



幌延深地層研究計画の現状について

-平成28年度調査研究成果-

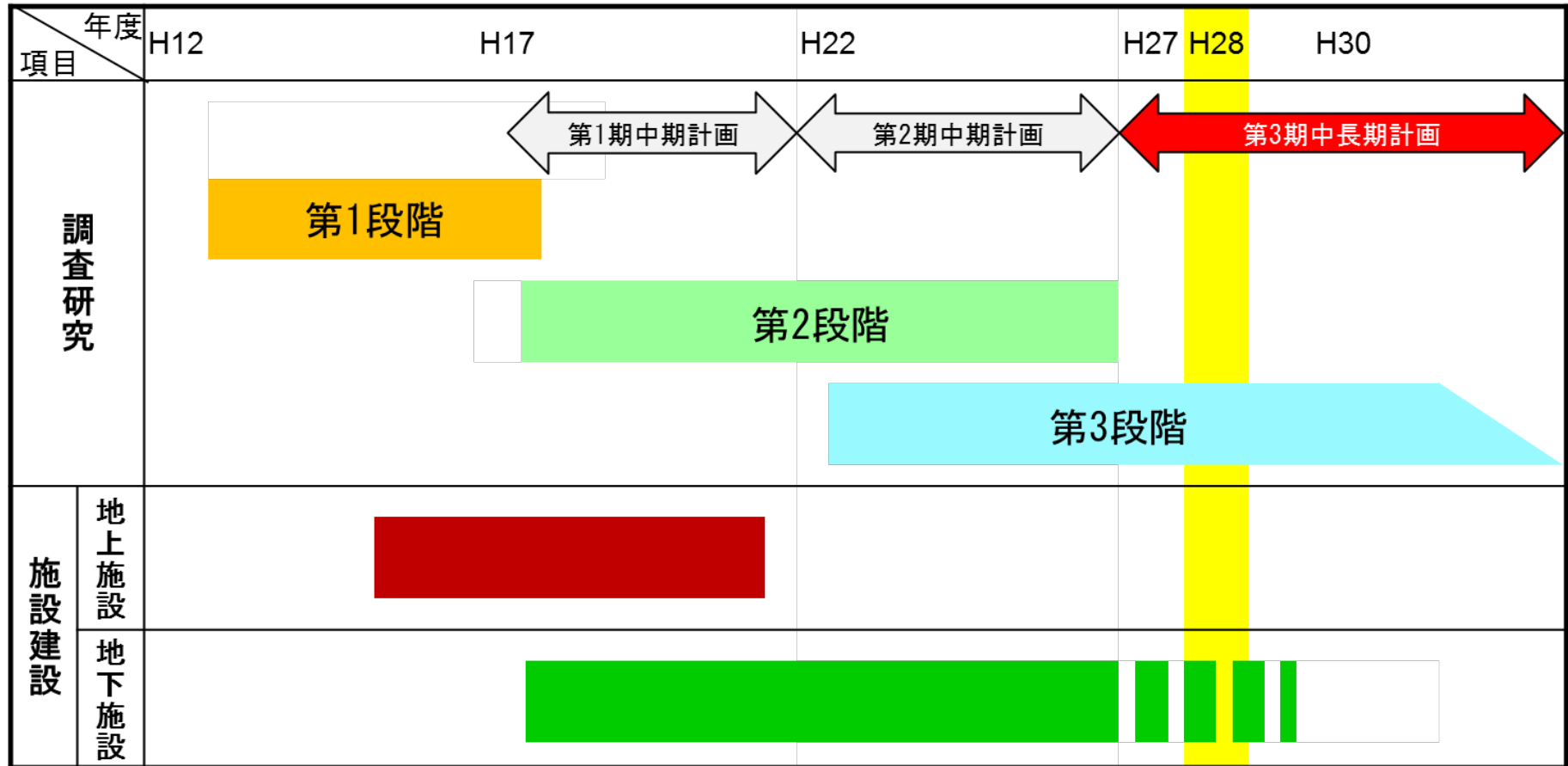
-平成29年度調査研究計画-



平成29年8月25日(金)

日本原子力研究開発機構
幌延深地層研究センター

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。

報告の概要

1. 地層科学研究

- 1.1 地質環境調査技術開発
- 1.2 深地層における工学的技術の基礎の開発
- 1.3 地質環境の長期安定性に関する研究

2. 地層処分研究開発

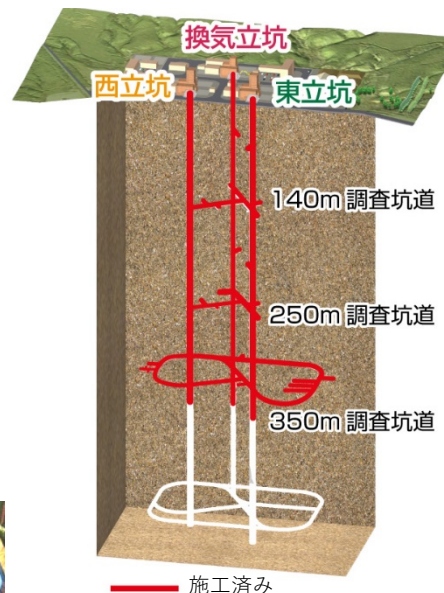
- 2.1 処分技術の信頼性向上
- 2.2 安全評価手法の高度化

3. 地下施設の維持管理

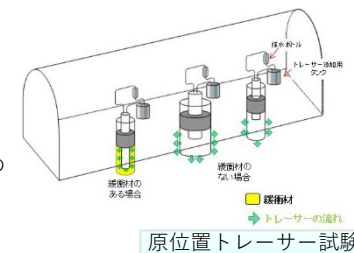
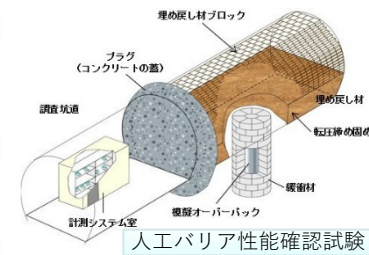
4. 環境モニタリング

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。



平成28年度の調査研究のイメージ

1. 地層科学研究に関する成果の報告

1.1 地質環境調査技術開発

1.2 深地層における工学的技術の基礎の開発

1.3 地質環境の長期安定性に関する研究

1.1 地質環境調査技術開発

岩盤の水理：水圧擾乱試験による岩盤の透水性の変化

●目的：

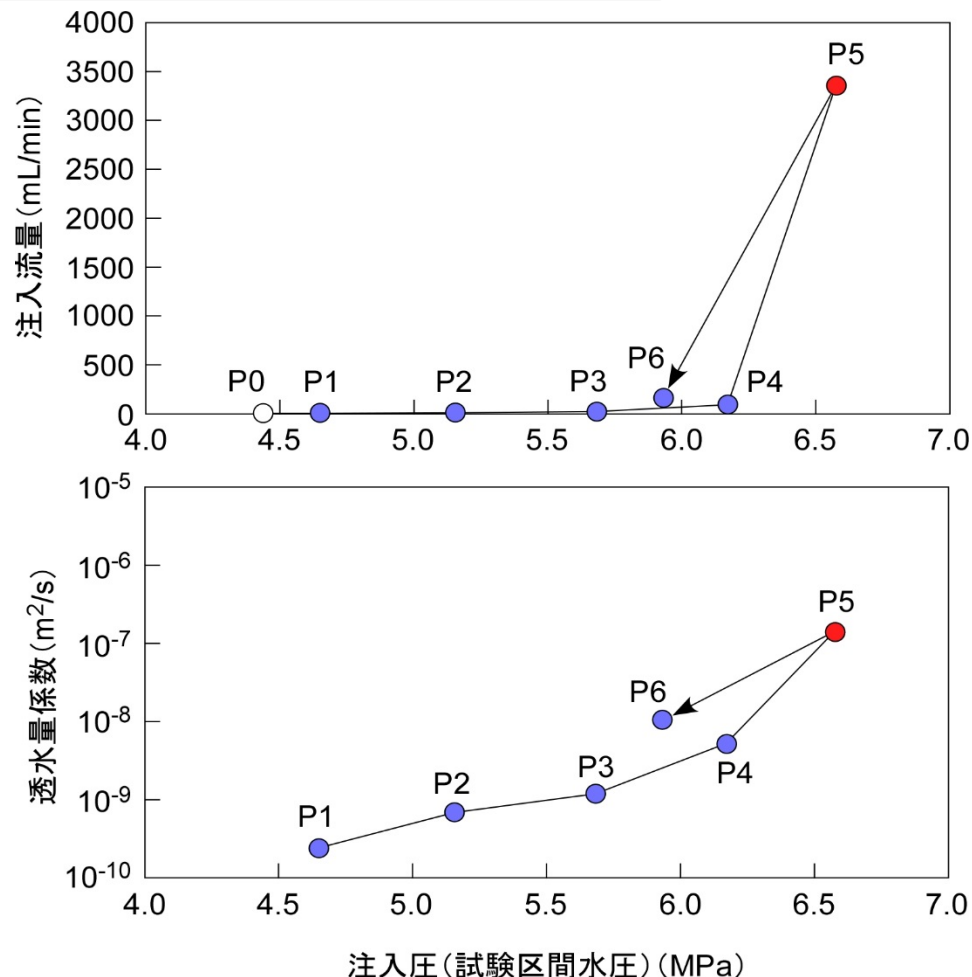
割れ目に高い圧力で地下水を注入し、人工的に断層を作り、透水試験（水圧擾乱試験）を実施することで断層の透水性と岩石の強度・応力状態との関係を明らかにする

