

平成28年度における個別研究課題の現状および今後の予定

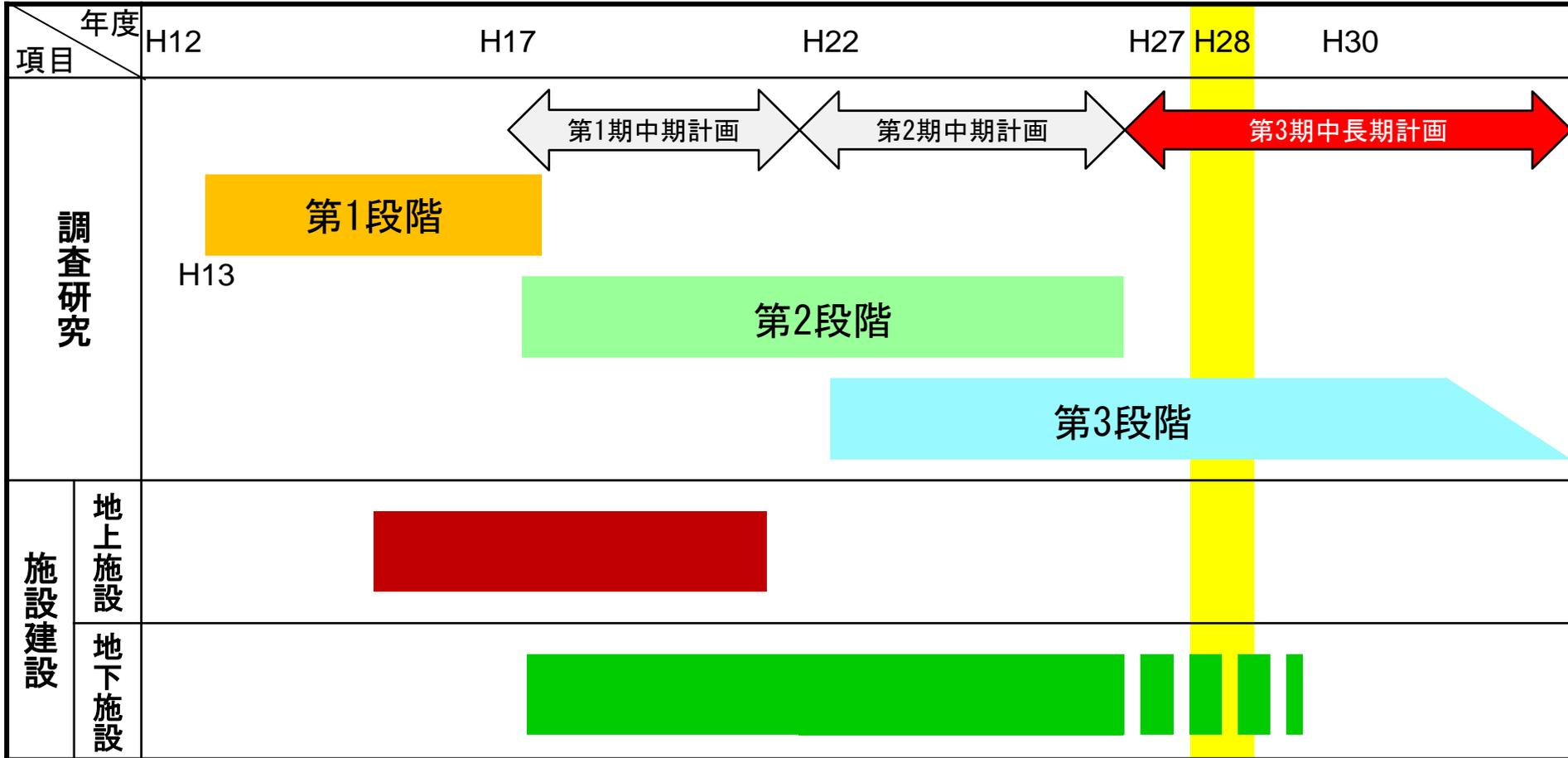
# ① 深地層の研究施設計画

## b) 幌延深地層研究計画

平成29年3月1日

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

# 幌延深地層研究計画スケジュール



**第1段階：地上からの調査研究段階**

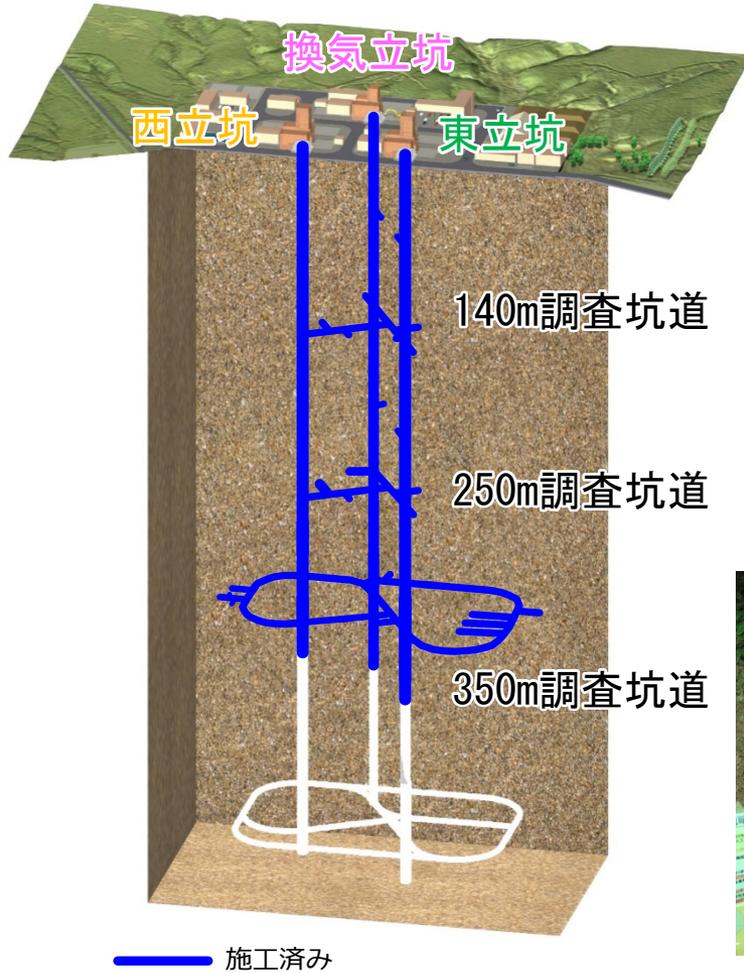
**第2段階：坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階**

**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。

# 地下施設の状況

350m調査坑道の整備は平成26年6月に完了。



## 【立坑掘削状況】

東立坑	掘削深度	380 m
換気立坑	掘削深度	380 m
西立坑	掘削深度	365 m

## 【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



350m試験坑道4  
(平成28年11月1日撮影)



350m東周回坑道  
(平成28年10月12日撮影)

