。自己収縮ひずみは図-2に示すように、単位粉体量（結合材量+石灰石微粉末量）が多いほど、水結合材比が小さいほど、Gmaxが大きいほど大きくなる傾向を示した。これらはコンクリート中のペースト量が影響を及ぼしているものと考えられる。セメントの種類ではシリカフェュームの影響によりHの方が大きくなった。また、石灰石微粉末混入量とは正の相関関係があることが認められた。これらは図-3に示すように、微粉末効果により50nm以下の微細な細孔容積が多くなり、内部組織が緻密化したことが影響したものと考えられる。

乾燥収縮による長さ変化率は、図-4に示すように、自己収縮ひずみと同様にHの方が大きくなった。これも、図-5に示すように50nm以下の微細な細孔容積が影響したものと考えられる。

3.3 透水性(図-6)

埋戻し材の透水係数は、余裕深度処分施設閉鎖後の要件として、母岩並みの値が要求される¹⁾。透水係数は結合材水比が大きいほど、内部組織が緻密化するため小さくなった。また、水結合材比75%でも透水係数は 10^{-13} cm/s程度の低い値となることが確認された。

3.4 化学特性(図-7)

埋戻し材の化学特性は、施設閉鎖後の埋戻し材の剛性やベントナイトの化学変質の要因として重要となる¹⁾。HのpHは材齢初期からLに比べて0.8程度低くなり、さらに材齢とともに低下するのが認められた。これは、結合材に含まれるセメント量が影響していると考えられる。なお、余裕深度処分施設では埋設環境が比較的低温のため、pH0.8程度の差はベントナイト変質に対しては影響が小さい範囲となる可能性がある。

4. まとめ

本研究では、比較的高水結合材比におけるセメント系埋戻し材の発熱特性、収縮特性、透水性および化学特性を把握した。

なお、本研究は電力9社および日本原子力発電(株)、電源開発(株)、日本原燃(株)による電力共通研究の一部として実施したものである。
[参考文献]1)尾崎ほか:放射性廃棄物処分施設の埋戻し材(セメント系材料)の特性について(その1)、平成18年度土木学会年次学術講演会論文集、2006.9

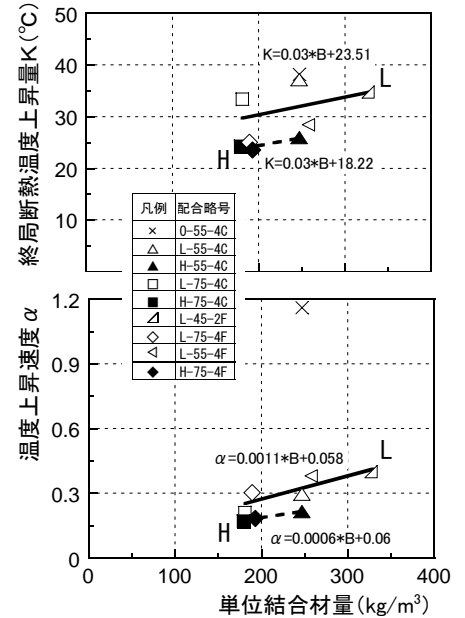


図-1 K、 α と単位結合材量の関係

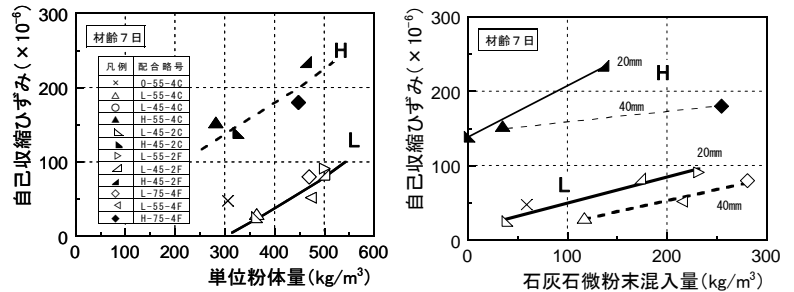


図-2 単位粉体量、石灰石微粉末混入量と自己収縮の関係

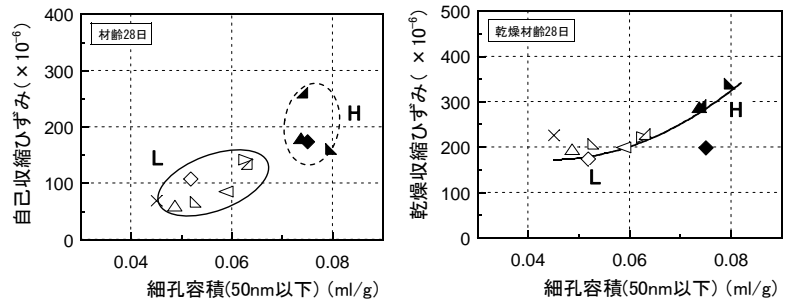


図-3 細孔容積と自己収縮歪

図-5 細孔容積と乾燥収縮歪

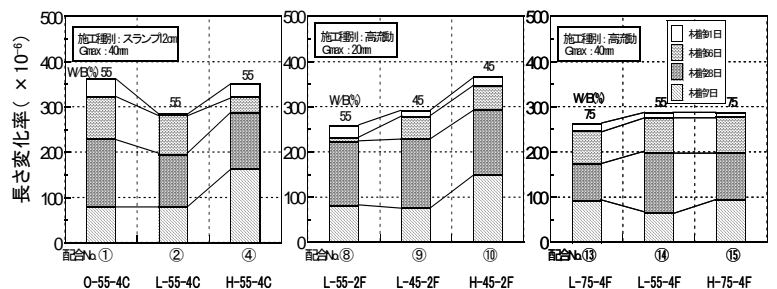


図-4 セメント系埋戻し材の乾燥収縮試験結果

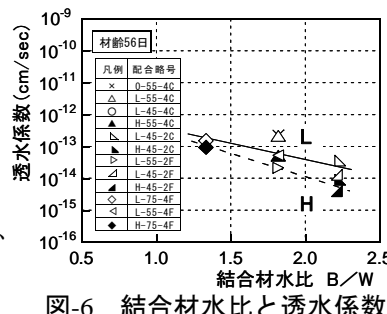


図-6 結合材水比と透水係数

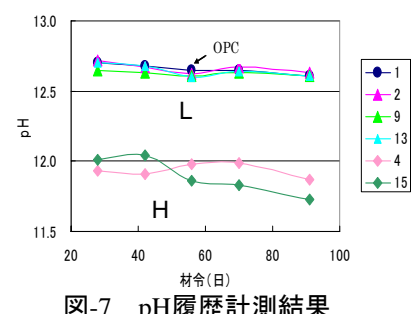


図-7 pH履歴計測結果