



第13回URL検討委員会
資料13-4(H24.11.26)

深地層の研究施設計画検討委員会（第13回）

幌延深地層研究計画

－平成24年度までの進捗と今後の展開－

平成24年11月26日

幌延深地層研究ユニット

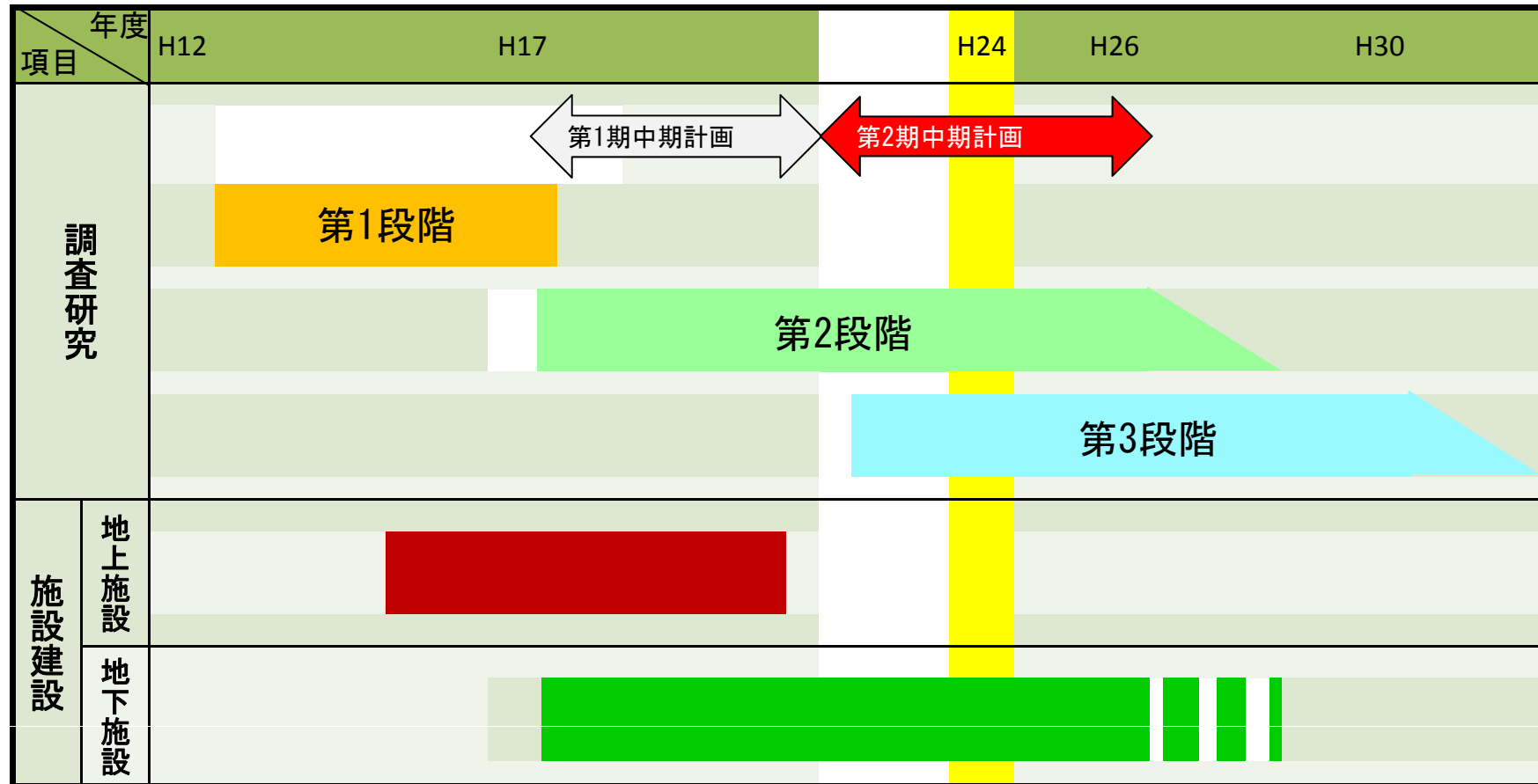
平成24年10月8日撮影

本日の報告内容

- 1. 施設整備の状況および平成24年度までの調査研究の進捗状況**
- 2. 前回委員会でのコメント対応状況**
- 3. 第1段階成果の妥当性確認の進捗状況**

1. 施設整備の状況および平成24年度までの調査研究の進捗状況

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

地下研究施設整備（第Ⅱ期）等事業の概要

民間の資金、経営能力及び技術的能力の活用を図り、効率的かつ効果的に実施するため、PFI法に基づく事業として実施。

【事業概要】

- 施設整備業務 : 掘削工事、掘削土（ズリ）・排水処理、計測、環境対策など
- 維持管理業務 : 保守、運転・監視、見学者対応支援など
- 研究支援業務 : 地下施設建設時及び地下施設での調査研究支援

【事業期間】

- 施設整備業務 : 平成23年2月 ～ 平成26年3月
- 維持管理業務 : 平成23年2月 ～ 平成31年3月
- 研究支援業務 : 平成23年2月 ～ 平成31年3月

【地下施設の整備範囲】

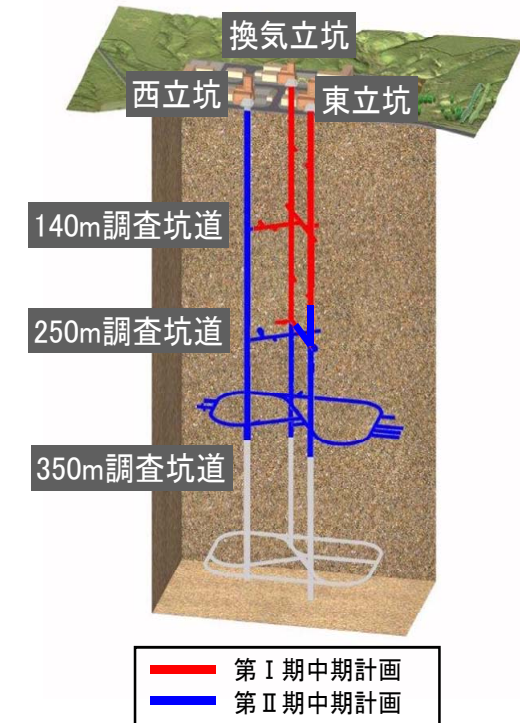
- 換気立坑 : 深度250m ～ 380m、内径4.5m
- 東立坑 : 深度250m ～ 380m、内径6.5m
- 西立坑 : 地表 ～ 365m、内径6.5m
- 250m水平坑道（完了部分除く）、350m水平坑道

【対価の支払い】

- 事業期間に亘る対価の合計額を平準化

【整備した施設の所有権】

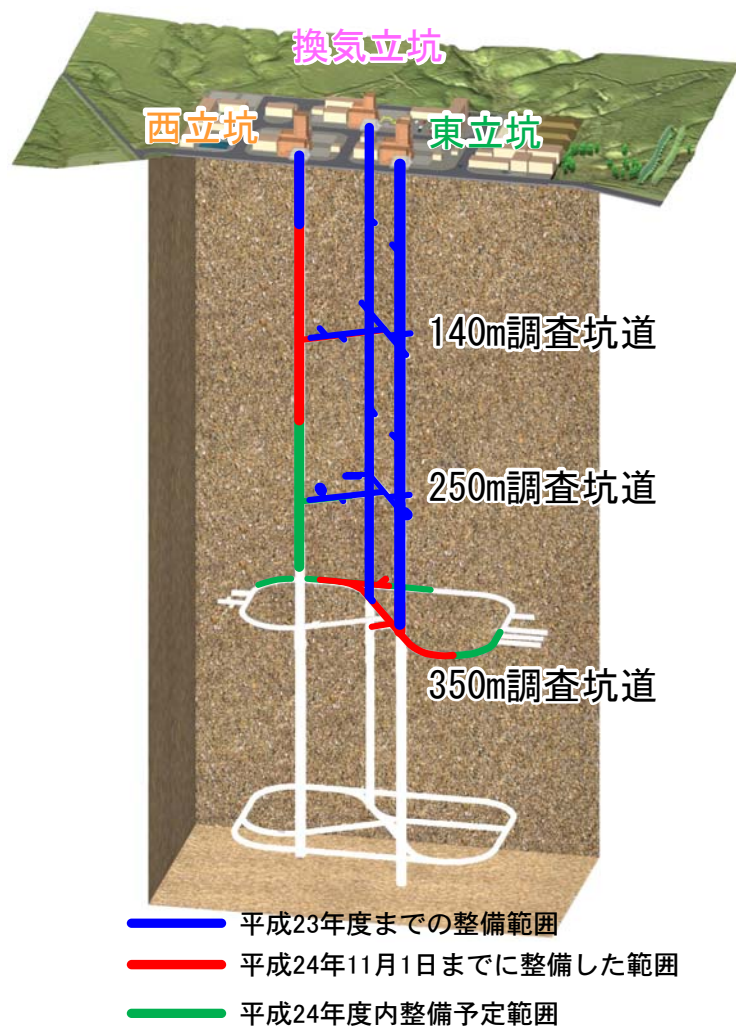
- 定期的に原子力機構へ引渡す



地下施設整備計画工程（予定）

施工箇所	FY H22	FY H23	FY H24	FY H25
換気立坑				
東立坑				
西立坑				
250m調査坑道				
350m調査坑道				

地下施設の工事進捗状況(1)



※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。

【立坑掘削状況(11/20現在)】

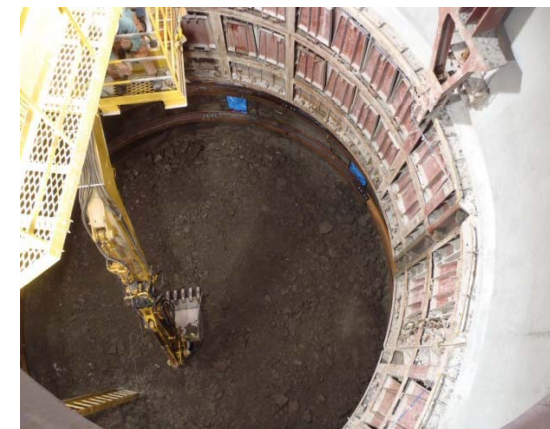
東立坑 : 掘削深度 350.5 m
換気立坑 : 掘削深度 350.5 m
西立坑 : 掘削深度 216.0 m

【調査坑道掘削状況(11/20現在)】

深度140m調査坑道 : 掘削長 186.1 m
深度250m調査坑道 : 掘削長 188.1 m
深度350m調査坑道 : 掘削長 231.7 m



深度350m調査坑道
(平成24年8月24日撮影)



西立坑
(平成24年8月24日撮影)

地下施設の工事進捗状況(2)