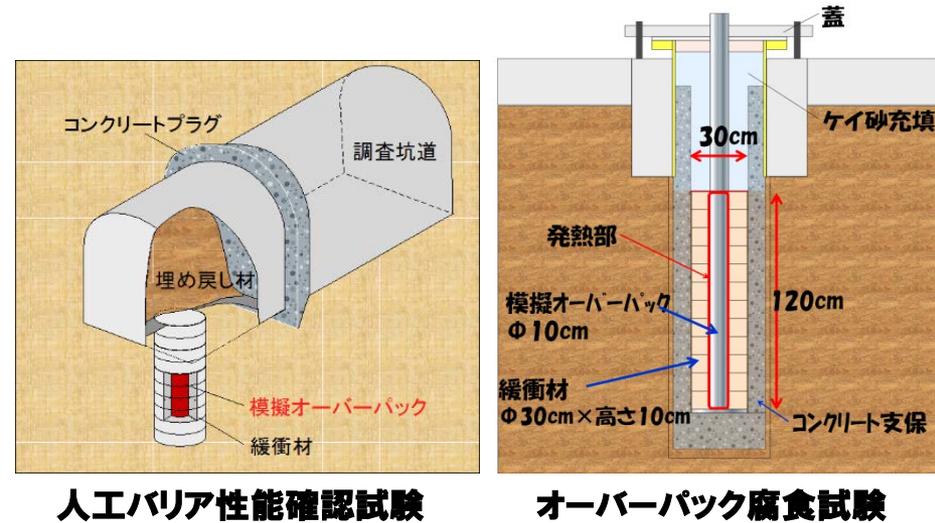
※このイメージ図は、今後の調査研究の結果次第で変わることがあります。

# 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。

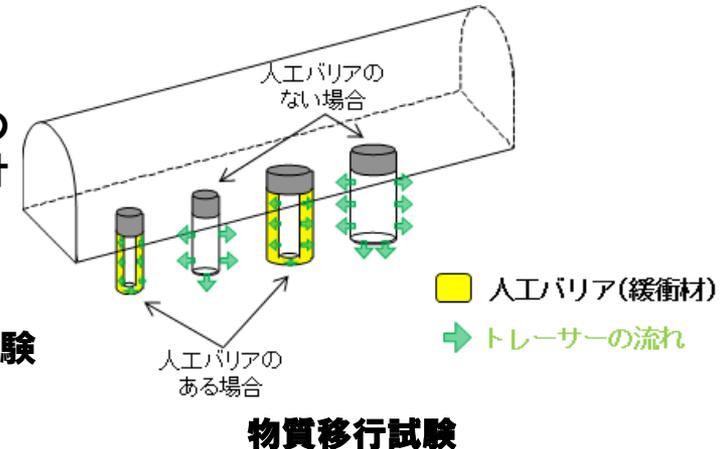
- 人工バリア性能確認試験
- オーバーパック腐食試験
- 物質移行試験



## 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

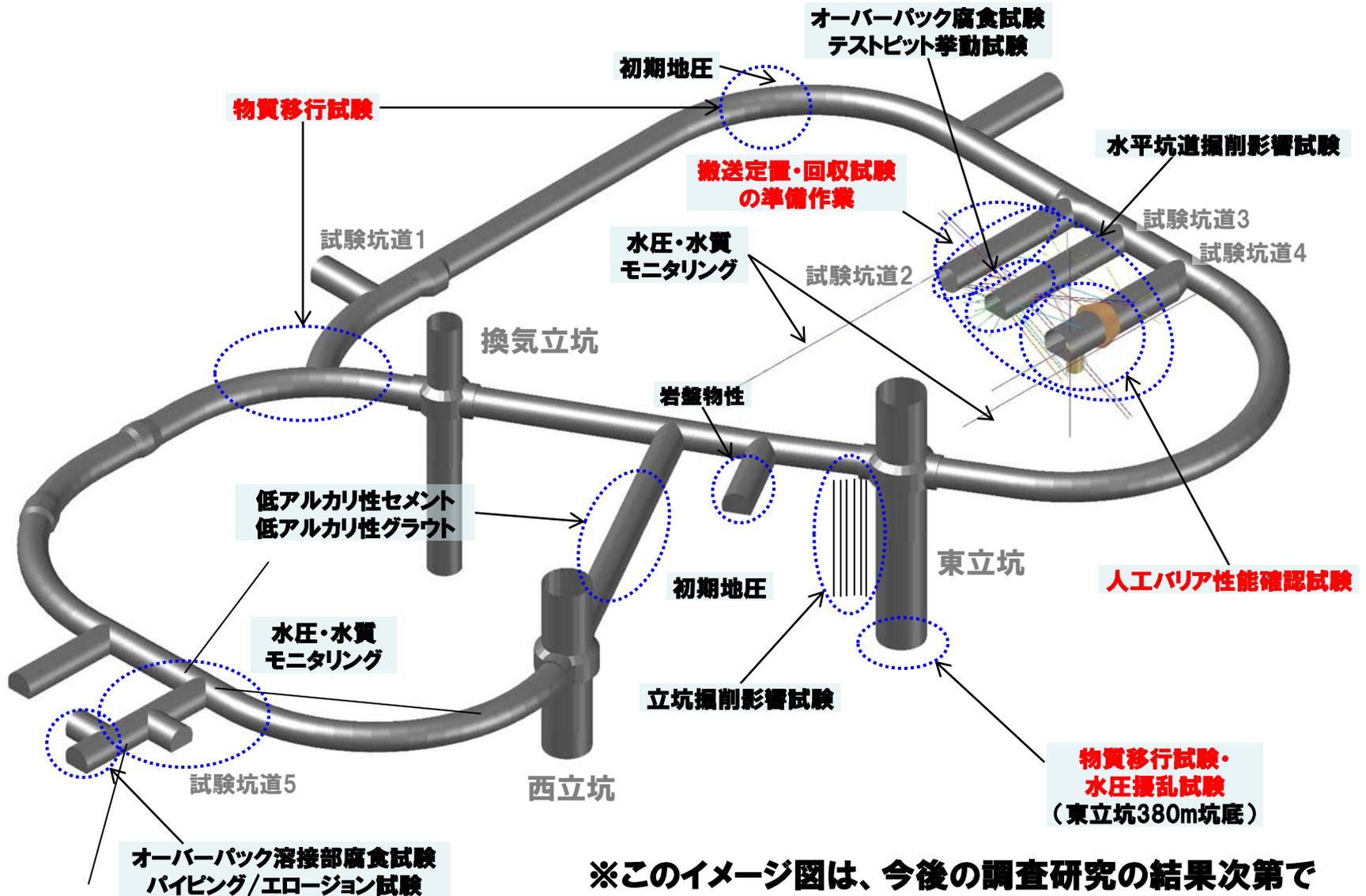


## ③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

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

# 深度350m調査坑道における原位置試験



※このイメージ図は、今後の調査研究の結果次第で見直すことがあります。

# 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－

### 【目的】

- 「第2次取りまとめ」で示した処分概念が**実際の地下環境で構築できることの実証**

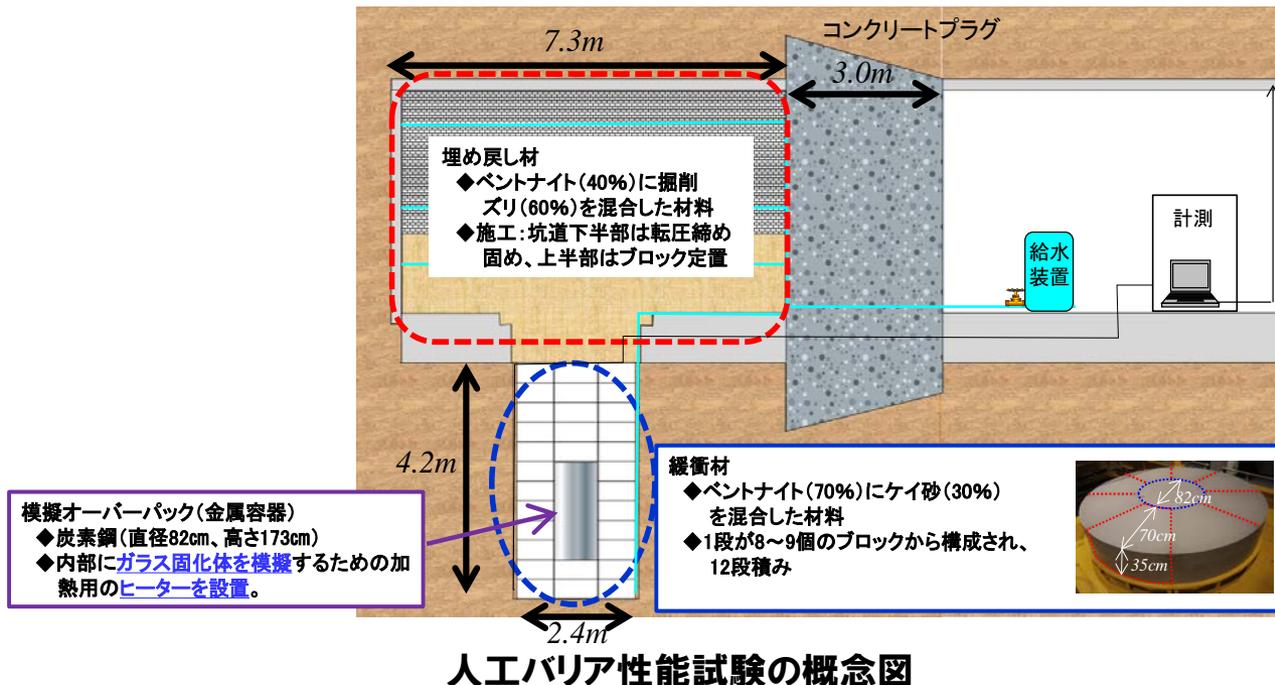
処分孔(模擬)の掘削方法、緩衝材ブロックの定置方法、オーバーパック(模擬)の定置方法、埋め戻し材施工方法、プラグ施工方法の例示、等

- 幌延を事例とした**設計手法の提示**

緩衝材の設計手法、埋め戻し材の設計手法、コンクリートプラグの設計手法、等

- 熱－水－応力－化学連成現象を評価するための**検証データの取得**(再冠水までの過渡期を対象)

緩衝材: 膨潤挙動、膨出挙動、浸潤挙動、含水比分布、温度分布、埋め戻し材: 浸潤挙動、含水比分布、オーバーパック(模擬): 腐食挙動、等



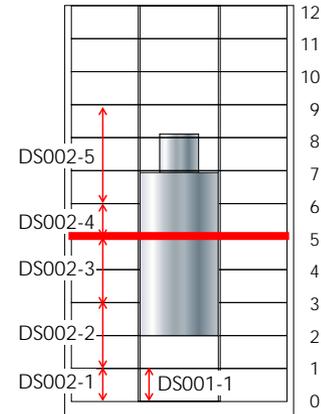
- ✓ 坑道および試験孔掘削時に顕著な湧水は観測されなかった。
  - ✓ 試験孔掘削後、試験孔全体から約80mL/minの湧水を確認
  - ✓ 試験坑道壁面(吹付けコンクリート)からの湧水は確認されなかった
  - ✓ 試験孔底部に排水管を設置し、排水しながら緩衝材・埋め戻し材・プラグコンクリートを施工
- ✓ 加熱・注水に関するスケジュール
  - ✓ 2014年12月19日計測開始→12月22日排水停止
  - 2015年1月15日加熱開始→1月16日外部から注水開始

# 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

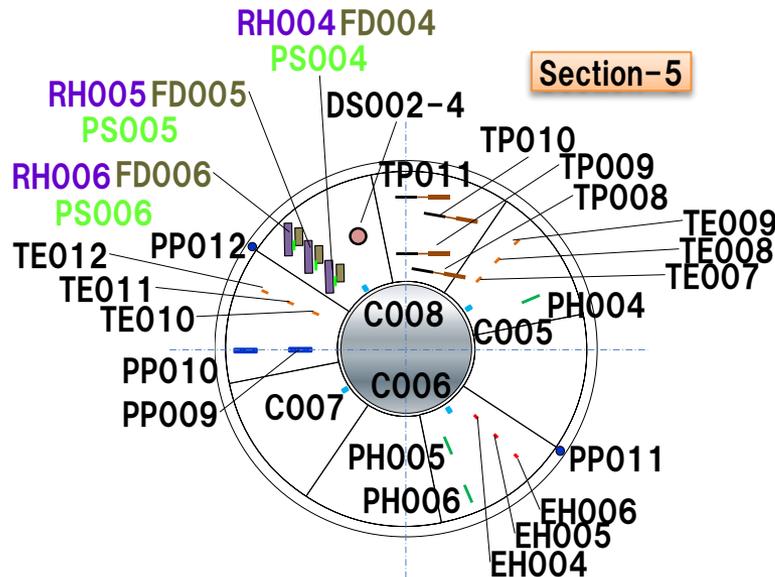
## －人工バリア性能確認試験：計測項目と設置状況(緩衝材)－

計測器配置断面(緩衝材段数)	0	1	3	5	6	9	11	12	計
土圧計(TPxxx)	3	2	2	4		2	1		14
間隙水圧計(PPxxx)	4	2	2	4	2	2	2		18
変位計(DSxxx)	●●●●●●●●●●								6
光学式pH計(pHxxx)			3	3	3				9
熱電対(温度計)(TExxx)			6	6					12
白金電極(EHxxx)			3	3	3				9
炭素鋼腐食センサー(Cxxx)			4	4	4				12
湿度計(RHxxx)			3	3					6
水分計(サイクロメータ)(PSxxx)			3	3	3				9
水分計(FDR-V)(FDxxx)			3	3					6
緩衝材膨出センサー(ひずみ計)								14	14
合計	7	6	30	34	16	5	3	14	115