●水圧擾乱試験の結果：

- 6.2MPaから6.5MPaまで上昇させると注入流量が急激に増加（試験区間の透水性も上昇）
- 水圧を6.0MPa以下にすると、注入流量および透水性は元の値近くまで回復



- 透水性の増加は概ね予測された値と整合
- 堆積岩の水圧擾乱に対する回復能力を確認



今後も断層に対する水圧擾乱試験を実施し、地殻変動の影響を考慮するための技術基盤を整備していく。

1.1 地質環境調査技術開発

岩盤の地球化学：坑道掘削後の酸化還元状態

●目的：

坑道掘削による周辺岩盤の酸化還元状態を調査することにより、岩盤の酸化の進み具合を把握する。

岩盤が酸化すると・・・

- ✓ 物質を収着させる性能が劣化
- ✓ 地下水に物が溶けやすくなる など

●色調分析の結果：

- 坑道掘削後の経過年数や坑道壁面からの距離によらず、コア試料の色調に明瞭な差はなかった。

●電子顕微鏡によるコア観察の結果：

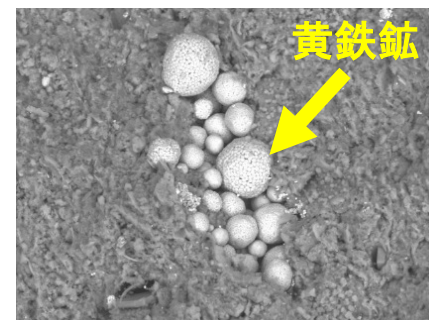
- コア試料中に、還元環境で安定に存在する黄鉄鉱が含まれていることを確認。



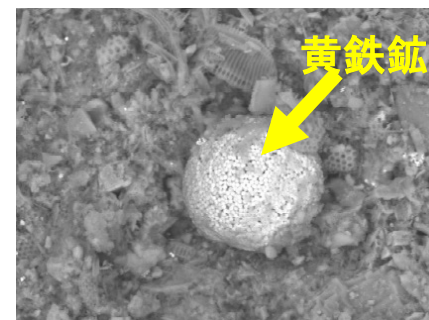
坑道周辺における岩盤の酸化はほとんど生じていない。

今後は、空気が直接接しているコア岩石などを分析し、酸化の進展に関するデータを拡充していく予定です

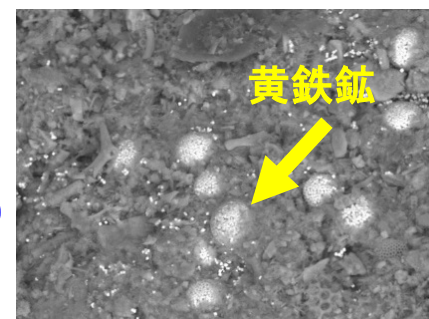
坑道掘削後
3年経過
(350m坑道)



坑道掘削後
6年経過
(250m坑道)



坑道掘削後
7年経過
(140m坑道)



1.1 地質環境調査技術開発

岩盤力学：坑道周辺の掘削による影響評価

●目的：

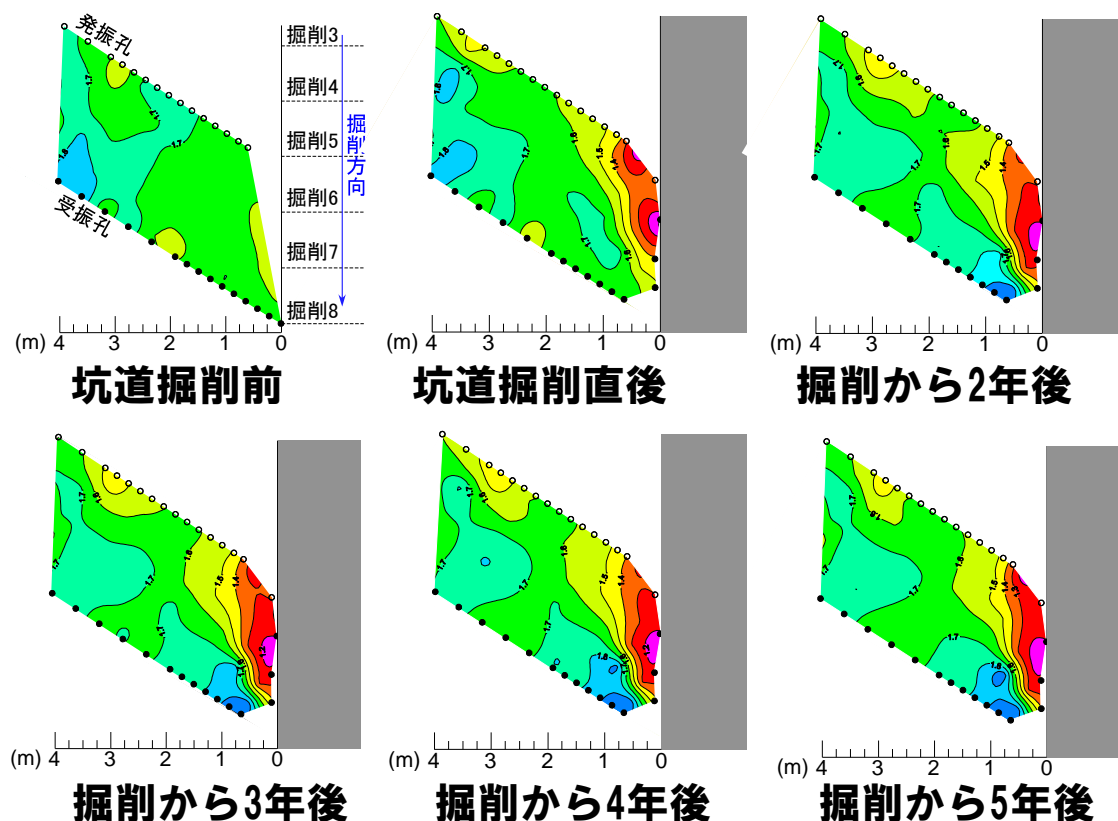
坑道掘削による周辺岩盤への影響範囲の広がりやその程度を把握するために、弾性波トモグラフィーによる調査を実施。

●弾性波トモグラフィーの結果：

- 坑道の掘削直後、弾性波速度が顕著に低下した領域が、壁面から約1mまで発達
- 坑道掘削から5年経過しても、速度低下領域は、壁面から約1mの範囲を超えて広がっていない。



