

幌延深地層研究計画の現状について

—平成30年度調査研究成果—

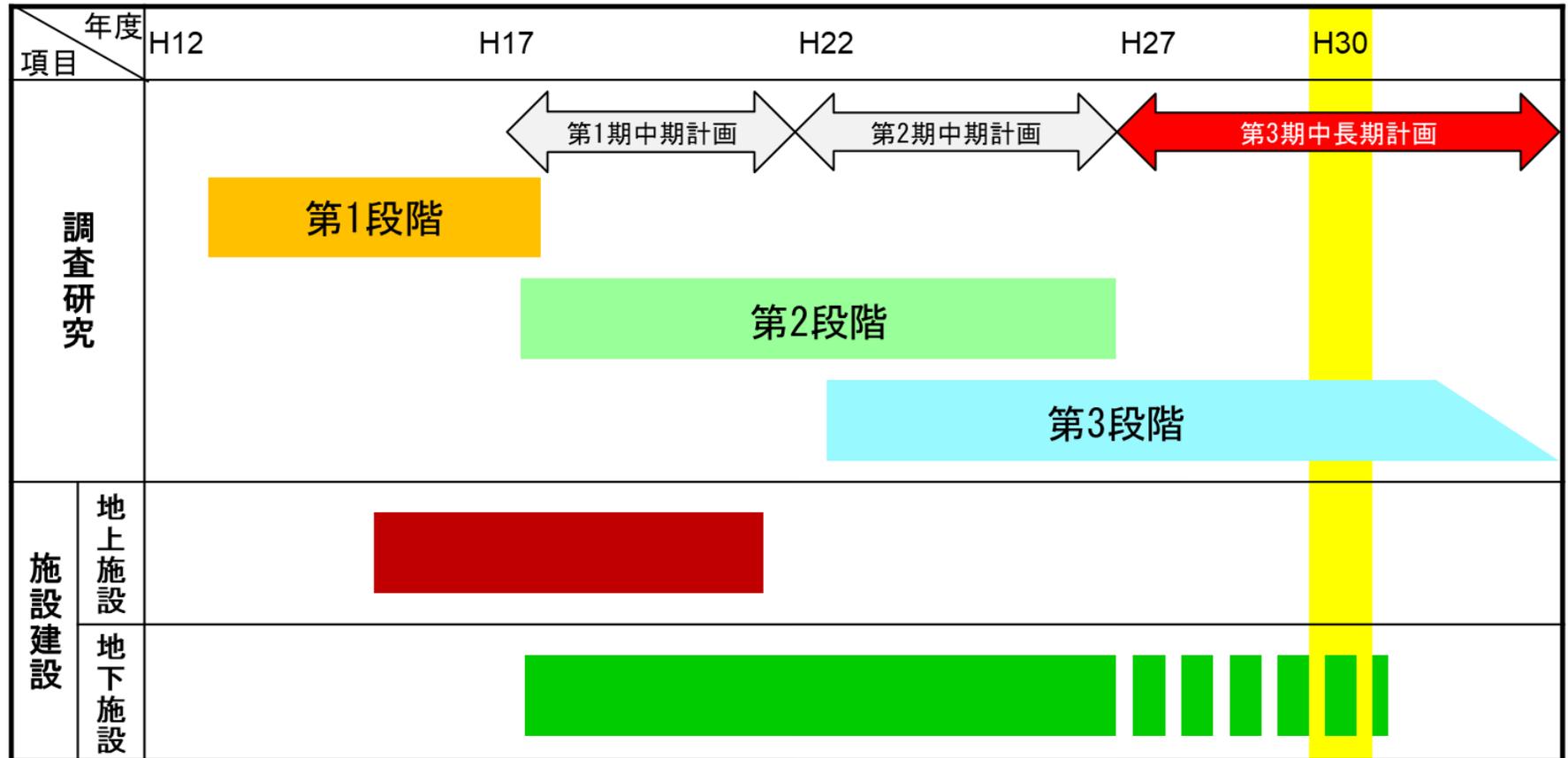
—平成31年度(令和元年度)調査研究計画—

令和元年8月29日(木)
日本原子力研究開発機構
幌延深地層研究センター

【 M E M O 】



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

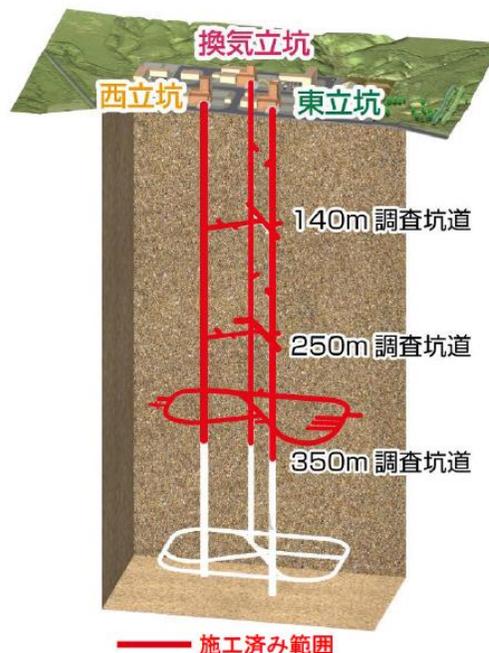
第2段階：坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階

第3段階：地下施設での調査研究段階

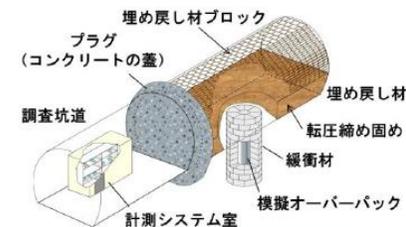
※平成31年度末(令和2年3月末)までに研究終了までの工程やその後の埋め戻しについて決定する。

報告の概要

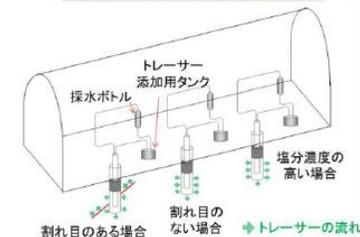
1. 地層科学研究
2. 地層処分研究開発
3. 地下施設の維持管理
4. 環境調査
5. 安全確保の取組み
6. 開かれた研究



※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。



人工バリア性能確認試験



原位置トレーサー試験

地層科学研究

1.1 地質環境調査技術開発

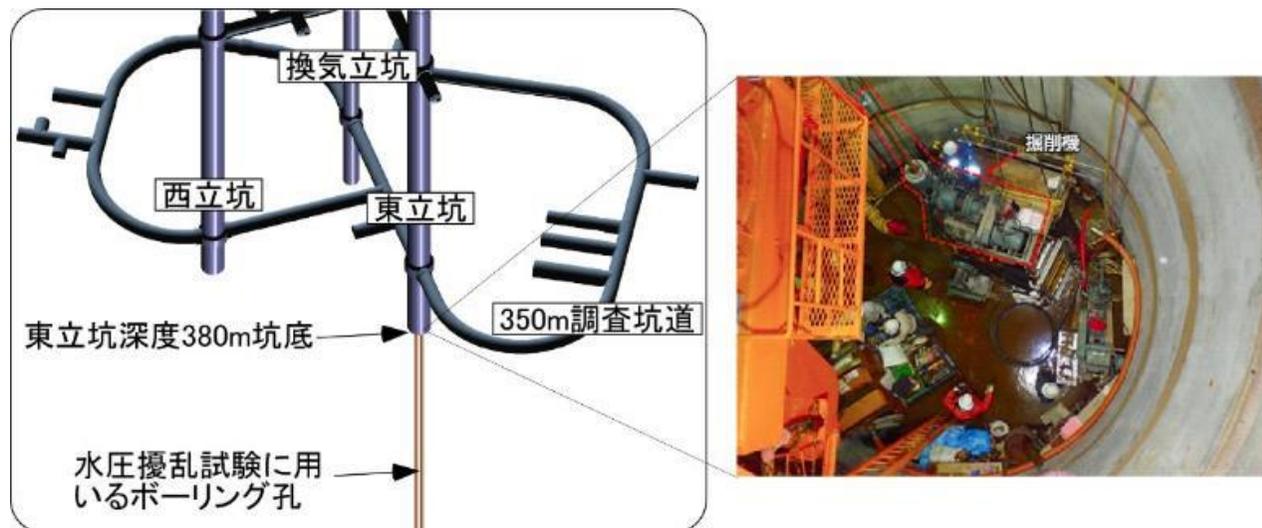
地質・地質構造、地下水の流れる場所や流れ方、地下水の水質や岩盤の変化の理解、施設建設の影響等を調べる技術や沿岸部における地質環境の調査技術の高度化

1.2 深地層における工学的技術の基礎の開発

安全かつ効率的な地下施設の建設技術の開発

1.3 地質環境の長期安定性に関する研究

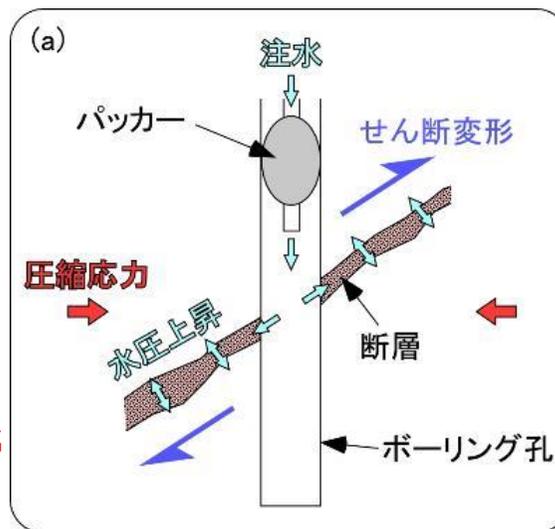
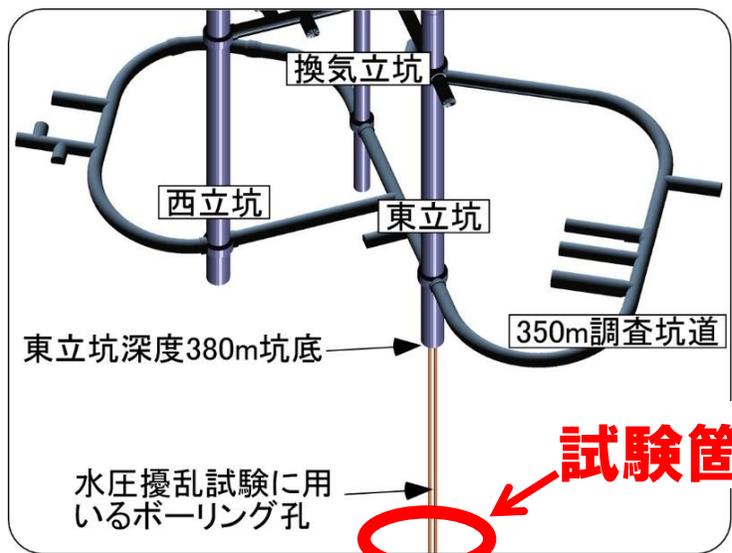
地形・地質の長期的な変化やそれに伴う地下水の流れや水質の変化などを予測



