瑞浪超深地層研究所を活用した坑道一部埋戻し試験の試験計画検討

(国研) 日本原子力研究開発機構　正会員　○松井　裕哉
清水建設株式会社　正会員　矢萩　良二
清水建設株式会社　正会員　沖原　信光
清水建設株式会社　正会員　戸栗　智仁

1. 背景・目的

日本原子力研究開発機構は、図1に示す岐阜県瑞浪市の瑞浪超深地層研究所において、結晶質岩系岩盤中に掘削した地下坑道における工学的対策技術の開発、物質移動モデル化技術の開発、坑道埋め戻し技術の開発を平成27年度より実施している[1)]。このうち、埋め戻し技術の開発の一環として、坑道埋め戻しに伴う地質環境の変化の把握に関連する基盤技術を整備することと、瑞浪超深地層研究所における埋め戻しの計画策定に反映することを主目的として、研究坑道を利用した坑道一部埋め戻し試験を計画していた[1)]。一方、平成30年に国から公表された「地層処分研究開発に関する全体計画（平成30年度～平成34年度）」[2)]の研究開発項目として、「処分場閉鎖後の水みちを防止する技術の整備」が挙げられており、その中で、これまで検討されたプラグや埋め戻し材の設計概念や諸外国の先行研究成果を踏まえ、多様な地質環境や設計オプションへの柔軟な対応を可能とするために複数の施工技術やそれらの品質管理手法を整備することが明記されている。研究開発に関するこれらの背景を踏まえ、瑞浪超深地層研究所を活用した坑道一部埋め戻し試験の計画検討[3)]を平成29年度に実施した。本報告では、その概要を述べる。

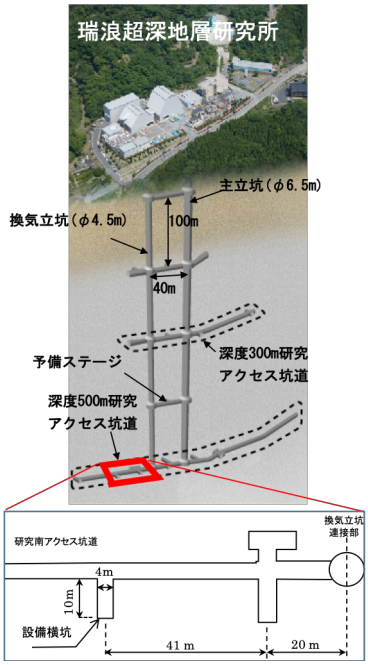

図1　瑞浪超深地層研究所および本計画で設定した試験位置（設備横坑）

2. 計画検討の基本的考え方（詳細は文献3）を参照）

1. の背景情報を踏まえ、計画検討は以下の手順で実施した。

・坑道一部埋め戻し試験に関する既往研究の詳細文献調査とその結果に基づく我が国の地質環境を対象とした坑道一部埋め戻し試験の目的・目標設定
・上記を踏まえ瑞浪超深地層研究所研究坑道を活用した場合の具体的な坑道一部埋め戻し試験の計画検討

表1に文献調査対象とした国内外の先行研究事例を示す[3)]。本試験計画は、高レベル放射性廃棄物の縦置き方式を採用した場合に生じる坑道の埋め戻しを念頭に置いたが、我が国では、現状、地層処分の事業ならびに研究開発ともサイトジェネリックな観点で進められているため、堆積岩系の岩盤を対象に実施されている横置き方式の試験も調査に加えた。この調査により、埋め戻しへの要求性能については、移流抑制、材料間の化学的安定性、緩衝材位置の保持、キャニスターの浮き上がり防止、処分坑道の坑道安定性といった項目が挙げられており、要求性能の確認指標としては、埋め戻し材の透水係数や膨潤圧が利用されていることが確認できた。これらは、NUMOが検討してきた坑道埋め戻しへの要求性能等とほぼ共通しており、処分場に構築される人工的なバリアシステムが有すべき安全機能（特に閉鎖後長期の安全機能）が各国共通するためと考えられる。一方、サイトジェネリックな試験計画とする観点から、本計画では具体的な目標値の設定をジェネリックな観点で実施した。具体的には、表2に示すNUMOが実施した「NUMOセーフティケースに関する外部専門家ワークショップ」で提示された我が国に分布する候補母岩の特徴および類型化の一つである透水性の検討結果[4)]を参照し、瑞浪超深地層研究所が掘削されている土岐花崗岩が、この表中では深成岩類に相当しその透水性が10^{-8}m/sと設定されていることから、これを本試験での埋め戻し材の透水性目標値とした。一方、要求性能のうち坑道の安定性については、現実的な問題から本試験が実施可能な期間が平成30年度、平成31年度の2カ年であると判断したこと、その期間内で土岐花崗岩中に掘削した研究坑道の力学的安定性には埋め戻し

