

低アルカリ性セメントグラウト材料の基礎物性に関する検討

(株)大林組 正会員 ○ 三浦 律彦
同上 正会員 納多 勝
(独)日本原子力研究開発機構 正会員 小林 保之
同上 正会員 山田 勉

1. はじめに

ダムやトンネル等では、岩盤の透水性を改良する目的でセメント系のグラウト材料が一般的に用いられる。高レベル放射性廃棄物（HLW）の地層処分施設においても建設ならびに操業期間中における作業環境を確保するため、グラウトを行うことが想定される。処分施設が従来の地下構造物と大きく異なる点は、閉鎖後の長期間にわたり安全性に対して適切な評価が必要とされることである。HLWの地層処分は、天然バリア（岩盤）と人工バリア（オーバーパック、緩衝材）からなる多重バリアシステムにより構成されるが、セメントの高アルカリ成分が地下水に溶出しpHが上昇すると、これらのバリアを化学的に変質させることが懸念されている。このため、日本原子力研究開発機構では、支保工等のコンクリートに用いる低アルカリ性セメントの開発を進めてきている¹⁾。ここでは、低アルカリ性のグラウト材料について基礎的な検討を行った結果を報告する。

2. 使用材料および配合

グラウト材料の低アルカリ化については、ポゾラン反応により期待することとした。グラウト材料からの浸出液のpHを11以下とするため、既往の検討結果¹⁾を参考に、普通ポルトランドセメント（OPC）に対するポゾラン材料の置換率を50%以上とし最大80%まで高めた。一般的に用いられている混和材料には、フライアッシュ（FA）、シリカフューム（SF）、高炉スラグ微粉末（BFS）があるが、BFSを用いるとpHが11以下に低下しなかった²⁾ため除外した。また、グラウトの亀裂浸透性は使用材料の粒径に依存し³⁾、通常のOPCでは粗粒が多く微細な亀裂への注入が困難と考えられたため、海外で使用されている超微粒子セメント⁴⁾と同等の粒度を有する超微粒子OPCを作製した。表-1に使用材料と物性概要を示すが、ポゾラン材料としてはSF、FAと球状シリカ（SS）を採用し、ブリーディングを低減する目的で石灰石微粉末（LP）を用いることとした。なお、LPは配合上、フィラーとし結合材には含めないこととした。

表-1 使用材料と特徴一覧

種類	略号	使用材料の品質規格と名称 粒子の特性(メーカーカタログ値)					
		規格・分類	名 称	密度 (g/cm ³)	最大粒径 (μm)	平均粒径 (μm)	比表面積 (cm ² /g)
結合材	超微粒子OPC	OPC	低アルカリ型 超微粉砕特注品	3.15	15	2.4	12,500
	シリカフューム	SF	JIS規格品 940U	2.20	0.9	0.15	200,000
	球状シリカ	SS	- SFP-30M	2.40	3.2	0.72	62,000
	フライアッシュ	FA	JIS 種別規格品 ファイナッシュFA20	2.40	20	8.8	5,590
フィラー	石灰石微粉末	LP	CaCO ₃ 90% ホワイトンSB赤	2.70	18	2.5	12,000
混和剤	分散剤	SP	ナフタリン系 マイティ150R	-	-	-	-
練混水	イオン交換水	W	イオン交換水 精製水	-	-	-	-

表-2 検討したグラウトの配合概要

大分類	セメントの種類	混和材の種類	配合No.	水結合材比(%)	石灰石微粉末 併用の有無
一成分系	超微粒子OPC	-	1~4	100,200,300,400	未使用
	微粒化前OPC	-	5,6	100,200	未使用
二成分系	超微粒子OPC	SF	7~10	100,200,300,400	未使用
		SS	11,12	100,200	未使用
		FA	13,14	100,200	未使用
三成分系	超微粒子OPC	SF / SS	15~24 35~48 63~70	100,200 一部の配合で 100,200,300,400	300,400%では LPを併用
		SF / FA	25~34 49~62 71~82	100,200 一部の配合で 100,200,300,400	300,400%では LPを併用
四成分系	超微粒子OPC	SF / SS / FA	83~96	100,200	未使用

結合材の組み合わせ、および水結合材比（W/B）については表-2に示すとおりとした。また、今回使用する材料は微粒子のものが多く、練り混ぜ時の凝集や早期のゲル化が懸念されたため、分散剤（SP）として遅延形の高性能AE減水剤（ナフタレン系）を結合材量の2～3wt%を標準（一部で4wt%を上限）として使用した。

3. 試験概要

表-2に示した全96配合に対して、粘度測定、ブリーディング測定、漏斗流下試験を行い、相対的にブリーディング率が低く、流下時間の短い31配合を選定した。さらに、これらの配合に対してベーンせん断試験や強度試験の結果から、10配合に絞込み硬化体のpHを測定した。この10配合に対しては、亀裂への浸透を模擬

した注入試験を実施したがこの結果については別途報告する予定である．また，今回，使用したSSについては，使用実績が少なく，ポゾラン活性が不明なため，JIS(シリカフューム)に従って活性度指数を測定した．

4. 試験結果と考察

図-1に粘度と水結合材比の関係を示す．粘度は塑性粘度を示しているが，W/Bが200～400%の間では大きな変化は無いものの，100%になると急激に粘度が上昇し，粉体構成によって異なる粘度となった．三成分系ではFA混合は粘度が低めになり，SS混合は粘度が高めになった．