坑道掘削によるゆるみ領域は、壁面から約1.0mの範囲で安定して存在



今後も坑道掘削による岩盤への影響の観測を継続していく予定です

1. 地層科学研究に関する成果の報告

1.1 地質環境調査技術開発

1.2 深地層における工学的技術の基礎の開発

1.3 地質環境の長期安定性に関する研究

1.2 深地層における工学的技術の基礎の開発

地下施設における湧水対策技術の開発：シミュレーションによる止水効果の把握

●目的：

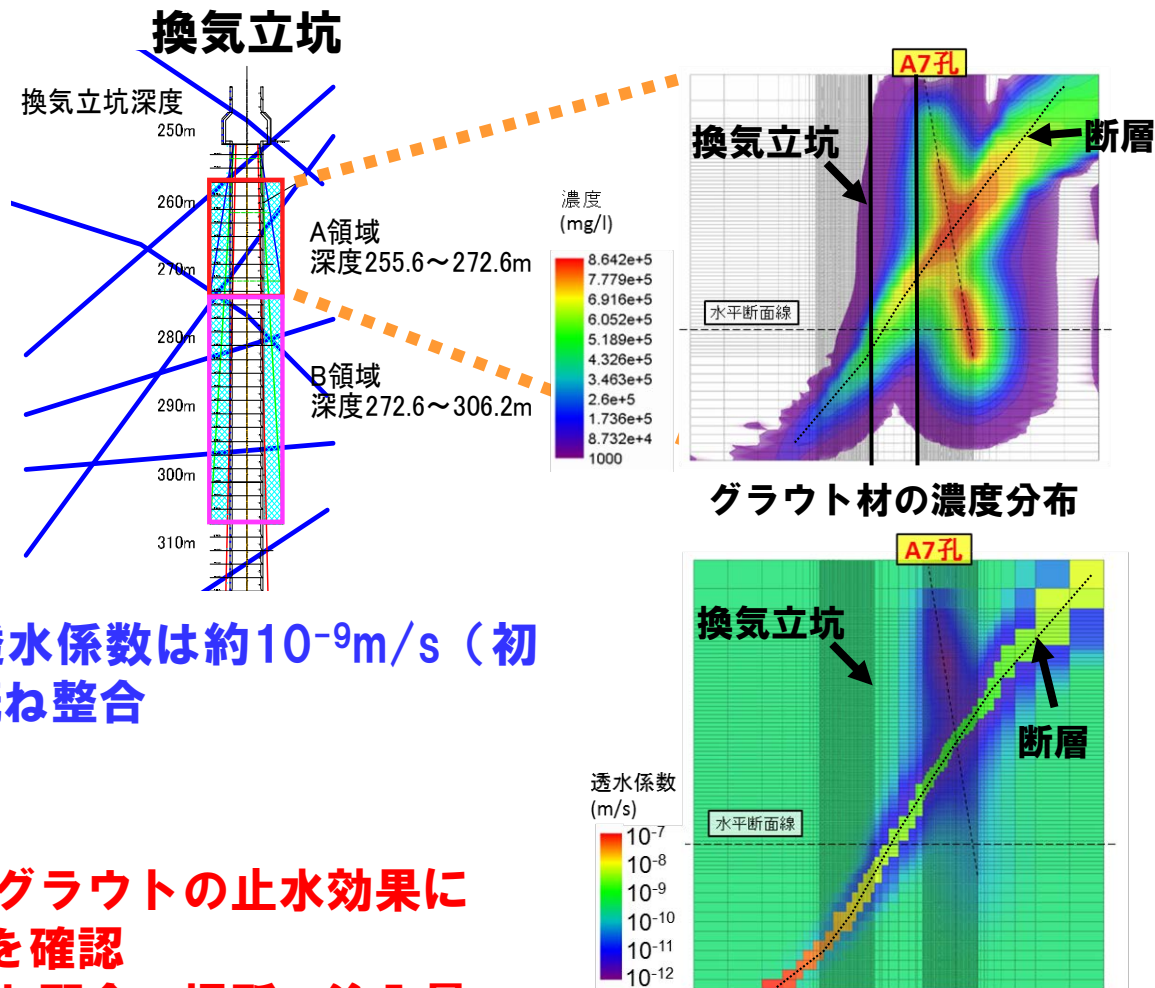
換気立坑を対象とした、グラウトの止水効果の予測技術、およびグラウト材の浸透範囲の評価技術の開発

●解析結果：

- 断層に沿ってグラウト材が浸透する挙動を評価することにより、グラウト材の濃度や浸透範囲を把握することが可能
- 解析によるグラウト施工後の断層の透水係数は約 $10^{-9}m/s$ （初期値 $10^{-5}m/s$ ）。これは、実測値と概ね整合



- シミュレーションによるグラウトの止水効果に関する評価技術の有効性を確認
- 止水プログラム（グラウト配合，場所，注入量，注入圧力，浸透範囲）策定に反映



グラウト材の濃度分布

グラウト施工後の
透水係数の分布

1. 地層科学研究に関する成果の報告

1.1 地質環境調査技術開発

1.2 深地層における工学的技術の基礎の開発

1.3 地質環境の長期安定性に関する研究

1.3 地質環境の長期安定性に関する研究

地質環境の長期的変遷に関する研究：100万年前の地形の推定

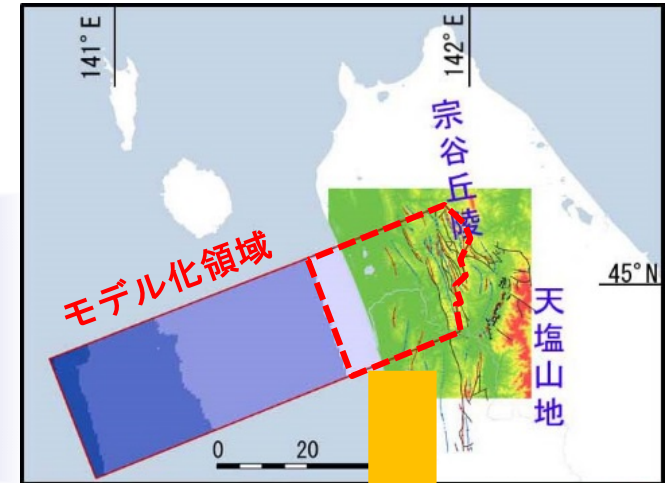
●目的：

過去の地形を復元し、現在の地形に至るまでの長期変遷プロセスを評価するための技術を開発する。

過去から現在までの地形を評価することにより・・・

- ✓ 海岸線の位置はどのように変遷したのか？
- ✓ 現在確認されている断層はいつ活動を開始したのか？
など

を把握することができ、これらは将来の地質環境推定に有用



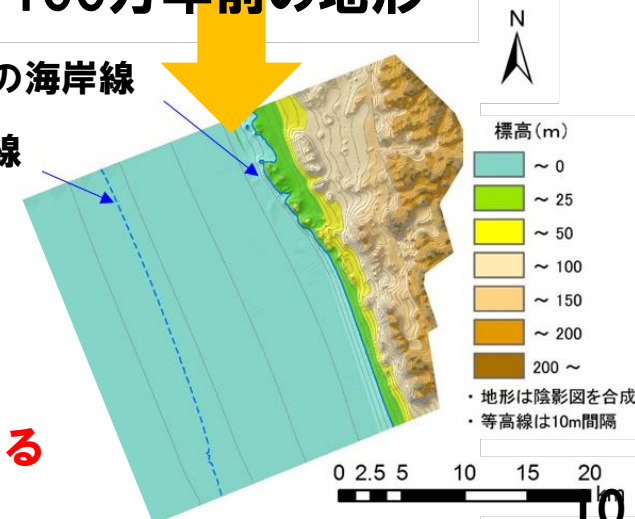
100万年前の地形

●解析結果：

- ✓ 100万年前の海岸線の位置は、現在よりも数十km程度東方(山側)にあり、海域が広がっていた。
- ✓ 地形の復元プロセスでは、様々な不確実性(気候変動の取り扱い、隆起・侵食の取り扱い、など)が存在するため複数の地形モデルが存在する可能性がある。