- 水平方向:OP周辺の挙動を重点的に観測するために、模擬OP周辺にセンサーを多く配置
- 深さ方向:OP中心から概ね均等となるように計測断面を配置



変位計の配置



計測センサーの配置(断面5)

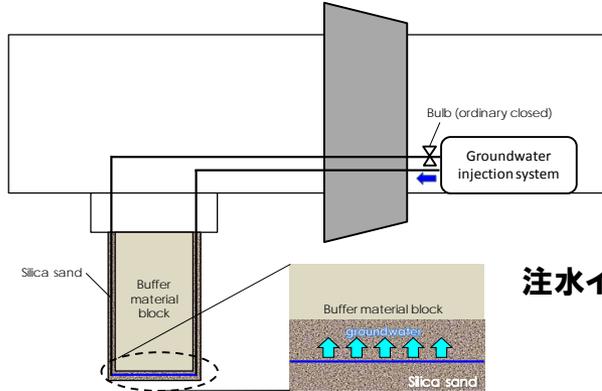
- 土圧計(TPxxx)
- 間隙水圧計(PPxxx)
- 変位計(DSxxx)
- 光学式pH計(pHxxx)
- 熱電対(温度計)(TExxx)
- 白金電極(EHxxx)
- 炭素鋼腐食センサー(Cxxx)
- 湿度計(RHxxx)
- 水分計(サイクロメータ)(PSxxx)
- 水分計(FDR-V)(FDxxx)

# 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：注水管設置状況－

### 緩衝材

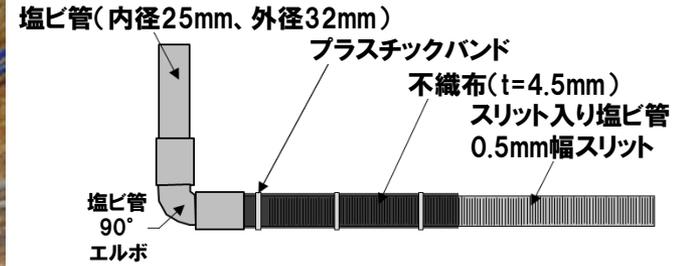
試験孔底よりスリット管で注水  
→ケイ砂層を通じて緩衝材全体に注水



注水イメージ



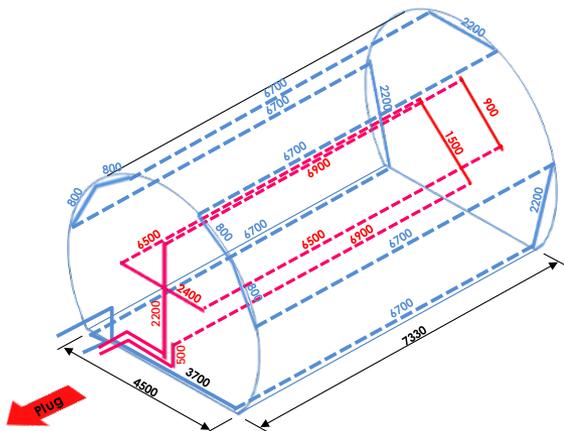
注水管の設置状況(孔底)



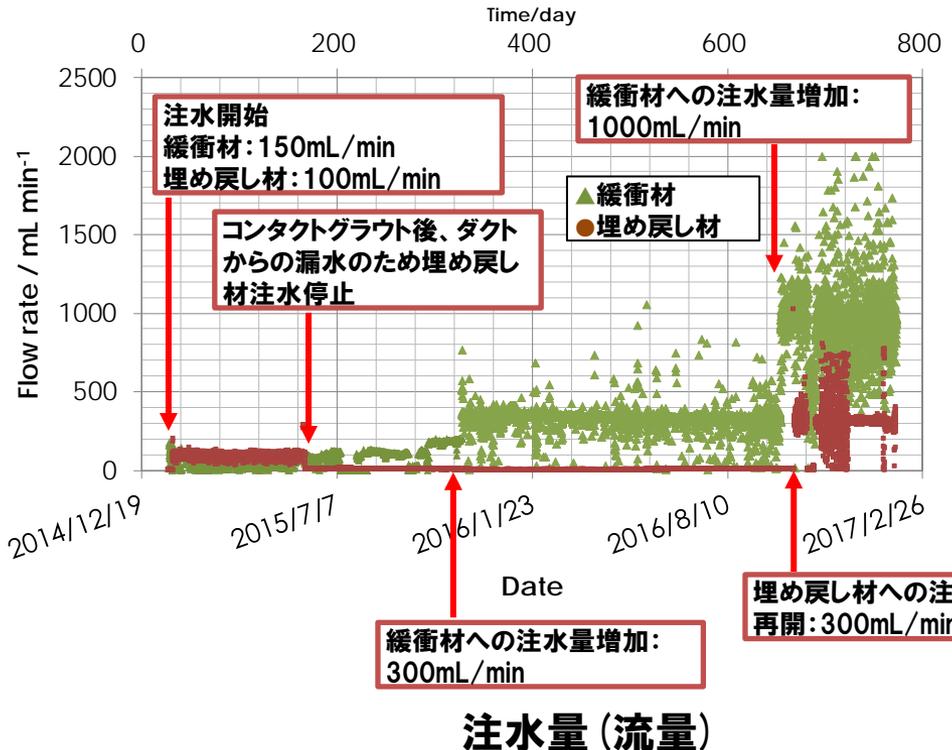
注水管イメージ  
(緩衝材・埋め戻し材共通)

### 埋め戻し材

2系統で注水可能：坑道壁面、埋め戻し材内部  
・これまで、坑道壁面(青点線)系統のみを使用

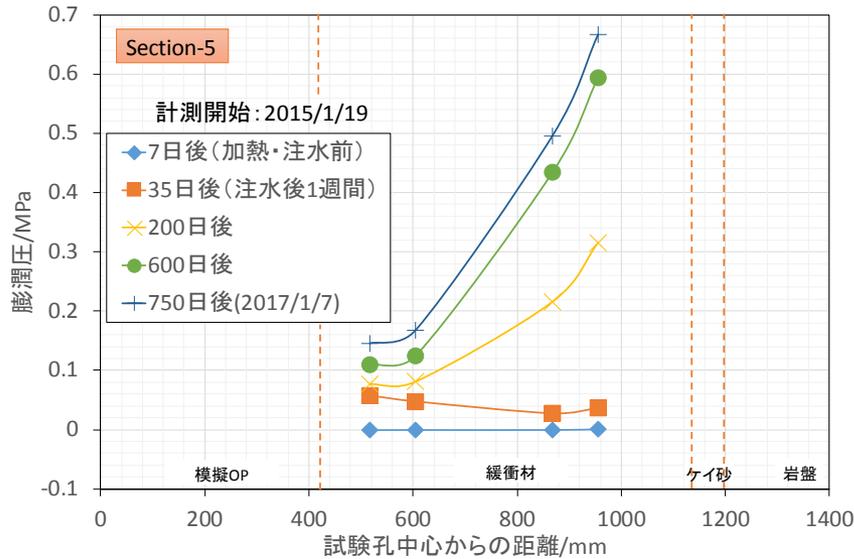


Along wall of niche  
 - - - Pipe without slit  
 - - - Pipe with slit  
 Into backfilling material  
 - - - Pipe without slit  
 - - - Pipe with slit

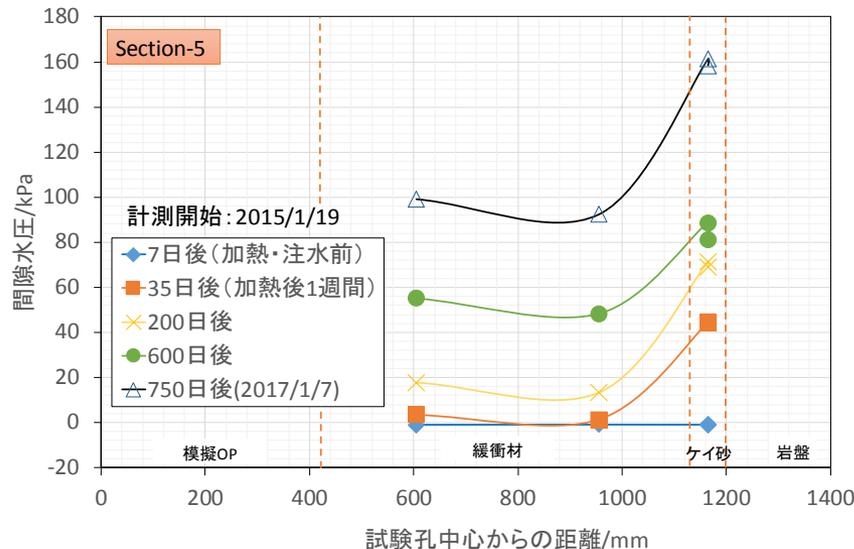


# 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

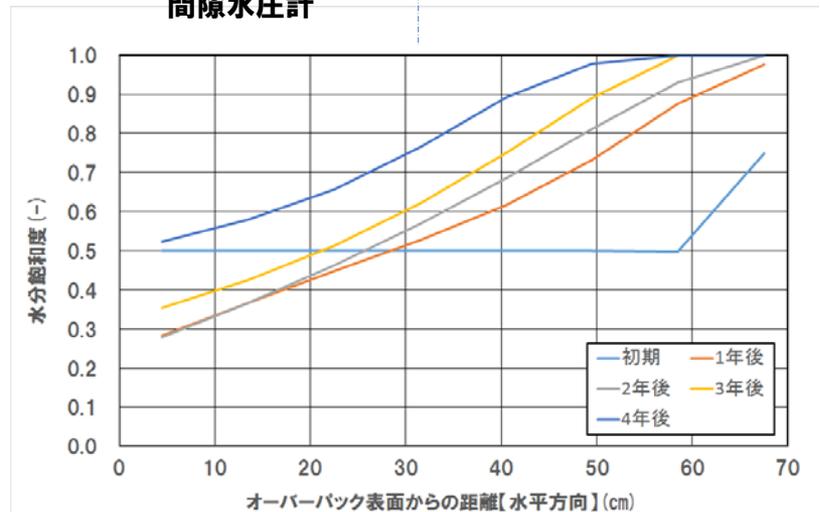
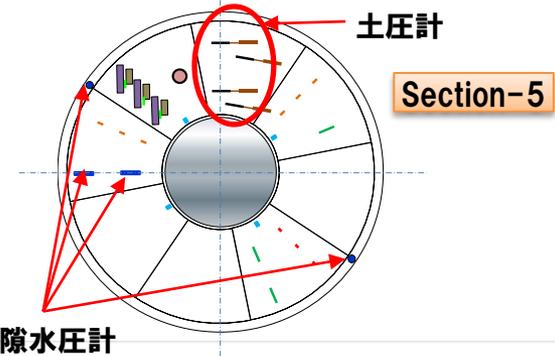
## —人工バリア性能確認試験の進捗状況:緩衝材への地下水の浸潤(1/2)—