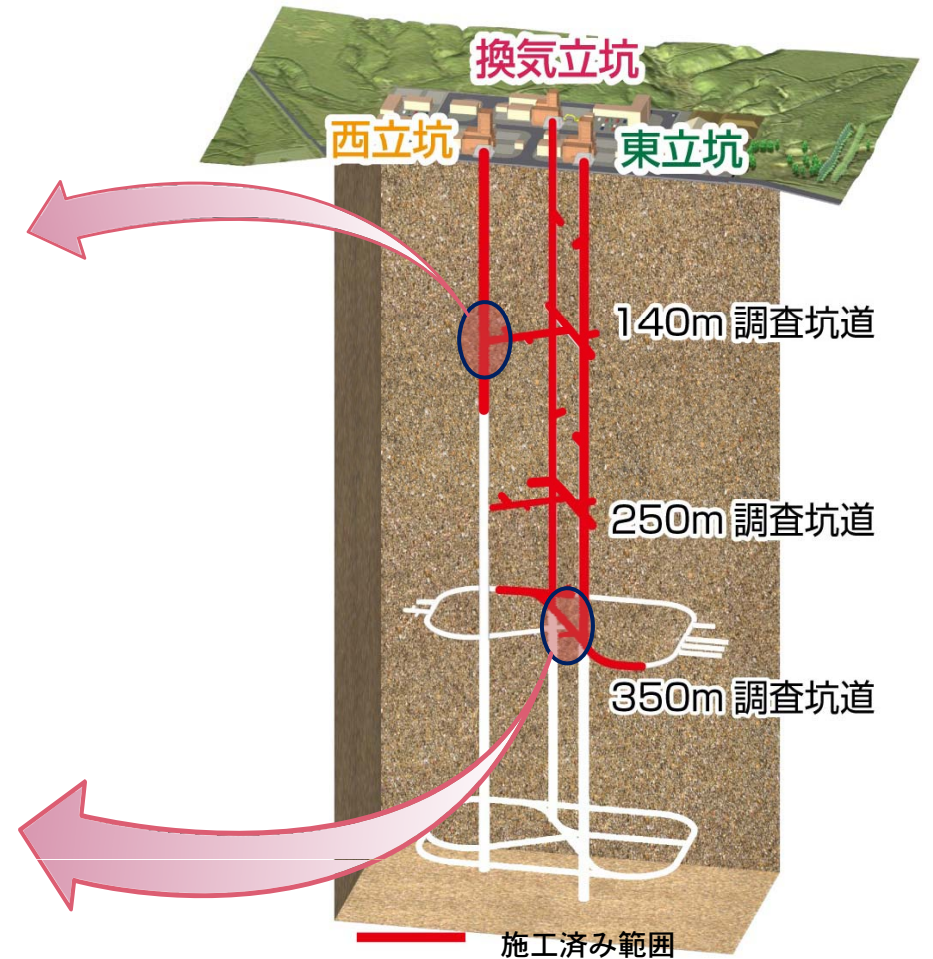
7



平成24年9月10日、西立坑と深度140m調査坑道が貫通



平成24年5月26日、深度350m調査坑道のうち換気立坑と東立坑を結ぶ坑道が貫通



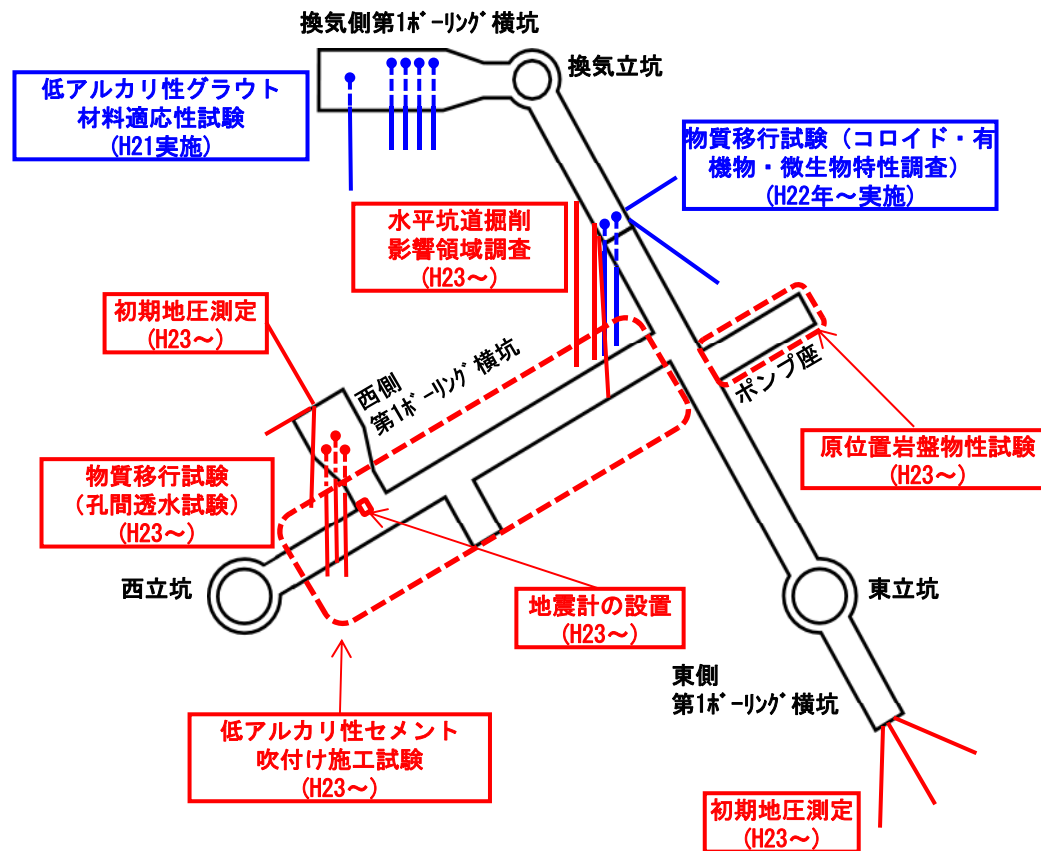
※このイメージ図は
今後の調査研究の結果次第で変わることがあります。

深度350m調査坑道イメージ図

平成24年度の主な調査計画

	平成24年度の主な調査計画
地質構造	●地質環境モデルの検証・更新 ・坑道掘削に伴う調査等により地質構造や割れ目の産状・連続性に関するデータの取得を継続
岩盤水理	●水理地質構造モデルの検証・更新 ・湧水を伴う割れ目の産状や湧水の量などの水理地質構造に関するデータの取得を継続
地球化学	●地球化学モデルの検証・更新 ・坑道掘削に伴う周辺岩盤及び地下水の水質に関わる化学反応などの地球化学特性の変化の評価を継続
岩盤力学	●350m調査坑道における初期地圧測定、地下深部における地圧の空間的な分布の評価を継続
調査技術・機器開発	●140m、250m坑道における岩盤の化学的緩衝能力や掘削影響に関するデータ取得の継続 ●250m坑道での物質移行試験結果に基づく試験装置・手法の適用性及び試験の成立性の評価の継続
工学技術の基礎の開発	●地下施設の設計の妥当性の確認・更新 ・東、西立坑及び350m調査坑道の掘削状況に応じて、岩盤と支保の挙動の分析
地層処分研究開発	●350m坑道での低アルカリ性セメントを用いた原位置吹付け試験、湧水抑制対策に係る適用試験、ならびに岩盤及び地下水への影響を把握するための調査の継続 ●350m調査坑道における試験計画の詳細検討(人工バリア性能確認試験、オーバーパック腐食試験、物質移行試験ほか) ●250m調査坑道における物質移行試験のボーリングコア試料を用いた物質移行パラメータの取得、ならびに一次元の物質移行モデルによる予備解析の実施 ●地層処分実規模整備事業への協力

250m調査坑道における試験(実績)



250m調査坑道

【物質移行試験】

物質移行試験を行うための孔間透水試験装置の開発及び適用性確認。コロイド・有機物・微生物などの影響を確認。

【初期地圧測定】

当該深度における初期地圧の空間分布の把握。

【原位置岩盤物性試験】

平板載荷試験、ロック(ブロック)せん断試験を行い、岩盤の力学特性の把握。

【地震観測】

地下深部における地震動を計測し、施設設計の妥当性の確認。

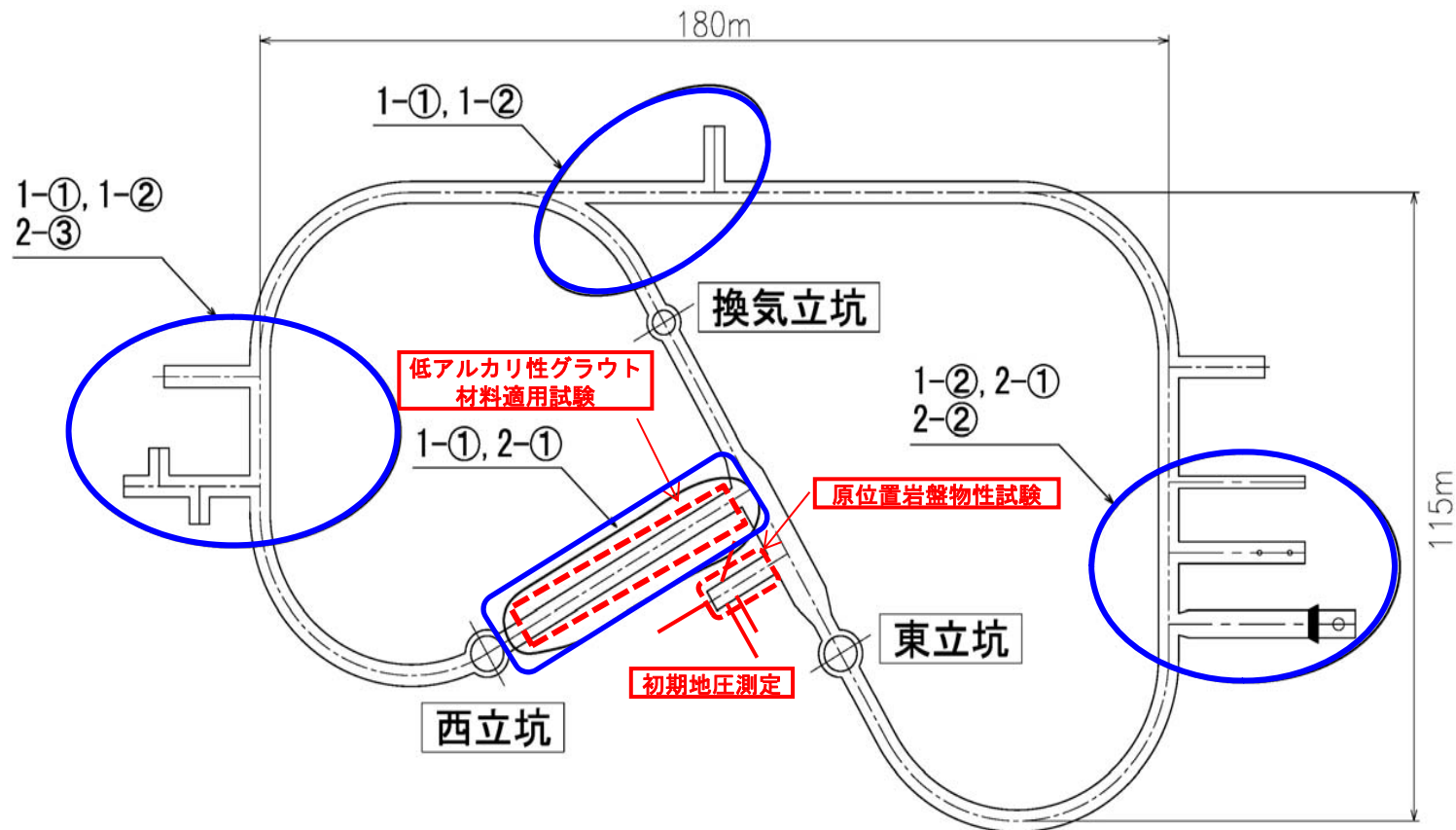
【水平坑道掘削影響試験】

掘削影響領域を評価するための、トモグラフィ調査(弾性波、音響、比抵抗)、透水試験。

【低アルカリ性セメント吹付け施工試験】

低アルカリ性セメントの施工性を確認。

350m調査坑道における試験(実績と計画)



