

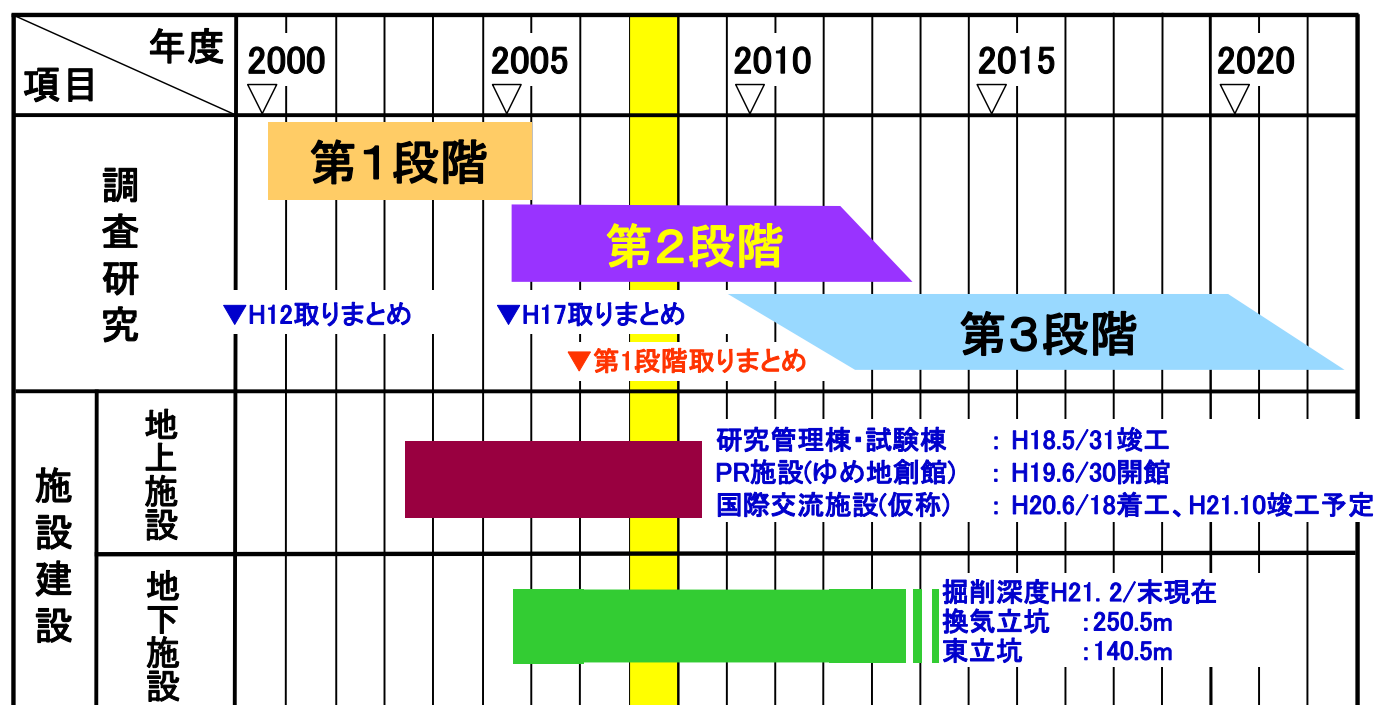
深地層の研究施設計画検討委員会(第6回)

幌延深地層研究計画 平成20年度の成果と平成21年度の計画

平成21年3月5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：坑道掘削時(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

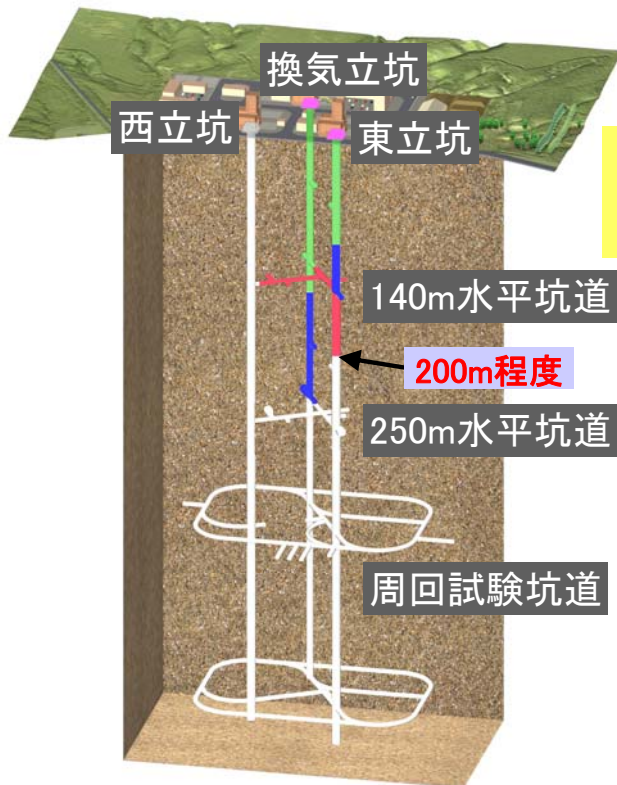
施設建設について

施設建設：計画と実績の概要



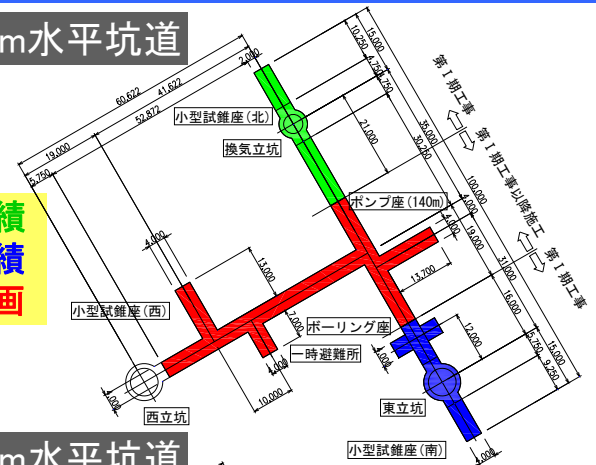
項目 \ 年度	H20年度計画	H20年度実績 (平成21年2月末現在)	H21年度計画
地下施設	・換気立坑 : 深度250m程度 ・東立坑 : 深度140m程度 ・140m, 250m水平坑道掘削 ・換気立坑先行ボーリング調査 ・湧水対策工計画策定	・換気立坑 : 深度250.5m ・東立坑 : 深度140.5m ・140m, 250m水平坑道掘削 ・換気立坑先行ボーリング調査 ・水圧連続観測機器設置 ・湧水対策工計画策定	・換気立坑 : 深度250.5m ・東立坑 : 深度200m程度 ・140m水平坑道完成 ・換気立坑先行ボーリング ・水圧連続観測 ・換気立坑湧水対策工
掘削土(ズリ)置場	・施設運用 容量53,000m³	・施設運用 容量53,000m³ 使用容量: 28,000m³ 空き容量: 25,000m³	・施設運用
排水処理施設	・既設設備(処理能力:400m³/ day)の運転継続 ・設備増設(処理能力:400m³/ day)と運転開始	・既設設備(処理能力:400m³/ day)運転継続 ・設備増設(処理能力:400m³/ day)と運転開始	・設備運転(処理能力:800m³/ day)
PR施設(ゆめ地創館)	・施設運用	・施設運用 来館者数(H20年12月末): H20:10,100名 累計:21,182名	・施設運用
国際交流施設(仮称)	・建設工事開始	・建設工事開始(H20年6月)	・建設工事継続 H21年10月竣工予定

平成21年度までの地下施設建設の実績と計画



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。

140m水平坑道



250m水平坑道



5

水平坑道工事状況

■ 東立坑140m水平坑道



東立坑より北北西方向へ掘削



東立坑より南南東方向へ掘削【小型試験座】(南)

■ 換気立坑250m水平坑道



換気立坑より西方向へ掘削【大型試験座】



換気立坑より南南東方向へ掘削

6

国際交流施設(仮称)の建設

- 国際交流施設(仮称)の目的:
海外及び国内研究者の交流活動の拠点、また、地域住民との交流の場として活用
- 建設工程:
平成20年6月着工、平成21年10月頃竣工予定