土圧計計測結果



間隙水圧計計測結果

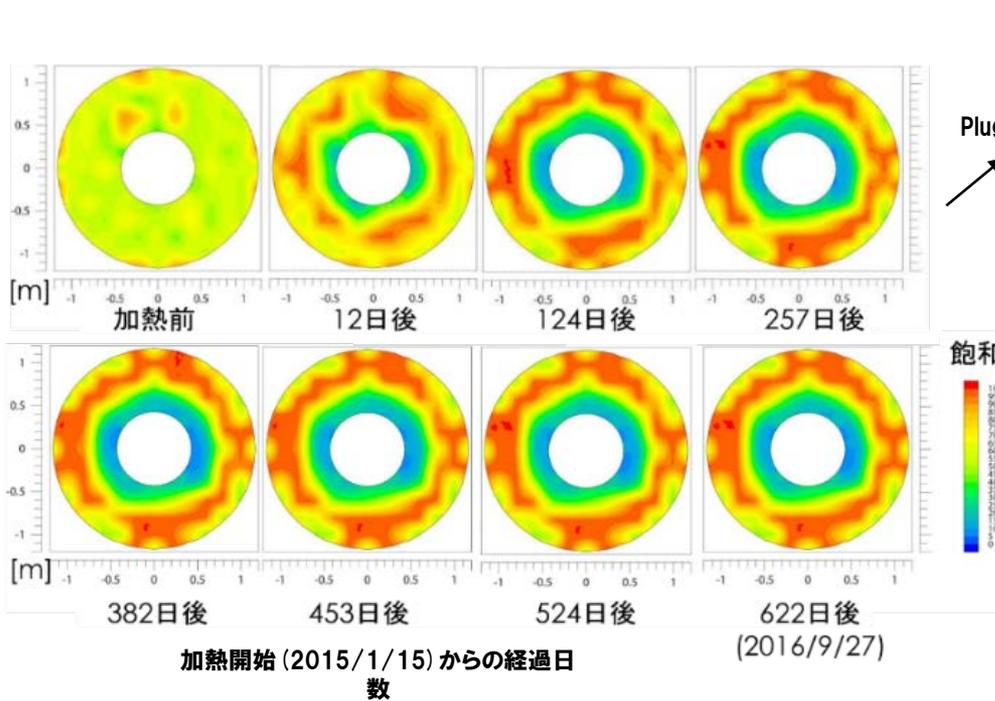


THモデルによる緩衝材の再冠水解析例

- 土圧計の計測結果から、幌延地下水における緩衝材(ベントナイト70%+ケイ砂30%)の平衡膨潤圧は0.4MPa程度と推定されることから、岩盤側から30cm程度まではほぼ飽和と推定される。
- 間隙水圧は、経過日数とともに徐々に上昇しているが、緩衝材内部での分布に差は無い。

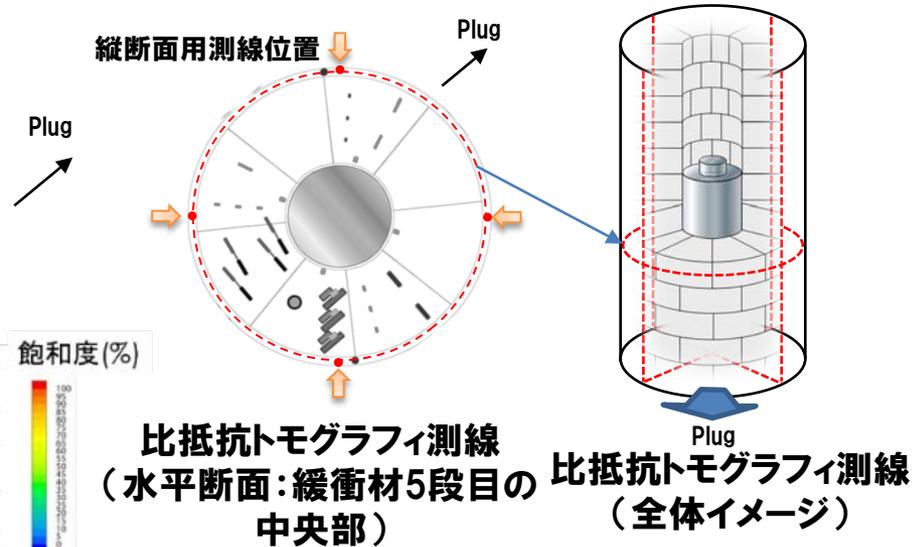
# 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

## —人工バリア性能確認試験の進捗状況:緩衝材への地下水の浸潤(2/2)—



### 比抵抗トモグラフィによる飽和度

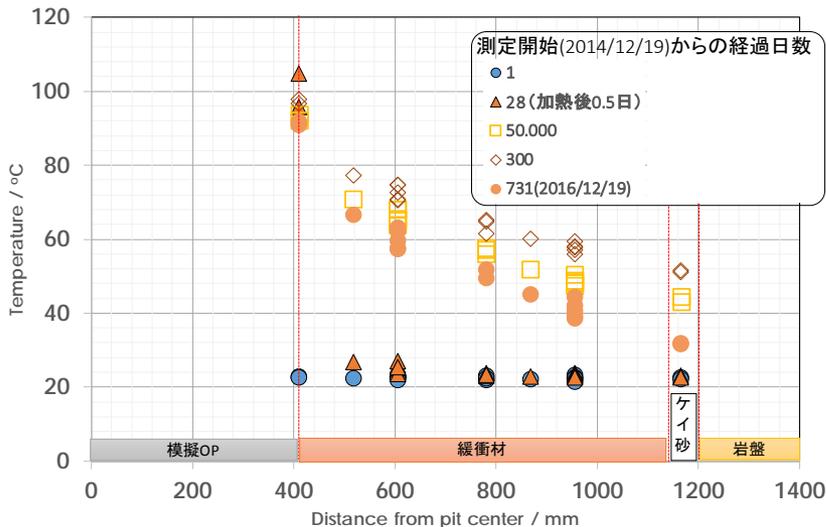
- 比抵抗トモグラフィの測定結果から、岩盤から20~30cm程度まで飽和度が高くなっている。



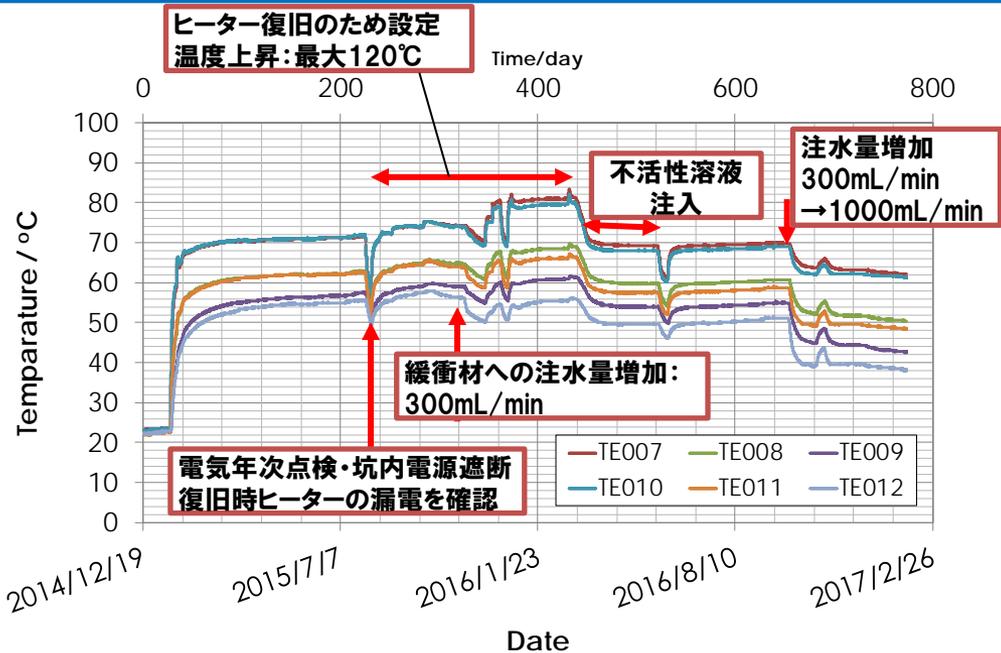
比抵抗トモグラフィ電極  
中心角5°で72点設置

# 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の進捗状況：温度－



緩衝材中の温度分布(断面5)

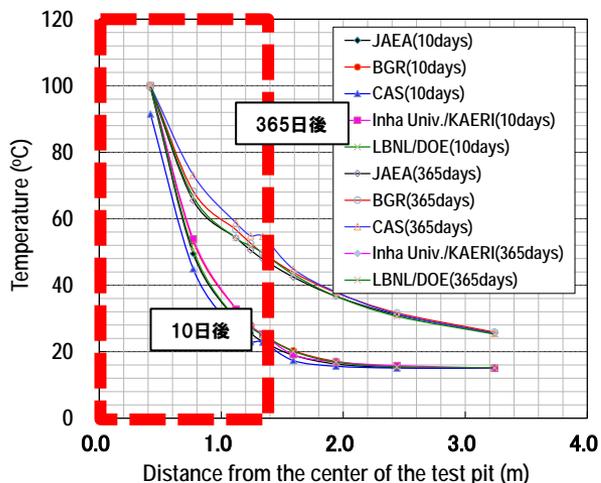


緩衝材中の温度の経時変化(断面5)

