



令和2年度以降の幌延深地層研究計画(案) について

令和元年9月10日

日本原子力研究開発機構
核燃料・バックエンド研究開発部門
幌延深地層研究センター

目次

これまでの幌延深地層研究計画の概要

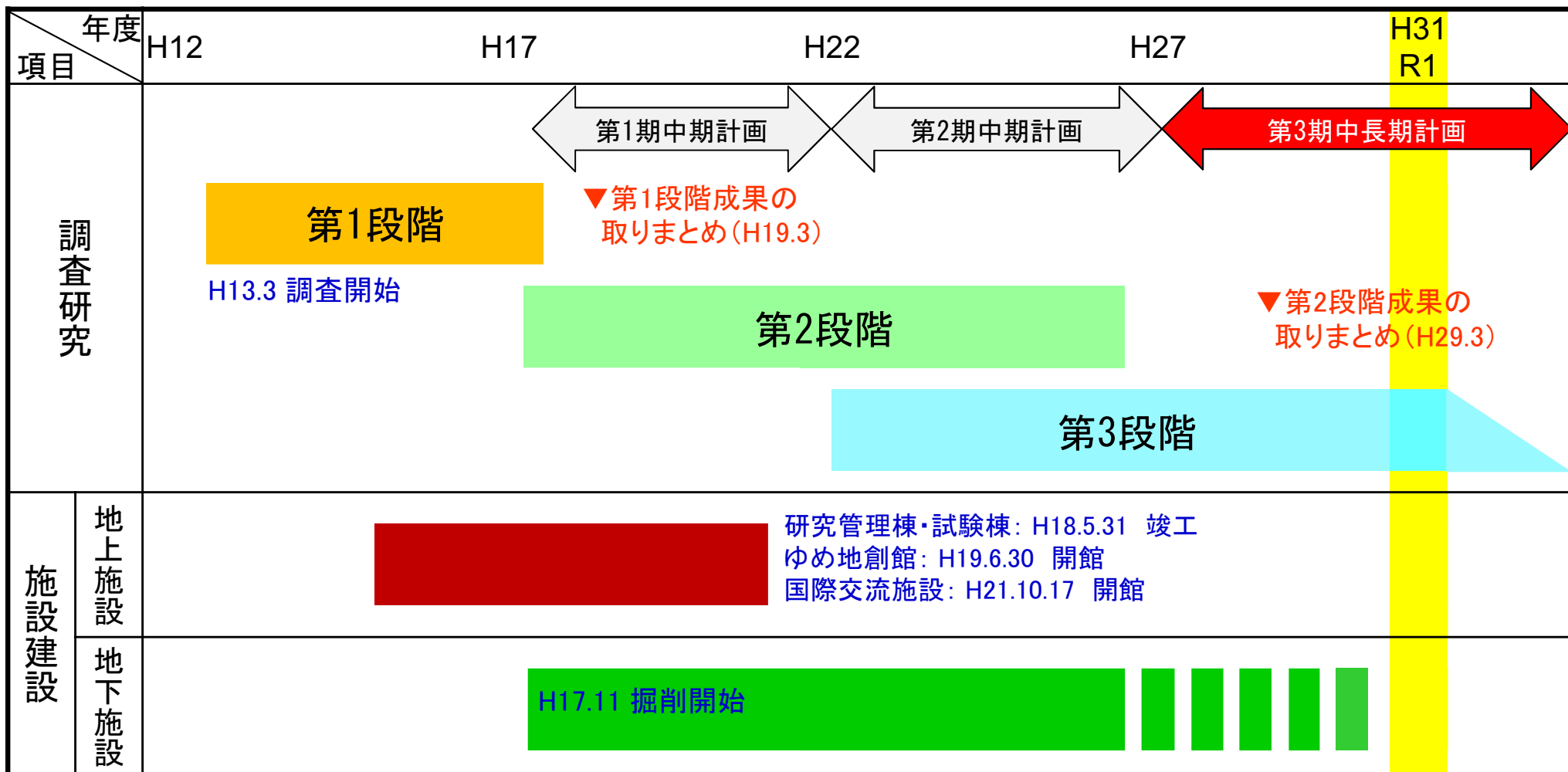
1. 全体スケジュール
2. 各調査段階の研究の概要
3. 地下施設の状況
4. 必須の課題への取り組み

令和2年度以降の幌延深地層研究計画（案）

1. はじめに
2. 必須の課題と研究成果に対する評価について
3. 今後の進め方について

これまでの幌延深地層研究計画の概要

幌延深地層研究計画の全体スケジュール



第1段階：地上からの調査研究段階

第2段階：坑道掘削(地下施設建設)時の調査研究段階

第3段階：地下施設での調査研究段階

※平成31年度末までに研究終了までの工程やその後の埋め戻しについて決定する。

第1段階：地上からの調査研究

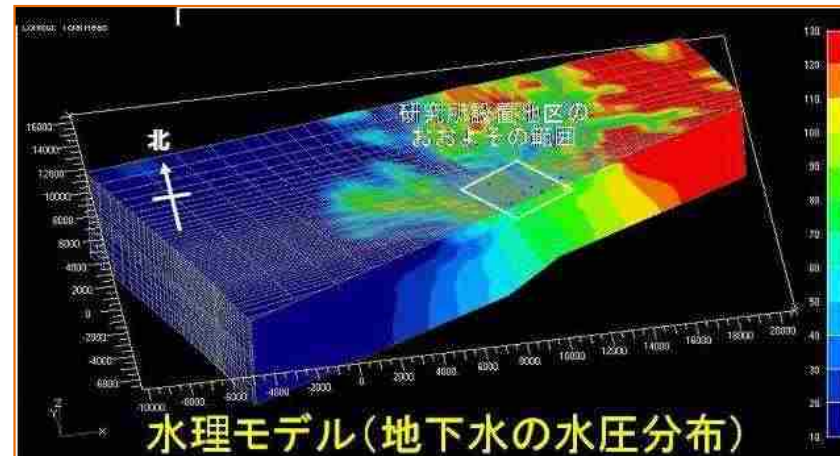
ボーリング調査や地表物理探査などの地表からの調査により、地下深部の地質構造モデルを構築し、地下の地質環境を予測。



ボーリング調査 (HDB-11孔)

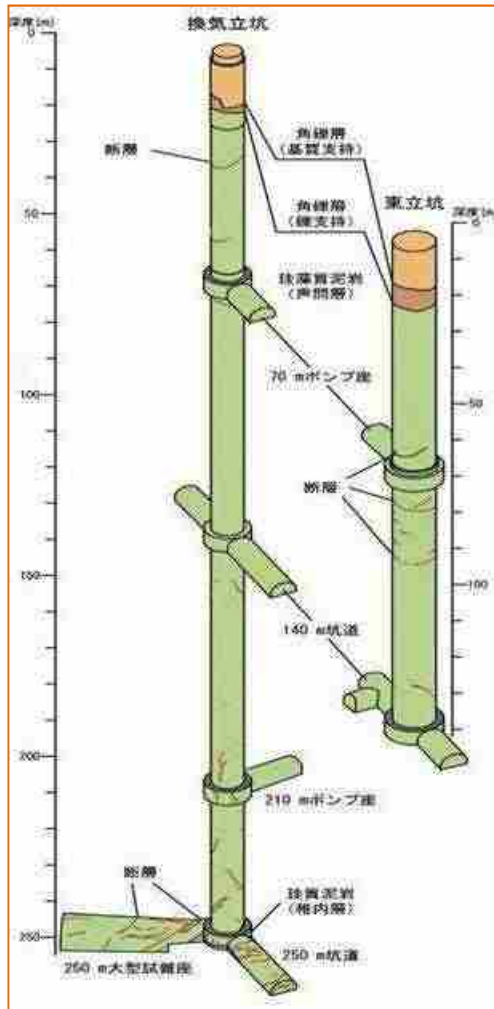


反射法地震探査



第2段階：坑道掘削時の調査研究

坑道を掘削（地下施設を建設）しながら、坑道掘削による周辺岩盤への影響を把握するとともに、第1段階の予測の検証と、掘削技術等の工学技術の有効性を確認。



坑道壁面の地質観察



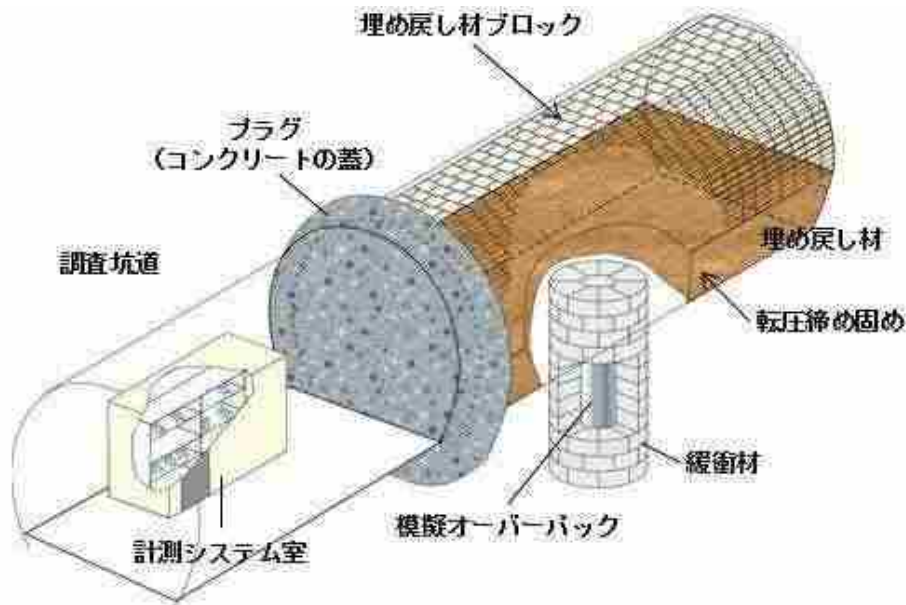
地下水のモニタリング調査



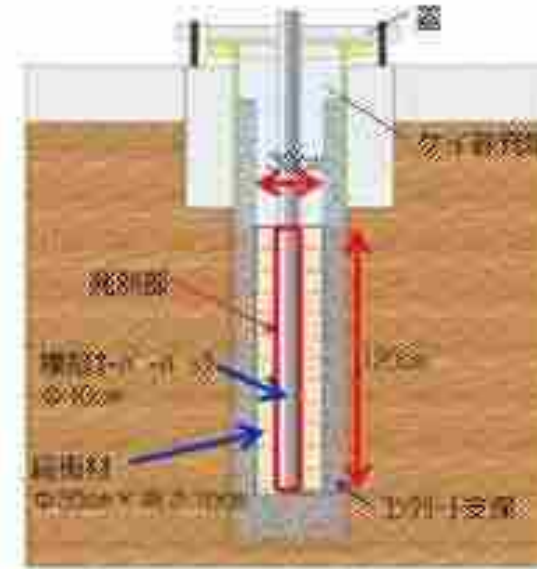
掘削影響試験（岩盤の変形特性の計測）

第3段階：地下施設での調査研究

地下施設において地層処分システムの性能確認や物質移動などに関する研究を実施中。



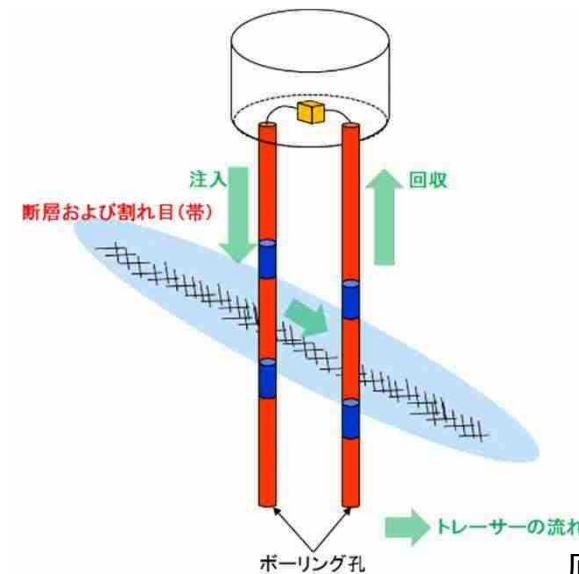
人工バリア性能確認試験の概要



オーバーバック腐食試験

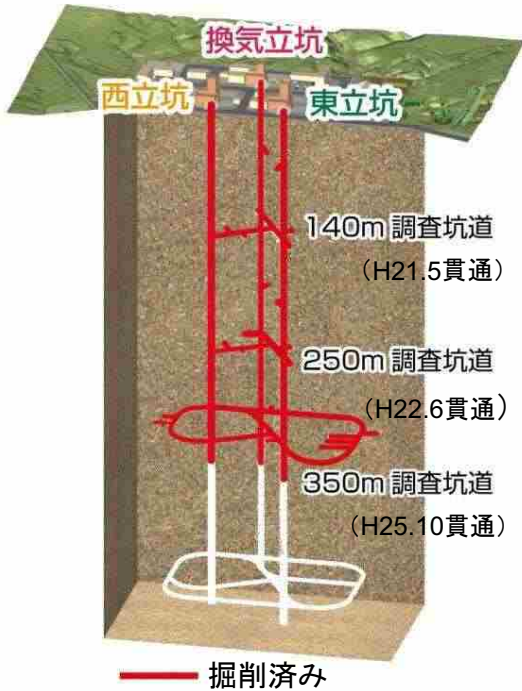


人工バリア性能確認試験（オーバーバックの設置）



原位置トレーサー試験 6

地下施設の建設状況



立坑掘削状況

東立坑 : 掘削深度 380.0m
 換気立坑 : 掘削深度 380.0m
 西立坑 : 掘削深度 365.0m

調査坑道掘削状況

深度140m調査坑道 : 掘削長 186.1 m
 深度250m調査坑道 : 掘削長 190.6 m
 深度350m調査坑道 : 掘削長 757.1 m

※ このイメージ図は今後の調査研究の結果次第で変わることがあります。



深度350m調査坑道
 試験坑道4
 人工バリア性能確認試験実施箇所
 (平成27年1月13日撮影)



西立坑
 (平成26年3月26日撮影)



東立坑
 (平成26年3月26日撮影)



深度350m調査坑道
 (平成26年2月25日撮影)

第3期中長期計画（平成27年度～令和3年度）

II. 研究開発の成果の最大化その他の業務の質の向上に関する目標を達成するためとるべき措置

6. 核燃料サイクルに係る再処理、燃料製造及び放射性廃棄物の処理処分に関する研究開発等

(3) 高レベル放射性廃棄物の処分技術等に関する研究開発

《中略》

1) 深地層の研究施設計画

超深地層研究所計画（結晶質岩：岐阜県瑞浪市）と幌延深地層研究計画（堆積岩：北海道幌延町）については、機構が行う業務の効率化を図りつつ、改革の基本的方向を踏まえた調査研究を、委託などにより重点化し、着実に進める。研究開発の進捗状況等については、平成31年度末を目途に、外部専門家による評価等により確認する。なお、超深地層研究所計画では、土地賃貸借期間も念頭に調査研究に取り組む。

