地層処分におけるグラウト技術の高度化開発（その４）
―超微粒子球状シリカグラウトの配合選定試験―

戸田建設（株）　正会員　○山田　勉，関根一郎，関口高志
電気化学工業（株）　非会員　石田秀朗
（独）日本原子力研究開発機構　正会員　岸　裕和，福岡奈緒美

１．はじめに

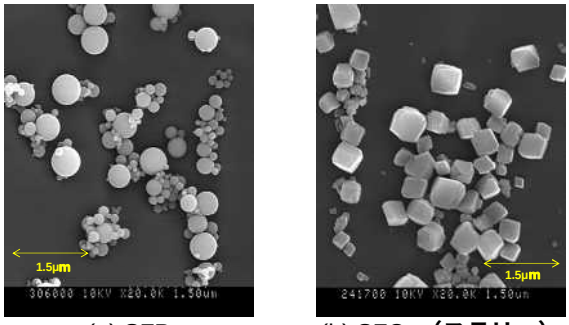
高レベル放射性廃棄物の地層処分における地下坑道への湧水抑制対策として，岩盤亀裂を対象にグラウト注入が検討されている．そのグラウト材料として，低アルカリ性セメント系グラウト材料（以下，セメント系という）の開発（シリーズその 2 参照），溶液型グラウト材料（以下，溶液型という）の適用性検討（シリーズその 3 参照）が進められている．しかしながら，地下深部の高水圧環境において許容湧水量が厳しく制限されることなどを考慮すると，期待する止水効果が得られない可能性がある．そのため，セメント系と溶液型双方の弱点を補う性能が期待される代替材料として，超微粒子球状シリカグラウト（以下，本材料という）を開発した．本稿では，既報[1)]での成果に基づいて新たに計画・実施した本材料に関する各種試験および推奨配合の選定結果について報告する．

２．構成材料

本材料の構成材料の仕様を表-1，結合材の走査型電子顕微鏡（以下，SEM という）画像を図-1 に示す．超微粒子球状シリカ（以下，SFP という）は，珪石を粉砕・溶融・球状化した製品で，粒度調整が可能である．超微粒子消石灰（以下，SFCa という）は，最大粒径 1μm 程度に微粉砕したスラリー状の製品（試作品）を用いた．上記結合材は超微粒子であることから，分散性の確保，労働災害（じん肺）の防止などを考慮してスラリー供給することを前提とした．検討配合を表-2 に示す．

表-1　構成材料

種類		仕様
結合材 (B)	超微粒子球状シリカ (SFP)	最大粒径1μm程度，平均粒径0.4μm程度
	超微粒子消石灰 (SFCa)	最大粒径1μm程度，平均粒径0.5μm程度，試作品
混和剤 (SP)		ナフタレン系高性能減水剤
練混ぜ水 (W)		イオン交換水



(a) SFP　(b) SFCa（スラリー）

図-1　結合材の SEM 画像

３．配合選定方法と試験項目

配合については初めに強度発現性と pH の関係を調査し，最適な超微粒子消石灰・結合材比（以下，SFCa/B という）を選定することとした（表-2（1））．試験として，圧縮強度試験，pH 測定，SEM 観察，X 線回折分析，化学分析などを実施した．次に，可使時間や浸透性の確保などの観点から最適な水結合材比（以下，W/B という）と高性能減水剤添加率（以下，SP/B という）を選定することとした（表-2（2））．試験として，粘性試験，漏斗流下試験，ブリーディング試験，室内ベーンせん断試験，圧縮強度試験，サンドカラム試験などを実施した．なお，サンドカラム試験には，グラウタビリティ比による評価でセメント系は浸透困難とされる珪砂 8 号を用いた．

表-2　検討配合

配合選定手順	SFCa/B (wt%)	W/B (wt%)	SP/B (wt%)
(1) SFCa/Bの選定	20～60	120	3.0
(2) W/BおよびSP/Bの選定	40.9	135程度	4.9～7.5
		150程度	4.9～7.5
		200程度	4.9～7.5

４．試験結果および考察

（１）SFCa/B の選定　図-2 に圧縮強度と pH の関係，図-3 に硬化体の SEM 画像を示す．SFCa/B≦60%においては，SFCa/B の増加とともにカルシウム・シリケート水和物（以下，C-S-H という）生成量とその Ca/Si モル比が増加し，未反応の SFP と考えられる球状粒子（以下，未反応 SFP という）が減少する傾向が認めら

キーワード　超微粒子球状シリカ，グラウト，放射性廃棄物，地層処分，低アルカリ性，サンドカラム
連絡先　〒104-8388　東京都中央区京橋 1-7-1　戸田建設（株）土木本部 岩盤技術部　ＴＥＬ03-3535-1489

れた．結果として SFCa/B=40%のとき相対的に高い圧縮強度（≧4MPa）を示したことから，C-S-H 生成量と未反応 SFP 量が適切な割合のとき強度発現性がよいと考えられた．なお，SFCa/B≦40%では低アルカリ性（pH≦11）を示した．以上より，SFCa/B=40%を基準に検討配合を設定した．