緩衝材中の温度分布の経時変化について、温度分布の傾向は、平成27年のDECOVALEX-2015プロジェクトにおける参加機関による解析の結果とほぼ同様な傾向を示す。

### 解析の初期条件

- 加熱開始から10日後に100℃、その後100℃で一定
- 緩衝材・岩盤の試験開始時の温度は15℃と設定
- 試験孔周辺の間隙水圧は0.22MPaで一定



温度の解析結果(断面5)の例\*

# 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

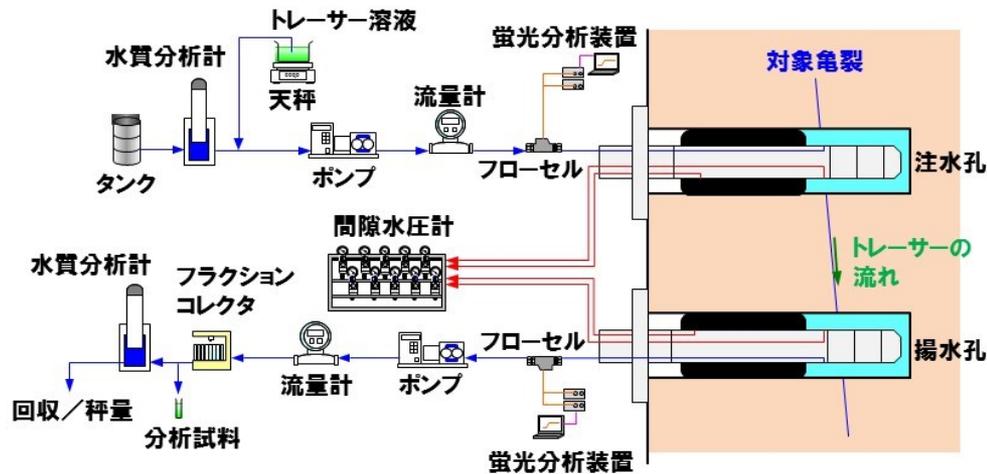
## －人工バリア性能確認：今後の予定－

- **注水量/注水圧を段階的に上昇**
  - － 現状 緩衝材：1000mL/min、埋め戻し材：300mL/min  
→最終的には2.0～3.5MPaを目標
- **課題**
  - ・注水する地下水量の確保
  - ・周辺岩盤への流出量の増大
- **解析評価**
  - － これまでの状態を再現する解析を実施中  
→今後の注水圧により達成できる飽和度の確認

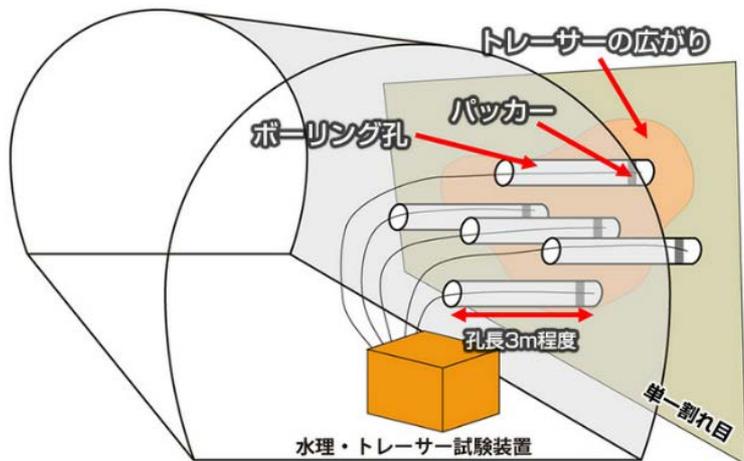
# 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

## — 単一割れ目を対象とした物質移行試験：試験概要（H27） —

- 堆積岩中の割れ目内の物質移行特性を把握することを目的にトレーサー試験を実施。
- 非収着性トレーサー(蛍光染料:ウラニン)を用いて、複数の試験区間、試験条件下でのトレーサー試験を実施し、割れ目内の物質の移行経路に関する情報を取得。
- 非収着性トレーサー試験結果を踏まえ、収着性トレーサー(Cs, Ni, Eu、等)を用いたトレーサー試験を実施し、割れ目内の収着・拡散特性を評価。