超深地層研究所計画については、（略）。

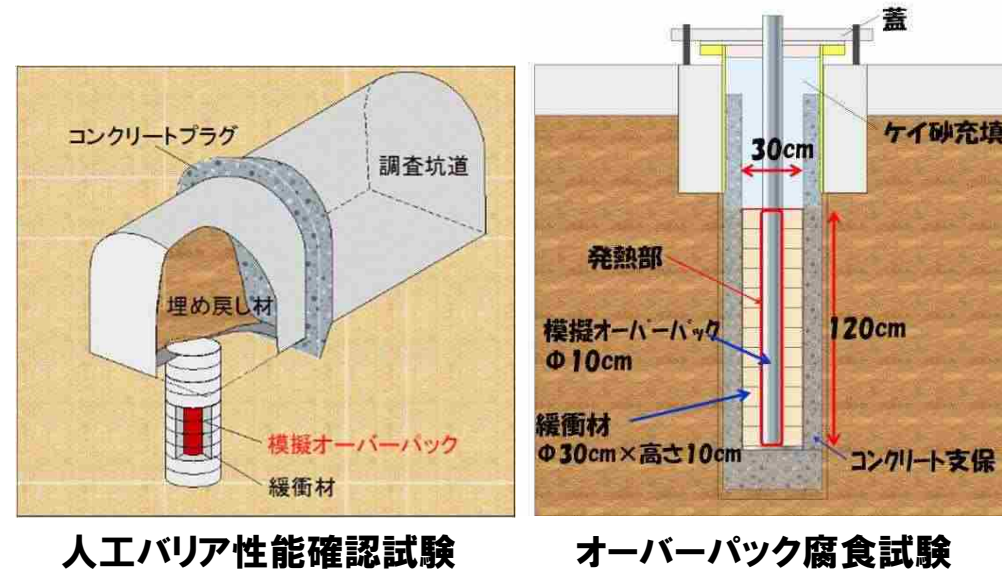
幌延深地層研究計画については、実際の地質環境における人工バリアの適用性確認、処分概念オプションの実証及び地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証に重点的に取り組む。また、平成31年度末までに研究終了までの工程やその後の埋め戻しについて決定する。

平成26年度に設定した必須の課題

①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

平成26年度から深度350m調査坑道で実施している人工バリア性能確認試験、オーバーパック腐食試験、物質移行試験を通して、実際の地質環境において、人工バリアや周辺岩盤中での熱-水-応力-化学連成挙動や物質移行現象などを計測・評価する技術の適用性を確認し、「精密調査後半」に必要な実証試験の技術基盤を確立する。

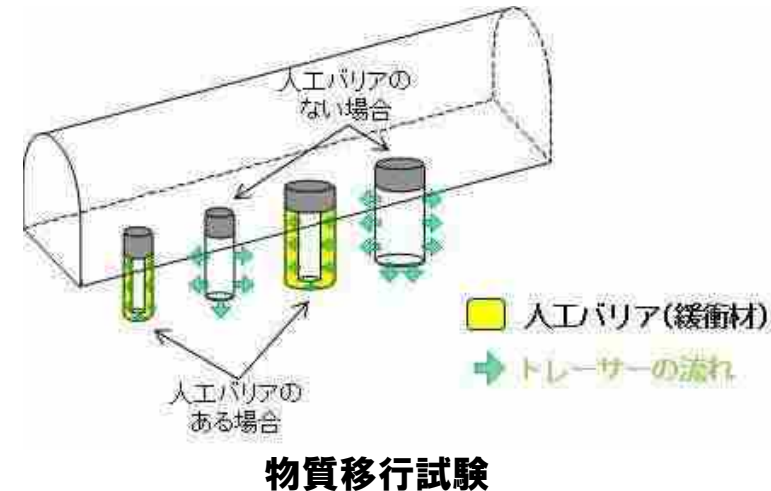
- [人工バリア性能確認試験](#)
- [オーバーパック腐食試験](#)
- [物質移行試験](#)



②処分概念オプションの実証

人工バリア設置環境の深度依存性を考慮し、種々の処分概念オプションの工学的実現性を実証し、多様な地質環境条件に対して柔軟な処分場設計を行うことを支援する技術オプションを提供する。

- [処分孔等の湧水対策・支保技術などの実証試験](#)
- [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



③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

地震・断層活動等の地殻変動に対する力学的・水理学的な緩衝能力を定量的に検証し、堆積岩地域における立地選定や処分場の設計を、より科学的・合理的に行える技術と知見を整備する。

- [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](#)

必須の課題に関わる研究成果

(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

1) 人工バリア性能確認試験

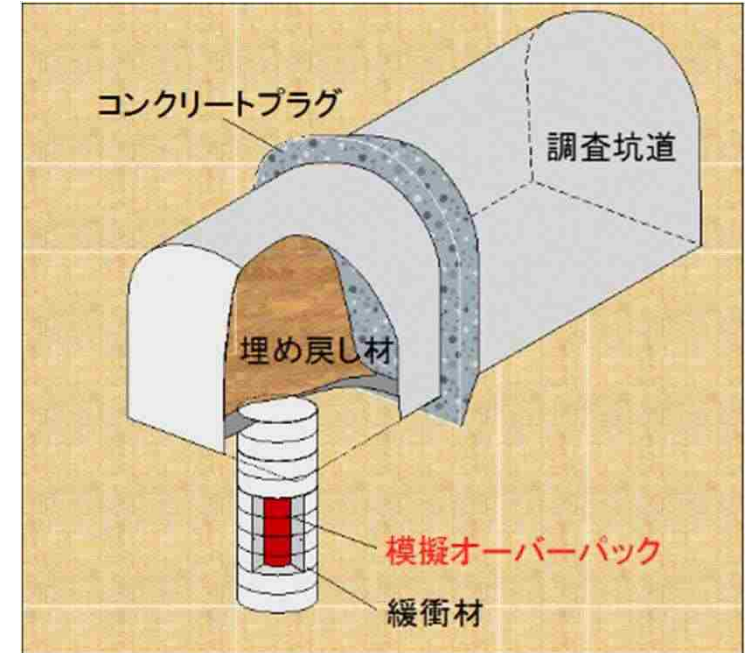
➤ 人工バリアや埋め戻し材の設計・施工の実証

【設計】

- ・ 緩衝材及びオーバーパックに関する設計手法を構築し、幌延の地質環境条件を例とした試設計を実施。設計要件に基づく設計の実施が可能であることを確認
- ・ 設計要件に基づいた緩衝材ブロック、オーバーパックを製作

【施工】

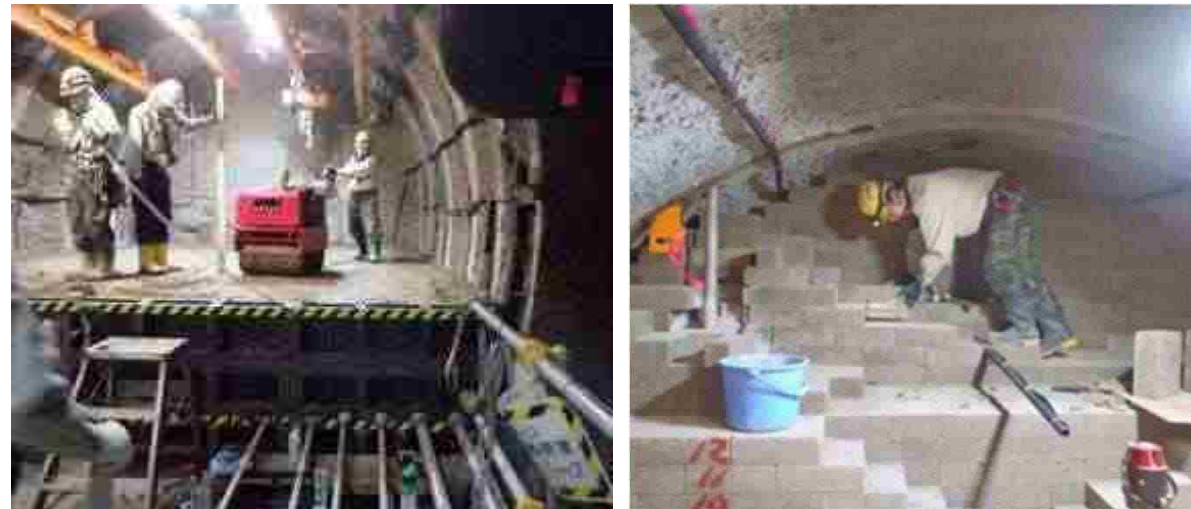
- ・ 真空把持装置を用いた緩衝材ブロックの定置を実証
- ・ 掘削ズリ混合埋め戻し材を製作し、転圧締固め及び埋め戻し材ブロックによる原位置施工や品質管理手法の適用事例を明示



人工バリア性能確認試験の概要



緩衝材ブロックの製作と試験孔への定置



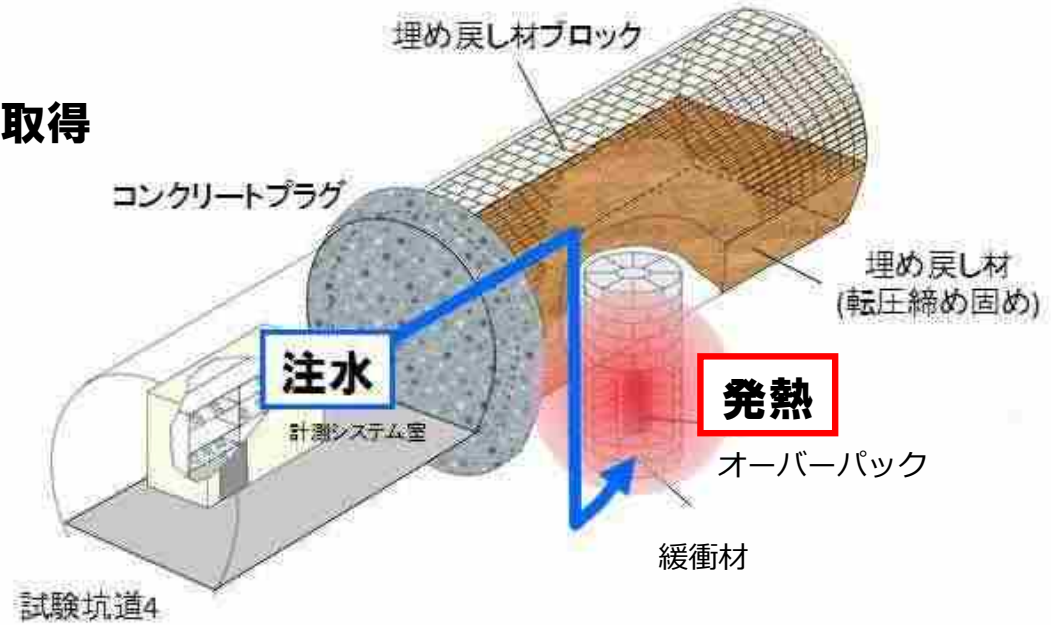
埋め戻し材の施工(左:転圧締固め、右:ブロック積み上げ)

必須の課題に関わる研究成果

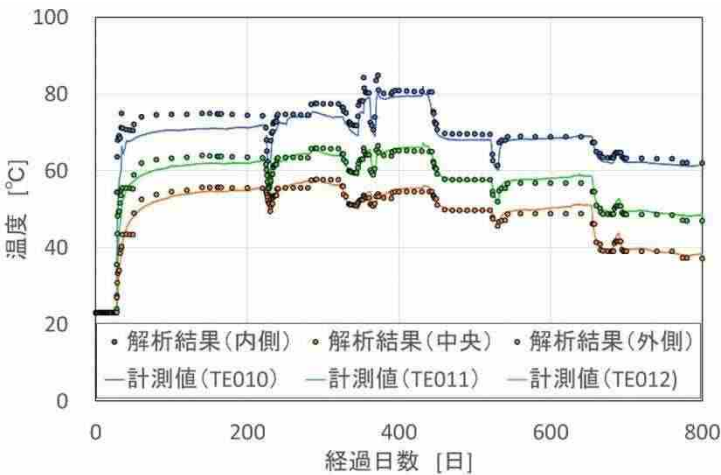
(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

1) 人工バリア性能確認試験

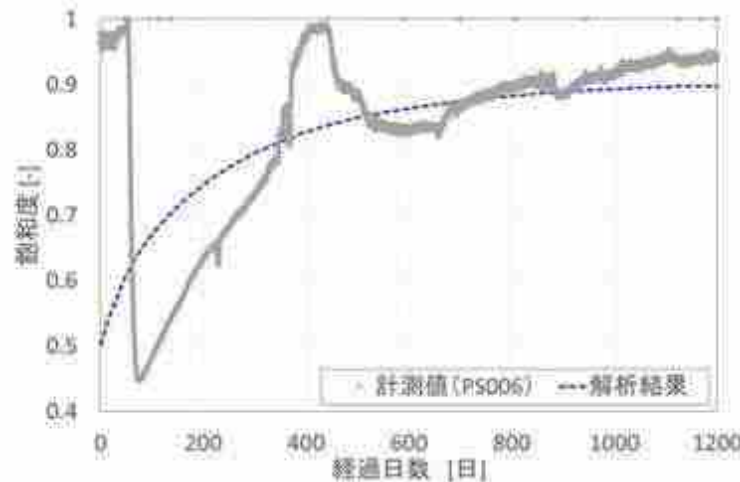
- 人工バリアの挙動(熱・水・応力・化学)に関するデータ取得
- 熱・水・応力・化学連成解析の有効性の確認・高度化
 - ・熱・水・応力連成解析ツール(THAMES)の力学モデルを拡張(緩衝材の膨潤に伴う密度低下による剛性の低下を考慮)することにより、緩衝材の膨潤挙動の再現性が向上
 - ・緩衝材の膨潤変形による密度変化に伴う熱特性、水理特性及び力学特性の密度依存性を考慮できるようモデルを高度化



