

幌延深地層研究計画に関する 必須の課題成果取りまとめ案について

平成30年10月1日

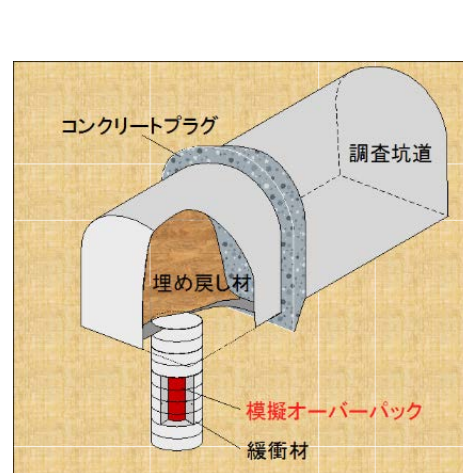
幌延深地層研究センター

必須の課題

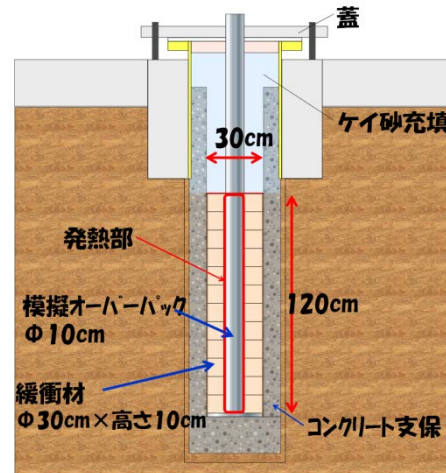
①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

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、オーバーバック腐食試験、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」に必要となる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
- オーバーバック腐食試験
- 物質移行試験



人工バリア性能確認試験

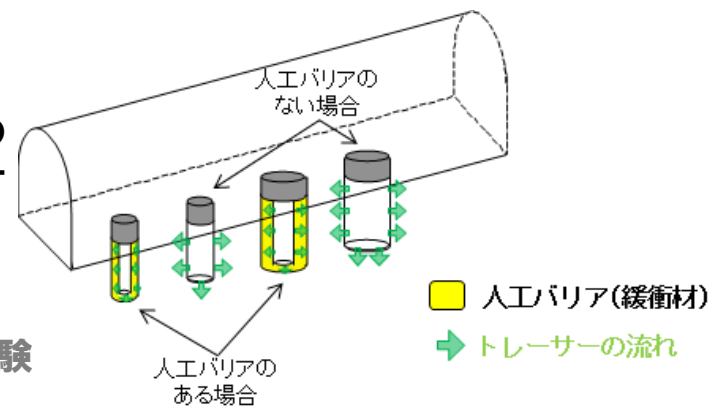


オーバーバック腐食試験

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



物質移行試験

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

深度500mレベルでの研究内容については、深度350mでの調査研究の成果や地層処分に関する国の方針などを踏まえて検討する。また、研究終了までの工程やその後の埋め戻しについては、平成31年度末までに決定する。

必須の課題成果取りまとめの構成（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

設計手法の適用性確認

製作・施工技術及び品質管理手法の適用性確認

THM／THMC連成評価手法及びモニタリング手法の適用性確認

オーバーパック腐食試験

実際の地下環境下におけるオーバーパックの腐食挙動評価手法の適用性の確認

原位置におけるモニタリング手法の適用性確認

物質移行試験

岩盤基質部における物質移行挙動の解明

割れ目における物質移行挙動の解明

必須の課題成果取りまとめの構成（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

湧水抑制対策技術

支保技術

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のうち、PEMを用いた搬送定置・回収技術の実証

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

断層の変形様式を支配する強度・応力状態の指標化

断層の透水性の潜在的な上限と指標との関係性の整理とモデル(経験則)の構築

原位置試験によるモデルの検証

(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＜背景・目標＞

(a) 研究の背景

- 安全評価上の初期状態設定やオーバーパックの寿命評価に必要なニアフィールド環境条件を明らかにするため、THMC連成評価手法の整備が必要
- 国際的共同研究(DECOVALEX)で釜石原位置試験、人工バリア性能確認試験、FEBEX、EB試験等の結果を対象としたTHM／THMC連成解析が行われ、評価手法の妥当性が検討されているが、応力や化学の連成に課題
- 人工バリア等の製作・施工技術や品質管理手法などの工学的実現性に関する実規模・工学規模の試験が国内外にて実施
- 人工バリア等の設計要件、設計上考慮すべき特性やパラメータ、考え方などは整理されているものの、仕様を設定するための個別設計フローに関する報告例はない

(b) 研究の目標

- 人工バリア等に関する設計手法の構築とその適用性の確認
- 人工バリア性能確認試験をととして製作・施工技術ならびに品質管理方法の適用性の確認
- ニアフィールド領域の再冠水～飽和の過程を実規模で再現し、取得したTHMC連成データによる解析評価手法の妥当性、適用性を確認
- THMC連成現象をモニタリングする手法について、実際の地下環境での適用性を実規模で確認

(c) 研究課題

- 設計手法の適用性確認
- 製作・施工技術及び品質管理手法の適用性確認
- THM／THMC連成評価手法及びモニタリング手法の適用性確認

(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 <研究成果の概要(1)>

(a) 設計手法の適用性確認

a) 人工バリアの設計手法

- 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一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

b) 閉鎖技術の設計手法

- 掘削ズリを混合した材料を対象に埋め戻し材の設計手法を構築し、製作・施工方法を加味した試設計を実施、その適用性を確認

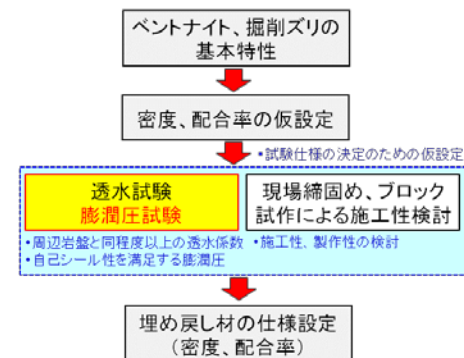
(b) 製作・施工及び品質管理手法の適用性確認

a) 人工バリアの製作・施工及び品質管理手法

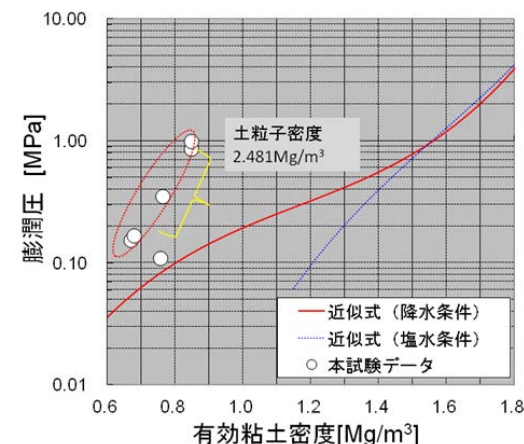
- 設計要件に基づいた緩衝材ブロック、オーバーパックを製作、真空把持装置を用いた緩衝材ブロックの定置や品質管理手法の適用事例を明示

b) 閉鎖技術の製作・施工及び品質管理手法

- 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
- 低アルカリ性セメント(HFSC)を用いたコンクリートプラグの設計・施工及び品質管理の適用事例を明示



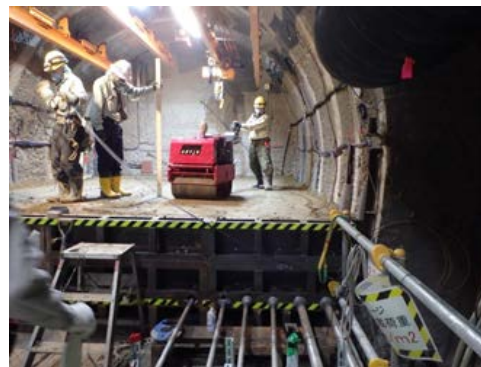
埋め戻し材の設計フロー



埋め戻し材の有効粘土密度と膨潤圧の関係



緩衝材ブロックの製作と試験孔への定置の例



転圧締固めによる埋め戻し材の施工例

(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 <研究成果の概要(2)>

(c) THM/THMC連成評価手法及びモニタリング手法の適用性確認(1)

【実施概要】

- 人工バリア性能確認試験のヒーター、オーバーパック、緩衝材、緩衝材と岩盤の隙間に充填した砂層、埋め戻し材、支保コンクリート、コンクリートプラグ等をモデル化し、THAMESによりTHM連成解析を実施。緩衝材については、物性値の問題から乾燥密度 1.6Mg/m^3 と設定。注水及び温度条件は簡略化
- 緩衝材物性値の密度依存性と弾性係数が連成解析結果に及ぼす影響を確認するため複数のケースで解析を実施

解析評価に用いた物性値

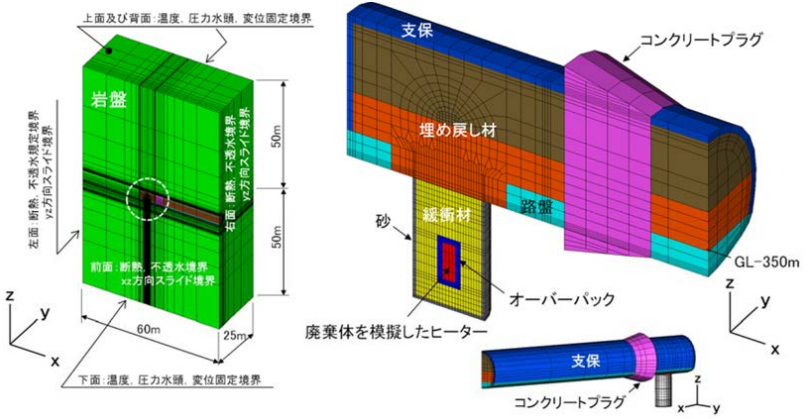
パラメータ	単位	岩盤	支保 路盤 プラグ	埋戻し材 (下側)	埋戻し材 (上側)	緩衝材	オーバーパック	伝熱用 オイル
真密度	kg/m ³	2454	2620	2593	2593	2680	7800	870
乾燥密度	kg/m ³	1354	2280	1200	1400	1600	-	-
空隙率	-	0.448	0.130	0.538	0.460	0.403	-	-
弾性係数	Pa	1.82×10^9	2.94×10^{10}	1.00×10^9	3.00×10^9	式2.2.1-8	2.00×10^{11}	8.20×10^{10}
ポアソン比	-	0.21	0.20	0.40	0.40*	0.30	0.30	0.30
線膨張係数	-	1.33×10^{-5}	1.00×10^{-5}	1.00×10^{-6}	1.00×10^{-6}	1.00×10^{-6}	1.64×10^{-6}	1.00×10^{-6}
初期飽和度	-	1.00	1.00	0.91	0.91	0.50	-	-
熱伝導率	W/mK	式2.2.1-1	2.56×10^9	式2.2.1-1	式2.2.1-1	式2.2.1-2	5.30×10^1	1.20×10^9
比熱	kJ/kgK	式2.2.1-3	1.05×10^9	式2.2.1-3	式2.2.1-3	式2.2.1-3	4.60×10^{-1}	9.60×10^{-1}
固有透過度	m ²	1.33×10^{-15}	9.10×10^{-18}	3.00×10^{-18}	1.76×10^{-19}	式2.2.1-4	-	-
水分特性曲線	-	式2.2.1-5	式2.2.1-5	式2.2.1-5	式2.2.1-5	式2.2.1-5	-	-
比透水係数	-	式2.2.1-6	式2.2.1-6	式2.2.1-6	式2.2.1-6	式2.2.1-7	-	-
温度勾配水分 移動係数	m ² /sK	-	-	-	-	1.00×10^{-11}	-	-
飽和膨潤応力	MPa	-	-	0.1	1.0	式2.2.1-9	-	-

解析ケース

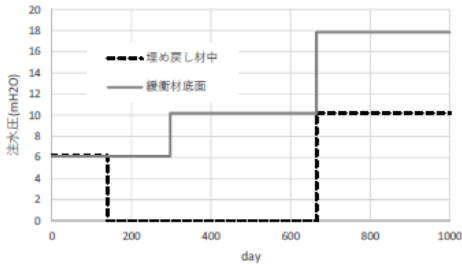
	緩衝材物性値の密度依存性	緩衝材の弾性係数の設定
ケース1	考慮する	式①
ケース2	考慮しない	式①の乾燥密度 1.6Mg/m^3 で固定
ケース3	考慮する	式①の2/3の値

$$E_{50} = -6.00 \times 10^{-5} \exp^{6.64 p_d} (S_r - 100) + 7.58 p_d - 6.84 \quad \text{①}$$

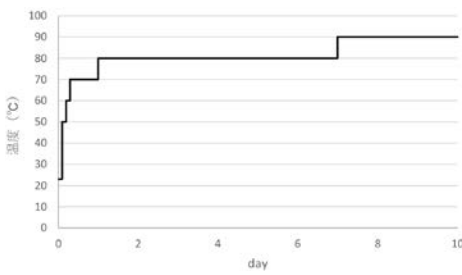
$$E_{50} : \text{弾性係数} \quad S_r : \text{水分飽和度} \quad p_d : \text{乾燥密度}$$



人工バリア性能確認試験の解析モデル



緩衝材および埋め戻し材への加圧注水条件



オーバーパック表面温度条件 (10日後以降は90°C一定)

(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 <研究成果の概要 (3)>

(c) THM/THMC連成評価手法とモニタリング手法の適用性確認 (2)

【解析結果】

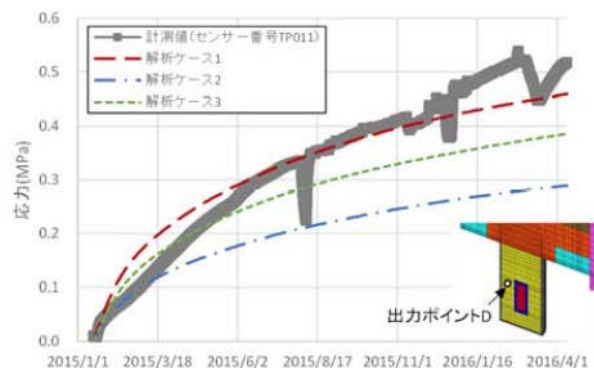
- 緩衝材中の温度及び浸潤挙動は、計測結果と概ね一致しているが、膨潤変形挙動は大きく乖離
- 緩衝材の膨潤・膨出による密度低下に伴う熱物性、水理特性及び力学特性への影響を把握
- 緩衝材中の膨潤変形挙動を再現するためには、緩衝材の力学特性の温度依存性を確認することが必要
(DECOVALEXでも課題のひとつとして抽出)
- 乾燥密度 $1.8\text{Mg}/\text{m}^3$ 、ケイ砂30%を対象とした水分拡散係数や比透水係数など、解析物性値を拡充し、評価手法の適用性確認を継続