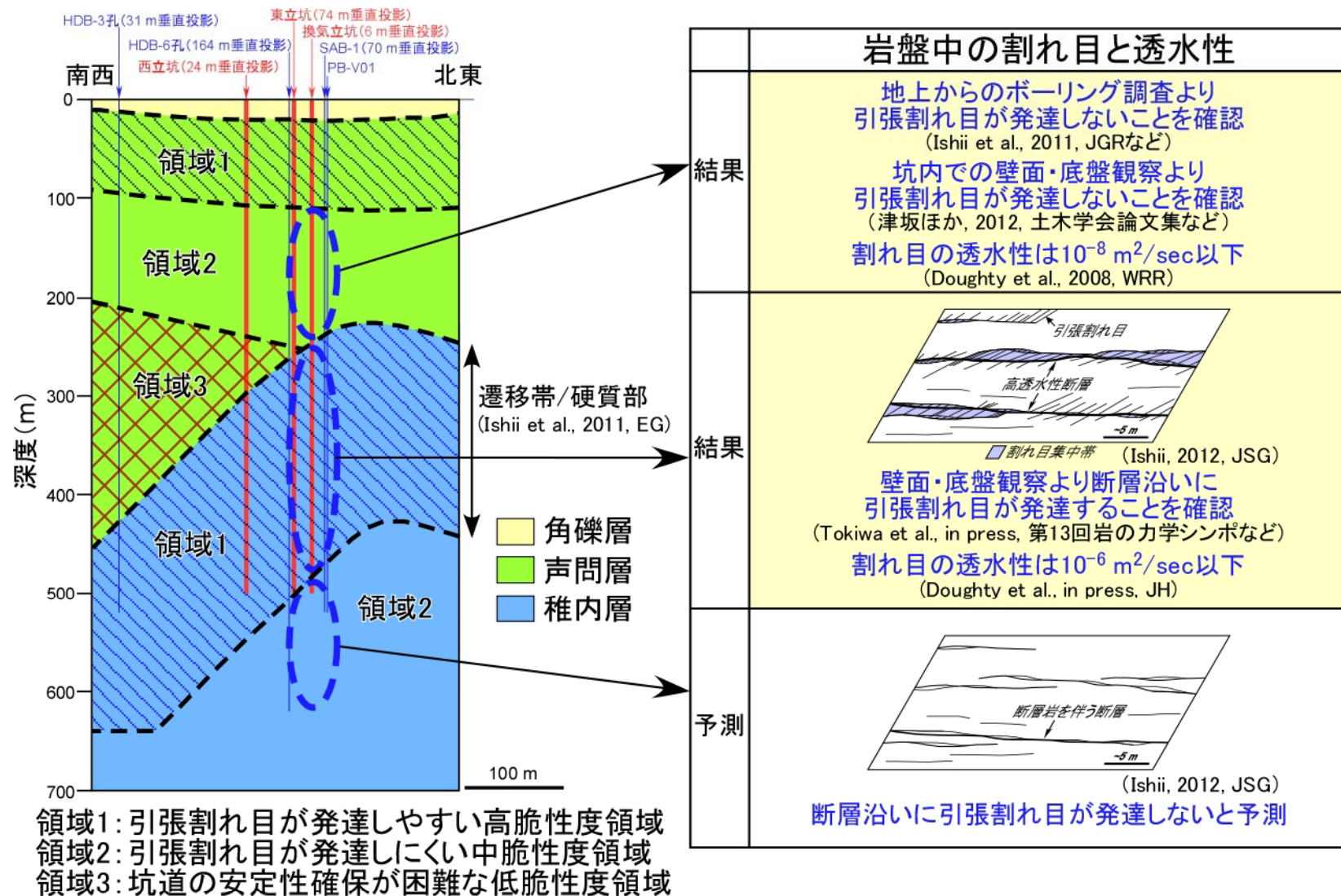
地層科学研究

- 1-① 地質環境調査技術開発(地質調査、水理試験、採水調査、岩盤を対象とした物質移動試験)
- 1-② 地質環境調査技術開発(坑道掘削影響・回復試験)

地層処分研究開発

- 2-① 処分技術の信頼性向上(低アルカリ性セメント材料の施工・影響評価試験)
- 2-② 処分技術の信頼性向上(人工バリア性能試験)
- 2-③ 安全評価手法の高度化(人工バリアやその周辺岩盤を対象とした物質移動試験)

岩盤の透水性に関する調査研究

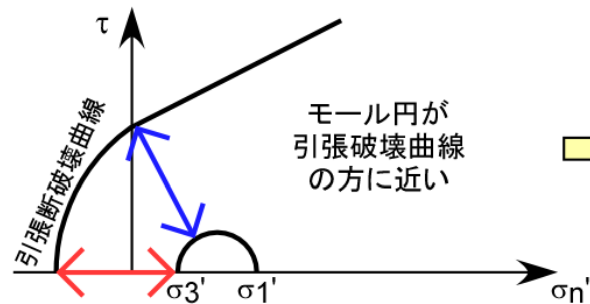


引張(高透水性)割れ目の発達領域を岩盤の脆性度より推定

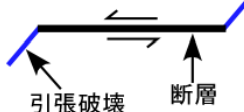
(Ishii et al., 2010, JSG; Ishii et al., 2011, JGR)

岩盤の脆性度と透水性

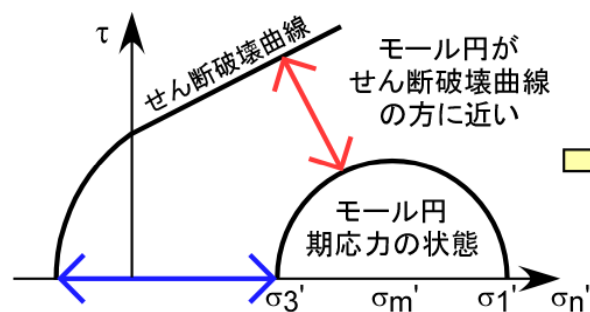
1) 岩盤の脆性度が8以上の場合



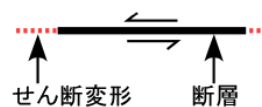
断層運動に伴って引張割れ目が形成されやすい



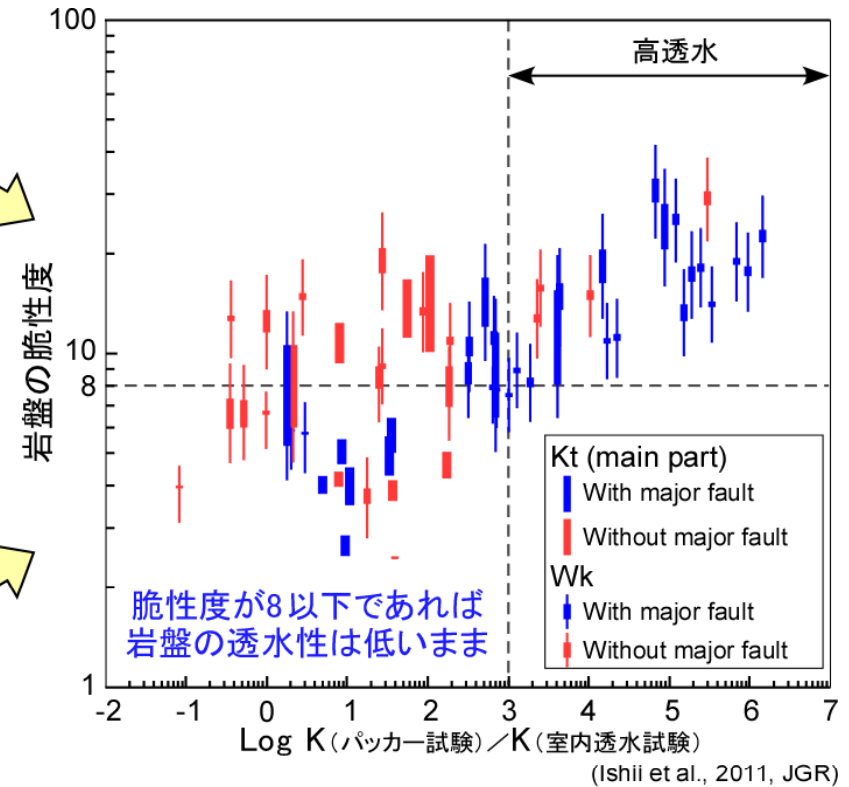
2) 岩盤の脆性度が8以下の場合



断層運動に伴って引張割れ目が形成されにくい



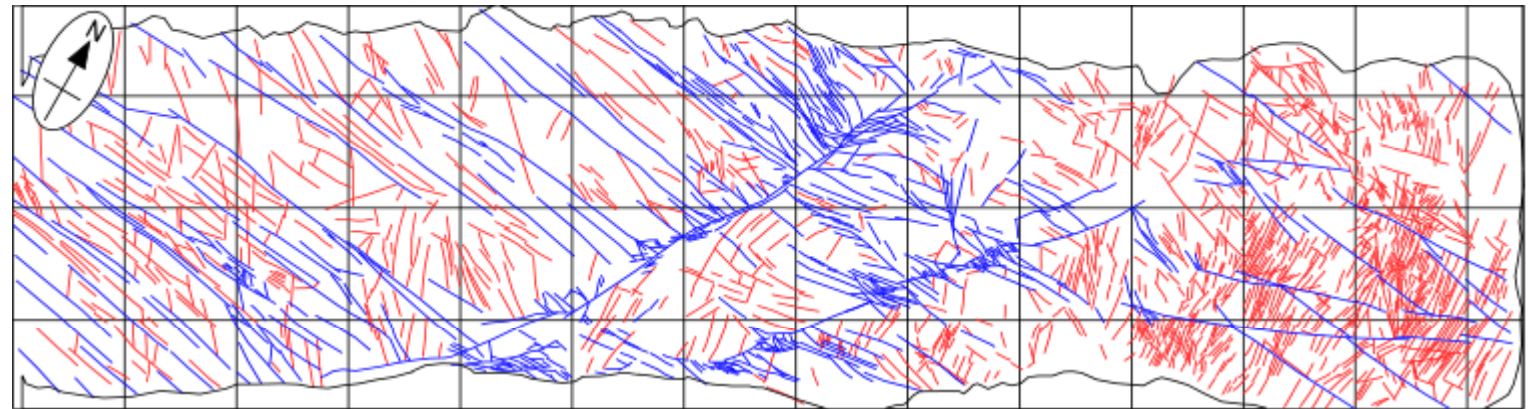
(Ishii et al., 2010, JSG)



岩盤の脆性度 = 一軸圧縮強度 / 有効中間応力

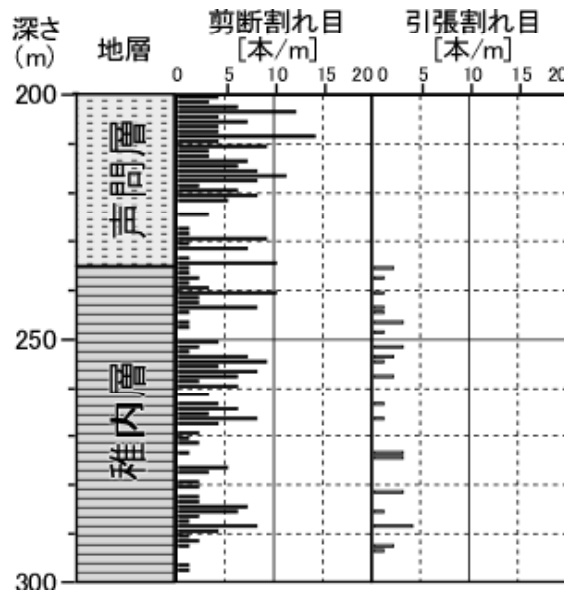
掘削影響に係る割れ目

坑道底盤スケッチ(250mポンプ座:稚内層最上部)