杭工事



基礎工事

平成20年度の工事の様子



国際交流施設(仮称)の外観イメージ図

深度140m水平坑道でのボーリング調査の様子

調査研究について



研究開発課題

■ 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

地質環境の長期安定性に関する研究

■ 地層処分研究開発

処分技術の信頼性向上

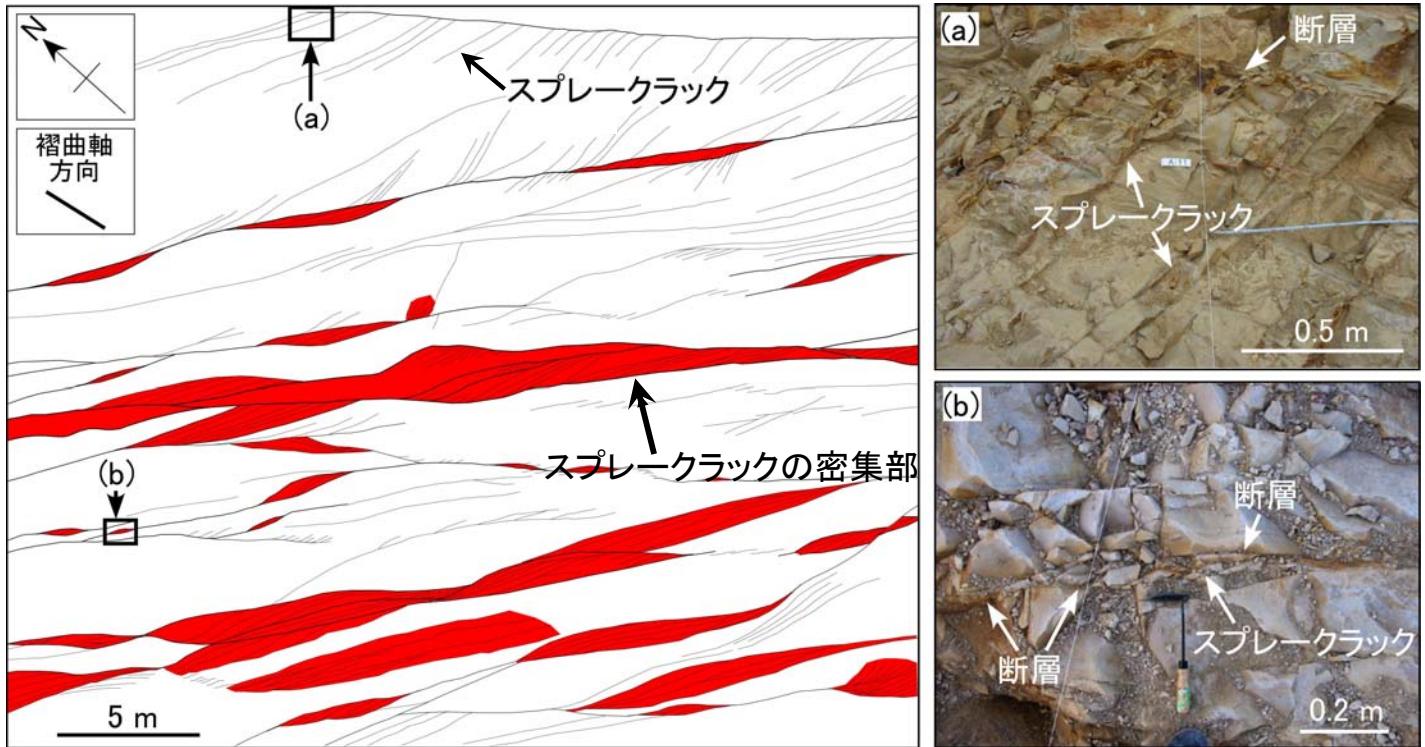
安全評価手法の高度化

調査研究：計画と実績の概要

項目 \ 年度	平成20年度計画	平成20年度実績 (平成21年2月末)	平成21年度計画
地質環境調査技術開発	- 坑道等を利用したデータ取得の継続とモデルの更新 - 東立坑近傍ボーリング調査 - 塩水と淡水が混在する場の地質環境調査開発： - 物理探査(陸域/海域) - ボーリング調査 - コントロールボーリング掘削試験： - 掘削長800m	- 坑道等を利用したデータ取得の継続とモデルの更新 - 高透水ゾーン形成メカニズム検討 - 坑道掘削影響領域評価試験準備 - 東立坑近傍ボーリング調査 - 塩水と淡水が混在する場の地質環境調査開発： - 物理探査(陸域/海域) - ボーリング調査 - コントロールボーリング掘削試験： - 掘削長800m、水平状態到達	- 坑道等を利用したデータ取得の継続とモデルの更新 - 坑道掘削影響領域評価試験 - 東立坑近傍ボーリング：水圧連続観測 - 塩水と淡水が混在する場の地質環境調査開発： - ボーリング調査 - コントロールボーリング掘削試験： - 水平延長掘削、掘削長900m
地質環境モニタリング技術開発	- ボーリング孔を利用したモニタリング - 水圧連続観測 - 高精度傾斜計による地盤変形観測 - 遠隔監視システム開発 - 高密度電気探査適用試験	- ボーリング孔を利用したモニタリング - 水圧連続観測 - 高精度傾斜計による地盤変形観測 - 遠隔監視システム開発 - 高密度電気探査適用試験	- ボーリング孔を利用したモニタリング - 水圧連続観測 - 高精度傾斜計による地盤変形観測 - 遠隔監視システム開発 - 高密度電気探査データ分析・評価
深地層の工学技術の基礎の開発	- 情報化施工技術開発 - ステップ管理計測断面： - 換気立坑：深度220m - 東立坑：深度120m - 先行変位計測：換気210-230m - 通気網解析手法の開発	- 情報化施工技術開発 - ステップ管理計測断面： - 換気立坑：深度221m - 東立坑：深度117m - 先行変位計測：換気227-250m - 通気網解析手法の開発	- 情報化施工技術開発 - ステップ管理計測断面： - 東立坑：深度160m 140m水平坑道：2断面 - 通気網解析手法の開発
地層処分技術研究開発	- 低アルカリ性コンクリート技術開発 - 原位置試験計画策定 - 地層処分実規模設備整備事業における工学技術に関する研究 - 安全評価手法の高度化	- 低アルカリ性コンクリート技術開発 - 原位置試験計画策定 - 地層処分実規模設備整備事業における工学技術に関する研究 - 試験設備の設計・製作等 - 安全評価手法の高度化 - モデル検証のためのボーリング調査	- 低アルカリ性コンクリート技術開発 - 吹付施工試験、グラウト施工試験 - 地層処分実規模設備整備事業における工学技術に関する研究 - 試験設備の設計・製作等 - 安全評価手法の高度化 - モデル検証のためのボーリング調査

高透水ゾーン形成メカニズム検討(1/4)

■ 稚内層の浅部に発達するスプレークラックと層理面に高角な断層

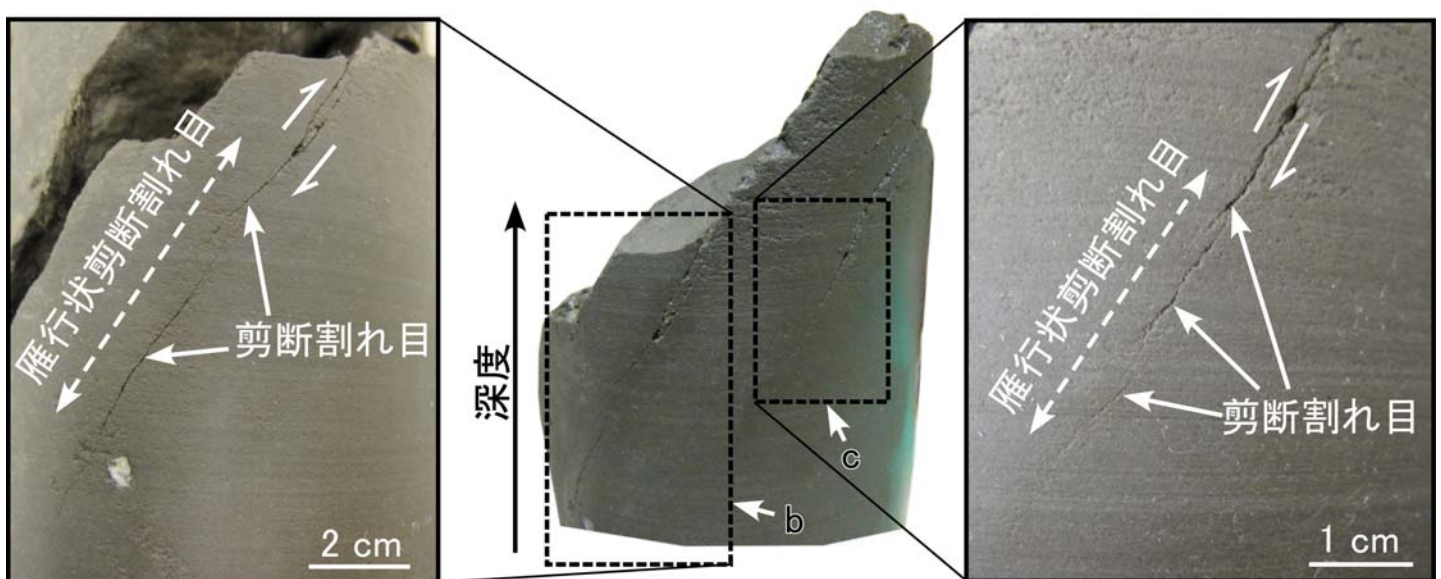


- 稚内層の水平露頭にて多数のスプレークラックとそれらによって連結し合う断層が確認される
- スプレークラック(引張割れ目)は、深度約400 m以浅で断層端部などに発達しやすいことが理論計算で推定される

11

高透水ゾーン形成メカニズム検討(2/4)

■ 稚内層の深部における層理面に高角な断層の端部

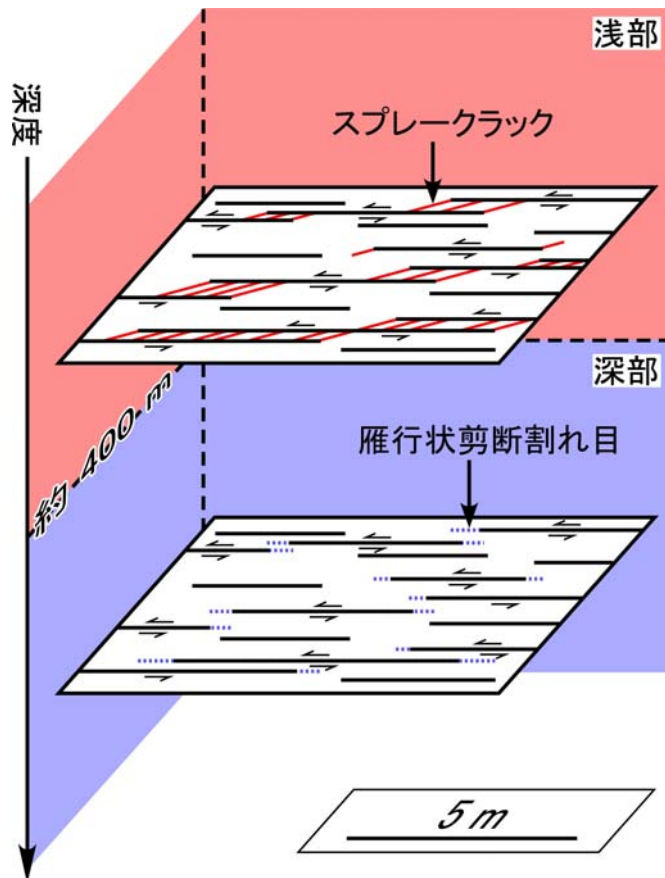


換気立坑先行ボーリングコア_深度469.6 m

- 稚内層の深部(約400 m以深)では断層の端部に雁行状に発達する剪断割れ目が認められることが多い
- 上記の剪断割れ目はスプレークラックのように断層同士の連結を促進しない