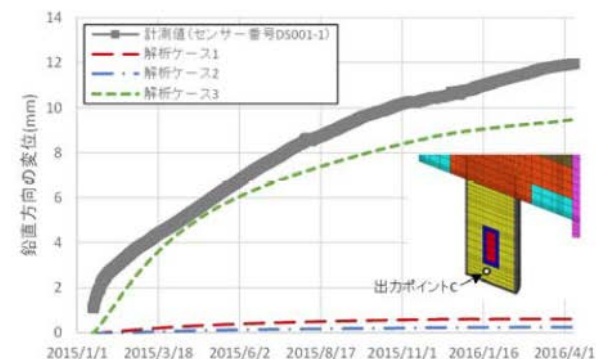
(a) 温度



(b) 水分飽和度



(c) 応力



(d) 鉛直方向の変位

人工バリア性能確認試験における計測結果とTHM連成解析結果の比較

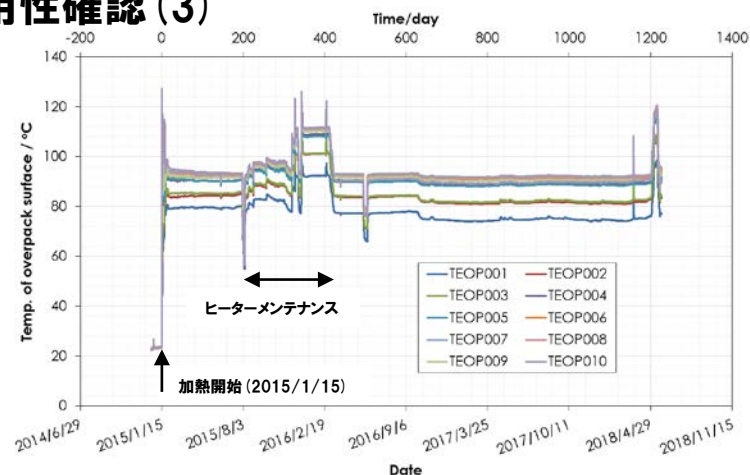
(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

1) 人工バリア性能確認試験 <研究成果の概要(4)>

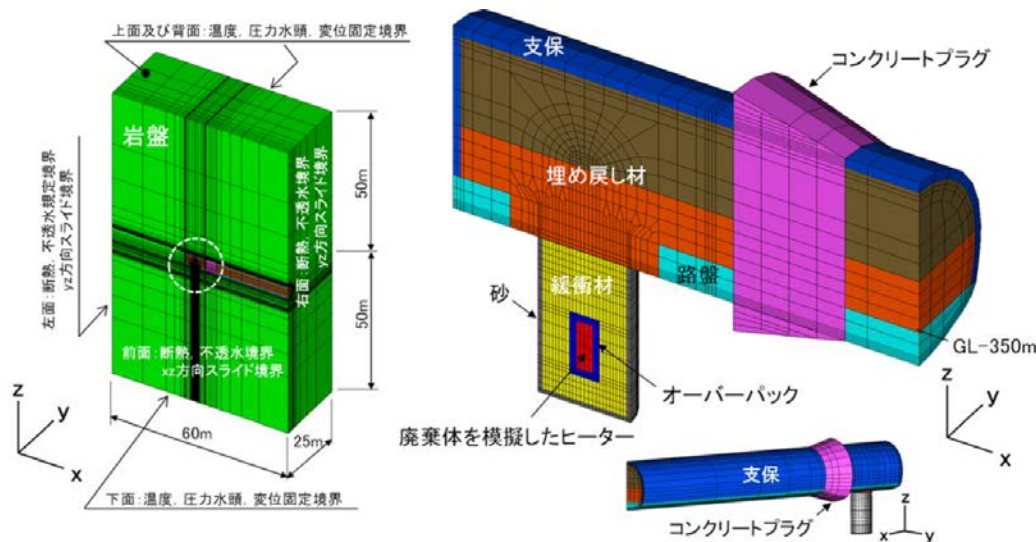
(c) THM/THMC連成評価手法及びモニタリング手法の適用性確認(3)

【THM解析上の課題解決に向けた見直し(現在作業中)】

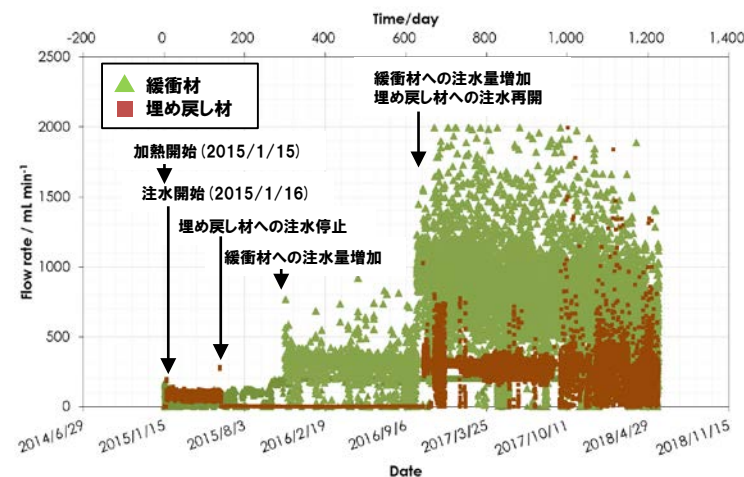
- 室内試験による物性データの拡充等を行い、実現象に即した解析を実施し、THAMESによるTHM連成評価手法の適用性を再確認
- 緩衝材中の空気の動きに着目し、気液二相流THM連成解析を実施し残留空気の影響を検討(Code-Brightなどによる解析の実施)



(a) オーバーバック表面温度



人工バリア性能確認試験の解析モデル



(b) 注水量

人工バリア性能確認試験の加熱・注水データ

(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 <研究成果の概要 (5)>

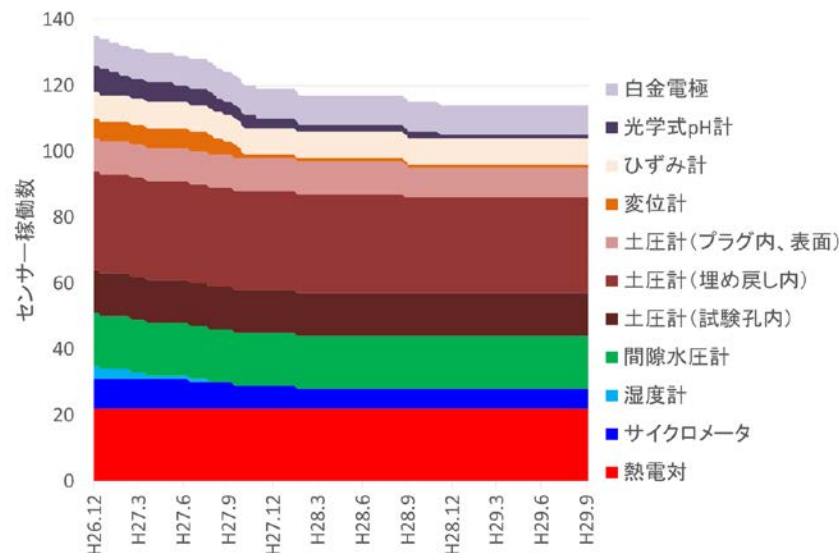
(c) THM/THMC連成評価手法及びモニタリング手法の適用性確認 (4)

【モニタリング手法の現状分析】

- 取得したデータからセンサーの稼働数を確認した結果、全体の8割のセンサー(FDR-V、腐食センサー、緩衝材膨出センサーは検証中)が作動中
- 不良となったセンサーの主な要因として、測定範囲外、校正値のずれ、センサー固定位置のずれ、センサー受感部の劣化、設置時の問題等が想定
- 詳細については、今後予定されている解体調査において確認

センサー設置位置と数量

計測種別		設置位置			合計
		試験孔内	埋め戻し内	プラグ内、プラグ表面	
振動弦	土圧	13	31	10	84
	間隙水圧	16			
	変位	6			
	ひずみ			8	
温度(熱電対)		22			22
湿度		6			6
サイクロメータ		9			9
水分量(FDR-V)	標準計測		15		15
	温度補償計測	12			12
	温度	6			6
pH		9			9
自然電位(白金電極)		9			9
炭素鋼腐食センサ		12			12
比抵抗トモグラフィ		262			262
緩衝材膨出センサー		2			2



センサー稼働数の経時変化
(FDR-V、腐食センサー、緩衝材膨出センサーは検証中)

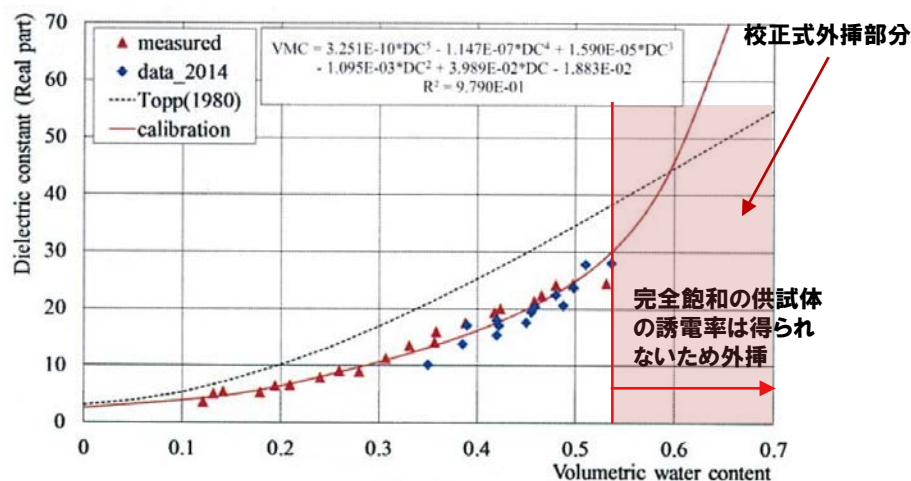
(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

1) 人工バリア性能確認試験 <研究成果の概要(6)>

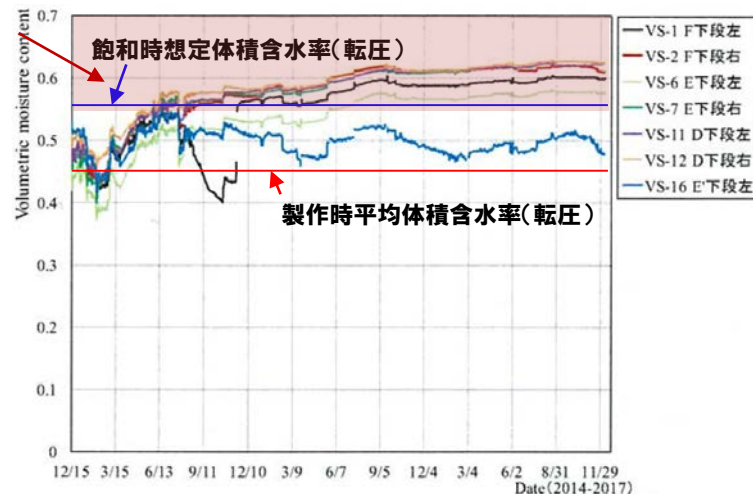
(c) THM/THMC連成評価手法及びモニタリング手法の適用性確認(5)

【FDR-Vセンサーの現状分析】

- FDR-Vセンサーを用いて、埋め戻し材及び緩衝材中の水分量の計測を実施
- 誘電率(実数部)は水分量の他に塩分濃度や温度により変化。本試験の埋め戻し材中の環境においては、塩分濃度および温度の影響を受けないことを室内試験により確認
- 埋め戻し材転圧部の計測結果は概ね浸潤傾向を示していることが示唆
- 埋め戻し材ブロック部においても、転圧部と同様の傾向が確認されているが、一部のセンサーでは波形の乱れや異常値が確認されており、ブロックに設置する際の試料への密着性や固定が不十分であった可能性あり。
- 緩衝材中に設置したセンサーは、再校正作業を継続中



校正曲線(埋め戻し材)



校正式より算出した体積含水率(埋め戻し材転圧部)

(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 <まとめ>

【得られる成果】

- これまでに構築した人工バリアの設計フローに加え、新たに埋め戻し材に関する個別設計フローを構築し、その適用性を確認し、人工バリア等の最適化・合理化設計技術に寄与
- 新たに処分孔掘削技術の開発を含め、製作・施工技術や品質管理方法の適用性を例示し、精密調査後半段階における安全性・合理性などを考慮した手順や工法の選定に寄与
- THAMESの力学モデルの拡張や関係式の整備を行い、その妥当性を室内及び原位置試験結果により確認。今回改良した力学モデルをCouplysに反映し、力学と化学及び物質移行との間の相互作用のモデル開発を進めることによって、THMCモデルの高度化を図ることが可能
- モニタリング手法については、ほとんどのセンサーで現在までの期間中計測可能なことが確認されたが、一部のセンサーでは特に長期耐用性等に課題が残り、再検討することが必要。これらの知見を踏まえ、モニタリング手法に関する留意事項等(使用環境条件等を踏まえたセンサーの選定、設置方法、取り扱いなど)に関する基盤情報を提示可能

(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 <背景・目標>

(a) 研究の背景

- 処分後初期の酸化性環境におけるオーバーパック腐食は、従来、主に室内試験データに基づき、不均一な腐食による腐食の局在化を考慮した評価を実施。
- 実際の緩衝材再冠水過程における環境条件の不均一性や時間的变化を伴う場での腐食挙動については、釜石原位置試験の結果から、マクロセル腐食など不均一な腐食の可能性が示唆されたため、工学的スケールでのデータの拡充が必要。
- 連続的な腐食挙動の変化について、これまでの室内試験での検討を踏まえた実際の地質環境でのモニタリング手法の適用性の確認が必要

(b) 研究の目標

- 緩衝材の再冠水～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と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。
- 環境条件の変化と腐食挙動の変化をモニタリングする手法について、実際の地下環境での適用性を工学的規模で確認。

(c) 研究課題

- 実際の地下環境下におけるオーバーパックの腐食挙動評価手法の適用性の確認
- 原位置におけるモニタリング手法の適用性確認

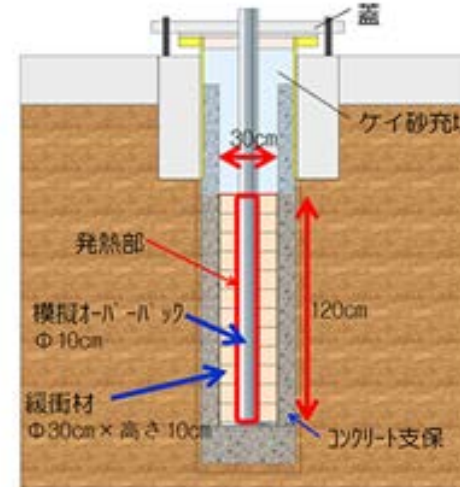
(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