試験装置概要



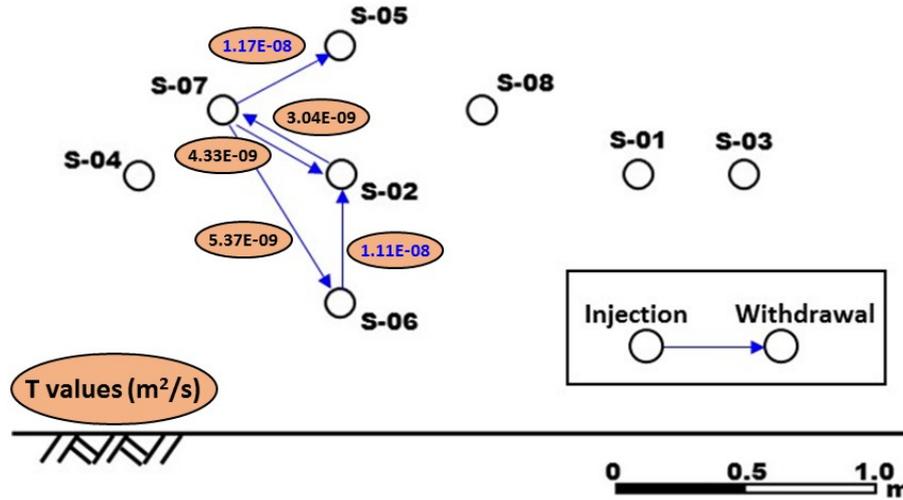
原位置トレーサー試験の概念図



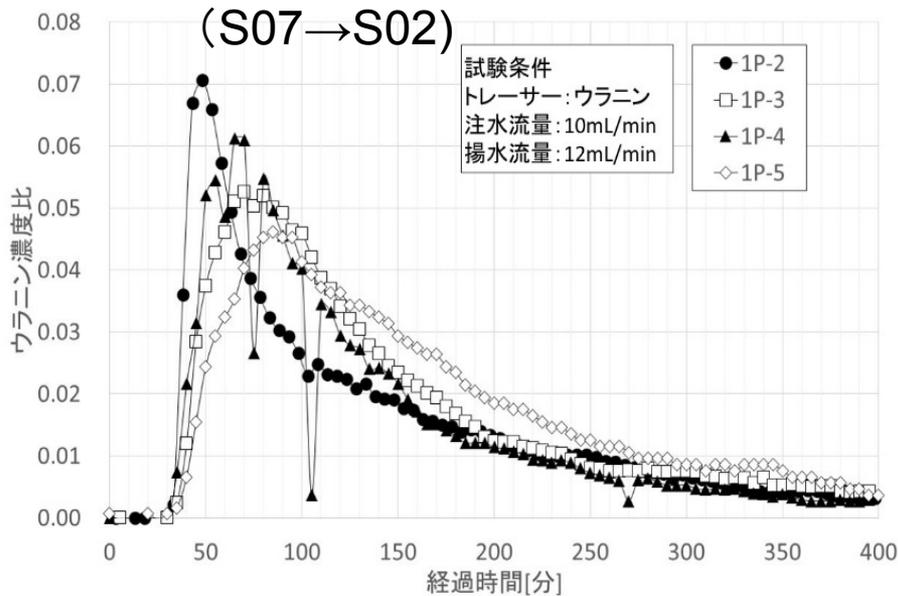
サンプリング後の岩石試料

# 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

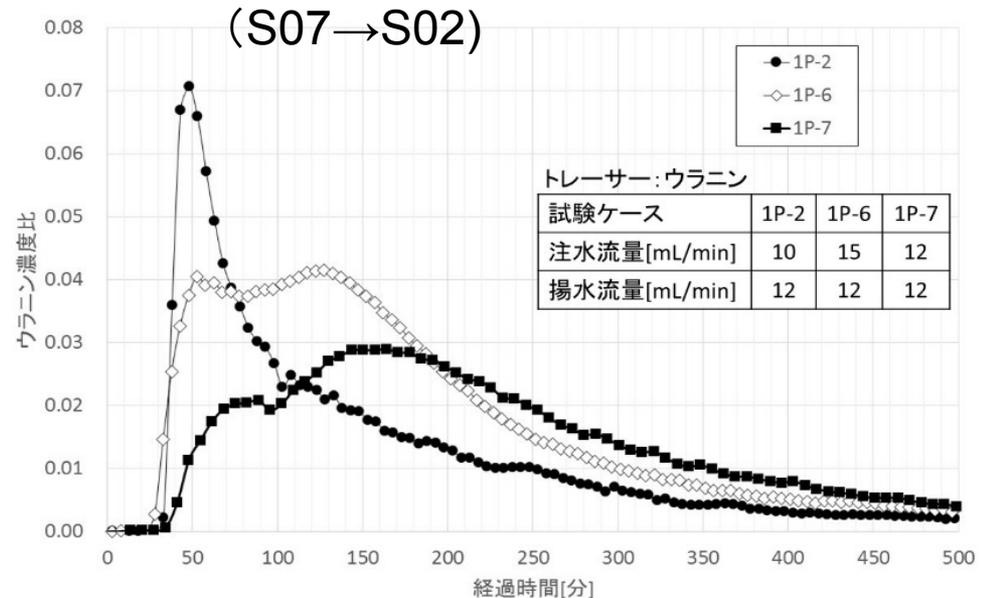
## — 単一割れ目を対象とした物質移行試験：試験結果の例 —



トレーサ試験レイアウト



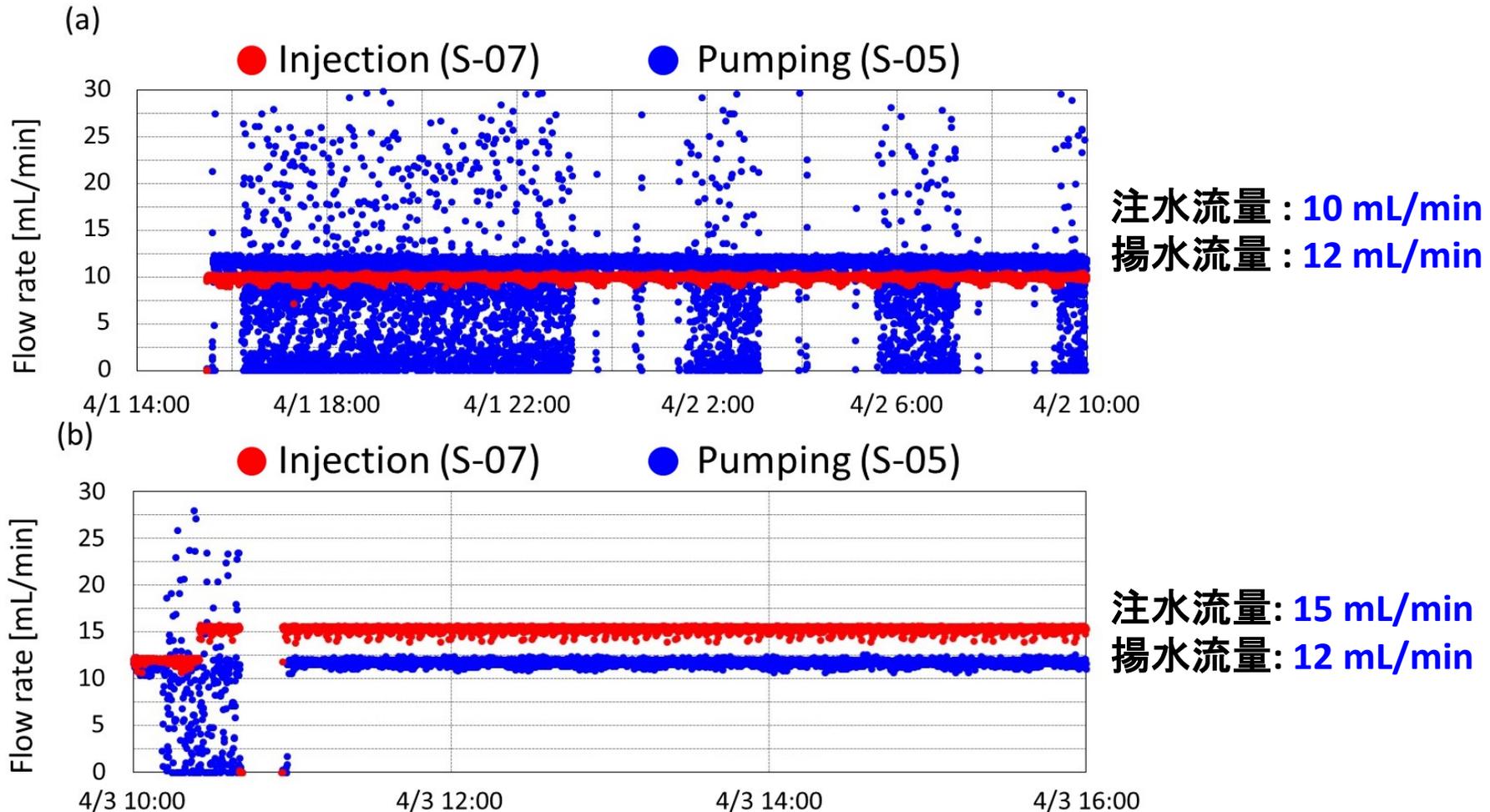
ダイポール比が同じ条件でのトレーサ試験結果



ダイポール比を変化させた場合のトレーサ試験結果 13

# 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

— 単一割れ目を対象とした物質移行試験：試験結果の例 —



- 注水流量 < 揚水流量：脱ガスの影響による揚水流量の乱れが大きい(a)
- 注水流量 > 揚水流量：脱ガスの影響が小さく揚水流量が安定(b)

「注水流量 > 揚水流量」の条件で脱ガスの発生が低減

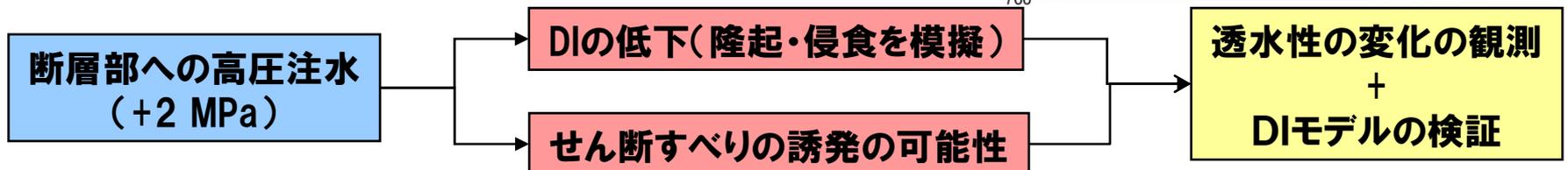
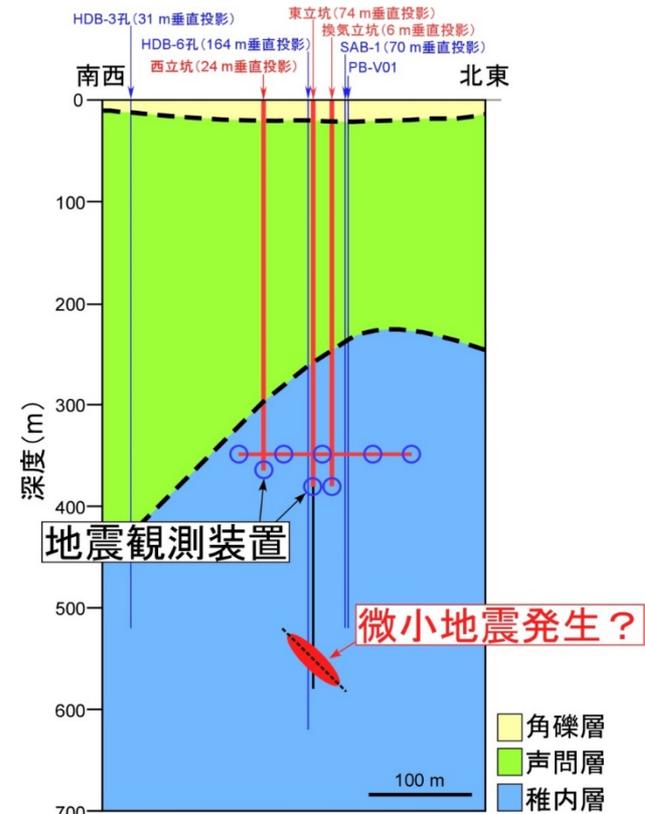
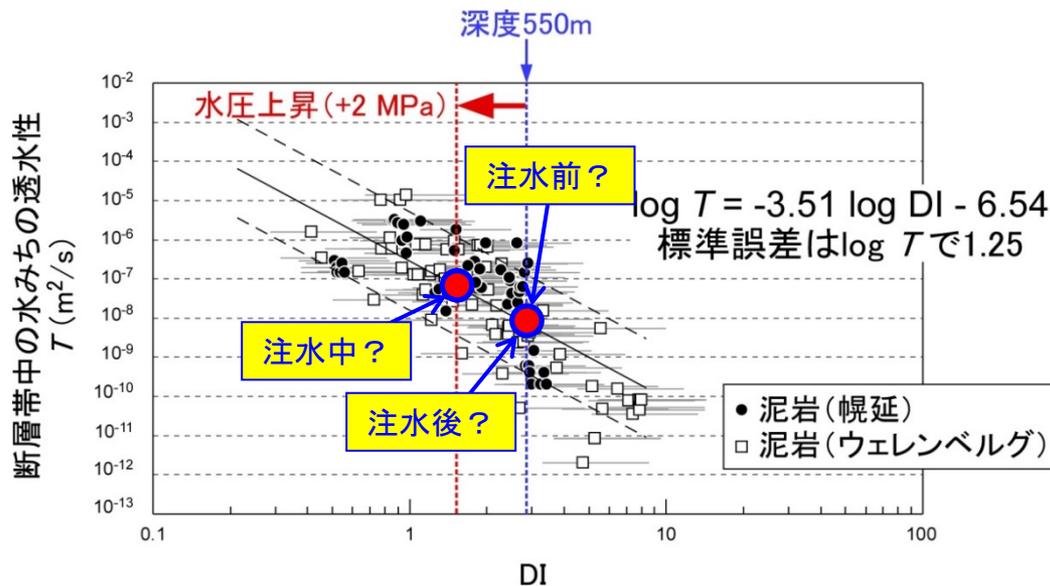
# 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

- ◆ 断層中の水みちの透水量係数は岩盤のDuctility Index (DI)に依存(Ishii, 2015, JGR)
- ◆ DIは平均有効応力( $\sigma'_m$ )と引張強度( $\sigma_t$ )より定義され( $= \sigma'_m / \sigma_t$ )、時空間分布の予測が可能

