

地層処分におけるグラウト技術の高度化開発（その2） ーグラウト材料の開発ー

(独) 日本原子力研究開発機構 正会員 〇山田 勉 非会員 内藤 守正
正会員 小林 保之 正会員 新貝 文昭

1. はじめに

地層処分施設では、地下深部の高水圧環境や緩衝材の定置作業性などを確保するために湧水量が厳しく制限されることが想定される。このため、従来のグラウトよりも改良目標値が高く設定され、微細な亀裂に対しても注入可能な材料が必要と考えられる。さらに、従来のグラウトに用いられている普通ポルトランドセメント（以下、OPC という）などのセメント系材料は高アルカリ性であり、長期的には岩盤の変質を引き起こし、バリアシステムの長期性能に影響を及ぼす可能性が指摘されている。このため、原子力機構では、平成19年度より、既存のグラウト材料と同等以上の施工性・止水性を有し、岩盤への影響を最小限に抑える低アルカリ性（pH 11）のグラウト材料の開発に取り組んでいる^{1),2)}。本稿では、このグラウト材料の開発状況について成果の概要とその適用範囲の考え方を報告する。

2. 開発方針

本プロジェクトでは、低アルカリ性のグラウト材料として、低アルカリ性セメント、溶液型、超微粒子球状シリカを検討している。低アルカリ性セメントは研究事例が多く低アルカリ性で OPC に近い施工性・止水性が期待できる。溶液型は浸透性に優れ短いゲルタイムが設定できるが強度がセメント系に比べ2オーダー程度低い²⁾。超微粒子球状シリカは、粒度分布が前述の2材料の中間に位置することから両者を補完する位置付けとなる。以下にそれぞれの材料の概要を示す。

低アルカリ性セメントは、OPC を微粉碎した超微粒子 OPC（最大粒径 15 μm 程度）にシリカフュームを加えることで、微粒子化、ポゾラン反応による低アルカリ性化を図ったものである。溶液型は、イオン交換処理により水ガラスから Na イオンを除去した活性シリカ（コロイダルシリカ、最大粒径数十 nm）に無機塩の硬化剤を添加し、ゲル化させるものである。超微粒子球状シリカ（主成分は SiO_2 で非晶質、最大粒径 1 μm 程度）は、超微粒子水酸化カルシウム（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）を添加することでポゾラン反応に類似した水和反応により C-S-H（珪酸カルシウム水和物）を生成し硬化させるものである。

3. グラウト材料の適用範囲の考え方

(1) 亀裂開口幅に着目した適用範囲

経験的に、グラウト材料が亀裂内に浸透可能な条件は、亀裂開口幅が最大粒径の3倍³⁾などとされている。また、スウェーデンの SKB では、セメント系は比較的大きな亀裂（水理学的亀裂開口幅 $\geq 100\mu\text{m}$ ）に、溶液型はそれよりも小さな亀裂を対象に検討されている⁴⁾。同様に亀裂開口幅に応じて適用範囲を考えると、上記3材料は図-1のように分類することができる。

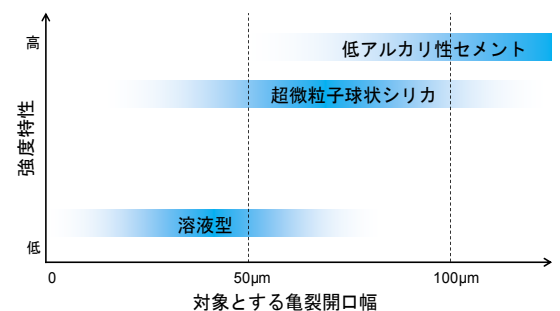


図-1 亀裂に対する適用範囲のイメージ

(2) 注入工法に着目した適用範囲

高水圧環境において効果的に止水を行うためには、注入されたグラウト材料が押し戻されないことや流亡しないことが求められる。この場合、たとえば短いゲルタイムを設定した材料で一時的に仮止水域を形成し本注入で強度特性が高く耐久性のある材料を使用するといった適用方法が考えられる。グラウト材料の開発にあたっては、各材料の強度特性、耐久性、ゲルタイム調整性などを把握するための試験を実施している。

キーワード 高レベル放射性廃棄物、地層処分、グラウト、低アルカリ性セメント、溶液型、超微粒子球状シリカ

連絡先 〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 (独) 日本原子力研究開発機構 TEL029-282-1111

(3) 坑道種別に着目した適用範囲

図-2 に示すように処分施設はアクセス坑道(立坑および連絡坑道)と処分坑道で構成される。処分坑道では厳しい許容湧水量の設定が想定されることから微細な亀裂やわずかな湧水に対して止水するために浸透性の高い溶液型を用いたポストグラウトなどが考えられる。一方、アクセス坑道では、注入対象とする亀裂の処分深度への連続性や離隔距離などに応じて OPC と低アルカリ性セメントを使い分けることが考えられる。