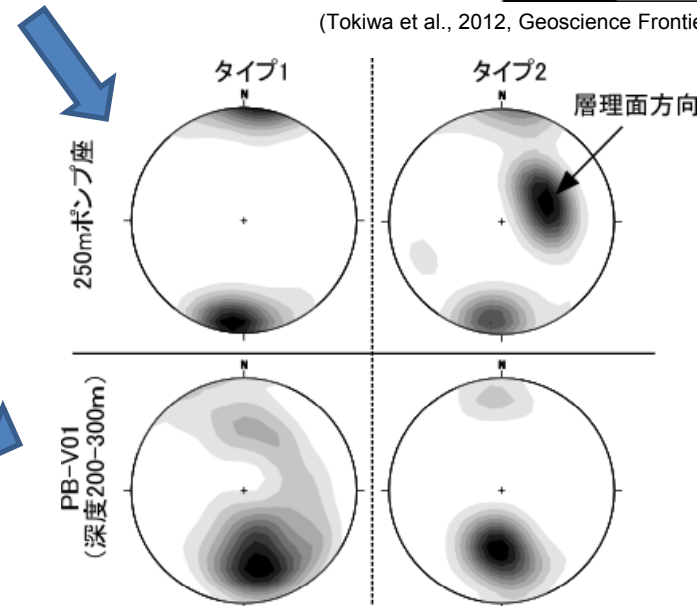


タイプ1(剪断の証拠がある割れ目) タイプ2(剪断の証拠がない割れ目) 0 2m
(Tokiwa et al., 2012, Geoscience Frontiers)

コア観察(PB-V01孔)



(舟木ほか2009, 応用地質)



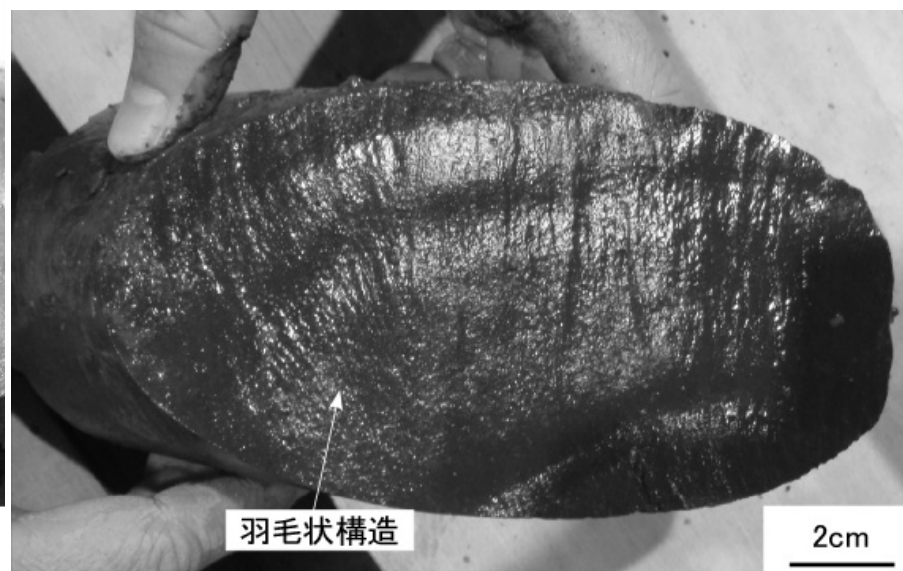
掘削により引張性の割れ目が形成/顕在化
⇒今後、坑道近傍の原位置透水試験を実施予定

ボーリングコアでの割れ目

14



剪断割れ目(PB-V01孔)

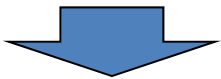


引張割れ目(PB-V01孔)

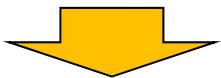
深地層における工学技術の基礎の開発

◆コンクリート応力や坑道周辺岩盤の変位などを計測するとともに、坑道の安定性を評価し、地下施設設計と計測技術の妥当性の確認・更新

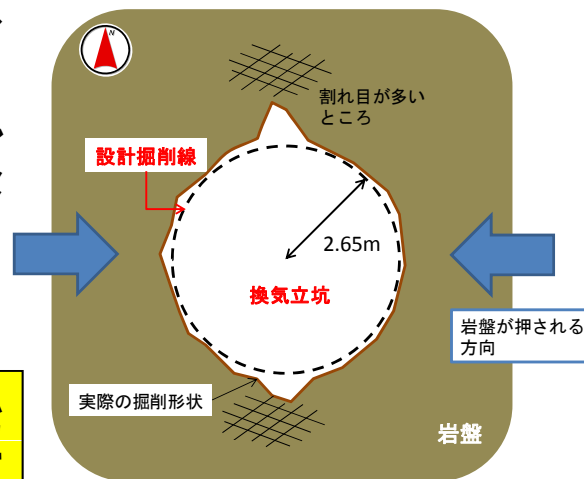
⇒坑道掘削後の岩盤壁面の凹凸の三次元的な形状を定量的に把握するための三次元レーザースキャナ計測の実施、ならびに立坑壁面の割れ目分布状況調査に基づき岩盤の抜け落ち状態を評価



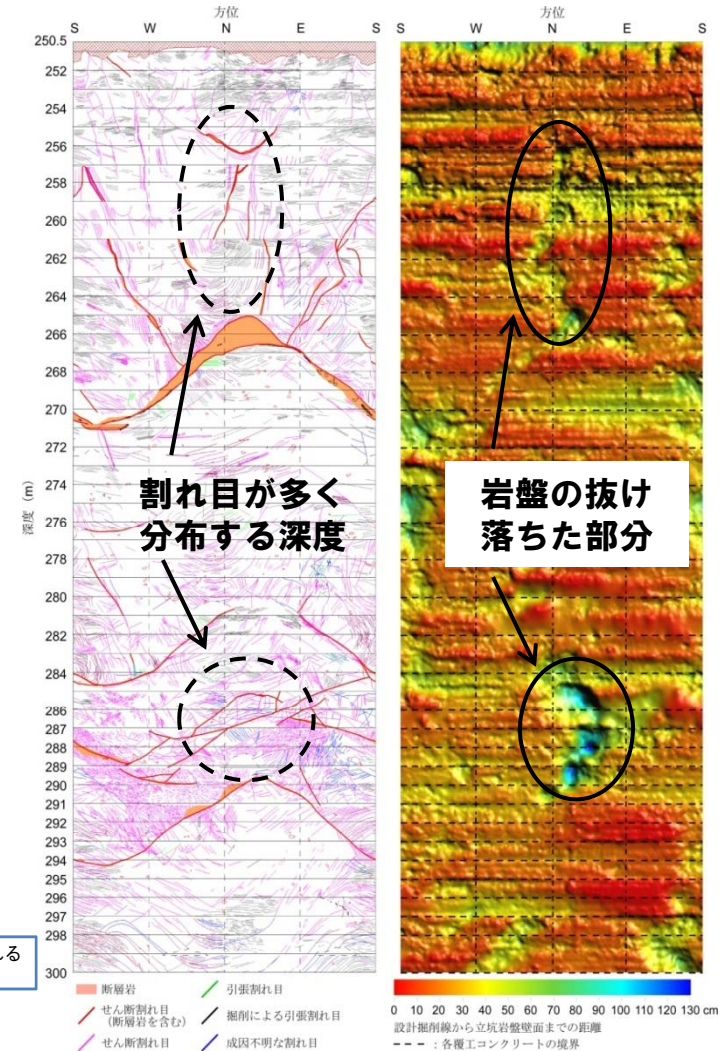
- 南北方向で岩盤の抜け落ち(青色部分)が多く発生
- 抜け落ちの程度は、割れ目が多い箇所で大きくなる傾向



南北方向にロックボルトを追加するなど、支保設計に反映



岩盤の抜け落ちイメージ



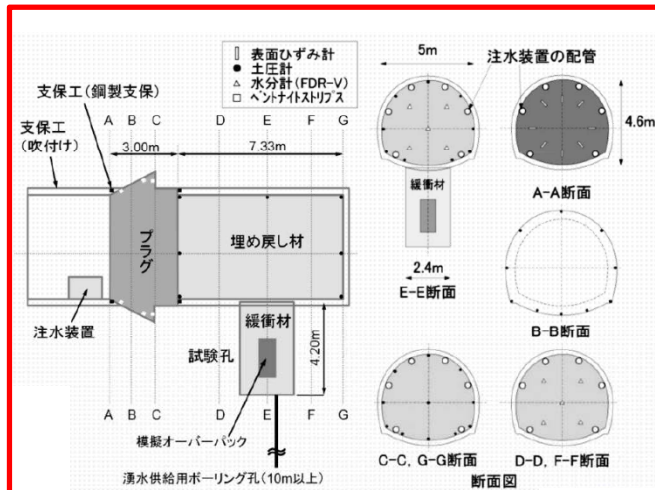
(a) 立坑壁面の割れ目分布 (b) 壁面の凹凸状況

立坑壁面の割れ目分布と凹凸状況
(換気立坑深度250.5m～300m)

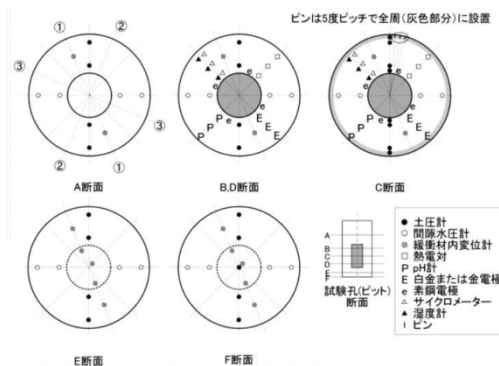
人工バリア性能試験の調査研究概要

○人工バリア性能試験の試験概要

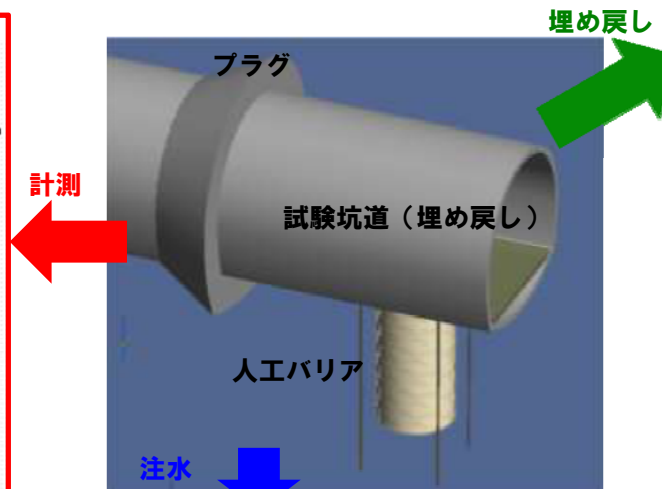
目的：熱・水・応力・化学連成現象を評価するための検証データの取得
第2次取りまとめに準拠し、350 m坑道にて模擬オーバーバックを用いた人工バリアシステムを構築し、検証データを取得する。