## DIモデルの用途

- 概要調査段階における高透水断層の潜在領域の特定
- 変動シナリオにおける断層の透水性の合理的な設定

- ◆ 断層を対象とした水圧擾乱試験によるDIモデルの検証

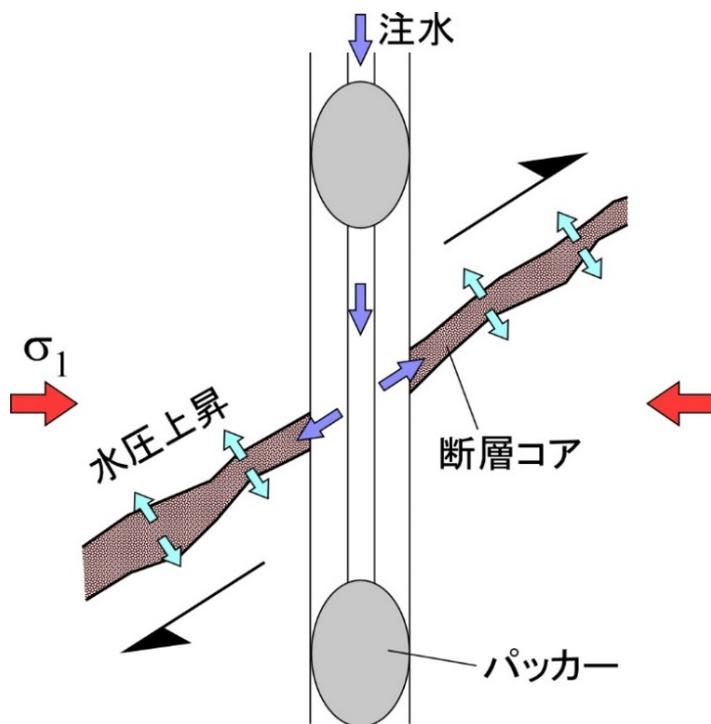


# 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

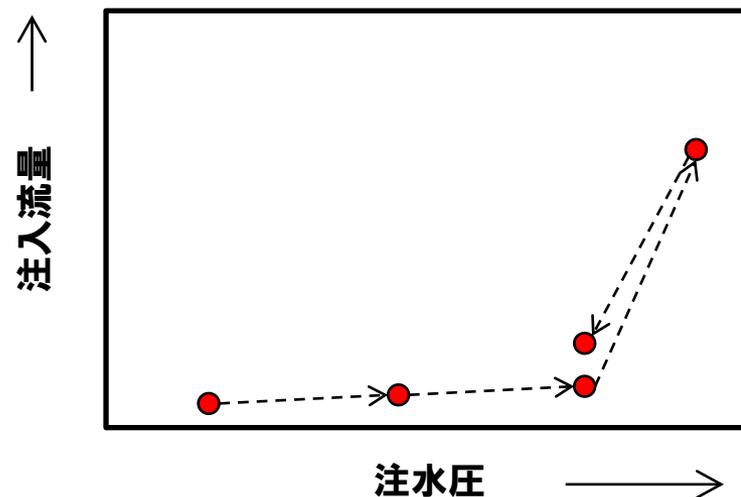
## －水圧擾乱試験－

### [水圧擾乱試験]

通常よりも高い注入圧を用いて断層内にせん断破壊を誘発させ、そのせん断破壊が岩盤の透水性に与える影響や、その後の岩盤の復元力(緩衝能力)を確認する試験



水圧擾乱試験の概念図

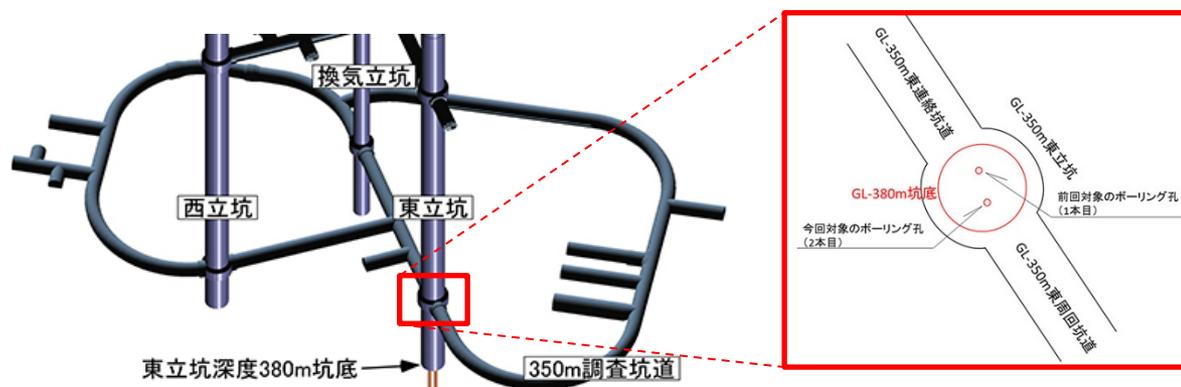


水圧擾乱試験における注水圧と注入流量の関係  
(イメージ)

# 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－

- 東立坑の坑底(深度380m)において、**水圧擾乱試験**および**割れ目帯を対象とした物質移行試験**(孔間トレーサー試験)に使用するボーリング孔の掘削を実施。2/1現在、2孔目のボーリング孔を掘削中。
- 1孔目のボーリング孔において、水圧擾乱試験(予備試験)を実施。



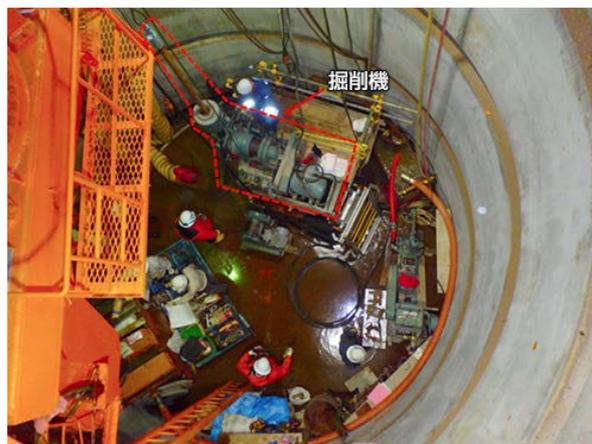
東立坑深度380m坑底

350m調査坑道

割れ目帯(イメージ)

ボーリング孔(200m)

ボーリング孔の掘削レイアウト



スcaffold(吊り足場)から見たボーリング孔の掘削の様子



ボーリング孔の掘削の様子

# 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（予備試験）の試験内容と試験結果－

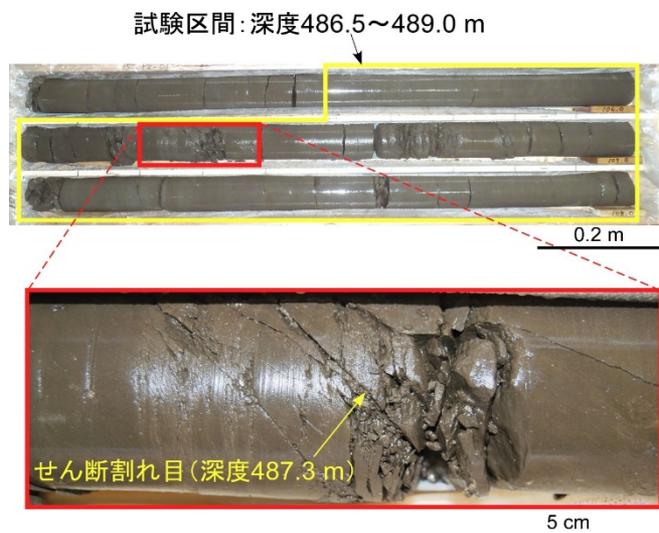
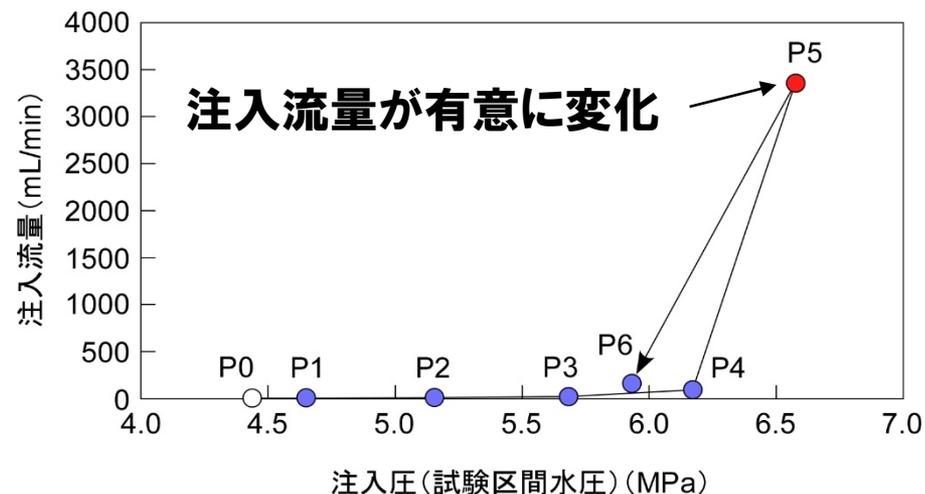
断層帯を対象とした水圧擾乱試験に先駆け、予備試験として小規模なせん断割れ目（深度487.3m）を対象とした水圧擾乱試験をシングルパッカーで実施

### 試験内容

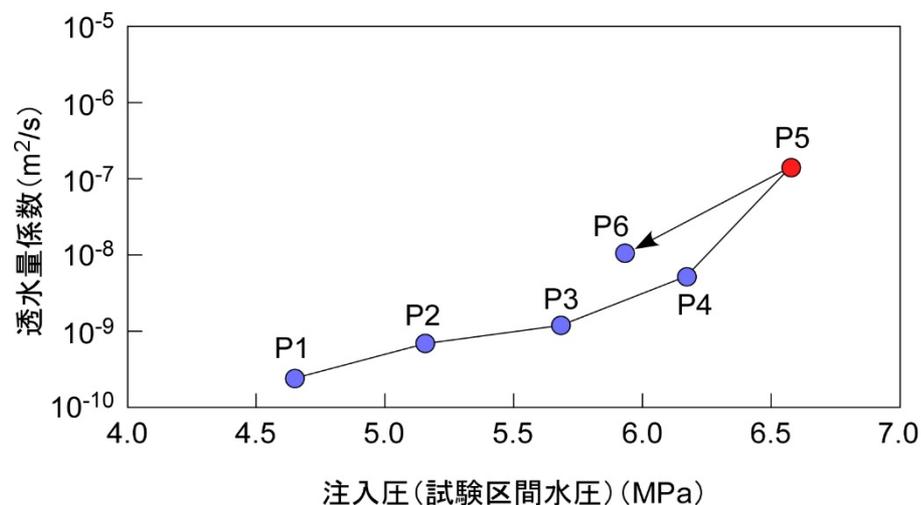
数段階の水圧条件（P0→P6）で定圧注水試験を行い、定常式を用いて透水性を算出。