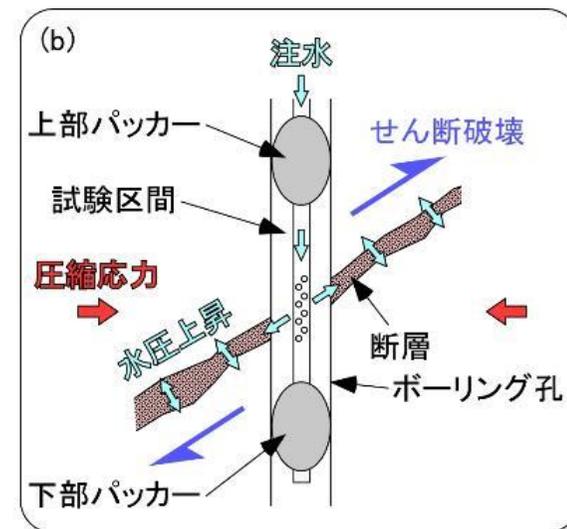
地質環境調査技術開発(水圧擾乱試験)

1.1 地質環境調査技術開発

水圧擾乱試験：断層が動くときの程度透水性は変化する？
⇒断層の透水性の将来予測



単一パッカー

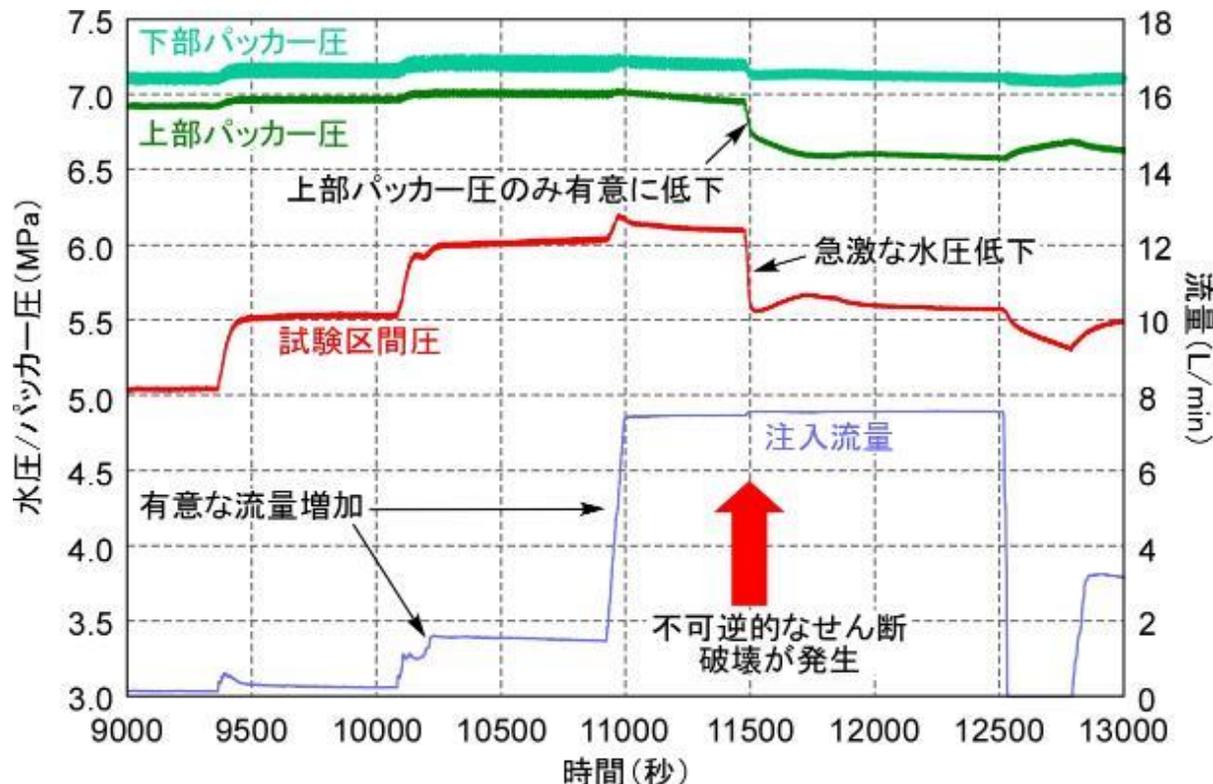


ダブルパッカー

水圧上昇によって誘発される断層のせん断変形(逆断層の例)

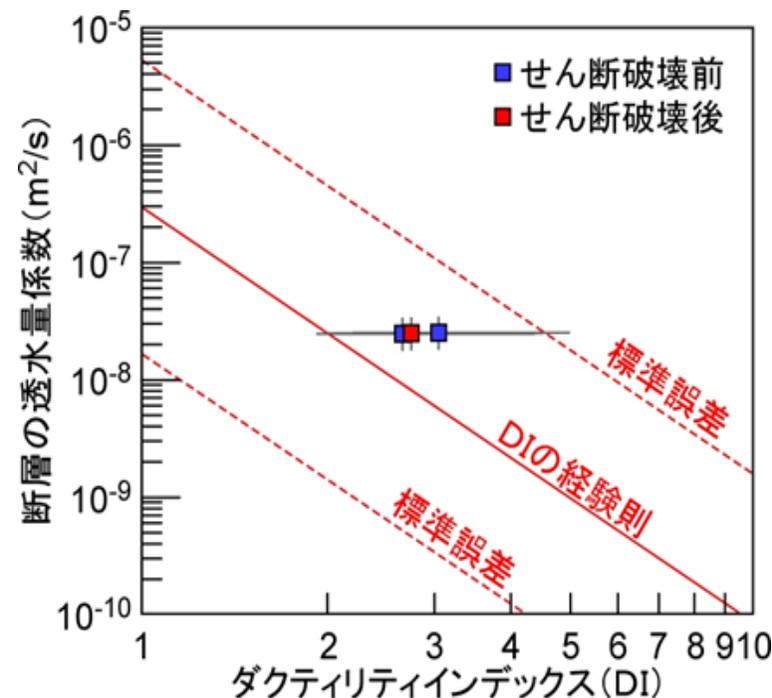
- 断層の透水性の将来予測への適用可能性を検証するためには、断層内に不可逆的なせん断変形を誘発させることが重要(せん断破壊前後の透水性の比較)
- ダブルパッカー用いた試験では、試験中のパッカー圧の経時変化を詳細に観測することで断層のずれを推定することが可能(断層の挙動のモニタリングに有効)

1.1 地質環境調査技術開発



水圧擾乱試験中の水圧、パッカー圧および注入流量

- パッカー圧の不可逆的な低下量(0.07MPa)から、不可逆的な断層のせん断変位量は、数百 μm と推定
- せん断破壊前後の透水性に顕著な違いはなく、DIの経験式の範囲内
⇒ 将来的な断層運動に伴う断層の透水性の変化予測に適用可能



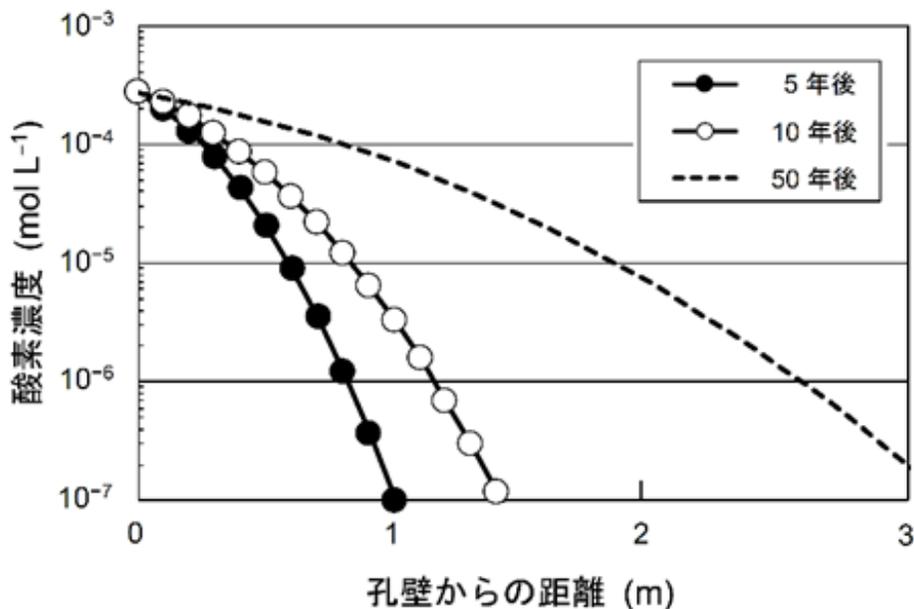
せん断破壊前後における断層の透水性の比較

ダクティリティインデックス(DI)

- ✓ 岩石の強度・応力状態を示すために新たに定義した指標。
- ✓ 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をその健岩部の引張強度で除した値

1.1 地質環境調査技術開発

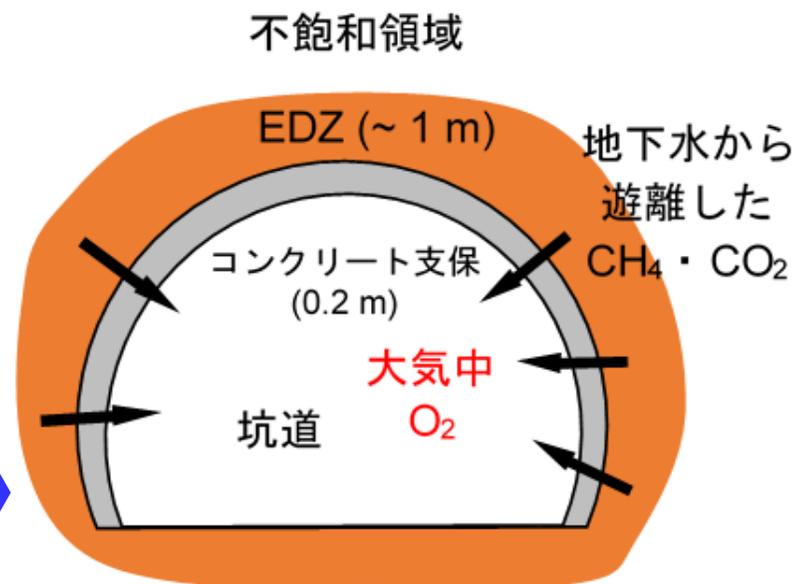
坑道周辺の水質モニタリング：大気が侵入して坑道周辺の地下水は酸化になる？
 ⇒酸化的な地下水は人工バリアに悪影響



坑壁からの酸素の拡散に関するモデル計算結果

- 昨年度まで実施した調査では、坑壁から岩盤内部に向かって採取した試料から酸化の指標となる変化は認められていない。
- 掘削影響領域近傍のボーリング孔内のガスの分析結果から、窒素や酸素の割合は非常に低い。

- 坑道周辺の掘削影響領域では、坑道内の大気が坑道掘削に伴い生じた割れ目などを通じて岩盤中に拡散し、坑道周辺の岩盤や地下水が還元状態から酸化状態に変化
- 坑道掘削後の経過時間を踏まえ、岩盤中への酸素の拡散を簡易的に計算
 ⇒ 深度350mの場合、坑壁から約1mまで拡散



EDZ(掘削影響領域)の化学環境に関する概念モデル

1.2 深地層における工学的技術の基礎の開発

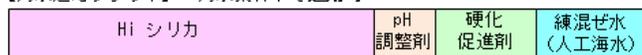
湧水抑制対策技術：浸透性、耐久性が高い溶液型グラウトの研究
⇒湧水量の大幅な低減に期待

