

2. 令和元年度までに得られた成果 及び令和2年度の取り組み

研究課題の変遷：必須の課題～令和2年度以降の研究課題

必須の課題(H27年度～R1年度)

令和2年度以降の研究課題(R2年度～R10年度)

令和2年度以降は「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に基づき、必須の課題のうち、引き続き研究開発が必要と考えられる以下の課題に取り組みます。

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

- 人工バリア性能確認試験
- オーバーパック腐食試験 終了
- 物質移行試験

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

- 人工バリア性能確認試験
- 物質移行試験

②処分概念オプションの実証

- 処分孔等の湧水対策・支保技術などの実証試験 終了
- 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験
- 高温(100℃以上)などの限界的条件下での人工バリア性能確認試験

②処分概念オプションの実証

- 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験
 - ・操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証
 - ・坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化
- 高温(100℃以上)などの限界的条件下での人工バリア性能確認試験

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

- 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化
- 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

- 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化
 - ・地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握
 - ・地下水流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化
- 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

令和2年度以降のスケジュールの詳細は、「令和2年度調査研究計画」p.8に掲載

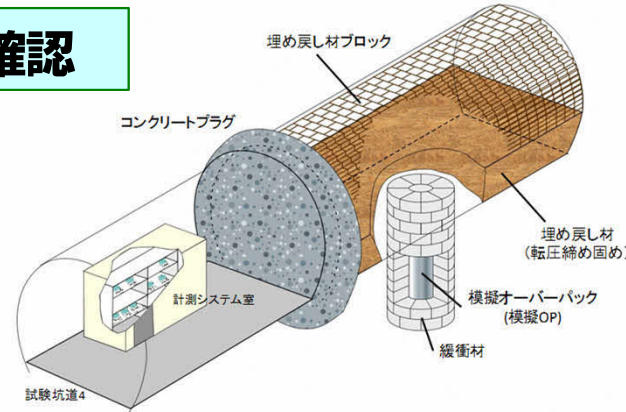
	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
	第3期			第4期中長期目標期間					
1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認	■			■					
2. 処分概念オプションの実証	■			■					
3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証	■			■					

■ 個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題(「2.1.2坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」)に統合して実施する。
 ■ 「2.1.2坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」を実施する中で、情報の不足等があった場合に追加で試験や解析を実施する。

研究課題の変遷: 必須の課題～令和2年度以降の研究課題

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

- 人工バリア性能確認試験
- 物質移行試験



人工バリア性能確認試験の概要



人工バリア性能確認試験の解体調査のイメージ

②処分概念オプションの実証

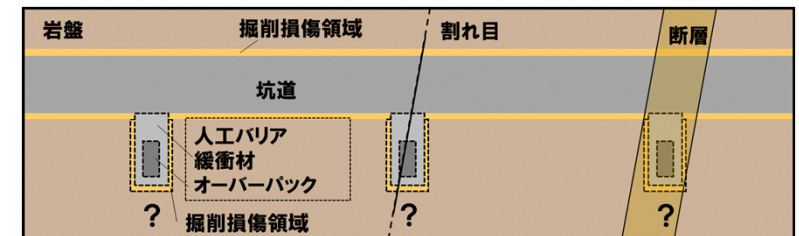
- 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験
 - ・操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証
 - ・坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化
- 高温(100℃以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験



閉鎖技術オプションの整理

③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

- 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化
 - ・地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握
 - ・地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化
- 地殻変動による人工バリアへの影響・回復拳動試験



