

深地層の研究施設計画検討委員会(第8回)

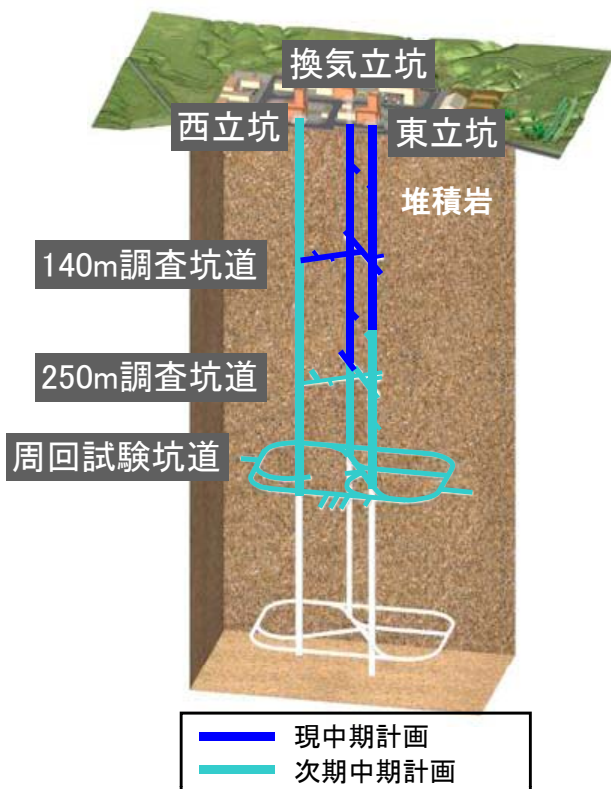
幌延深地層研究計画

平成21年度の成果と今後の展開

平成22年3月15日

日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門
幌延深地層研究ユニット

幌延深地層研究計画

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。

■ 地層科学研究と地層処分研究開発(第2段階以降の理念)

堆積岩サイトを対象として、

- 地層処分場の建設から処分、閉鎖に関わる事業段階に必要な、一連の地質環境調査技術、施設建設技術、処分技術の開発・適用性確認を行う。
- その過程で、実施主体が利用可能な汎用的な技術、ノウハウを整備する。

■ 議論のポイント

- これまでの成果を鑑みて、次期中期計画における重点課題と実施計画に過不足はないか？(必要な項目は挙げられているか？優先順位は？実施方法は妥当か？)

報告内容

- 現中期計画の成果の概要と達成度
 - 地層科学研究(深地層の科学的研究)
 - 地質環境調査技術開発
 - 地質環境モニタリング技術開発
 - 深地層の工学技術の基礎の開発
 - 地層処分研究開発
 - 処分技術の信頼性向上
 - 安全評価手法の高度化
- 次期中期計画の重点課題
- 平成22年度以降の実施計画

地質環境調査技術開発

➤ 目標

- ・地上からの調査に基づく予測結果(第1段階のモデル)の妥当性確認と用いた調査解析技術の適用性評価
- ・坑道における調査技術の開発, 適用性確認

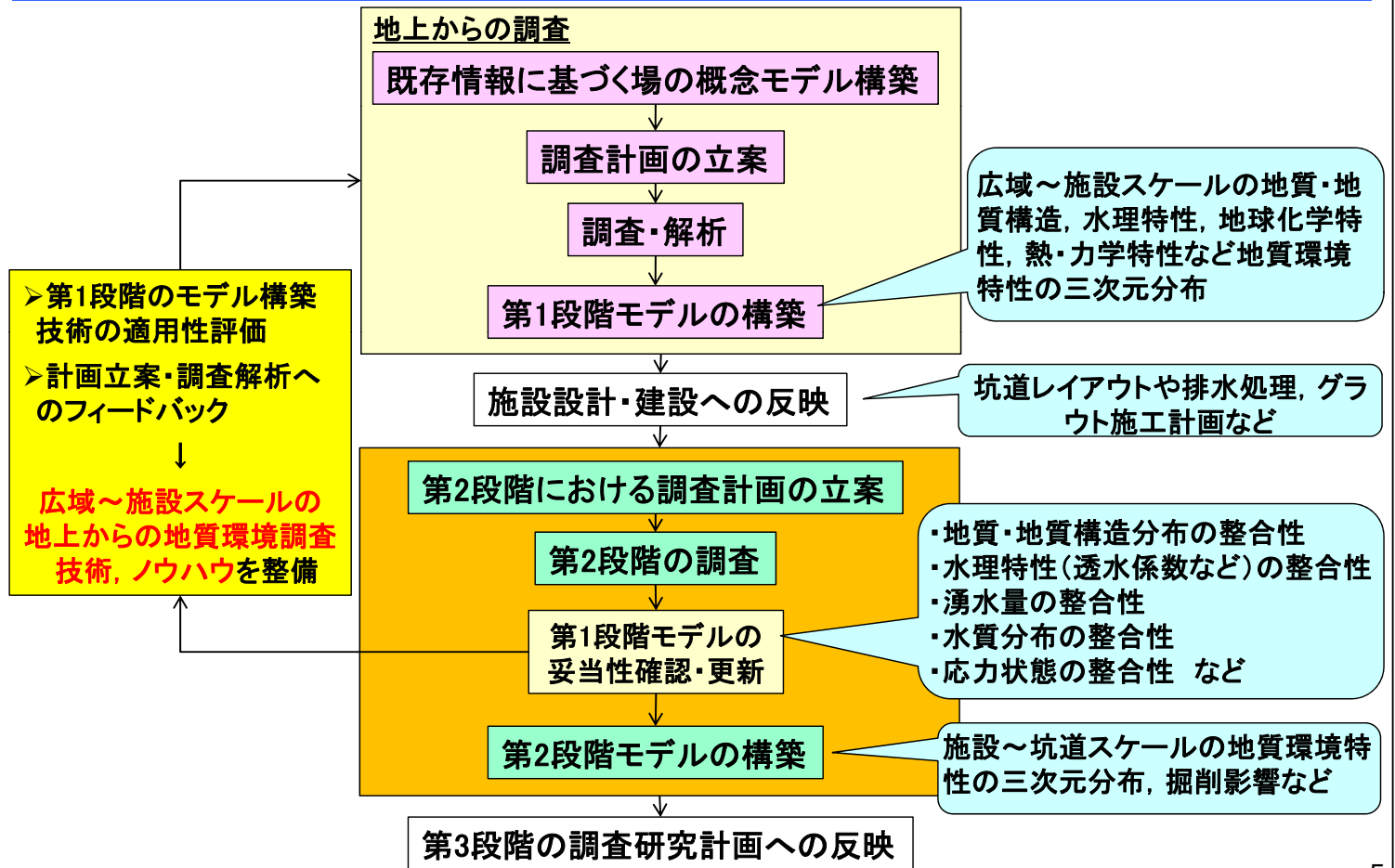
➤ 達成度

- ・坑道を利用して深度約250mまでの地質環境特性(地質構造や力学, 水理特性, 地球化学特性など)を把握
- ・深度約250mまでの予測結果を確認, 地質環境モデルを更新

第7回委員会での主なコメント(要旨)

- 地表からの推定と観察事実を比較し, 予測の妥当性を確認, 今後の課題を明確に。
- 湧水量を説明できるモデル化と解析
- 透水異方性の調査解析技術の構築
- 初期地圧測定から力学的予測の妥当性を確認する。
- 地下研で地震のデータを取得する。

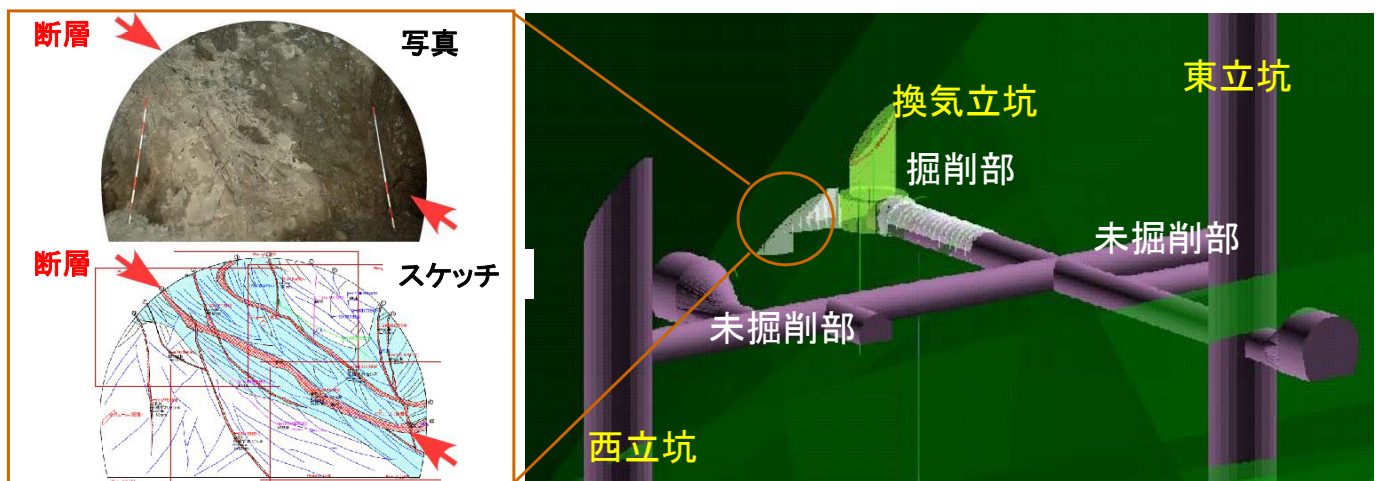
第1段階の調査評価技術の妥当性確認



5

地質・地質構造分布の推定技術

■透水性断層の三次元的連続・連結性の確認・更新



坑道壁面で確認できた断層の一例
(250m大型試験座: 声問層)