スウェーデンやフィンランドでは、活性シリカコロイドを用いた溶液型グラウトの研究として、沿岸域に位置する地下施設において実証試験及び実際の施工を実施
 ⇒ 海水条件での溶液型グラウトの固化メカニズムや施工方法に課題

【従来型グラウト】 海水条件下では適用不可（海水条件下での白濁懸念）



【海水適応グラウト】 海水条件下で適用可



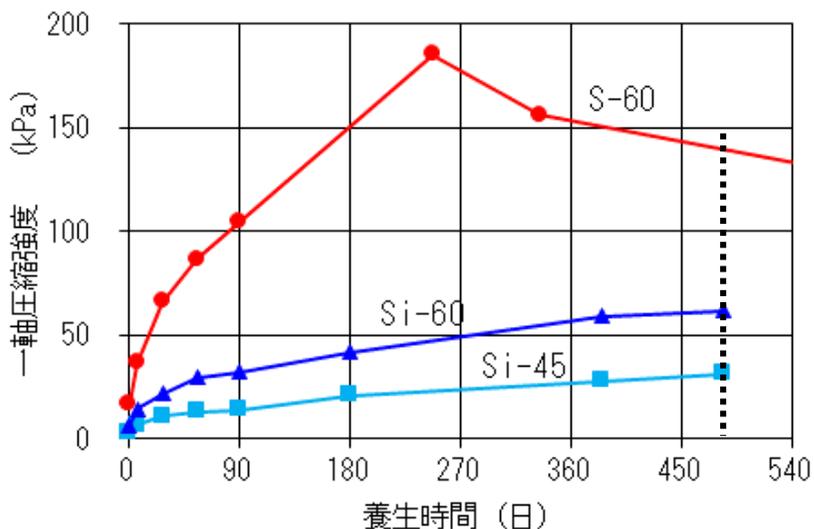
シリカ濃度：80%⇒S-60

【海水硬化促進グラウト】 海水条件下で適用可

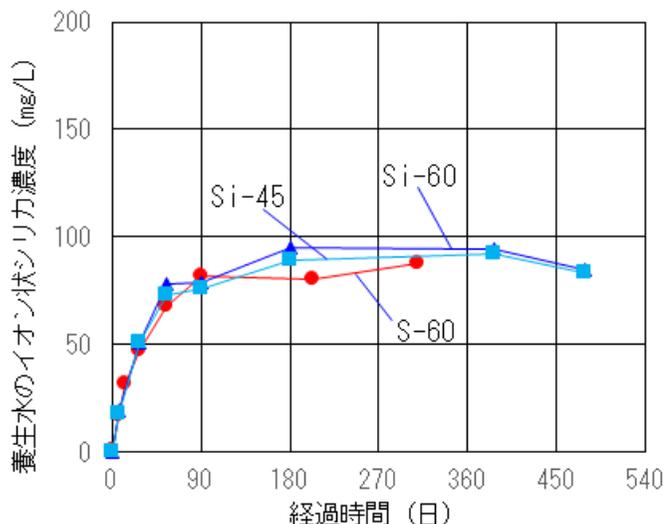


シリカ濃度：60%⇒Si-60
 シリカ濃度：45%⇒Si-45

試験に用いた溶液型グラウトの配合



一軸圧縮強度と養生時間の関係

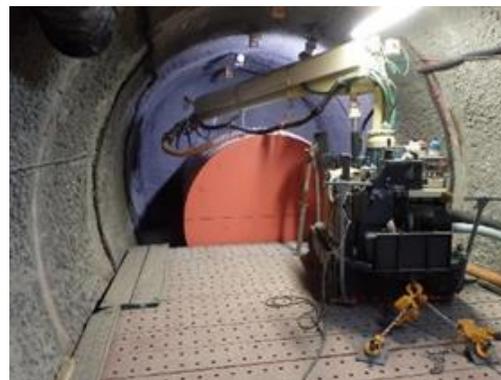


養生水中のシリカイオン溶出量の経時変化の比較

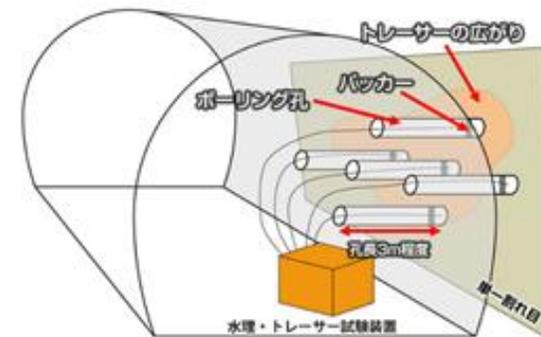
- 480日経過で30kPa程度の一軸圧縮強度を発現
 - 90日以降、シリカイオン溶出量は収束
- ↓
- 3種類の配合は、長期的に安定した挙動を示すことが予測

2.1 処分技術の信頼性向上

実際の地質環境における人工バリアの状態変化(ふるまい)、オーバーパックスの耐食性や評価技術の適用性の確認、人工バリアの定置などに必要な工学技術の実証、閉鎖技術性能の具体化及び設計評価技術の改良・高度化



処分技術の信頼性向上
(搬送定置・回収技術の実証)



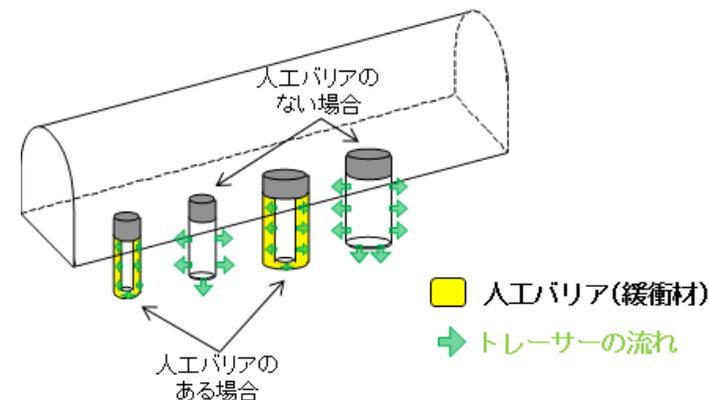
安全評価手法の高度化
(割れ目を対象とした原位置トレーサー試験)

2.2 安全評価手法の高度化

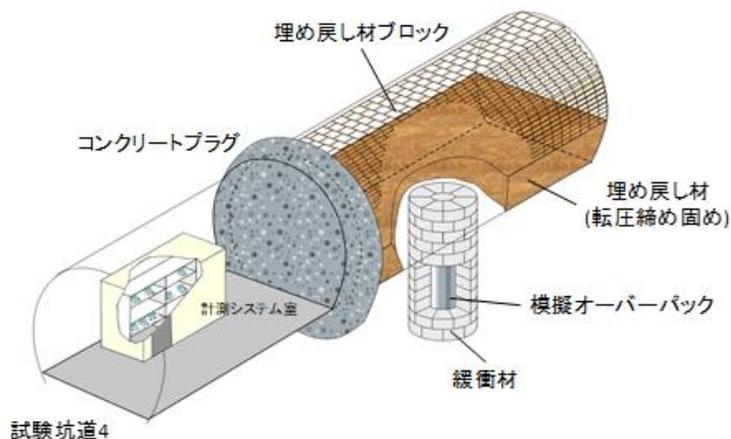
実際の地質環境における物質の移動を評価するための手法の適用性の確認



処分技術の信頼性向上
(オーバーパックス腐食試験)



安全評価手法の高度化
(岩盤を対象とした原位置トレーサー試験)

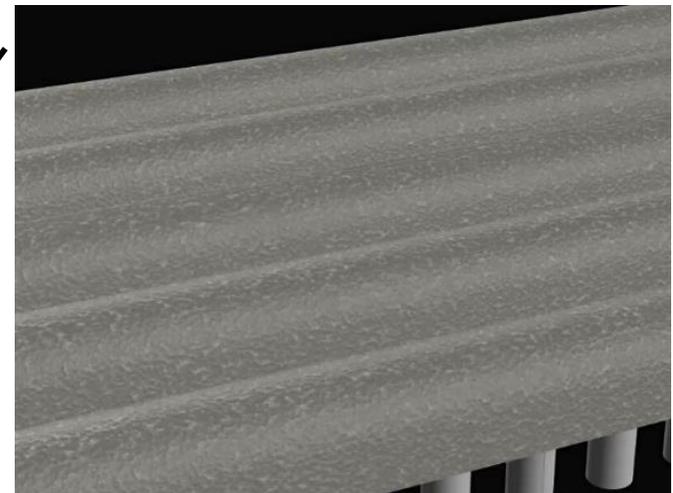
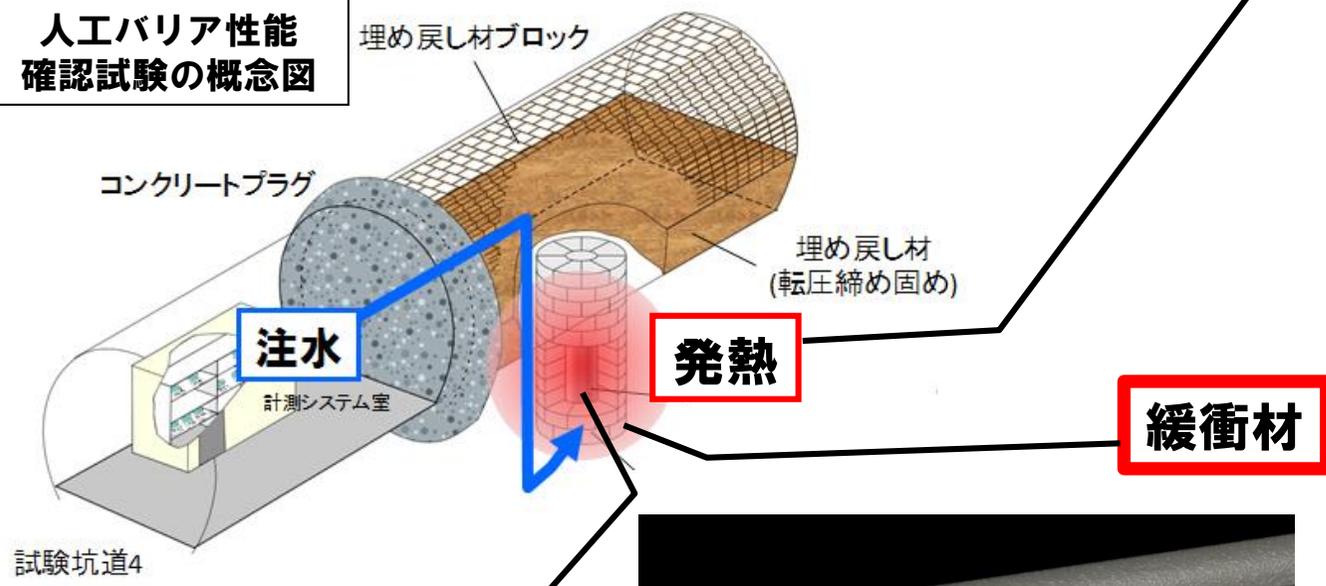


処分技術の信頼性向上
(人工バリア性能確認試験)