100万年前の海岸線

現在の海岸線



地下水流動や水質（塩分濃度）の解析と併せて検討することにより、解析の妥当性を検証していく予定です。

2. 地層処分研究開発に関する成果の報告

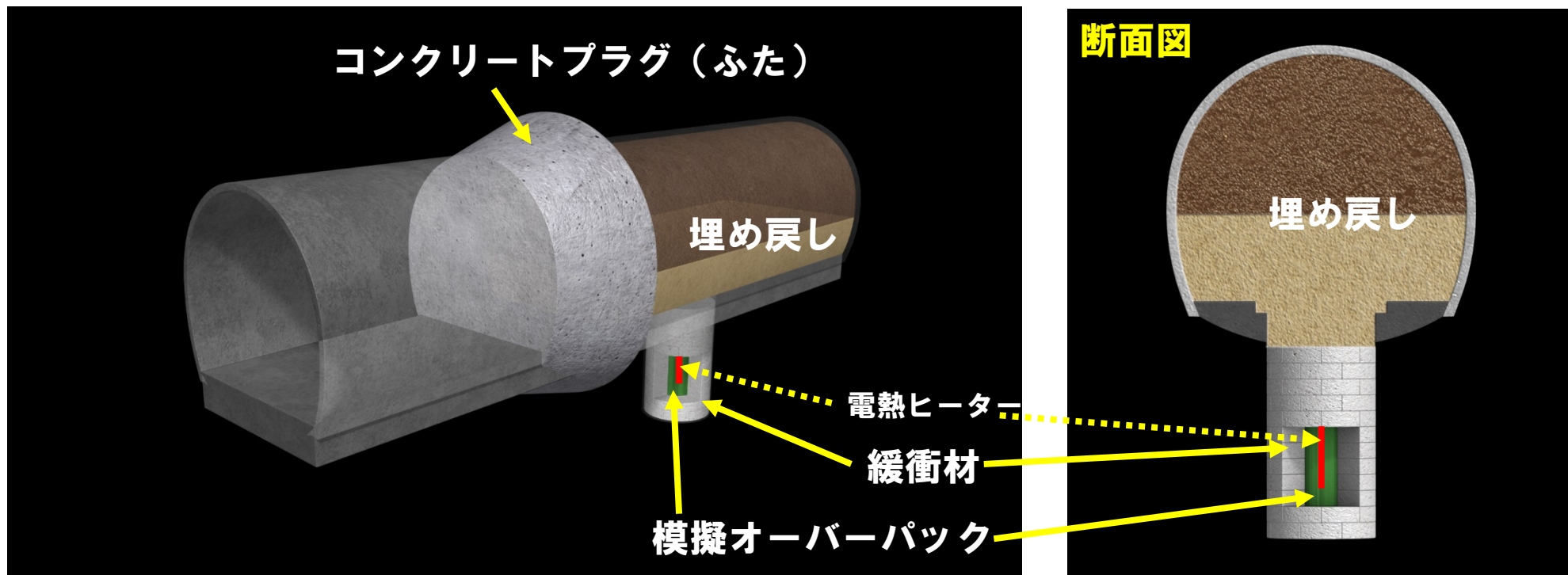
2.1 処分技術の信頼性向上

2.2 安全評価手法の高度化

2.1 処分技術の信頼性向上

人工バリアや埋め戻し材の設計手法の適用性確認

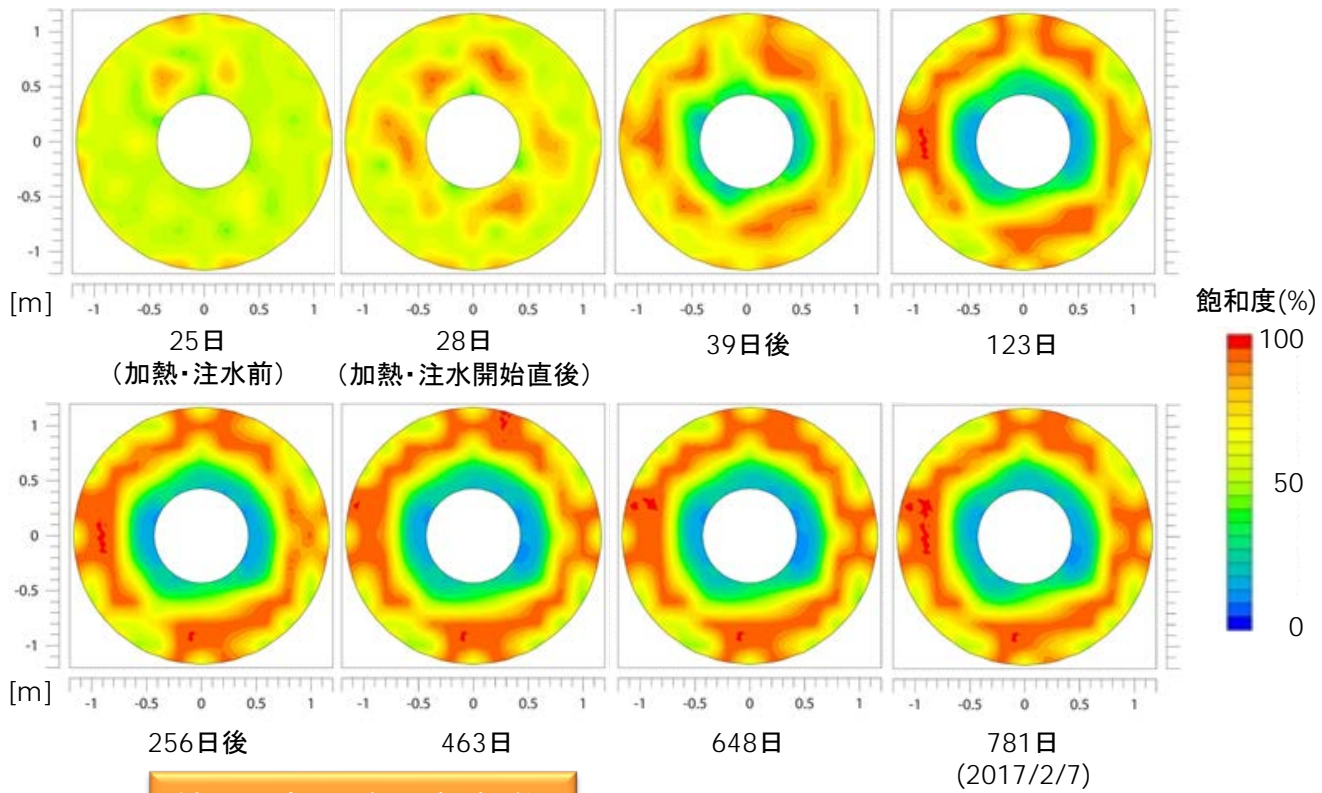
深度350m調査坑道 試験坑道4 人工バリア性能確認試験イメージ



- これまで検討されてきた処分概念が**実際の地下で構築できることの実証**
- 人工バリアや埋め戻し材の**設計手法の適用性確認**
- 人工バリアや周辺岩盤の変化（熱/水/応力/化学）を評価するために**必要なデータの取得**