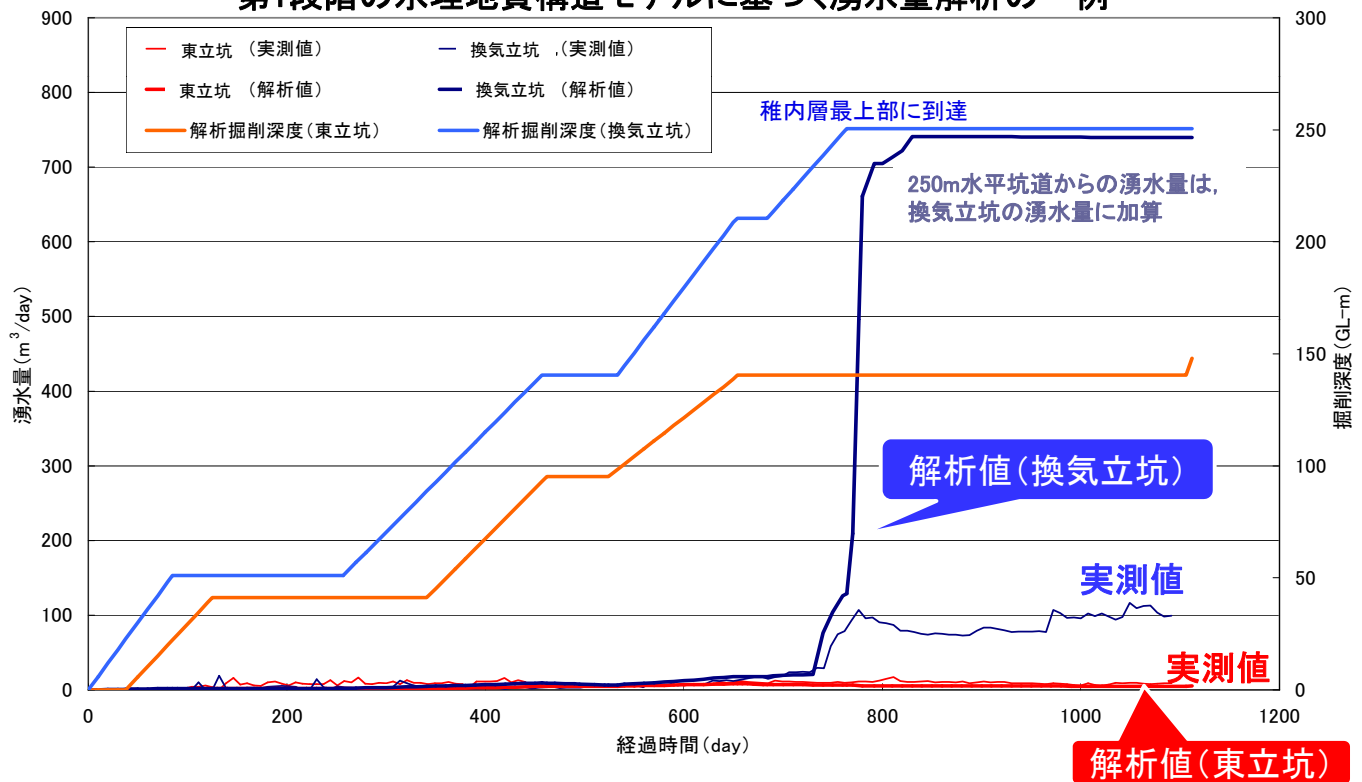
深度250m付近の坑道配置と推定断層分布(一部を除き半透明化)

- 第1段階の地質・地質構造モデル(断層などの分布)の妥当性とモデル化技術の適用性を確認
- 稚内層のような, 高透水性割れ目が存在する比較的硬質・均質な堆積岩に適用できる割れ目の三次元的連続・連結性調査方法を整備(声問層については, 多孔質媒体とみなせる)
- 施設建設の観点で重要な地質構造の分布を事前評価(調査坑道深度を当初計画の280mから250mに変更)。今後は, 情報化施工プログラムへの反映方法の構築が課題

6

水理地質構造のモデル化技術

第1段階の水理地質構造モデルに基づく湧水量解析の一例



第1段階の水理地質構造モデルでは、湧水量変化を定性的に再現できたものの、計画管理上、安全側に透水係数を設定したため、湧水量予測値が実際より数倍高い値となった。

7

水理地質構造のモデル化技術

地質構造の透水性の更新

f01 (PB-V01 GL.-243m)

$K_{org} = 6.6E-07 \text{ m/s}$ ($T=9.3E-06 \text{ m}^2/\text{s}$)

$K_{rev} = 3.0E-07 \text{ m/s}$ ($T=4.2E-06 \text{ m}^2/\text{s}$)

f02 (PB-V01 GL.-266m)

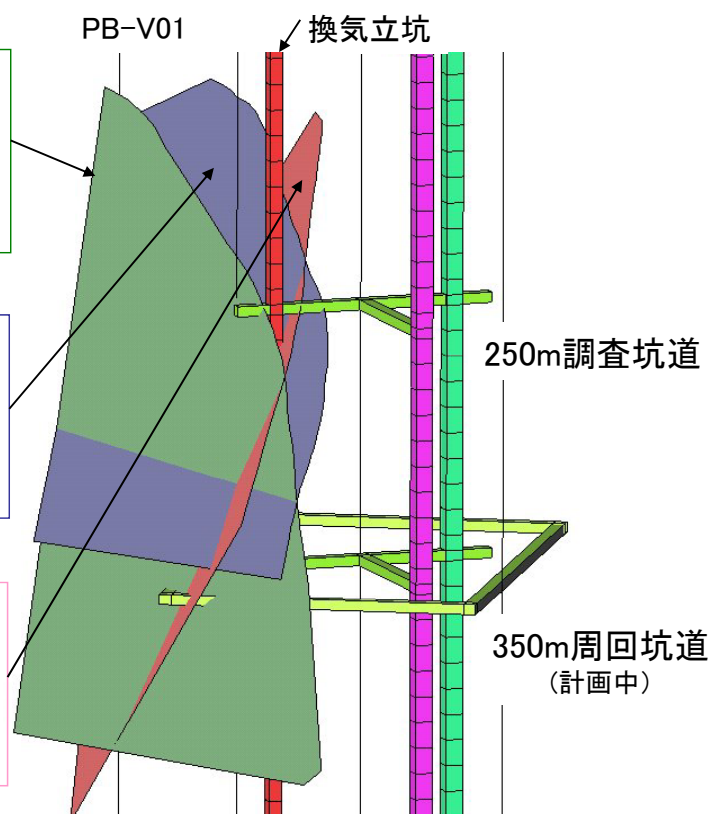
$K_{org} = 6.7E-06 \text{ m/s}$ ($T=9.5E-05 \text{ m}^2/\text{s}$)

$K_{rev} = 1.0E-08 \text{ m/s}$ ($T=1.4E-07 \text{ m}^2/\text{s}$)

f03 (PB-V01 GL.-287m)

$K_{org} = 2.4E-06 \text{ m/s}$ ($T=3.5E-05 \text{ m}^2/\text{s}$)

$K_{rev} = 1.0E-08 \text{ m/s}$ ($T=1.5E-07 \text{ m}^2/\text{s}$)

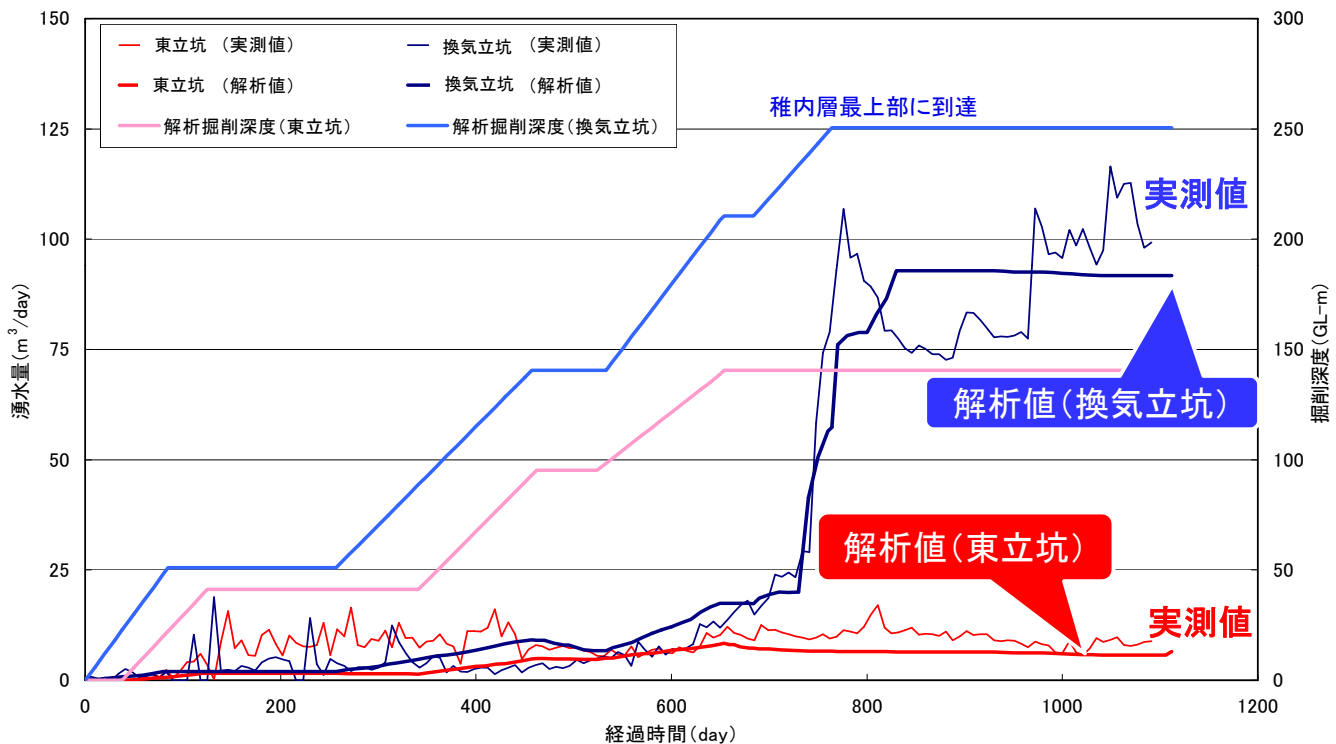


- ・実際の湧水量を説明可能なモデルとするため水理地質構造モデルを更新
- ・各地質構造掘削時の湧水量観察結果に基づいて、稚内層と声問層の境界付近における断層の透水係数の感度解析的な再設定を試行

