



令和4年度
原子力規制庁技術基盤グループ-原子力機構安全研究・防災支援部門
合同研究成果報告会

ボーリング孔の閉鎖確認に係る研究

令和4年11月22日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
安全研究・防災支援部門 安全研究センター
廃棄物・環境安全研究グループ

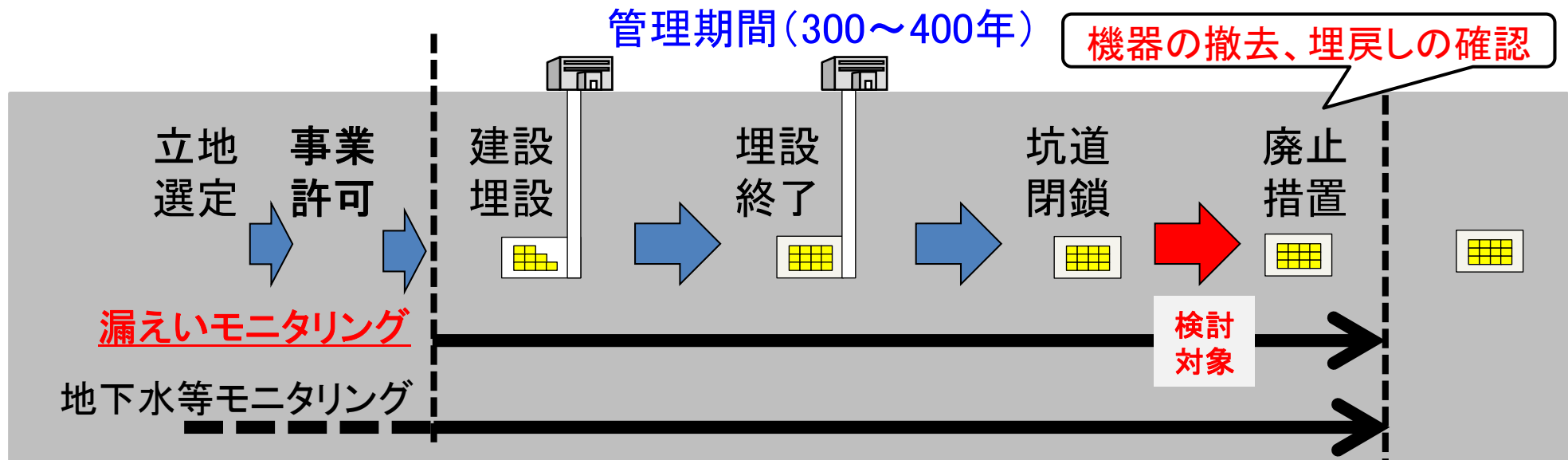
澤口 拓磨

本研究は、原子力規制庁受託事業「平成31年度廃棄物埋設における核種移行に係る性能評価に関する研究事業」、
「令和2年度廃棄物埋設における性能評価に関する研究事業」及び「令和3年度廃棄物埋設における環境条件の評価
に関する調査事業」の成果である。