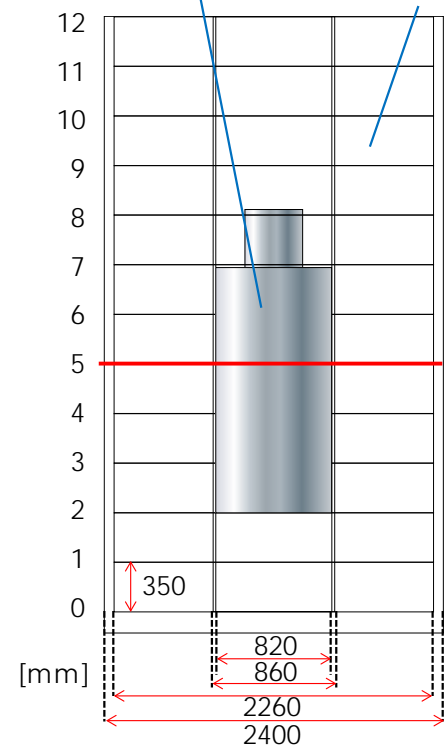
2.1 処分技術の信頼性向上

人工バリア性能確認試験－緩衝材の飽和度（比抵抗トモグラフィの結果）



飽和度の経時変化

模擬オーバーパック 緩衝材ブロック

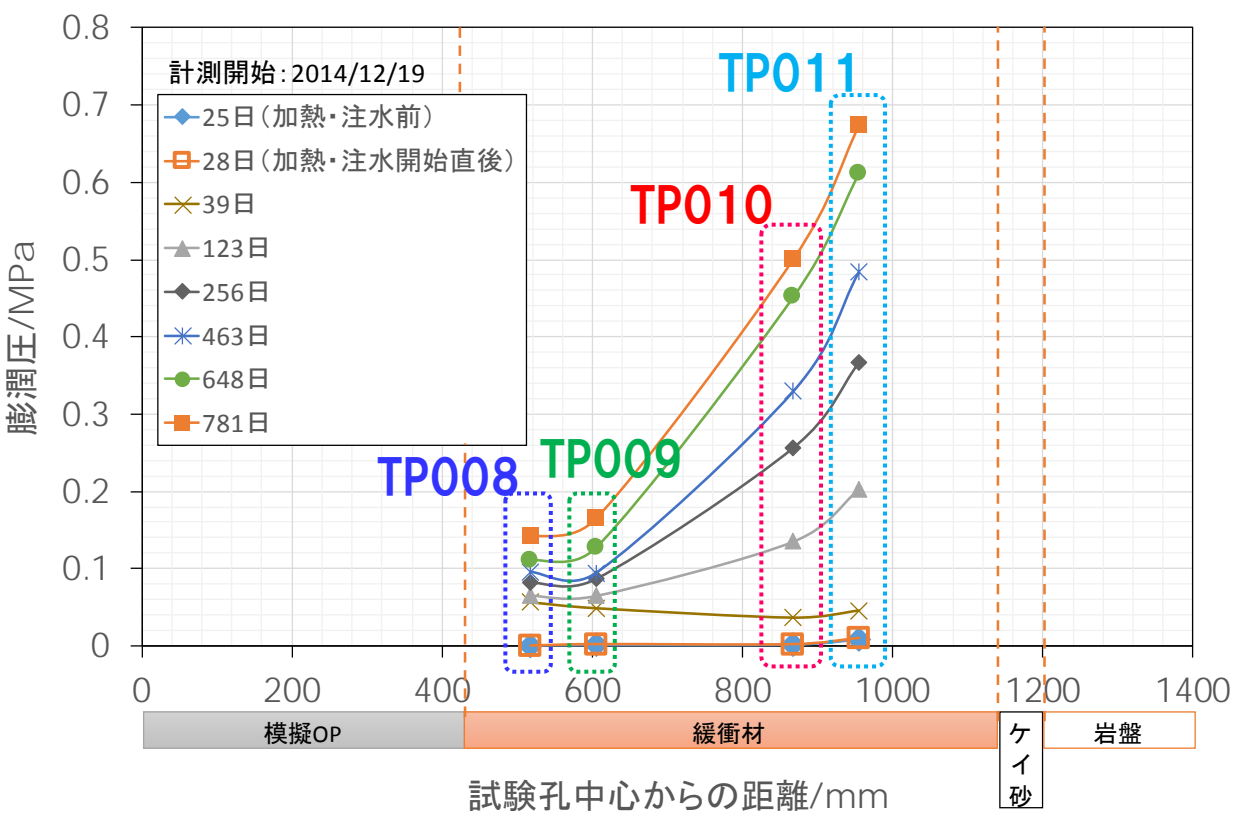


測定開始から781日後（H29年2月7日）で緩衝材のほぼ中間まで地下水が浸潤

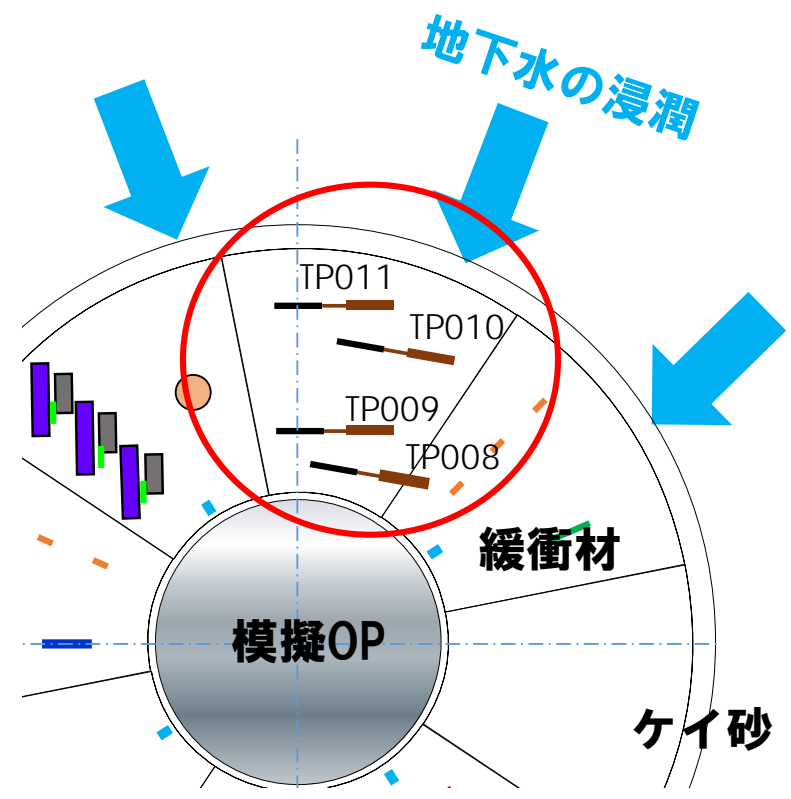
今後もデータ取得を継続し、実測値とコンピューターシミュレーションの結果を比較するとともに、計測センサーの耐久性を確認します。

2.1 処分技術の信頼性向上

人工バリア性能確認試験－緩衝材の膨潤圧（土圧計の結果）



膨潤圧の経時変化



緩衝材5段目の計測器配置

➤ 緩衝材の外側から30cm程度の位置まで、緩衝材が膨潤している（＝地下水が浸潤している）→比抵抗トモグラフィの結果と整合

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

試験坑道2(坑道整備前)



試験坑道2(坑道整備後)



- 処分坑道横置き方式を想定した搬送定置・回収という一連のプロセスを実証することを目的とした研究
- 平成28年度は試験坑道の整備および計測器の設置作業を実施。

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



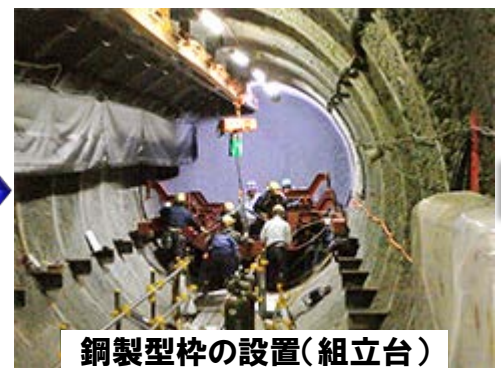
試験坑道2(坑道整備前)



鉄筋組立作業(組立台)



計測器の設置作業(組立台)



鋼製型枠の設置(組立台)



コンクリート打設(組立台)



コンクリート台座の設置作業(組立台)



作業台の設置作業



試験坑道2(坑道整備後)



(試験坑道奥から)