### 試験結果

水圧が6.5 MPa程度になると注水流量が有意に増加し、透水性も増加することを確認。



試験区間付近のコア試料

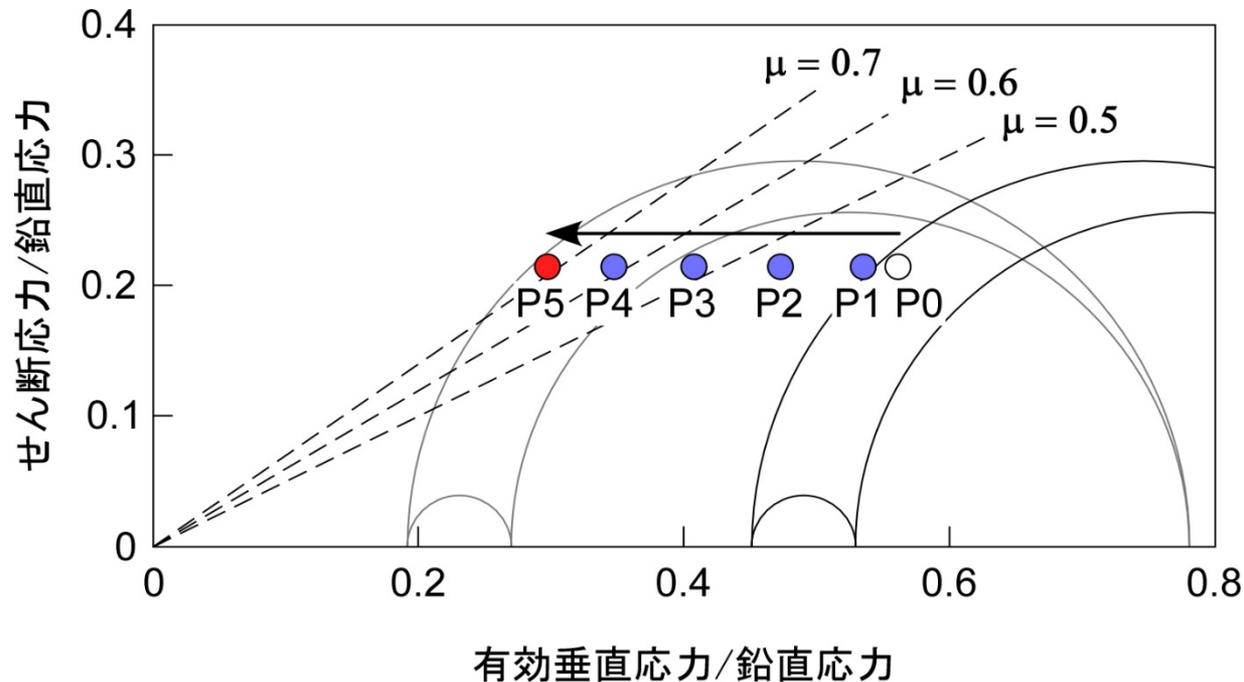


水圧擾乱試験(予備試験)の結果

# 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（予備試験）の試験結果－

### 注入流量の有意な上昇の要因



本試験区間に最も近い初期応力試験(HDB-6孔深度529.5m水圧破碎試験)の結果に基づくと、P4～P5程度の水圧条件であれば試験区間のせん断割れ目(深度487.3m)は十分に再動可能

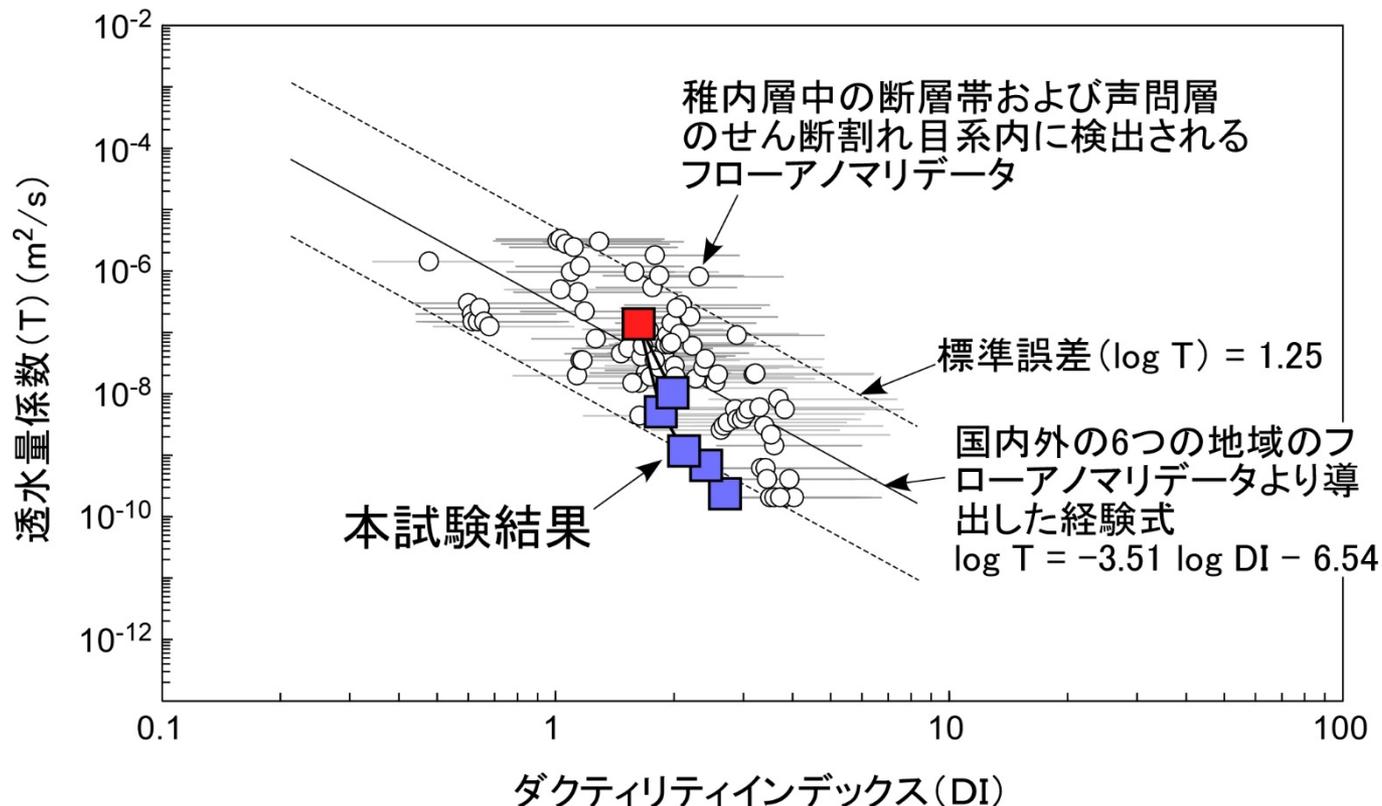
⇒せん断破壊に伴う局所的な亀裂開口が注入流量の有意な上昇の要因

# 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（予備試験）の試験結果－

### DIモデルとの比較

断層帯/せん断割れ目系内に検出される主要な水みちの透水量係数とDI

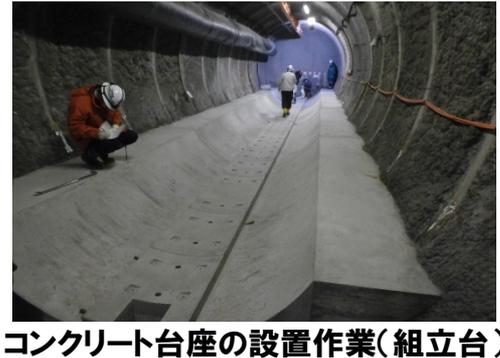
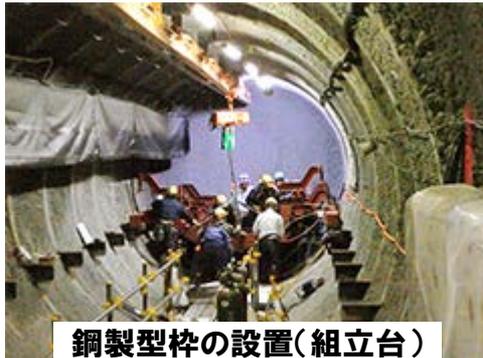
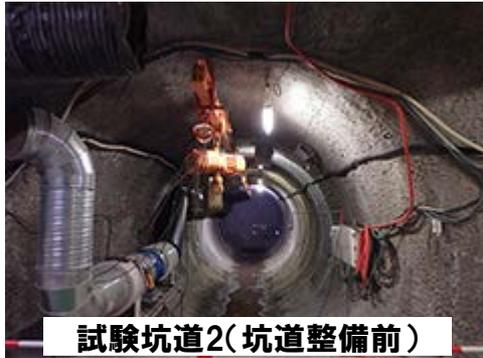


再動によりせん断割れ目の透水性は上昇し得るが、その透水性の上昇幅は既存の経験式(DIモデル)の範囲に収まることを確認  
⇒地殻変動を考慮した安全評価における状態設定に反映可能

# 処分概念オプションの実証

## － 搬送定置・回収技術の実証試験のための試験坑道の整備－

平成28年度は、深度350m調査坑道の試験坑道2を活用した実証試験に向け、当該試験坑道の整備および計測器の設置作業を実施。



# 今後の予定

- 「**実際の地質環境における人工バリアの適用性確認**」として主に人工バリア性能確認試験、オーバーパック腐食試験および原位置トレーサー試験を着実に進める。  
(人工バリア性能確認試験については、注水量・注水圧を段階的に上昇させて計測を継続するとともに、解析評価を実施していく。)
- 「**処分概念オプションの実証**」については共同研究として搬送定置・回収技術に関する実証試験の準備作業を継続する。  
(H31に搬送定置・回収試験を実施予定。)
- 「**地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証**」については水圧擾乱試験を継続する。  
(H29～30に水圧擾乱試験を実施予定。)
- これらの必須の課題へ対応するための基盤となる技術開発等として、これまで地層科学研究や地層処分研究開発として進めてきた技術開発やデータ取得を継続する。