8

水理地質構造のモデル化技術

更新したモデルによる湧水量解析の一例



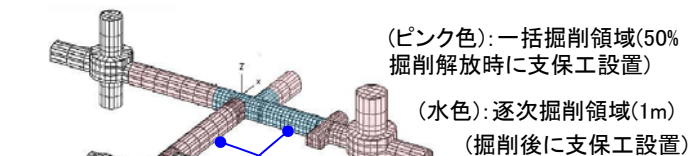
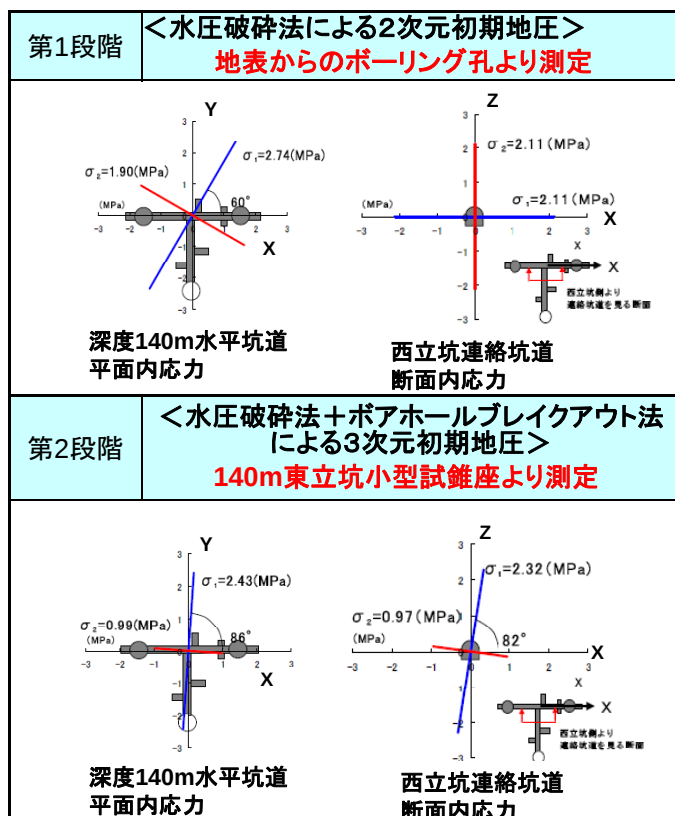
更新したモデルによる予測結果を、250m以深掘削時の観測結果で逐次再検証し、モデル化及びモデル更新手法の留意点を整理することが今後の課題。

9

初期地圧測定・解析技術

■3次元FEM解析(MBCモデル)による 初期地圧の比較検討<140m水平坑道>

<3次元解析モデル:内空変位の相違による比較>



内空変位の相違による比較

	東連絡坑道 TD18.25m地点	西連絡坑道 TD9.57m地点	東西連絡坑道 の変位比率
内空変位 実測値	11.3mm	3.9mm	1:0.3
第1段階 解析結果	10.5mm	7.1mm	1:0.7
第2段階 解析結果	8.8mm	1.4mm	1:0.2

- ・声問層に適した初期地圧測定法を確認。
- ・250m以深の岩盤に適した初期地圧測定法の検討と情報化施工へのデータの反映が今後の課題。

10

地質環境モニタリング技術開発

➤ 目標

- ・施設建設が施設領域，坑道周辺領域に与える影響評価技術の構築

➤ 達成度

- ・施設周辺(数百～数km)の地下水圧・水質観測技術(直接的モニタリング，物理探査など)の適用性を評価
- ・坑道周辺の応力状態，水理特性，地球化学特性の観測技術(要素技術)を開発

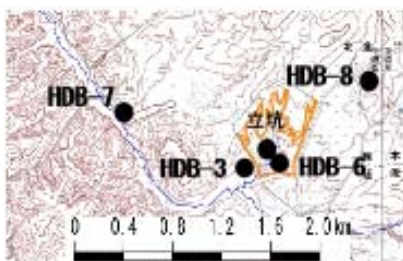
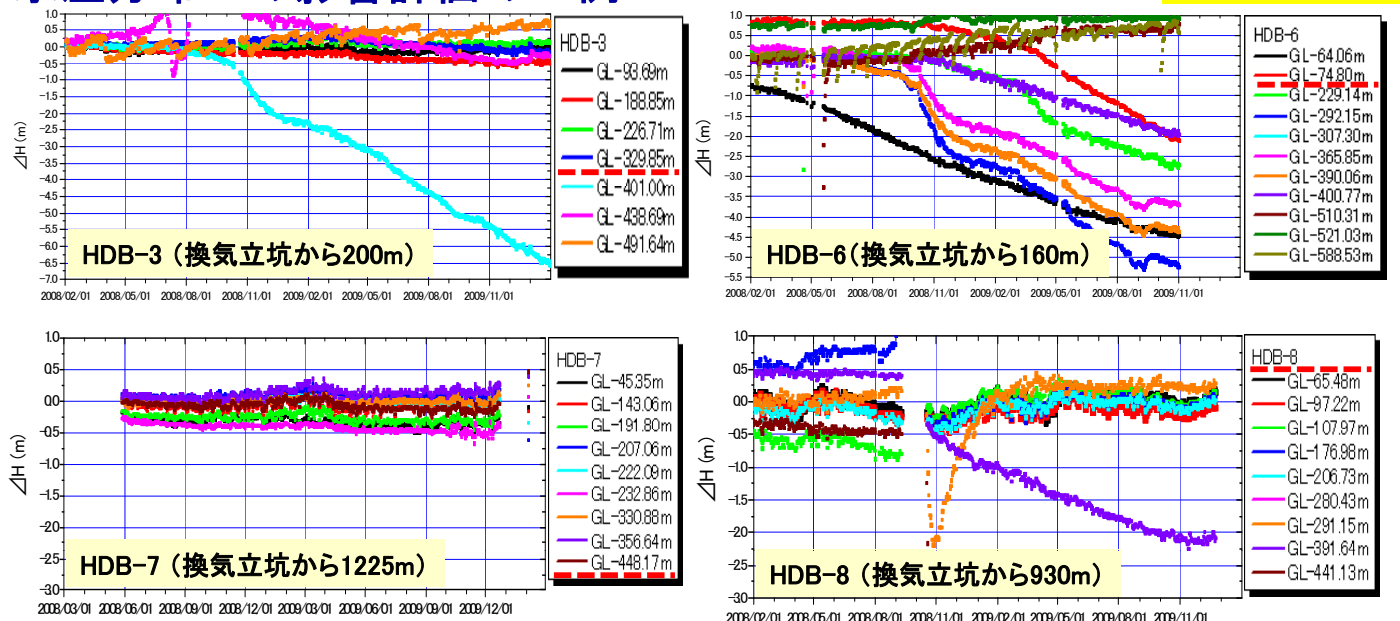
第7回委員会での主なコメント(要旨)

- 低透水性地盤では，掘削による反応が極めて少ないため，周囲でのモニタリングが大変である。それに対して今後の予定を明記する。

11

施設周辺領域(数百～数km)の影響評価技術

■ 水圧分布への影響評価の一例



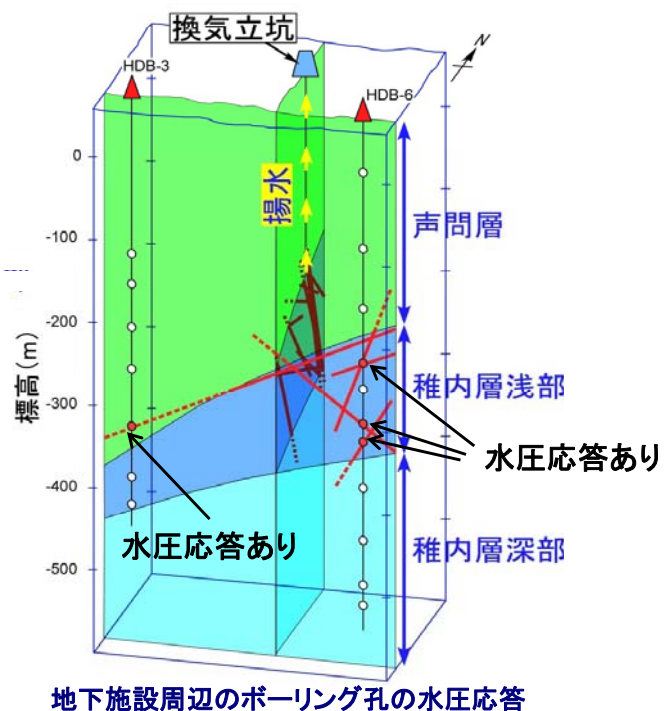
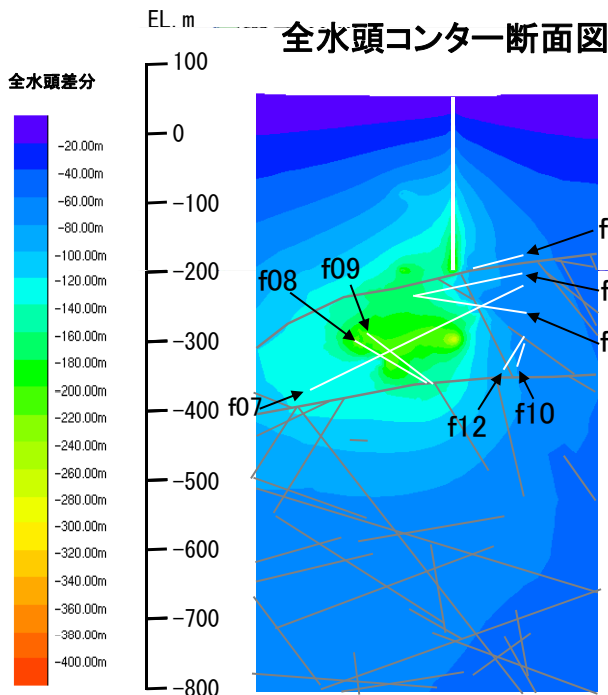
- ・立坑から数百mの範囲の稚内層浅部において水圧低下が認められる。
- ・HDB-8孔で水圧低下が認められた深度は，稚内層浅部ではなく，割れ目も発達していないことから，水圧低下要因を明らかにすることが今後の課題。

