

結晶質岩における原位置試験結果に基づく閉鎖要素に期待すべき性能要件

原子力機構 正会員 ○藤田朝雄

鹿島建設 正会員 須山 泰宏 正会員 戸井田 克

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分において、処分場建設のために掘削された坑道を人工バリア設置後も埋め戻さずに長期にわたり放置しておく、地圧の作用などにより坑道の力学的安定性が損なわれたり、坑道が地下水の卓越した水みちとなったりするなど、人工バリア及び天然バリアといった処分場全体のバリア性能に有意な影響を及ぼすことが想定される。また、地下施設と地上とを直結する坑道が残置されていると、処分場と生活圏を結ぶ経路となることや処分場に人間が不用意に接近することも考えられる。このような、処分場の全体性能に有意な影響を与える要因を排除する方策として、掘削された坑道への埋め戻し材の施工やプラグの設置、坑道周辺へのグラウト注入といった閉鎖技術の適用が考えられている。本検討では、カナダの地下実験施設における止水プラグの原位置適用性試験が終了したことを受け、その結果を踏まえ、結晶質岩における閉鎖要素に期待すべき性能を確保するための要件（以下、閉鎖要素に期待すべき性能要件）及び処分場レイアウト規模における閉鎖システムの考え方を取りまとめた。

2. 結晶質岩における閉鎖要素に関する課題

閉鎖要素に期待すべき性能要件に関して国内外の考え方を整理した。その結果、閉鎖要素に期待すべき性能要件は、人工バリアのように性能評価に基づく積極的なバリア機能の期待が明示されているものではなく、人工バリア性能発揮を補助する役割であり、閉鎖要素自身は周辺岩盤程度の性能を持つものとまとめることができる。また、上記も含め、これまでに閉鎖要素に関する性能要件や設計の検討に関しては、安全評価・基準策定に資する基盤整備等の様々な観点で、各閉鎖要素に着目した要件の整理が実施されてきている¹⁾。実際に処分場での対処を考えると、坑道内の各部に対して、各閉鎖要素を合理的に組み合わせて施工・設置するものであり、それら組み合わせによるシステムとしての機能を評価するべきと考える。

以上を踏まえ、地質環境を結晶質岩とした場合に閉鎖要素に関する課題を整理すると下記ようになる。

閉鎖要素自身の施工が可能であることと、期待される性能が発揮できることを確認する必要がある（閉鎖要素の実現可能性の確認）。

結晶質岩における閉鎖要素に期待すべき性能要件を提示するとともに、そのように性能が期待できる個々の閉鎖要素を処分場レイアウト規模に適用していくために必要となる閉鎖システムとしての考え方を整理する必要がある（結晶質岩における閉鎖システムの考え方の整理）。

3. 閉鎖要素の実現可能性の確認

閉鎖技術の構成要素のうち、コンクリートプラグ及び粘土プラグの閉鎖性能を検証するため、カナダ原子力公社（AECL）との共同研究「トンネルシーリング性能試験」（TSX）を実施した²⁾。本試験は、AECLの地下研究施設の深度420mの試験坑道（長軸4.375m、短軸3.5mの楕円断面）で実施しており、コンクリートプラグはAECLが開発した低発熱高流動コンクリート（低アルカリ性コンクリート）を、また、粘土プラグはケイ砂と国産Na型ベントナイト（クニゲルV1）を重量比3:7の割合で混合したものを材料としている。両プラグ設置後、注水試験（注水圧0.8MPa、2.0MPa、4.0MPa）、トレーサー試験、加熱試験を実施し、両プラグ及びその周辺岩盤の力学、水理、熱的挙動を連続計測及び解析評価を実施した。この結果、主に日本側が主体的に取り組んできた粘土プラグ施工、グラウト施工、蒸発散測定、トレーサー試験及びその評価について、上記課題である閉鎖要素自身の施工が可能であり、施工が可能な閉鎖要素に期待される性能が発揮できることを確認する観点で整理したところ、止水プラグ、強度プラグ及び粘土グラウトについては、現状技術を組み合わせることにより施工が可能であり、止水プラグ周辺部での低透水性能が発揮されることを確認した。

キーワード：高レベル放射性廃棄物、閉鎖技術、原位置試験、性能要件

連絡先：原子力機構、〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松4-33 TEL029-282-1111 FAX029-287-9328

4 結晶質岩における閉鎖要素に期待すべき性能要件と処分場レイアウト規模における閉鎖システムの考え方

結晶質岩を対象に処分場で考えられる閉鎖に関わる事象を抽出し、その事象が発生する部位、事象の発生を抑制するための要件及びその具体的な対策方法について整理するとともに、これらに対して上記 TSX の試験結果から得られた知見を整理した(表 - 1)。事象が発生する部位毎に整理することにより、閉鎖要素を単体のみではなく他と組み合わせての対応の必要性が明示され、また TSX から具体的に得られた知見が示されている。TSX の試験結果から得られた知見より、止水プラグ、粘土グラウト、切欠きに関しては施工及び性能が確認されているが、埋め戻し材、支保工の撤去、強度プラグの施工及び性能に関わる検討が今後必要である。