2) オーバーバック腐食試験 <研究成果の概要(1)>

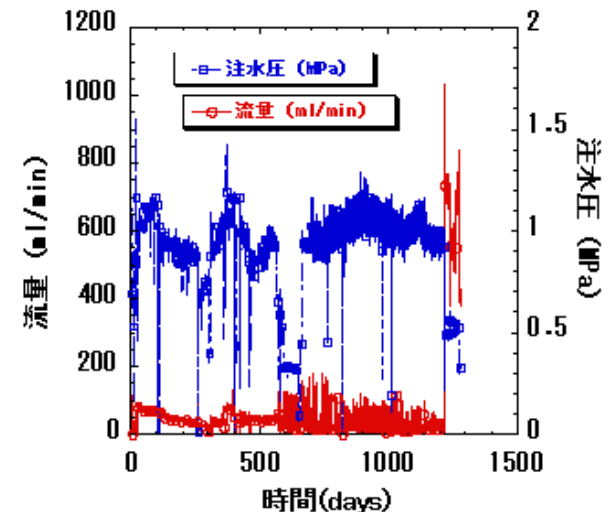
(a) 実際の地下環境下におけるオーバーバックの腐食挙動評価手法の適用性の確認

【実施概要】

- 模擬オーバーバックの材質は既往の検討例に準じて鍛鋼品SFVC1(C: 0.25, Si:0.23, Mn:0.95, P:0.014 S:0.004 %)とし、 $\phi 100\text{mm}$ の円柱形に成形加工して中心部にはヒータを埋設。
- 緩衝材はベントナイト(70wt%)とケイ砂(30wt%)の混合体、飽和後の密度が乾燥密度として 1.6g/cm^3 となるように圧縮成形
- 試験孔には外径300mm、高さ100mmの緩衝材の成形体を12段積み上げ
- 試験期間を通じて注水圧は1MPa程度、流量は 100ml/min 以下で維持されていたが、約1200日後に注水圧は急激に低下し、流量は急激に上昇。この原因は不明であるが、何らかの水みちの形成や水の浸透が容易な箇所が生じた可能性あり。



オーバーバック腐食試験の模式図(左)と模擬オーバーバックの外観(右)



試験期間中の流量と注水圧

(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

2) オーバーバック腐食試験 <研究成果の概要(2)>

(a) 実際の地下環境下におけるオーバーバックの腐食挙動評価手法の適用性の確認

【試験結果】

- ・ 模擬オーバーバック表面には除去されなかった緩衝材とともに上部に充填されたケイ砂と思われる砂が付着していた。また、概ね全面が黒色の緻密な腐食生成物皮膜に覆われており、一部には皮膜の上に3価鉄の腐食生成物と思われる黄～茶色の腐食生成物も見られた。
- ・ 現在、腐食生成物の分析を実施中であり、分析結果を踏まえ、腐食量測定結果と解析ならびに腐食量評価式での推定値との比較を行い、評価手法の妥当性を確認予定



緩衝材除去後の模擬オーバーバック外観



試験体の取り出し状況(左)と
模擬オーバーバック表面の試料採取状況

(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 <研究成果の概要(3)>

(b) 原位置におけるモニタリング手法の適用性確認

【実施概要】

- 本試験では温度、水分量、pH、酸化還元性、腐食に関するモニタリングをそれぞれ実施。このうち、pHと腐食については、原位置試験への適用を視野に開発
- pHセンサーは、光ファイバーを介して、プローブ先端に充填された発色材に可視光を照射し、反射光を分光器に導いて極大吸収波の吸光度を測定する原理
- 腐食センサーは、3電極法による交流インピーダンス測定 of 適用を考慮して試料極(炭素鋼)、参照電極および対極からなる構造。試料極は自然電位測定も別途行えるよう、2個配置

計測器:6断面に配置

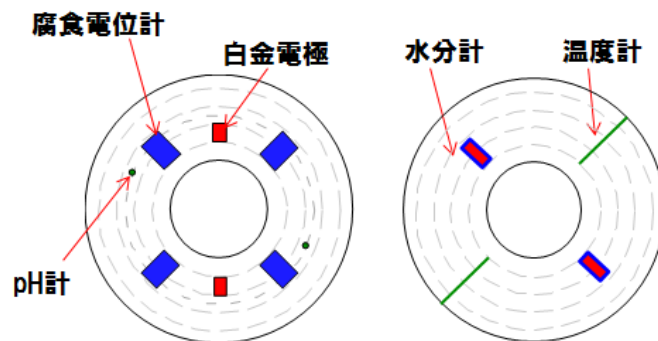
腐食電位計:12点(4点×3段)

pH計:6点(2点×3段)

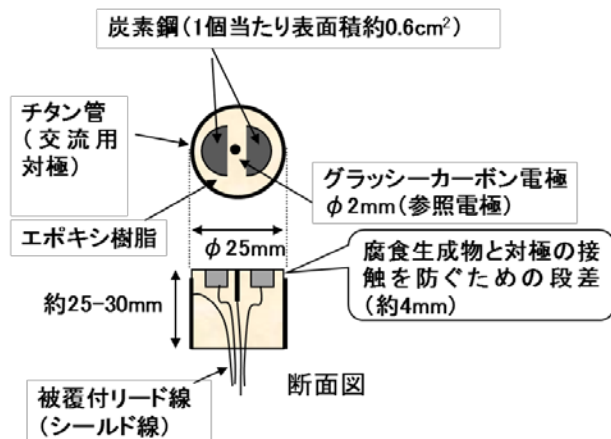
白金電極:6点(2点×3段)

水分計:6点(2点×3段)

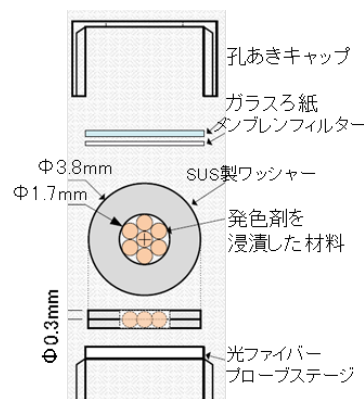
温度計:6点(2点×3段)



計測配置の例



腐食センサーの模式図(左)と外観(右)



光学式pH計のセンサー部の構造(左)とpH計の外観(右)

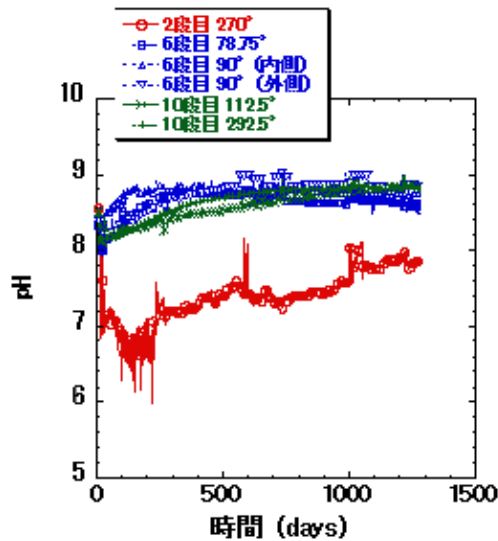
(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

2) オーバーパック腐食試験 <研究成果の概要(4)>

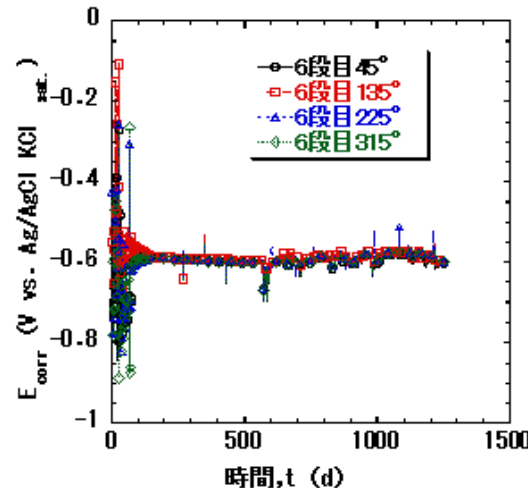
(b) 原位置におけるモニタリング手法の適用性確認

【試験結果】

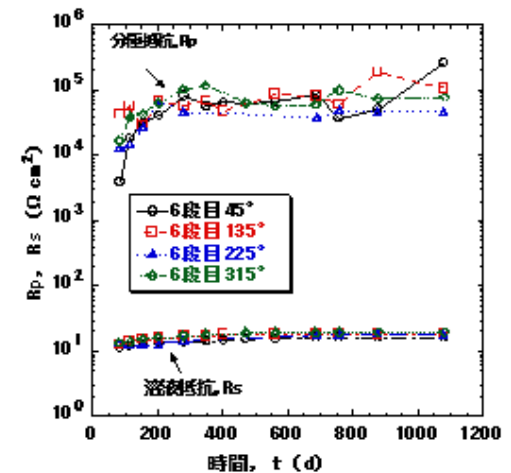
- 温度については、模擬の設定温度95℃に対して緩衝材中では15～20℃低い温度でおおむね安定。水分量については、浸漬初期の段階から計測不能。酸化還元性データについては、現在整理中。
- pHについては、3段目を除いて、開始後数100日間は時間とともに上昇し、約500日以降は8.5～9の範囲でほぼ一定。今後、回収したセンサーの健全性を確認予定。
- 自然電位については、約80日以降はいずれも-0.6V vs. Ag/AgCl付近の値を示し、約130日以降はほぼ同一の値。今後、腐食センサーの健全性を確認予定。
- 分極抵抗(腐食速度の逆数に比例)の挙動から腐食速度は、約300日まで低下の傾向を示し、それ以降はおおむね一定。安定後の腐食速度は1～5 $\mu\text{m}/\text{y}$ と推定され、これは従来、低酸素濃度下の腐食速度として観察された値と同等。今後、腐食センサーの健全性を確認予定



pHの測定結果



自然電位の測定結果



RsとRpの経時変化

(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 <まとめ>

【得られる成果】

- 深部地下環境での工学的規模の腐食試験によって、酸化性環境における既往のオーバーパックの腐食評価手法の保守性、妥当性を確認。
- 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。
- これらを通して炭素鋼オーバーパックの腐食評価手法の信頼性の向上、ならびにモニタリング技術の整備に寄与

(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 <背景・目標>

(a) 研究の背景

- 一般的に泥岩中の核種移行はマトリクス中の拡散が支配的である一方で、EDZや断層帯中の割れ目も主要な核種移行経路となりうる
- マトリクスおよび割れ目が主要な核種移行経路となりうる地質環境条件においては、これら構造中の物質移行挙動を原位置、室内試験を通じて把握した上で、その挙動を整合的に解釈できるモデル化／解析技術が必要
- 特に泥岩中の割れ目に関しては、国内外を通じ原位置試験に基づく物質移行挙動の評価事例はほとんどないため、原位置試験技術の整備を含めた、泥岩中の割れ目を対象とした物質移行挙動の評価手法の整備が必要

(b) 研究の目標

- 幌延の泥岩を事例とした割れ目、マトリクス双方における物質移行特性評価手法の整備
- 室内試験で構築されたモデル化／解析手法の原位置スケールへの適用可能性の検討（アップスケーリング手法の構築）
- 幌延の泥岩を事例とした原位置トレーサー試験手法の構築

(c) 研究課題

- 岩盤基質部における物質移行特性評価技術開発
- 割れ目における物質移行特性評価技術開発

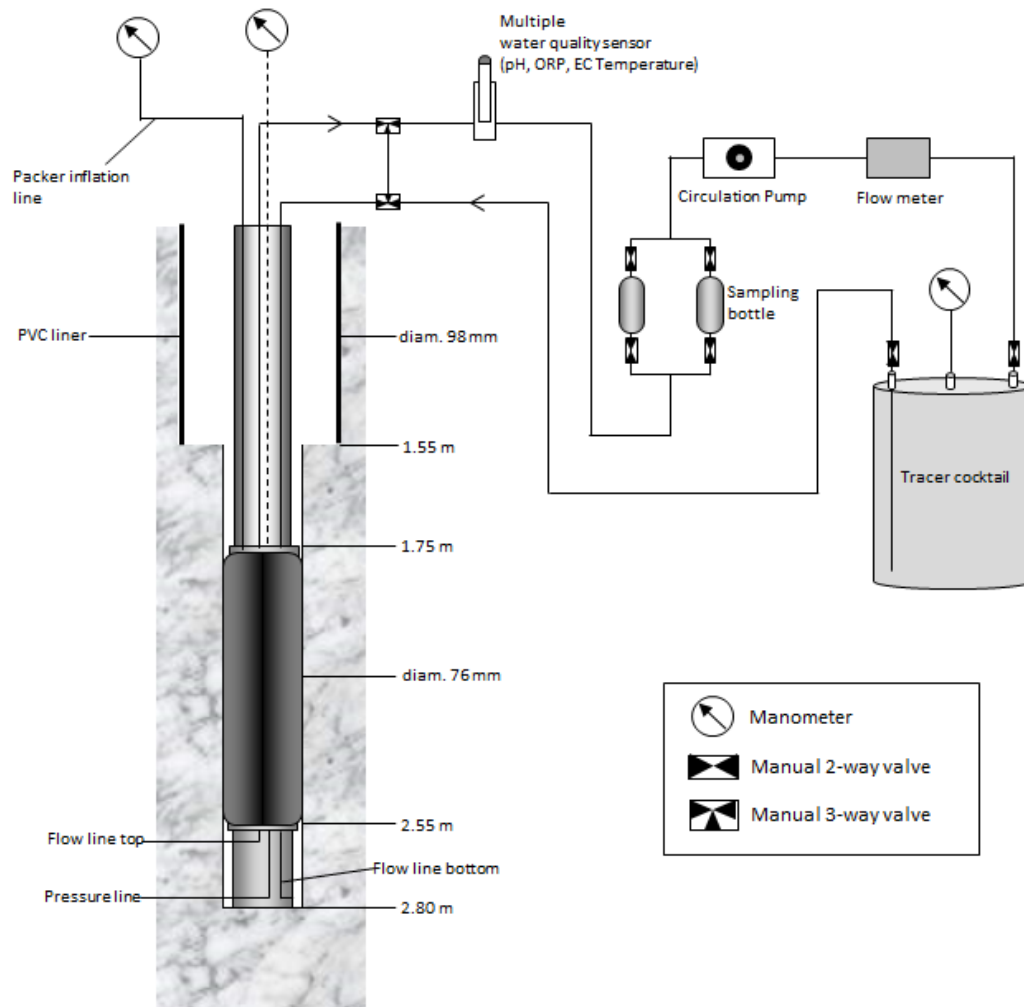
(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

3) 物質移行試験 <研究成果の概要>

(a) 岩盤基質部における物質移行特性評価技術開発

【実施概要】

- 複数種の安定同位体を用いた
原位置／室内トレーサー試験
の実施
- 電荷の違いに起因した収着／
を用いた原位置／室内試験に
よる、収着／拡散パラメータ
の取得
- 安定同位体を利用したトレー
サー試験におけるバックグラ
ウンド濃度の拡散・収着パラ
メータへの影響評価



原位置拡散試験の概念図

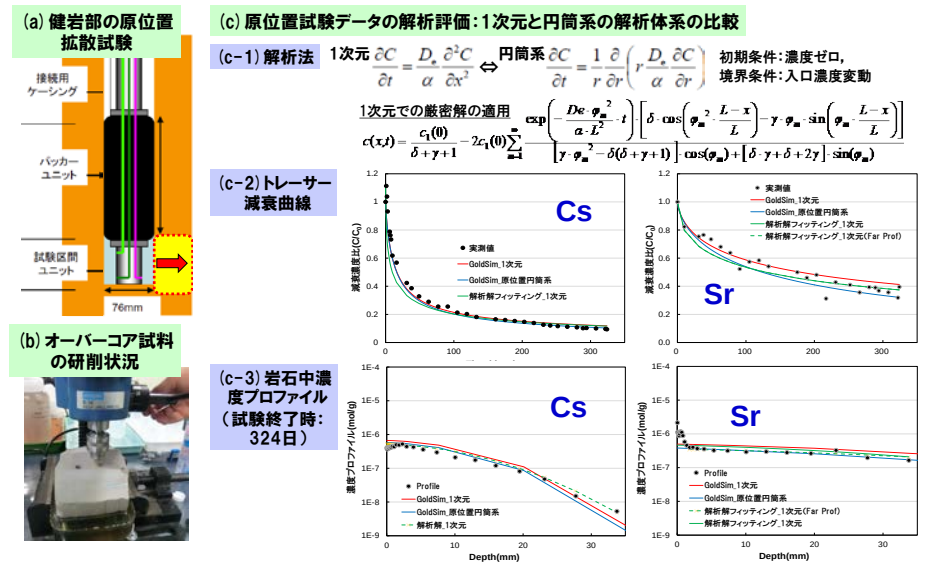
(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