高透水ゾーン形成メカニズム検討(3/4)

■ 高透水ゾーンに関する仮説

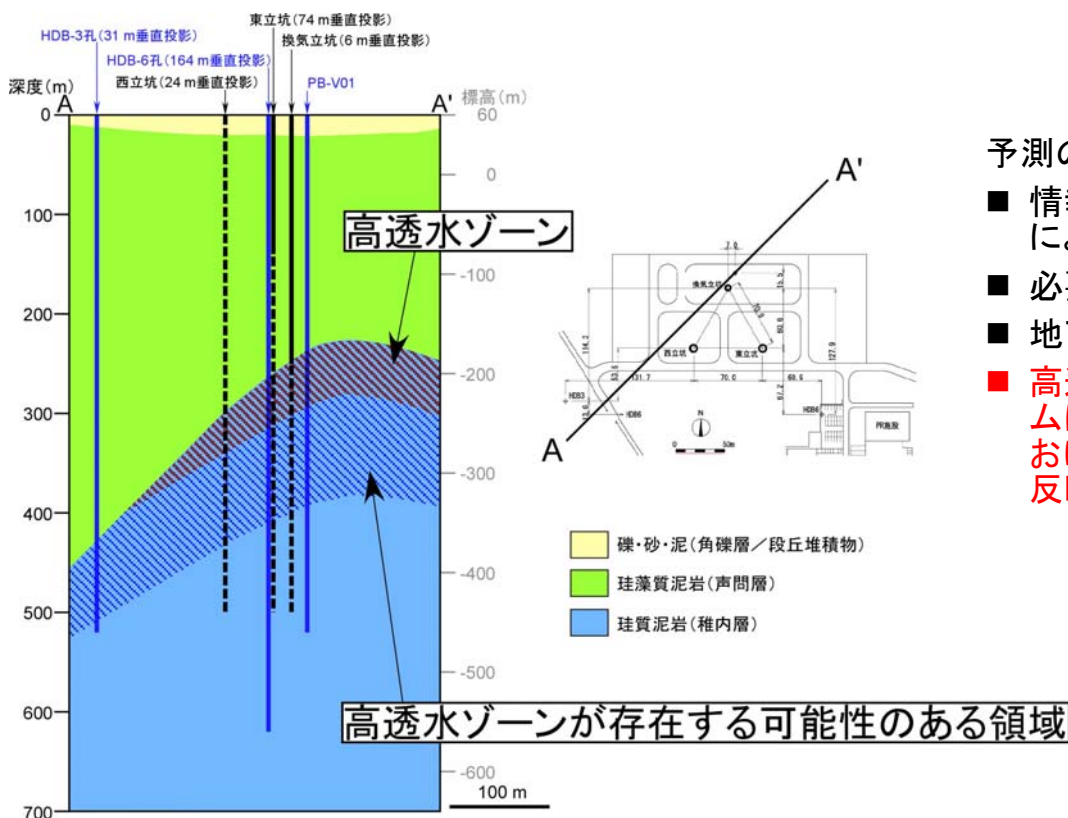


- 層理面に対して高角な断層は、隆起・侵食時に降に浅部で形成されるスプレークラックにより連結され、高透水ゾーンを形成
- 高透水ゾーンの深度方向への拡がりは一時的 (分布は概ね深度400m以浅)

13

高透水ゾーン形成メカニズム検討(4/4)

■ 仮説に基づく高透水ゾーンの予測



予測の検証と活用

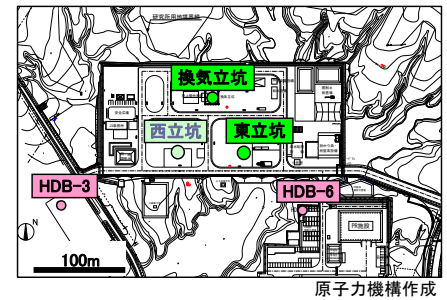
- 情報量の多い坑道壁面観察により仮説を検証
- 必要であれば仮説を修正
- 地下施設建設に情報を提供
- 高透水ゾーンの形成メカニズムに基づく、堆積岩分布域における水理構造モデルへの反映

14

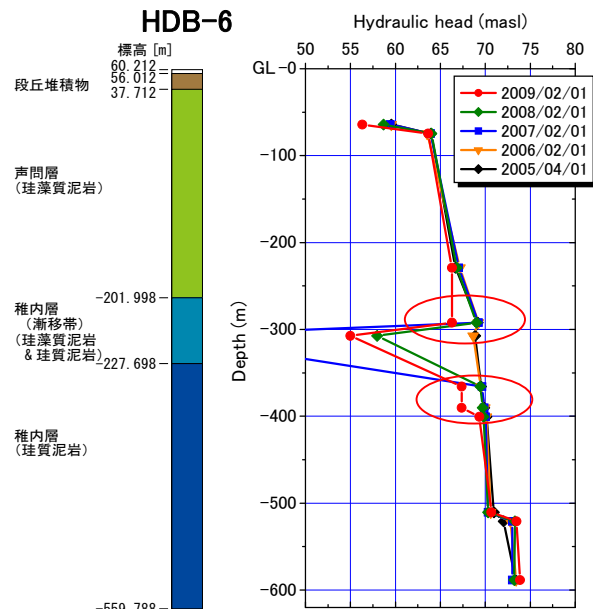
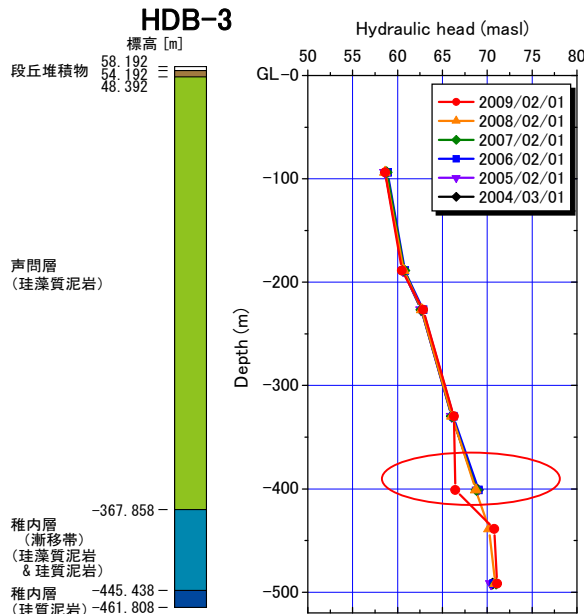
地下水の水圧長期観測(1/2)

立坑掘削に伴う影響

- 2006年以降の立坑掘削に伴う影響が、地下施設近傍のHDB-3孔および6孔において、地下水圧の低下(水頭の低下)として現れている。
- HDB-3孔では深度400m付近、HDB-6孔では深度300~400m付近で全水頭の低下が認められる。



原子力機構作成

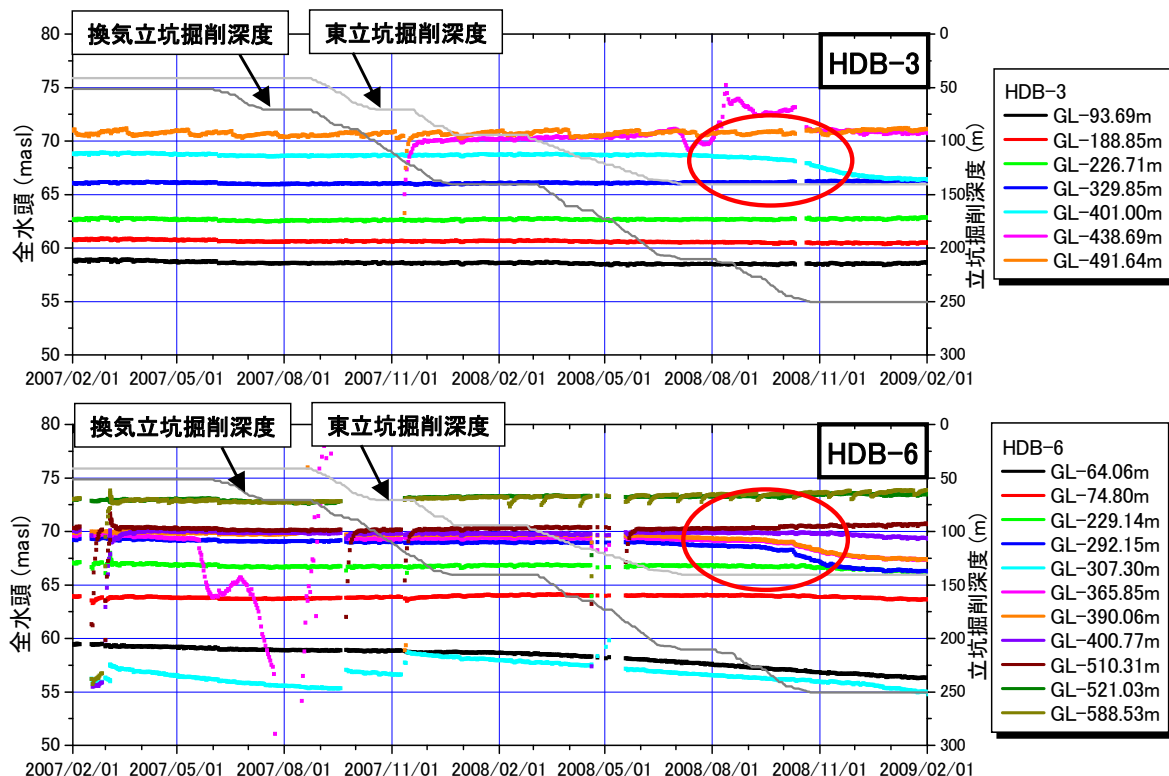


15

地下水の水圧長期観測(2/2)