処分場レイアウト規模における閉鎖システムを考える場合には、地質環境の不均質性の程度による止水プラグへの要求機能の整理が必要となる。結晶質岩での不均質性の代表である高透水の割れ目帯などが数 100m ～ 数 km 間隔で出現する場合は、パネルレイアウトのバリエーションのように、割れ目帯を避けたレイアウトを行い、割れ目帯に囲まれた領域については、均質と見なした上で、埋め戻し材等の閉鎖要素を考慮した閉鎖解析評価を行い処分パネル全体での仕様を設定していくことが有効である。また、割れ目帯などが数 10m ～ 数 100m 間隔で出現する場合には、母岩が本来有する天然バリア機能を有効に活用した上で、処分場全体として止水プラグの設置数を減らすように、坑道掘削時の情報を用いて処分坑道のレイアウトを見直す必要がある。

5 . おわりに

本検討では、カナダの地下実験施設における止水プラグの原位置適用性試験結果などを踏まえ、結晶質岩における閉鎖要素に期待すべき性能要件と閉鎖システムの考え方を取りまとめた。止水プラグ、強度プラグ及び粘土グラウトについては、現状技術を組み合わせることにより施工が可能であり、止水プラグ周辺部での低透水性能が発揮されることを確認した。また、結晶質岩を対象に閉鎖に関わる事象を抽出し、その事象が発生する部位、事象の発生を抑制するための要件及びその具体的な対策方法を整理するとともに、これらについて原位置試験結果で得られた知見をとりまとめ、今後個々の閉鎖要素の設計で検討すべき課題を抽出した。

表 - 1 結晶質岩における処分場で考えられる閉鎖に関わる事象及びその対策と TSX で得られた知見

閉鎖に関わる事象(課題)	部位	要件	対策	具体的な内容	TSX で得られた知見
坑道内(アクセス坑道含む)が核種移行の主要な経路となる	坑道埋め戻し材	坑道(アクセス坑道含む)を核種移行の主要な経路としないこと	坑道内の透水性を要求レベル以下に抑えるように坑道を充填する	埋め戻し材と止水プラグを組み合わせる施工	止水プラグを実際に施工することができ、境界部分も含めたプラグ全体で低透水性(10^{-11} m/s)を確保することが可能
	埋め戻し材と岩盤との境界部	埋め戻し材と岩盤との境界部を核種移行の主要な経路としないこと	境界部の透水性を要求レベル以下に抑えるように坑道を充填する	ショットクレイ、ペントナイトブロックと止水プラグを組み合わせる施工	高密度ブロックおよび岩盤との境界部へのショットクレイにより、設計仕様どおりの高密度の止水プラグの施工することができ、プラグ全体で低透水性(10^{-11} m/s)を確保することが可能
	支保	支保を核種移行の主要な経路としないこと	支保部分の透水性を要求レベル以下に抑えるように支保に接触する部材が隙間を埋める	埋め戻し材、ショットクレイ、ペントナイトブロックと止水プラグを組み合わせる施工	高密度ブロックおよび岩盤との境界部へのショットクレイにより、設計仕様どおりの高密度の止水プラグの施工することができ、プラグ全体で低透水性(10^{-11} m/s)を確保することが可能
			支保工の劣化を考慮して、その連続性を遮断する	応力状態、岩盤の力学特性等を考慮した支保工の部分的な撤去(撤去部分に止水プラグを施工)	支保工の撤去はないが、EDZ の範囲を適切に把握し、応力状態、岩盤の力学特性等から適切な切欠き深さを設計施工が可能(三角錐、矩形)
坑道周辺岩盤が核種移行の主要な経路となる	EDZ	EDZ を核種移行の主要な経路としないこと	EDZ の連続性を遮断する	応力状態、岩盤の力学特性等を考慮した切欠きの施工設計支保工の撤去	EDZ の範囲を適切に把握し、応力状態、岩盤の力学特性等から適切な切欠き深さを設計施工が可能(三角錐、矩形)
				切欠きを施工した上で、止水プラグを施工	高密度ブロックおよび岩盤との境界部へのショットクレイにより、設計仕様どおりの高密度の止水プラグの施工することができ、プラグ全体で低透水性(10^{-11} m/s)を確保することが可能
			EDZ の透水性を改良する 縦置きの場合、廃棄体ピットを EDZ より深くする	粘土グラウトを施工	切欠き部分を利用した、プラグ周囲の EDZ への粘土グラウトが可能
	断層	断層を核種移行の主要な経路としないこと	止水プラグで断層部分を隔離する	止水プラグを施工	高密度ブロックおよび岩盤との境界部へのショットクレイにより、設計仕様どおりの高密度の止水プラグの施工することができ、プラグ全体で低透水性(10^{-11} m/s)を確保することが可能
			断層の透水性を改良する	粘土グラウトを施工	切欠き部分を利用した、プラグ周囲の EDZ への粘土グラウトが可能
人工バリアの機能が発揮されない	調査孔	調査孔を核種移行の主要な経路としないこと	試験孔を閉塞する	グラウトおよび止水プラグ(試験孔用)を施工	2m 程度であれば、ボーリング孔に円柱状の高密度のペントナイトブロックを充填することにより閉塞が可能
			緩衝材の膨出を押さえる	強度プラグを施工	低発熱高流動のコンクリートおよびセメントグラウトの併用により、設計仕様どおりの強度プラグの施工が可能

参考文献 1) 川上進他, JAEA-Research 2006-015 (2006). 2) 藤田朝雄他, JNC TN1400 99-020 (1999).