表1 坑道埋め戻しに関連する文献調査対象とした先行事例[3)]

実施機関		試験名		試験地	地質	試験坑道		
国名	機関	略称	名称			坑道スケール	処分概念	坑道幅
スウェーデン	SKB	-	Prototype Repository Experiment	Äspö	結晶質岩	フルスケール	縦置き	4 m
フィンランド	Posiva	BACEKO Ⅱ	BACkfilling in EKOkem-project Ⅱ	Äspö	模擬坑道	1/4スケール	縦置き	3 m
スイス	NAGRA	FE	Full-Scale Emplacement experiment	Mont Terri	堆積岩	フルスケール	横置き	3 m
フランス	ANDRA	-	Backfilling Demonstrator	Bure	模擬坑道	小規模スケール	横置き	4 m
ベルギー	SCK・CEN	-	PRACLAY experiment	HADES	粘土	小規模スケール	横置き	1.9 m
日本	JAEA	GREET	再冠水試験 ピット埋め戻し試験）	瑞浪	結晶質岩	冠水坑道床盤	縦置き	3×2×1m 4×3×1m
		-	緩衝材流出試験	幌延	堆積岩	バッファー	縦置き	-

表2　類型化された候補母岩と透水係数[4)]

時代	新第三紀	先新第三紀	新第三紀・先新第三紀	新第三紀・先新第三紀	
岩種	堆積岩類	堆積岩類	火山岩類	深成岩類	変成岩類
透水係数(m/s)	3×10^{-7}	5×10^{-7}	2×10^{-7}	5×10^{-8}	9×10^{-7}

キーワード：瑞浪超深地層研究所、結晶質岩、埋め戻し、吹付け施工
連絡先：〒509-6132　岐阜県瑞浪市明世町山野内1-64　日本原子力研究開発機構　TEL0572-66-2244

© Japan Society of Civil Engineers

材の有無は影響を与えないことから、本計画検討では考慮しないこととした。これらを踏まえ設定した坑道一部埋め戻し試験の目的を表3に示す。ここで埋め戻し材を支える壁については、今回の試験期間の制約から深度500m相当の水圧までを保持できるような壁を作ることは困難と判断し、排水を許容する土留め壁とした。加えて、我が国では高レベル放射性廃棄物は法的に深度300mより深い場所への埋設が求められることも考慮し、図1に示す瑞浪超深地層研究所深度500m研究南アクセス坑道の設備横坑（長さ約10m、高さ・幅が3m程度の馬蹄形断面坑道）を試験領域とする前提で検討を実施した。

3. 検討した計画の重要なポイント（詳細は文献3）を参照）

3.1 埋め戻し材仕様の具体化

2.に示したように透水性として10^{-8}m/sを目標としたが、具体的な計画検討では、それを満足する埋め戻し材の仕様としておく必要がある。図2は、前出のワークショップの際に示された、地層処分で使用される予定の粘土材料（ベントナイト）の密度（有効粘土密度）と透水性[5]の関係である。同図より、地下水の組成が降水系・塩水系いずれの場合も10^{-8}m/s以下の透水性を満たす有効粘土密度は0.4Mg/m^{3}となっているため、ジェネリックな地質環境を対象とする観点から0.4Mg/m^{3}以上の有効粘土密度が確保できる材料仕様とすることとした。これを踏まえ、ベントナイト（クニゲルV1）、砂、砕石で構成する混合土に関する締め固めを含む室内予備試験を実施した結果、ベントナイト混合率を15wt%とし、それ以外の材料として砂、砕石を利用した上で、含水比13.7%として混合土を作成する仕様を設定した。

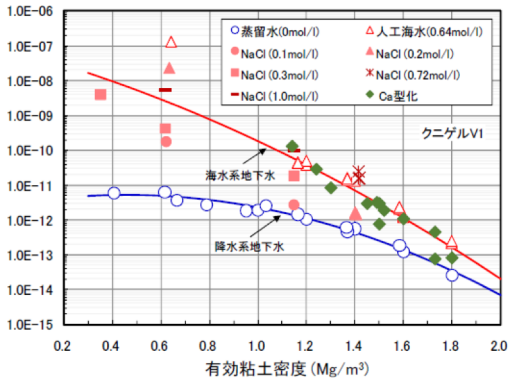

図2　有効粘土密度と透水係数の関係[5]