背景

【第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈(R3.10.21改正)】

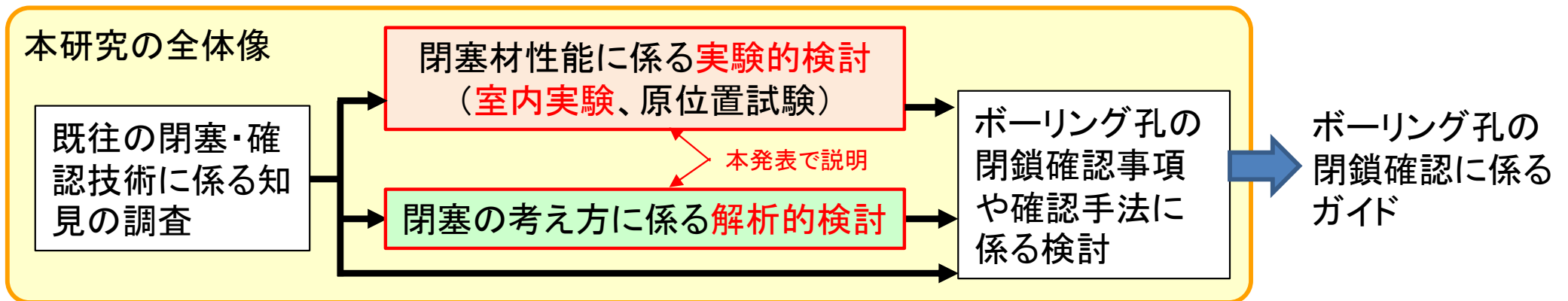
- 放射性廃棄物の中深度処分では、廃棄物の受入れ開始から廃止措置の開始までの間において、廃棄物埋設地から漏えいする放射性物質の濃度、または放射性物質の漏えいの徴候を示す物質を監視・測定するための設備(モニタリング孔)の設置が求められる。
- 当該設備は以下の要件を満たす必要がある。
 - ・人工バリア及び天然バリアの機能を著しく損なわないものであること
 - ・廃止措置開始以降において、設備を設置した場所を経由した放射性物質の異常な漏えいが生じないように当該設備の解体及び埋戻しを行うことができるものであること



モニタリングのためのボーリング孔及び周辺岩盤を対象として、適切に閉鎖されていることを確認するために必要となる科学的・技術的知見を整備しておく必要がある。

本研究の目的・実施事項

本研究では、他分野における既往の知見^[1,2,3等]を踏まえ、ボーリング孔の閉鎖確認を適切に実施するためのガイド整備に資することを目的とした検討を実施。



【実験的検討】

- ・閉塞材として、止水機能が期待されるベントナイト系材料の使用を想定
 - ・孔内への設置は、ベントナイトブロックを定置後に、孔内で膨潤させる方法を想定
 - 孔内を閉塞出来るか？留意事項は？
- まずは、室内実験を実施し、閉塞性の確認、留意事項の抽出を行うこととした。
- ⇒設置方法の妥当性確認、確認項目

【解析的検討】

- ・諸外国では、主に結晶質岩を対象とした閉塞に係る考え方を検討
 - 堆積岩に対して上記考えは適用可？
 - 種々の水理地質構造に対するボーリング孔の影響？適切な閉塞材条件？
- 閉塞材条件が孔の閉塞性に与える影響を把握するための地下水流動解析を実施。
- ⇒移行経路が短絡化しない閉塞材条件

[1] Sandén, T. et al., Sealing of investigation boreholes –Full scale field test and large-scale laboratory tests, SKB, TR-18-18 (2018).

[2] Jefferies, N. et al., Sealing Deep Site Investigation Boreholes: Phase 2. Final Report, RWM/03/046 (2018).

[3] T. H. Karvonen, Closure of the Investigation Boreholes, POSIVA Working Report 2012-63 (2012).

実験的検討(実験概要)

ベントナイト系閉塞材の設置方法に係る妥当性確認、留意事項の抽出

✓ 原位置地下水で満たされた筒状アクリルセルにベントナイトブロックを複数個定置、非拘束条件で膨潤。その結果、気相割れ目が発生・連結。

→ 割れ目の原因はブロック成型時に内包された空気が原因

→ 再膨潤することにより、連結した割れ目が閉塞されることも期待されるが、割れ目に砂等の埋戻し材が侵入したり、また、流量が多くパイピングが生じたりすると、局所的な機能低下、有意な移行経路化が起こる可能性 ⇒ 内部空隙の影響に係る検討

✓ 初期含水比の異なるベントナイトブロックを作成し、セル内での膨潤挙動の経時変化を目視 & マイクロX線CTで観察。また、同条件で作成したブロック(15日膨潤後)の透水係数を測定。