3) 物質移行試験 <研究成果の概要>

(a) 岩盤基質部における物質移行特性評価技術開発

【試験結果】

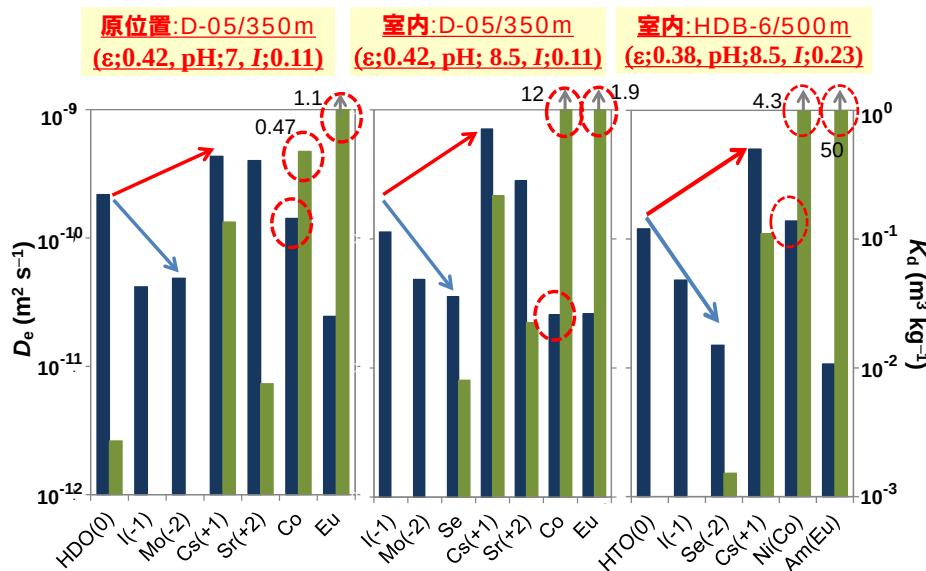
- 1次元と円筒系の解析体系の影響はわずかであり、1次元の解析でも実測値を整合的に解釈可能であることを確認
- 実効拡散係数については原位置－室内双方で陰イオン排斥（下図中青矢印）および陽イオン加速（下図中赤矢印）の効果が整合的に確認できるとともに、Csの収着分配係数は概ね整合的であることから、原位置試験から得られた拡散・収着データの妥当性を確認



解析モデルによる原位置データの再現性の比較

原位置及び室内拡散試験で得られた各トレーサーの実効拡散係数(青色バー)と収着分配係数(緑色バー)の比較

(条件比較における ϵ は間隙率、 I はイオン強度、 C はトレーサー濃度：H/高～M/中～L/低)



(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 <研究成果の概要>

(a) 岩盤基質部における物質移行特性評価技術開発

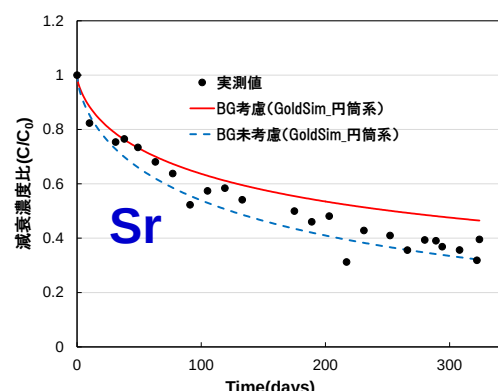
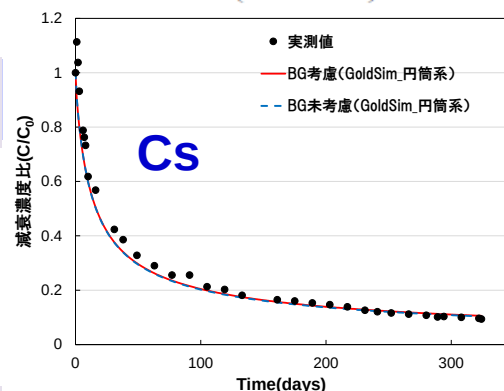
【試験結果】

- バックグラウンド濃度の影響が最大となるSrにおいても、バックグラウンド濃度の影響はごくわずかであることを確認

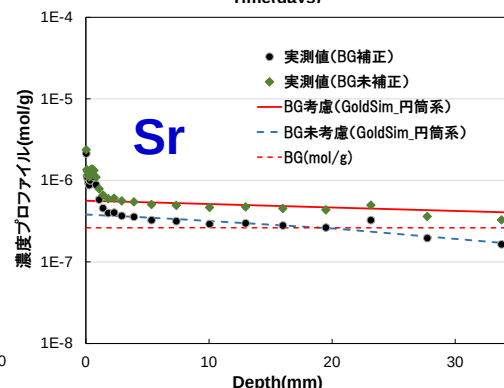
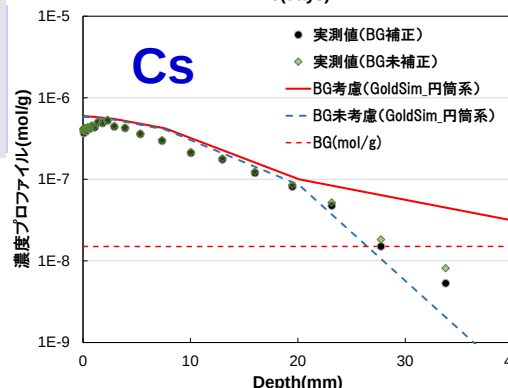
(a) 解析法

円筒系
$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{D_e}{\alpha} \frac{\partial C}{\partial r} \right)$$
 初期条件: 濃度ゼロ ⇔ バックグラウンド濃度, 境界条件: 入口濃度変動

(b) トレーサー減衰曲線



(c) 岩石中濃度プロファイル (試験終了時: 324日)



バックグラウンド濃度の影響評価 (CsとSrの例) : (a) 解析法、
(b) トレーサー減衰曲線、(c) 岩石中濃度プロファイル

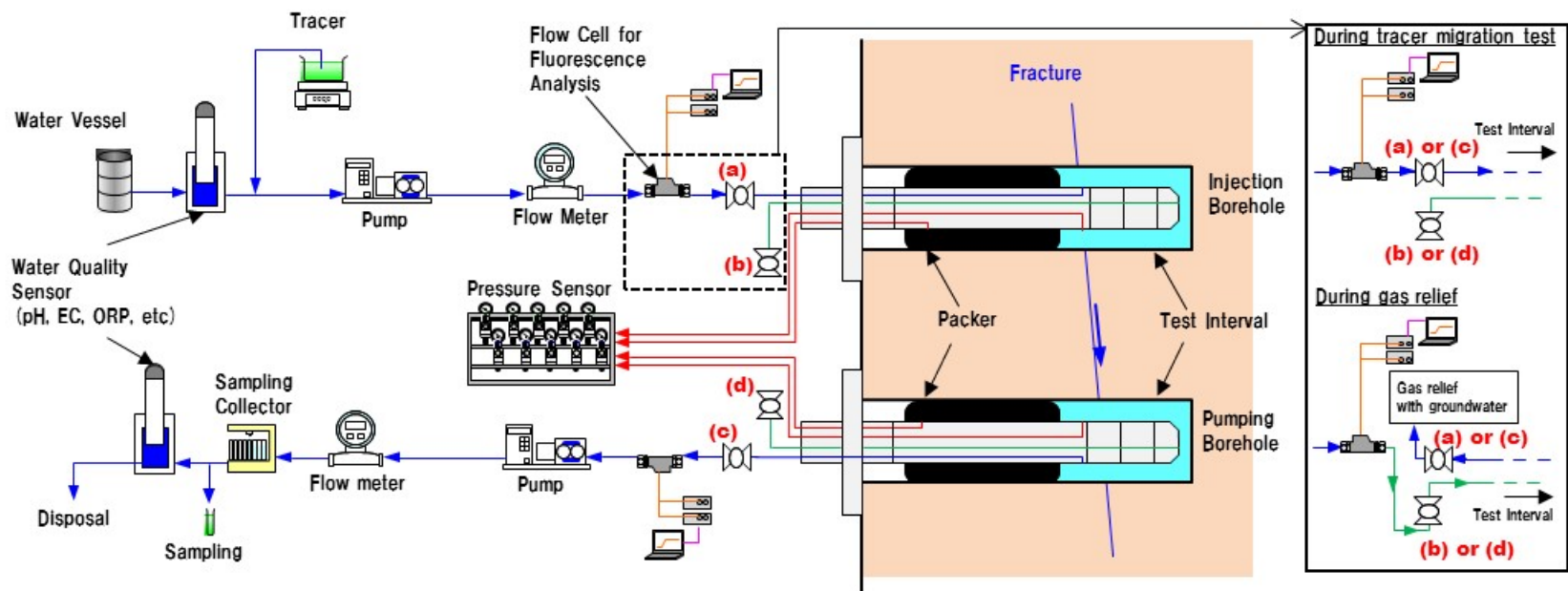
(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

3) 物質移行試験 <研究成果の概要>

(b) 割れ目における物質移行特性評価技術開発

【実施概要】

- ・室内・原位置トレーサー試験に基づく、物質移行特性（分散長、実効拡散係数、収着分配係数等）評価および両試験スケールにおける評価結果の整合性の確認（一部の評価を継続中）
- ・原位置試験スケール（数m～10数m）を対象とした断層帯中における物質移行概念モデルの検討（検討を継続中）
- ・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



割れ目を対象とした原位置トレーサー試験（ダイポール試験）の概要

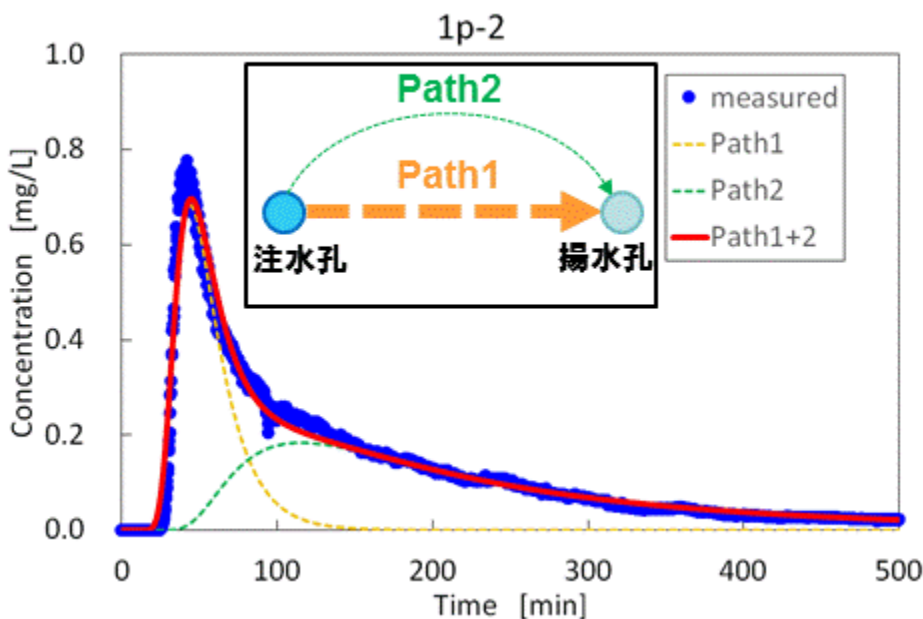
(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

3) 物質移行試験 <研究成果の概要>

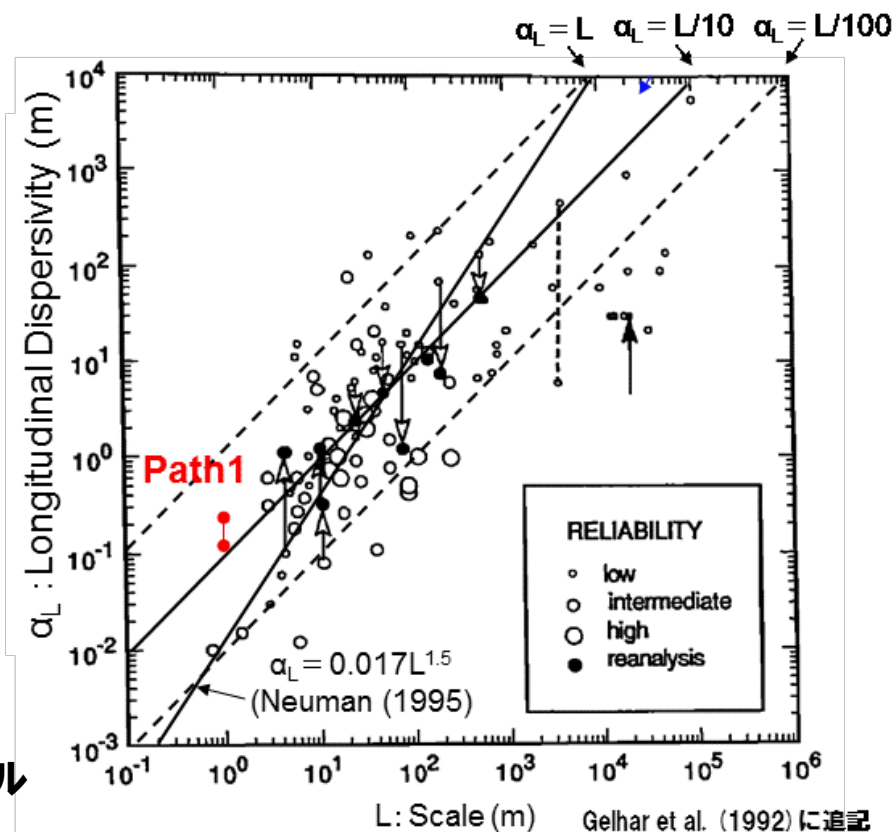
(b) 割れ目における物質移行特性評価技術開発

【試験結果】

- ・ 割れ目内の主要な水みち沿いの分散長を評価した結果、試験スケールと分散長との関連性について既存の研究成果と概ね整合



- ・ 破過曲線の初期の挙動に着目し、平行平板モデルを仮定したフィッティングにより分散長を評価
- ・ 2経路(Path1、Path2)を仮定した重ね合わせ手法により、良好なフィッティング(図中赤線)が可能