立坑掘削に伴う影響

- HDB-3孔と6孔で、2008年8月の全水頭の低下傾向は酷似している。
- HDB-6孔においては地表面近く(G.L.-64.06m)でも全水頭の低下が認められる。

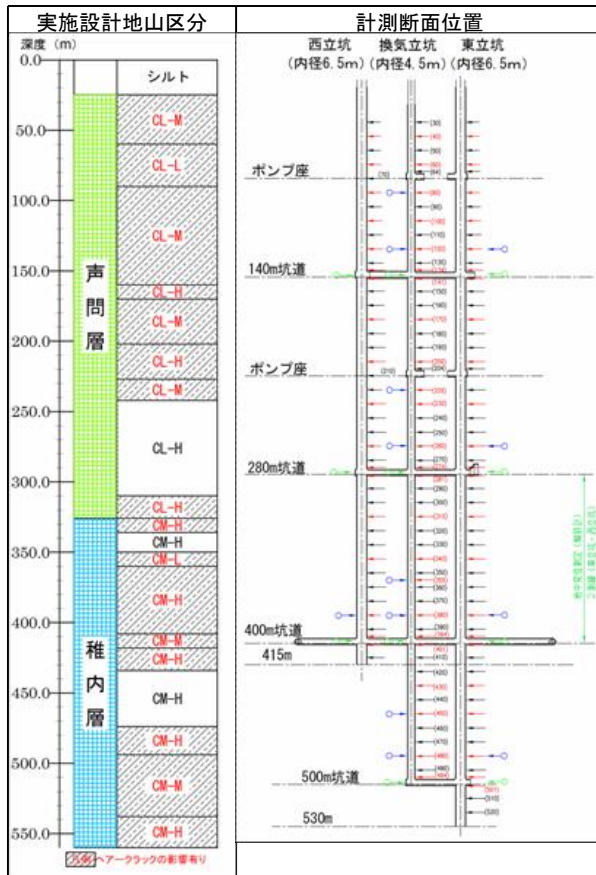


立坑掘削の影響と考えられる全水頭低下

16

深地層の工学技術の基礎の開発

■ 情報化施工プログラムの適用 -立坑の計測計画-



◆ 日常管理計測

- ①切羽地質観察は毎切羽
- ②内空変位計測
2測線は10m毎を基本
4測線は30m毎を基本

◆ ステップ管理計測

- ①一般部
・後続の水平坑道の設計・施工への反映を考慮して、接続部に近い位置を選定
・実施設計において想定した岩盤等級に対応するように計測断面を選定
- ②接続部
各水平坑道に対して選定

凡例

- ← 内空変位計測：2測線
- ← 内空変位計測：4測線
- ステップ管理計測（一般部）
- ステップ管理計測（接続部）

17

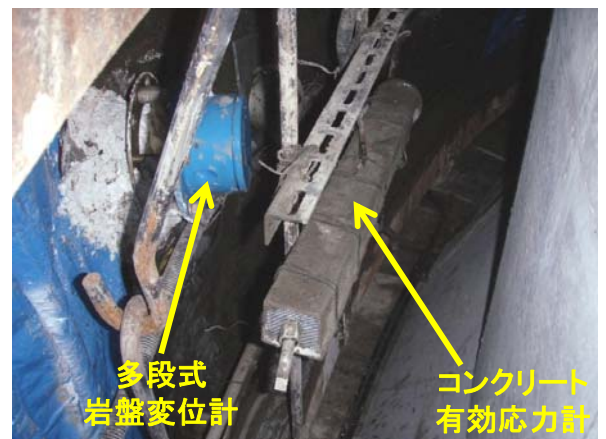
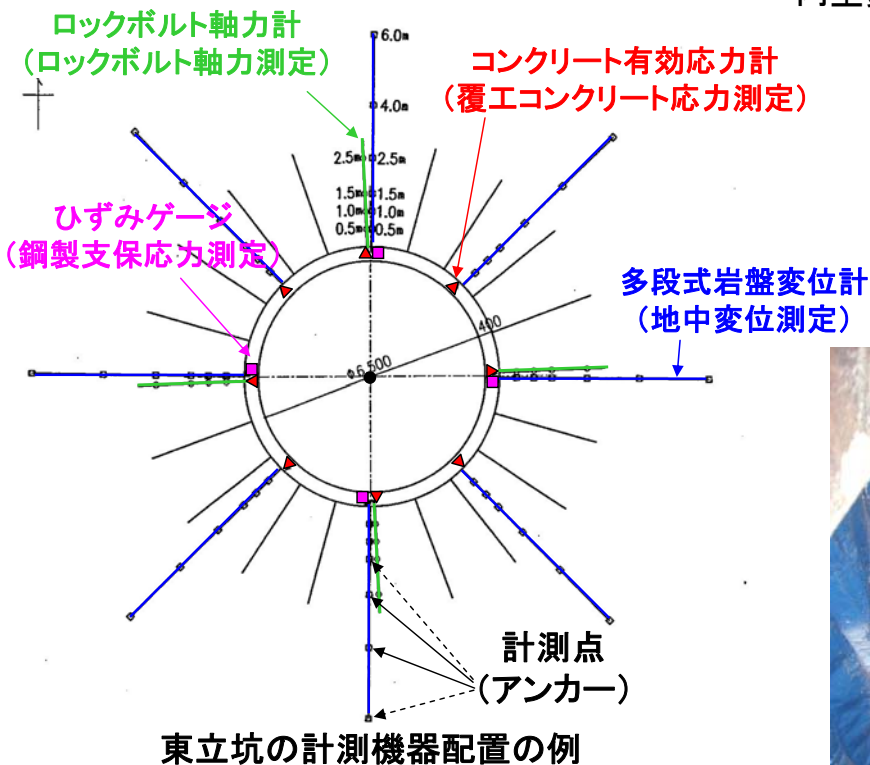
深地層の工学技術の基礎の開発

■ 情報化施工プログラムの適用 -立坑の計測計画-

ステップ管理計測（約50m間隔で実施）

日常管理計測（掘削切羽毎に実施）

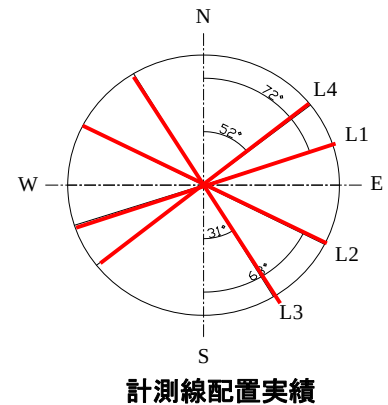
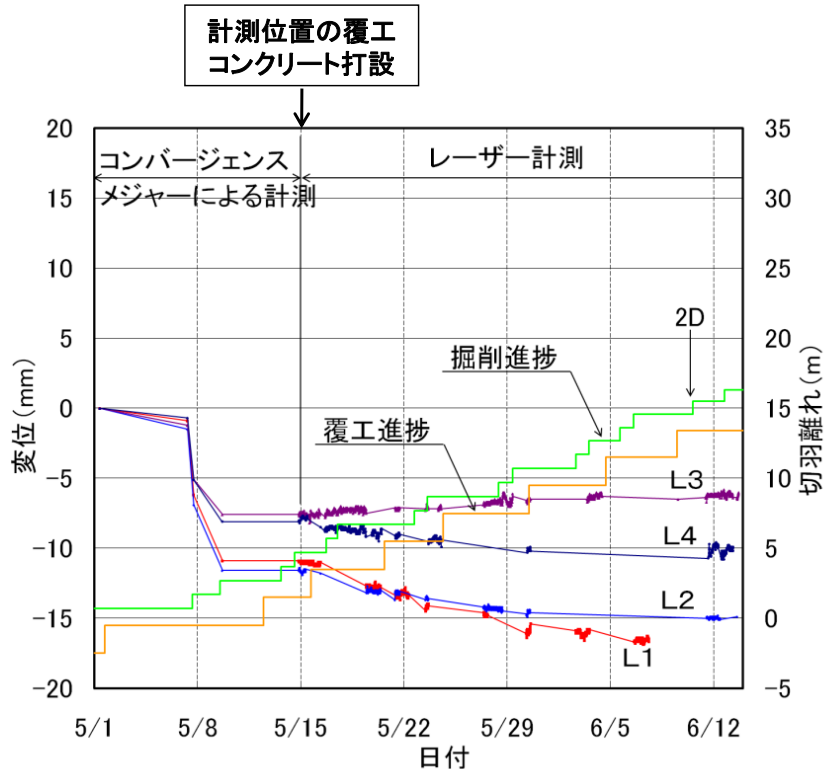
内空変位計測（10m間隔で実施）