廃棄体定置決定や間隔設定の考え方の整理

【目的】

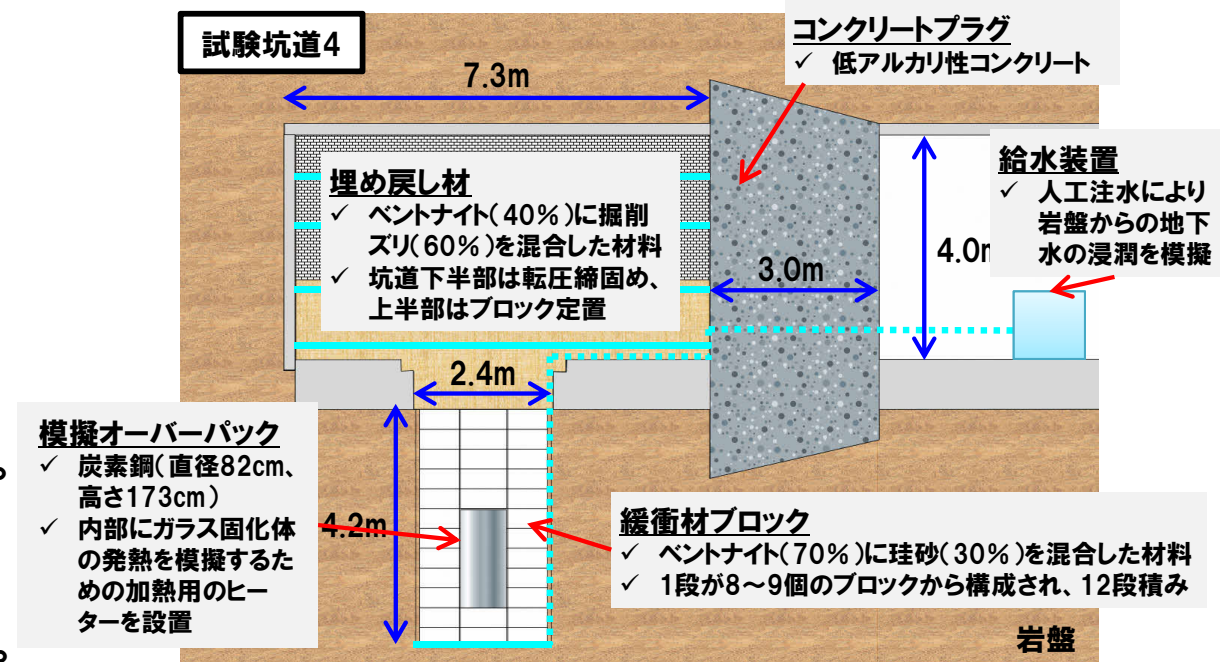
- 人工バリア(緩衝材、オーバーパック)に関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の確立
- 埋め戻し材、プラグに関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の確立
- 熱-水-応力-化学連成現象(ガラス固化体設置以降の加熱時から浸潤時・減熱時の現象)の評価手法(モデル化・解析手法)の確立

【概要】

- 人工バリア(緩衝材、オーバーパック)に関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の適用性確認
- 埋め戻し材、プラグ、処分孔掘削技術に関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の適用性確認
- ④ 加熱試験(③)および減熱試験(④)による熱-水-応力-化学連成評価手法の整備、適用性確認

【令和元年度の成果】

- ①、②平成30年度までに研究を終了しており、令和元年度の取り組みは無し。
- ③-1 加熱・注水時の人工バリアの挙動に関するデータを取得した。
- ③-2 解析ツールの力学モデルを拡張(緩衝材の膨潤に伴う密度低下による剛性の低下を考慮)することにより、緩衝材の膨潤挙動の実測結果と解析結果がよく合うようになった。
- ③-3 緩衝材の膨潤変形による密度変化に伴う熱特性、水理特性及び力学特性の密度依存性を考慮できるようモデルを高度化した。



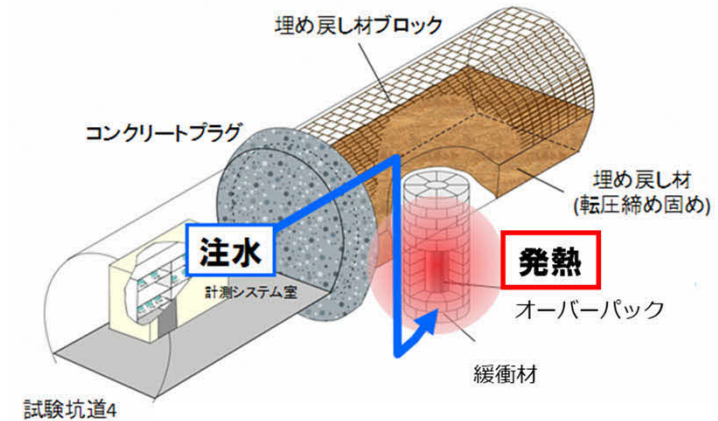
人工バリア(緩衝材、オーバーパック)、埋め戻し材、プラグ、処分孔掘削技術に関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の適用性確認

【令和元年度までの総括】

- ①人工バリアに関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の適用性を確認した。
- ②埋め戻し材、プラグ、処分孔掘削技術に関する設計手法、製作・施工及び品質管理手法の適用性を確認した。



(上:ブロック積み上げ)