(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

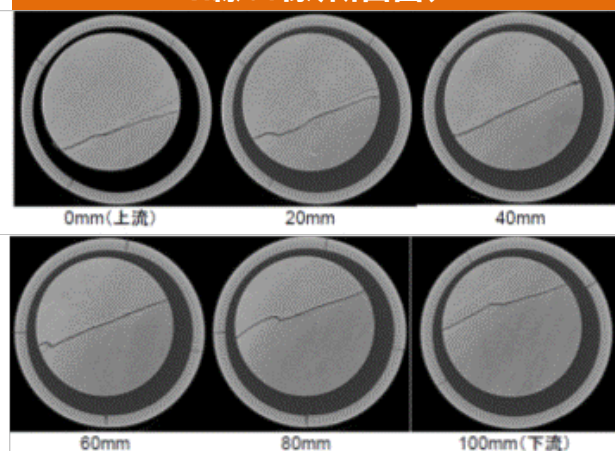
3) 物質移行試験 <研究成果の概要>

(b) 割れ目における物質移行特性評価技術開発

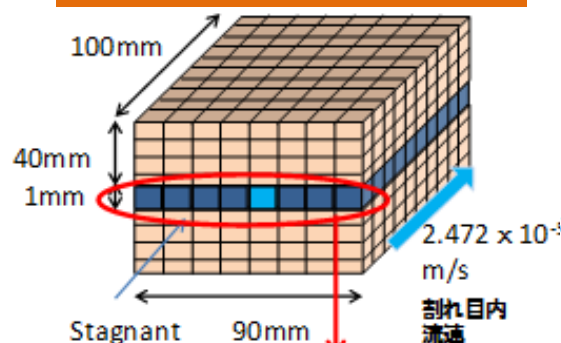
【試験結果】

- ・ 割れ目亀裂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の移行挙動を統合的に解釈可能

X線CT像(断面図)



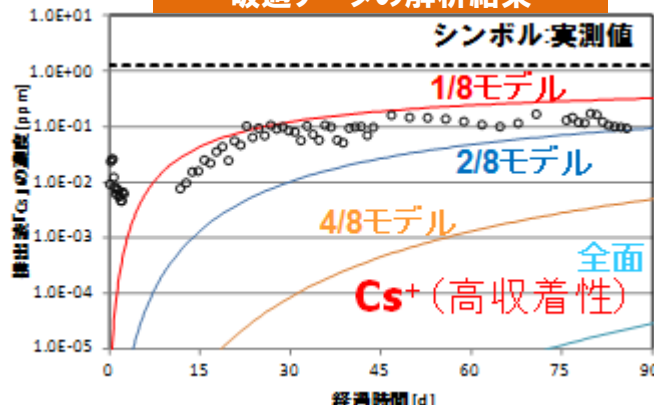
不均質な流れを仮定したモデル



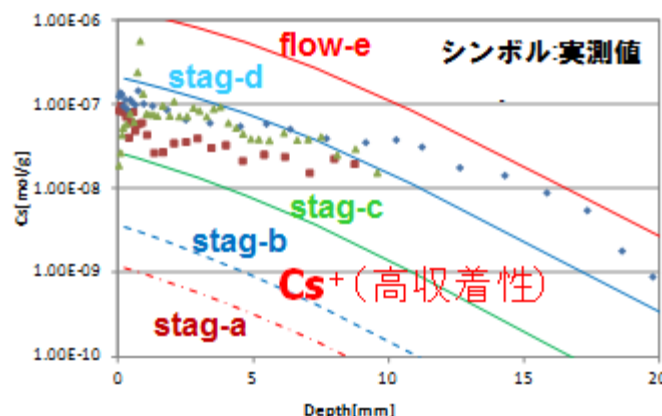
全面	a	b	c	d	e	f	g	h	3.1×10^{-5}
1/2	a	b	c	d	e	f	g	h	6.2×10^{-5}
1/4	a	b	c	d	e	f	g	h	1.2×10^{-5}
1/8	a	b	c	d	e	f	g	h	2.5×10^{-5}

不均質な流れを想定しモデル形状を水の流れる方向に対して分割し、割れ目内の流れる部分とstagnantな部分(拡散・収着は考慮)の割合を変化させて解析

破過データの解析結果



濃度プロファイルと解析結果(1/8モデル)



- ・ X線CT像から評価された割れ目開口幅をモデルに設定するとともに、割れ目内の不均質な流れを表現したモデルにより破過データの解析を実施

- ・ 流れを1/8にしたモデルによる解析結果が最も整合的(左図)であるとともに、流れのない領域(d層)における濃度プロファイルと最も近い傾向(右図)

(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

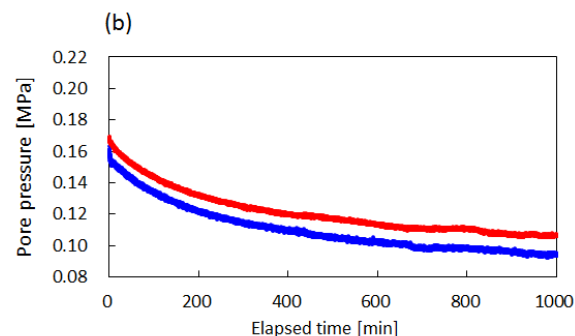
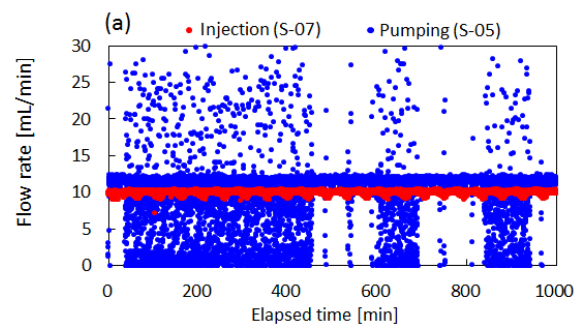
3) 物質移行試験 <研究成果の概要>

(b) 割れ目における物質移行特性評価技術開発

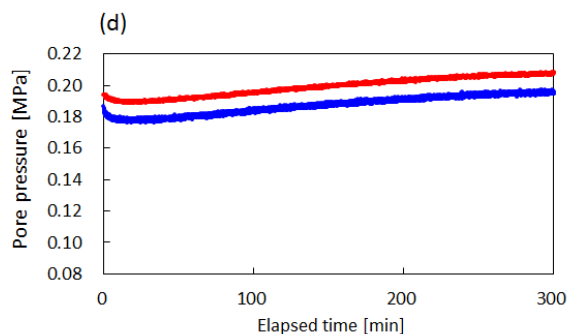
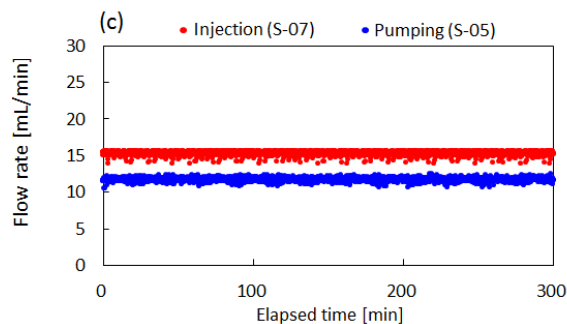
【試験結果】

- 注水流量を揚水流量もやや高く設定することで、脱ガスの発生を低減しつつ、可能な限り高いトレーサー回収率を達成可能であることを確認

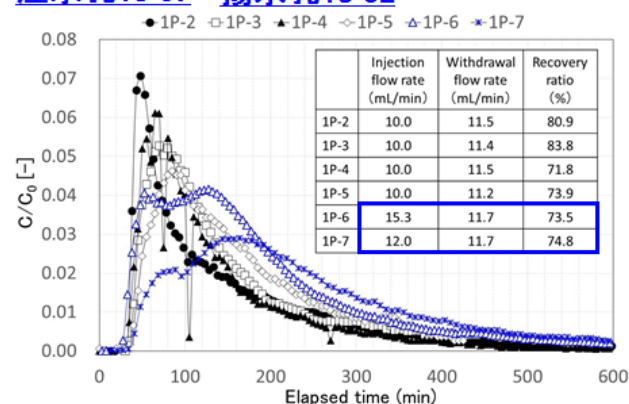
注水流量<揚水流量



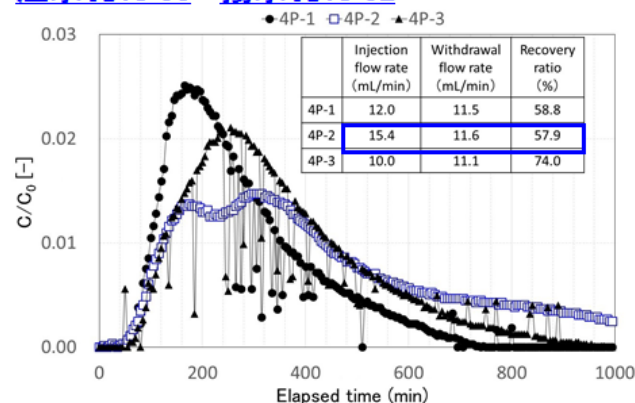
注水流量>揚水流量



注水孔:S-07 揚水孔:S-02



注水孔:S-06 揚水孔:S-02



- 注水流量>揚水流量の条件で脱ガスの発生が低減する傾向

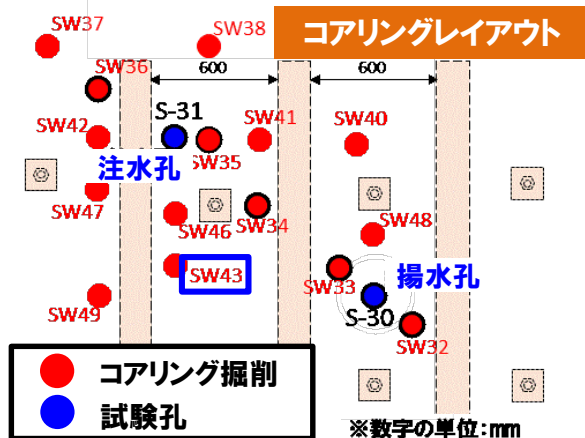
(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

3) 物質移行試験 <研究成果の概要>

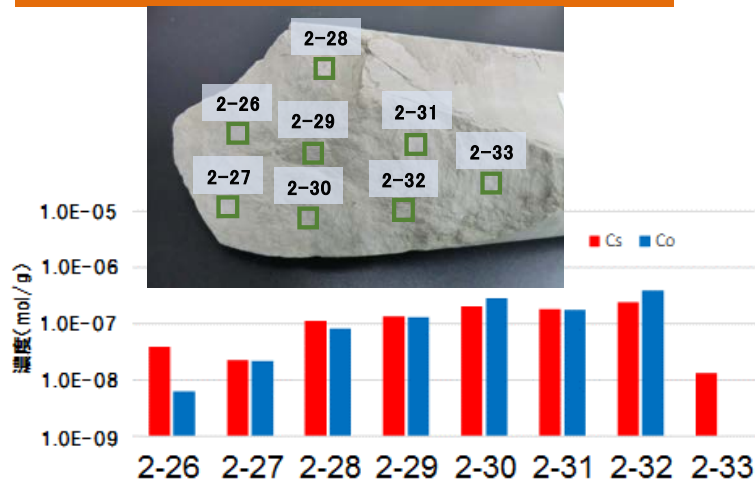
(b) 割れ目における物質移行特性評価技術開発

【試験結果】

- ・割れ目表面に収着したトレーサーの濃度分布と割れ目の三次元分布から、実際のトレーサーの移行経路の推定可能性を示唆

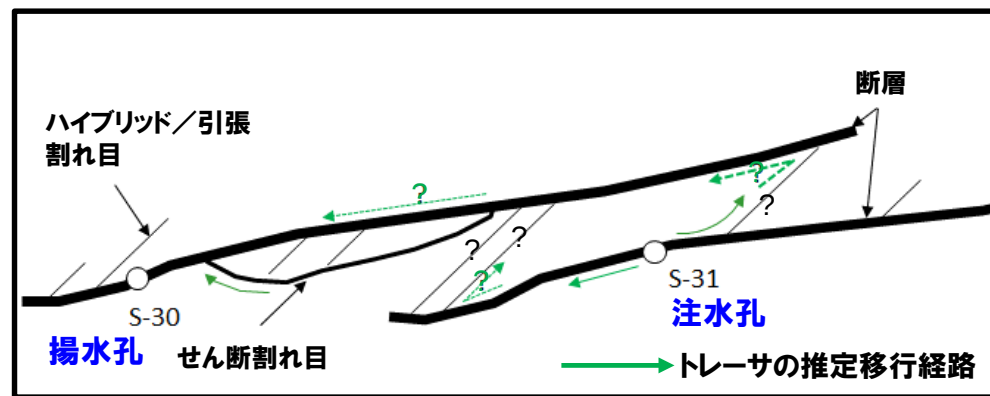
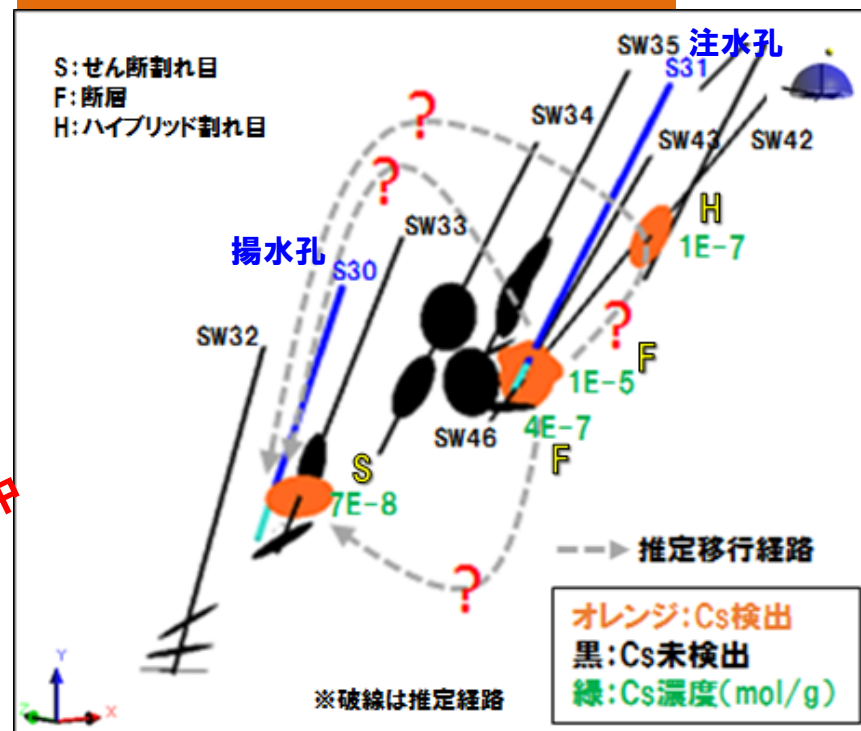


割れ目表面のトレーサー濃度分析例(SW43)



現在検討を継続中

トレーサー濃度分布(現状の評価結果)