18

深地層の工学技術の基礎の開発

■ 情報化施工プログラムの適用 -日常管理計測の例:内空変位-

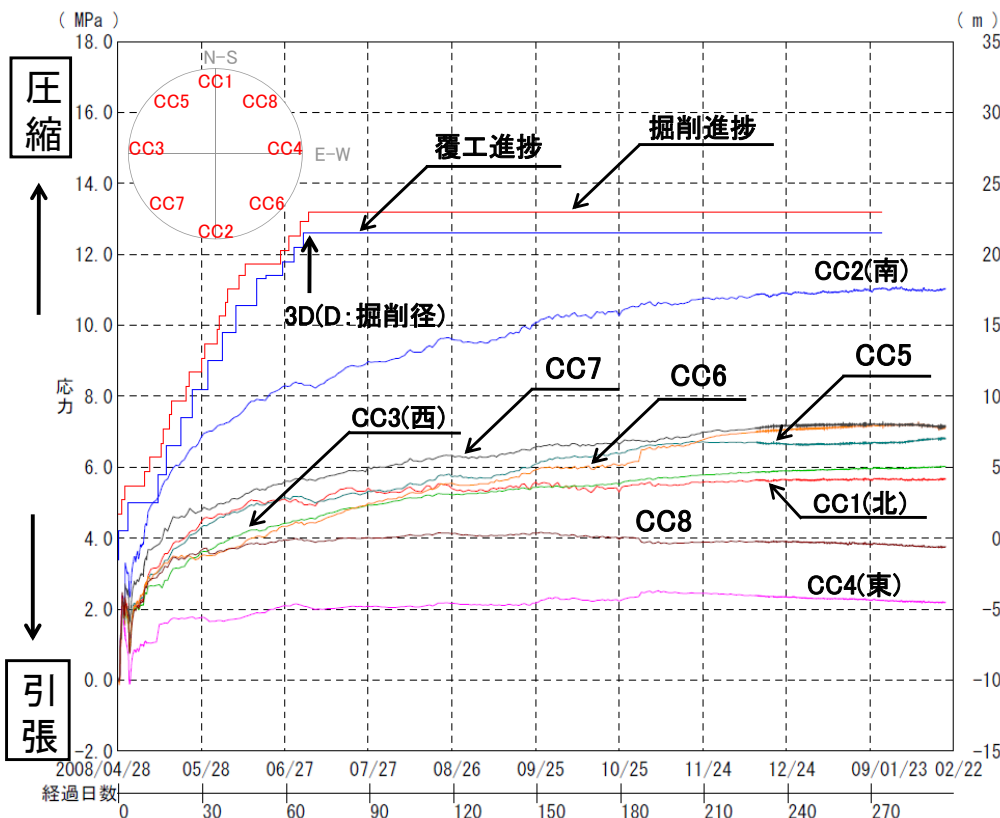


- ◆ 覆工前までは応力解放に伴い、変形が大きいですが、覆工後は剛性の高い覆工コンクリートにより変形が抑制されているため、変形が小さい
- ◆ 掘削径の2倍程度の切羽距離で概ね収束している。

内空変位計測の例(東立坑:深度120m)

深地層の工学技術の基礎の開発

■ 情報化施工プログラムの適用 -ステップ管理計測の例:覆工コンクリート応力-



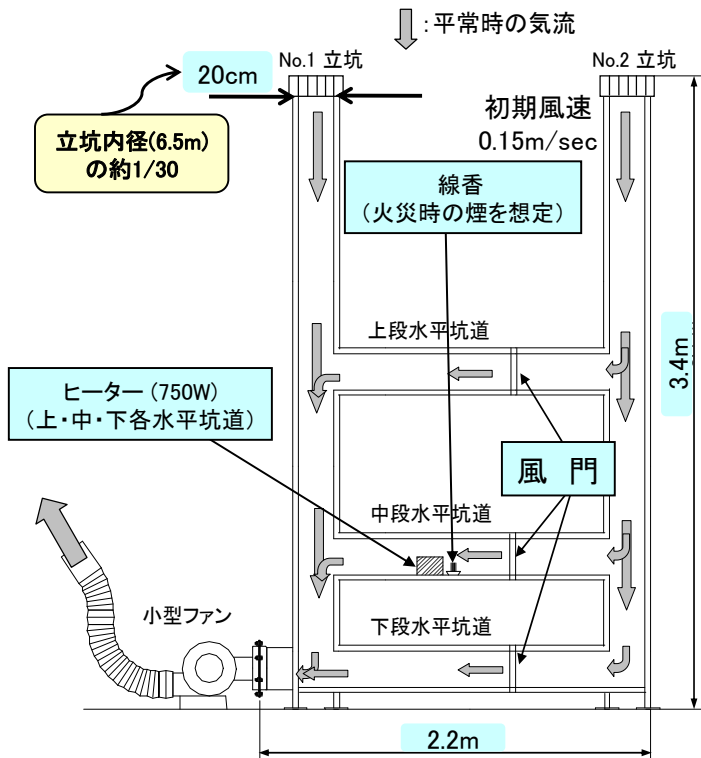
- ◆ 掘削解放力により圧縮側に覆工コンクリート応力が増加
- ◆ 掘削径の3倍程度の切羽距離で概ね収束
- ◆ 初期応力が水平面内において、東西方向が卓越しているため、覆工コンクリート応力は東西に比べて南北が大きい。

覆工コンクリート応力計測の例(東立坑:深度117m)

深地層の工学技術の基礎の開発

■ 防災対策の検討:火災時の通気挙動解析(1/3)

火災模型実験の概要



火災模型実験装置概要図

幌延の地層は、メタンを主成分とした可燃性ガスを賦存(数値解析による推定ガス湧出量 2~3m³/min)

坑道内における防災対策の信頼性向上を
目的



地下施設を模擬した火災時模型実験による 火災ガス挙動の把握 短時間で火災時の通気挙動を予測できるプ ロトタイプ解析手法を構築

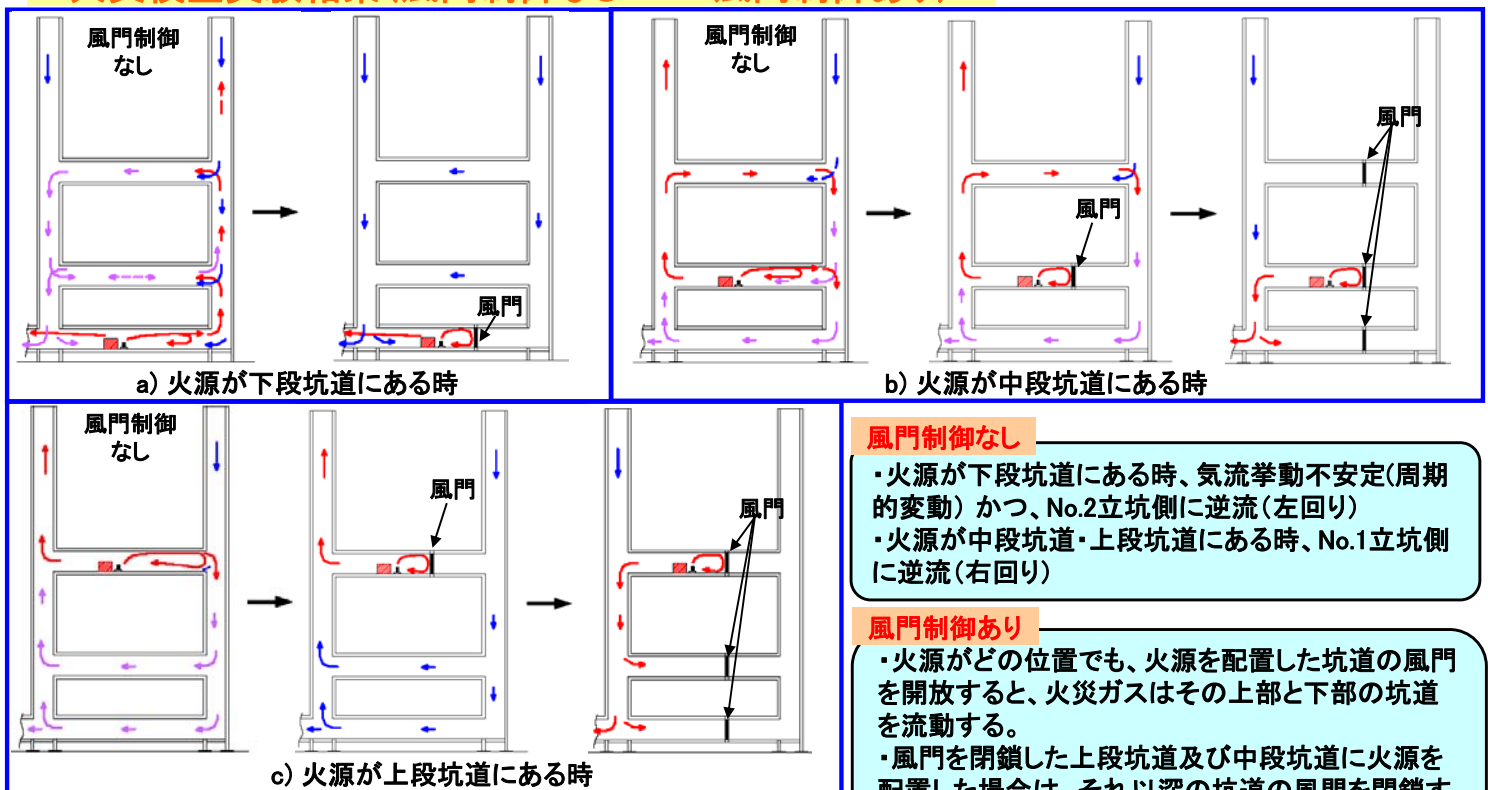
地下施設建設におけるメタンガス濃度対応基準

メタンガス濃度 (Vol%)	作業基準	警報
0.25～0.5	火気使用作業の禁止 非防爆電動工具の使用禁止	
0.5～1.0	火気取扱い作業の禁止	1.0以上で第1次警報 (パトライト点灯)
1.0～1.5	作業員退避	1.3以上で第2次警報 (パトライト点灯+ブザー)
1.5以上	坑内電源遮断	

深地層の工学技術の基礎の開発

■ 防災対策の検討:火災時の通気挙動解析(2/3)

火災模型実験結果(風門制御なし → 風門制御あり)



凡 例 : 入気 : 火災ガス : 入気と火災ガスの混合 : 両方向への動き
 : 等温線図からの火災ガス

風門制御なし

- ・火源が下段坑道にある時、気流挙動不安定(周期的変動)かつ、No.2立坑側に逆流(左回り)
- ・火源が中段坑道・上段坑道にある時、No.1立坑側に逆流(右回り)