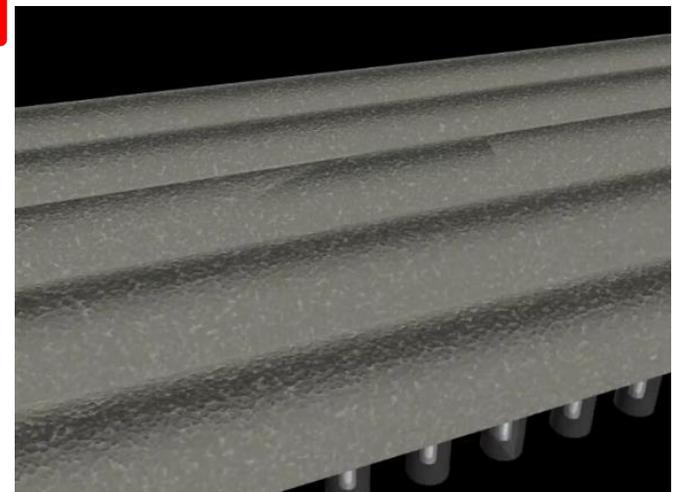
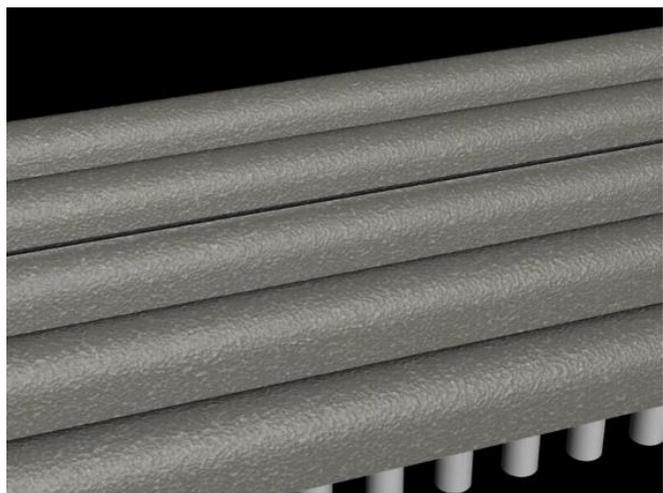
2.1 処分技術の信頼性向上

人工バリア性能確認試験：解析コードの検証・高度化に必要な熱・水理・力学・化学に関するデータ取得

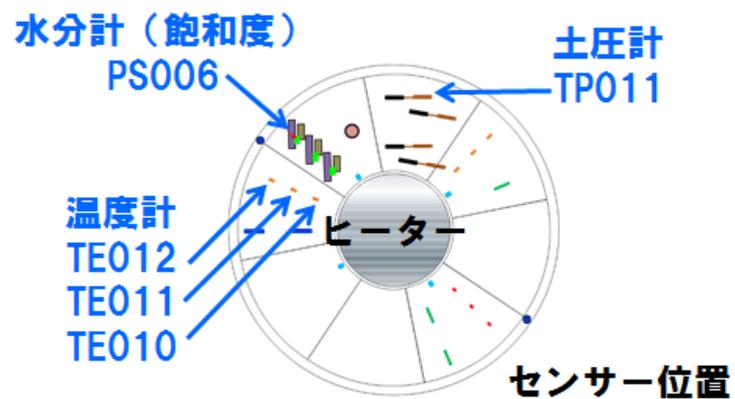
人工バリア性能確認試験の概念図



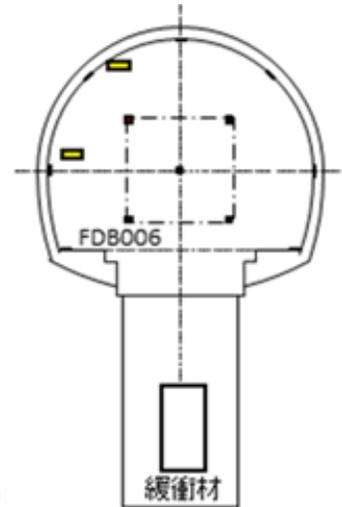
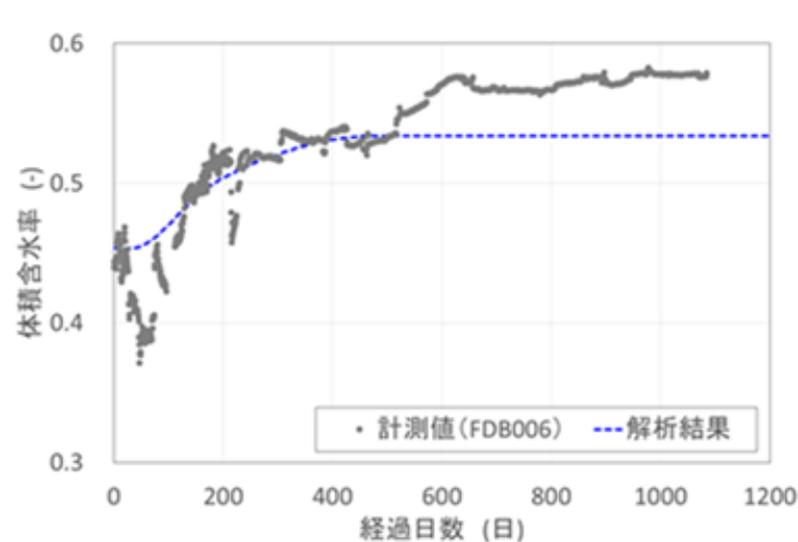
模擬オーバーパック



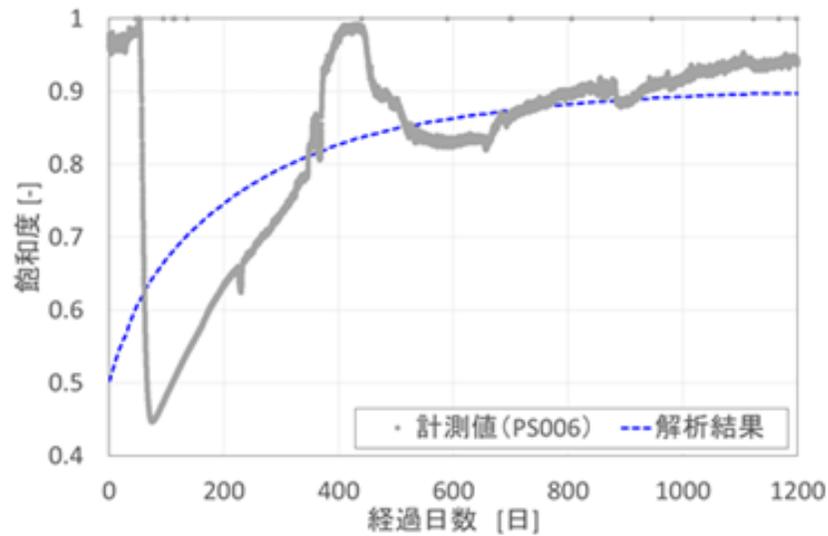
2.1 処分技術の信頼性向上



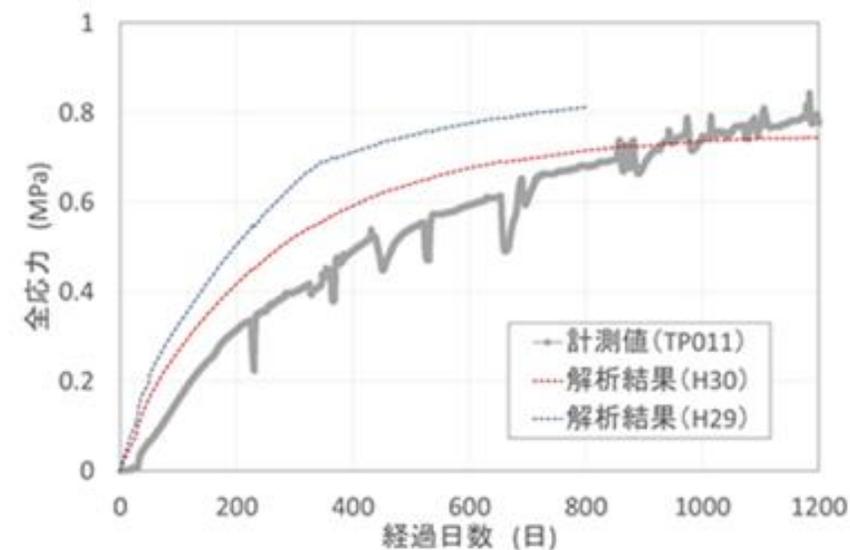
緩衝材中のセンサーの配置(緩衝材5段目)



埋め戻し中の体積含水率



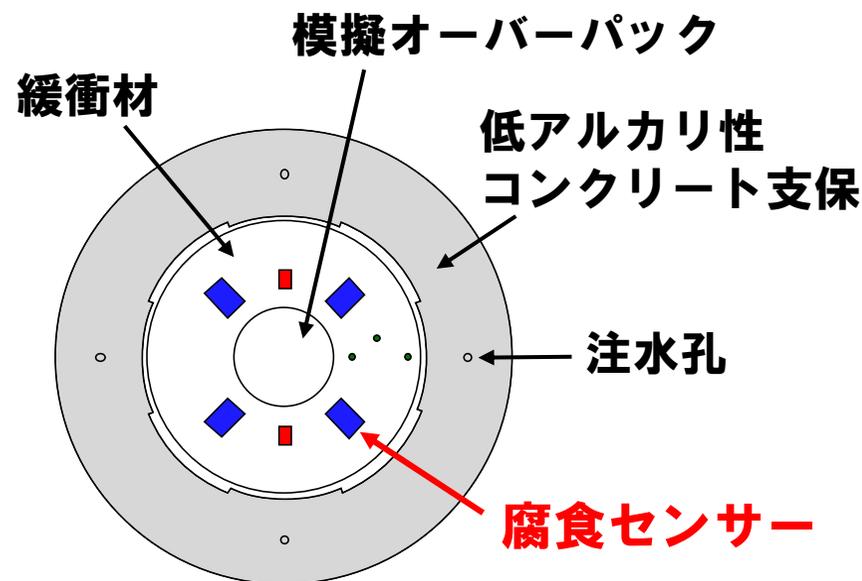
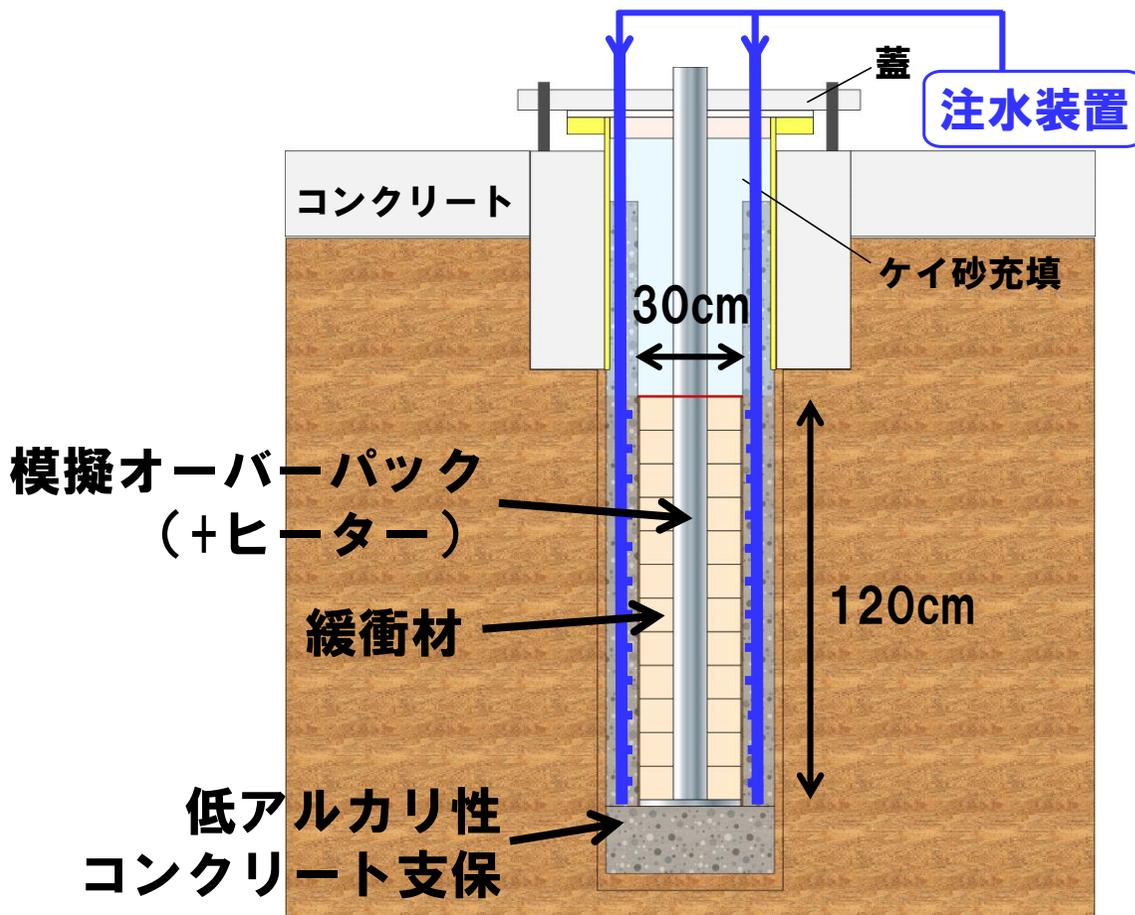
緩衝材中の飽和度