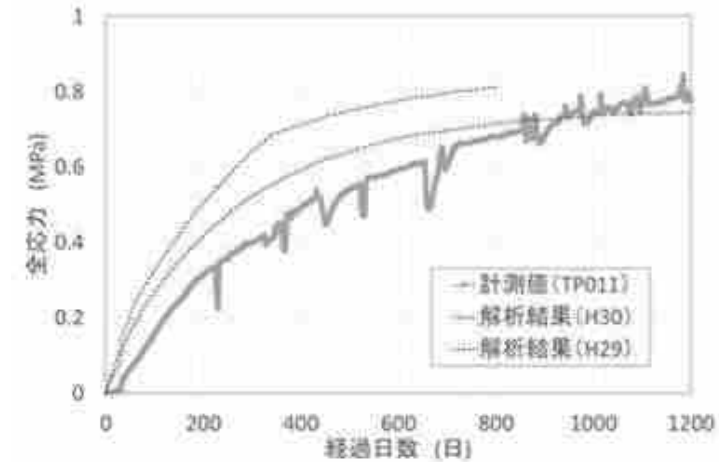
人工バリア性能確認試験の概念図



緩衝材中の温度



緩衝材中の飽和度



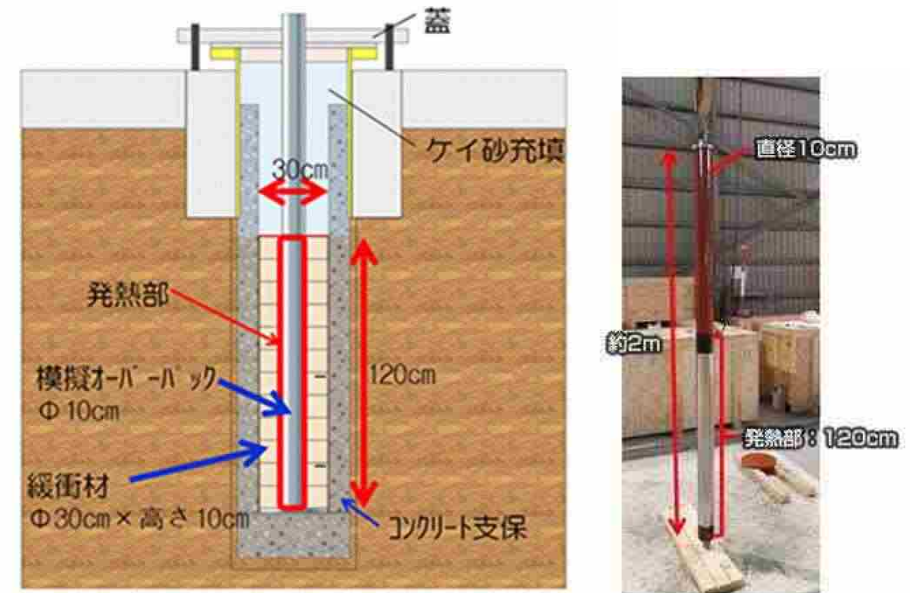
緩衝材中の土圧

必須の課題に関わる研究成果

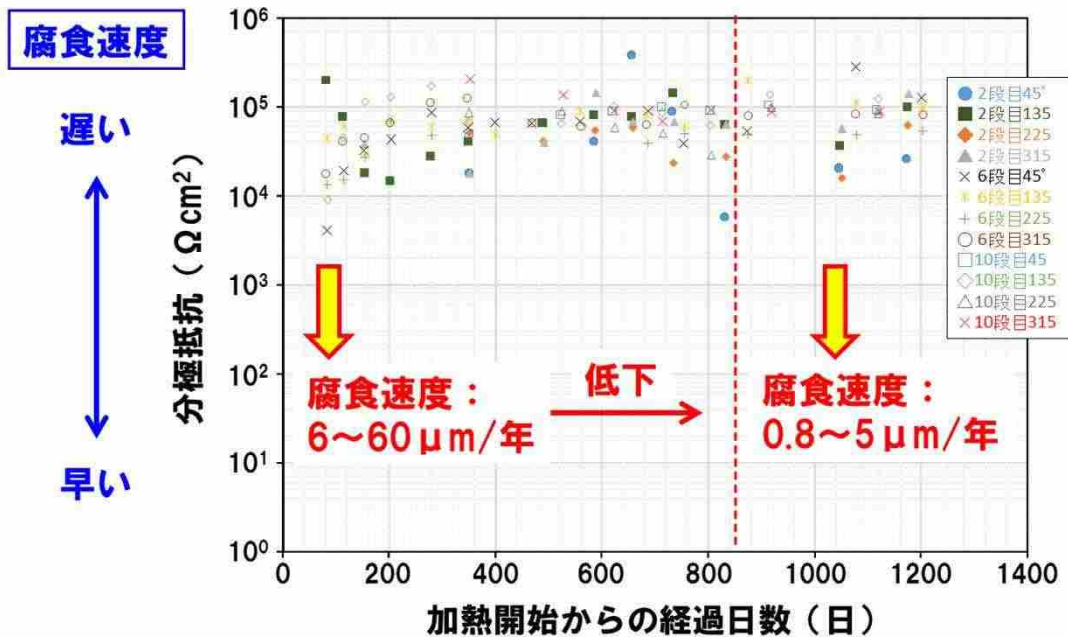
(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

2) オーバーパック腐食試験

- 塩水系地下水環境におけるオーバーパックの耐食状況の把握
- 腐食モニタリング手法の適用性の確認
 - ・オーバーパックの溶接部と母材で腐食挙動に有意な差は認められないことを確認
 - ・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
 - ・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



オーバーパック腐食試験の概念図



腐食センサーによるモニタリングの結果



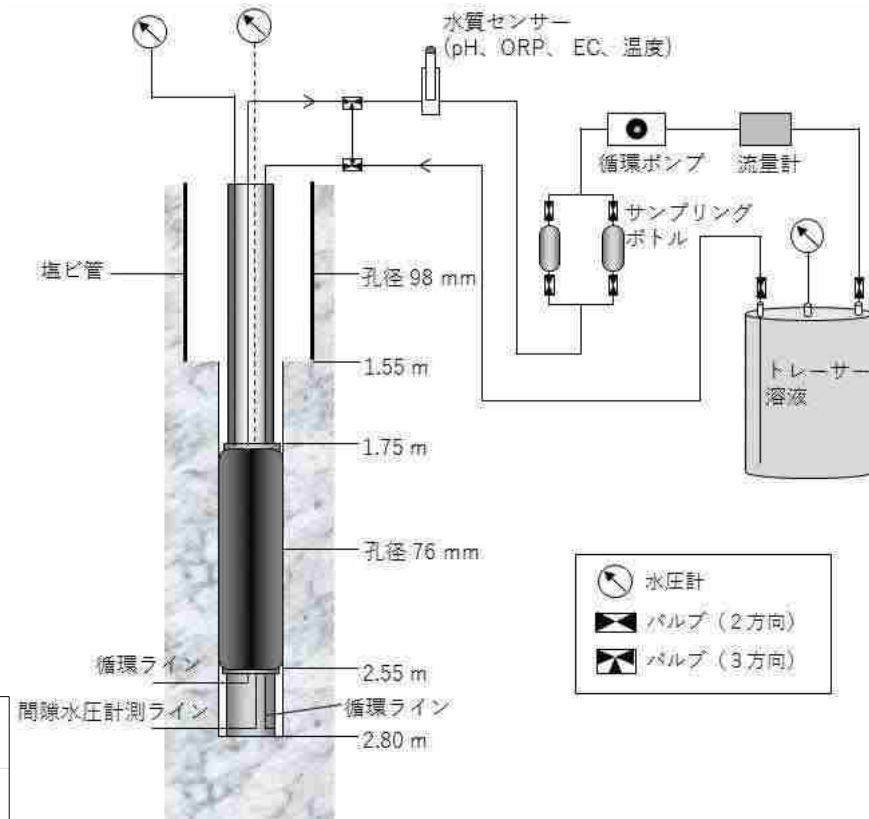
模擬オーバーパックの取り出し・腐食生成物の採取 12

必須の課題に関する研究成果

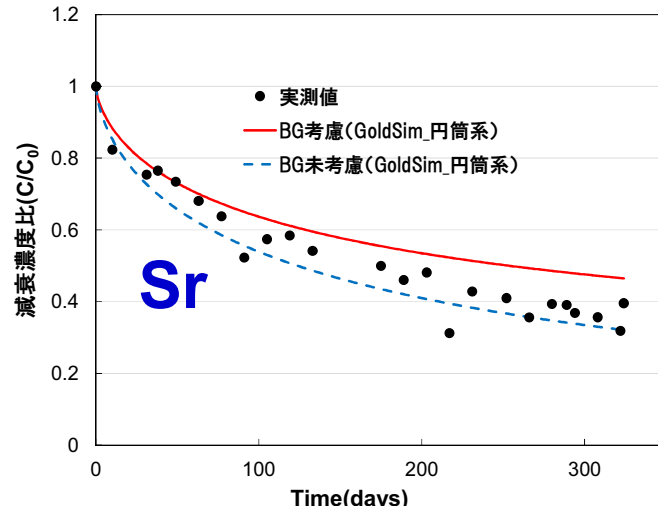
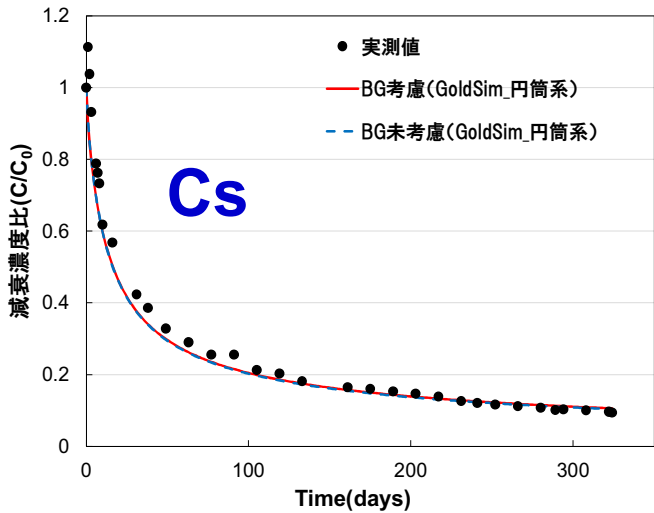
(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

3) 物質移行試験

- 健岩部における物質移行挙動の解明
- 堆積岩の健岩部を対象としたトレーサー試験手法の確立 (緩衝材の有無を含む)
 - 1次元の解析結果と実測値は整合的であり、1次元の解析でも健岩部における移行挙動を解釈可能であることを確認
 - 原位置試験および室内試験で得られた各トレーサーの物質移行特性(実効拡散係数と収着分配係数)は整合的であり、原位置試験データの妥当性を確認



トレーサー試験装置の概念図



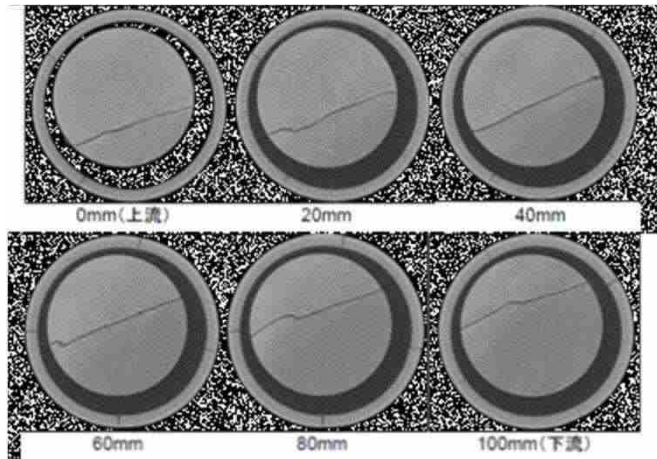
トレーサー試験の結果(セシウムとストロンチウム)

必須の課題に関わる研究成果

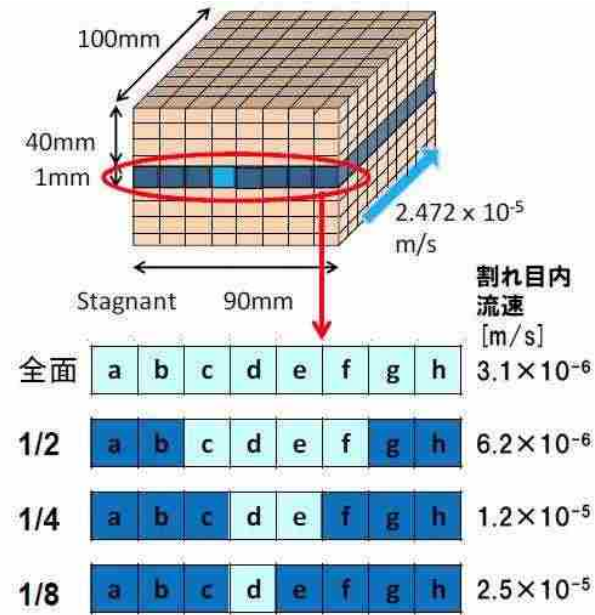
(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

3) 物質移行試験

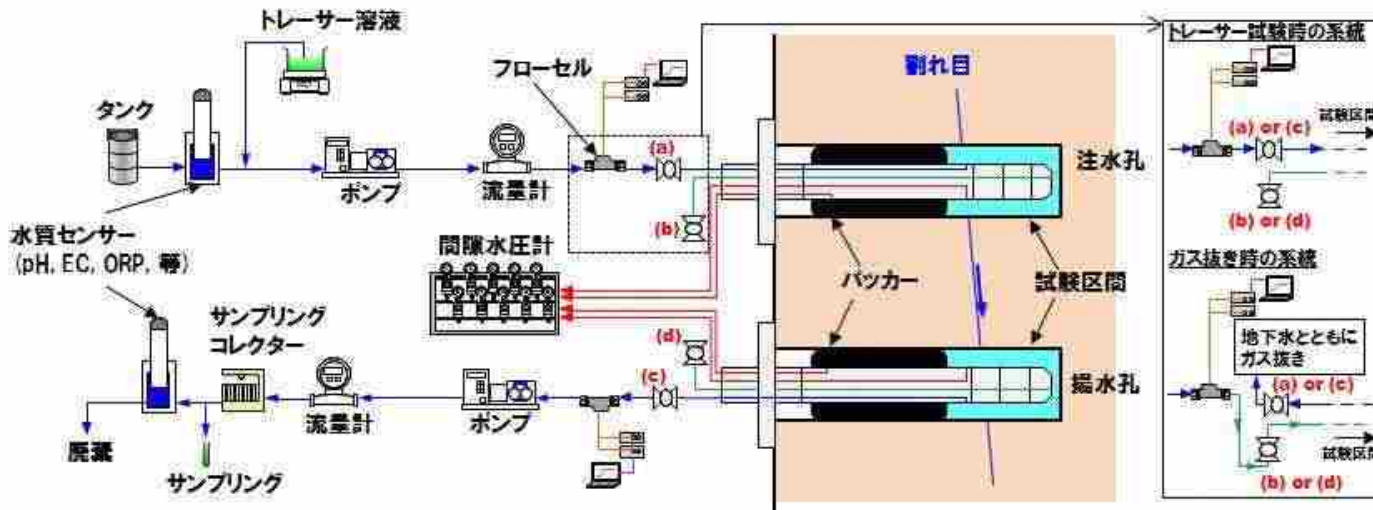
- 割れ目における物質移行挙動の解明
- 堆積岩中の割れ目を対象としたトレーサー試験手法の確立
 - ・割れ目内の選択的な流れを考慮したモデルにより、割れ目内の不均質な流れにおけるトレーサーの移行挙動を統合的に解釈可能
 - ・ガスが溶存する地下水環境下における物質移行試験技術を開発