トレーサー試験箇所の移行経路概念

(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 <まとめ>

【得られる成果】

- 溶存ガスが地下水中に豊富に含まれることや水みちとして機能しうる割れ目を有するなどの特徴をもつ幌延の泥岩を事例として、わが国に特徴的な割れ目を有する泥岩中での原位置トレーサー試験・評価手法を構築。
- 室内および原位置条件で評価された物質移行パラメータの比較を通じ、両スケールにおける物質移行特性評価手法の適用性を確認
 - ・ 室内試験ベースに構築したモデル及び評価手法により拡散・収着パラメータやイオン種の違いに起因した拡散特性の傾向性が室内－原位置双方で整合的であることを確認に解釈可能
 - ・ 安定同位体を利用したトレーサー試験において信頼性の高いデータを取得可能であることを確認示唆
 - ・ 溶存ガス環境下において間隙水圧の変化を伴うトレーサー試験を実施する場合、流量コントロールを基本とし、事前に流量と脱ガスとの関係性を把握する手法が有効
 - ・ 1次元の簡易なモデルにより原位置スケールにおける単一割れ目内の主要な移行経路沿いの分散長を評価可能
 - ・ 単一亀裂内の不均質な移行経路を模擬したモデルにより、室内スケールにおける収着／拡散を含めた物質移行挙動を評価可能
 - ・ 割れ目表面に収着したトレーサーの濃度分布と割れ目の三次元分布から、断層帯中の複雑な実際のトレーサーの移行経路の推定可能性を示唆(H31年度末時点で見込める成果)

(2) 処分概念オプションの実証

1) 湧水抑制対策・支保技術などの実証試験 <背景・目標>

(a) 研究の背景

- 湧水抑制対策技術は、我が国のように岩盤の割れ目や地下水が多い地質環境や環境基準への対応を考慮すると必要不可欠な技術であり、地層処分で想定される地下深部の高水圧環境や天然バリア性能への影響など、従来の土木工事等とは異なる技術の整備が必要
- 諸外国では、グラウト材料の長期影響評価や注入技術、グラウト浸透モデルによる浸透範囲の予測なども行われているが、実用段階に至っているものは少ない
- 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が、地層処分場で想定されるような、広範囲に及ぶ大規模地下施設建設にも適用可能な技術の整備が必要

(b) 研究の目標

- 幌延URLにおける湧水抑制対策技術開発として、事前調査手法の高度化、グラウト浸透評価手法、海水条件下で微小亀裂にも浸透可能なグラウト材料の開発に関して研究開発を行い、技術カタログとして整備（グラウトガイドラインの更新）
- 情報化施工支援技術の構築と実施工での実証、長期岩盤変位モニタリングの実施による技術の整備

(c) 研究課題

- 幌延URLを対象としたグラウト施工・評価手法の実証、グラウト材料開発
- 立坑及び水平坑道の情報化施工技術の構築
- 岩盤及び支保工の長期計測技術の実証

(2) 処分概念オプションの実証

1) 湧水抑制対策・支保技術などの実証試験 <研究成果の概要>

(a) 湧水抑制対策技術

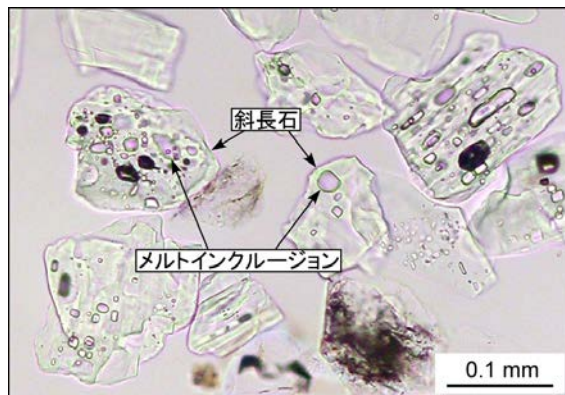
① 突発的な大量湧水への対策—事前調査手法の高度化

2013年2月、350m調査坑道掘削時に発生した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（MI）を含んでいることがわかった。このことから、グラウト施工前の事前調査において、粘土質せん断帯の分析時のMIの分布に着目することにより、地下坑道の施工の際に注意すべき地質構造の存在や分布が事前に把握可能になることが期待される。

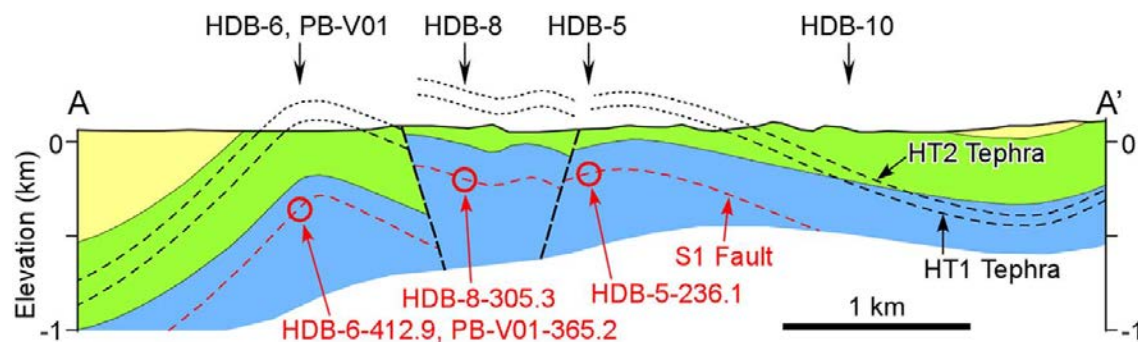


大量湧水発生状況

(After Ishii et al. 2015)



粘土質せん断帯に含まれるMIの
顕微鏡写真 (After Ishii and Furusawa, 2017)



各ボーリング孔における粘土質せん断帯の分析結果
に基づく粘土質せん断帯の分布予測（赤色点線部）

(After Ishii and Furusawa, 2017)

(2) 処分概念オプションの実証

1) 湧水抑制対策・支保技術などの実証試験

(a) 湧水抑制対策技術

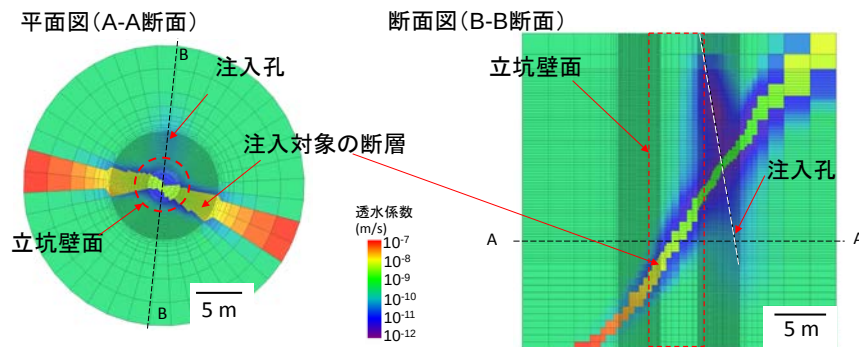
② グラウト浸透挙動に関する研究

多孔質媒体モデルを適用したグラウト浸透解析を行ない、換気立坑のグラウト浸透領域を評価した。結果として、グラウト施工後の壁面の透水係数は、湧水量から逆解析的に求まる値に概ね整合した。

③ グラウト材料の開発

北欧において処分坑道や処分孔の湧水抑制対策として使用されている溶液型グラウトの海水条件下での硬化メカニズム及び施工方法の検討のために、室内試験により特性データを取得し、海水条件下で適用できる溶液型グラウト配合を開発した。シリカ濃度の違いによる特性の違いは見られるものの、開発した配合は、海水条件下で適用できることが示された。

<研究成果の概要>



グラウト浸透解析により得られた透水係数分布
(中嶋ほか, 2017を編集)

【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)

Hi シリカ	硬化促進剤	練混ぜ水 (淡水)
--------	-------	--------------

【海水適応グラウト】 海水条件下で適用可

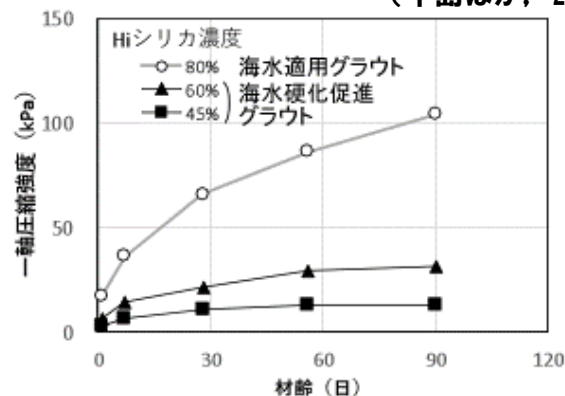
Hi シリカ	pH調整剤	硬化促進剤	練混ぜ水 (人工海水)
--------	-------	-------	----------------

【海水硬化促進グラウト】 海水条件下で適用可

Hi シリカ	pH調整剤	練混ぜ水 (人工海水)
--------	-------	----------------

※Hi シリカ: 強化土エンジニアリング社製のコロイダルシリカ

海水条件下で適用できる溶液型グラウト配合
(中嶋ほか, 2018)



一軸圧縮強度と材齢の関係 (中嶋ほか, 2018) 30

(2) 処分概念オプションの実証

1)湧水抑制対策・支保技術などの実証試験 <研究成果の概要>

(b) 支保技術

①立坑の情報化施工技術の構築

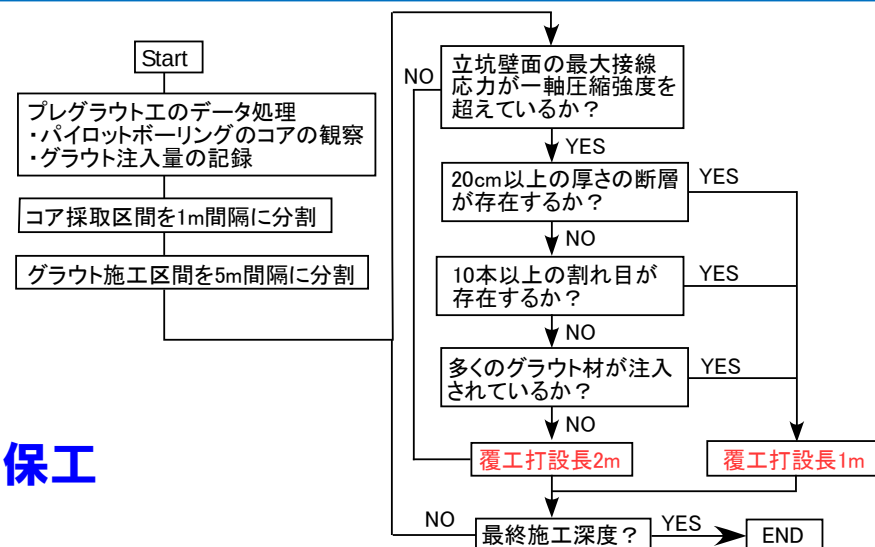
立坑掘削前のプレグラウト工のパイロットボーリング孔の情報やグラウト施工情報を基に、覆工打設長を決定するフローを構築した。

②掘削損傷領域と支保工安定性を考慮した支保工健全性の評価

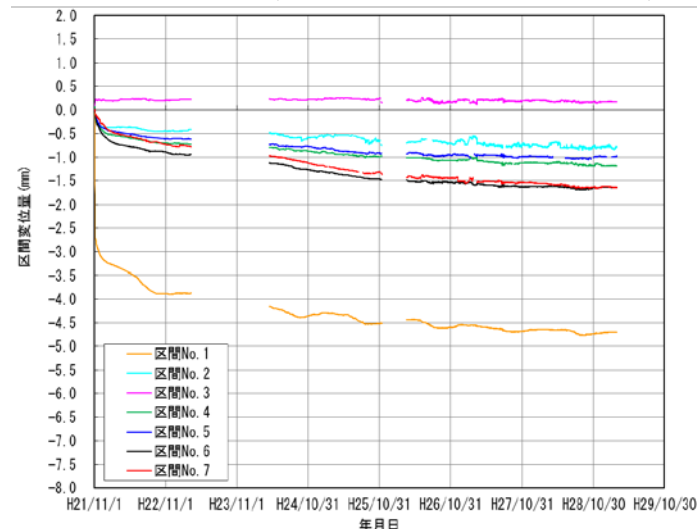
吹付コンクリート・鋼製支保工応力計測と、計測断面を含む領域で定期的の実施している弾性波トモグラフィ調査を組み合わせた解釈により、長期的に岩盤と支保工の両方の安定性をモニタリングすることが可能になった。

③長期計測技術の構築

・光ファイバ式変位計により東立坑深度160mにおいて長期的な岩盤挙動モニタリングを実施中。設置後約8年経過後も、計測結果に異常はなく、適切な計測が実施されていることから、光ファイバ式センサは、長期計測に適しているといえる。



グラウト施工情報に基づく覆工打設長選定フロー
(after Tsusaka et al. 2013)



光ファイバ式変位計による計測結果

(2) 処分概念オプションの実証

1) 湧水抑制対策・支保技術などの実証試験 <まとめ>

【得られた成果】

- **グラウト施工前の事前調査において、粘土質せん断帯の分析時のMIの分布に着目することにより、地下坑道の施工の際に注意すべき地質構造の存在や分布を事前に把握するための方法論の提示**
- **海水条件下で使用でき、なおかつ微小亀裂にも浸透可能な溶液型グラウトの配合を開発し、その適用性を確認**
- **プレグラウト工の施工情報やパイロット孔における割れ目密度等の情報も活用した支保選定フローの構築により、立坑における情報化施工技術を構築**
- **立坑及び水平坑道掘削時に、施工データ、地質データ、計測データ、予測解析の一元管理による情報化施工支援ツールとともに、坑道で実施する物理探査結果との比較により、支保工や坑道の安定性を担保した効率的な情報化施工を構築**
- **長期的な岩盤変位のモニタリング手法として、光ファイバ式センサの適用性を確認**

(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試験 <背景・目標>

(a) 研究の背景

- OECD/NEAのR&Rプロジェクトにて、「廃棄体を安全かつ合理的に回収するための技術を準備する」ことが提唱。SKBでは縦置き方式を対象に塩水による緩衝材の除去・廃棄体の回収試験を実施
- 我が国では、「安全な管理が合理的に継続される範囲内で、最終処分施設の閉鎖までの間の廃棄物の搬出の可能性(回収可能性)を確保(H27.5最終処分に関する基本方針)」とされており、人工バリア定置時(操業期間中)において何らかの不具合が発生した場合の廃棄体回収技術の整備が必要
- 地層処分の柔軟性確保のための、多様な人工バリア定置技術、廃棄体回収時に必要となる緩衝材や坑道の埋め戻し材の除去作業について、廃棄体の健全性に影響を与えない技術の整備が必要
- 上記課題を踏まえ、原子力環境整備促進・資金管理センターとの共同研究として、地下での実証試験を実施(エネ庁委託事業として、原環センターが受託)

(b) 研究の目標

- 人工バリアの搬送・定置のシステム化の検討を通じて、処分坑道横置き定置方式について、坑道内の環境に対して有利なPEM(Prefabricated Engineered Barrier System Module)を選定し、原位置での実証試験に向けた検討を実施
- 実地下環境におけるPEMを用いた処分坑道横置き定置方式を対象とした搬送定置・回収技術の実証
- PEMと坑道との隙間充填方法および回収時の除去技術の実証