人工バリア性能確認試験の概念図

【令和2年度以降の取り組み】

令和元年度までに終了したため、令和2年度以降の取り組みは無し。

【令和2年度の取り組み】

令和元年度までに終了したため、令和2年度の取り組みは無し。



(下:転圧締め固め)
埋め戻し材の施工



緩衝材ブロックの製作と
試験孔への定置

加熱試験および減熱試験による熱-水-応力-化学連成評価手法の整備、適用性確認

【令和元年度までの総括】

③ 加熱・注水試験による熱-水-応力-化学連成評価手法を整備し、適用性を確認した。

【令和2年度以降の取り組み】

④-1 注入する地下水の圧力や量を増加させ緩衝材に地下水を浸潤させた場合のデータ(浸潤時・減熱時)を取得、連成モデルの適用性確認

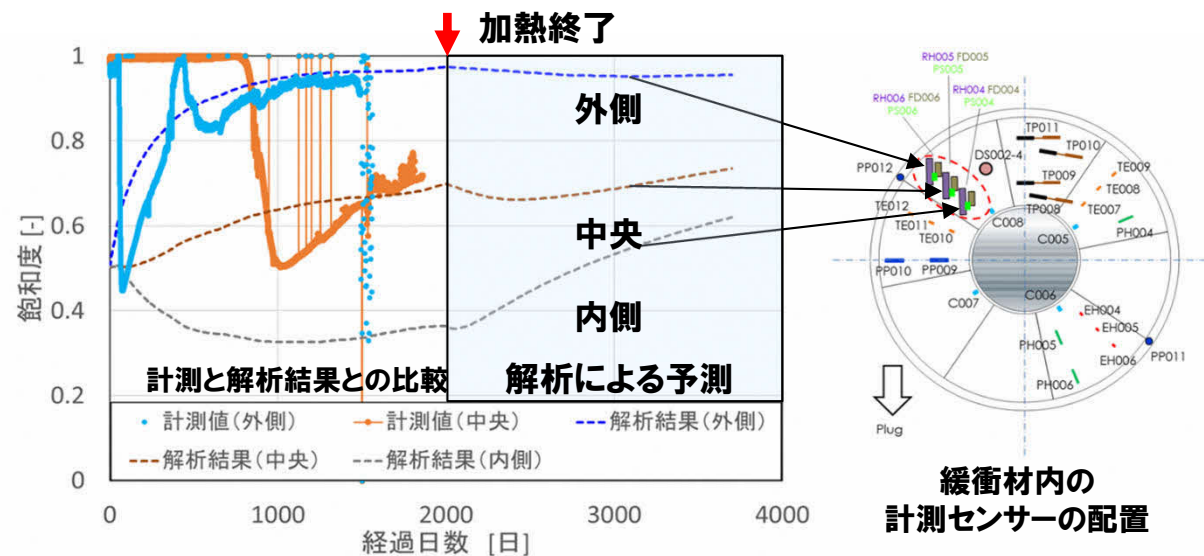
④-2 人工バリアの解体作業および緩衝材の飽和度の確認を実施する。

【令和2年度の取り組み】

④-1 人工バリア性能確認試験(加熱・減熱・注水試験のデータの分析・評価)

④-1 熱-水理-力学-化学連成挙動の解析、DECOVALEXによる共同解析等を通じた連成解析モデルの改良、気相を考慮した熱-水-応力連成挙動の解析、室内試験

④-2 人工バリアの試験体を取り出すための試験施工



ヒーターの加熱を終了した予測(グラフの水色で示した範囲内)では、グラフの点線のように、緩衝材内への水の浸み込みが、中央や内側で進むことが示されました。

DECOVALEX (International co-operative project for the DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments in nuclear waste isolation.) 連成モデルの開発とその実験結果との検証に関する国際共同研究)の略称で、地層処分システムの性能評価において重要な課題の一つである熱-水理-力学-化学連成挙動モデルの開発・確認を目的とした国際共同研究です。

【目的】

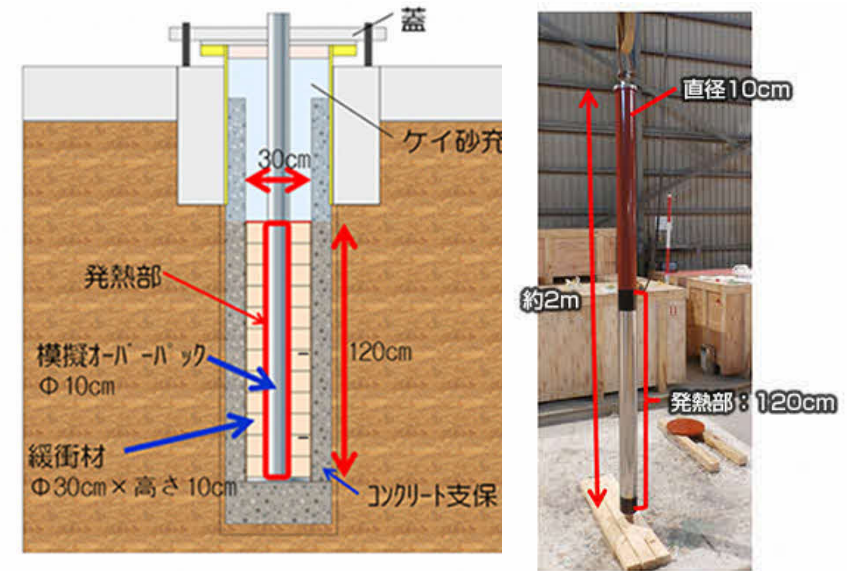
緩衝材の浸潤過程では、飽和度等の環境条件の不均一性によって不均一な腐食の可能性がある。また、環境条件の変化に伴って腐食挙動も経時的に変化すると考えられる。このような挙動を把握するは、ある程度のスケールの試験が必要であり、室内試験では限界があることから、工学的スケールでの検討が必要である。よって緩衝材の浸潤～飽和の過程を工学規模で再現し、オーバーパックの腐食量や不均一性のデータを取得して既往の腐食量評価手法の妥当性、適用性を確認することを目的とする。