緩衝材中の土圧

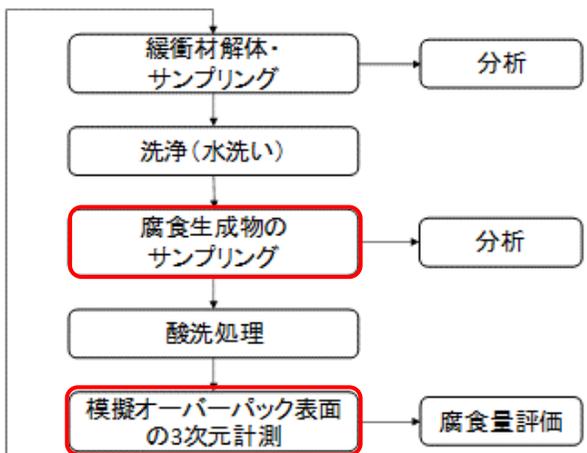
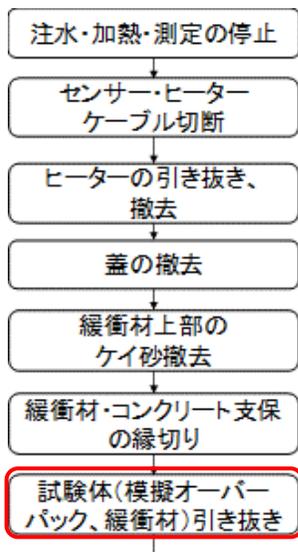
2.1 処分技術の信頼性向上

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性や腐食モニタリング手法の適用性の確認



センサーの配置
(水平断面図)

2.1 処分技術の信頼性向上

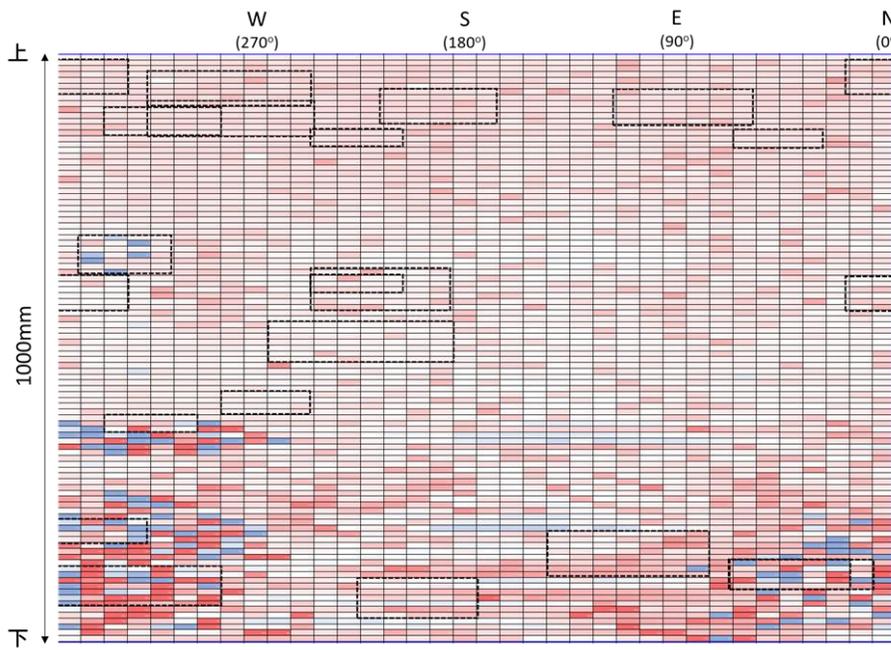


適宜外観撮影

- 腐食量は、模擬オーバーパック下部の方が上部に比べて相対的に大きい傾向。上部と下部で温度条件など環境条件が必ずしも同一ではないことなどに起因 ⇒ より詳細に分析中
- 試料の分析結果から、主な腐食生成物は $FeCO_3$ であり、既往の室内試験結果と整合



試験体取出し状況(左)と腐食生成物の採取状況(右)

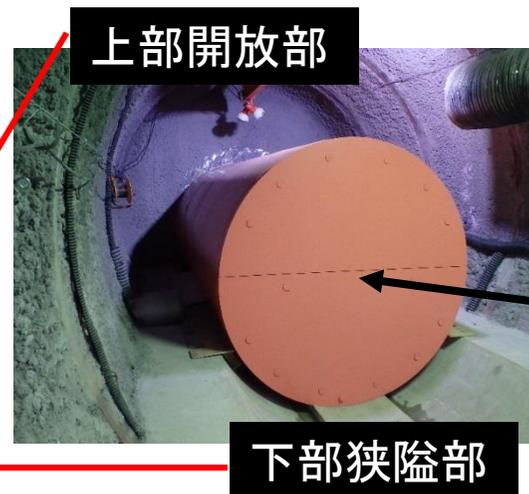


酸性処理後の模擬オーバーパック(左)と腐食量の三次元計測結果(右)

2.1 処分技術の信頼性向上

搬送定置・回収技術の実証的検討 - 原環センターとの共同研究：**PEM方式の人工バリアの横置き定置に用いる要素技術の確認**

粘土系材料の充填試験：
模擬PEMと坑道等との隙間を充填する技術の実証



模擬PEM：
 直径約2.5m
 長さ約3.5m
 重量約36t

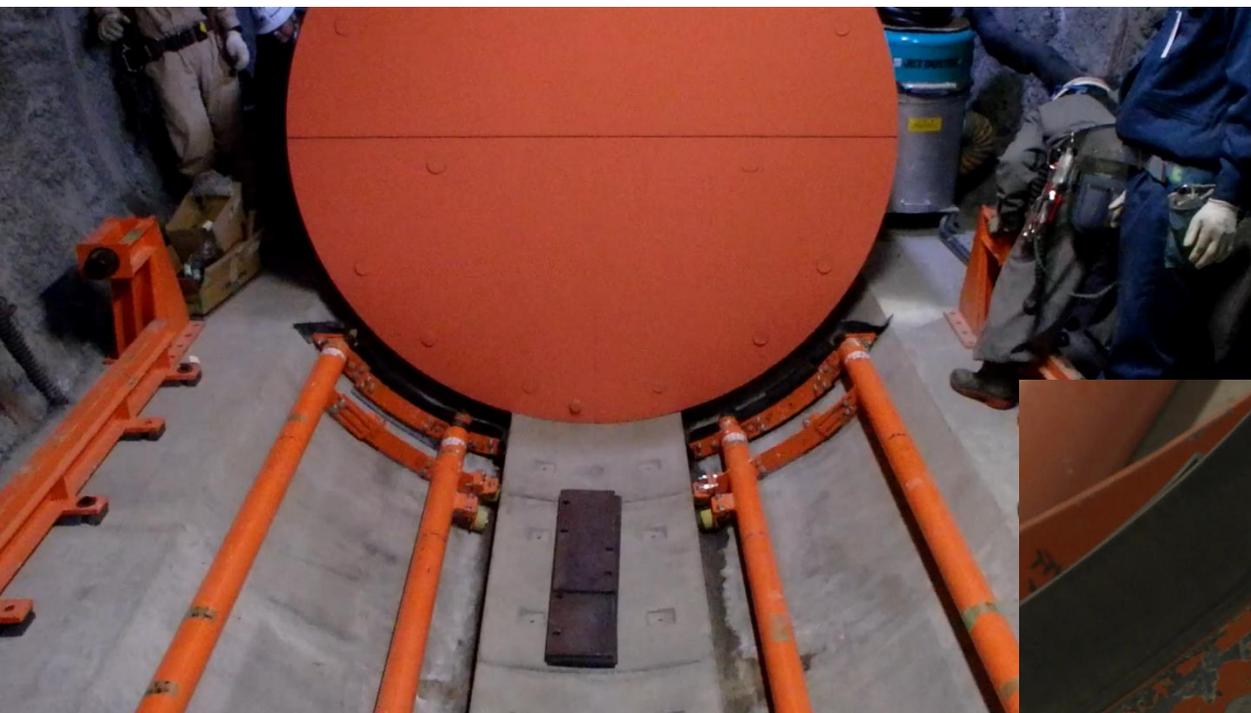


PEM (Prefabricated Engineering barrier system Module)：
 鋼製容器の中に、人工バリアであるオーバーパックや緩衝材を設置し、一体化したもの。

2.1 処分技術の信頼性向上

下部狹隘部隙間充填技術の実証

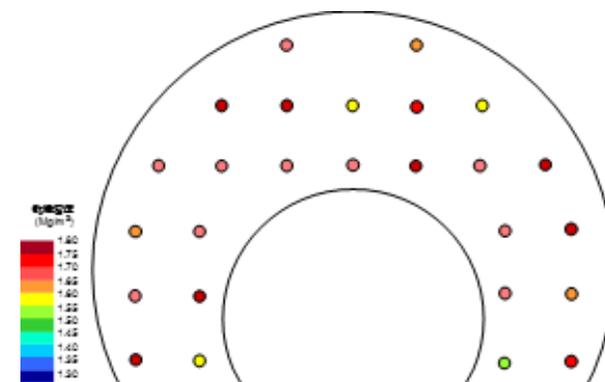
- 隙間充填材料: ベントナイトペレット
- 目標とした施工密度: $1.37\text{Mg}/\text{m}^3$