2. 地層処分研究開発に関する成果の報告



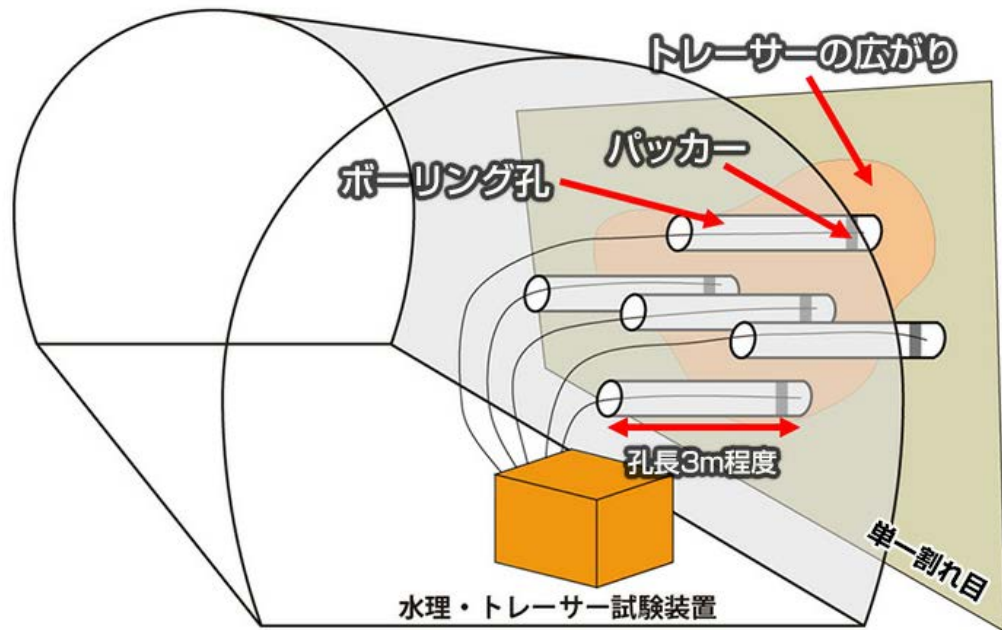
2.1 処分技術の信頼性向上

2.2 安全評価手法の高度化

2.2 安全評価手法の高度化

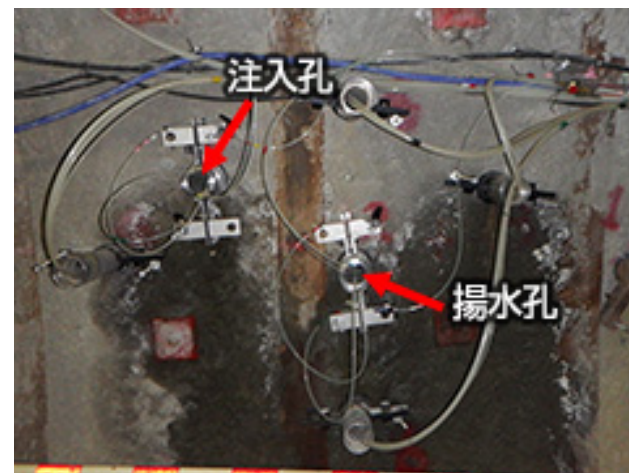
安全評価における物質移動解析に関わる技術の開発

- 350m調査坑道で健岩部や単一の割れ目を対象とした原位置トレーサー試験を実施しました。

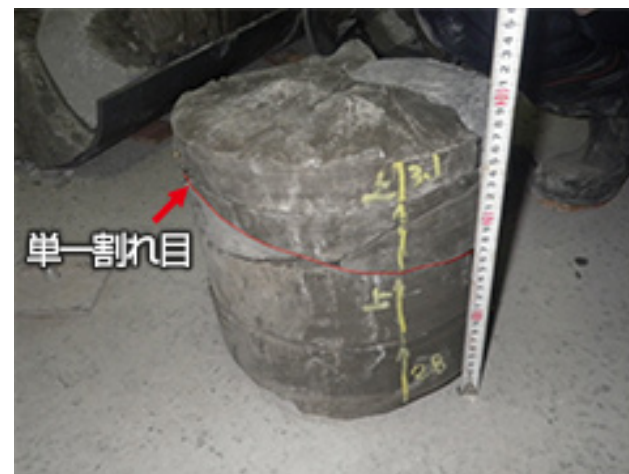


単一の割れ目を対象としたトレーサー試験のレイアウト概要

今後は採取した岩盤を用いて、亀裂中のトレーサーの分布状態について分析する予定です。



原位置試験の状況

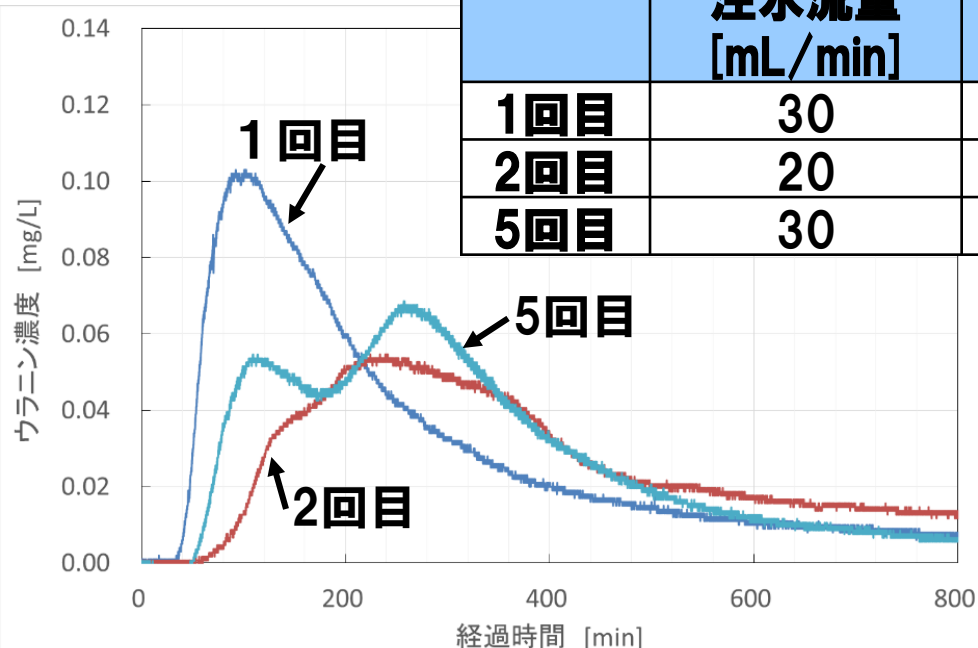


試験後の採取した岩石試料

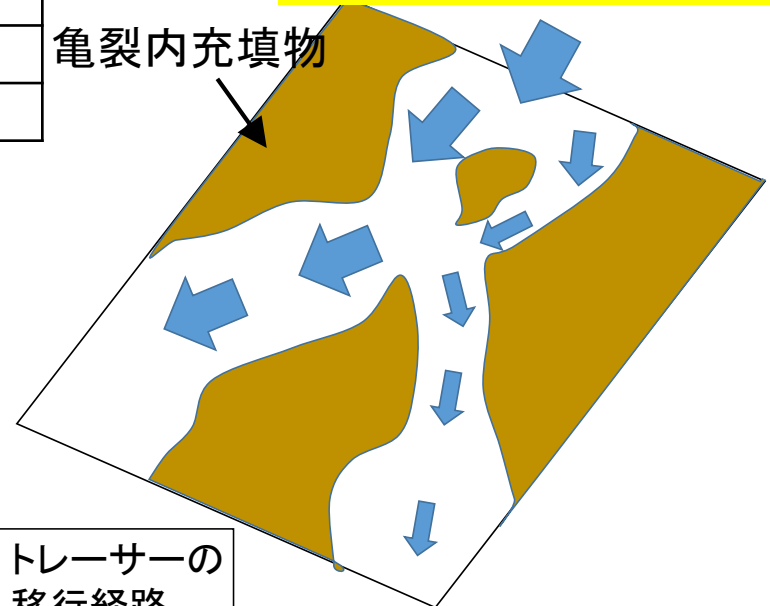
2.2 安全評価手法の高度化

単一割れ目を対象とした原位置トレーサー試験

	注水流量 [mL/min]	揚水流量 [mL/min]
1回目	30	30
2回目	20	25
5回目	30	30



注水流量を変化させると
移行経路が変わる



トレーサー試験の結果

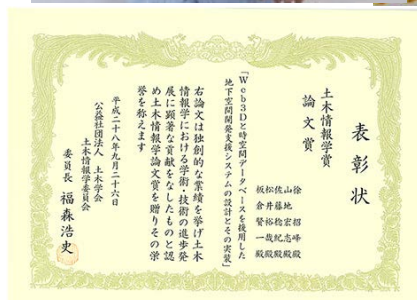
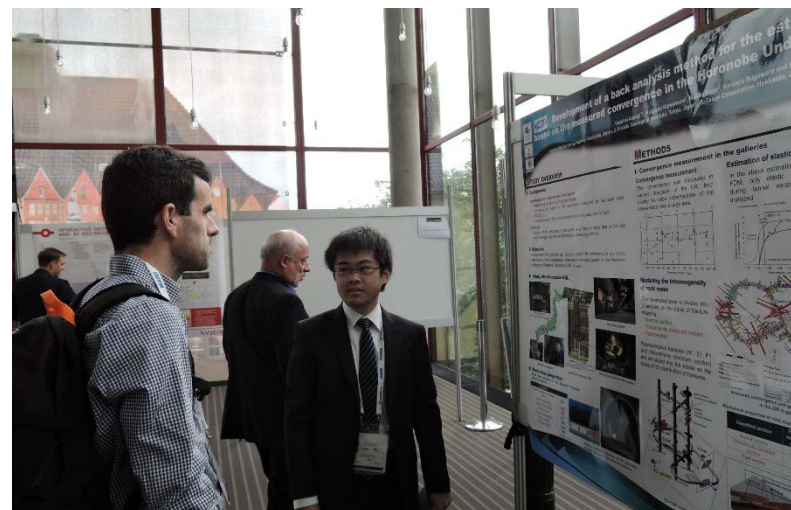
(1回目と5回目は同条件で実施しているものの、
結果が大きく相違)