(c) 研究課題

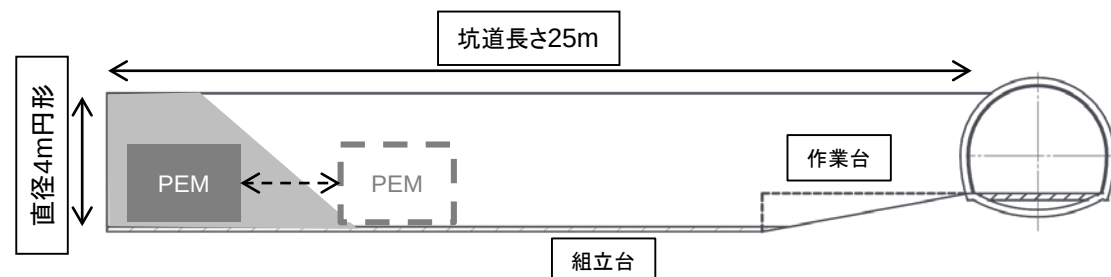
- エアベアリングを用いたPEMの搬送定置技術の適用性確認
- PEMと坑道との隙間充填材施工技術の適用性確認
- 品質管理技術としての充填材除去技術、PEM回収技術の適用性確認

(2) 処分概念オプションの実証

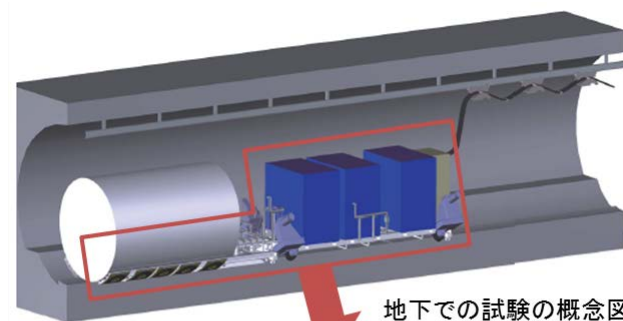
2) 人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験 <研究成果の概要>

【実施概要】

試験坑道2を整備し、横置きPEM(Prefabricated Engineered Barrier System Module)方式の搬送定置・回収技術に関する実証試験を実施



試験レイアウトイメージ



参考) 搬送・定置装置の設計・製作
(原環センターにて実施)

実証試験に伴う周辺環境への影響評価計画

力学影響	鋼製支保工応力計測 組立台コンクリート応力計測 内空変位計測、地中変位計測
水理影響	間隙水圧計測(既存) 比抵抗トモグラフィ計測

H27 地下実証サイトの選定
→ 幌延URL

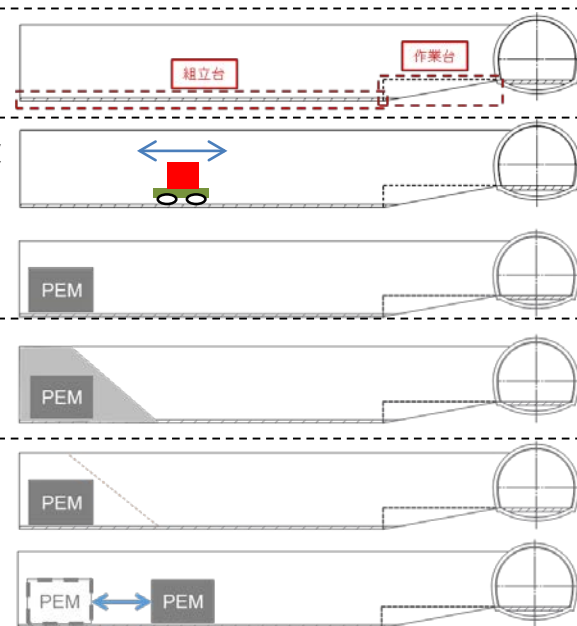
H28 試験坑道2の整備
(組立台・作業台設置)
環境影響調査、維持管理

H29 搬送・定置装置の要素試験
模擬PEMの設置

環境影響調査、維持管理

H30 隙間充填材の施工試験
環境影響調査、維持管理

H31 隙間充填材の除去試験
PEMの定置・回収試験
環境影響調査、維持管理



概略スケジュール

(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試験 <研究成果の概要>

【実施概要】

(a) 隙間充填技術に関する実証的整備

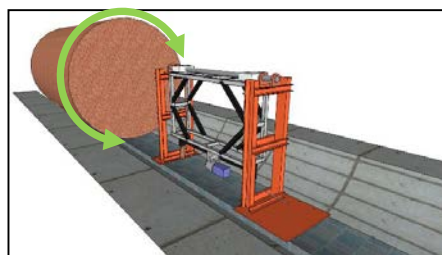
- ・ 狭隘部:ペレット充填設備の整備
仕様(目標値) ;ベントナイト100 %、有効ベントナイト密度:1.37Mg/m³
- ・ 開放部:吹付け技術の検討・整備
仕様(目標値) :ベントナイト:ケイ砂=50%:50%、乾燥密度:1.6Mg/m³、有効ベントナイト密度:1.15Mg/m³

(b) 隙間充填材除去技術に関する実証的整備

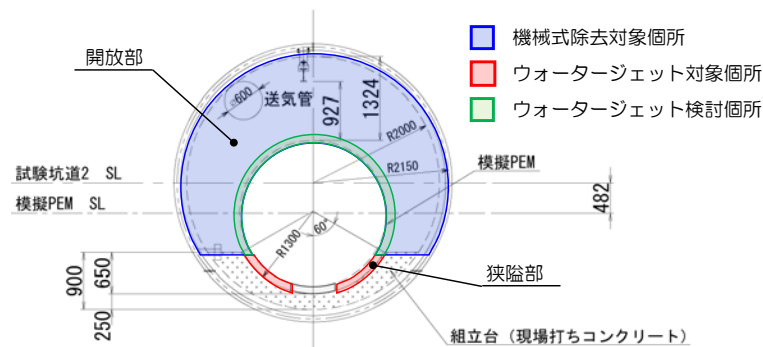
- ・ 狭隘部:ウォータージェット
- ・ 開放部:機械式除去+ウォータージェット



狭隘部の隙間充填 地上での確認



切削試験の様子(φ100mm,L1m) ノズルの動きを検証するための試験装置
(計画イメージ)



PEMへの物理的な影響を考慮し、距離に応じて、
機械式と流体式を選択



開放部の吹付け試験 地上での確認

(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試験 <研究成果の概要>

【試験結果(これまでの状況)】

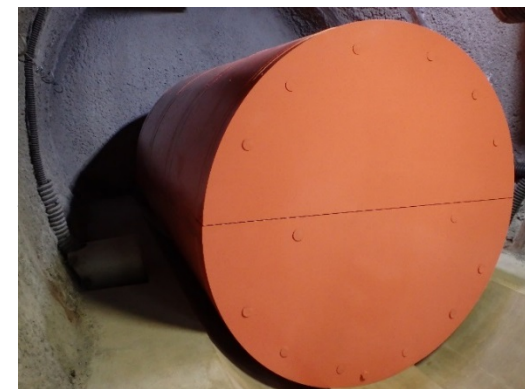
- 試験実施場所(試験坑道2)の整備と要素試験の実施
 - ・ 搬送定置・回収装置の走行面となる組立台(場所打ちコンクリート)を構築
 - ・ 装置の組立や実証試験時の装置操作エリアとなる作業台を設置
 - ・ 実地下環境におけるコンクリート打設面(組立台)上でのエアベアリング方式による移送可能性として、消費空気量・牽引力などの運転条件等を確認するための要素試験を実施
- 模擬PEMの設置
 - ・ 隙間充填、搬送定置・回収試験の対象となる、模擬PEM(寸法、重量を模擬)を試験坑道2に設置
- 環境影響調査
 - ・ 組立台構築時に設置したセンサーにより、要素試験、模擬PEM設置時の応力状態について計測を実施
- 実証試験(予定)
 - ・ 隙間充填材の施工試験(H30)、隙間充填材の除去試験及びPEMの定置・回収試験(H31)を今後実施予定



試験坑道2の整備状況



要素試験の実施状況



模擬PEMの設置状況

(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試験 <まとめ>

【得られる成果】

- **処分坑道横置きPEM方式の実環境下における搬送定置・回収技術の適用性を例示**
- **実環境下における隙間充填施工ならびに品質管理手法、ならびに除去技術の適用性の例示**

(3) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

1) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証 <背景・目標>

(a) 研究の背景

- 地層処分における安全／性能評価では、処分場の閉鎖後における母岩の状態を適切に予測することが重要
- 地層中には大小様々な断層が存在するが、それらのいくつかを処分場に取り込む場合、地震・断層活動や隆起・侵食によってそれらの断層の透水性が変化する可能性を考慮する必要あり
- 断層の透水性は断層の変形様式に大きく依存し、脆性的な変形が起こると断層の透水性は有意に上昇しやすいが、堆積岩ではその低い強度ゆえに脆性的な変形が生じにくい領域が地下1 km以浅に広く存在
- 処分場の閉鎖後における母岩の状態設定においては、このような堆積岩の特性を適切に考慮し、過度に保守的な母岩の状態設定を合理的に避けることが重要

(b) 研究の目標

- 断層の変形様式を支配する岩石の強度・応力状態を、計測かつマッピングが可能なパラメーターで指標化し、これと断層の透水性の潜在的な上限との関係性を整理することで、閉鎖後の断層の透水性の現実的な状態設定手法を整備する。

(c) 個別課題

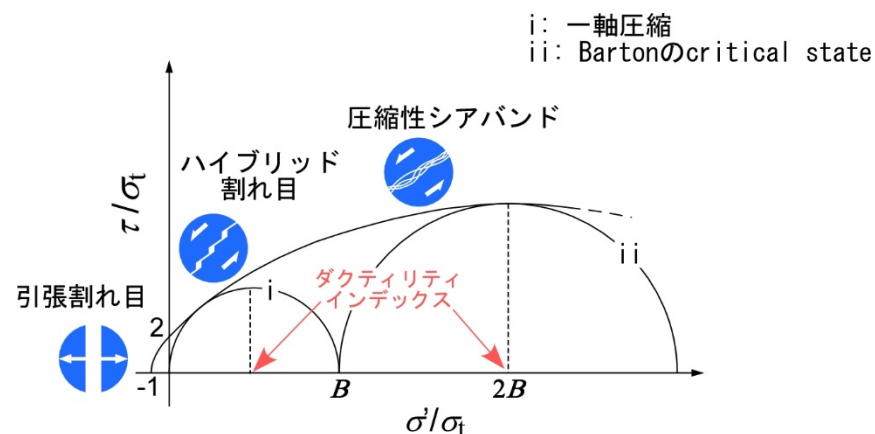
- 断層の変形様式を支配する強度・応力状態の指標化
- 断層の透水性の潜在的な上限と指標との関係性の整理とモデルの構築
- 原位置試験によるモデルの検証

(3) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

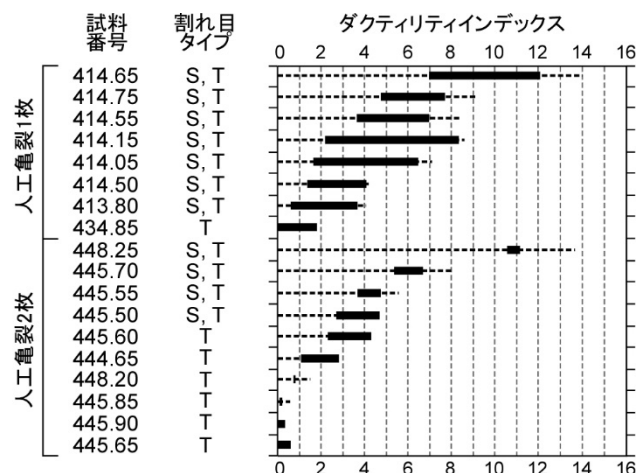
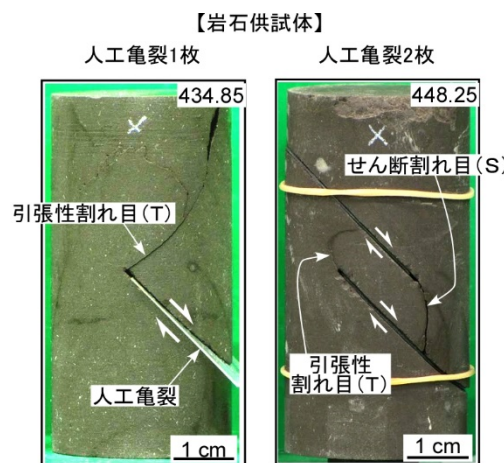
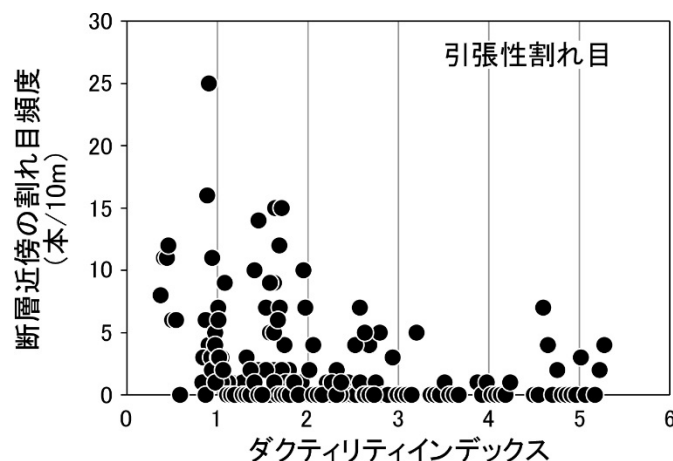
1) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証 <研究成果の概要>

(a) 断層の変形様式を支配する強度・応力状態の指標化

- 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するために、関連する既存研究のレビューを行うとともに、机上検討やコア観察・室内実験を行った。
- その結果、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が確認でき、DI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。



モール円とDI (σ_t =引張強度、 B =一軸圧縮強度÷引張強度)



コア観察結果（DIが2以下だと引張性割れ目が断層近傍に多く発達）

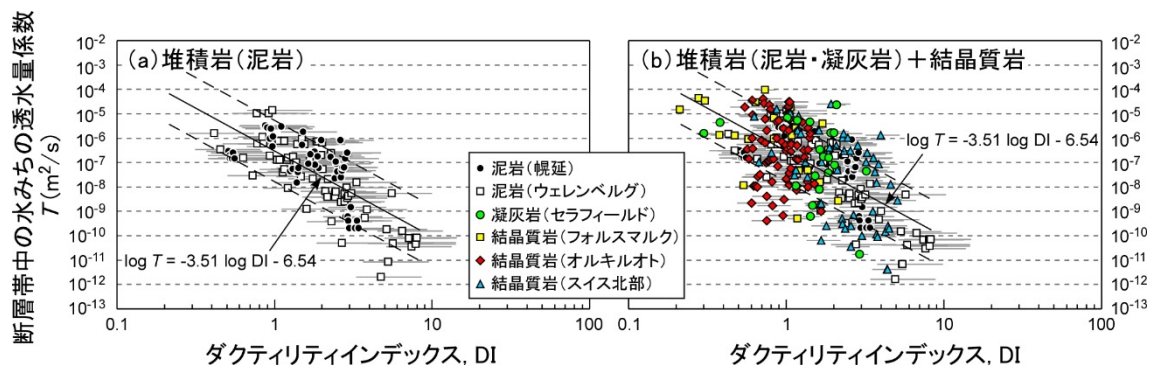
人工亀裂（断層面を模擬）を用いた破壊実験結果（DIが2以下だと引張性割れ目のみがダメージゾーン亀裂として選択的に形成）