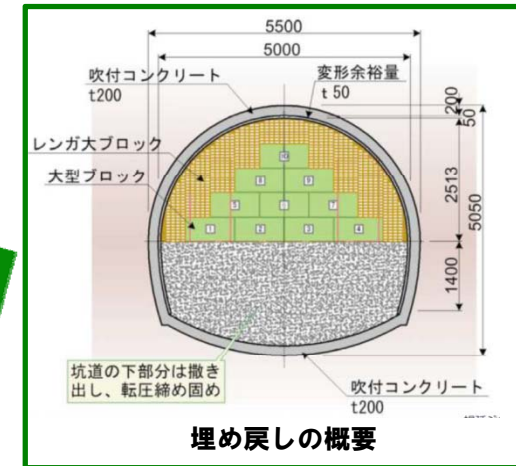
埋め戻し材内の計測位置



ベントナイトブロック内の計測位置



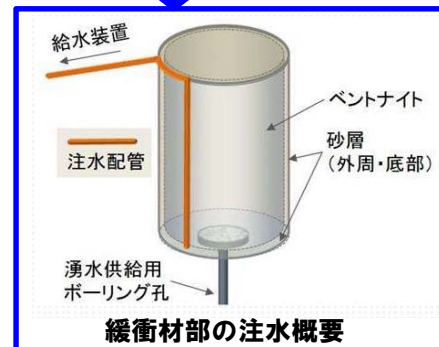
計測



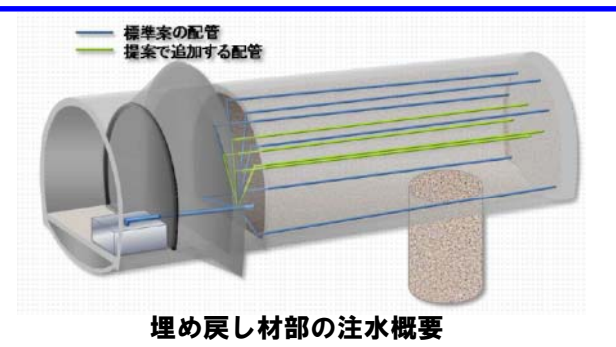
埋め戻しの概要

◎ 埋め戻し材の仕様

- ・掘削ズリとベントナイトの混合土を使用 (混合比 60:40)
- ・透水係数：低透水性
- ・膨潤圧：0.1 MPa以上



緩衝材部の注水概要



埋め戻し材部の注水概要

○今後の計画

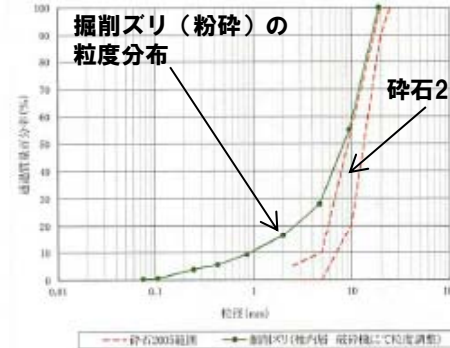
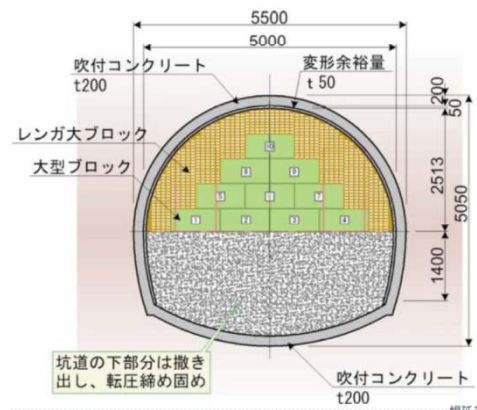
- ・平成26年度の人工バリア設置作業開始に向け、本試験計画を検討 (プラグの設計、埋め戻し材転圧締固め試験、埋め戻しブロックの製作等)

人工バリア性能試験(埋め戻し材の仕様検討)

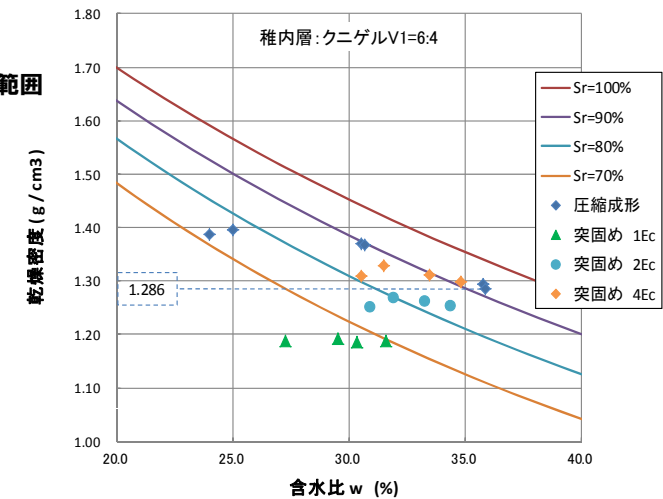
◆これまでに検討を進めてきた設計フローに基づき、人工バリア性能試験で使用する埋め戻し材の仕様を設定(設計手法の適用性確認・更新)

埋め戻し材の材料及び施工方法の概要

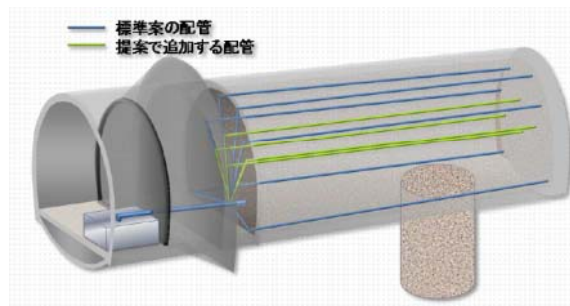
- ベントナイト+掘削スリ(稚内層)の混合材料(配合:ベントナイト40%、掘削スリ60%)
- 埋め戻し材の施工:坑道下部(転圧締め固め)、坑道上部(ブロック)、隙間部(吹付けなど)



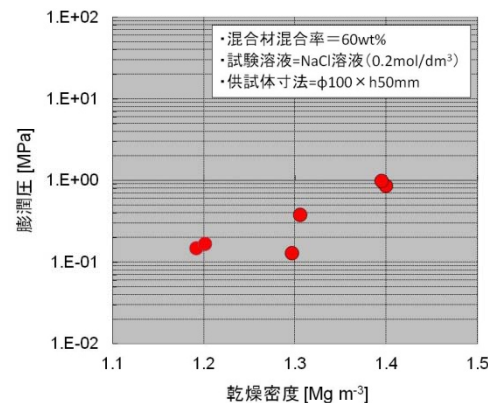
掘削スリ(粉砕)の粒度分布



埋め戻し材の締め固め試験
及び透水試験結果



埋め戻しの概要
(検討例)

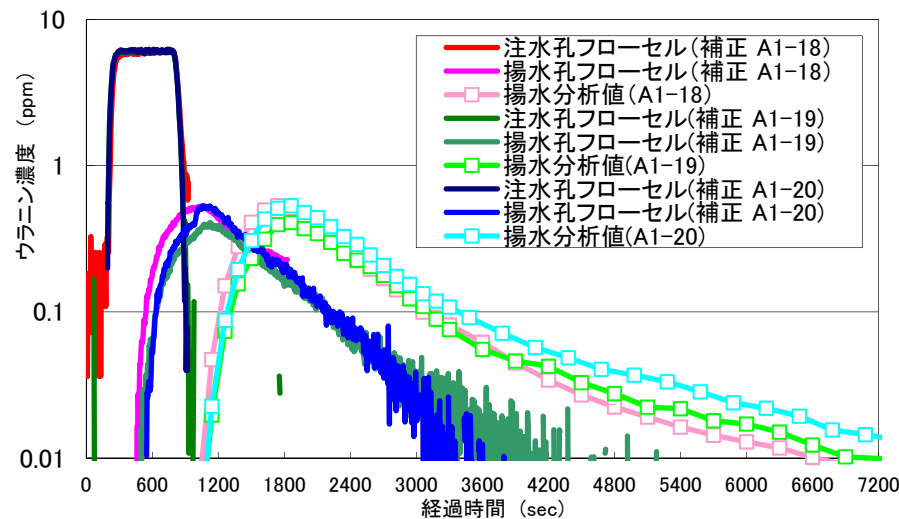


埋め戻し材の膨潤圧試験結果

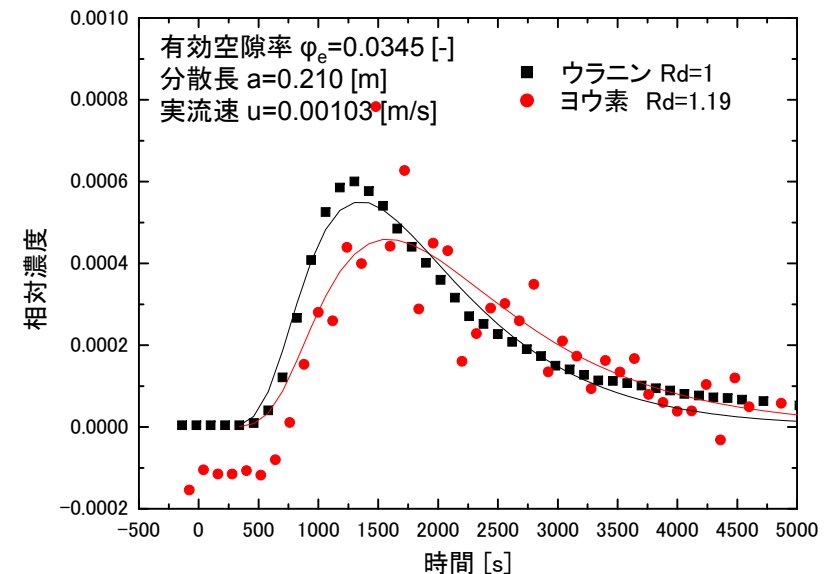
物質移行特性評価技術の開発

□ 孔間トレーサー試験装置の改良および動作確認試験を実施

- 孔内計測装置の改良（破断防止・防水構造改良など）
- 被圧ライン内に物理化学パラメータ計測装置を追加
- 動作（再現性）確認試験の実施
 - ✓ 前試験と同区間，低間隙水圧（分布状況は同様），注入時間2倍で実施
→前回同様の濃度の立ち上がり時間と破過曲線形状が得られた



動作（再現性）確認試験の結果



分析データによる一次元逆解析の例

□ 試験結果を用いた解析手法の検討を実施

- 一次元解析解を用いた予備的逆解析手法の適用性を検討中
 - ✓ ウランの試験結果から暫定的な物質移行パラメータが得られた ⇒収着性トレーサー試験の条件設定に反映可能
- ウランおよびヨウ素の逆解析結果の比較・検討
 - ✓ 非収着性のウラン（遅延係数=1）に対し，ヨウ素の分析結果から暫定的に約1.2の遅延係数が得られた
⇒収着拡散DB，室内試験などで確認が必要