12

施設周辺領域(数百～数km)の影響評価技術

■ 250m坑道掘削後の全水頭(東・西立坑断面)

■ 地質構造と水圧応答



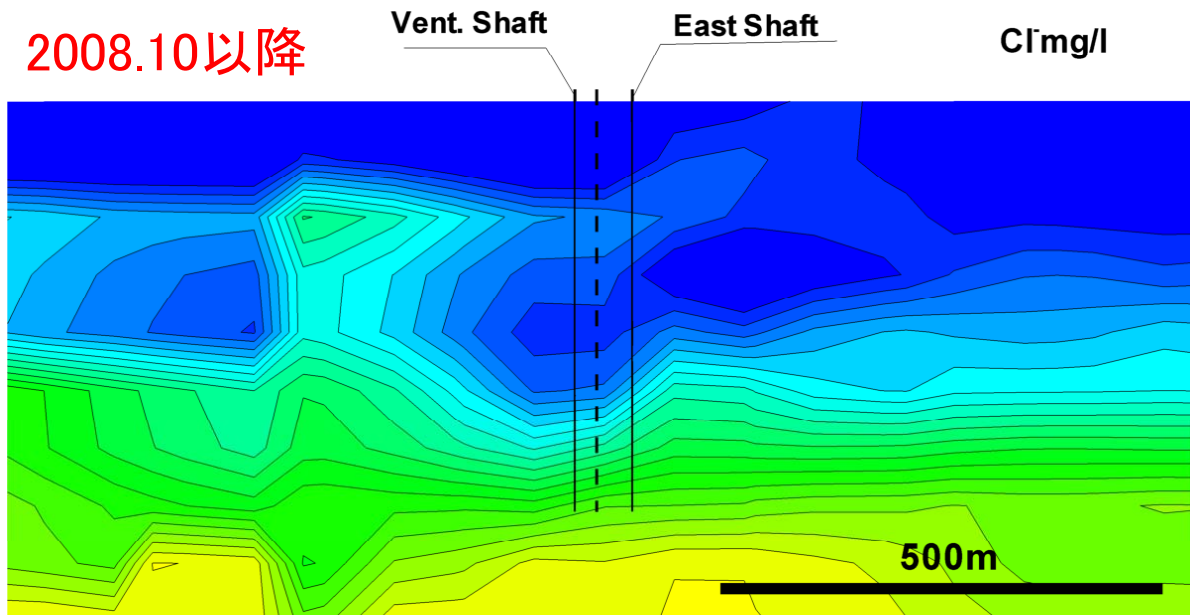
- ・HDB孔における水圧応答深度は、推定した水理地質構造の分布と整合的である。
- ・今後、250m以深の掘削により、より大きな水理学的擾乱が予想される。掘削工程と周辺孔での水圧応答の相関を注意深く観察し、地下水流動解析や湧水解析の信頼性を向上させていく。

13

施設周辺領域(数百～数km)の影響評価技術

■ 水質分布モデルの更新と立坑掘削影響評価

2008.10以降

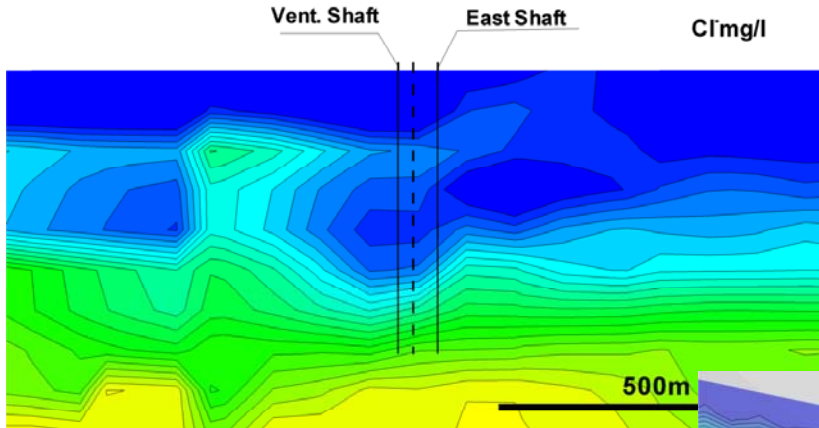


- ・地上からの調査段階における水質分布の予測精度は、誤差10～20%(塩化物イオンの場合)。
- ・予測精度は、予測対象と既存データの離間距離、データ数、クリギングの補間方法に依存する。
- ・立坑湧水に伴い、湧水深度に相当する深度200～250m付近の地下水水質が変化しつつある。
- ・更新した水質分布モデルについて、深度250m以深の情報に基づく再検証が今後の課題。

14

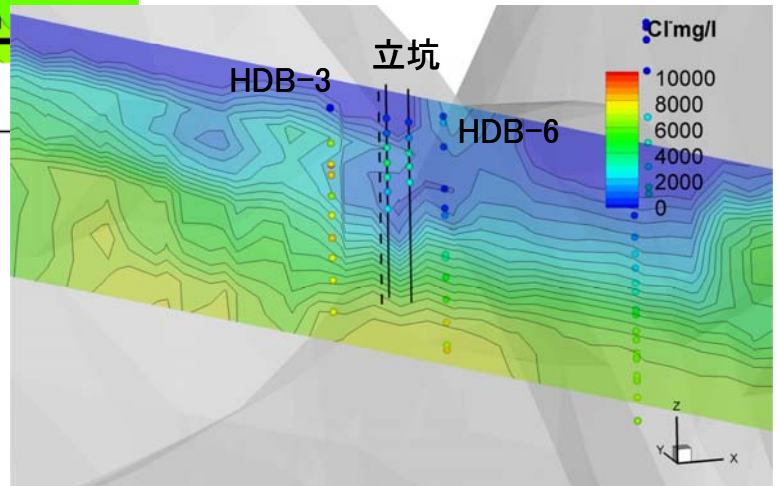
施設周辺領域(数百～数km)の影響評価技術

■ 水質分布への影響評価



- ・施設建設に伴う周辺地下水水質(地下水流動)の変化は、化学的反応性の低い塩化物イオンを指標として推測できる。
- ・立坑周辺の地下水水質の変化は、立坑の南側(HDB-3, 6孔側)から立坑への地下水流動に起因する可能性がある。

- ・湧水量の増大に伴う水質変化と地下水流動変化の整合性を確認すること
- ・水理・地球化学連成解析手法を適用し、その適用性を確認すること
- などが今後の課題。



15

地上からの地質環境調査技術へのフィードバック

第1段階の調査計画立案, 方法への提案

・第1段階後半, 施設周辺領域のボーリング調査, モニタリング

- 施設建設候補地が決まった後のボーリングは、候補地周辺に均等に配置し、相対的に透水性の高い地質構造、地下水流動解析で予想した水圧変化領域を重点的に調査する。また、長期モニタリングの水圧・水質観測区間を優先的に配置する。

⇒第2段階の施設建設影響評価, 社会環境管理(周辺温泉への影響把握など)に反映

・第1段階の最終段階, 施設領域のボーリング調査

- 立坑掘削地点周辺に数十mの離間距離で、少なくとも2, 3本の先行ボーリング孔を掘削し、詳細な地質構造概念モデルを構築する。

⇒水理地質構造モデルへ反映

- 上記ボーリング孔で孔間透水試験(大規模揚水試験)を実施し、透水不均質性も含めて立坑周辺の水理地質構造モデルを構築する。

⇒坑道レイアウトや湧水量解析, グラウト計画へ反映

- 上記揚水試験で水質分析を実施し、地球化学モデルを構築する。

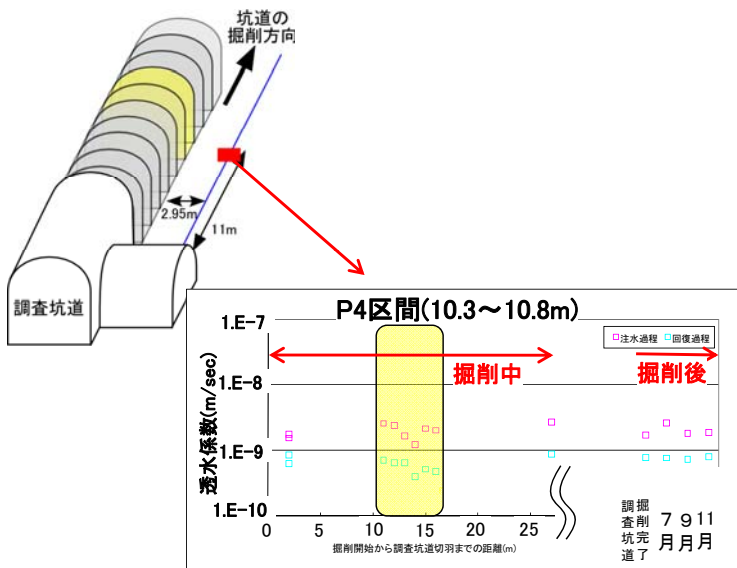
⇒排水の水質に関わるリスクアセスメントに反映

16

坑道周辺の掘削影響領域評価技術

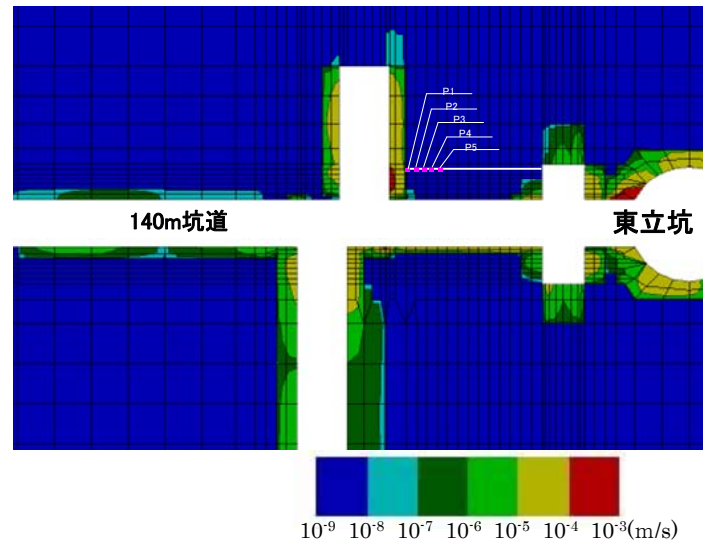
■ 140m東側調査坑道掘削影響領域に関する水理試験(透水試験)