風門制御あり

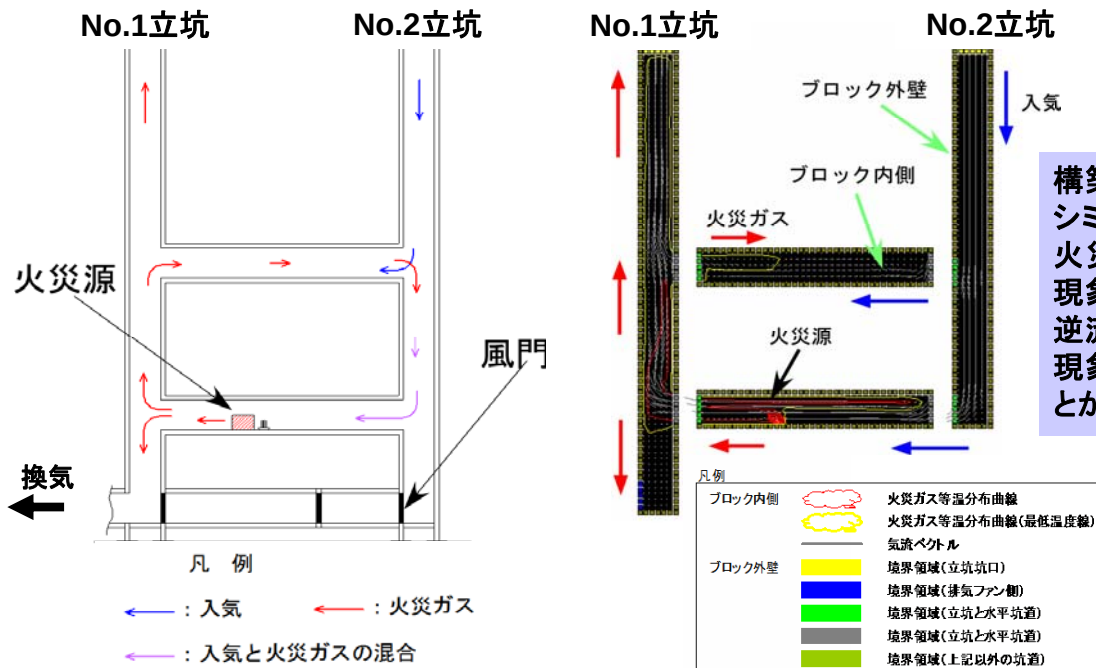
- ・火源がどの位置でも、火源を配置した坑道の風門を開放すると、火災ガスはその上部と下部の坑道を流動する。
- ・風門を閉鎖した上段坑道及び中段坑道に火源を配置した場合は、それ以深の坑道の風門を閉鎖すると通気主流は逆転しない。

深地層の工学技術の基礎の開発

■ 防災対策の検討: 火災時の通気挙動解析(3/3)

実験結果と解析結果の比較

通気網解析(風丸)と数値流体力学(M-CFD)を組み合わせた解析システムを構築



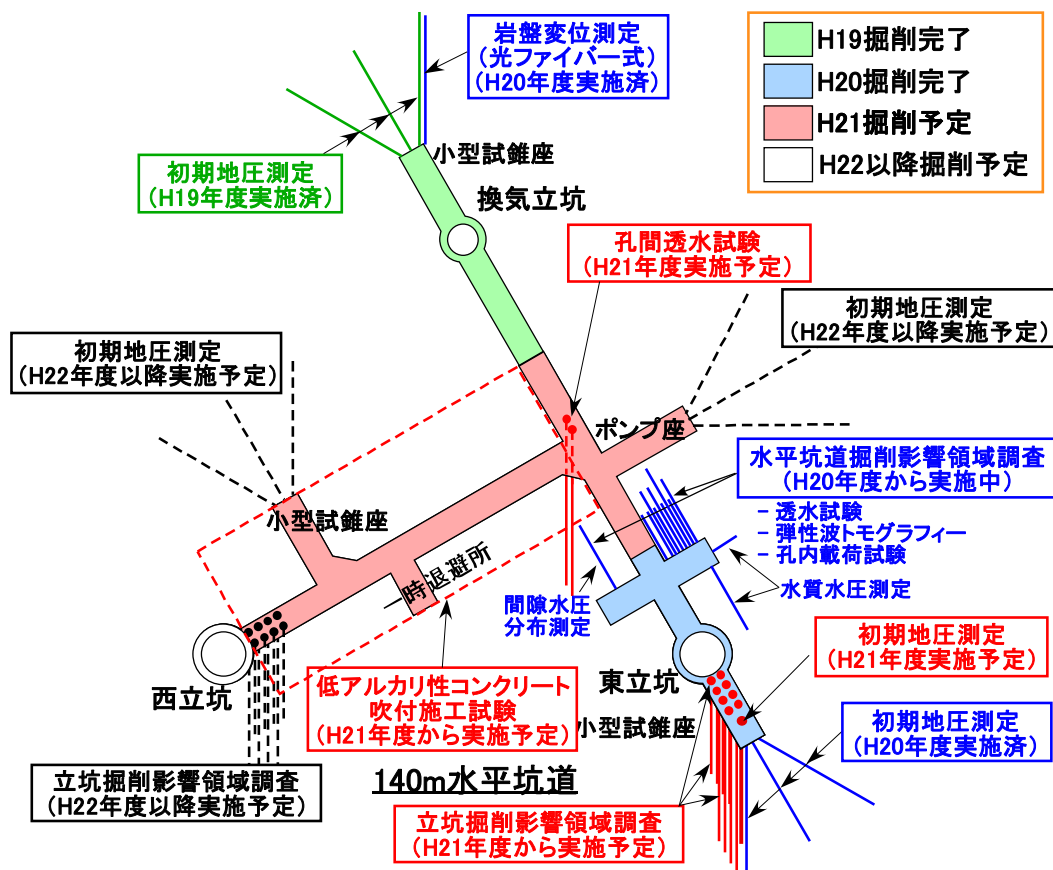
坑内火災を模擬した模型実験結果

坑内火災を模擬した通気挙動解析結果

構築した解析システムによるシミュレーション結果により、火災模型実験で確認された現象(火災ガスの浮力による逆流現象や通気主流の逆転現象等)を再現可能であることがわかった。

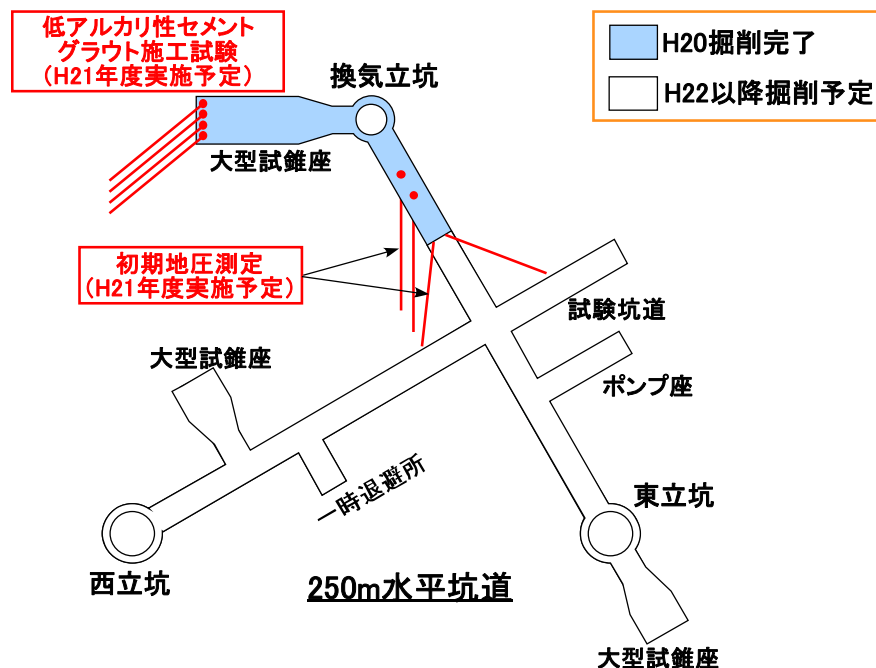
140m水平坑道原位置試験レイアウト

■ H20年度までの実績とH21年度の原位置試験計画



250m水平坑道原位置試験レイアウト

■ H20年度までの実績とH21年度の原位置試験計画



25

（岩盤力学）初期地圧測定（1/2）

■ 初期地圧測定の概要

＜第1段階＞

地上部からのボーリング孔を用いて2次元水平面内の初期地圧を評価した。

＜第2段階＞

地下施設の坑道よりボーリング孔を掘削し3次元の初期地圧を評価していく予定。

第1段階で評価した初期地圧の妥当性確認および更新を目的とし、3次元の初期地圧を把握

初期地圧測定用ボーリング孔掘削状況（H19年度）



平成19年度
測定箇所

07-V140-M01孔
07-V140-M02孔
07-V140-M03孔

初期地圧測定用
ボーリング孔(20m×3本)

換気立坑

東立坑

小型試験錐座

小型試験錐座

深度140m水平坑道

深度140m水平坑道側面図

平成20年度
測定箇所

08-E140-M01孔
08-E140-M02孔
08-E140-M03孔

初期地圧測定用
ボーリング孔(20m×3本)

■ 実施内容と今後の予定

■ 平成19年度：

換気立坑深度140m小型試験錐座にて**水圧破碎法**、**ポアホールブレイクアウト法**により3次元初期地圧を推定した。

■ 平成20年度：

東立坑深度140m小型試験錐座にて**水圧破碎法**による測定を終了。⇒現在、解析中。

■ 平成21年度：

東立坑深度140m小型試験錐座および換気立坑深度250mの水平坑道にて**水圧破碎法**、**孔壁変形法**、**孔底変形法**による測定を実施予定。

26

(岩盤力学)初期地圧測定(2/2)

■平成20年度までの成果

■測定方法の比較:

水圧破碎法とボアホールブレイクアウト法の結果には、比較的良い一致が認められた。

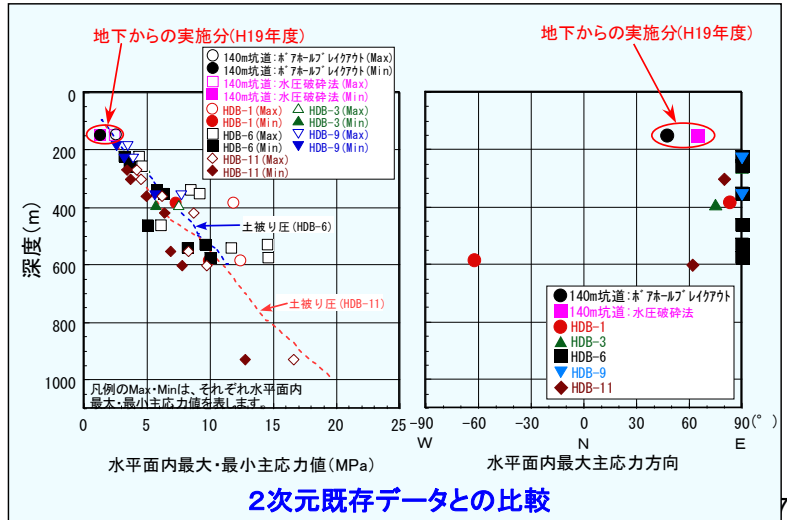
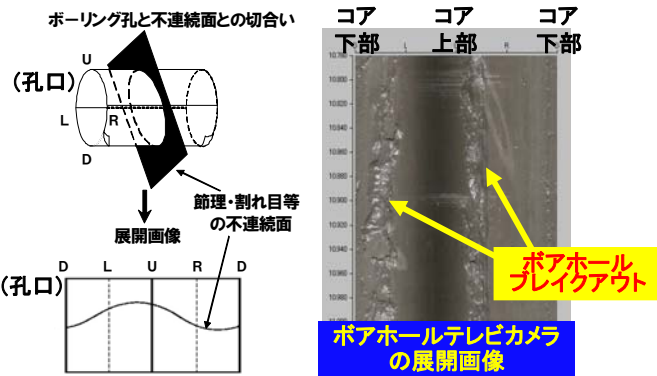
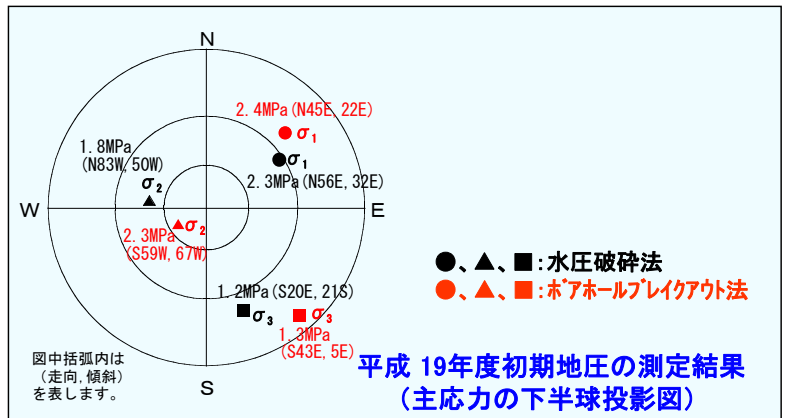
■既存データとの比較(水平2次元で比較)

<主応力の値>

水平面内最大主応力値は、土被り圧とほぼ一致。

<主応力の方向>

水平面内最大主応力の方向は、これまで東西方向であることが得られていたが、今回の結果では、東西方向から反時計回りに25°、43°の方向にある結果が得られた。



(岩盤力学)光ファイバー式地中変位計の開発

■目的と概要

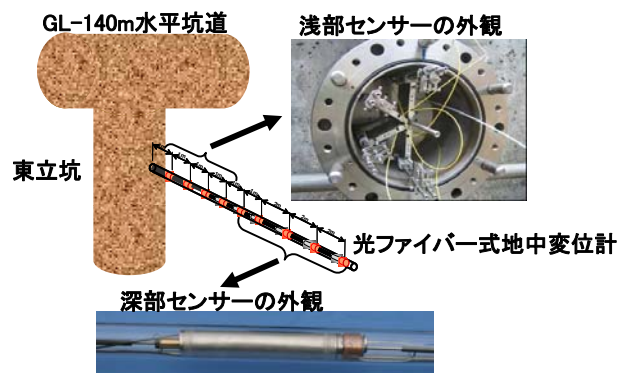
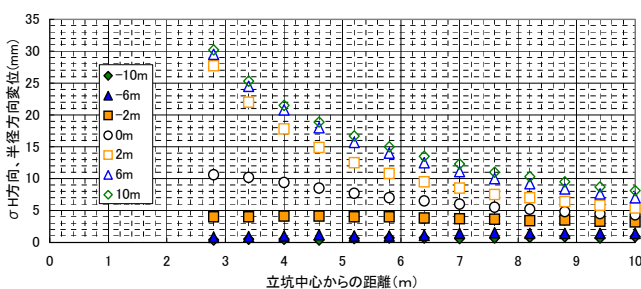
- 坑道周辺岩盤の長期挙動を高精度で計測するため、長期耐久性を有する光ファイバーを利用した多段式の地中変位計の開発を実施
- 換気立坑の三次元逐次掘削解析から推定される坑道周辺に発生する予想変位から複数のタイプの変形レンジを持つ変位計を設計

■平成20年度までの実績

- 室内検定試験をベースにしたプロトタイプ的设计と開発
- 作業性と原位置の適用確認試験

■平成21年度の計画

- 掘削影響領域の長期挙動を把握するために、立坑掘削影響試験エリアに埋設し、長期挙動評価に使用



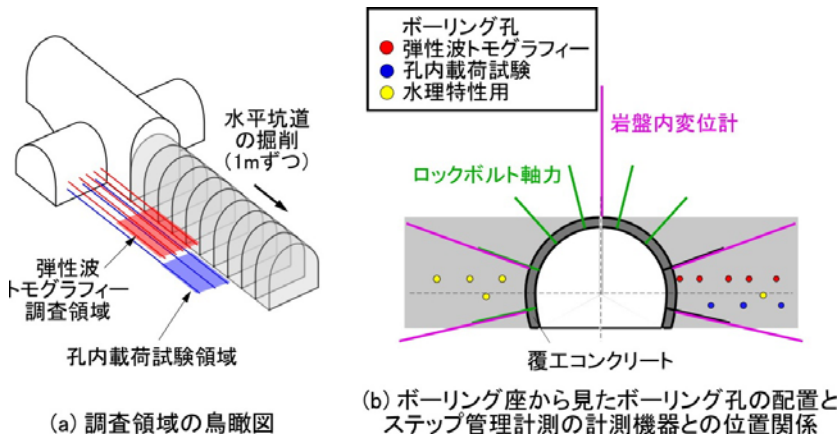
(岩盤力学)掘削影響領域調査(1/2)

■掘削影響領域に関する力学試験(計画)

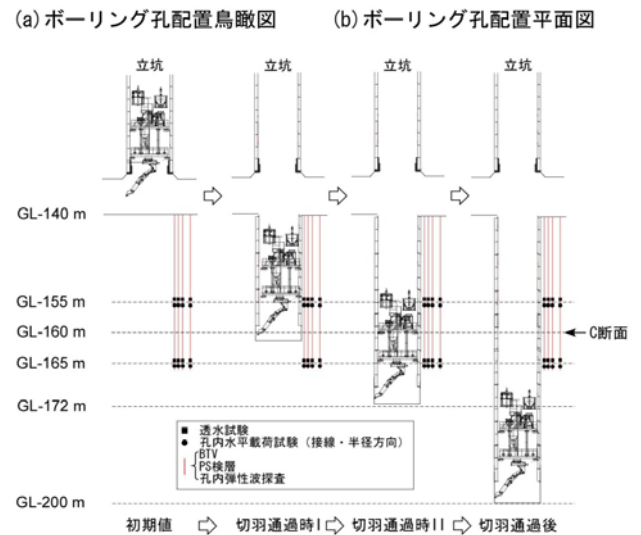
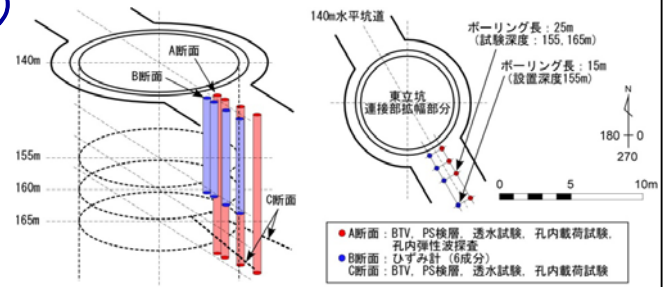
<全体概要>

立坑及び水平坑道の掘削に伴う立坑(坑道)周囲に発生する掘削影響領域の力学特性を把握するため、ボーリング孔を用いた調査・試験を実施する。

地下施設の建設で実施している情報化施工のための日常管理計測やステップ管理計測の計測断面と連携させ、これらの管理計測で取得される内空変位、吹付けコンクリート応力、覆工コンクリート応力、鋼製支保工応力、ロックボルト軸力などのデータを合わせ、総合的に掘削影響領域の力学特性を評価する。



140m水平坑道掘削影響領域調査の概要図



立坑掘削影響領域調査の概要図

29

(岩盤力学)掘削影響領域調査(2/2)

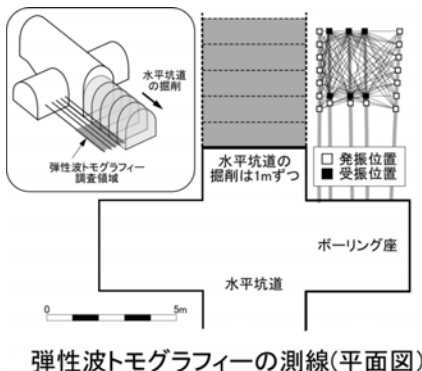
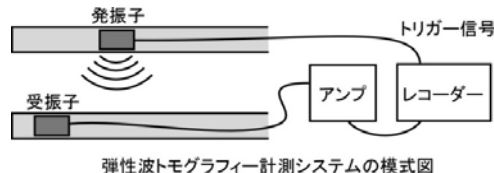
■水平坑道掘削影響領域に関する力学試験(実績と計画)

■弾性波トモグラフィー調査

<目的・内容>

地下施設の坑道掘削に伴う坑道の周辺岩盤の力学特性を把握するため、水平ボーリング孔を用いた弾性波トモグラフィー調査を実施する。

平成20年度は、5本のボーリング孔(長さ6.5m)をボーリング座から掘削し、受振子の設置を行うとともに、水平坑道掘削前の状況(初期状態)を把握するため、弾性波トモグラフィー調査を行った。