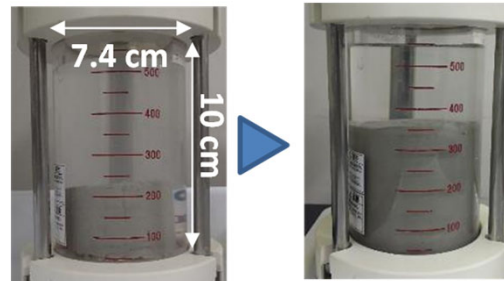
アクリルセル直径: 8.6cm
ベントナイトブロック
直径: 6.3cm、高さ: 9.8~10.0cm
初期含水比: 15%、乾燥密度: 約1.7g/cm³



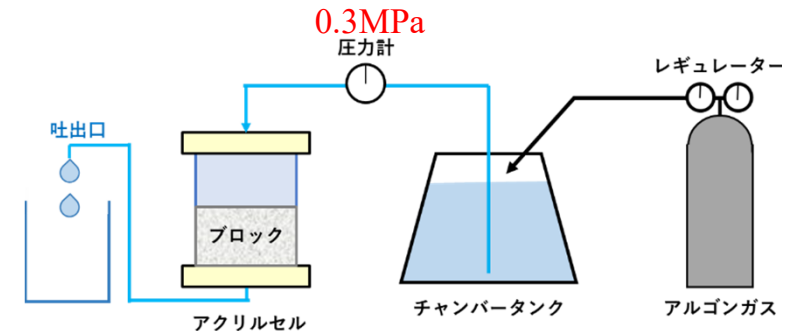
孔内の膨潤挙動を観察するためアクリルセルを使用

ベントナイトブロック

- ✓ Na型ベントナイト(クニゲルV1)を静的圧縮(30MPa)
- ✓ 初期含水比, 初期気相量(計算値):
10%, 約 15 cm³、20%, 約 1 cm³
- ✓ 直径 5.5 cm、高さ 3 cm、
体積 約70 cm³、乾燥密度 1.7 g/cm³



セルサイズ & 試料膨潤の様子 (大気圧条件)



透水試験概略図

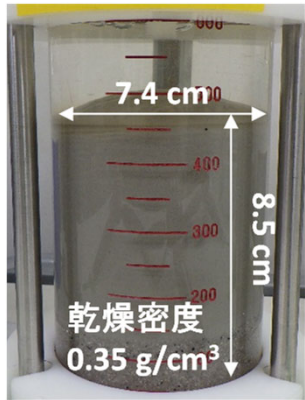
実験的検討(マイクロX線CT観察結果)

初期含水比	膨潤前	4日後	10日後	15日後
10%		<p>ベントナイトブロック (おおよその位置)</p>		<p>放出された気相</p> <p>内部空隙</p>
		<ul style="list-style-type: none"> ・大きな内部空隙がベントナイト内で変形・移動・連結 ・上下を貫通する割れ目の発生なし 		
20%				
		<ul style="list-style-type: none"> ・小さな内部空隙がベントナイト内で変形・移動・連結 ・上下を貫通する割れ目の発生なし 		

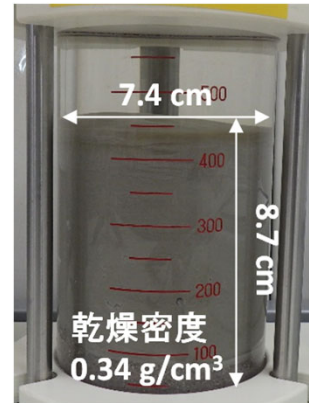
実験的検討(透水試験結果、結果の整理)