◆ 透水試験(定圧注入試験)結果



水平坑道周辺(離間距離約3m)で実施した透水試験の結果では、坑道の掘削に伴う透水係数の顕著な変化は認められない。

◆ 数値解析による坑道掘削後の透水係数分布



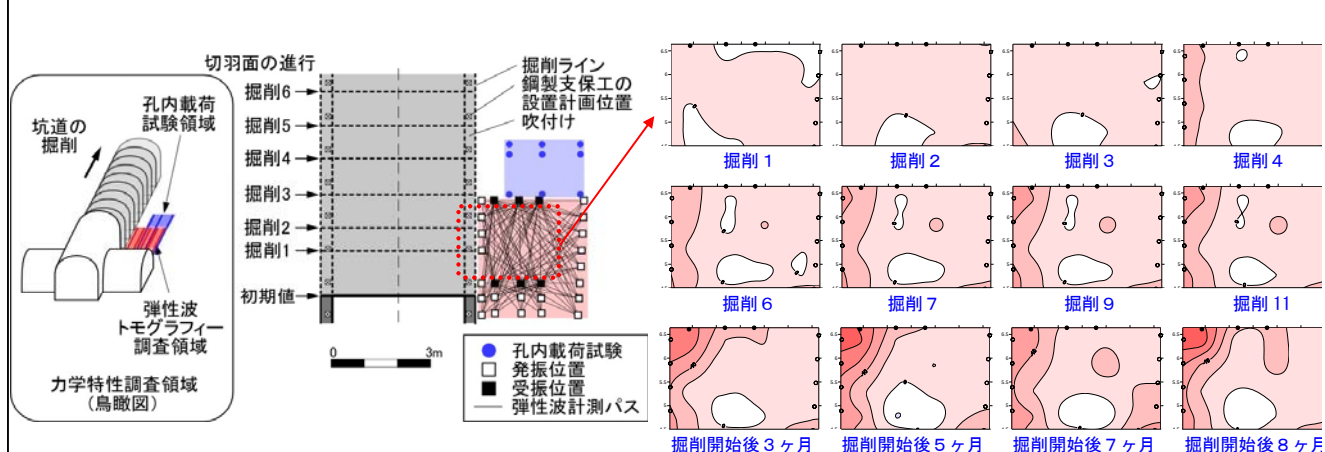
等価連続体モデルによる岩盤応力一亀裂開口量一透水係数の連成解析の結果、試験区間では顕著な透水性変化が生じておらず、観察結果と整合的である。

今後も長期的変化を観察・解析し、影響領域の解析手法として、その適用性を確認していく。

17

坑道周辺の掘削影響領域評価技術

■ 140m東側調査坑道掘削影響領域に関する力学試験(弾性波トモグラフィ)



140m東側調査坑道掘削影響領域に関する力学試験実施位置(平面図)

掘削前後での弾性波速度の変化率の分布

- 弾性波トモグラフィの速度変化率から、坑道掘削により周囲に弾性波速度低下帯が広がることを確認できた。掘削影響領域の経時変化を理解するため、継続して弾性波トモグラフィを実施する。
- 今後は、同じ断面で実施している音響トモグラフィ、比抵抗トモグラフィ結果との相関確認、日常管理計測やステップ管理計測の計測結果も含めた総合的評価手法の構築が課題。

18

深地層の工学技術の基礎の開発

➤目標

- ・堆積岩を対象とした大規模地下施設の設計技術の構築

➤達成度

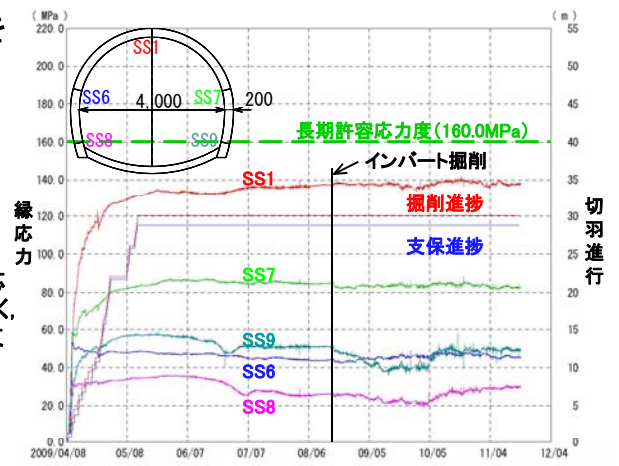
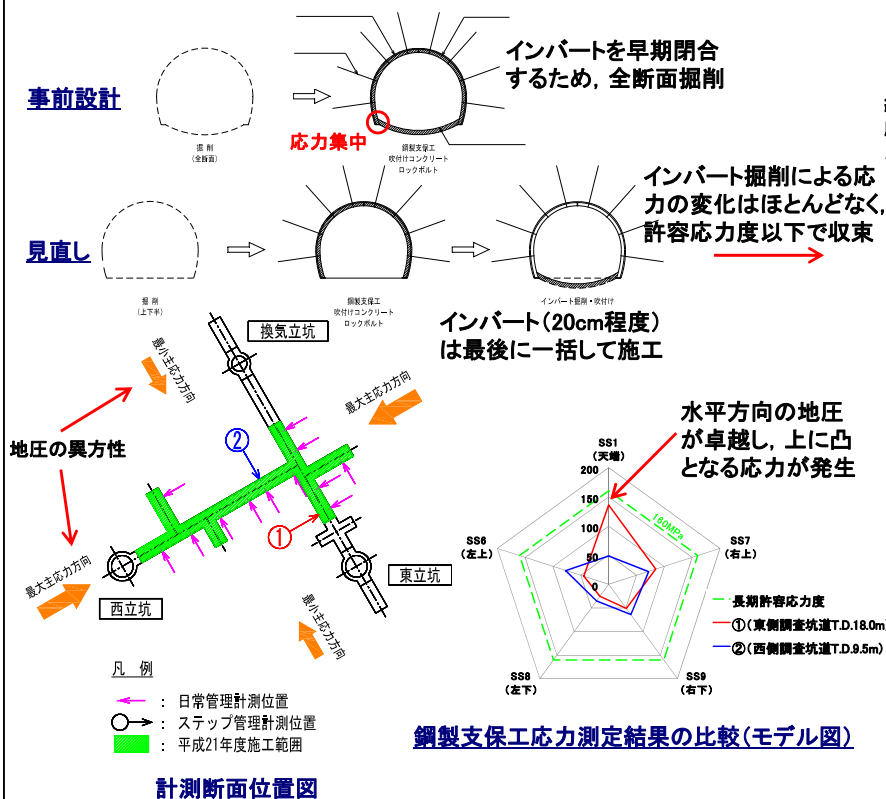
- ・日常管理計測、ステップ管理計測結果に基づく情報化施工方法、設計技術の確認方法を整理

第7回委員会での主なコメント(要旨)

- 施設建設に必要な事前情報を明確にし、設計手法の妥当性を確認
- 水平坑道をTBMで掘削する時の速度、ECLの適用性など、深部岩盤内での掘削技術と前方探査手法
- 立坑の設計手法について、ロックボルトのデータなども含めて立坑の設計手法や工法の特質などを整理
- グラウチング効果の確認方法
- セメントの減水材や減水材に含まれる有機物の影響について調査・研究
- 坑道掘削中の大規模断層との遭遇など、事象の発生をどのように避けるかといった観点での取り組み
- 坑道を掘削可能かという観点ではなく、断層をどのくらい避ければ良いのかといった方法論も重要

情報化施工プログラムの実施

立坑掘削時の地山評価結果より、深度140m付近の地山状態が比較的良好と判定されたため、同深度の水平坑道の施工方法を見直し、計測により支保の健全性を確認した。



- ・上下半掘削、支保設置後にインバート掘削、吹付け施工でも、支保の健全性を確認。
- ・後続施工箇所への支保設計の合理化方策の策定。
- ・250m調査坑道でも同様の施工方法で掘削が可能。引続き、日常管理計測・ステップ管理計測で支保の健全性を確認する。

地層処分研究開発

➤目標

- ・人工バリアなど処分システムの設計・施工技術の構築
- ・安全評価手法の信頼性確認

➤達成度

- ・低アルカリ性コンクリート材料の坑道支保への施工性確認及び実証
- ・人工バリア性能試験, ガス移行試験など第3段階の計画立案

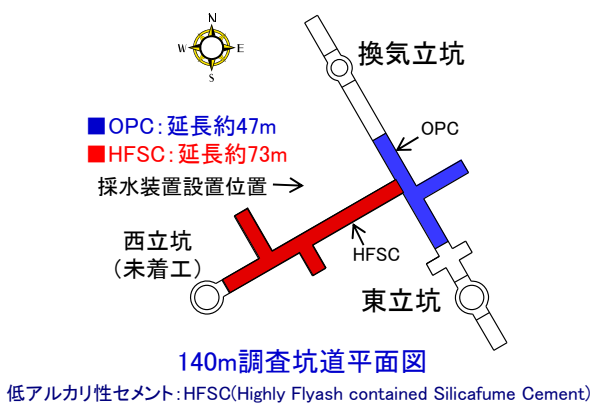
第7回委員会での主なコメント(要旨)

- 堆積岩特有の掘削中の課題, 実際に処分した場合の安全評価の課題をクローズアップする。
- 地層処分のための施設建設上の課題, 処分手法に関する課題, 処分後の安全評価に必要な課題について整理