【概要】

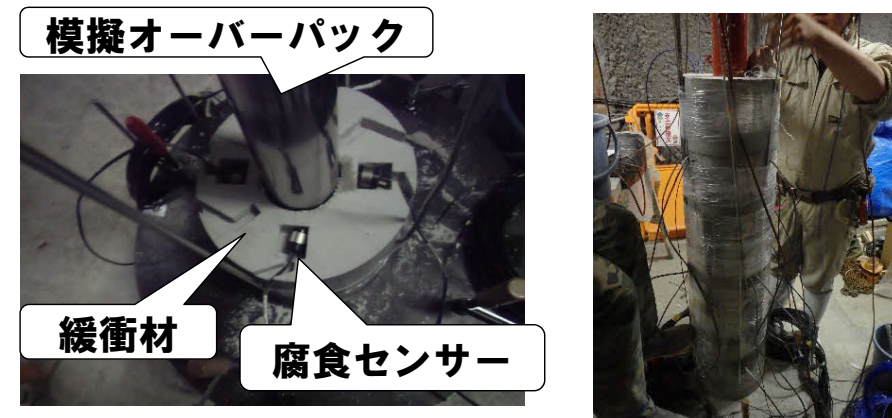
- ① 試験坑道に掘削した試験孔に緩衝材と模擬オーバーパックを設置して腐食試験を実施し、約3年間にわたる環境条件や腐食挙動のモニタリングデータを取得。
- ② 腐食挙動の経時的な変化を把握するとともに、腐食センサーの有効性を検討
- ③ 室内試験の結果との比較により、既往の評価手法の妥当性を検討

【令和元年度の成果】

- ② 腐食センサーを用いたモニタリングが少なくとも数年間以上は可能であることを確認した。
- ③ 室内試験に基づく既往の評価手法の保守性、妥当性を確認した。



オーバーパック腐食試験の概念図(左)と模擬オーバーパックの外観



腐食試験の設置状況

(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認 2) オーバーパック腐食試験

【令和元年度までの総括】

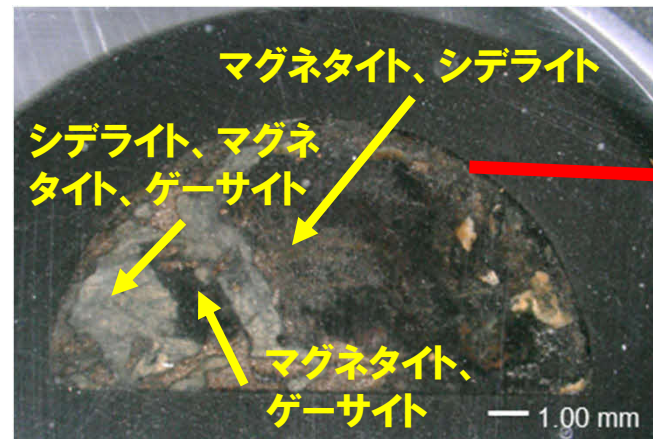
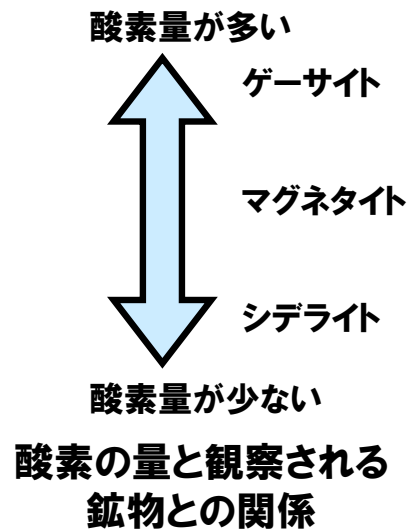
- ① オーバーパックの溶接部と母材(本体)で腐食挙動に有意な差は認められないことを確認した。
- ①② 腐食挙動のモニタリングデータを取得し、腐食センサーの有効性を確認した。
- ③ 室内試験の結果との比較により、既往の評価手法の妥当性を確認した。

【令和2年度以降の取り組み】

令和元年度までに終了したため、令和2年度以降の取り組みは無し。

【令和2年度の取り組み】

令和元年度までに終了したため、令和2年度の取り組みは無し。



腐食センサーの写真

腐食センサーの感知部の拡大写真
観察された鉱物は、割合の多い順に記載

腐食センサーに生じた腐食生成物の分析結果は、腐食モニタリングデータから推察される腐食挙動と整合

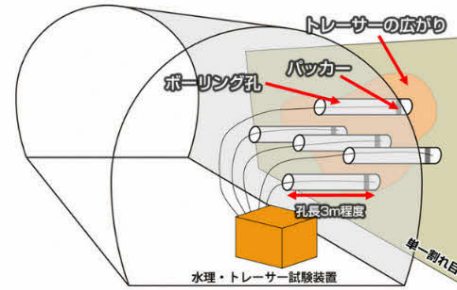
(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認 3) 物質移行試験