透水試験結果

初期含水比 10%



初期含水比 20%



15日膨潤後のベントナイトブロックの透水係数

初期含水比 10%試料: 4×10^{-10} m/s

初期含水比 20%試料: 3×10^{-10} m/s

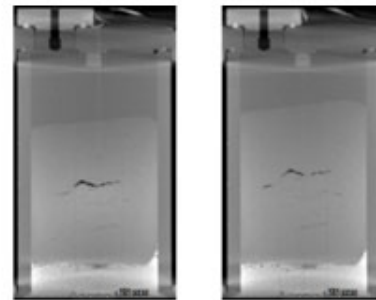
有効粘土密度から想定される透水係数と同程度
→貫通がない場合、内部空隙は透水性に影響を与えない

0.3 MPa(水深30m相当)条件で膨潤させた初期含水比10%試料

- ✓ 大気圧条件で膨潤させた試料とは異なり、空隙は小さい
- ✓ 透水係数は大気圧条件試料と同等 (3×10^{-10} m/s)



膨潤前



10日後



15日後

【実験的検討のまとめ】

- ✓ 当該設置方法では、ベントナイトブロック内に空隙が形成される可能性
- ✓ 大気圧条件では、初期含水比が低い試料の方が内部空隙が大きくなる傾向
- ✓ 原位置で想定されるような高水圧環境では、内部空隙が小さくなる傾向
- ✓ 本実験では、内部空隙が透水性に与える影響は確認されなかった

→ブロックの作製方法(初期含水比)が確認項目になり得るか、今後要検討

解析的検討(解析概要)

解析概要

堆積岩を対象とし、水理地質構造に応じた閉塞材条件がボーリング孔の閉塞性に与える影響を把握するための地下水流動解析を実施

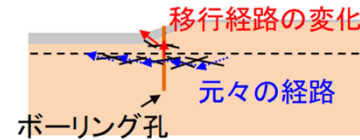
→使用コード:3D-SEEP(有限要素法)

→母岩の透水係数や閉塞材条件等に対する感度を確認

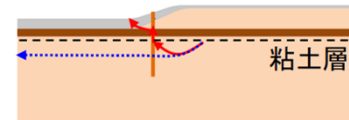
→「孔周辺の流跡線」や「孔内等流量」を指標とした
(孔内&BDZ)

水理地質構造モデルの作成(広域スケール)

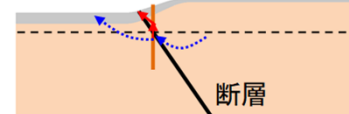
①亀裂



②粘土層



③断層



【諸外国の考え方】

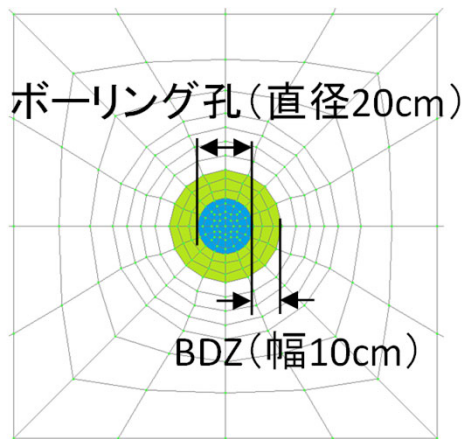
- 高透水性の閉塞材は砂を使用、その上下にシール材、サポート材を設置
 - 異なる帯水層水を干渉させない
- 等

上記考え方を踏まえ、ボーリング孔閉鎖に留意が必要と考えられる水理地質構造として①～③を選定

境界条件・モデル範囲

ボーリング孔の閉塞材条件に対する影響評価(詳細スケール)

ボーリング孔条件
掘削影響領域(BDZ)条件

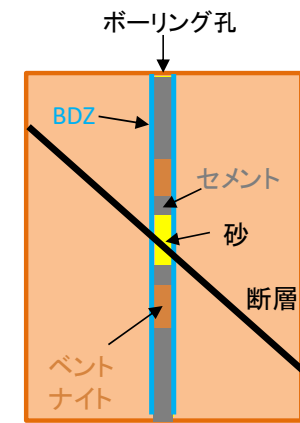
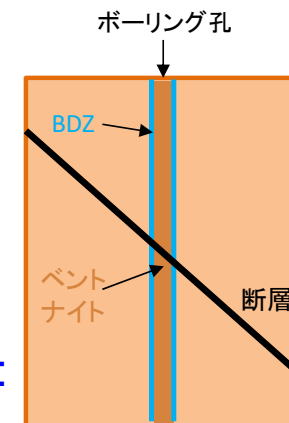