4. 成果と今後の展望

(1) 低アルカリ性セメント系グラウト材料

基礎物性試験、亀裂モデル(平行平板)を用いた浸透試験などにより、最適配合として超微粒子 OPC : シリカフューム = 1 : 1、水結合材比 125%、高性能減水剤添加率 5.5%を選定した(シリーズその 3, 4 参照)。この配合は低アルカリ性かつ OPC と同等の強度特性を示し、100 μ m 未満の亀裂モデルにおいても良好な浸透性を示した。図-3 に浸透試験における亀裂開口幅と累積注入量の関係を示す。いずれの配合も最大粒径は 15 μ m 程度であり、その 3 倍程度の亀裂開口幅を境に累積注入量に顕著な伸びが認められた。これは 3.(1) で述べた経験則と整合する結果である。今後は原位置に適用して施工性・止水性を確認する予定である(シリーズその 10 参照)。

(2) 溶液型グラウト材料

活性シリカ量やシリカ濃度をパラメータとした基礎物性や耐久性に係る試験を実施し、留意点を抽出した。主な成果として、強度はセメント系材料に比べ 2 オーダー程度低いこと、湿度 100%未満の環境では収縮が生じシリカ濃度が低いものほど収縮率が大きくなることがわかった。また、材料の地下水に対する化学的な耐久性に関する試験を継続中である(シリーズその 5 参照)。

(3) 超微粒子球状シリカグラウト材料

超微粒子球状シリカに超微粒子消石灰(20%程度)と高性能減水剤(1.5%)を添加することで、数 MPa の圧縮強度や適度な流動性が得られ、硬化体による浸出試験では、pH が 10.2 程度となり、低アルカリ性材料として成立する可能性があることがわかった(シリーズその 6 参照)。今後は、最適配合の選定と材料特性データの拡充を行う。

5. おわりに

低アルカリ性セメントは、岩盤を対象とした豊富な注入実績を有する OPC と同等の強度特性を示し、かつ微細な亀裂モデルに対しても高い浸透性を示したことからメインのグラウト材料と考えられる。溶液型と超微粒子球状シリカは、低アルカリ性セメントでは対応困難な微細な亀裂に対する代替材料として位置づけることとした。なお、本件は経済産業省資源エネルギー庁「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) 藤田朝雄, 山田勉, 油井三和, 内藤守正 (2008): 高レベル放射性廃棄物地層処分に向けた湧水抑制対策技術の高度化開発, 平成 20 年度全国大会第 63 回年次学術講演会
- 2) 日本原子力研究開発機構 (2008): 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, 報告書
- 3) Hansen, T-S., Roald, S., Nomeland, T. and Grant, B. (2003): Predictable and successful rock injection, ICGGE-2003
- 4) Emmelin, A., Brantberger, M., Eriksson, M., Gustafson, G. and Stille, H. (2007): Rock grouting, Current competence and development for the final repository, SKB, R-07-30
- 5) 核燃料サイクル開発機構 (2005): 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—平成 17 年取りまとめ—, 分冊 2 工学技術の開発

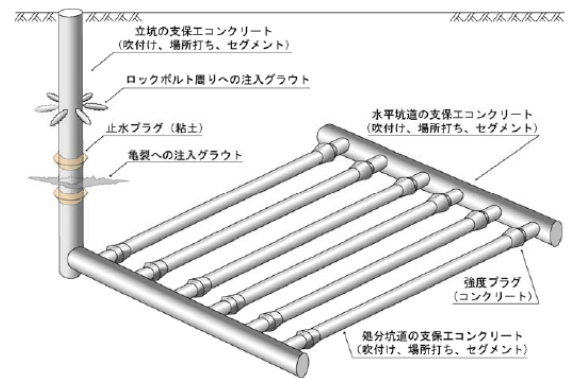


図-2 処分施設の概念⁵⁾

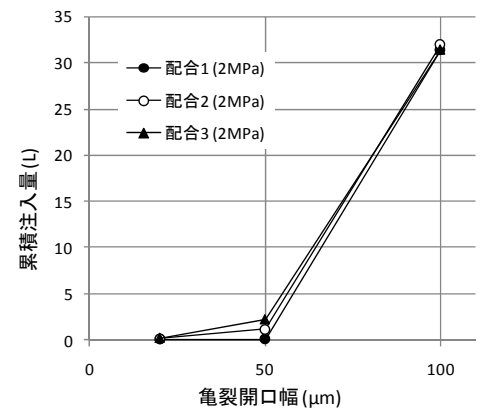


図-3 亀裂モデルにおける浸透試験結果(注入圧 2MPa)