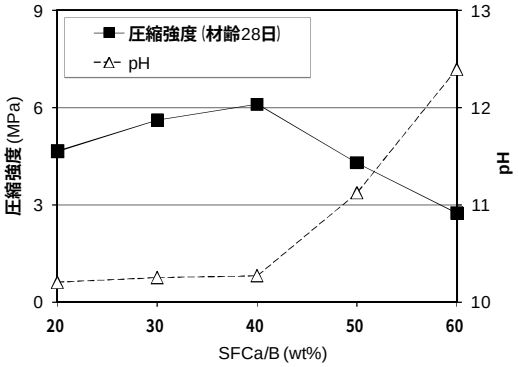
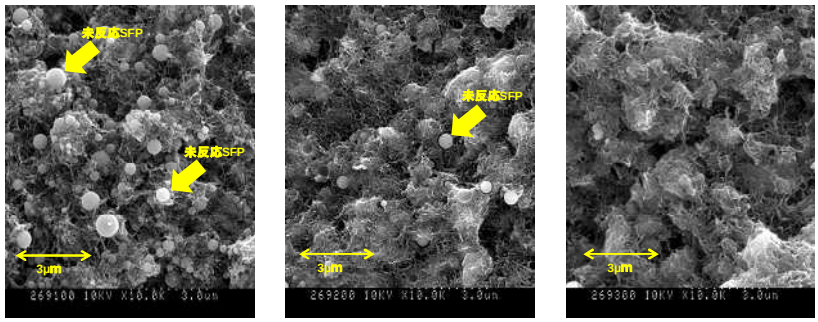


図-2　圧縮強度と pH の関係



(a) SFCa/B=20wt%　(b) SFCa/B=40wt%　(c) SFCa/B=60wt%

図-3　硬化体の SEM 画像

（2）W/B および SP/B の選定　配合選定においてとくに重要であった漏斗流下試験およびサンドカラム試験結果をそれぞれ図-4 および図-5 に示す．漏斗流下試験では，練混ぜ直後から 90 分後までの流動性の経時変化を調査し，可使時間が少なくとも 90 分となる配合を抽出した．サンドカラム試験では，W/B または SP/B が浸透性に及ぼす影響を調査した．その結果，W/B により浸透性に顕著な差異が認められ，W/B=200%シリーズで最もスムーズな浸透を示した．一方，表-2 の配合においては SP/B の効果は比較的小さいため，有機物低減の観点から SP/B の小さい配合が望ましいと考えられた．

なお，サンドカラムに充填した珪砂 8 号の間隙は，たとえば以下の経験式[2)]を用いて水理学的開口幅に換算すると約 12μm であった．今後はこのような考え方も取り入れつつ平行平板モデル試験などを実施し，本材料の開口亀裂への浸透性について，流動性とともに総合的に評価していく必要があると考える．

$b=0.15D_{50}$　（ここに，b：水理学的開口幅，D_{50}：砂の 50%粒径）

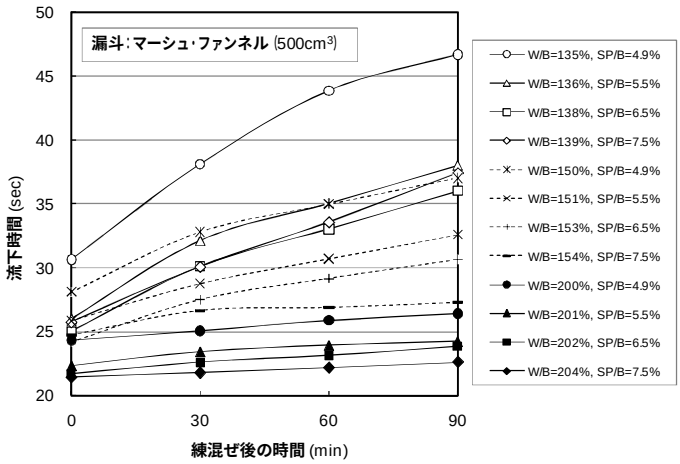


図-4　漏斗流下試験結果

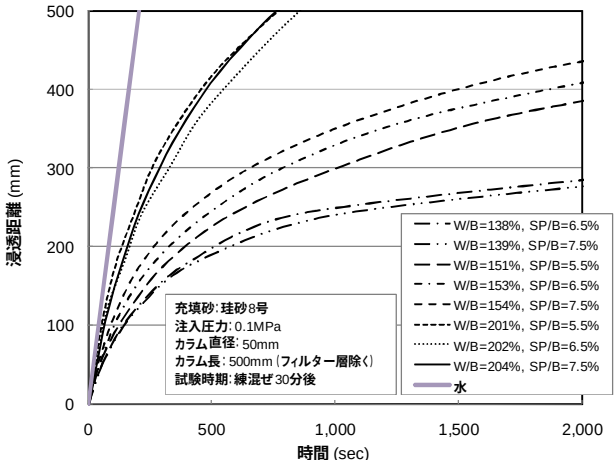


図-5　サンドカラム試験結果

5．おわりに

本材料の配合として，現段階では SFCa/B=40.9%，W/B=201%，SP/B=5.5%が適していると考えられる．この配合は浸透性に優れるばかりでなく，分散性のよいスラリーで供給されるため，超微粒子粉体を取り扱う上でのさまざまな課題についても改善されている．今後は，浸透性に関する試験データの拡充や原位置での施工性・止水性の実証が望まれる．なお，本研究は経済産業省資源エネルギー庁「平成 21 年度地層処分技術調査等委託費（高レベル放射性廃棄物関連：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)　関口高志，関根一郎，冨澤奈緒美，平野健吉，石田秀朗，藤田朝雄，山田勉：地層処分におけるグラウト技術の高度化開発（その 6）―超微粒子球状シリカグラウト材料に関する基礎物性試験―，土木学会第 64 回年次学術講演会，pp.145-146，2009.

2)　Axelsson, M. and Gustafson, G.: Grouting with high water/solid-ratios – Literature and laboratory study, Chalmers University of Technology, Report No. 2007:5, 2007.