今後は、室内試験から得られる情報も併せ、岩盤中での物質移行メカニズムを精度良く把握するための試験技術、評価技術の開発を進めていきます。

研究成果

- 報告書 : 12冊
- 論文 : 11編
- 学会発表 : 11件

- 受賞 :
 - 土木学会平成27年度論文奨励賞
 - 2016年度土木学会土木情報学論文賞



H29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"> • 水圧擾乱試験や岩石・地下水の分析を通じて、坑道周辺の地質環境の理解を深めるとともに、調査に必要な機器開発を進めます。 • 沿岸部における地質環境の調査技術の高度化開発を行います。
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、解析手法の高度化や室内試験を実施します。
地質環境の長期安定性に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> • 地形や地質構造の長期的な変化を予測する手法や、地震・断層活動が地下水の流れや水質に与える影響を推定する手法の検討を継続します。

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やオーバーパック腐食試験を継続します。 • 低アルカリ性コンクリート材料が周辺岩盤や地下水に及ぼす影響を把握するための調査を継続します。 • 人工バリアの定置・品質確認に関する実証試験について、平成30年度に予定している原位置試験の計画について検討を進めるとともに、予備試験や準備作業を実施します。
安全評価手法の高度化	<ul style="list-style-type: none"> • 350m調査坑道で実施している原位置トレーサー試験を継続するとともに、東立坑坑底を利用した割れ目帯を対象としたトレーサー試験を実施します。 • 原位置試験を補完・検証するための室内試験や、物質移行解析を実施します。



3. 地下施設の維持管理
4. 環境モニタリング
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

平成28年度は地下施設の機械設備や電気設備の点検保守や修繕（維持管理）を継続し、地下施設の安全性確保に努めました。
平成29年度も、維持管理業務を継続していきます。

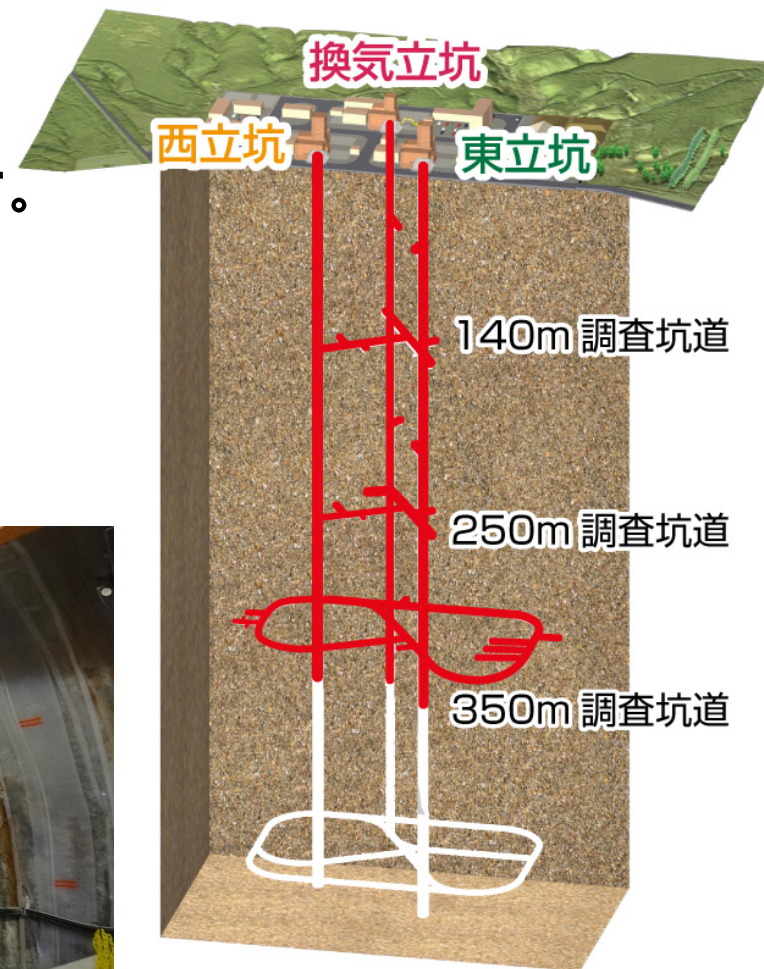


機械設備の点検・整備



地下水の排水用シートの更新

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. 環境モニタリング

○排水量および水質調査

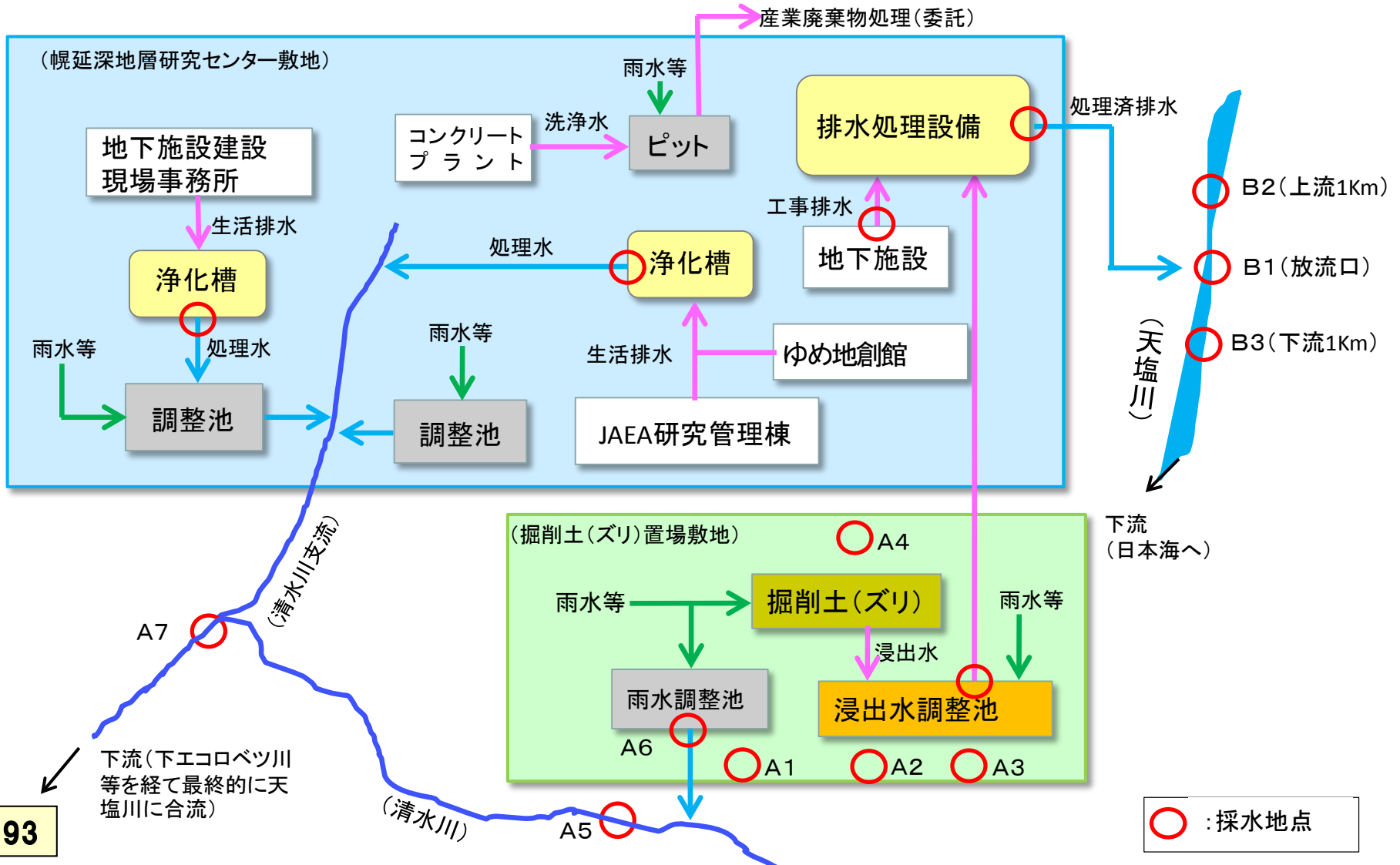
- (1) 天塩川への排水量
- (2) 地下施設からの排水の水質調査
- (3) 天塩川の水質調査
- (4) 掘削土（ズリ）置場周辺の地下水の水質調査
- (5) 清水川および掘削土（ズリ）置場雨水調整池の水質調査
- (6) 浄化槽排水の水質調査