2. 前回委員会でのコメント対応状況

坑道変形の長期計測計画と挙動再現性の検証

20

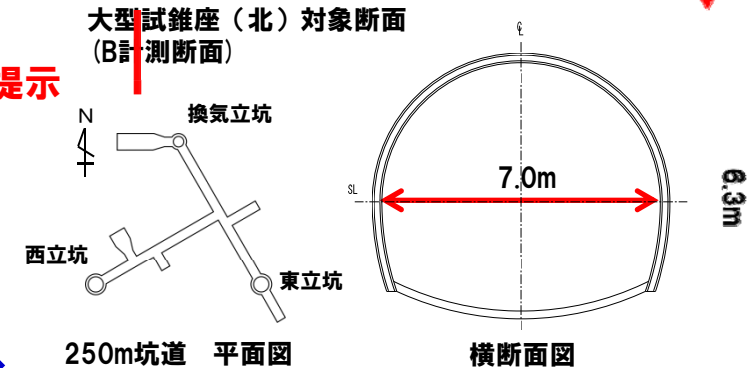
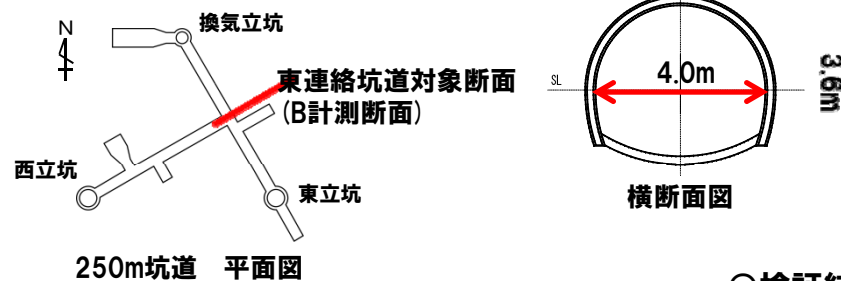
前回委員会コメント：軟岩の場合、10～20年の長期にわたる坑道の変形や物性変化を把握する必要がある。

・断面の大きい大型試錐座（北）を対象を変更し、月1回の頻度で長期計測を実施中

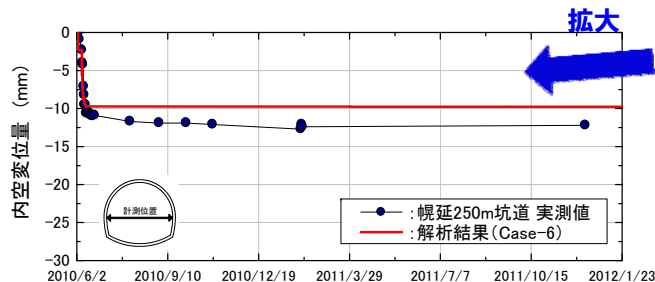
○坑道の変形や物性評価の長期計測の一事例

目的：地山の時間依存性挙動を考慮した情報化施工の検証事例の提示

250m坑道の計測データを対象に、非線形モデルの一つであるコンプライアンス可変型構成方程式（大久保モデル）を適用した二次元FEM解析を実施し、内空変位と支保応力の長期予測を実施



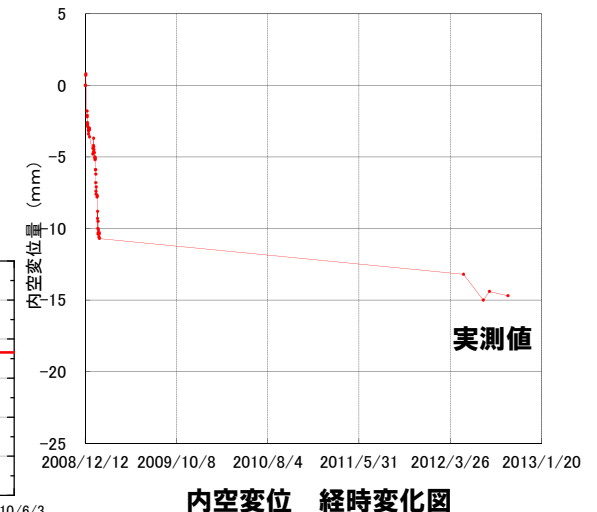
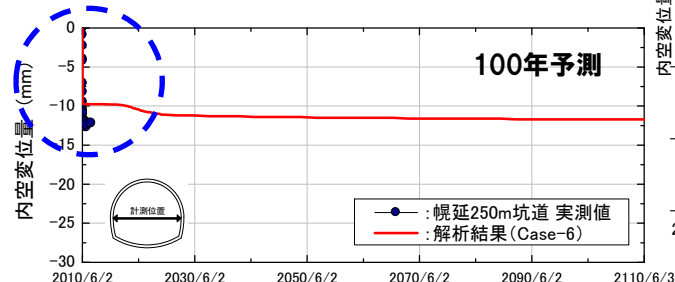
実測：コンバージェンスメジャーによる測定（最小読取值1/10mm）



内空変位 経時変化図

○検証結果

変形挙動の傾向は概ね再現できた。



内空変位 経時変化図

○今後の計画

・250m大型試錐座（北）における長期計測の継続、また、350m試験坑道3,4においてもB計測断面を対象にした長期計測を実施し、坑道の健全性確認と、解析による長期挙動の再現性を検証する。

湧水抑制対策工(プレグラウチング)の実施工を考慮した改良

前回委員会コメント：ガスが湧出する条件下でのグラウチングにおける改良点の整理

◆ガス・湧水の噴出(噴発)を考慮した改良点

変更項目	変更前	変更後	変更理由
注入材料	早期硬化型 超微粒子注入材 (平均粒径:4.3 μ m)	低透水範囲:超微粒子注入材 (平均粒径:2.5~3.5 μ m) 噴発箇所周辺:コロイド注入材 (平均粒径:8 μ m)	・噴発する箇所では、高圧ガス、高圧湧水が発生するため、超微粒子材料では材料が安定せず凝結し難い ・噴発する箇所は高透水域であり、この箇所においてもコロイド注入材は十分に浸透する ・低透水区間への注入効果は平均粒径の小さい超微粒子注入材の試験施工で確認している
最大注入流量	20L/分	10L/分	流速が大きい場合は、割れ目への浸透ではなく割れ目の割裂を招く恐れがあるため
最大注入圧	有効圧力で1.0MPa以下 限界圧力+0.2MPa	・流量規制(最大流量 10 L/分)により実施 ・注入圧力が高く岩盤を割裂していると判断される場合、流量半減	高圧注入は地山を破壊する可能性が有るため
噴発時の注入方法	・直ちにショートステージ工法に移行する(最大注入量1,100L) ・最も濃い注入材でも効果が小さい場合は、注入を継続し断続注入を実施 ・微細な礫を伴って噴発する場合、ガス圧から徐々に昇圧し、注入効果の確認まで実施	・薄い注入材で3配合くらいを25L切り替えで注入し、その後、最も濃い注入材で改善されるまで注入(最大注入量2,000L程度)	砂を伴った湧水箇所では、限界圧が低く、低圧力で大量注入される場合が多い。また、低濃度配合を多量に注入する場合、岩盤崩壊を起こす可能性が高い。そのため、低濃度配合で「水みち」を付け、高濃度配合で弱層を固結させるため
		・10L/分で数百L注入後も変化がない場合は断続注入(10分程度)を繰り返すか流量を半減	透水性が高く、注入状況に変化がない場合は、止め処なく注入材が浸透している可能性があり、断続注入とし注入材の凝結を促すため
		・程度の重い噴発の場合、濃い注入材を使用 ・硬化促進剤を添加	高透水層であると想定できるため、高濃度配合を実施。 必要以上の拡散と注入材の硬化前の逆流を防ぐため硬化促進剤を使用。

○今後の計画

- ・350m坑道におけるグラウチング（水平方向）にて、本施工方法による止水性の確認
- ・より効率的なグラウチング方法の模索・検討

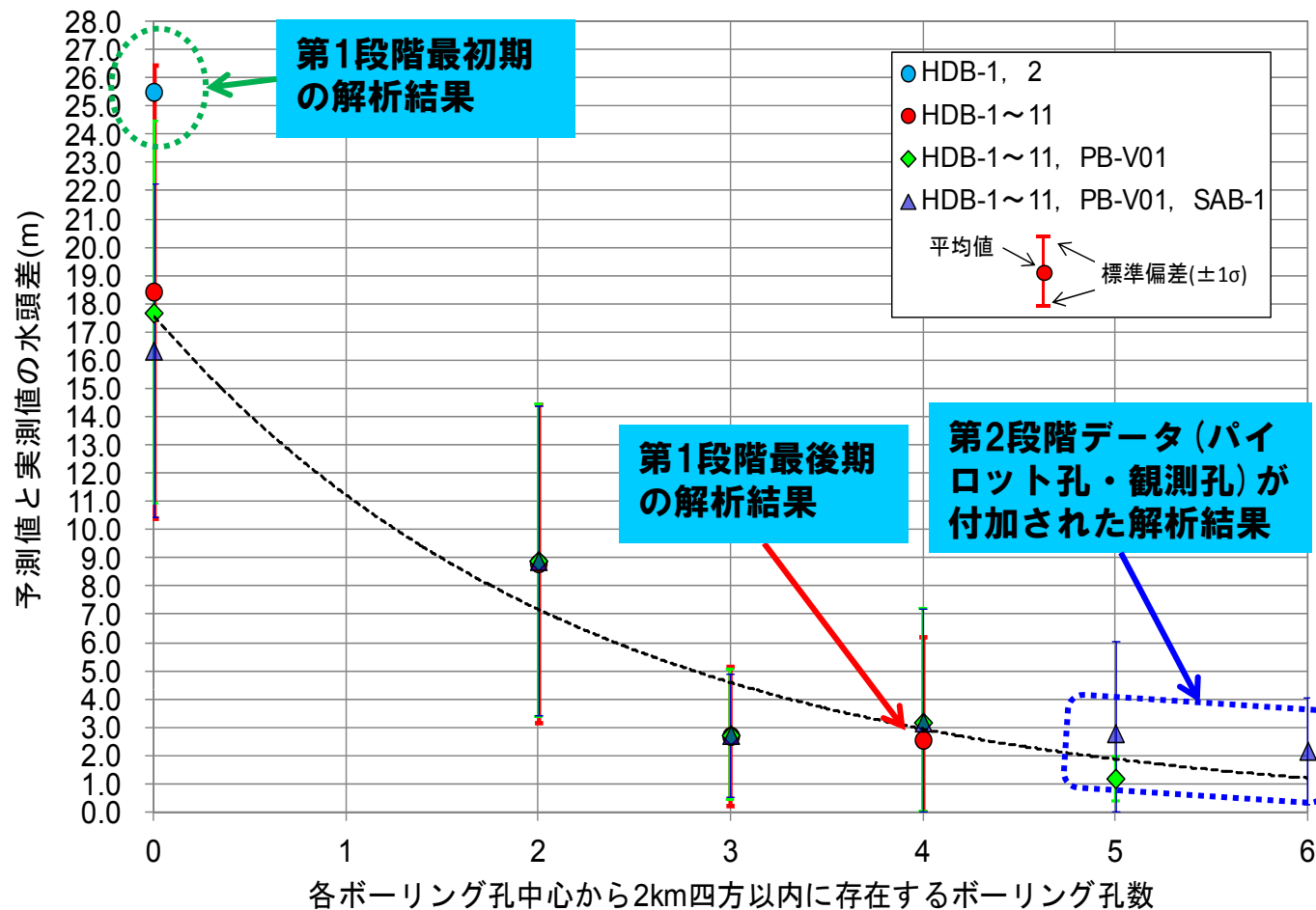
3. 第1段階成果の妥当性確認の進捗状況

第1段階成果の妥当性確認 (水理地質構造と地下水流動分野)の現状と課題

	第11回委員会でのコメント	対応状況
1. 水理場の不均質性について	● 不均質性の定量化や具体的な調査手法の提案が重要	➤ 不均質性の要因となる大規模断層の分布・発達様式を考慮した再解析を実施
2. 境界条件等について	● 後背地形など水頭分布の再現性に影響を与える他の要因の検討が必要	➤ 広領域を対象に実施した再解析や感度解析を検討中
3. 解析手法について	● 亀裂を等価不均質の連続体で置き換えた際に失われる可能性のある移行経路の連結性についての評価が必要 ● 水頭分布と塩分濃度分布の両方を説明するモデルの構築・流動解析が必要 ● 逆解析手法の構築が望まれる	➤ 亀裂ネットワークモデル、均質媒体等との比較を通じて、各手法の適用範囲等を明確にしていく ➤ 塩分濃度分布に関しては、過去の地形・地質構造発達、気候・海水準変動を考慮した水理地質構造変遷モデルにより評価していく ➤ 東濃一島根大学が開発中の手法等を適用予定
4. 解析結果について	● 塩分濃度による水頭値の補正が必要	➤ 補正値を導出(済)
5. 体系化について	● 最適なボーリング孔の順番、配置、数量の検討が重要 ● 物理探査と連携した評価により、ボーリングが少ない条件でのモデル構築が必要	➤ 上記1.～4.で更新・改良したモデルに基づき、順番、配置、数量、地上物理探査の有無等を変えた解析を行い、最終的な体系化を図る予定