閉塞材条件(例:断層が存在)

断層部の閉塞:
ベントナイト or 砂

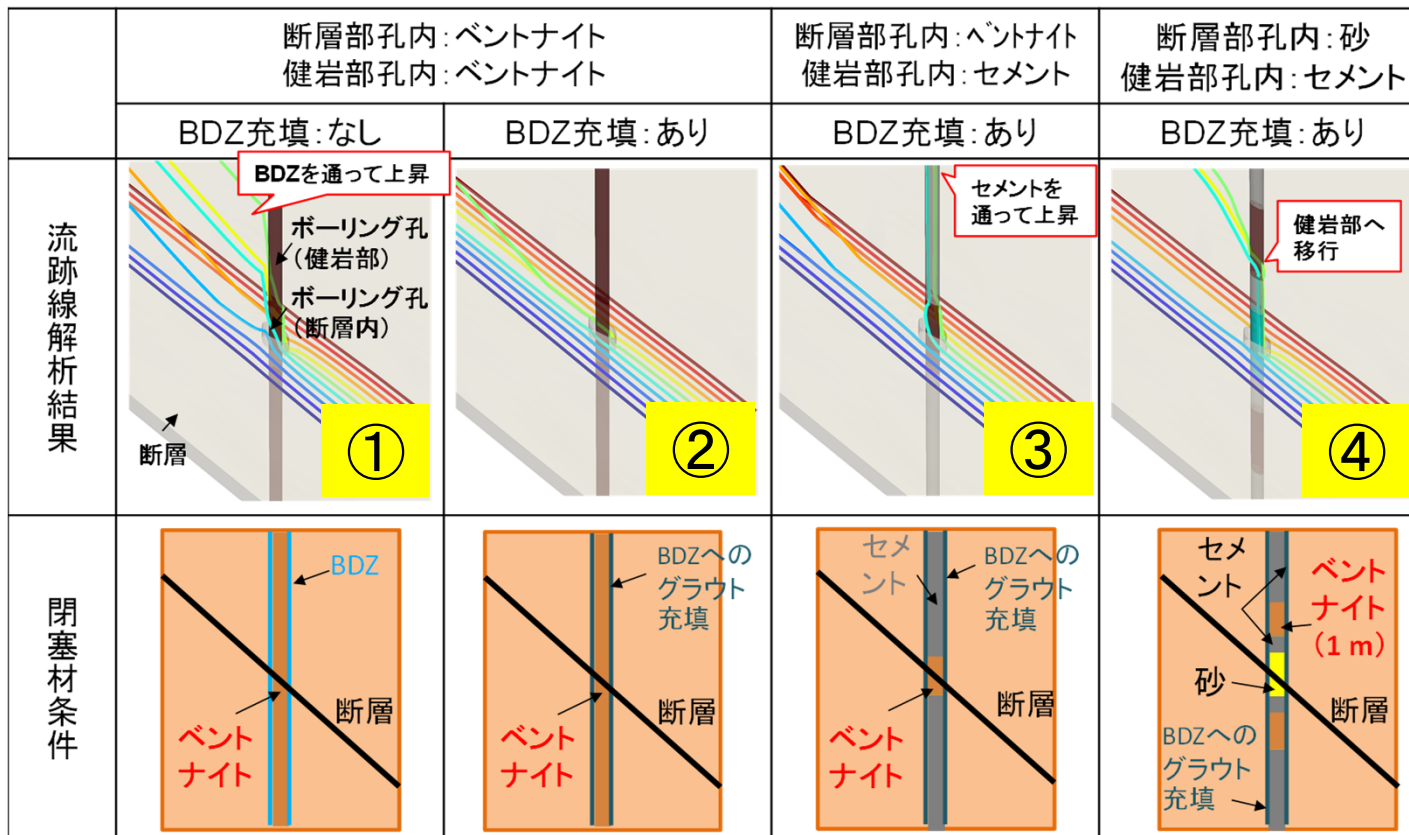
健岩部の閉塞:
ベントナイト or セメント

全BDZへのグラウト充填:
なし or あり

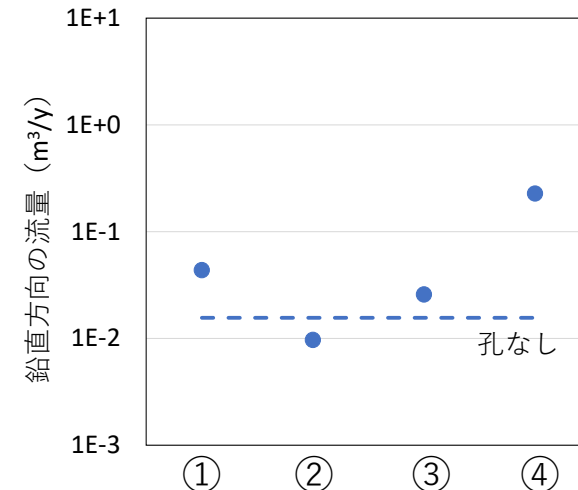


解析的検討(解析結果の例:断層が存在)

流跡線結果(母岩の透水係数: $1E-8$ m/s、ベントナイトの透水係数: $1E-10$ m/s)



孔内等流量結果



透水係数

母岩: $1E-8$ m/s
 断層: 母岩より1桁大 ($1E-7$ m/s)
 ベントナイト: $1E-10$ m/s
 砂、セメント: $1E-5$ m/s
 BDZ: 母岩より1桁大(充填なし)、母岩と同じ(充填あり)

本解析結果(孔周辺のみ)の結果から示された傾向 ※亀裂、粘土層ケースも同様

- ✓ グラウト充填しないと、BDZは移行経路となり、孔内等流量が増加(①と②を比較)
- ✓ 断層上部の健岩部孔内の透水係数が大きいと、そこが移行経路となり、流量が増加(②と③を比較)
- ✓ ただし、健岩部孔内にベントナイト(1m)あると、地下水は上昇せず、健岩部へ移行(③と④を比較)

