

地層処分におけるグラウト技術の高度化開発（その3）
ー低アルカリ性セメント系グラウト材料の配合選定ー

(株)大林組 正会員 ○三浦律彦 正会員 並木和人
(独) 日本原子力研究開発機構 正会員 小林保之 正会員 山田 勉

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分システムは、天然の岩盤（天然バリア）とオーバーパックや緩衝材などの工学的な障壁（人工バリア）からなる多重のバリアシステムにより構成される。処分場施設の建設／操業にあたりセメント系材料が多用されることにより、閉鎖後長期にわたりセメントから溶出する高アルカリの成分がバリア材である岩盤などの鉱物に変質等の化学的な影響を与え、結果としてシステムの長期性能に大きな不確実性をもたらすことが懸念される。このため、日本原子力研究開発機構ではボゾラン材を高含有した低アルカリ性セメントの開発を進めてきた^{1),2)}（シリーズその2参照）。本報では、平成19年度のグラウト材料としての低アルカリ性セメントの基礎物性検討³⁾に引き続き、原位置での適用性試験に向けて選定した低アルカリ性セメント系グラウト配合の基礎物性について述べる。

2. 構成材料、配合および練混ぜ方法

低アルカリ性セメント系グラウト材料は、普通ポルトランドセメント（OPC）に対し、シリカフューム（SF）、球状シリカ（SS）、フライアッシュ（FA）などのボゾラン材を50%以上置換することを基本とした。本検討に用いた使用材料を表-1に、結合材の構成を表-2に示す。

既報³⁾にて絞り込んだ10配合をもとに、本検討では、水結合材比（W/B）を100, 125, 150, 200%，高性能減水剤（SP）添加率を1.0～6.0%とし原位置試験（シリーズその10参照）に用いる配合を選定することとした。なお、本検討で用いる材料は、通常のOPCに比べ微粒子であるため、混練時に凝集等が懸念されたことから、コロイダルミキサ（容量200ℓ、回転数2,000rpm）を使用し、試験練りにより混練時間を2分間と設定した。

3. 配合選定の手順と試験項目

配合選定においては、亀裂浸透性および別途開発中のグラウト浸透モデル（シリーズその9）への適用を考慮し、粘性試験（塑性粘度と降伏値）、ファンネル流下試験、鋼製メッシュ（63, 75, 90, 106, 125 μm）透過試験、サンドカラム試験を実施し、浸透性や流動性の高い配合を選定することとした。また、亀裂内への効果的な充填性を確保するため、ブリーディング試験や、高圧注入時を想定した加圧ブリーディング試験を実施した。次に、凝結試験、フォールコーン試験、圧縮強度試験等を行い強度特性にも留意した。以上の試験により、配合間の相互比較を行い優れたものを抽出し、最終的には亀裂モデル浸透試験（シリーズその4参照）により、亀裂浸透特性を確認した。

4. 試験結果

4.1 浸透性

浸透性および流動性に関する試験のうち、サンドカラム試験⁴⁾結果の一例を図-1に示す。OPC/SF/SS/FA=4/2/0/4および4/5/1/0の3成分系のうち、前者では、良好な浸透性が認められるが、後者では浸透時間の経過に伴

表-1 使用材料

種類		物性、主成分など
結合材 (B)	超微粒子 OPC	低アルカリ型 OPC の微粉砕品。平均粒径 4.26 μm、密度 3.16g/cm ³ 、（比表面積 1.2 万 cm ² /g 程度、 <i>メーカ</i> 値）
	シリカフューム SF	平均粒径 0.72 μm、密度 2.20g/cm ³ 、（比表面積 200 万 cm ² /g 程度、 <i>メーカ</i> 値）
	球状シリカ SS	平均粒径 1.10 μm、密度 2.40g/cm ³ 、（比表面積 6.2 万 cm ² /g 程度、 <i>メーカ</i> 値）
	フライアッシュ FA	JIS I 種品、平均粒径 2.99 μm、密度 2.40g/cm ³ 、比表面積 5,460cm ² /g（ <i>メーカ</i> -試験値）
混和剤	分散剤 SP	ナフタレン系高性能減水剤（標準型）
練混ぜ水	W	イオン交換水

表-2 結合材の構成

大分類	結合材の構成割合
一成分系(超微粒子OPC)	OPC 100%（参考配合）
二成分系(シリカフューム)	OPC:SF:SS:FA= 5: 5: 0: 0
三成分系(球状シリカ)	① OPC:SF:SS:FA= 4: 5: 1: 0、② OPC:SF:SS:FA= 3: 6: 1: 0
	③ OPC:SF:SS:FA= 2: 5: 3: 0
	① OPC:SF:SS:FA= 4: 4: 0: 2、② OPC:SF:SS:FA= 4: 2: 0: 4
三成分系(フライアッシュ)	③ OPC:SF:SS:FA= 3: 6: 0: 1

い流量が一定となっており、空隙への目詰まりが生じていると考えられる。5/5/0/0でも同様の傾向となっているが、浸透流量としては多いため、4/5/1/0ほどの目詰まりは生じていないと推察される。これより、SSを混入すると目詰まりが生じ浸透性が大きく低下すると判断される。また、SPの添加量にも関連するが、W/Bと浸透性の間に相関は認められない結果となった。

4.2 分離抵抗性

表-3にブリーディング率を示す。サンドカラム試験で浸透性が良好であった4/2/0/4のW/B=150%では1.9%と大きく、それ以外はほぼ0となった。加圧ブリーディング率も4/2/0/4が最も多くなり、この配合は分離抵抗性に劣ることが判明した。それ以外の配合は、何れも良好であった。