【目的】

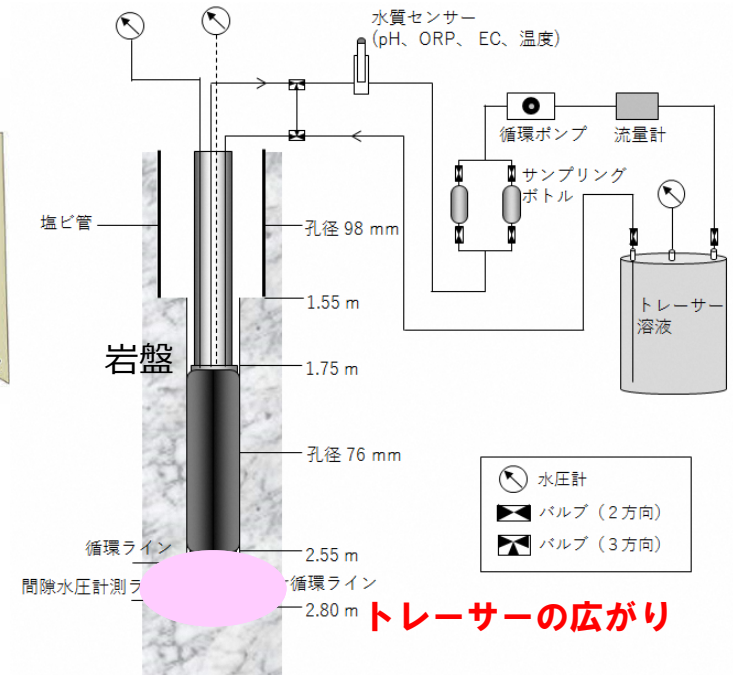
- 幌延地域に分布する泥岩は断層等の構造的な割れ目が分布しているため、岩盤基質部(=健岩部)における拡散および割れ目を介した移流・分散が主要な移行経路や形態として考えられるとともに、有機物・微生物・コロイド等が、物質の移行に影響を及ぼすことが考えられる。
- したがって、割れ目を有する堆積岩における物質移行現象を理解するには、物質移行経路や形態および物質移行現象に影響を与える要因(有機物・微生物・コロイド等)を総合的に評価することが必要である。

【概要】

- ① 岩盤基質部を対象とした物質移行特性の評価手法の検証
- ② 割れ目を対象とした物質移行特性の評価手法の検証
- ③ 泥岩中の割れ目を対象としたトレーサー試験手法の検証
- ④ 掘削影響領域など的人為的な割れ目を対象とした物質移行特性の評価手法の検証
- ⑤ 有機物・微生物・コロイド等が、物質の移行に及ぼす影響を把握
- ⑥ 割れ目を有する堆積岩での物質移行特性の総合的な評価手法の確立



割れ目を対象としたトレーサー試験のイメージ



岩盤基質部を対象としたトレーサー試験のイメージ

【令和元年度の成果】

- ①, ② 室内試験と実際の地下環境におけるトレーサー試験により、岩盤基質部(=健岩部)や割れ目における物質の移動現象を適切に評価する手法を確立した。

【令和元年度までの総括】

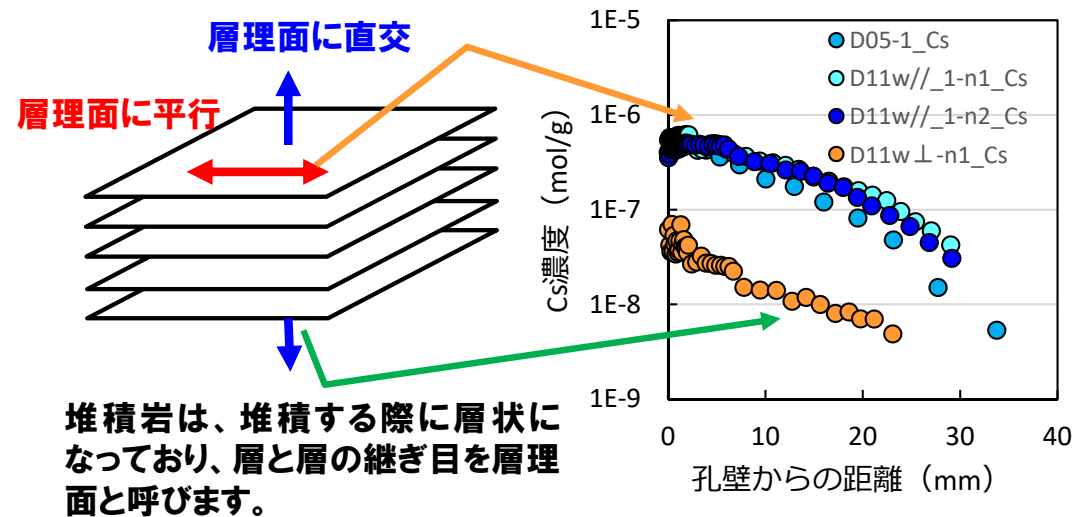
- ① 岩盤基質部(=健岩部)を対象とした原位置拡散試験を実施し、試験区間内のトレーサー濃度減衰データおよび岩石試料中の濃度プロファイルから物質移行パラメータを取得した。
- ② 割れ目を対象としたトレーサー試験を実施し、トレーサーが移行した直接的な痕跡の情報に基づき割れ目帯中の物質移行概念を構築した。
- ③ 単一の割れ目を対象としたトレーサー試験を事例とし、溶存ガス環境下でのトレーサー試験における最適な試験条件を確認した。
- ⑤ 放射性核種が有機物や微生物の存在により岩盤への吸着に与える影響を把握する室内試験を実施した。