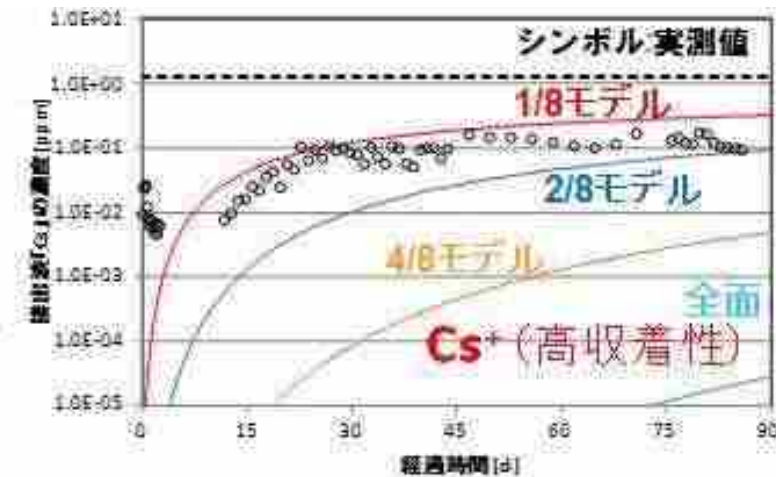
X線CT像から評価された割れ目



不均質な流れを仮定したモデル



割れ目を対象としたトレーサー試験(ダイポール試験)の概要



トレーサー試験結果との解析結果の比較

必須の課題に関わる研究成果

(2) 処分概念オプションの実証

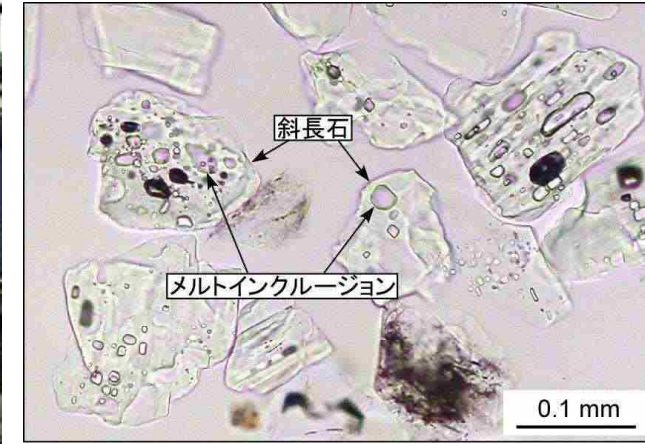
1) 処分孔等の湧水抑制対策・支保技術などの実証試験

➤ 湧水抑制対策技術

- ・大量湧水の原因となった粘土質せん断帯の分析の結果、粘土物質にメルトインクルージョンを含んでいることが判明
※ガラス状の物質。結晶中に取り込まれたマグマが噴火時に急冷してガラスとなったもの。火山灰に含まれる
- ・グラウトの浸透挙動について、浸透解析の結果と換気立坑で施工したグラウトによる岩盤の透水係数が整合



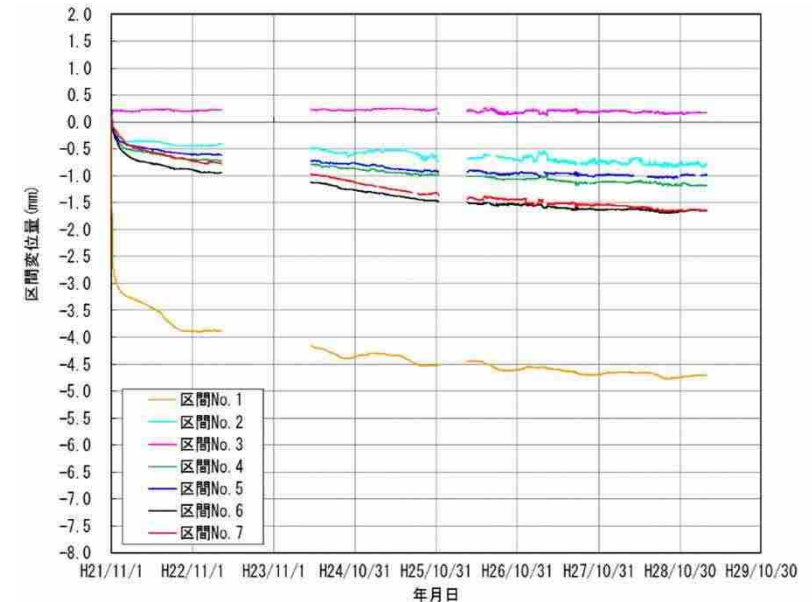
大量湧水発生状況 (深度350m)



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

➤ 支保技術

- ・立坑掘削前のパイロットボーリング孔の情報やグラウト施工情報を基に、覆工コンクリートの打設長を決定するフローを構築
- ・吹付コンクリート・鋼製支保工応力計測と、弾性波トモグラフィ調査を組み合わせた解釈により、長期的に岩盤と支保工の両方の安定性をモニタリングすることが可能になった
- ・光ファイバ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



光ファイバ式変位計による計測結果

必須の課題に関わる研究成果

(2) 処分概念オプションの実証

2) 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証研究

- 横置きPEM(Prefabricated Engineered Barrier System Module)方式の搬送定置・回収技術の実証試験
 - ・重量物搬送・定置のための要素技術(エアベアリング方式)の実証試験を実施し、有効性を確認
 - ・PEMと坑道の隙間の充填試験を実施し、有効性を確認



試験レイアウトイメージ



要素試験の実施状況



模擬PEMの設置状況



スクリー方式による埋め戻し材の施工 16

必須の課題に関わる研究成果

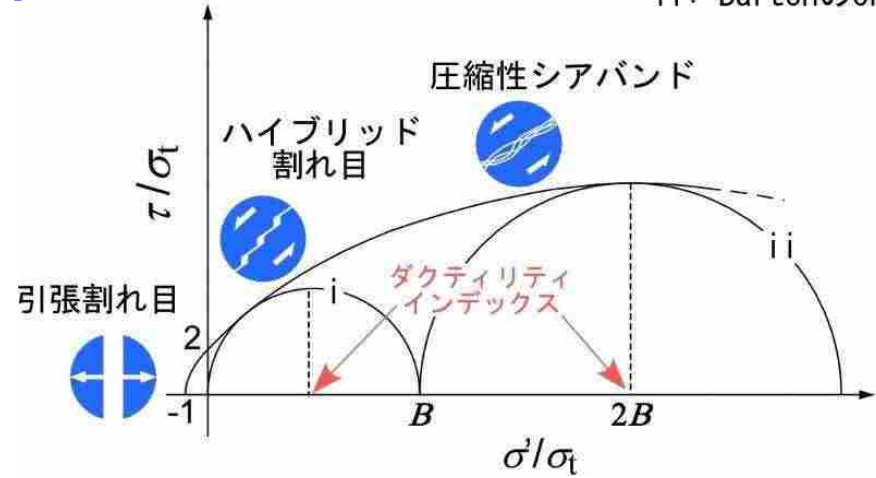
(3) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

1) 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

➤ 断層の変形様式(脆性的or延性的)を支配し得る岩石の強度・応力状態を表す指標を考案

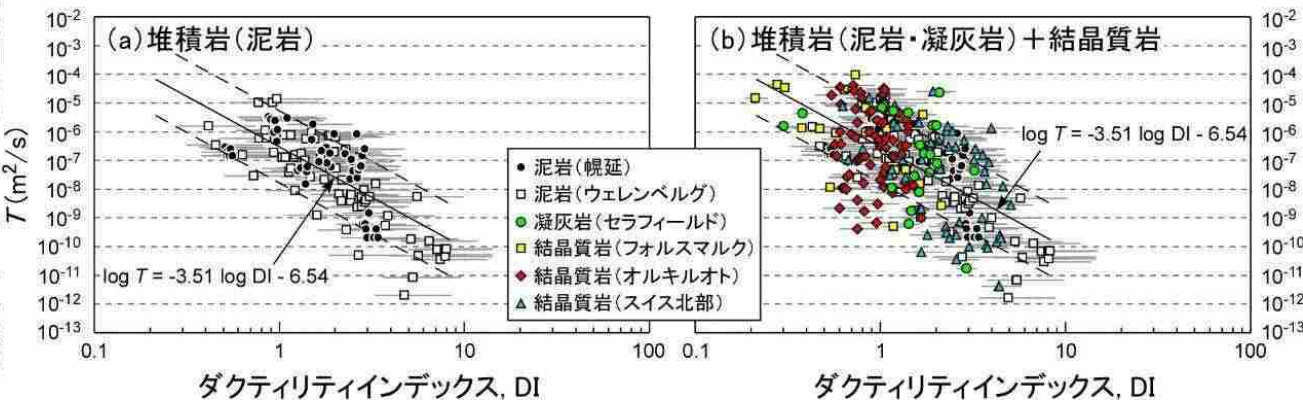
- ・引張強度で標準化したモール円の中心位置(ダクティリティインデックス:DI)が断層のダメージゾーンの変形様式と定量的な対応付けが可能であることを確認
- ・ダクティリティインデックスが断層の変形様式を支配し得る岩石の強度・応力状態を表す指標として有効である見通しを得た
- ・すなわち、地殻変動(応力状態の変化)に対する断層の透水性を予測できる見通しを得た

i: 一軸圧縮
ii: Bartonのcritical state

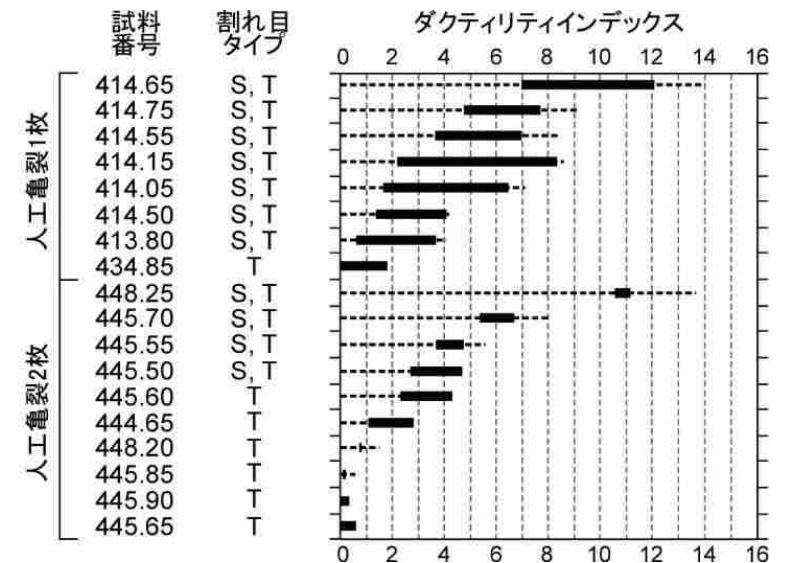


断層に作用する応力状態とダクティリティインデックスの関係

断層帯中の水みちの透水量係数



断層帯で検出された水みちの透水性とDIの関係



人工亀裂(断層面を模擬)を用いた破壊実験の結果(DIが2以下だと引張性割れ目のみが形成)

必須の課題に関する研究成果

(3) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

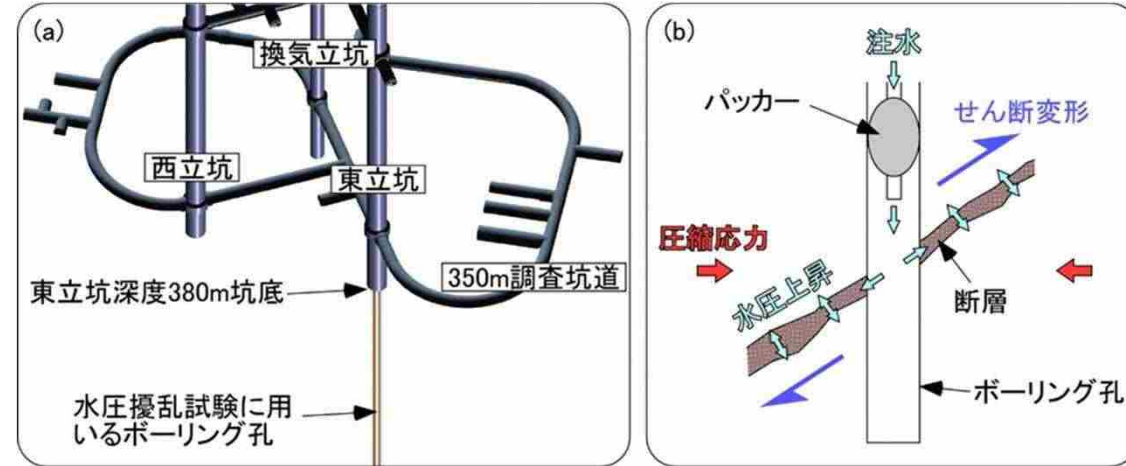
1) 水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化

➤ 水圧擾乱試験を実施し、モデルの有効性を検証

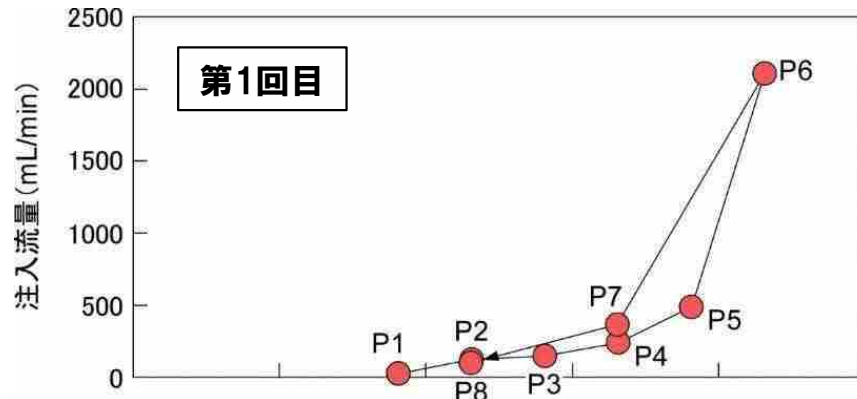
・水圧擾乱試験では、断層内の水圧を人工的に上昇させることによって断層内にせん断変形を誘発させ、それに伴う断層の透水性の変化を観測