以上の結果から考えられた「ボーリング孔&BDZが有意な移行経路とならないための閉塞材条件」

BDZへのグラウト充填、特徴的な水理地質構造上部の孔内にベントナイト(例えば1m以上)を設置等

まとめ、今後の課題

まとめ

本研究では、ボーリング孔の閉鎖に対し確認すべき事項を明らかにするため、

- ✓ 孔内へのベントナイトブロックの設置方法に係る妥当性や確認すべき項目の抽出を行うための室内実験を実施。ベントナイトブロック内に大きな空隙が形成され、透水性への影響が懸念されたが、原位置環境では内部空隙は小さくなる可能性が示された。
- ✓ ボーリング孔の閉鎖に留意が必要と考えられる水理地質構造に対して、閉塞材の条件がボーリング孔の閉塞性に与える影響を把握するための地下水流動解析を実施し、グラウト充填しないとBDZは移行経路となり得ること等を示した。

今後の課題

- ✓ ボーリング孔の影響を受ける条件やその割合、長期的な劣化等について解析的な検討、それら結果を踏まえた閉鎖に係る考え方(要件、閉塞材条件、確認事項等)の整備
- ✓ 原位置で行う閉塞材性能の確認方法(試験方法や結果の考察方法等)に係る検討
- ✓ 想定される掘削・埋戻し工程を踏まえ、埋戻し前に取得すべき水理地質データやその取得方法の整理