【令和2年度以降の取り組み】

- ④ 確立したトレーサー試験手法を用いた掘削影響領域での物質移行に関するデータ取得
- ⑤ 有機物、微生物、コロイドの影響を考慮した物質移行試験
- ⑥ 割れ目を有する堆積岩を対象とした掘削影響領域を含むブロックスケール(数m~100m規模)における遅延性能評価手法の整備

【令和2年度の取り組み】

- ④ 掘削影響領域を対象とした物質移行試験を実施。
- ⑤-1 有機物、微生物、コロイドが物質移行特性に与える影響を評価するための試験の条件設定やレイアウト等の検討
- ⑤-2 物質の移動におよぼす影響のメカニズムを理解するために必要な水質分析、濃度・種類・微生物の代謝機能などを把握するための特性調査等
- ⑥ ブロックスケール(数m~100m規模)を対象とした物質移行試験の事前調査



Cs濃度の変化率は、層理面に直交・平行方向で同様であり、Csの移行が層理面に大きく依存しないと推察されました。

処分孔等の湧水対策

【目的】

- 地層処分場の建設時には、高地圧・高間隙水圧条件が予想される。また、堆積軟岩の場合には割れ目・断層に狭在物が存在する影響で従来のセメント系材料の注入が難しいことなども想定される。さらに、グラウトの周辺岩盤や人工バリアシステムに与える影響評価、多連接坑道を対象とした湧水対策効果を評価する手法の整備なども重要である。
- 地層処分の地下環境条件を考慮した湧水抑制対策技術やグラウト材の浸透評価手法の開発など、実際の地質環境における一連の湧水抑制対策技術の実証を目標とする。

【概要】

- ①突発的な大量湧水を回避するための予測手法の開発
- ②グラウト材の浸透評価手法の検討
- ③海水条件下で使用可能なグラウト材料の開発

【令和元年度の成果】

- ①突発的な大量湧水の発生の原因となりうる粘土質せん断帯の分布の予測手法として、メルトインクルージョンに着目した湧水抑制対策(グラウト)の事前予測が有効であることを確認した。さらに、粘土質断層の分布の予測手法として、より汎用性の高い方法を考案した。



大量湧水発生状況(深度350m)



粘土質せん断帯に含まれるメルトインクルージョンの顕微鏡写真

グラウト：
セメントなど液体状の材料を岩盤に注入し固めることで、湧水を抑制したり強度を増すなどの改良を行う。

処分孔等の湧水対策

【令和元年度までの総括】

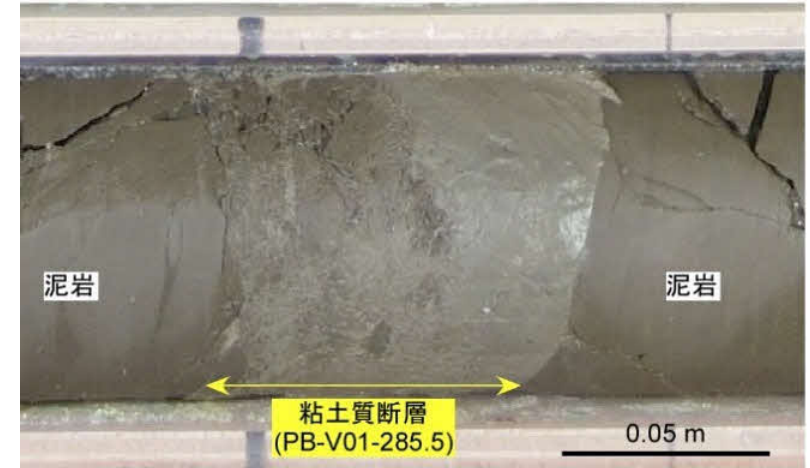
- ①突発的な大量湧水の発生の原因となりうる粘土質せん断帯の分布の予測手法として、メルトインクルージョンに着目した湧水抑制対策(グラウト)の事前予測が有効であることを確認した。
- ②等価多孔質媒体モデルによるグラウト浸透解析の結果と、現場透水試験の結果は整合的であり、設定したグラウトの改良範囲が妥当であることと、解析の有効性を確認した。
- ③海水条件下で処分孔まわりの低透水領域を改良することが可能となる溶液型グラウト材料を設計した。