表3 文献調査結果に基づき整理した本試験の目的

対象	時期	試験目的	条件
埋め戻し材料設定	・施工前	低透水性（周辺岩盤相当）を満足する材料の設定および確認	・深成岩を対象とした条件
施工方法	・施工前 ・施工中	・低透水性を満足する密度の確認 ・吹付け工法の成立性に関する知見の拡充	・小断面坑道を対象とした条件
埋め戻し材の基本特性	・施工後 モニタリング	・浸潤過程の確認 ・膨潤圧、水圧変化の確認 ・湧水量と埋め戻し材の流出量の関係確認	・埋め戻し材前面を排水構造とした条件 ・埋め戻し材前面の「土留め壁」は設計荷重を満たす条件
	・モニタリング後	・密度、含水比、飽和度の確認 ・埋め戻し材流出状況（特に境界面）の確認	

3.2 施工方法等

埋め戻し材の施工方法については、一般的なまきだし・転圧の他、ブロック積み、吹付けなどの工法などが国内外の先行事例で使われている。ここでは、複数の施工技術の整備に対するアプローチとして、国内外でもほとんど事例のない埋め戻し材を坑道全体に渡って吹付けで施工する方法（全断面吹付け工法）を適用することとした。吹付け施工に用いる資機材は、今回設定した試験場所への搬入出のためには換気立坑スカフォードの開口部（1.9m）を通過できる必要があったため、既往の研究事例を参考としつつその条件で検討した。また、施工中・施工後の埋め戻し材の品質確認を3次元的に十分な質・量で行うため、吹付けを11ステップに分け、計測作業等と吹付け施工をステップ毎に繰り返す計画とした（図3）。

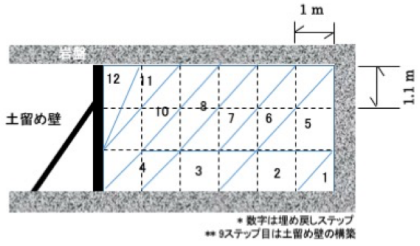

図3　計画した施工ステップ

表4　品質管理の観点で設定した計測項目

項目	計測法	計測時期 施工中	計測時期 施工後	計測の目的
水圧	水圧計	－	○	・浸潤に伴う水圧変化の把握
土圧	土圧計	－	○	・浸潤に伴う膨潤圧変化の把握
水分	水分計	－	○	・浸潤過程の把握
密度・含水比	試料採取	○	－	・埋め戻し材の品質確認
	RI現場密度試験	○	－	・埋め戻し材の品質確認
	試料採取	○	－	・埋め戻し材の品質確認
埋め戻し材流出量	流量	(○)	(○)	・埋め戻し材の品質確認
	吸光度	(○)	(○)	

（○）湧水量や作業状況に応じて設定

3.3 品質管理手法

これまで事例がほとんどない全断面吹付け工法を適用するため、実際の地層処分事業への反映を念頭に置くと、その工法における品質管理手法も合わせて提示する必要がある。前述の本試験の目標ならびに先行事例で適用されてきた品質管理項目を整理・検討し、ここでは既往の研究事例等で適用された実績のある表4に示すような計測を施工中・施工後に実施することとした。なお、盛土等における密度管理として一般的に実施される砂置換法は、吹付け施工のため水平面を確保することが難しいため、今回の試験における実施項目の候補から除外したが、新たに3Dスキャナーによる出来型計測に基づくバルクでの密度計測を試行することとした。

4. 今後の展開

ここで示した計画をベースとして、平成30年度に経済産業省資源エネルギー庁からの受託事業「平成３０年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業（地層処分施設閉鎖技術確証試験）」の一部として瑞浪超深地層研究所を活用した坑道一部埋め戻し試験を実施した。この成果の一部については、「小断面坑道の吹付けによる埋め戻し材の施工試験（1）」、「小断面坑道の吹付けによる埋め戻し材の施工試験（2）」で報告する。

参考文献

1) 濱ほか：超深地層研究所計画における調査研究計画　－第3期中長期計画における調査研究－，JAEA-Review2016-004，2016.
2) 地層処分研究開発調整会議：地層処分研究開発に関する全体計画（平成30年度～平成34年度），2018.
3) 戸栗　智仁、矢萩 良二、沖原 光信、竹内 伸光、黒崎 ひろみ、松井　裕哉：瑞浪超深地層研究所における坑道一部埋め戻し試験の計画策定、JAEA Technology 2018-017（印刷中），2019
4) NUMO：https://www.numo.or.jp/topics/safetycase_setsumei3.pdf，2016.（参照：2019年2月1日）
5) NUMO：https://www.numo.or.jp/topics/safetycase_setsumei4.pdf，2016.（参照：2019年2月1日）

© Japan Society of Civil Engineers