21

処分技術の信頼性向上

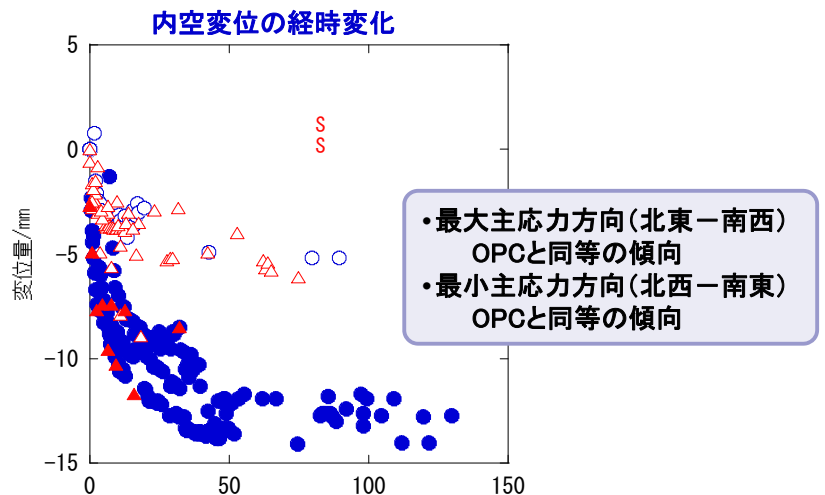
■ 低アルカリ性コンクリート材料の開発



HFSC施工壁面からの
コア採取



地下水採取装置設置



- ・HFSCを用いた吹付け施工を行いその施工性能を確認(世界初)。
- ・今後は, 定期的にコンクリート・岩盤のコアおよび地下水を採取し, 周辺岩盤および地下水への影響について評価(約10年程度の期間について分析を継続)。

22

現中期計画の取りまとめ(クールレポ)

中期計画の記載(幌延に係る部分の抜粋)	具体的成果
中間深度(幌延町; 地下300m 程度)までの坑道掘削時の調査研究を行う。 ⇒ ほぼ達成	➢ 換気立坑250m, 東立坑220m, 140m調査坑道, 250m調査坑道(一部)の建設 ➢ 地下水や地質構造等の地質環境特性に関するデータを取得 ➢ 日常管理計測, ステップ管理計測により空洞安定性に係るデータを取得 ➢ 250m以深の湧水対策を行なうべき高透水帯を特定し, プレグラウトの施工計画を策定
堆積岩を対象とした地上からの調査研究で構築した地質環境モデルを確認しつつ, 地上からの調査技術やモデル化手法の妥当性の評価を行う。 これらを通じ, 精密調査における地上からの調査で必要となる技術の基盤を整備する。 ⇒ 現深度までにおいてほぼ達成	➢ 地表調査, 物理探査, ボーリング調査結果を統合することで, 地下深部の地質・地質構造を把握できることを例示 ➢ 堆積岩中の地下水流れや物質移動の経路を規制する断層の分布及びその連続性や連結性を定量化する調査手法を例示 ➢ 地下施設近傍の地質構造モデルを構築し, 現在までの坑道掘削時に得られた地質環境データと整合することを確認 ➢ 地上からの調査で必要となる技術を体系化し, H17取りまとめ, 第1段階取りまとめ, クールレポとして取りまとめた。
坑道掘削に係る工学技術や影響評価手法についても検討を行い, 適用性や信頼性を確認するとともに, その後の調査研究に向けて最適化を図る。⇒ 現深度までにおいてほぼ達成	➢ 情報化施工計画の策定と運用による実績の蓄積。 ➢ 調査坑道での掘削影響評価試験に適用した計測技術により, 掘削影響領域の特性変化とその範囲を同定できる見通しを得た。 ➢ これまでに得られた地下施設周辺の地質環境特性に基づき, 第3段階の調査研究計画を具体化した。
地質環境データ等を考慮した現実的な処分システム概念の構築手法や全体システムモデルを整備するとともに, 掘削深度を考慮して, 設計, 安全評価手法の深部地質環境での適用性確認を行う。⇒ 法定深度以深において具体化する。	➢ 低アルカリ性セメント材料を開発し, 実際に施工することでその適用性を確認した。 ➢ 地質環境特性調査から安全評価へ至る一連の安全評価手法を幌延地域に適用し, 事例として示した。

23

次期中期計画の重点課題

第7回委員会での主なコメント(計画全体に対して)

- 各課題について達成度を評価し, 終了するもの, 継続するもの, 新規の課題として重点的に取り組むものなどに整理し, 限られた予算で課題が増えていかないように工夫する。
- 施設建設, 処分手法, 処分後の安全評価に関わる課題を整理し, 堆積岩環境の幌延で中・長期で今後何をすべきかを明確にし, 計画的に進める。

◆ 第2段階(坑道掘削時)の調査研究

- 堆積岩を対象とした**地上からの地質環境特性調査技術**の確立(第1段階の予測・モデルの確認)
- 堆積岩を対象とした地下施設設計手法の**妥当性確認**
- 施設建設が周辺岩盤に与える**影響把握**
- 坑道群を対象とした各種試験観測技術・双設坑道建設技術の構築

◆ 第3段階(坑道利用時)の調査研究

- 地震の影響評価
- 法定深度以深の**堆積岩に適用する処分技術**の開発:
低pHグラウト/低pHコンクリート吹付け/ガス移行挙動試験/処分ピットを想定した低pHコンクリートー人工バリアーオーバーパック複合試験/坑道スケールのプラグ試験
- 坑道埋め戻しに伴う周辺地質環境の回復過程の観測・解析技術の構築
- 実規模試験(**緩衝材回収技術の実証・展示**, オーバーパック腐食試験)
- 安全評価手法の構築(**人工バリア, 天然バリア中の物質移動試験技術**の開発, 物質移動モデルの適用性確認)

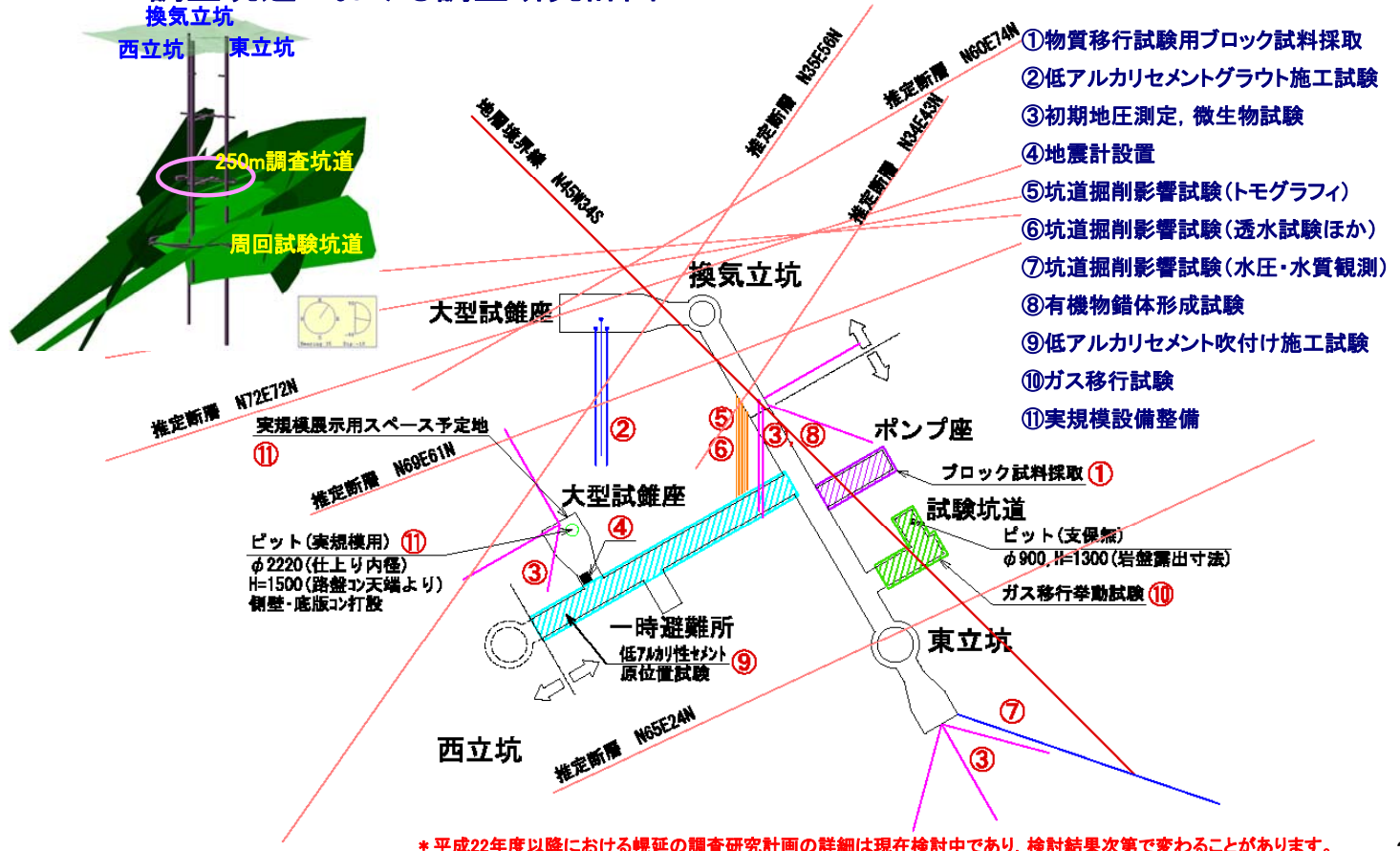
堆積岩特有の課題

- ・多孔質媒体か亀裂性媒体か?
- ・長期滞留環境, 続成作用を経た地下水に対する調査解析技術
- ・上記環境への施設建設のインパクト
- ・軟岩における施工技術
- ・閉鎖後のTHMC長期変化
-