2.1 処分技術の信頼性向上

上部開放部の吹付け施工の実証

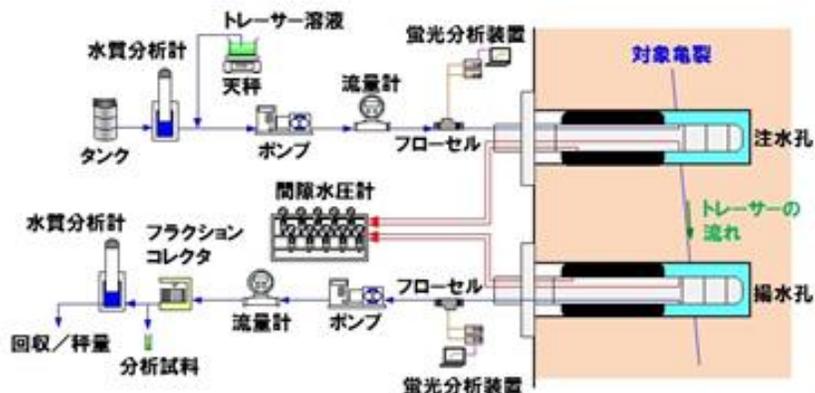
- 吹付け材料: ベントナイト(50%)+ケイ砂(50%)
- 目標とした施工密度: $1.6\text{Mg}/\text{m}^3$



吹付け後のコアサンプリングによる密度測定結果

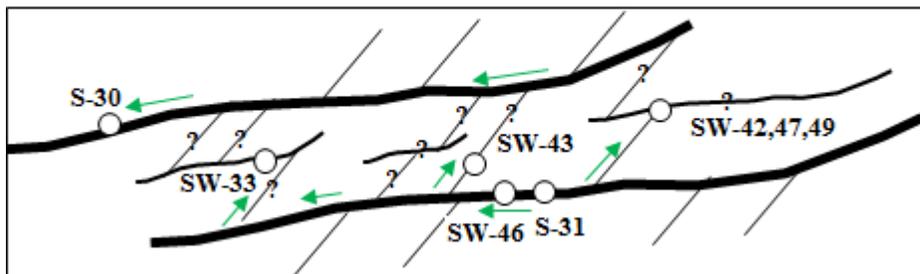
2.2 安全評価手法の高度化

**割れ目を対象とした原位置トレーサー試験：
トレーサーの移行経路の推定とモデル化手法の検討**

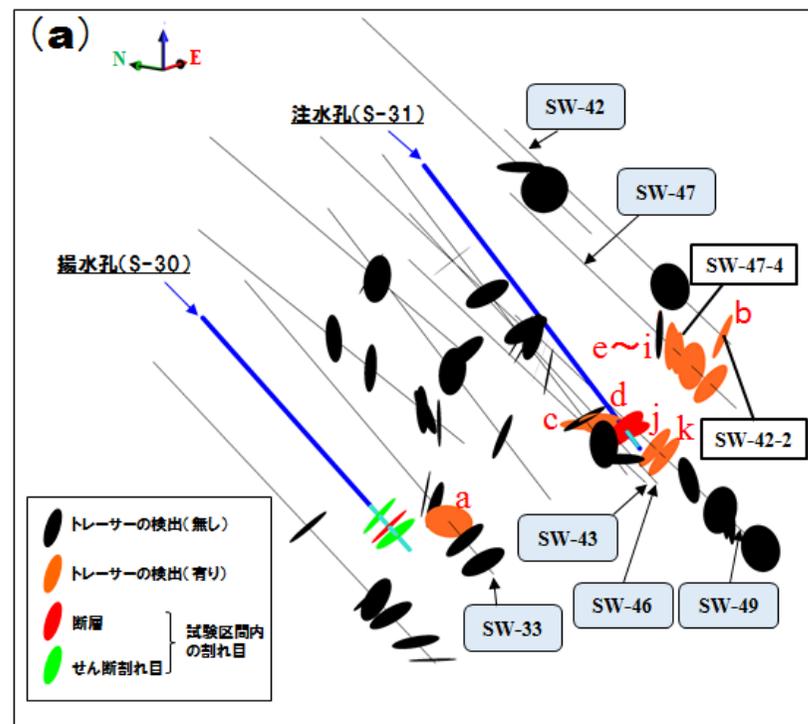


割れ目を対象とした原位置トレーサー試験の概念図

— ハイブリッド/引張割れ目 — せん断割れ目 — 断層



トレーサー移行経路の概念

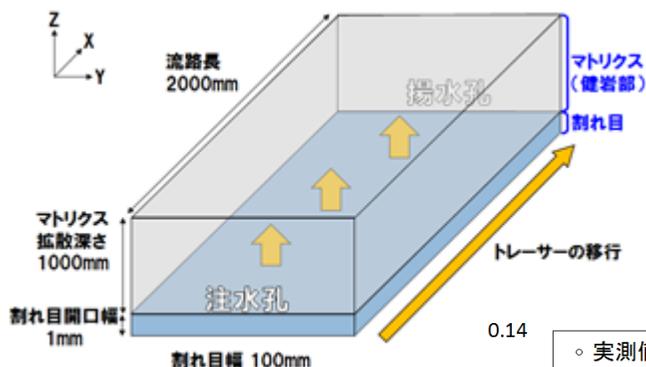


トレーサーの移行に関与した割れ目分布

原位置試験結果と岩石試料を用いたトレーサー濃度分析結果から、トレーサーの移行経路を推定

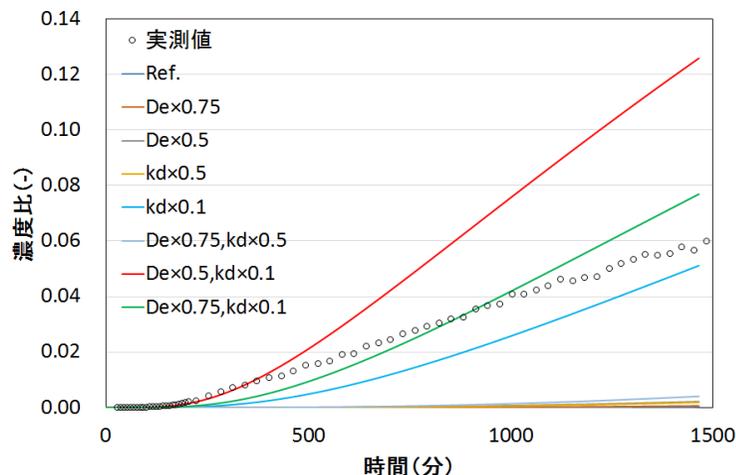
2.2 安全評価手法の高度化

割れ目を対象とした原位置トレーサー試験： トレーサーの移行経路の推定とモデル化手法の検討

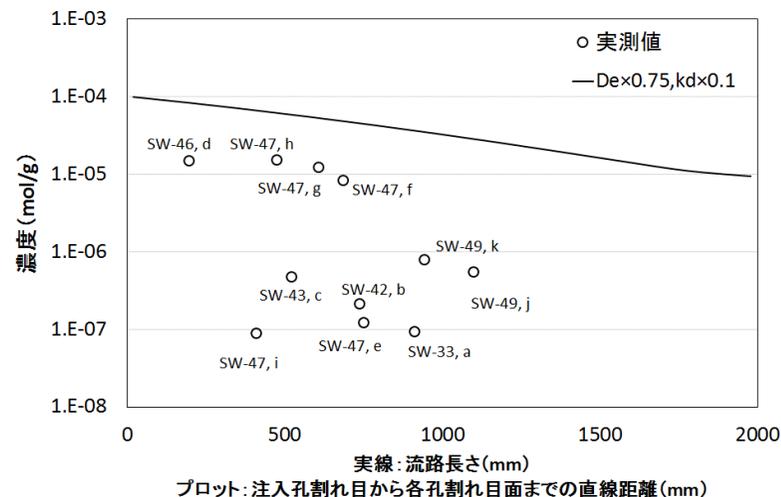


モデルの概念

- ◆ 単純な平行平板モデル、均質流れ場による解析
 - ・ 流路長: トレーサー移行経路の推定結果を考慮
 - ・ 割れ目幅、割れ目開口幅: 原位置トレーサー試験結果をもとに設定
 - ・ 収着分配係数など: 室内・原位置試験データにより設定



セシウムの定常入力条件における解析結果



割れ目表面のセシウム濃度分布に対する解析結果

トレーサー径路の不均質性などを考慮した現実的な解析モデルの検討

研究成果

- 論文 : 24編
- 報告書 : 7冊
- 学会発表 : 17件
- プレス発表 : 1件

➤ 受賞 :

● 土木学会技術賞 (IIグループ)

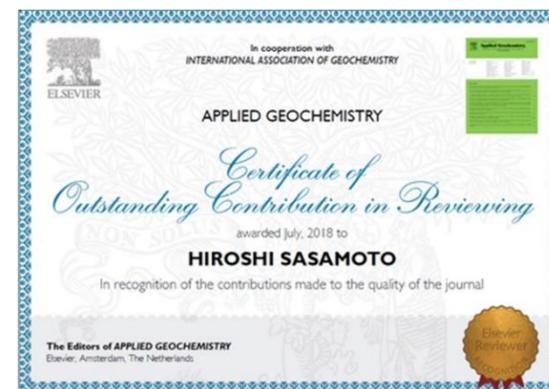
「堆積岩中の高レベル放射性廃棄物地層処分研究施設の建設と研究事業（幌延深地層研究計画事業）」

- ・国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
- ・大成・大林・三井住友特定建設工事共同企業体