※水圧を上昇させることは、隆起・侵食によって断層の深度が浅くなる（有効応力が低下する）現象を模擬

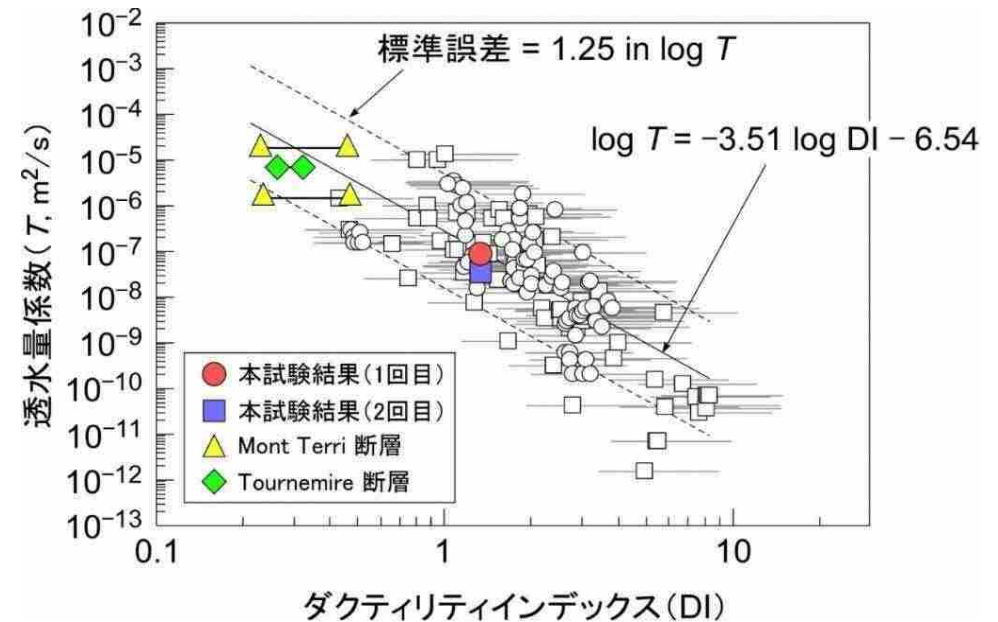
・水圧擾乱試験を行った結果、新たにせん断変形が起こったり、有効応力が低下したとしても、断層帯亀裂の透水性はDIの経験式の範囲を超えないことを確認



水圧擾乱試験の概要



水圧擾乱試験時における注入流量と試験区間の水圧との関係



ダクティリティインデックスの経験式と今回実施した水圧擾乱試験結果や他の既報データとの比較

必須の課題に関わる研究成果

(報告書、論文、学会発表、受賞)

年度	報告書	論文	学会発表	受賞
H27	14冊	4編	13件	3件
H28	12冊	11編	11件	2件
H29	12冊	9編	24件	3件
H30	7冊	24編	17件	2件
H31/R1	0冊	9編	0件	3件



Outstanding Reviewer賞

受賞リスト

- 日本原子力学会バックエンド部会 **論文賞**(平成27年度)
- 土木学会 **論文奨励賞**(平成27年度、28年度)
- 第13回 国際ガス地球化学学会議 **最優秀発表賞**(平成27年度)
- 2016年度土木学会 **土木情報学論文賞**(平成28年度)
- 資源・素材学会 **第43回奨励賞**(平成29年度)
- 第14回国際ガス地球化学学会議 **優秀ポスター賞**(平成29年度)
- エルゼビア学術誌 **Outstanding Reviewer賞**(平成29年度、30年度)「Engineering Geology」、「Journal of Structural Geology」、「Applied Geochemistry」
- 土木学会 **技術賞**(IIグループ)(平成30年度)
- 日本地下水学会講演会 **若手優秀講演賞**(平成31年度)
- Waste Management 2019 **Superior Paper Award** および **Paper of note**(平成31年度)



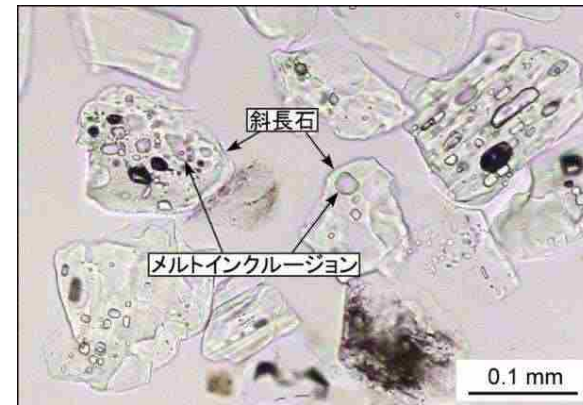
土木学会 技術賞

必須の課題に関わる研究成果

(プレス発表)

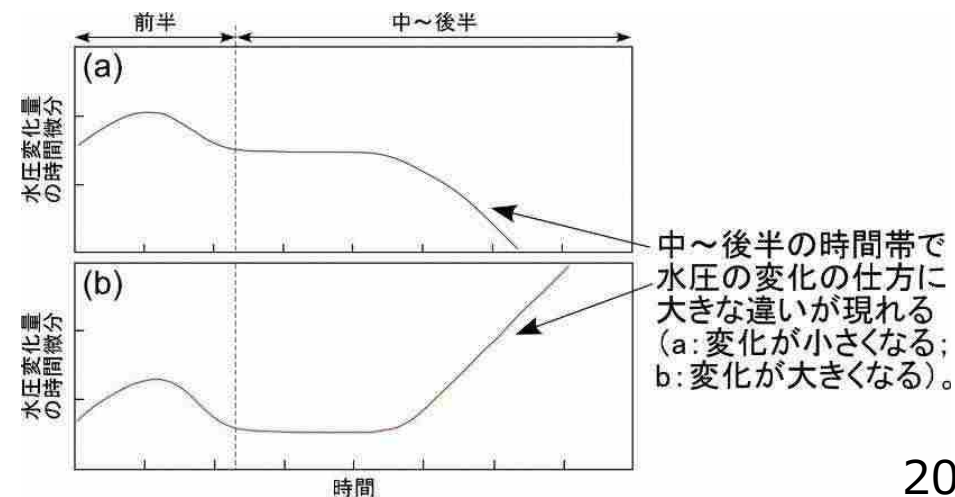
- 湧水対策が困難な地質構造を地上から把握する方法を開発
—火山灰層起源の粘土質せん断帯の検出・追跡に世界で初めて成功— (平成29年10月13日) NHKで放映

- ・坑道掘削において粘土質せん断帯から流出した粘土物質に、マグマが噴火時に急冷してガラスとなった物質(メルトインクルージョン)が多く含まれていることを発見。
- ・火山灰層起源の粘土質せん断帯の拡がりを数キロにわたって追跡することに、世界で初めて成功。
- ・今回適用した分析手法は、火山灰層起源の粘土質せん断帯の存在や分布を地上からのボーリング調査などから把握する際に役立つと期待。

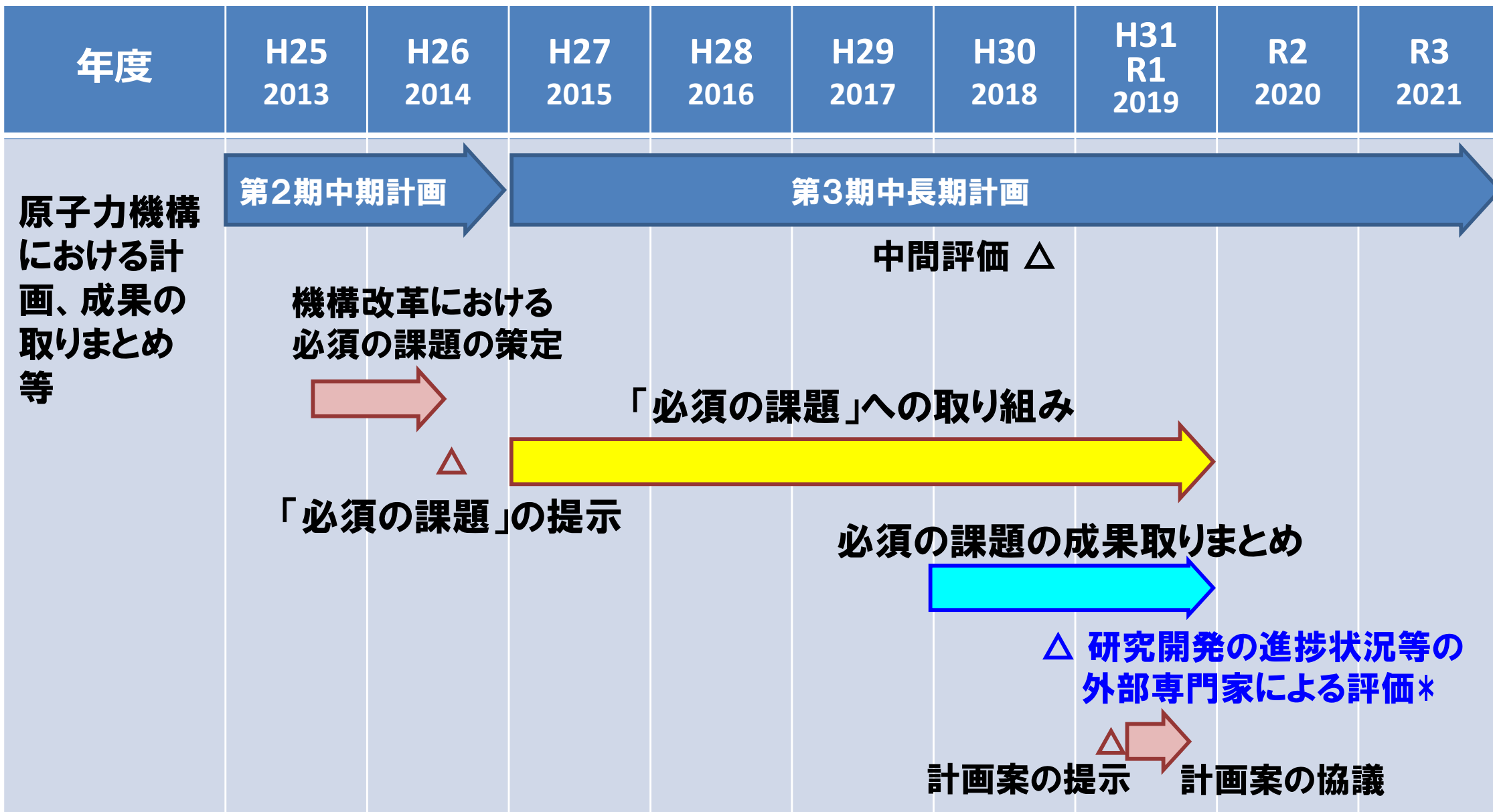


- 地下深くの亀裂の連結性を地上から評価する方法を開発
—地層処分の候補地選定に係わる調査技術に大きな進展— (平成30年5月18日) 北海道新聞で紹介

- ・地下深くの亀裂の連結性について、水圧挙動の特性など従来から知られている知見を融合させた新たな評価方法を考案。
- ・複数の地層に適用し、その高い実用性を確認。
- ・本研究の成果は、地層処分の候補地選定に係わる調査に役立つだけでなく、地層の亀裂中に貯留する資源の探査などへの応用も期待。



計画、成果の取りまとめと外部専門家による評価



*外部専門家による評価

「地層処分研究開発・評価委員会」及び「深地層の研究施設計画検討委員会」

「地層処分研究開発・評価委員会」の評価結果（抜粋）

【総括】

全体として概ね適切に研究が遂行され、当期5カ年の目標を達成できたと評価します。今後は、技術の確立が可能な水準に達するまで、人工バリア性能確認試験および処分概念オプションの実証に関する試験を継続するとともに、本地下研究施設を最先端の地層処分技術を実証するプラットフォーム（共通基盤）として国内外の関係者に広く活用されることを期待します。

【個別課題についての今後の期待】

【実際の地質環境における人工バリアの適用性確認】

今後は、人工バリア性能確認試験を継続し、人工バリア内の過渡的な現象を再現する予測モデルの妥当性を検証するとともに、得られた研究成果を余す所無く国内外の論文等に公表し、海外の先行URLと比肩しうる先進的な試験サイトとして広く世界にアピールすることを期待する。

【処分概念オプションの実証】

今後は、プレハブ式人工バリアモジュール（PEM：Prefabricated Engineered Barrier System Module）を用いた搬送定置・回収技術で計画されている試験の内、まだ実施されていない隙間充填材やPEMの回収試験を着実に実施することを期待する。また、光ファイバーを用いたモニタリング技術や塩水環境下のグラウト材・工法に関する継続的な検討に加え、地層処分事業等において実用性のある形での知識の蓄積、技術の継承が望まれる。

【地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の実証】

今後は、堆積岩他地域や結晶質岩への展開・比較、地層処分事業における処分場の設計・施工や安全評価とリンクした形での指標活用に向けた具体化を期待する。

今後の研究課題を設定するにあたっての背景

【国内】

- 特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針
 - ⇒ 研究の重要性
- エネルギー基本計画
 - ⇒ 可逆性・回収可能性の担保
- 放射性廃棄物WG（国の審議会）
 - ⇒ 科学的特性マップ・・・沿岸部
- 沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会（国の研究会）
 - ⇒ 沿岸部海域における調査・評価技術の適用性確認および事例の蓄積 等
- NUMOの包括的技術報告書（レビュー版）
 - ⇒ 実施主体としてのニーズ

【海外】

- 処分事業が進んでいるフィンランドの取り組み
 - ⇒ 実施主体ポシバ社の、処分場建設許可段階のセーフティケースに関する規制機関(フィンランド：STUK) のレビュー報告書に示された操業許可申請に向けた課題との対比

今後の研究課題を設定するにあたっての背景

① 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

現象の再現性（外部委員会の評価）

複雑系の評価（外部委員会の評価と研究の進展）

② 処分概念オプションの実証

オプションのバリエーション（外部委員会の評価）

個別技術の体系化（海外の動向）

③ 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

評価パラメータの一般化（外部委員会の評価）

様々な現象への応用（外部委員会の評価）

※NUMOの包括的技術報告書の課題と整合していることを確認

※幌延で研究開発を実施する必要性の再確認

地下施設を有する幌延での研究開発の必要性

実際の地質環境における試験の必要性

- 地下深部は、高い圧力、低酸素などの条件下で地下水や地層が存在しており、地上の環境とは大きく異なります。すなわち、様々な要素が複雑に関係して地下の環境は成り立っています。このような環境下で地下水の流れや物質の移動、それらに対する微生物やコロイドの影響度合い、更には設置した人工物の機能はコントロールされます。
- 一方、地上における試験では、ある限られたパラメータをコントロールした予察的な試験や特定のプロセス・現象の理解には有効ですが、上記のような地下の環境全体を再現した試験は困難です。さらには、同環境下で実際の処分スケール（例えば幌延の人工バリア単体での性能確認試験は、(W)5m×(H)10m×(L)5m）の試験を地上において実施するのも困難です。
- したがって、地上の試験と並んで、地層処分システムの信頼性の向上の検証には実際の地質環境下およびスケールでの試験が必要不可欠です。

