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

（独）日本原子力研究開発機構　正会員　藤田　朝雄
同上　正会員　○山田　勉
同上　油井　三和
同上　内藤　守正

1. 背景と目的

わが国の計画では，高レベル放射性廃棄物は最終的に人間の生活環境から長期にわたって隔離できるよう地下 300m 以深に処分（地層処分）し，天然の岩盤（天然バリア）と工学的な障壁（人工バリア）で構築される多重バリアシステムにより長期的な安全性の確保がなされる．わが国の地質環境を考慮すると，処分施設を構成する地下坑道の建設時において湧水抑制対策技術（グラウト技術）は必要不可欠であり，地層処分で想定する地下深部の高水圧下に適用できることが要求される．一方，既存のグラウト技術に用いられているセメント系材料は化学的な反応により長期的には岩盤の変質を引き起こし，それにともなう水みちの形成や地下水組成の変化など，地層処分システムの長期的なバリア性能に影響を及ぼす可能性が指摘されている．このため，求められる性能を満足するグラウト技術の開発と，開発したグラウト材料の長期的な影響を評価できる技術の確立が必要であり，日本原子力研究開発機構では平成 19 年度より開発に取り組んでいるところである．本稿では，この地層処分に不可欠なグラウト技術の体系化に向けた開発プロジェクト全体の進め方と平成 19 年度の実施概要について報告する．

2. 研究開発のアプローチ

本件の全体の枠組みとなる進め方を図-1 に示す．まず要素技術として，天然バリアの長期的な性能に与える影響が小さく，高水圧にも対応可能なグラウト材料と注入技術の開発を行い，その成果技術を実際の地質環境に適用するための実証試験として原位置試験を実施する．さらに長期にわたりグラウト材料が及ぼす地球化学的な影響を評価する技術の構築を行い，これらすべてを統合し技術の体系化を図る．

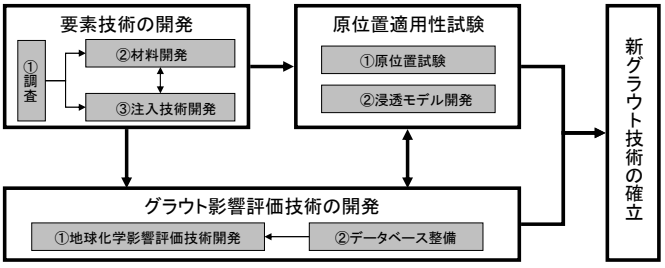

図-1　本事業の全体フレーム

3. 成果の概要

3.1 要素技術の開発

①グラウト技術に関する国内外の調査

国内外のグラウト材料特性や施工事例，さらにグラウト効果の評価モデルなどの調査を行い，本プロジェクトの技術開発基盤として整理しデータベース化を図った．

②グラウト材料の開発

既往の研究成果 [1)]や海外の研究開発動向を参考にポゾラン材料を混和材とする低アルカリ性セメント（pH<11 を目標）系のグラウト材料の開発に着手した．使用材料は，超微粒子 OPC（普通ポルトランドセメントを微粉砕したもの），シリカフューム，フライアッシュ，球状シリカとし，これらを組み合わせた約 90 配合を設定し，基礎物性，ゲルタイム調整，浸透性能，目詰まり特性等の試験を実施し，その結果から原位置に適用する候補材料として 10 配合までの絞り込みを行った．また，セメント系材料では注入が困難な微細な亀裂もカバーできるよう，溶液型グラウト材料（コロイダルシリカ）も視野に入れ基礎物性試験を実施した．

キーワード　高レベル放射性廃棄物，グラウト，湧水対策，低アルカリ性セメント，高水圧下
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　TEL029-282-1133

③グラウト注入技術の開発

亀裂性岩盤の高水圧場を想定し効果的となる注入工法の検討を行った．既存のグラウト技術[2)]を参考に，注入範囲の外郭にゲルタイムの短いグラウト材料を適用し，仮止水域を形成する工法の提案を行った．これは，仮止水域により外郭内部の地下水圧を低減し，確実な注入を行おうとするものである．また，仮止水域の形成に必要な高圧注入装置として，10MPa 程度の注入圧を想定した機器を試作し実用化に向けて検討を開始した．

3.2 原位置適用性試験

①原位置適用性試験

3.1 で開発したグラウト材料および注入技術の適用性確認を目的に，幌延深地層研究所を想定した原位置試験計画の策定を行った．計画では，深度 260～280m 区間に比較的透水性の高い領域の存在が推定されることから，地表あるいは換気立坑 250m レベルから，水みちとなる亀裂の把握試験，グラウト注入試験，モニタリング等を考慮した．また，グラウト効果の確認手法の適用性検討として，瑞浪超深地層研究所におけるプレグラウト箇所を対象に，ボーリングによる地質学的，水理学的および地球物理学的調査やモデル解析等を実施してプレグラウトの効果を評価した．

②グラウト浸透モデルの開発

グラウト浸透モデルは，亀裂内部に注入されたグラウト材料の浸透範囲（浸透距離等）を把握することを目的に開発するものであり，その結果は，グラウト影響評価技術の初期条件になるものである．また，合理的・経済的な施工を行うためにも浸透範囲を把握することが重要と考えられ，この場合，グラウト浸透モデルは情報化施工における予測モデルに位置付けられる．平成 19 年度は，Gustafson & Stille モデル[3)]を用いた感度解析を行い，流れの次元，水理学的亀裂開口幅，グラウト材料の粘度等が浸透距離に影響することを確認した．

3.3 グラウト影響評価技術の開発

①地球化学影響評価技術の開発

長期的な岩盤変質を予測評価するための手法開発を目的に，ソースターム・モデル，化学反応／物質移行モデル，水理物質移行モデルを対象とした検討に着手した．低アルカリ性セメントソースターム･モデルとして，熱力学的信頼性や計算コードへの取り込みの観点等から，Sugiyama & Fujita モデル[4)]を選定した．選定したモデルを，Raiden3（化学反応／物質移行モデルの解析コード）に組み込み，低アルカリ性セメントの浸出挙動の概念モデルを構築し，浸出試験結果を概ね再現できることを確認した．また，既往の水理／物質移行の解析コードである Partridge2 と上記 Raiden3 を用いて 3 次元不均質場における高 pH プルームの移行挙動を推定するための解析手順を検討し，これに沿って試解析を実施した．

②熱力学・速度論データベースの整備

地球化学影響評価に必要不可欠なものとして，高 pH 溶液と岩盤との反応で生じる変質生成物の推定に必要な鉱物の熱力学データおよび高 pH 条件での鉱物の溶解･沈殿にかかわる速度論データの収集･整備を行った．

4. まとめ

平成 19 年度は，グラウト材料や注入技術について基礎的な検討を実施し，これらを実際に適用するための原位置試験計画の策定を行った．また，グラウト材料による長期的な影響を評価するために必要となる技術の基盤を整備した．今後は，これらの成果を用いて地層処分のためのグラウト技術の体系化を進める予定である．

なお，本件は経済産業省資源エネルギー庁「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)」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 (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 分冊２ 工学技術の開発
2） 松尾昭吾，樋口芳朗，秋田勝次，北川修三，大久保進，吉見憲一，先山友康，吉川大三（1986）：青函トンネルの注入技術（その歩みと明日への展開），土木学会
3） Gustafson, G. and Stille, H. (2005): Stop criteria for cement grouting, Felsbau 23(3), pp.62-68
4） Sugiyama, D. and Fujita, T. (2006): Thermodynamic model of dissolution and precipitation of calcium silicate hydrates, Cement and Concrete Research, 36(2): pp.227-237