【令和2年度以降の取り組み】

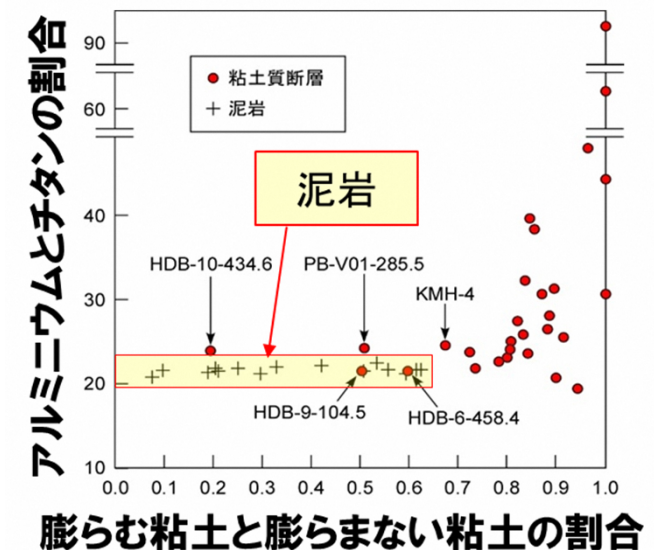
令和元年度までに終了したため、令和2年度以降の取り組みは無し。

【令和2年度の取り組み】

令和元年度までに終了したため、令和2年度の取り組みは無し。



ボーリングコアで観察される粘土質断帯



断層粘土部の膨らむ粘土と膨らまない粘土の割合や火山灰層起源の鉱物の割合を用いた同定方法

処分孔等の支保技術

【目的】

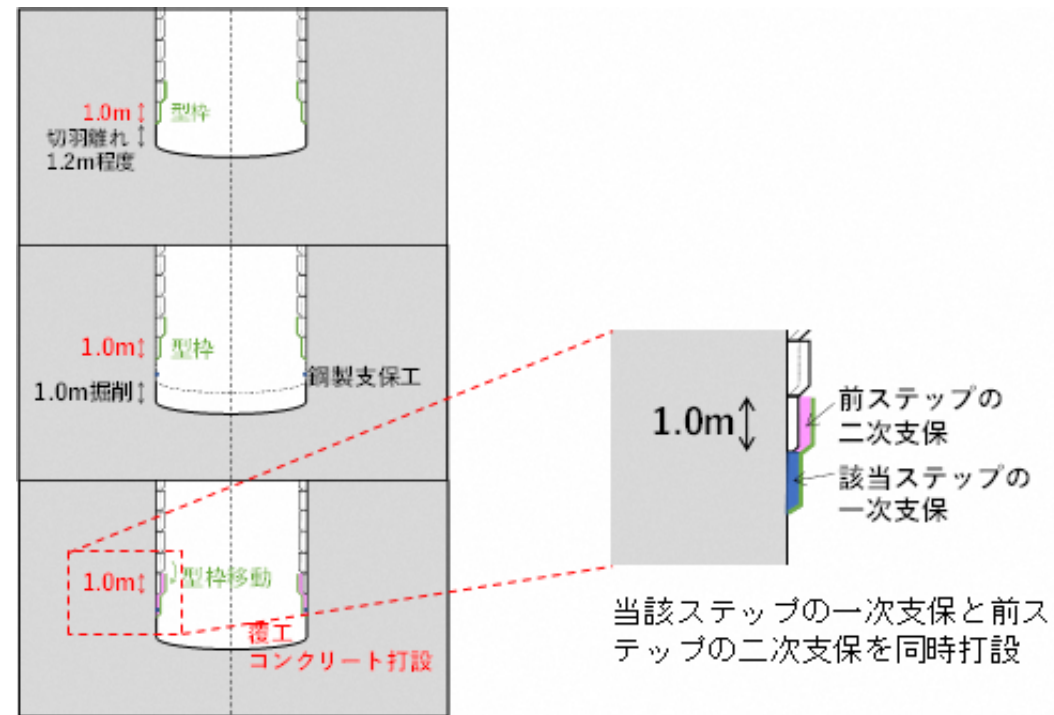
- 国内外の地下空洞開発事例において、支保設計、情報化施工技術、支保及び岩盤の計測技術が構築されている。
- 地層処分場で想定されるような、広範囲なおかつ深度300m以深という大深度に展開される大規模地下施設においても、既存の技術が適用可能かどうかを確認し、課題がある場合には技術の整備を行う必要がある。そこで、立坑や水平坑道における支保技術、情報化施工技術、長期的な計測技術を整備することを目標とする。