4.3 強度特性

始発時間の一例を図-2に示す。W/B=100~150%では8~10時間で始発に達し、凝結はW/BやSP添加率が高いほど遅延する傾向にある。次に、フォールコン試験により初期せん断強度を求めた。この初期せん断強度は、グラウト注入後のパッカー取り外し時期と関連しており、施工サイクルを考える上で重要となる。類似材料の検討例⁵⁾では、材齢6時間で0.5kPaとしている。フォールコン貫入深さの一例を図-3に示す。せん断強度への換算は12.8mmで1.0kPa、9.1mmで2.0kPaであり、5/5/0/0のW/B=100~150%では、SPの添加率の大きい配合を除き、0.5kPa以上の強度が確認された。一方で、SSを含む配合では、W/B 150%以下では、これを満足しない配合が幾つか認められた。

5. まとめ

本検討では、低アルカリ性セメント系グラウト材料の各種基礎物性試験により、流動性、分離抵抗性、強度特性の観点から相対的に優れている配合の選定を行った。その結果、浸透性では目詰まり傾向があるものの、分離抵抗性、強度特性から総合的に判断すると粉体構成比はOPC:SF=1:1(5/5/0/0)が有利であると判断できる。また、水結合材比は要求させる強度を考慮する必要があるが、本実験の範囲ではW/B=125%が有利であると考えられる。今後は、この配合を中心に原位置適用性試験にて改良効果や施工性を確認する予定である。

本件は経済産業省資源エネルギー庁の「平成20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(II), JNC TJ8400 2002-013, pp.75-81, 2002
- 3) 三浦律彦ほか: 低アルカリ性セメント系グラウト材料の基礎物性に関する検討, 土木学会第63回年次学術講演会 CS05-32, pp.231-232, 2008.09
- 4) 吉田了三ほか: 超微粒子セメントの砂質地盤への浸透性と止水性に関する実験, 地盤工学発表会Vol.43, 2の1, pp.677-678, 2008.07
- 5) Raivio, P. et al.: Technical Performance of Cementitious Grouting Materials for ONKALO -Laboratory Tests 2006-, Posiva, Working Report 2007-76

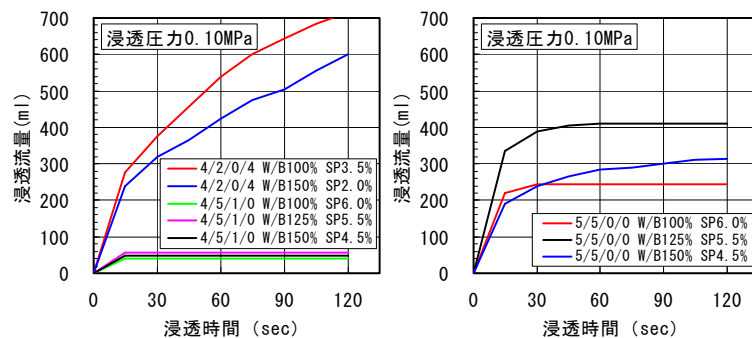


図-1 サンドカラム試験結果

表-3 ブリーディング率の一例(JSCEホリエチレン袋法)

結合材の構成	2hr ブリーディング率(%)				24hr ブリーディング率(%)			
	W/B (%)				W/B (%)			
5/5/0/0	100	125	150	200	100	125	150	200
4/5/0/0	0	0	0	0.4	0	0	0	0
4/5/1/0	0	0	0.1	0.2	0	0	0	0
4/4/0/2	0	—	0.1	0.7	0	—	0	1.5
4/2/0/4	0.1	—	1.2	—	0	—	1.9	—
3/6/1/0	0	—	0	—	0	—	0	—
3/6/0/1	0	—	0.1	—	0	—	0	—

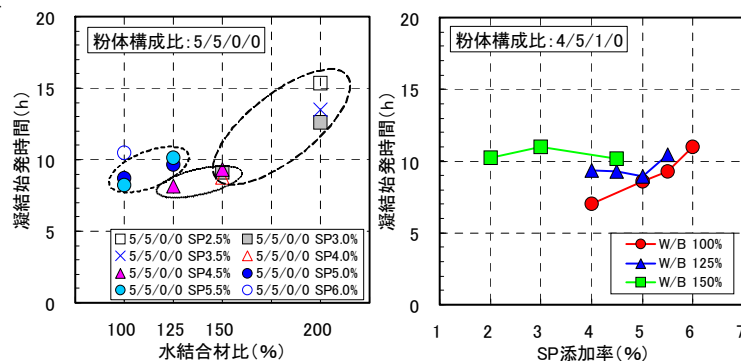


図-2 凝結試験の結果の一例(始発時間)

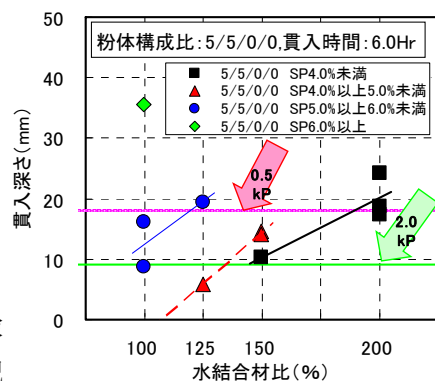


図-3 フォールコン試験結果の一例