(3) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

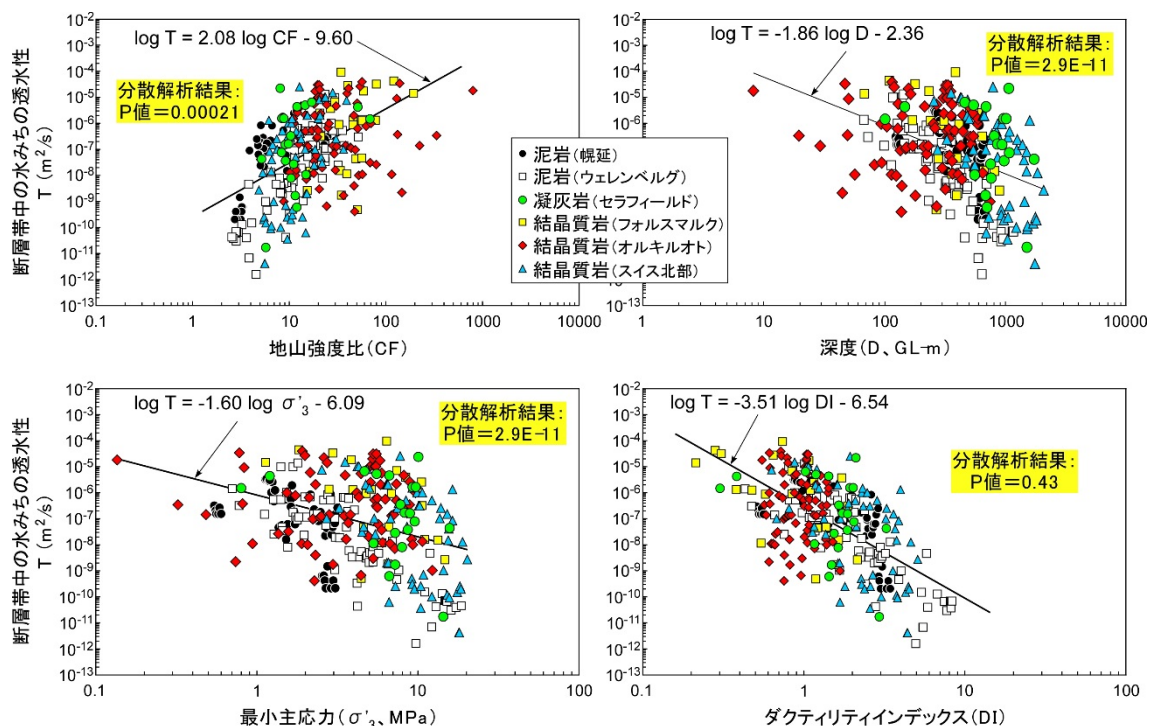
1) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証 <研究成果の概要>

(b) 断層の透水性の潜在的な上限と指標との関係性の整理とモデルの構築

- 堆積岩に適用可能な、断層の透水性の潜在的な上限を推定するモデル/経験則を構築するために、ボーリング調査でフローアノマリイとして検出される断層帯亀裂の透水性とDIの関係性を検討した。
- その結果、地山強度比などの他のパラメーターよりも高い相関性が両者には認められ、断層帯亀裂の潜在的な透水性の上限は、DIを用いた経験式によりある一定の幅を持って統一的に予測できる可能性が高いことが分かった。
- このような経験式は、特にサイト固有のデータが多く得られていない段階において、地震・断層活動や隆起・侵食の可能性を考慮した処分場閉鎖後の断層の透水性を保守的かつ合理的に設定する際の一つの根拠となり得る。



断層帯で検出された水みちの透水量係数とDIの関係



その他の指標の比較検討例 (他の指標は分散解析のP値が0.05より有意に小さく、図中の近似式の一般性は乏しい)

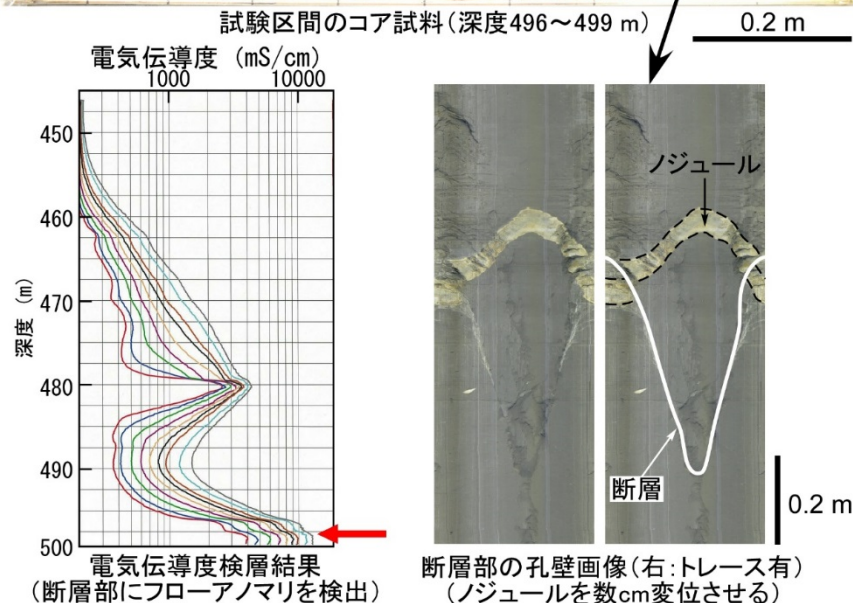
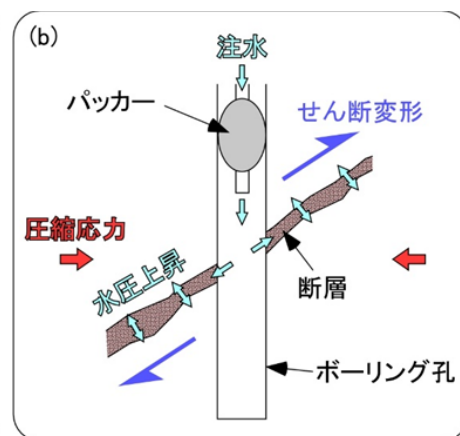
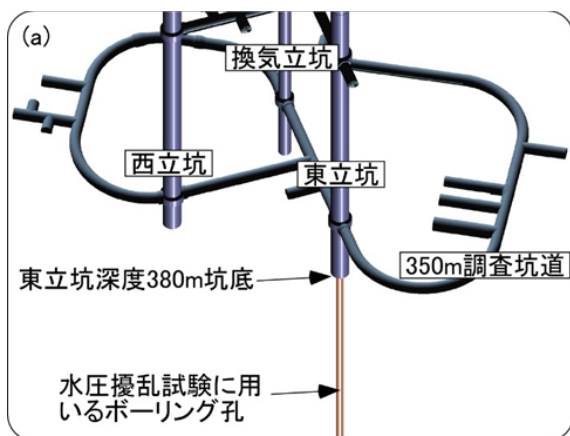
(3) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

1) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証 <研究成果の概要>

(c) 原位置試験によるモデルの検証

【実施概要】

- 断層運動や隆起・侵食が生じてても断層帯亀裂の透水量係数がDIの経験式の関係を超えて上昇しないことを確認するために、通常よりも高い注入圧を用いて、水圧を段階的に上昇・下降させる定圧注入試験（水圧擾乱試験）を幌延地下施設の東立坑の坑底より掘削したボーリング孔にて行った。
- 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する。
- 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化する（有効応力が低下する）現象を応力的に模擬することにもなる。



水圧擾乱試験を行った深度497.8m付近の断層部のコア写真、電気伝導度検層結果、および孔壁画像（電気伝導度検層では深度480mの断層部でもフローアノマリを検出）

水圧擾乱試験に用いたボーリング孔の位置 (a) と水圧上昇によって誘発される断層のせん断変形 (b)

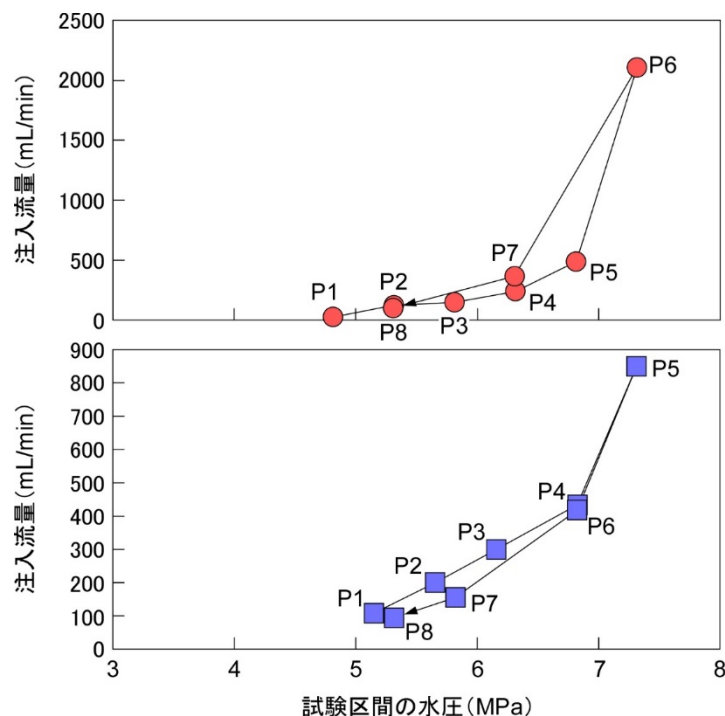
(3) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

1) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証 <研究成果の概要>

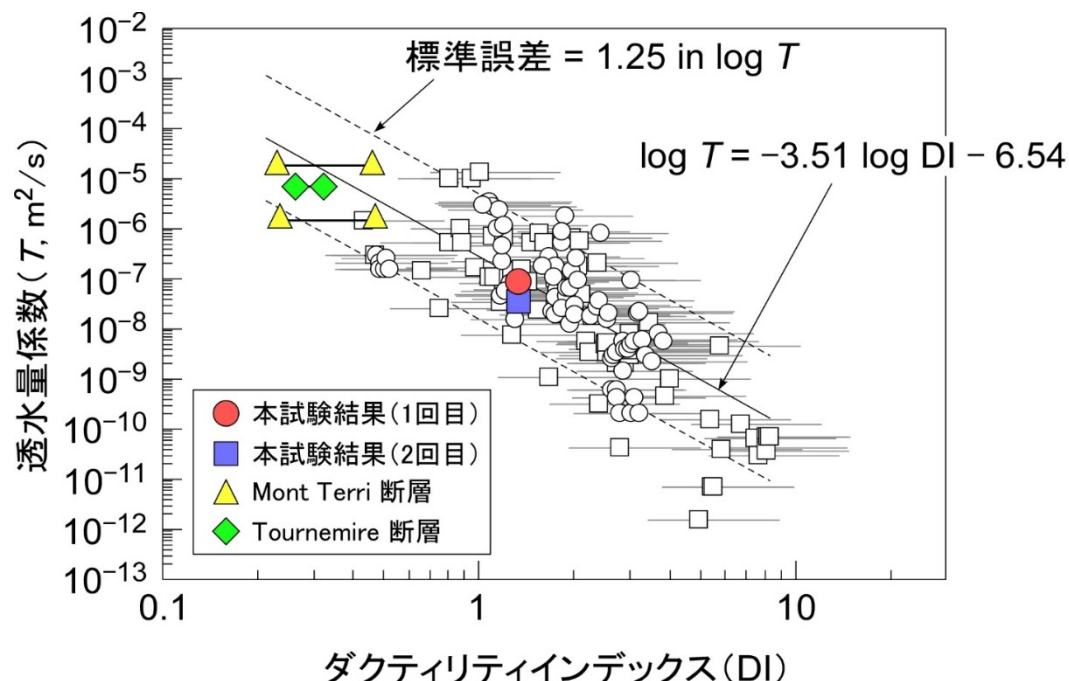
(c) 確認原位置試験によるモデルの検証

【試験結果】

- 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することができた。
- これは、小規模な断層を処分場内に取り混まざるを得ないような場を対象とした際の安全/性能評価において、将来的な断層運動や隆起・侵食の可能性を考慮した断層の透水性を保守的に設定する際に、DIの経験式が一つの設定根拠となり得ることを支持する。



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(上段は1回目、下段は2回目の試験結果)



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

(3) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

1) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証 <まとめ>

【得られる成果】

- 小規模な断層を処分場内に取り混まざるを得ないような場を対象とした際の安全/性能評価において、将来的な断層運動や隆起・侵食の可能性を考慮した断層の透水性を保守的かつ合理的に設定する際の一つの設定根拠を用意しておくために、断層の透水性の潜在的な上限を支配し得る力学的なパラメーターを特定し、それと透水性との関係性を経験的に明らかにすることを試みた。
- その結果、健岩部の引張強度で標準化したモール円の中心位置（DIと定義）が有効なパラメーターであることが机上検討や室内実験により考えられた。
- 国内外の既存のボーリングデータをコンパイルした結果、断層帯亀裂の潜在的な最大透水量係数とDIの関係性を経験的に導くことができた。
- 上記で構築したDIの経験式の有効性について、断層運動や隆起・侵食を模擬した原位置試験により検証した結果、DIの経験式は、将来的な断層運動や隆起・侵食の可能性を考慮した断層の透水性を保守的かつ合理的に設定する際の一つの設定根拠となり得ることが確認できた。

まとめ

項目	達成目標	達成度	H31末までに実施すべき作業
実際の地質環境における人工バリアの適用性確認	- 人工バリア等の設計・施工技術、品質管理手法、連成評価手法及びモニタリング手法の適用性確認 - 原位置でのOP腐食挙動評価手法の適用性の確認 - 堆積岩基質部及び割れ目における物質移行特性評価技術開発	- 人工バリア等の設計・施工技術、品質管理手法、連成評価手法及びモニタリング手法の適用性を例示 - OP腐食挙動評価手法の保守性、妥当性を確認 - 原位置トレーサー試験手法を構築 - 技術報告書:6件 - 論文:3件	- 人工バリア性能確認試験の継続・物性データ取得・解析 - OP腐食試験の分析 - 物質移行試験(健岩部)のコア試料分析
処分概念オプションの実証	- 幌延URLを対象としたグラウト施工・評価手法の実証, グラウト材料開発 - 立坑及び水平坑道の情報化施工技術の構築 - 岩盤及び支保工の長期計測技術の実証 - PEMの搬送定置技術の適用性確認	- 湧水抑制対策についての適用性を確認 - 支保工や坑道の安定性を担保した効率的な情報化施工を構築 - 処分坑道横置きPEM方式の実環境下における搬送定置・回収技術の適用性を例示 - 技術報告書:4件 - 論文:5件	搬送定置・回収技術に関する原位置試験の実施
地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証	- 断層の変形様式を支配する強度・応力状態の指標化 - 断層の透水性の潜在的な上限と指標との関係性の整理とモデルの構築 - 原位置試験によるモデルの検証	- 断層の透水性を設定するパラメータ(DI)と最大透水量係数との関係性を例示 - DIの経験式の有効性を原位置試験で確認 - 技術報告書:0件 - 論文:6件	原位置試験(水圧擾乱試験)の実施と結果の解析・評価