幌延の地質環境特性

- わが国の地質環境は、海外の安定大陸と比較すると、割れ目の発達や地層の侵食、隆起・沈降など、様々な変動履歴を有しています。
- 幌延は、わが国を代表する岩種の一つである多孔質な岩石が分布していると同時に、この地質環境の特徴を有しています。
- すなわち、地殻変動に伴い発達した地質構造（断層や亀裂）や、過去の海水準変動の影響による沿岸域に特徴的な地形や高塩分濃度地下水の分布が認められます。
- わが国での地層処分システムの信頼性の向上に資するために、このような地質環境を有する場所で研究開発を進めることは重要です。

以上のことに加え、データ、知識、技術、人材が蓄積されている幌延において研究開発を実施することにより、合理的かつ効率的に信頼性の高い技術基盤の整備が可能です。

これまでの必須の課題の成果と今後の研究課題

必須の課題		主な成果（～令和元年度末）	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	1.人工バリア性能確認試験	湧水がある実際の環境下で人工バリアを施工できることを確認するとともに、加熱時の緩衝材の挙動に関するデータ取得を終了。連成解析で現象を再現	減熱時の緩衝材の挙動に関するデータを取得するとともに、施工した人工バリアの解体および緩衝材の飽和度の確認を実施
	2.オーバーパック腐食試験	実際の地下環境でオーバーパック腐食試験を行い、解体調査を実施。これまでの地上での腐食試験結果の妥当性を確認	(令和元年度で研究を終了)
	3.物質移行試験	堆積岩の健岩部（緩衝材の有無を含む）および割れ目・断層を対象とした物質移行試験の手法を確立	
② 処分概念オプションの実証	1.処分孔等の湧水対策・支保技術などの実証試験	堆積岩に対して、処分孔掘削技術、湧水抑制技術、支保技術等の有効性を確認	(令和元年度で研究を終了)
	2.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	処分坑道横置き定置方式について、エアベアリングを用いた搬送定置・回収技術等の要素技術を実証	施工方法、プラグの有無、回収方法に応じた埋戻材の特性把握
	3.高温(100℃超)などの限界的条件下での人工バリア性能確認試験	100℃超の高温環境下における人工バリアの閉じ込め機能を確認する研究に関する机上検討	廃棄体の設置方法等の処分技術の実証実験 緩衝材が100℃超になった状態を想定した解析手法の開発
③ 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証	1.水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化	堆積岩の緩衝能力を表現できるパラメータを提案。第一段階として、小規模な断層（幅数cm）で試験を行い、地震動が断層の透水性に与える影響等を確認	より大型の断層に展開して、地震動の影響等を把握
	2.地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験	地震や断層活動に起因する岩盤の損傷により、人工バリアの自己治癒能力（ひび割れの修復）を確認する研究の机上の検討	地下水が動いていない領域を調査する技術の実証 人工バリアのひび割れに対する自己治癒能力を解析する手法の開発

令和2年度以降の幌延深地層研究計画（案）

令和2年度以降の幌延深地層研究計画（案）

1. はじめに

- 国の政策における位置づけ
- 機構の第3期中長期計画の記載
- 研究開発の経緯、外部評価、今後の計画立案
- 当初計画「深地層研究所（仮称）計画」との関係

2. 必須の課題と研究成果に対する評価について

- 設定した必須の課題
- 研究成果
- 「地層処分研究開発・評価委員会」の評価結果

3. 今後の進め方について

- 研究課題と研究期間
- 研究終了後の扱い
- 研究協力・人材育成・資金
- 北海道および幌延町との協定

はじめに

➤ 国の政策における位置づけ

「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」（平成27年5月）

「国及び関係研究機関は、最終処分の安全規制・安全評価のために必要な研究開発、深地層の科学的研究等の基盤的な研究開発及び最終処分技術の信頼性の向上に関する技術開発等を積極的に進めていくものとする」

「エネルギー基本計画」（平成30年7月）

「我が国としても、科学的知見の蓄積を踏まえた継続的な検討を経て、地層処分することとされている。他方、その技術的信頼性に関する専門的な評価が国民に十分には共有されていない状況を解消していくことが重要である」

➤ 機構の第3期中長期計画の記載

- ・ 必須の課題に重点的に取り組む
- ・ 平成31年度末までに研究終了までの工程やその後の埋め戻しについて決定する

➤ 研究開発の経緯、外部評価、今後の研究課題の検討

今後の研究課題について、以降、説明

➤ 当初計画「深地層研究所（仮称）計画」との関係

今後の研究課題は、「深地層研究所（仮称）計画」の範囲内において実施

今後の研究課題

1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

1.1 人工バリア性能確認試験

これまでの人工バリア性能確認試験では、実際の地下環境における加熱・注水時のデータを取得しましたが、浸潤時・減熱時のデータが取得されていません。今後は、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を取得します。その後、減熱時のデータを取得します。加えて、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します。

1.2 物質移行評価手法の高度化

これまでの研究結果から、幌延の堆積岩において、微生物や有機物が、放射性物質の岩盤への吸着を妨げ、閉じ込め効果を低下させる可能性が確認されており、今後は、確立した試験手法を用いて掘削影響領域での物質移行に関するデータ取得を実施するとともに、有機物や微生物が放射性物質を取り込んで移動する影響が限定的であることを確認するためのトレーサー試験を実施します。

今後の研究課題

2. 処分概念オプションの実証

2.1 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

これまでの試験では、実際の環境下において、坑道の埋め戻し方法の違い（締固め、ブロック方式等）による埋め戻し材の基本特性（密度や均一性）を把握しましたが、緩衝材の施工方法や坑道閉鎖に関する様々なオプションの検討には至っていません。今後は、注入する地下水の圧力や量を増加させ、緩衝材に十分に水を浸潤させた状態を確保して施工方法（締固め、ブロック方式等）の違いによる緩衝材の品質の違いを把握するとともに、埋め戻し方法（プラグの有無等）・回収方法による埋め戻し材の品質の違いを実証試験で明らかにします。

2.2 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

人工バリアシステムの安全裕度の検証に向けて、緩衝材が100℃超になった状態を想定した解析手法を開発します。

2.3 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

人工バリアの品質を踏まえて、廃棄体の設置方法（間隔など）を実証試験で確認します。

今後の研究課題

3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

3.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

これまでの検討では、まずは小規模な断層（幅数cm）に着目し、試験を行い、断層への地震動の影響などを確認しました。これまでの研究開発で手法の妥当性が確認できたため、この手法を使って、処分場の設計・施工や安全評価とリンクした形で研究を進めることが可能となりました。今後は、より大型の断層における地震動や坑道掘削に伴う、割れ目における地下水の流れの変化に関して、堆積岩の緩衝能力（自己治癒能力）の作用に関する実証試験を実施します。

3.2 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

人工バリアのひび割れに対する自己治癒能力を解析する手法を開発します。

3.3 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

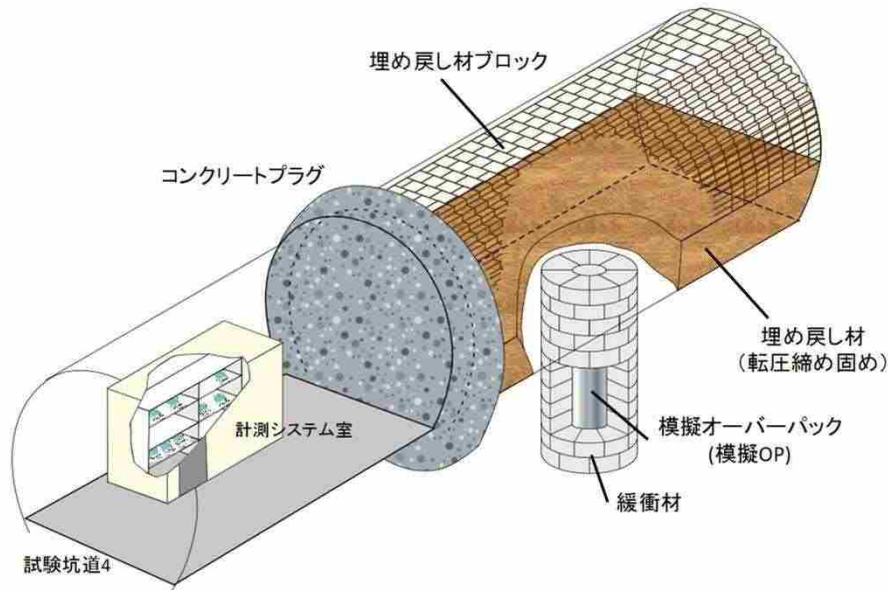
地下水が動いていない環境を調査してモデル化する技術を実証します。

1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

1.1 人工バリア性能確認試験

【実施概要】

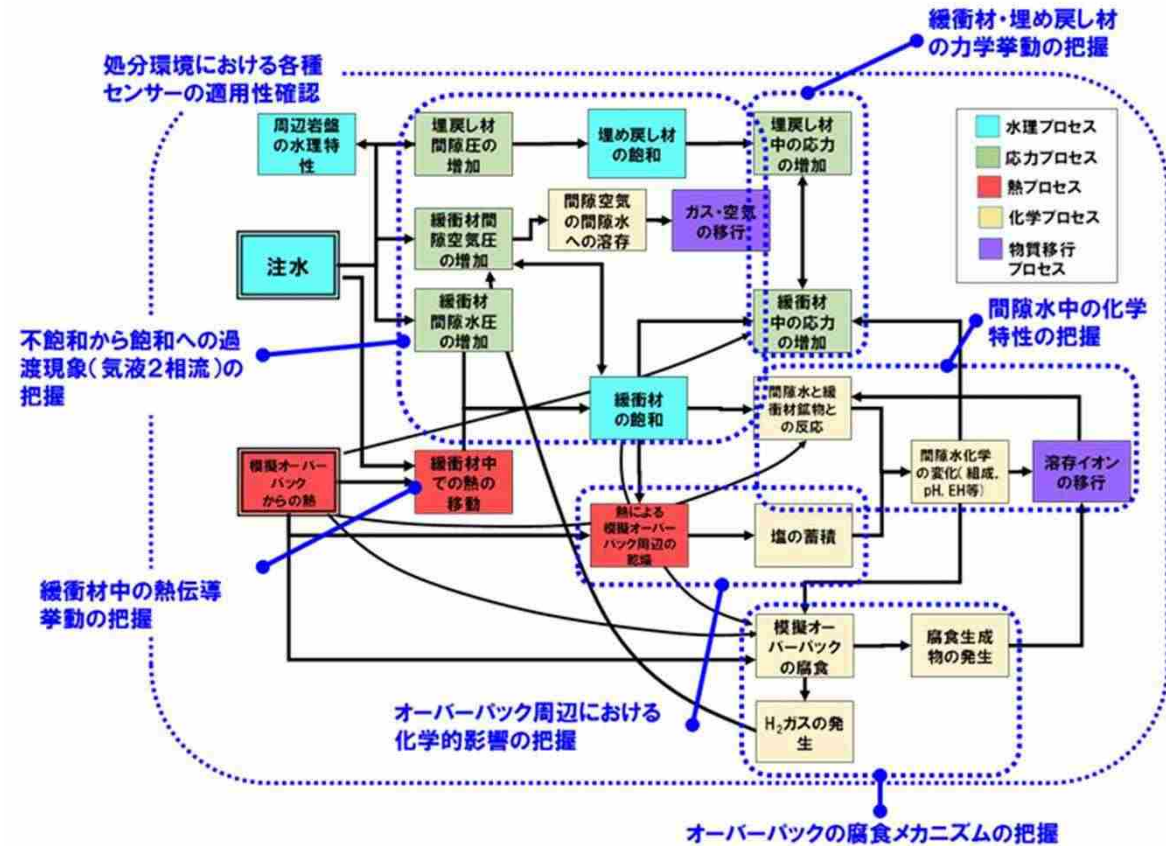
- 減熱試験及び解体調査による飽和度等の検証データ取得、連成モデルの適用性確認
- 国際プロジェクトにおける解析コード間の比較検証、改良・高度化