● エルゼビア学術誌

「Applied Geochemistry」

Outstanding Reviewer賞



H31年度(令和元年度)調査研究計画の概要

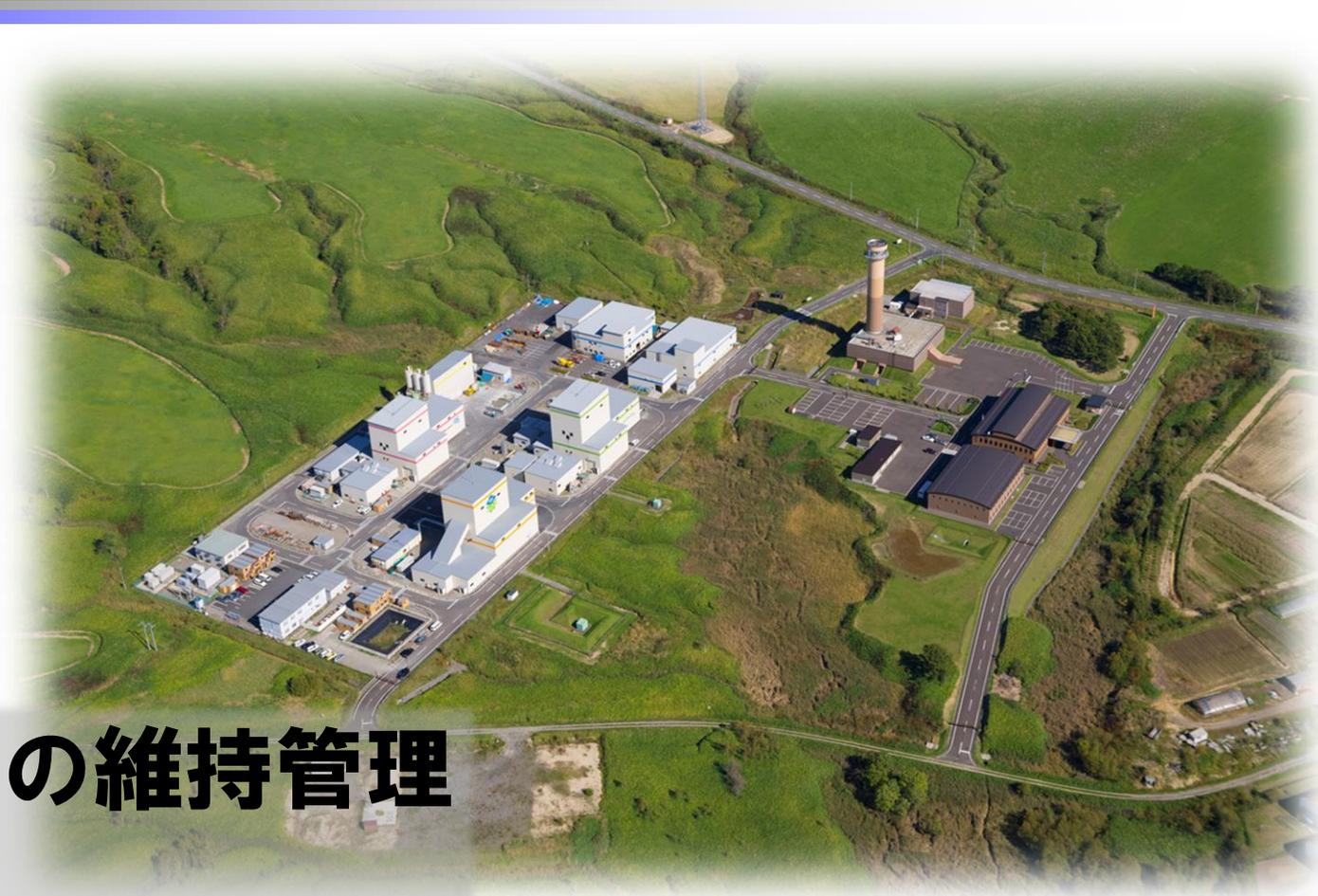


地層科学研究

地質環境調査技術開発	<ul style="list-style-type: none">水圧擾乱試験の結果に基づき、堆積岩の緩衝能力の評価・取りまとめを継続します。坑道周辺の地質環境を把握するための調査技術や機器開発を継続します。内陸部の地下深部に存在する長期的に安定な水理場・化学環境を評価するための技術の高度化を進めます。
深地層における工学的技術の基礎の開発	<ul style="list-style-type: none">坑道掘削後の岩盤や支保の長期挙動の観測を継続し、地下施設の設計の妥当性について確認します。湧水抑制の技術開発として、グラウト浸透範囲を評価する解析手法や調査手法の高度化を図ります。
地質環境の長期安定性に関する研究	<ul style="list-style-type: none">地形や地質の長期的な変化を予測する手法や、それに伴う地下水の流れや水質の変化などを調査・評価する手法の開発を行います。

地層処分研究開発

処分技術の信頼性向上	<ul style="list-style-type: none">人工バリア性能確認試験を継続します。オーバーパック腐食試験については、地下環境における腐食現象の評価・取りまとめを継続します。人工バリアの定置・品質確認に関する実証試験を継続します。緩衝材の定置試験や緩衝材への水の湿潤挙動を把握する試験を継続します。
安全評価手法の高度化	<ul style="list-style-type: none">健岩部および割れ目を対象とした原位置トレーサー試験結果に基づいて、割れ目中の収着／拡散特性の評価を行います。断層を対象としたトレーサー試験に関し、隆起・侵食や断層活動による物質移行特性の変化に関する評価を実施します。



3. 地下施設の維持管理
4. 環境調査
5. 安全確保の取組み
6. 開かれた研究

3. 地下施設の維持管理

今年度も地下施設の機械設備や電気設備の点検
保守・修繕等（維持管理）を継続し、地下施設
の安全性確保に努めました。

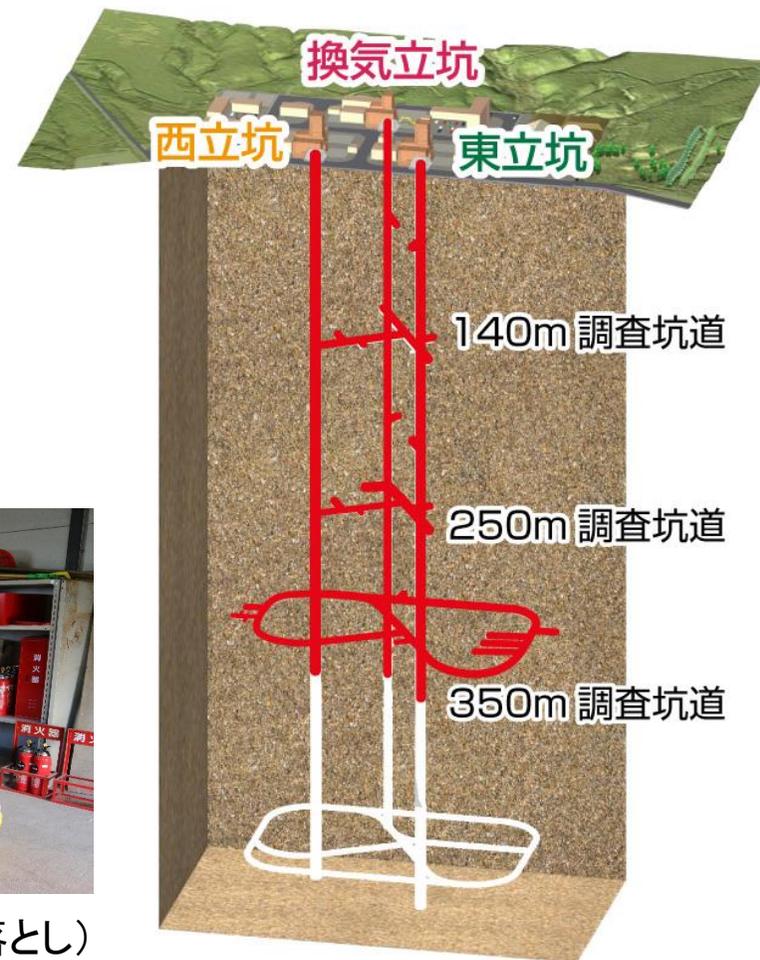


スcaフォード（吊り足場）
巻き上げ機の点検



消火器置場のメンテナンス（錆落とし）

地下施設概要図



— 施工済み

※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。

4. 環境調査

○排水量および水質調査

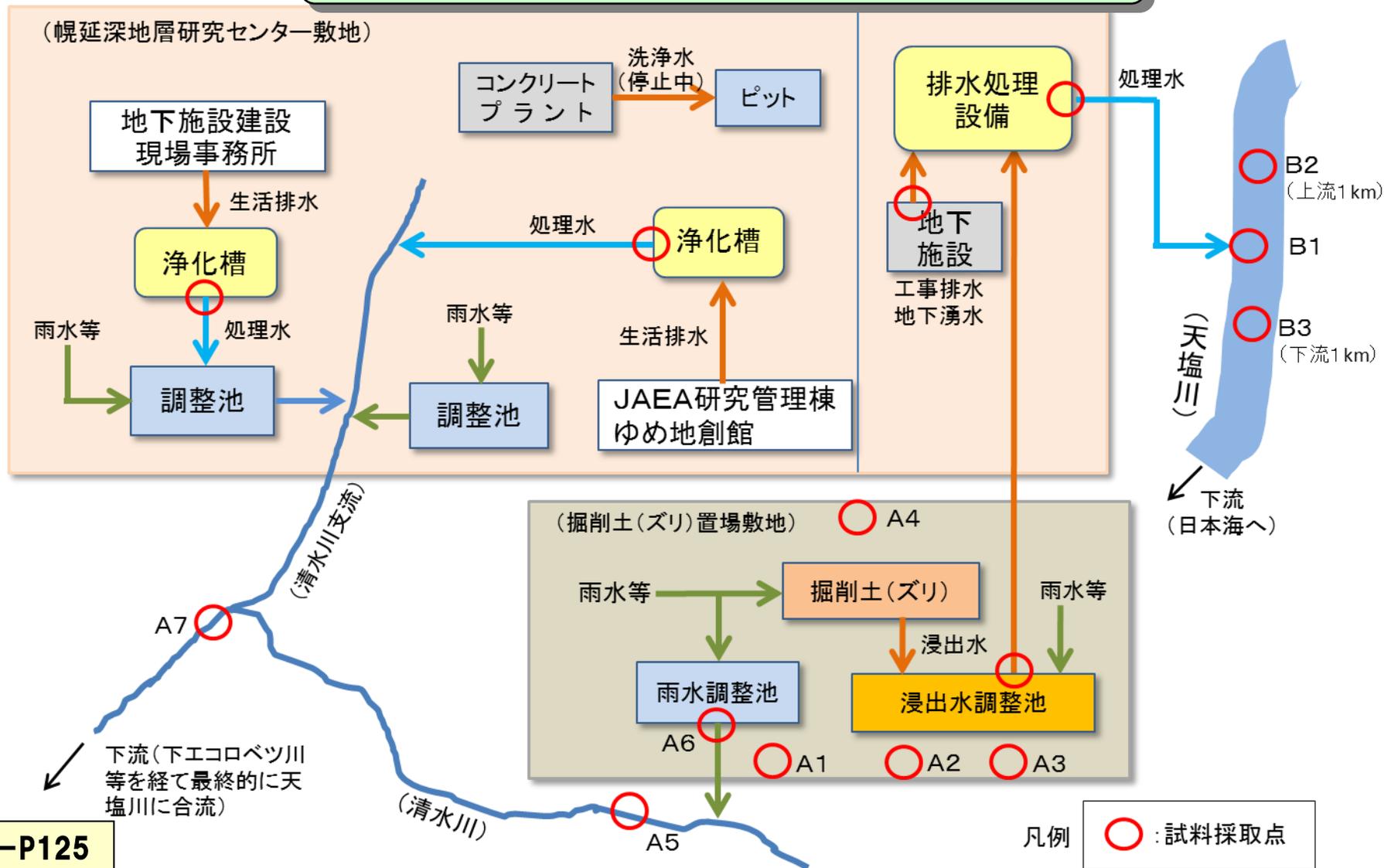
- (1) 天塩川への排水量
- (2) 地下施設からの排水の水質調査
- (3) 天塩川の水質調査
- (4) 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の水質調査
- (5) 清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の水質調査
- (6) 浄化槽排水の水質調査

○センター周辺の環境影響調査

- (1) 清水川の水質調査
- (2) 魚類の調査

4. 環境調査 ～排水量および水質調査結果～

幌延深地層研究センターの排水系統図



4. 環境調査 ～排水量および水質調査結果～

水質調査試料の採取状況



天塩川の採水状況（B1～B3）

掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の採水状況（A1～A4）

4. 環境調査 ～排水量および水質調査結果～



(1) 天塩川への排水量

排水処理設備から天塩川への年間排水量は49,548m³でした。

日最大排水量は、融雪の影響より掘削土（ズリ）置場の浸出水を多く処理した4月の500m³が最大であり、北るもい漁業協同組合との協定値である750m³未満でした。

年月	月排水量(m ³)	日最大排水量(m ³)	日平均排水量(m ³)
30年4月	8,295	500	276.5
5月	3,591	217	115.8
6月	3,875	277	129.2
7月	4,664	303	150.5
8月	4,392	319	141.7
9月	3,512	260	117.1
10月	4,461	268	143.9
11月	3,610	333	120.3
12月	3,691	303	119.1
31年1月	2,474	182	79.8
2月	2,653	228	94.8
3月	4,330	360	139.7
年間	合計:49,548	—	—