24

平成22年度の計画

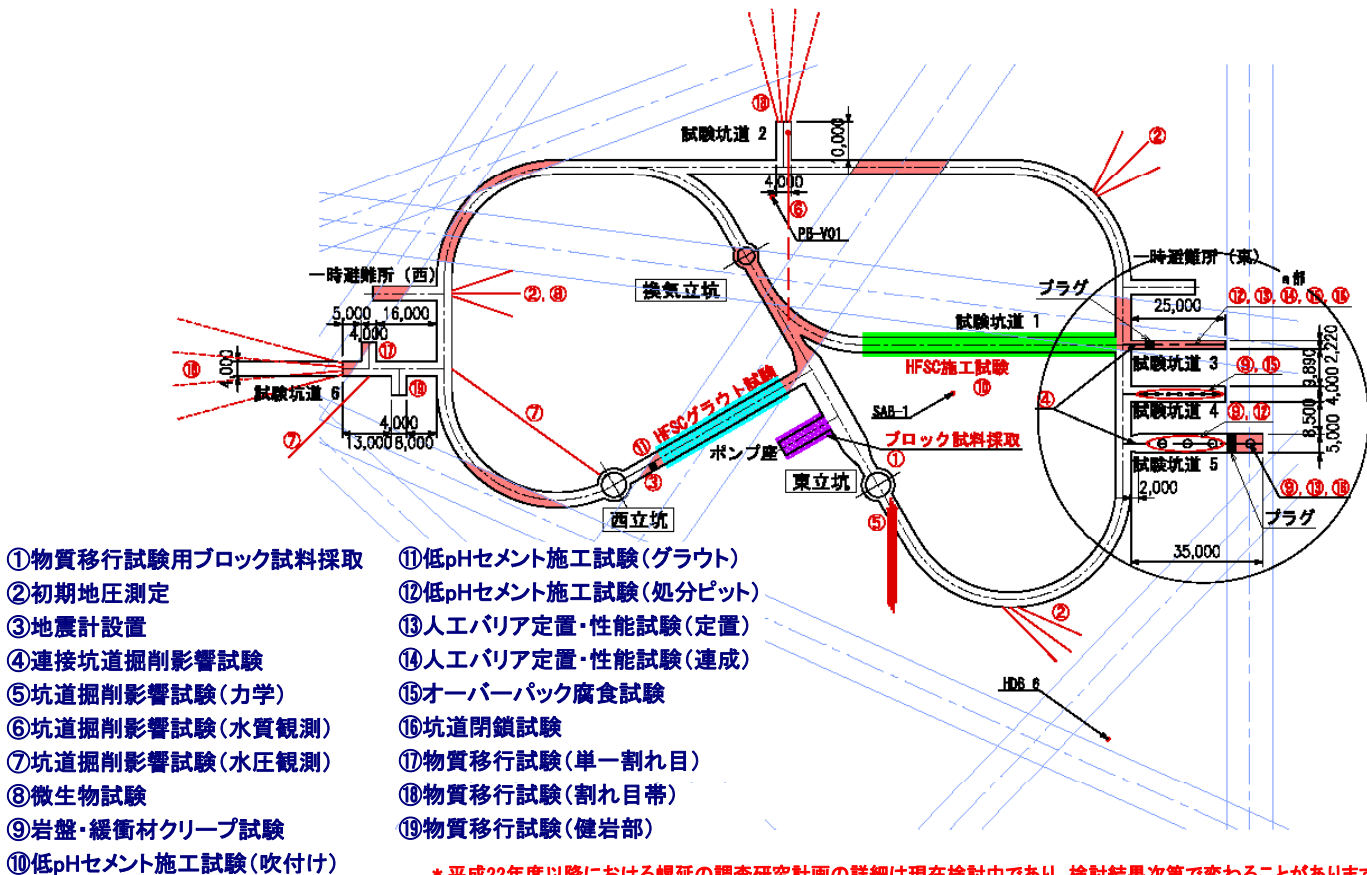
250m調査坑道における調査研究計画



25

平成22年度以降の計画

350m周回試験坑道での調査研究計画(原位置試験・計測実施場所のレイアウト)



26

法定深度以深の堆積岩に適用する処分技術の開発

■ 双設坑道における原位置試験

岩盤・緩衝材クリープ試験

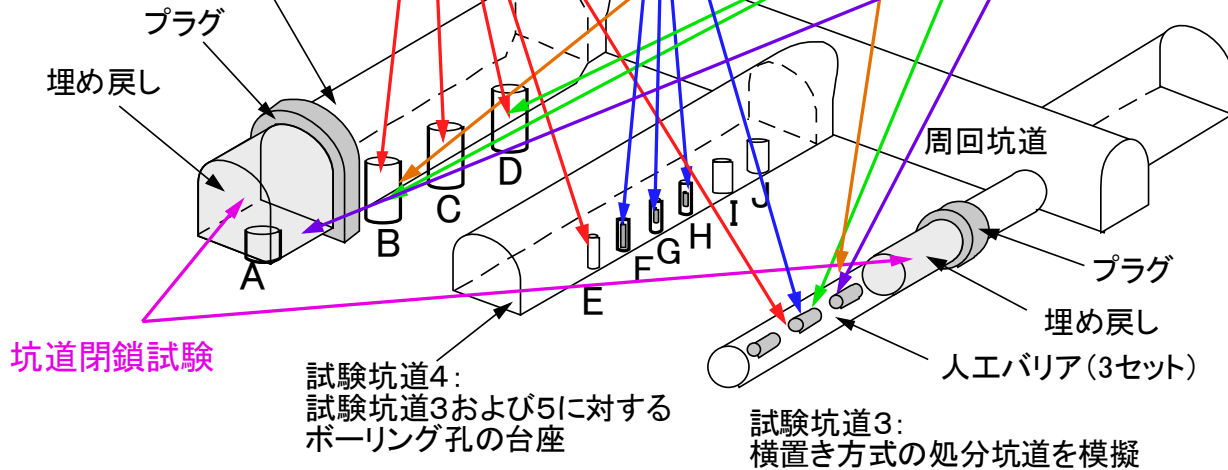
低アルカリ性コンクリート施工試験
(人工バリア性能への影響把握)

オーバーパック腐食試験

人工バリア定置性能試験

坑道掘削影響試験
(力学, 水理学, 地球化学)

試験坑道5:
縦置き方式の処分坑道を模擬



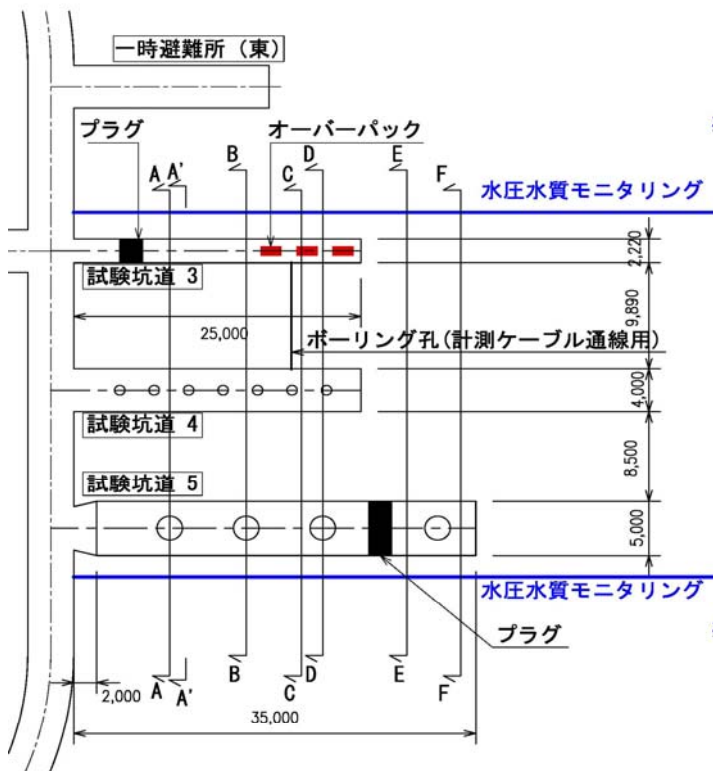
* 平成22年度以降における幌延の調査研究計画の詳細は現在検討中であり、検討結果次第で変わることがあります。

27

法定深度以深の堆積岩に適用する処分技術の開発

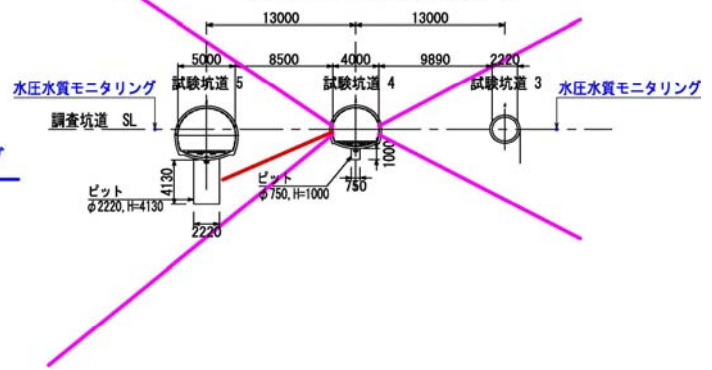
■ 双設坑道における各種観測

a部 詳細図
S=1/300



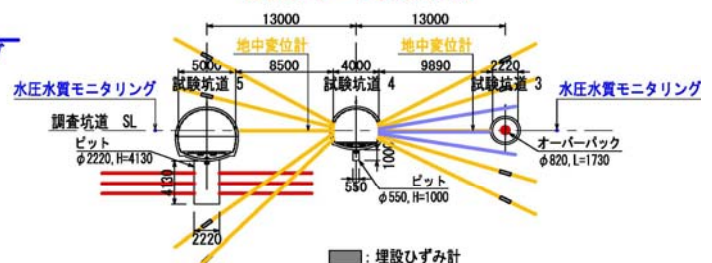
A-A' (A'-A') 断面図
S=1/300

物理探査(弾性波・比抵抗: 各4本) (A-A', A'-A')
岩盤クリープ試験(1本) (A-A')