図-2にブリーディング率と塑性粘度の関係を示す．文献⁵⁾によれば，グラウト材料の要求性能として，ブリーディング率2%以下(2時間後)，粘度(レオメータ法，30分後)が50mPa・s以下が示されている．粘度は測定方法により異なり直接的な比較は適当ではないが，今回の試験結果では，ブリーディング率2%以下の領域は粘度が30mPa・s以上と考えられ，亀裂浸透性も考慮すると30～50mPa・s程度が最適と評価される．

活性度指数の測定は基本的にJISに準拠したが，使用材料が超微粒子のため練混ぜ時に凝集し，供試体の作製が困難であった．このためW/Bを60%としSPを2%添加した．図-3に測定結果を示すが，SSはSFと同等の活性度指数を示しており，良好なポゾラン反応性を有していることが確認された．SF(1，4週)とFA(4週，13週)が，JIS規格を満足していないが，これはW/Bの変更やSP添加の影響があったと推察される．

pHの測定方法は，50の温水に2週間養生した供試体を粉砕し，液固比5:1の条件でイオン交換水および人工海水(ASTM)に浸漬し，ガラス電極式pHメーターにより浸漬液のpHを測定した．表-3に測定結果を示すが，目標とした pH<11を達成していることが分かる．養生温度を20とした試験も実施しているが，こちらは2ヶ月程度の養生期間でpH<11となった．

5. おわりに

本検討では，低アルカリ性グラウト材料の開発を目的として使用材料の選定および基礎物性試験により，配合の絞込みを行った．その結果，目標とするpHと適切な粘度を確保できる見通しが得られた．今後は，岩盤亀裂への浸透性評価手法や極初期の強度発現性等を改善し，原位置適用性試験に向けた適用性検討をさらに進める予定である．

本件は経済産業省資源エネルギー庁の「平成19年度地層処分技術調査等委託費(高レベル放射性廃棄物処分関連：地下坑道施工技術高度化開発)」の一部として実施したものである．

参考文献

1) 核燃料サイクル開発機構：高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築 分冊2 工学技術の開発，2005
2) 入矢桂史郎ほか：幌延研究センターにおけるコンクリート材料の施工性に関する研究()，JNC TJ8400 2002-013,pp.75-81，2002
3) Finnish Tunnelling Association：Hard rock tunnel grouting practice in Finland, Sweden, and Norway-literature study (2003)
4) Vuorio, M. et.al：Long-term safety and durability related studies on low-pH grouting materials, R&D on Low-pH CEMENT FOR A GEOLOGICAL REPOSITORY，3rd WORKSHOP, pp.83-88.
5) Paula,R, Johanna,H.：Technical Performance of Cementitious Grouting Materials for ONKALO – Laboratory Tests 2006 –，Working Report 2007-76, pp.16 (2007)

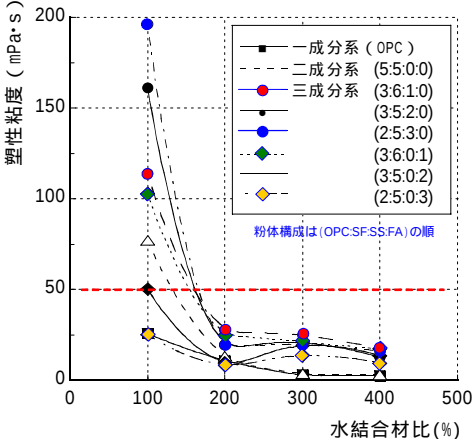


図-1 粘度と水結合材比の関係

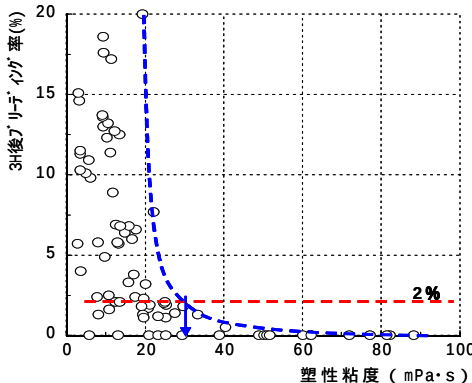


図-2 粘度とブリーディング率の関係

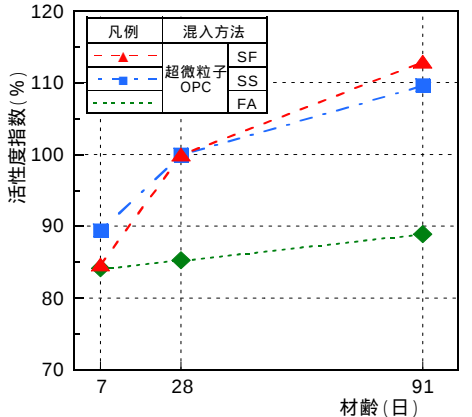


図-3 活性度指数の測定結果

表-3 pH測定結果

配合番号	粉体構成比 (OPC:SF:SS:FA)	W/B (%)	pH測定値(50)	
			イオン 交換水	人工 海水
7	5:5:0:0	100	10.60	9.61
8	5:5:0:0	200	10.63	9.40
15	4:5:1:0	100	10.51	9.38
16	4:5:1:0	200	10.50	9.32
29	4:4:0:2	100	10.68	9.52
30	4:4:0:2	200	10.66	9.47
33	4:2:0:4	100	10.37	9.97
35	3:6:1:0	100	10.60	9.61
49	3:6:0:1	100	10.49	9.28
63	2:5:3:0	100	10.22	9.05