【概要】

- ①立坑掘削時の情報化施工技術の構築
- ②低強度・高地圧地山における大深度立坑支保設計手法の開発
- ③岩盤および支保工の安定性を長期的に計測する技術の構築(二重支保の適用可能性の検討)

【令和元年度の成果】

- ③光ファイバー式変位計の長期岩盤変位計測技術としての有効性を実証した。



深度380m以深において適用可能な二重支保の概念

処分孔等の支保技術

【令和元年度までの総括】

堆積岩に対する、支保技術の実証実験により、以下の技術の有効性を確認した

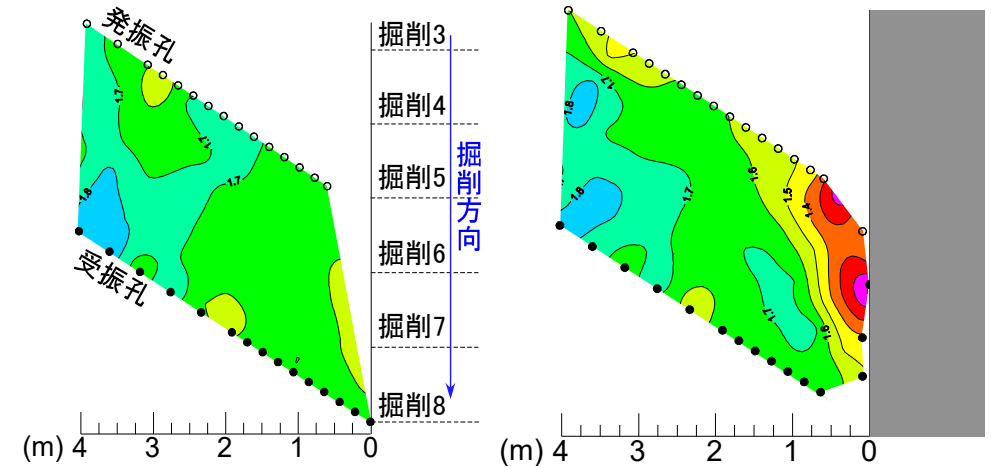
- ① 立坑掘削時の情報化施工技術の構築
- ② 低強度・高地圧地山における大深度立坑支保設計手法の開発
- ③ 岩盤および支保工の安定性を長期的に計測する技術の構築(二重支保の適用可能性の検討)

【令和2年度以降の取り組み】

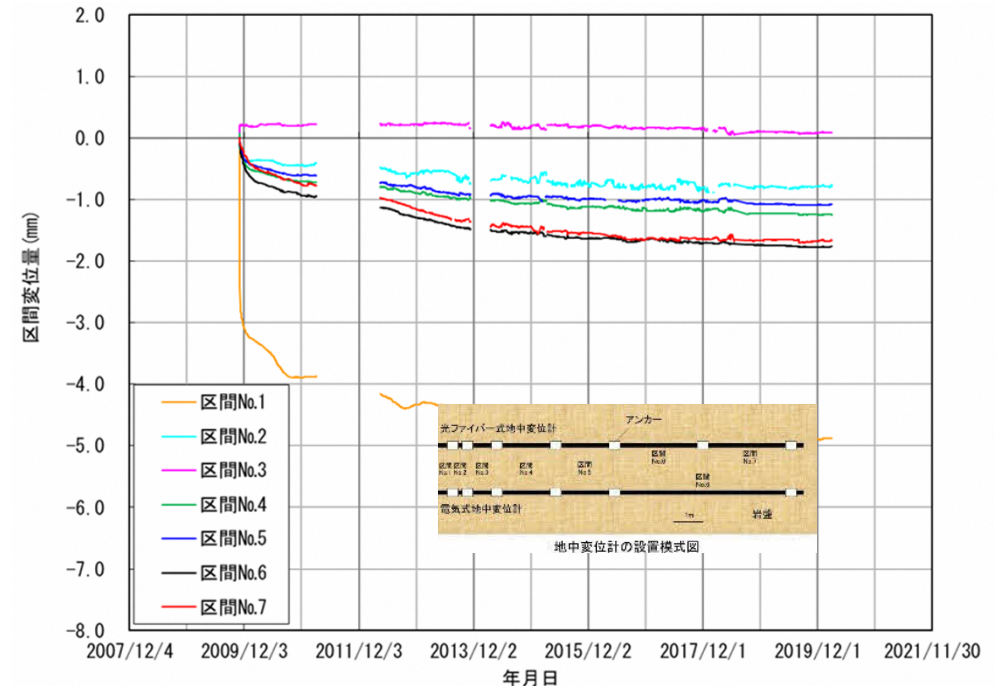
令和元年度までに終了したため、令和2年度以降の取り組みは無し。

【令和2年度の取り組み】

令和元年度までに終了したため、令和2年度の取り組みは無し。



掘削前(左図)と掘削後(右図)の弾性波速度



光ファイバー式変位計による計測結果