	第12回委員会でのコメント	対応状況
1. 水理場の不均質性について	● 予測値と実測値の乖離については、重要な構造の有無などの不均質性の適切な評価が必要	➤ 第11回委員会コメント1, 2と同様に対応中

水頭分布の再現性に影響を与える因子

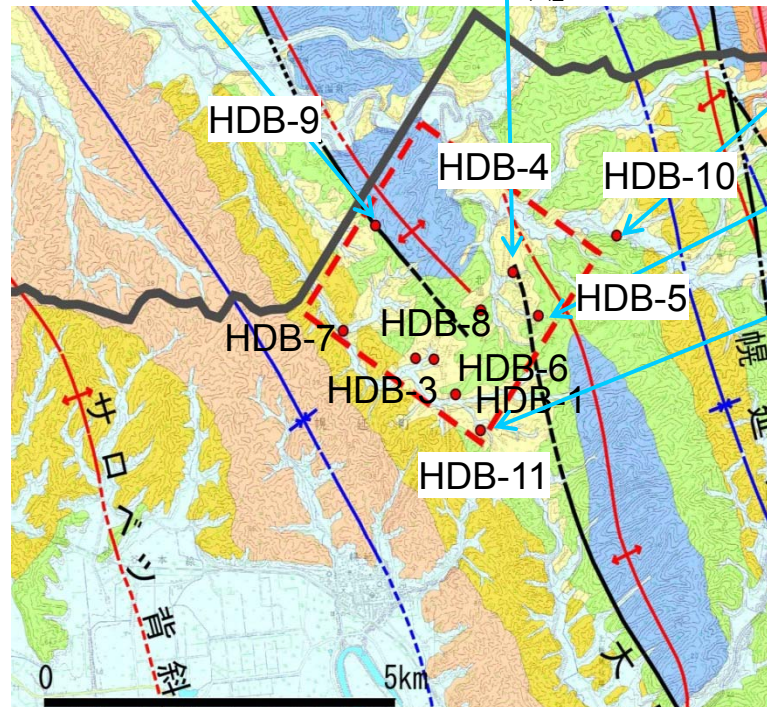
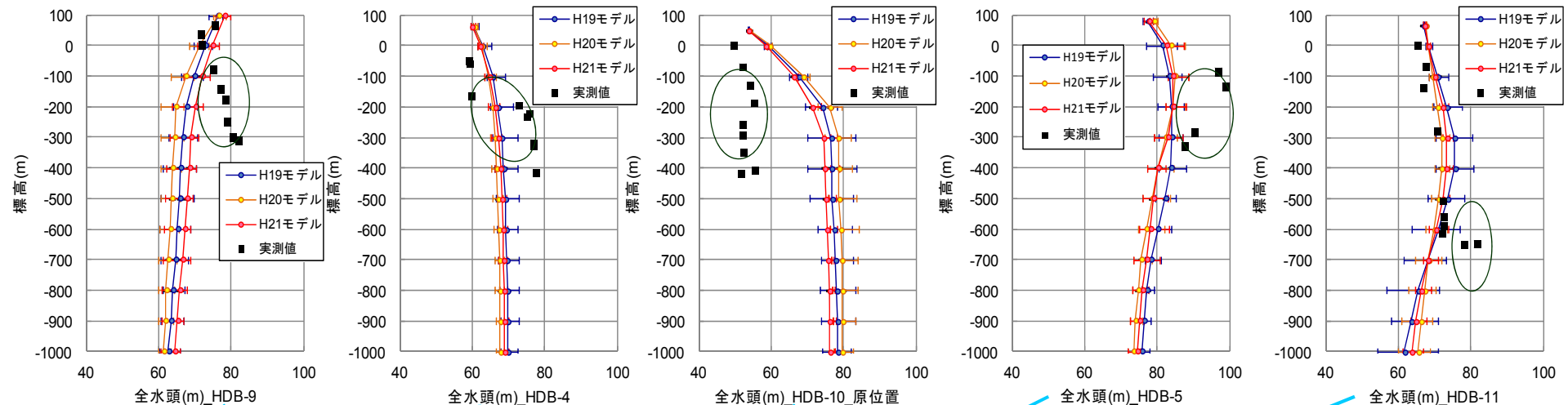


(現状の認識)
稚内層と同程度の透水不均質性を有する場合、現有の調査解析技術では、地上からの調査段階において、**誤差 $\pm 3 \sim 2\text{m}$ 程度**までの水頭分布を予測することが可能であり、それを達成するためには、2km四方の領域に**5孔以上のボーリング調査**が必要

(可能性のある主な影響因子)

- ① 稚内層中の透水不均質性に対する理解度 (調査量・密度)
- ② 大曲断層等の規模の大きな地質構造の分布形状・透水性
- ③ 後背地形、涵養量

水頭分布の再現性が低いボーリング孔の特徴



- 再現性が低い区間は、HDB-4, 5, 10号孔の全区間, HDB-9の標高-100m以深およびHDB-11号孔の標高-650m付近
- 水頭誤差の平均は、HDB-4号孔:約6m, HDB-5号孔:約10m, HDB-9号孔:約11m, HDB-10号孔:約19m, HDB-11号孔:約6m

水頭の再現性問題に関する作業仮説

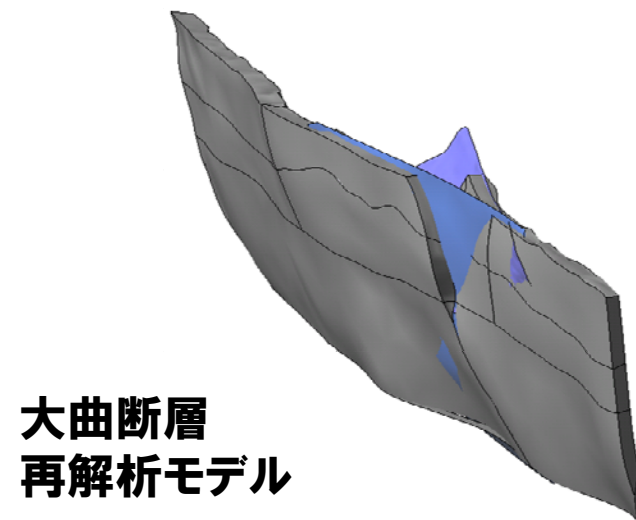
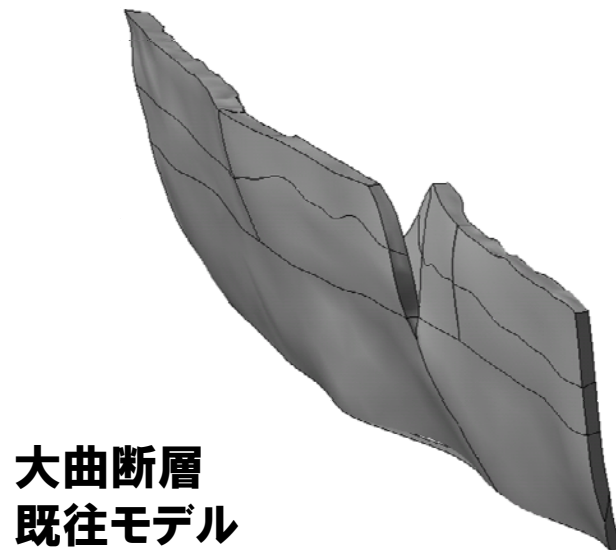
再現性の低いボーリング号孔（区間）	HDB-4号孔 （深度111.7～227.43m区間）	HDB-4号孔 （深度258.8～478.25m区間）	HDB-5号孔 （全区間）	HDB-9号孔 （深度179.36～410.03m区間）	HDB-10号孔 （全区間）	HDB-11号孔 （深度714.03～716.03m区間）
解析結果と実測値との差異の状況	解析値に比べて実測値が低い（平均-5.6m） ／解析値と実測値の深度分布が同一トレンド	解析値に比べて実測値が高い（平均+8.0m） ／解析値と実測値の深度分布が同一トレンド	解析値に比べて実測値が高い（平均+9.7m） ／解析値と実測値の深度分布が同一トレンド	解析値に比べて実測値が高い（平均+10.7m） ／解析値と実測値の深度分布が逆トレンド	解析値に比べて実測値が低い（平均-19.3m） ／解析値と実測値の深度分布が同一トレンド	解析値に比べて実測値が高い（平均+10.2m） ／解析値と実測値の深度分布が逆トレンド
低再現性の原因（仮説）	①顕著な水頭差が生じている区間（深度227.43～258.8m区間）に大曲断層（断層面の垂直方向に対して低い透水性を有する）が遭遇している ①地下水の流出域側（ボーリング孔西側）に大曲断層（断層面の垂直方向に対して低い透水性を有する）が分布している ①地下水の流出域側（ボーリング孔西側）に大曲断層（断層面の垂直方向に対して低い透水性を有する）が分布している ①地下水の涵養域側に分布するN1断層の透水性が異なる（断層面の垂直方向に対して低い透水性を有する） ①HDB-11号孔深部の低透水性岩盤が表現されていない ②地下水の涵養量が推定値より大きい ②地下水の涵養量が推定値より大きい ②地下水の涵養量が推定値より小さい ③境界条件の設定が不適切（実際の涵養域がより遠方に存在） ③境界条件の設定が不適切（実際の涵養域がより遠方に存在） ③境界条件の設定が不適切（実際の涵養域がより近くに存在） ↔ 仮説間で整合 ↔ 仮説間で不整合					