○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. 環境モニタリング ～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. 環境モニタリング ～排水量および水質調査結果～

水質調査試料の採取状況



天塩川の水質採取状況 (B1～B3)



掘削土 (ズリ) 置場周辺の地下水 (A1～A4)

4. 環境モニタリング ～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55,983m³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401m³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)
28年4月	7,142	401	238.1
5月	4,202	291	135.5
6月	5,004	296	166.8
7月	5,220	363	168.4
8月	5,337	361	172.2
9月	5,053	372	168.4
10月	4,958	339	159.9
11月	4,513	329	150.4
12月	4,078	264	131.5
29年1月	3,288	272	106.1
2月	3,073	244	109.8
3月	4,115	266	132.7
年間	合計: 55,983	—	—

4. 環境モニタリング ～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。平成29年度も継続して調査を実施します。

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	<0.01~0.02	<0.01	0.1
フッ素	mg/L	<0.8	<0.8	<0.8	8
ホウ素	mg/L	68~95	0.4~8.9	<0.1~1.0	10
全窒素	mg/L	72~89	19~84	15~25	120 (日間平均:60)
全アンモニア	mg/L	58~69	0.37~2.0	<0.05	—
pH	—	8.1~8.2	7.0~7.8	7.1~8.3	5.8~8.6
浮遊物質 量(SS)	mg/L	15~310	7~13	<1~2	200 (日間平均:150)
塩化物イオン	mg/L	3,400~4,200	21~260	2,500~4,000	—

4. 環境モニタリング ～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。平成29年度も継続して調査を実施します。

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	<0.01~0.07	<0.01~0.03	<0.01~0.09	5以下
全窒素	mg/L	0.19~2.1	0.19~2.3	0.20~2.3	20以下
全アンモニア	mg/L	<0.05~0.13	<0.05~0.12	<0.05~0.12	2以下 (B3地点のみ)
pH	—	6.5~7.5	6.6~7.4	6.6~7.5	5.8~8.6
浮遊物質 (SS)	mg/L	<1~240	<1~300	<1~300	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. 環境モニタリング ～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28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。平成29年度も継続して調査を実施します。

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～H28.2)	H28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	<0.005
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	<0.02～27
pH	—	A1～A4	4.6～7.3	3.7～7.4	5.6～7.1
塩化物イオン	mg/L	A1～A4	9.7～2,910	8.4～3,400	8.9～1,200

4. 環境モニタリング ～排水量および水質調査結果～



(5) 清水川及び掘削土（ズリ）置場雨水調整池の水質調査結果

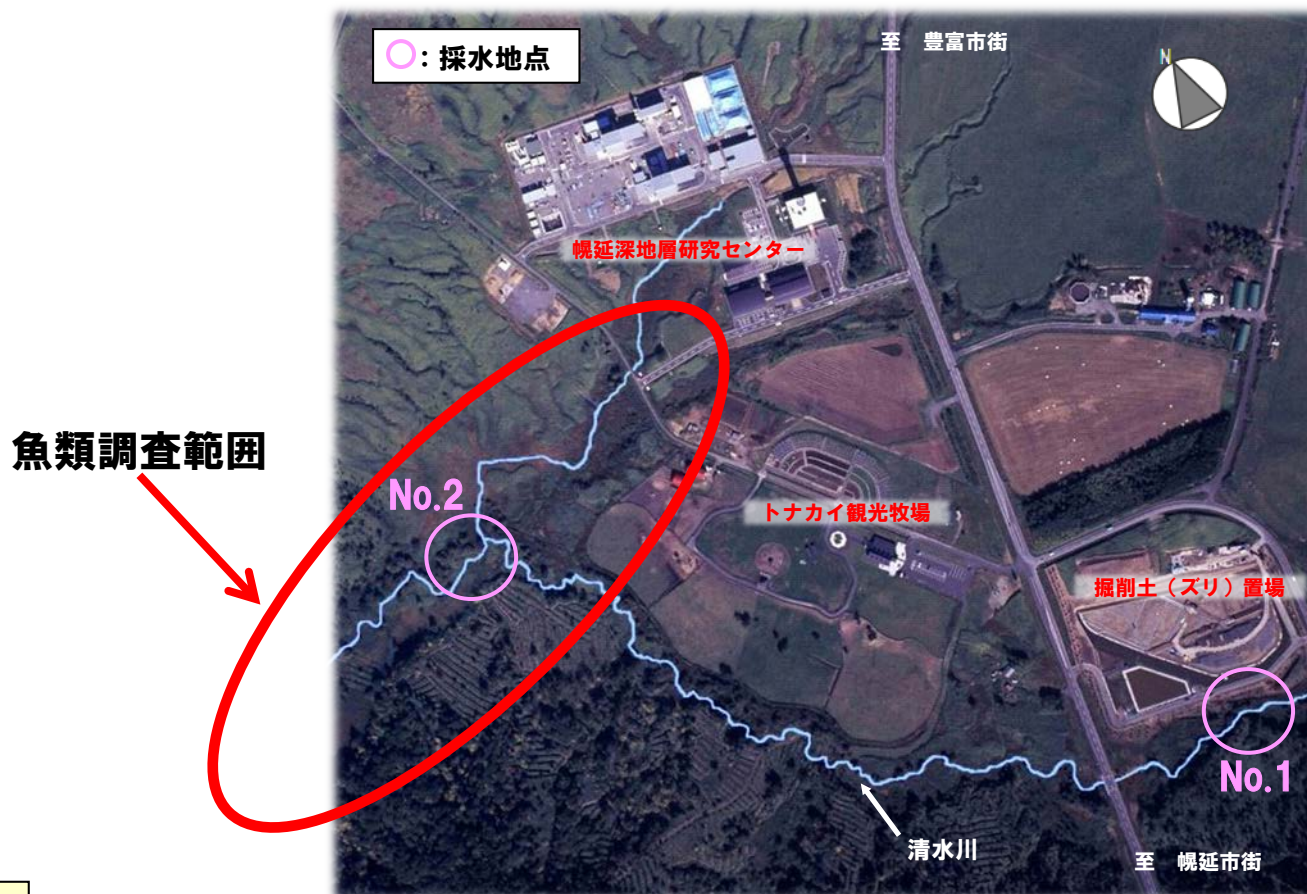
平成28年度の調査結果から掘削土（ズリ）置場が周辺環境に影響を与えていないと判断しています。平成29年度も継続して調査を実施します。

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~H28.3)	H28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	<0.005~0.006
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	0.04~0.30
pH	—	A5~A7	5.8~7.4	5.7~9.1	6.4~8.3
浮遊物質(SS)	mg/L	A5~A7	1~173	<1~500	<1~38
塩化物イオン	mg/L	A5~A7	5.1~30.5	2.9~269	4.1~44

4. 環境モニタリング ～センター周辺の環境影響調査結果～

清水川の水質及び魚類の調査結果

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。



4. 環境モニタリング

～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

下流の採水地点No.2において生物化学的酸素要求量が10mg/Lと、これまでの調査結果より若干高めの値を示しましたが、降雨による濁りなどが要因と考えられます。平成29年度も継続して調査を実施します。

分析項目	単位	採水地点	過年度 (H14.8～H28.2)	平成28年度			
				6月	9月	11月	2月
pH	—	No1	6.3～7.9	7.6	7.5	7.6	7.5
		No2	6.4～7.7	7.5	7.5	7.6	7.3
生物化学的 酸素要求量	mg/L	No1	<0.5～62	3.2	8.4	2.0	0.8
		No2	<0.5～6.8	6.0	10	2.2	4.6
浮遊物質	mg/L	No1	1～70	3	4	1	2
		No2	<1～69	4	5	2	3
溶存酸素量	mg/L	No1	6.6～13.9	9.9	8.5	12	12.8
		No2	5.5～12.5	8.4	6.2	9.8	8.4

4. 環境モニタリング

～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。平成29年度も継続して調査を実施します。

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。平成29年度も安全最優先で業務を進めていきます。



安全大会

- 各種安全行事による意識高揚
- 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



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

北海道大学、
室蘭工業大学、
東京大学、
京都大学、
東北大学など

◆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
人工バリアの搬送定置・回収技術
の実証試験にむけた試験坑道
の整備の様子
（平成29年1月、
於 350m調査坑道）



国際共同研究プロジェクト（LTDプロジェクト）に係わる国際会議の様子
（平成28年10月、於 国際交流施設）