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



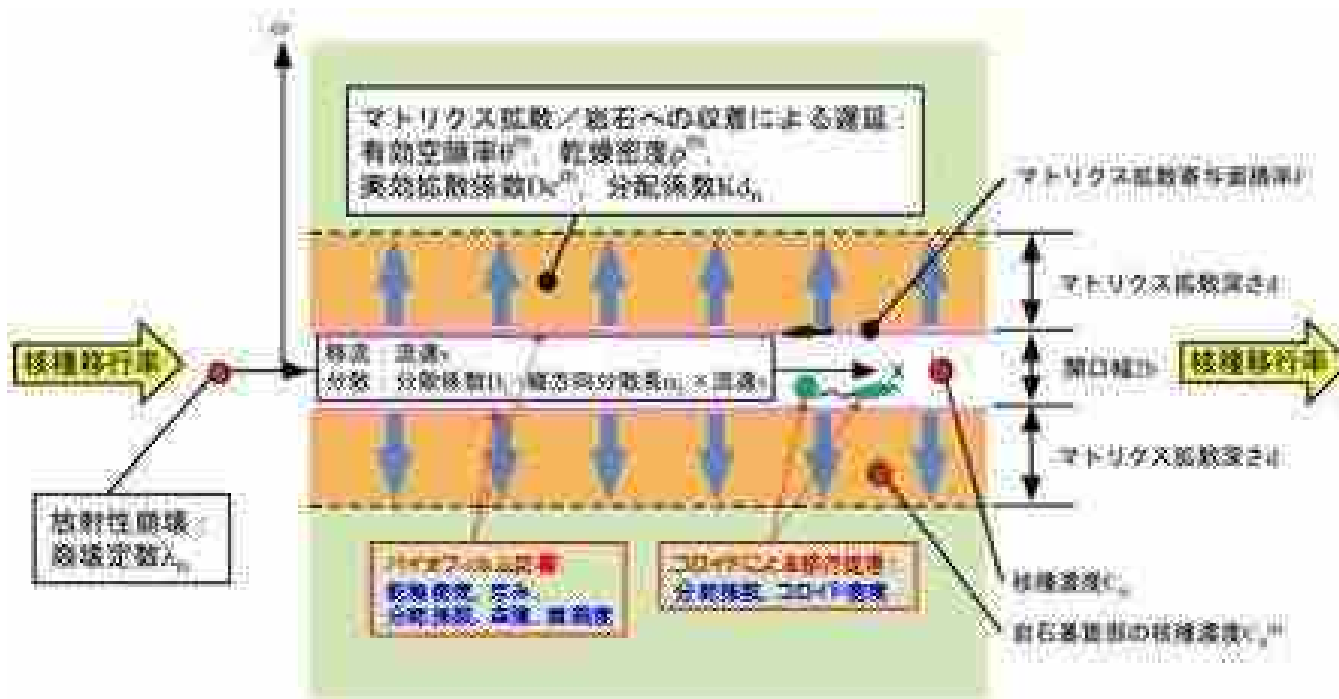
人工バリア性能確認試験で考慮する複合現象

1. 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

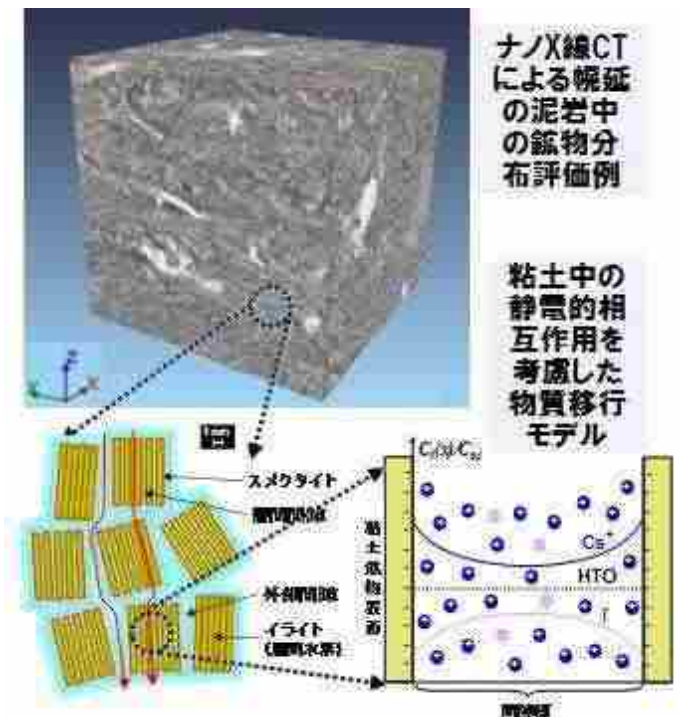
1.2 物質移行評価手法の高度化

【実施概要】

- 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~100規模)における遅延性能評価手法の整備
- 有機物、微生物、コロイドの影響を考慮した物質移行モデル化手法の高度化



コロイド及びバイオフィーム影響を考慮した一次元平行平板モデルの概念図



室内試験による拡散データ取得とモデル化

2. 処分概念オプションの実証

2.1 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

【実施概要】

- 人工バリアの緩衝材と坑道の埋め戻し材の施工方法の違いに係る品質保証体系の構築
- 搬送定置・回収技術の実証(緩衝材や埋め戻し材の状態に応じた除去技術の技術オプションの整理、回収容易性を考慮した概念オプション提示、回収維持の影響に関する品質評価手法の提示)
- 閉鎖技術(埋め戻し方法:プラグ等)の実証



緩衝材の除去技術



オーガー掘削による隙間充填材の除去



ウォータージェットによる除去試験

除去技術オプションの整理



スクリー方式による埋め戻し材の施工



切り欠きの掘削とプラグの施工例



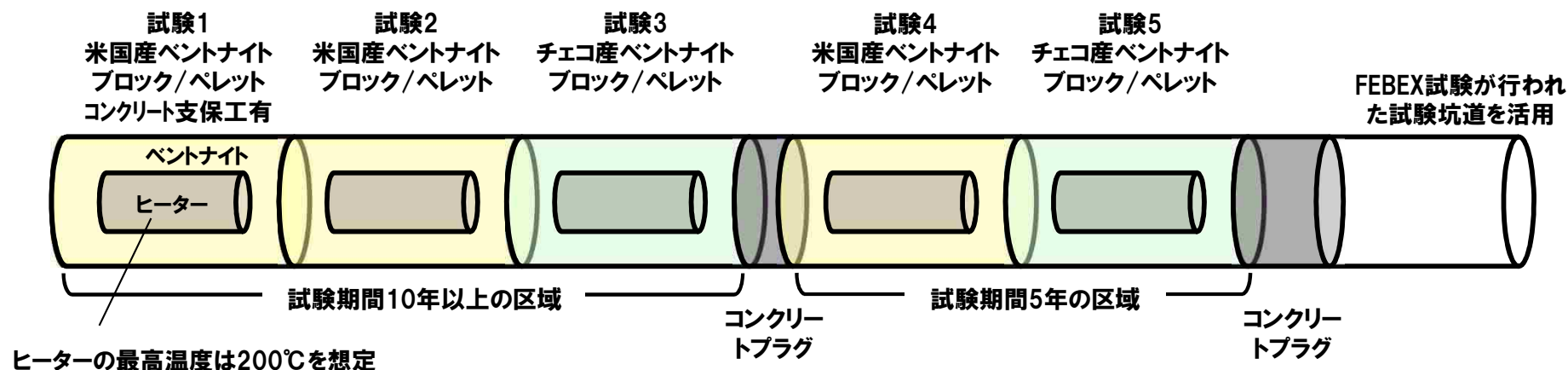
閉鎖技術オプションの整理

2. 処分概念オプションの実証

2.2 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

【実施概要】

- 100℃超時のニアフィールドにおいて発生する現象の整理
- ニアフィールドにおける上限温度設定の考え方を提示
(国際プロジェクト情報を収集し、発生する現象の整理に反映)



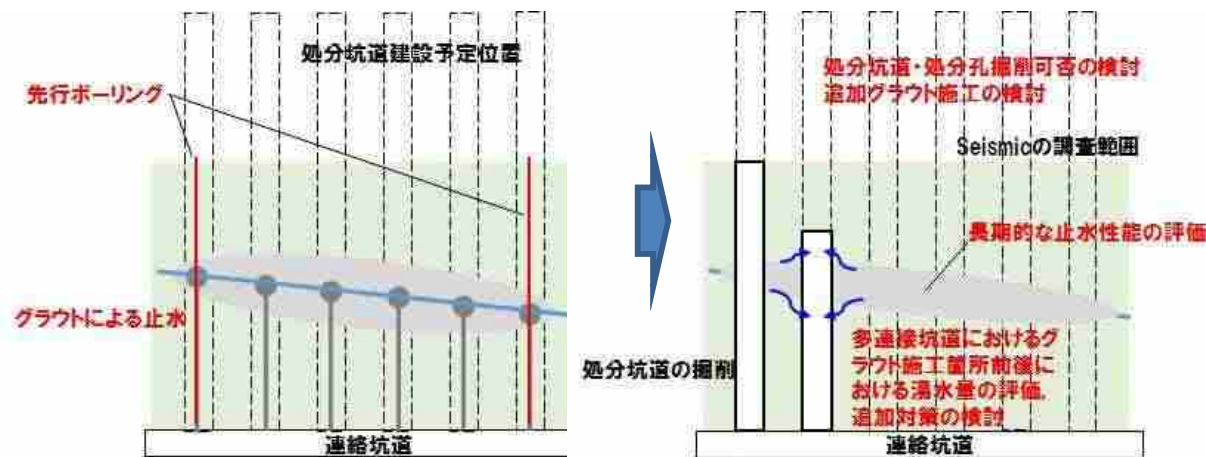
国際プロジェクトHotBENT試験の概要

2. 処分概念オプションの実証

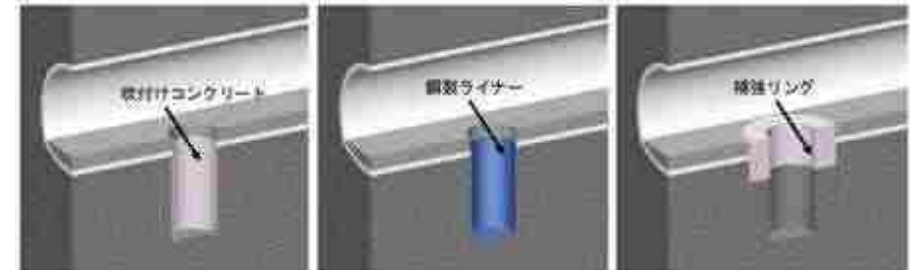
2.3 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化

【実施概要】

- 先行ボーリングによる地質環境特性調査ならびに工学的対策技術を考慮した、地下施設及び人工バリアの設計評価技術の体系化
- 多連接坑道を考慮した湧水抑制対策技術及び処分孔支保技術の適用事例の提示、緩衝材流出・侵入現象評価手法及び抑制対策技術の提示
- 廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要な情報の整理



設計評価、工学的対策の検討イメージ



支保工設計と適用事例



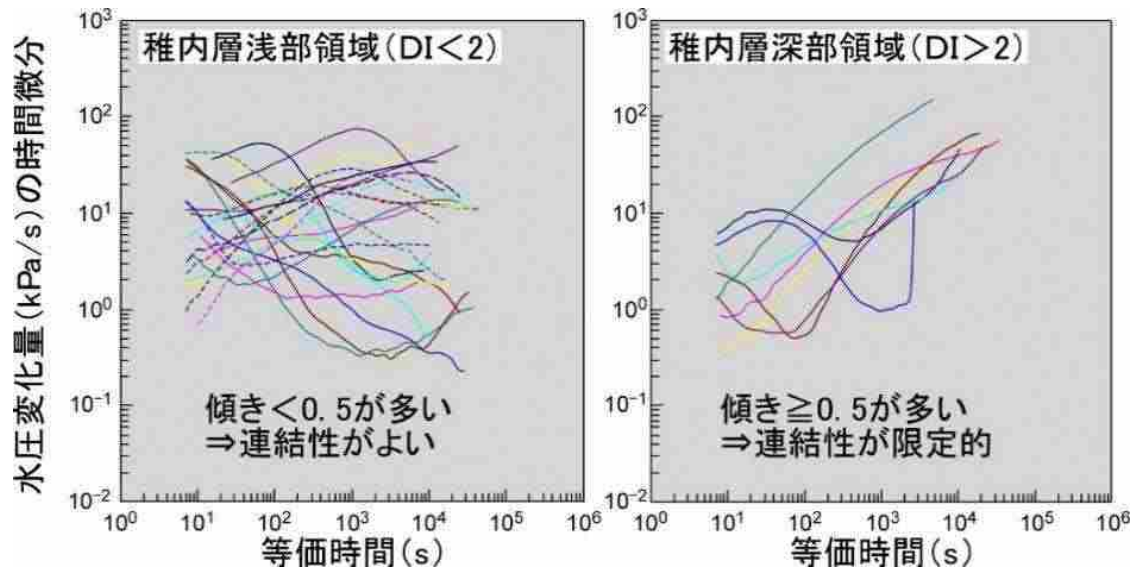
定置位置決定特性の考え方の整理

3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

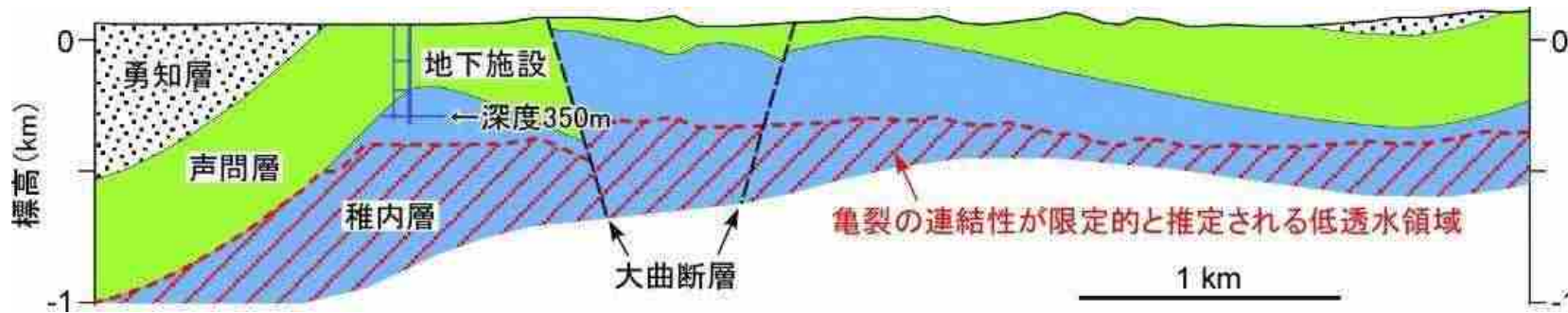
3.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

【実施概要】

- DIを用いた透水性評価の信頼性向上・隆起侵食の影響評価手法の構築
- 水圧擾乱試験による断層の活動性評価手法の構築



透水試験の詳細解析⇒DI>2で連結性限定的



亀裂の不連結性の評価⇒稚内層のDI>2が連結性限定的

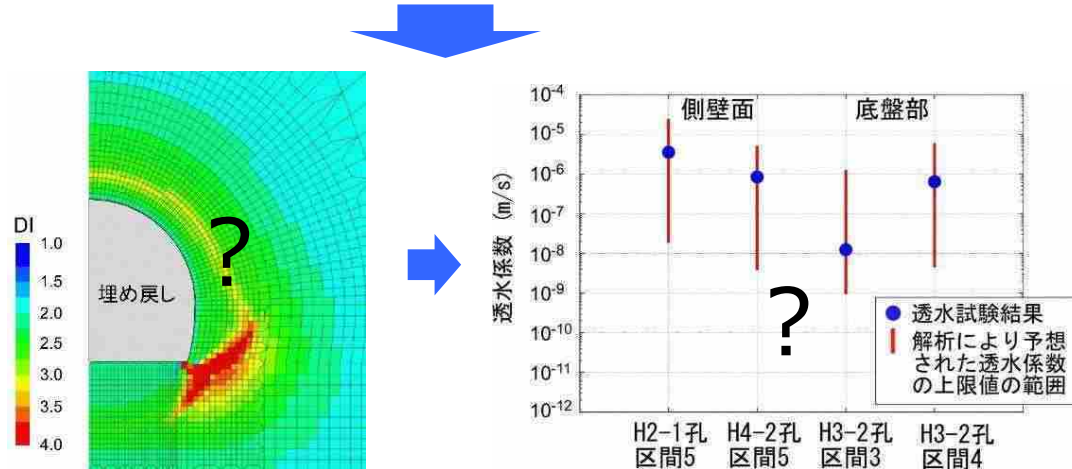
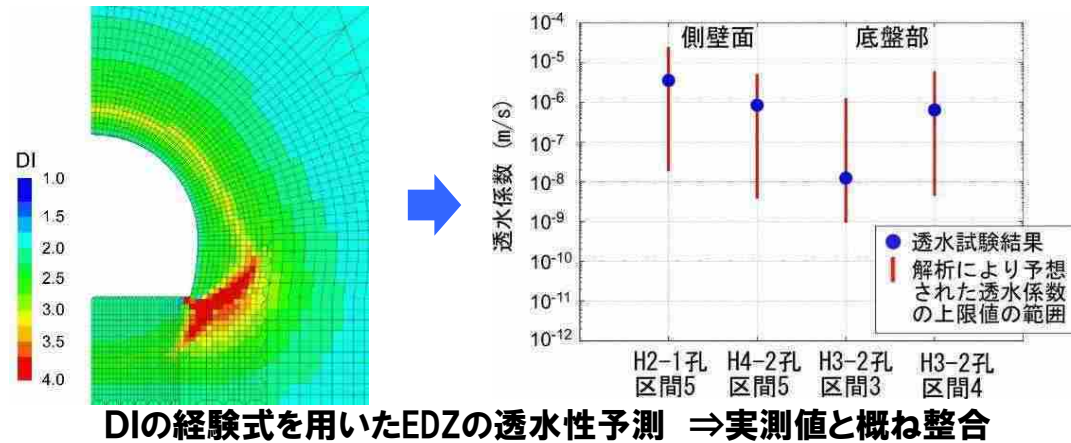
亀裂の不連結性のDI依存性