大曲断層の分布形状・透水性変化に着目した再解析をH23-24に実施

大曲断層の分布形状と透水性に着目した再解析ケース

27

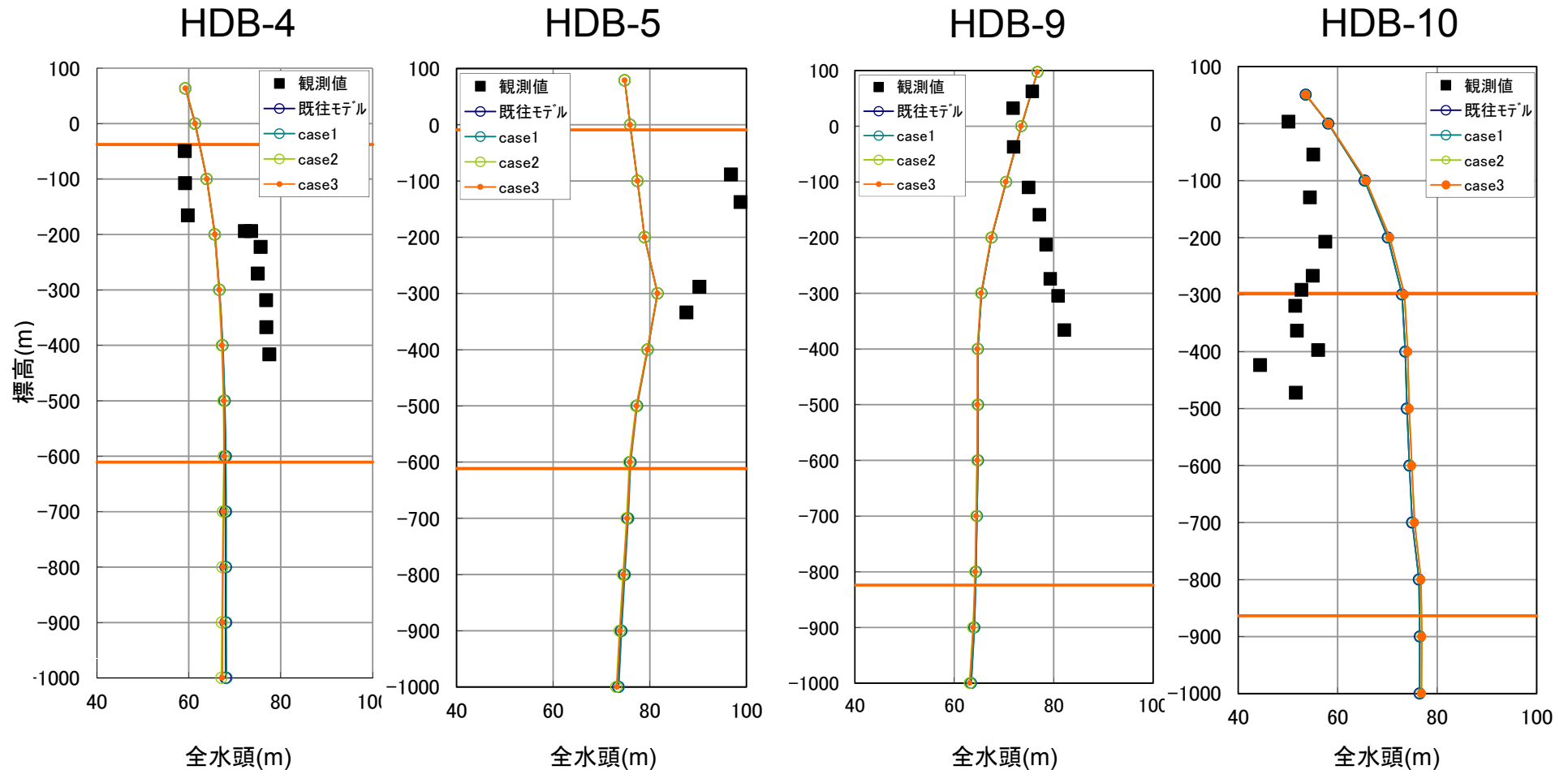
解析ケース	大曲断層の変更点	
	透水係数 (m/s)	大曲断層の形状
case1	1.0×10^{-7}	雁行部を繋いだモデル
case2		分岐部を延長したモデル
case3		case1とcase2を組合せたモデル
case4	1.0×10^{-9}	既往モデルの断層分布
case5		雁行部を繋いだモデル
case6		分岐部を延長したモデル
case7		case5とcase6を組合せたモデル



再解析結果 (1)

28

(case1~3:大曲断層の分岐・雁行を連続・延長させたケース)



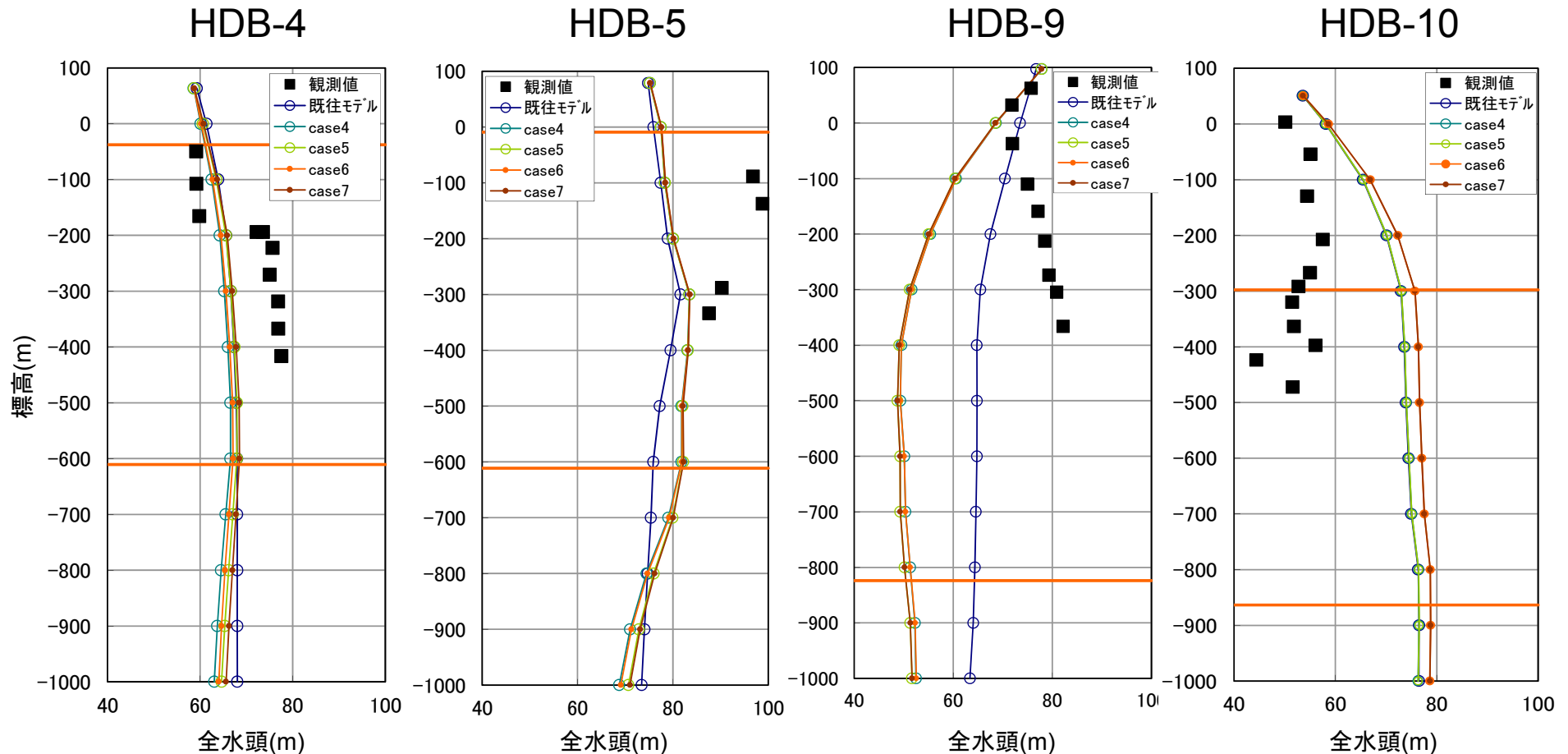
(結果)

- 大曲断層の形状・連続性は、水頭の再現性に対してほとんど影響しない。

再解析結果(2)

29

(case4~7:大曲断層の透水性を低下させたケース)



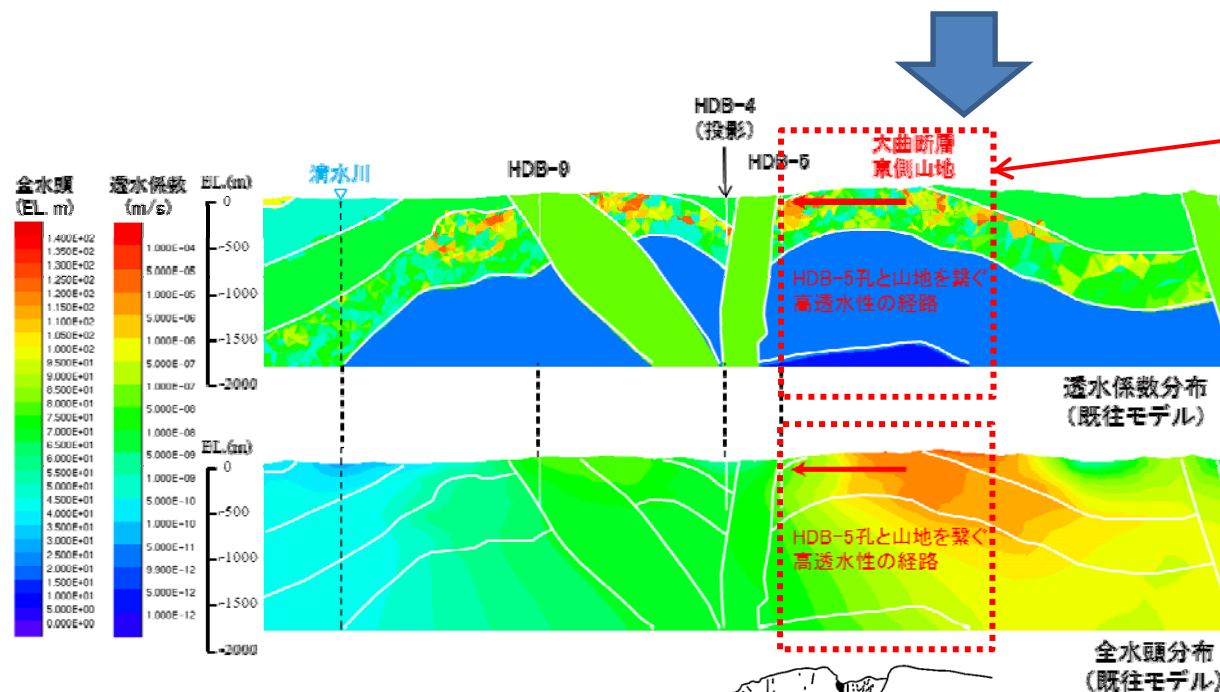
(結果)

- 大曲断層が既往モデルより低透水性(10^{-9}m/sec)のケースについても, case1~3と同様に大きな変化を示さない. 一部のボーリング孔において, 再現性の些少の改善(HDB-5)と低下(HDB-9)が認められる.

今後の予定

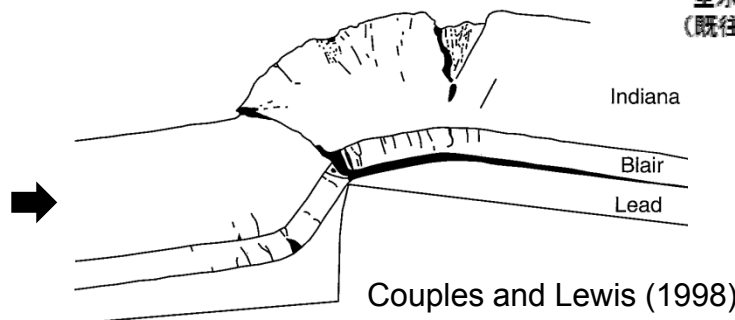
(可能性のある主な影響因子)

- ① 稚内層中の透水不均質性に対する理解度(調査量・密度)
- ② ~~大曲断層等の規模の大きな地質構造の分布形状・透水性~~
- ③ 後背地形, 涵養量



- **大曲断層上盤(東側背斜部)**の領域を高透水領域として区分したケースのモデルの構築と地下水流動解析
- 後背地形, 涵養量を変化させた場合の感度解析

逆断層-褶曲帯の背斜部で想定される地質構造分布の例



水頭の再現性に影響を与える因子の特定と地上からの調査技術体系化へのフィードバック