B-B' 断面図
S=1/300

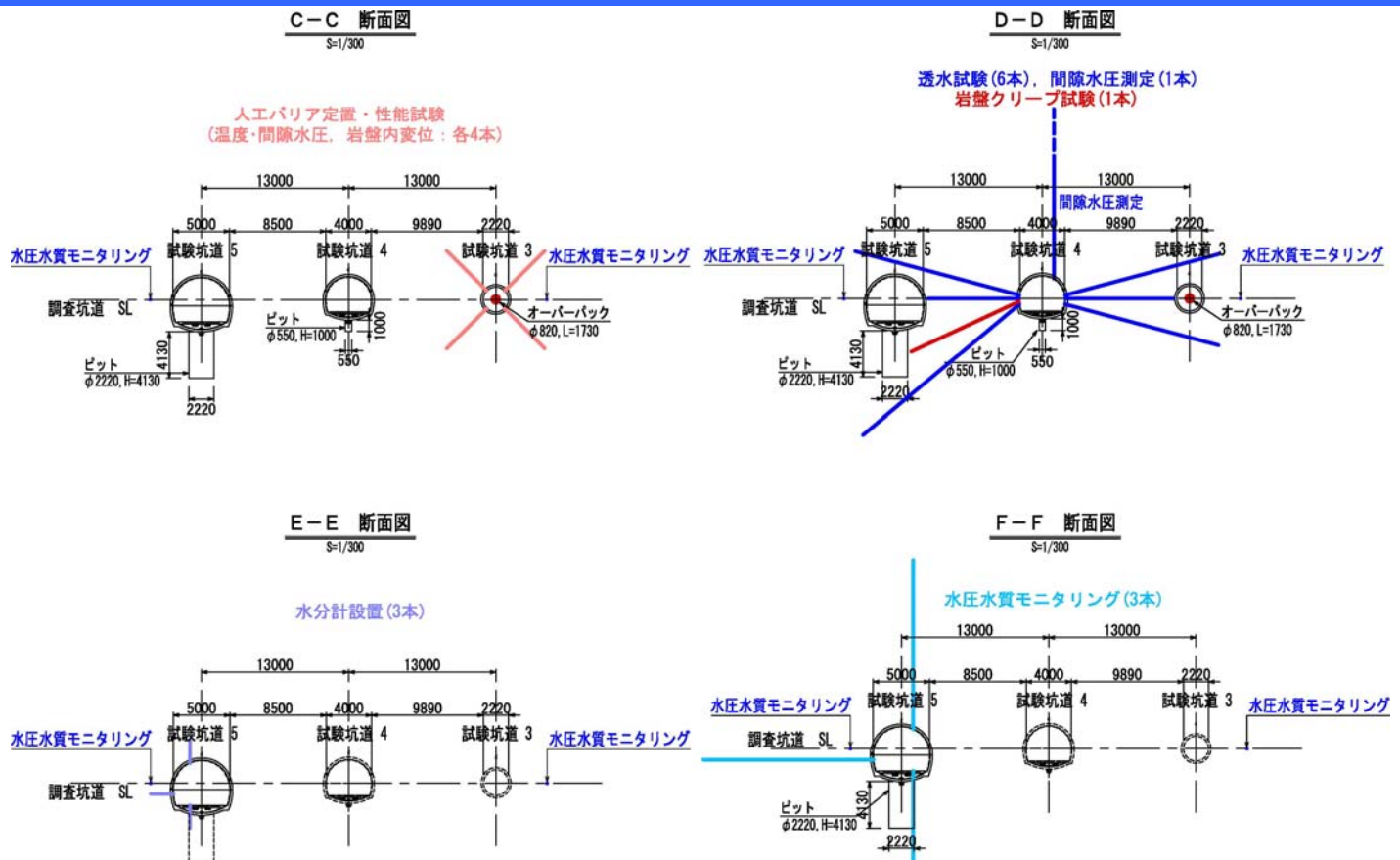
力学試験(変位計測・ひずみ試験: 10本)
水分計設置(3本)
岩盤クリープ試験(6本)



* 平成22年度以降における幌延の調査研究計画の詳細は現在検討中であり、検討結果次第で変わることがあります。

28

法定深度以深の堆積岩に適用する処分技術の開発

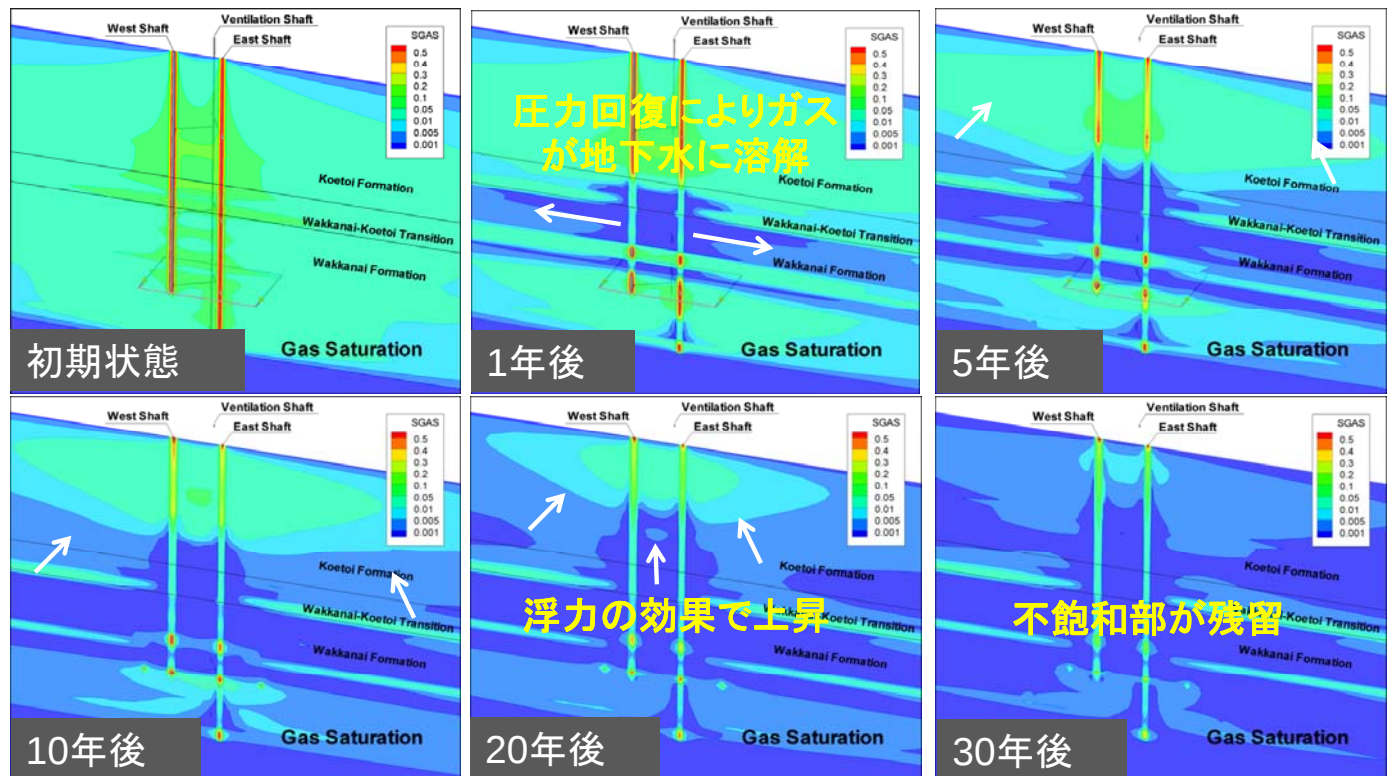


* 平成22年度以降における幌延の調査研究計画の詳細は現在検討中であり、検討結果次第で変わることがあります。

29

坑道閉鎖に伴う環境回復過程の観測・解析技術の構築

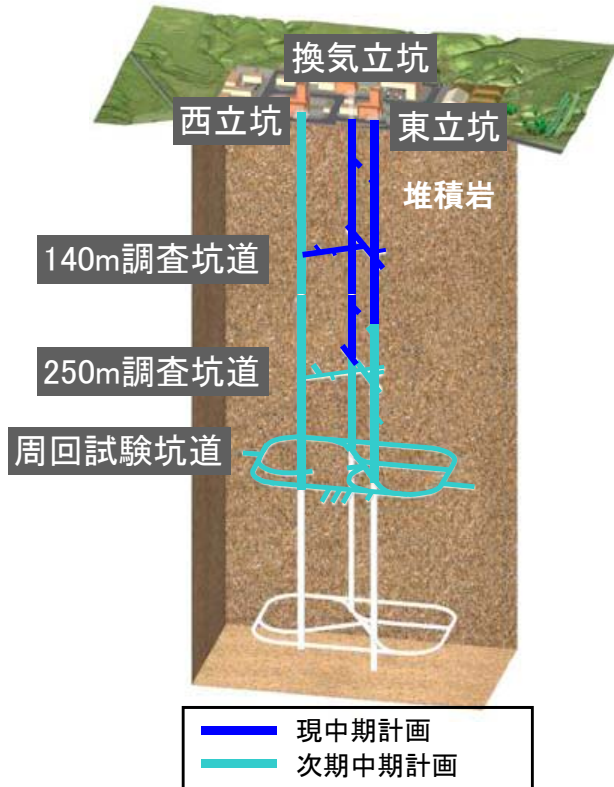
溶存ガスに富む堆積岩環境特有の課題の一例



浸透率が高い領域では地下水の回復が速いが、低浸透率ゾーンを中心に不飽和領域が取り残され、100年以上の長期間にわたり残留し、移行経路特性を変化させる可能性もある。

30

おわり



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。

■ 地層科学研究と地層処分研究開発（第2段階以降の理念）

堆積岩サイトを対象として、

- 地層処分場の建設から処分、閉鎖に関わる事業段階に必要な、一連の地質環境調査技術、施設建設技術、処分技術の開発・適用性確認を行う。
- その過程で、実施主体が利用可能な汎用的な技術、ノウハウを整備する。

■ 議論のポイント

- これまでの成果を鑑みて、次期中期計画における重点課題と実施計画に過不足はないか？（必要な項目は挙げられているか？優先順位は？実施方法は妥当か？）