4. 環境調査 ～排水量および水質調査結果～

(2) 地下施設からの排水の水質調査結果

排水基準を超える処理済排水はありませんでした。

分析項目	単位	採水地点			参考値 (水質汚濁防止法 排水基準)
		立坑の原水	掘削土(ズリ)置場 浸出水調整池の原水	揚水設備における 処理済排水	
カドミウム	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	0.03
ヒ素	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	0.1
セレン	mg/L	<0.01	<0.01~0.01	<0.01	0.1
フッ素	mg/L	<0.8~1.5	<0.8	<0.8	8
ホウ素	mg/L	64~83	0.3~6.2	0.1~1.2	10
全窒素	mg/L	59~79	3.0~39	8.9~21	120 (日間平均:60)
全アンモニア	mg/L	44~62	0.20~1.5	<0.05	—
pH	—	8.1~8.3	7.0~8.4	7.3~8.2	5.8~8.6
浮遊物質 (SS)	mg/L	6~290	1~8	<1~2	200 (日間平均:150)
塩化物イオン	mg/L	3,300~4,200	16~220	2,200~4,300	—

4. 環境調査 ～排水量および水質調査結果～

(3) 天塩川の水質調査結果

浮遊物質（SS）が高い値を示していますが、放流口の上流においても高い値を示していること、当センターからの排水は低い値であることから、地下施設からの排水の影響ではなく、融雪や降雨に伴う自然的な原因によるものと考えられます。

分析項目	単位	採水地点			北るもい漁協 協定値
		B1:放流口	B2:放流口 上流1km	B3:放流口 下流1km	
ホウ素	mg/L	0.01～4.9	<0.01～4.8	<0.01～4.1	5以下
全窒素	mg/L	0.21～1.3	0.20～1.3	0.20～1.3	20以下
全アンモニア	mg/L	<0.05～0.06	<0.05～0.06	<0.05～0.06	2以下 (B3地点のみ)
pH	—	6.9～7.5	6.8～7.5	7.0～7.5	5.8～8.6
浮遊物質 (SS)	mg/L	<1～300	<1～270	<1～230	20以下

(調査結果の詳細なデータは、ホームページで公開しています。)

4. 環境調査 ～排水量および水質調査結果～

(4) 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の水質調査結果

平成30年度の調査結果から掘削土（ズリ）置場が周辺環境に影響を与えていないと判断しています。

分析項目	単位	採水地点	掘削土（ズリ）搬入前 (H18.6～H19.4)	掘削土（ズリ）搬入後 (H19.5～H30.2)	H30年度
カドミウム	mg/L	A1～A4	<0.001～0.004	<0.001～0.009	<0.001
鉛	mg/L	A1～A4	<0.005～0.171	<0.005～0.007	<0.005
ヒ素	mg/L	A1～A4	<0.005	<0.005～0.012	<0.005
セレン	mg/L	A1～A4	<0.002	<0.002～0.005	<0.002
フッ素	mg/L	A1～A4	<0.1～0.4	<0.1～0.4	<0.1
ホウ素	mg/L	A1～A4	<0.02～50.7	<0.02～63.0	<0.02～19
pH	—	A1～A4	4.6～7.3	3.7～7.9	5.0～6.8
塩化物イオン	mg/L	A1～A4	9.7～2,910	8.4～3,400	9.7～1,800

4. 環境調査 ～排水量および水質調査結果～

(5) 清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の水質調査結果

平成30年度の調査結果から掘削土（ズリ）置場が周辺環境に影響を与えていないと判断しています。

分析項目	単位	採水地点	掘削土(ズリ)搬入前 (H18.6～H19.4)	掘削土(ズリ)搬入後 (H19.5～H30.3)	H30年度
カドミウム	mg/L	A5～A7	<0.001～0.001	<0.001～0.002	<0.001
鉛	mg/L	A5～A7	<0.005	<0.005～0.008	<0.005
ヒ素	mg/L	A5～A7	<0.005～0.011	<0.005～0.015	<0.005
セレン	mg/L	A5～A7	<0.002	<0.002～0.003	<0.002
フッ素	mg/L	A5～A7	<0.1～0.7	<0.1～1.1	<0.1
ホウ素	mg/L	A5～A7	<0.02～0.30	<0.02～0.44	<0.02～0.50
pH	—	A5～A7	5.8～7.4	5.7～9.1	6.0～8.8
浮遊物質(SS)	mg/L	A5～A7	1～173	<1～500	<1～51
塩化物イオン	mg/L	A5～A7	5.1～30.5	2.9～269	2.7～72

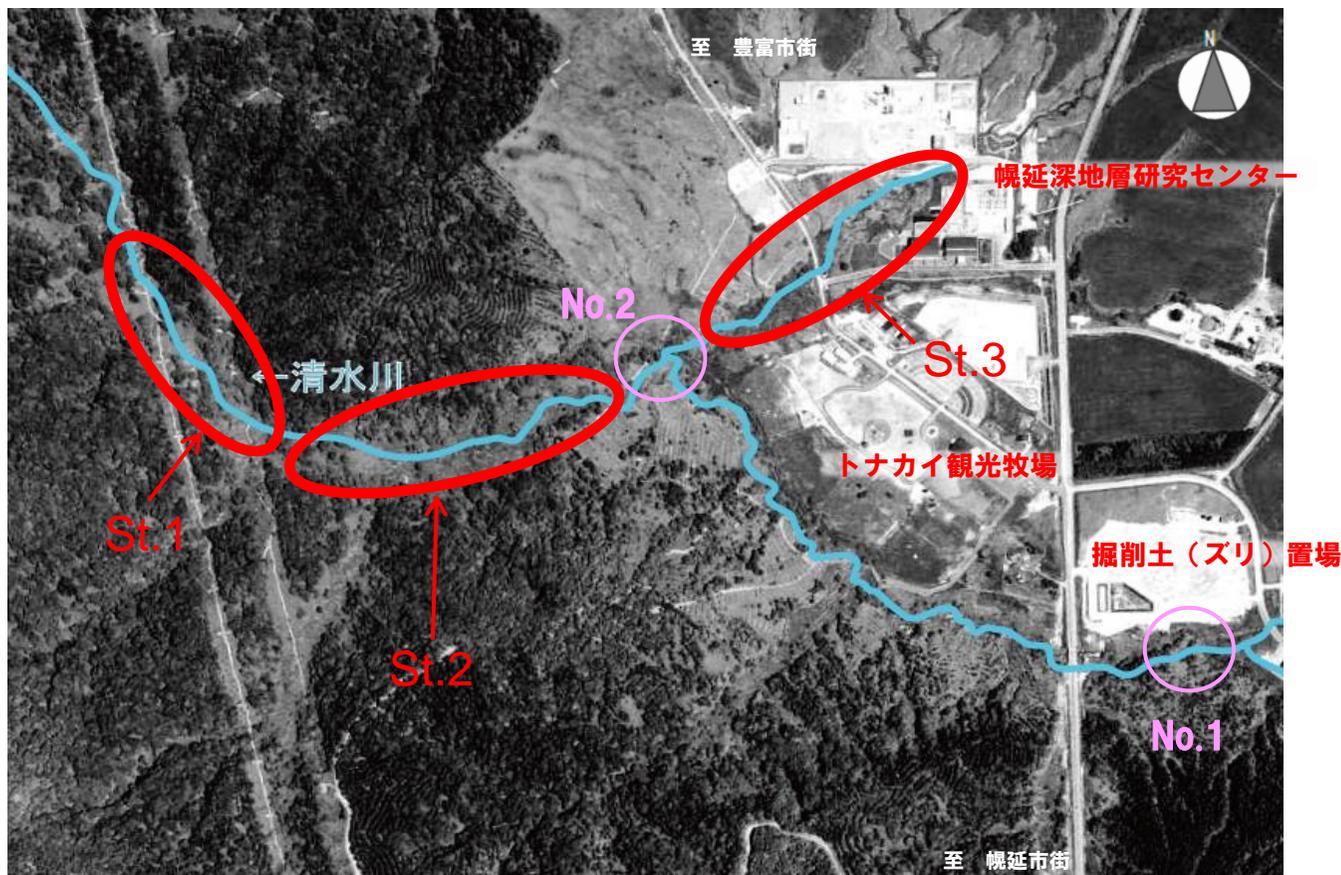
4. 環境調査

～センター周辺の環境影響調査結果～

清水川の水質および魚類の調査結果

当センター周辺の環境影響調査として清水川の水質および魚類を対象に調査を実施しています。

-  :水質調査地点
-  : 魚類調査範囲 (St.1～3)



4. 環境調査

～センター周辺の環境影響調査結果～

(1) 清水川の水質調査結果

平成30年度の調査結果から、これまでと比較して大きな変化がないことを確認しています。

分析項目	単位	採水地点	過年度 (H14.8～H30.2)	平成30年度			
				6月	9月	11月	2月
pH	—	No1	6.3～7.9	7.3	7.0	6.9	7.6
		No2	6.4～7.7	7.2	6.9	6.9	7.2
生物化学的 酸素要求量	mg/L	No1	<0.5～62	1.1	4.5	3.4	1.3
		No2	<0.5～10.0	3.0	2.6	4.8	1.8
浮遊物質	mg/L	No1	1～70	3	3	5	3
		No2	<1～69	3	1	2	2
溶存酸素量	mg/L	No1	6.6～13.9	10.6	8.9	10.7	11.9
		No2	5.5～12.5	7.7	7.3	9.9	9.4

4. 環境調査

～センター周辺の環境影響調査結果～

(2) 魚類の調査結果

清水川の魚類（種類）については、これまでに確認された重要種に大きな変化は見られず、工事着手前の環境が維持されているものと判断されます。

調査項目	調査結果
魚類 (3回/年)	重要種については、スナヤツメ北方種、エゾウグイ、エゾホトケドジョウ、サクラマス(ヤマメ)、エゾトミヨ、ハナカジカの6科6種を確認した。



5. 安全確保の取組み

各種の安全活動に積極的に取り組むとともに、「安全推進協議会」を組織し、センター一丸となって安全活動を推進・実施しました。



安全大会

- 各種安全行事や事例情報の周知等による意識高揚
- 定期的な安全パトロールの実施
- 作業計画書による作業前の安全対策・リスクアセスメントの確認
- 新規配属者・請負業者に対する安全教育の実施
- 事故対応訓練（年2回）、通報連絡訓練（毎月）
- 安全関係規則類の見直し改定
- 安全推進協議会活動



安全講演会



所長パトロール（月例）



事故対応訓練

6. 開かれた研究

◆大学との研究協力

京都大学、
東北大学、
信州大学、
東京大学など

◆その他の機関との研究協力

幌延地圏環境研究所、
電力中央研究所、
産業技術総合研究所、
株式会社大林組、
原子力環境整備促進・資金管理センター、
大成建設株式会社、
株式会社地層科学研究所など

◆国外機関との研究協力

OECD/NEA Clay Club、
モンテリ・プロジェクト（スイスのモンテリでの国際共同研究）など



原環センター・原子力機構
共同研究
緩衝材流出試験に向けた環境整備（試験孔のコンクリートピット内のモルタル打設）の様子
（平成31年3月、
於 350m調査坑道）



ドイツBGE TEC社との
意見交換の様子
（平成30年10月、於 国際交流施設）



ご清聴 ありがとうございます