3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

3.2 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

【実施概要】

- 緩衝材膨潤や埋め戻しに伴う掘削影響領域(EDZ)の緩衝能力を解析する手法の開発
 - DIを用いたEDZの透水性を予測する既存モデルの再検証
 - 坑道埋め戻し後のEDZの透水性を予測するモデルの構築

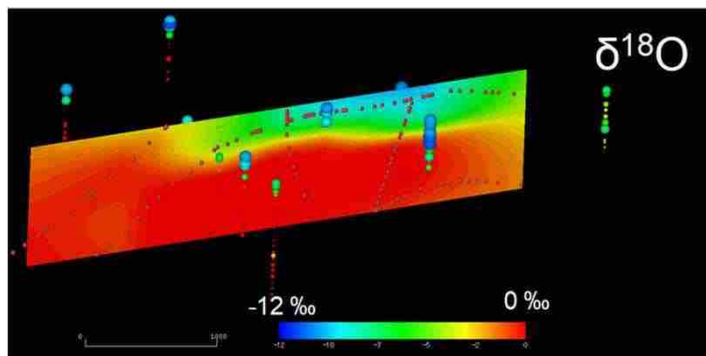
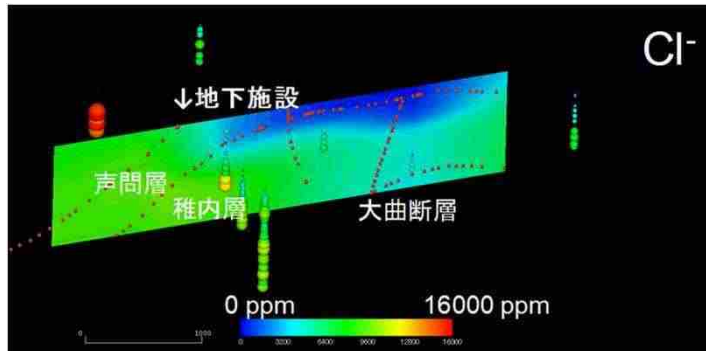


3. 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

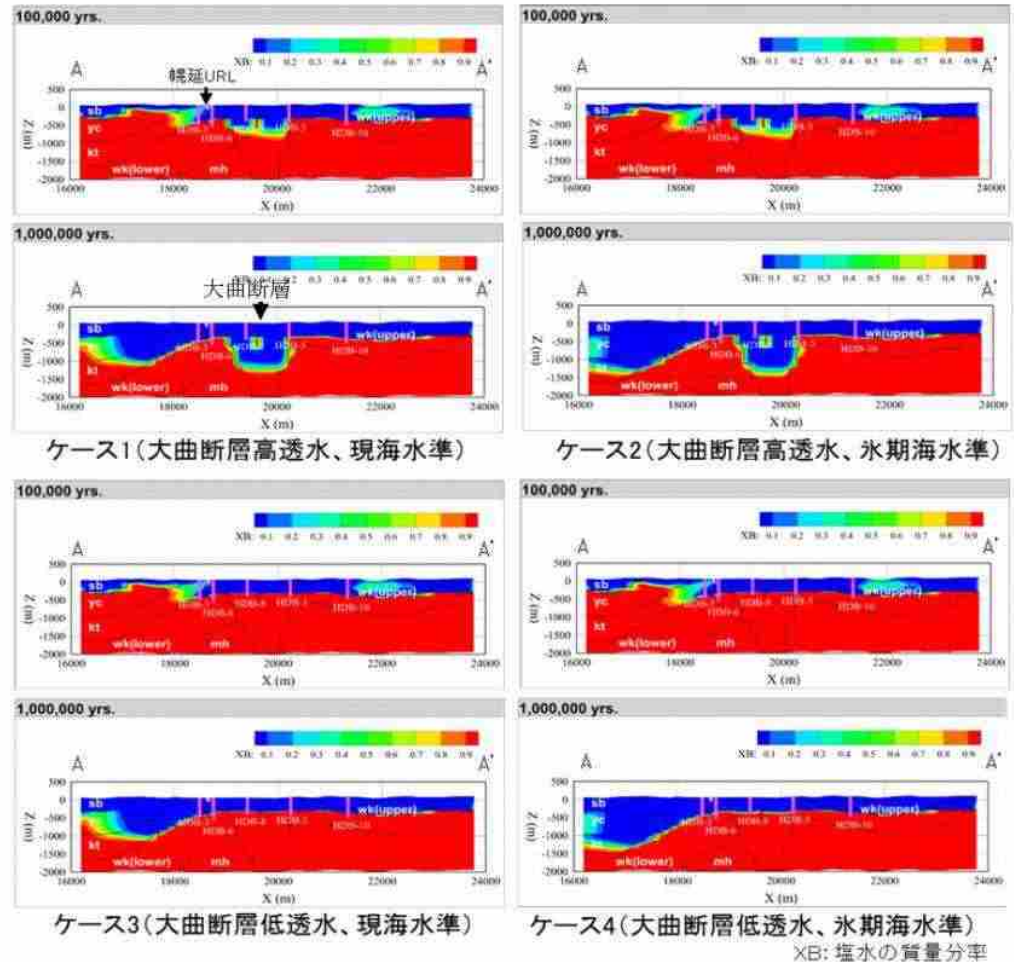
3.3 地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化

【実施概要】

- 化石海水の三次元分布に係る調査・評価手法の高度化
- 広域スケールを対象とした水理・物質移動評価手法の高度化(地下水滞留時間評価のための水理解析、塩分濃度分布評価のための水理・物質移動解析)



地下水のCl⁻及びδ¹⁸O分布の推定例



ケース1(大曲断層高透水、現海水準) ケース2(大曲断層高透水、氷期海水準)
 ケース3(大曲断層低透水、現海水準) ケース4(大曲断層低透水、氷期海水準)
XB: 塩水の質量分率

塩分濃度分布評価のための水理・物質移動解析の例

今後の進め方について

➤ 研究課題、研究期間、研究終了の扱い

これらの研究課題については、令和2年度以降、第3期及び第4期中長期目標期間を目途に研究開発に取り組みます。

※第3期中長期目標期間：平成27年度～令和3年度

第4期中長期目標期間：令和4年度～令和10年度

➤ 前半の取り組み：

必須の課題のうち、継続的な課題への対応に3～5年程度を想定

➤ 後半の取り組み：

必須の課題のうち、継続的な課題の成果をふまえて体系化して取り組む課題で5年程度を想定

国内外の技術動向を踏まえて、地層処分の技術基盤の整備の完了が確認できれば、埋め戻しを行うことを具体的工程として示します。

今後の進め方について

➤ 研究協力・人材育成・資金

当初の計画の研究対象の範囲内において、国内外の関係機関の資金や人材を活用することを検討します。

※当初の計画：深地層研究所（仮称）計画（平成10年10月）
研究対象の範囲内：地層科学研究・地層処分研究開発

➤ 北海道および幌延町との協定

幌延深地層研究センターでは、これまでどおり、北海道および幌延町との協定を遵守するとともに、安全確保を第一に調査研究を進めていきます。

參考資料

幌延町における深地層の研究に関する協定書（抜粋）

平成12年11月：科学技術庁原子力局長立会いの下、サイクル機構と北海道及び幌延町との間で「幌延町における深地層の研究に関する協定（三者協定）」を締結

- 第2条：丙は、研究実施区域に、研究期間中はもとより研究終了後においても、放射性廃棄物を持ち込むことや使用することはしない。
- 第3条：丙は、深地層の研究所を放射性廃棄物の最終処分を行う実施主体へ譲渡し、又は貸与しない。
- 第4条：丙は、深地層の研究終了後は、地上の研究施設を閉鎖し、地下施設を埋め戻すものとする。
- 第5条：丙は、当該研究実施区域を将来とも放射性廃棄物の最終処分場とせず、幌延町に放射性廃棄物の中間貯蔵施設を将来とも設置しない。
- 第6条：丙は、積極的に情報公開に努めるものとする。
- 第7条：丙は、計画の内容を変更する場合には、事前に甲及び乙と協議するものとする
- 第10条：丙は、深地層の研究に当たっては、雇用その他を地元優先で行うなど地域振興に積極的に協力するものとする。

※丙：日本原子力研究開発機構（締結当時は、核燃料サイクル開発機構）

地域との交流と理解活動



「国際交流施設」(平成21年10月17日開館)
地域への説明会, 国内外の研究機関との会議等を開催



「ゆめ地創館」(平成19年6月30日開館)
地下深部での研究内容を紹介
* 地下施設の工事状況等をリアルタイムでご覧いただけます。



「一般施設見学会」
冬期を除き毎月開催



「青少年のための科学の祭典
ほろのべ大会」
(平成30年10月20日開催)

ゆめ地創館の来館者数

- 平成28年度・・・ 7,635名
- 平成29年度・・・ 7,891名
- 平成30年度・・・ 7,433名
- 累計・・・ 110,038名 (H31.3月末現在)

主な見学者

- 一般(地域の方々など)
- 自治体関係者
- 電気事業関係者
- 国内外の研究機関及び学会関係者
など

用語解説 (ページ順に記載)

地層処分システム【p.6】

適切な地質環境の下に多重バリアシステム（オーバーパック・緩衝材などの人工バリアと天然の地層である天然バリア）を構築することで、処分された高レベル放射性廃棄物による影響が将来にわたって人間とその生活圏に及ばないようにするための仕組み。

トレーサー試験【p.6】

岩盤や割れ目を対象として、染料やその他の薬品（放射性同位体など）を混ぜた水を流し、地下水の流れる方向や流れる時間、流速などを調べるための試験のこと。

堆積岩の緩衝能力（自己治癒能力）【p.8】

地殻変動（隆起浸食）や地震動の影響により擾乱を受けた断層や割れ目が、時間経過とともに元の状態に戻ろうとする能力のこと。

精密調査【p.9】

地層処分場のサイト選定段階のうち、最終段階にあたる処分施設建設地選定のための調査。地表からさらに詳細な調査を行うとともに、地下に調査施設を建設して、地下の特性などを調べるための調査を行う。

水圧擾乱試験【p.9】

一時的な水圧上昇が割れ目の水理特性に与える影響を確認するために、通常よりも高い注入圧を設定して実施する透水試験のこと。

グラウト【p.15】

岩盤中の割れ目等に対して、止水や弱部の補強を目的としてセメント等の固結材を注入する工法。

PEM（プレハブ式人工バリアモジュール）【p.16】

鋼製容器の中に人工バリアであるオーバーパックや緩衝材を設置し、一体化したもの。

ダクティリティ・インデックス（DI）【p.17】

岩石の強度・応力状態を示すために新たに定義した指標であり、この値が高いほど、岩石は見かけ上、やわらかくなる。岩盤にかかる平均有効応力（岩石に実際にかかる平均的な負荷応力）をその片が部の引張強度（岩石の引張破壊に対する強度）で除した値で定義される。

可逆性・回収可能性【p.23】

最終処分場に定置した廃棄物を、一定期間、回収可能な状態に維持し、その間、最終処分に関する意思決定を見直すことを可能とする考え方のこと。

コロイド【p.25】

大きさが1nm～1μmの粒子が水などの液体中に浮遊し、容易に沈まない状態のこと。

用語解説 (ページ順に記載)

掘削影響領域 (EDZ) 【p.26】

岩盤が掘削の影響を受け、初期の性質から変化する領域のこと。具体的には、地下空洞掘削時の周辺岩盤に生じる応力集中の影響で坑道周辺岩盤に割れ目が発達することにより、岩盤の変形特性の変化や透水性の増大が予想される領域や、空気の侵入により地下水の酸化還元電位などの化学的な変化が生じることが想定される領域のこと。

プラグ 【p.26】

坑道の間中部や端部をふさぐために設置される構造物。埋め戻し材や緩衝材の流出を防ぐことや、水の通りやすい経路を分断することなどを目的として設置する。

減熱試験 【p.33】

人工バリア性能確認試験において、緩衝材に地下水を十分に浸潤させることを目的としてヒーターの温度を下げ、緩衝材の飽和度の変化を確認する試験のこと。

連成モデル 【p.33】

地下環境に設置された廃棄体の周辺の緩衝材や岩盤には廃棄体からの熱、地下水との反応、岩盤から（または岩盤へ）作用する応力、化学的な変化などによる影響が懸念される。実際の処分環境では、これらの影響が複合的に発生するため、その現象を解明するために構築するモデルのこと。

遅延性能 【p.34】

岩盤や割れ目中の物質の移行に際し、岩盤内部への物質の拡散や収着によって、物質の移行が遅延する性能のこと。

ニアフィールド 【p.36】

人工バリアと、その設置などにより影響を受けると考えられる人工バリア近傍の岩盤とを合わせた領域のこと。

地質環境特性調査 【p.37】

坑道を掘削する前に既存割れ目や断層の分布や岩盤の強度・変形特性、湧水量、地下水圧等のデータを取得する調査のこと。

工学的対策技術 【p.37】

坑道や処分孔の安定性を確保するための支保パターンの選定や、掘削時および掘削後の湧水量を抑制するために実施するグラウト等の対策のこと。

多連接坑道 【p.37】

地層処分において想定される処分坑道群のように、多くの坑道を一定の離間距離を設定して掘削した坑道群のこと。

化石海水 【p.40】

昔の海水が長期間地層の隙間などに閉じ込められたものの。