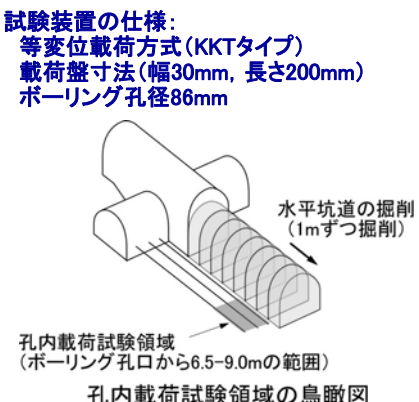


■孔内载荷試験

<目的・内容>

地下施設の坑道掘削に伴う坑道の周辺岩盤の力学特性を把握するため、水平ボーリング孔を用いた孔内载荷試験を実施する。

平成20年度は、3本のボーリング孔(長さ9.0m)をボーリング座から掘削し、水平坑道掘削前の状況(初期状態)を把握するため、孔内载荷試験を行った。

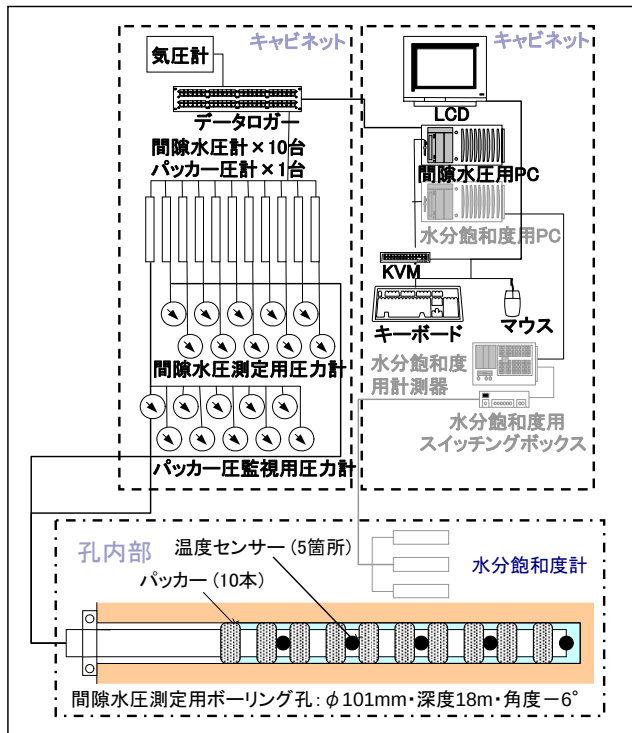


30

(水理)掘削影響領域調査(1/2)

■ 140m水平坑道における間隙水圧測定

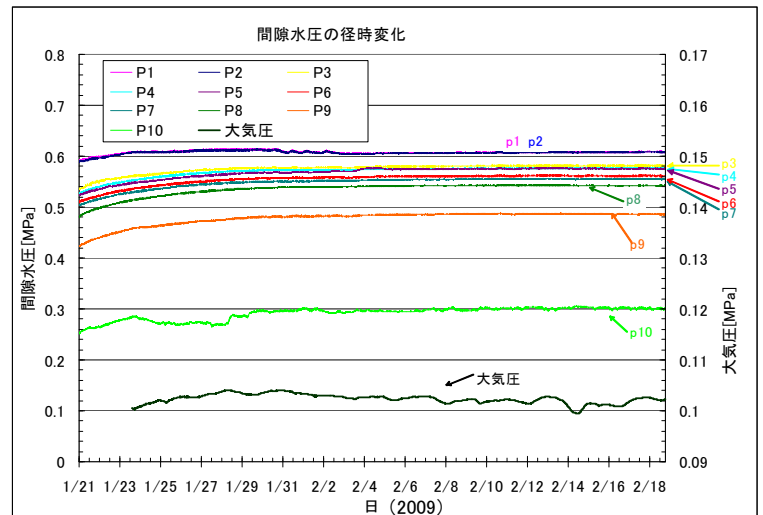
- 平成20年度実績: 間隙水圧測定装置の設置と初期状態測定
- 平成21年度計画: 水平坑道掘削に伴う間隙水圧モニタリング



間隙水圧測定装置概念図



間隙水圧測定装置設置状況



間隙水圧の測定結果(初期状態)

31

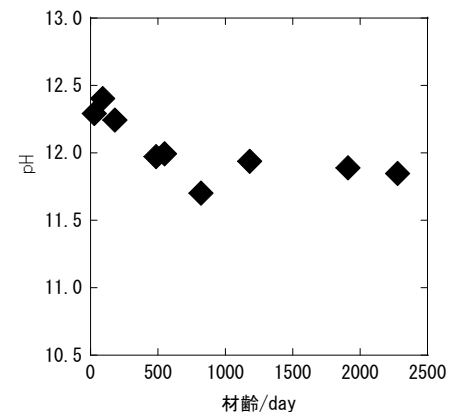
処分技術の信頼性向上

■ 低アルカリ性コンクリート材料の開発(1/2)

- 低アルカリ性セメント (HFSC: Highly Flyash contained Silicafume Cement)
- ポゾラン材料(シリカフューム, フライアッシュなど)を多量に配合したセメント
 - ポゾラン反応を利用してセメント間隙水のpHを低下(目標pH<11)

平成20年度の成果

- ◆ 吹付けコンクリートの配合選定
 - 幌延の地下施設での施工が可能なことを確認
- ◆ 覆工コンクリートの配合選定
 - 立坑の覆工コンクリートとしての配合を選定
- ◆ pH低下挙動の長期観測の継続
 - 円板供試体(直径5cm、高さ2cm)を蒸留水に浸漬、浸漬後6年間の結果を取得



pH低下挙動(HFSC424の場合)

選定した低アルカリ性コンクリートの配合案

	W/B (%)	スランプ (cm)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m ³)					
				水 W	結合材(B)			細骨材 S	粗骨材 G
					OPC	SF	FA		
吹付け	35	21±2	60	175	200	100	200	935	628
覆工	37.5	18±2.5	42.5	144	154	77	154	737	1025

※OPC: 普通ポルトランドセメント, SF: シリカフューム, FA: フライアッシュ

32

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(2/2)

平成21年度原位置吹付施工試験の概要

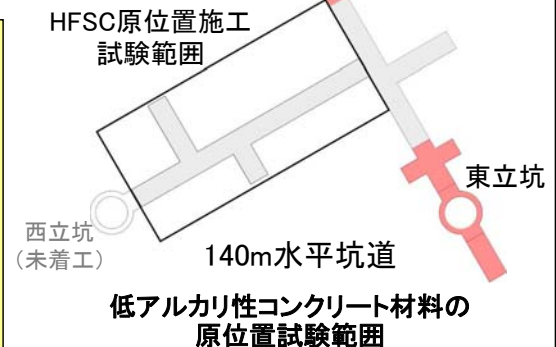
1. 施工前(地上での実施)

- ① プラントを用いてのHFSCの製造
- ② 実機による模擬吹付け試験の実施
 - ・ 初期強度試験, フレッシュコンクリート性状など

2. 施工中(地下での実施)

- 数年毎にサンプリング, 全体で10年程度の経時変化取得
- ① 地下施設でのHFSCによる吹付け
 - ・ 吹付け施工性の確認, 初期強度試験など
 - ② 岩盤の化学特性に関する調査
 - ・ 施工後の壁面からコアリング→鉱物試験, 元素分析など
 - ③ 地下水の水質分析
 - ・ コアサンプリング孔から採取する地下水の水質分析
 - ④ 地下水採水装置の設置
 - ・ ボーリング孔に採水装置を設置し, 定期的に水質分析

■ 平成20年度施工範囲
■ 平成21年度施工範囲



吹付け施工のイメージ
(通常の吹付けコンクリート施工の様子) 33

処分技術の信頼性向上

■ 地層処分実規模設備整備事業における工学技術に関する研究(1/2)

(経済産業省資源エネルギー庁が進める公募事業の受託機関との共同研究として実施)

◆ 目的

地層処分の概念や安全性について国民の理解促進に資することを目的とした体感設備を整備し、人工バリアの搬送・定置や操業技術等の工学技術に関する研究(調査、設計、製作、解析等)を実施する。

◆ 平成20年度の実績とスケジュール

● 全体計画の策定と試験設備の設計・製作

(1) 地上での設備と試験

- 1) 建屋
- 2) 人工バリア
- 3) 緩衝材定置試験
- 4) 人工バリア長期挙動試験

(2) 地下での設備と試験

- 1) 緩衝材の回収試験
- 2) オーバーパックの腐食試験

● スケジュール

項目		年度					
		H20	H21	H22	H23	H24	H25
全体計画		全体計画策定					
地上の設備	仮設の建屋	設計・製作	仮設	移設			
	建屋および装置の整備	設計・製作					
		運用(試験を含む)					
地下の設備		設計		準備	設計・製作・運用(試験を含む)		

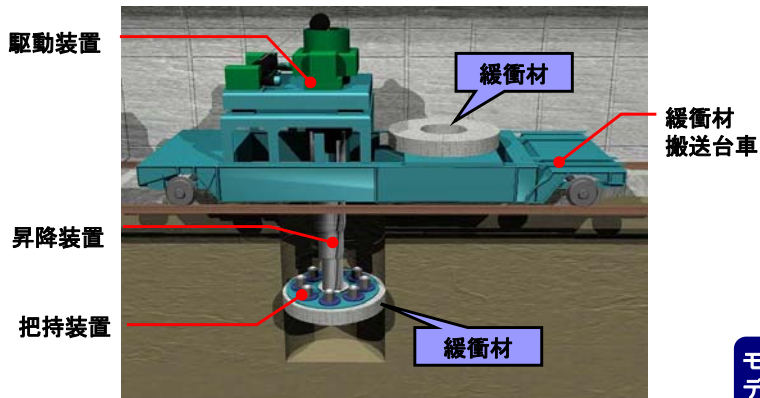
注) 今後の予定は予算と幌延深地層研究センターのスケジュールにより変更が生じることがあります。

処分技術の信頼性向上

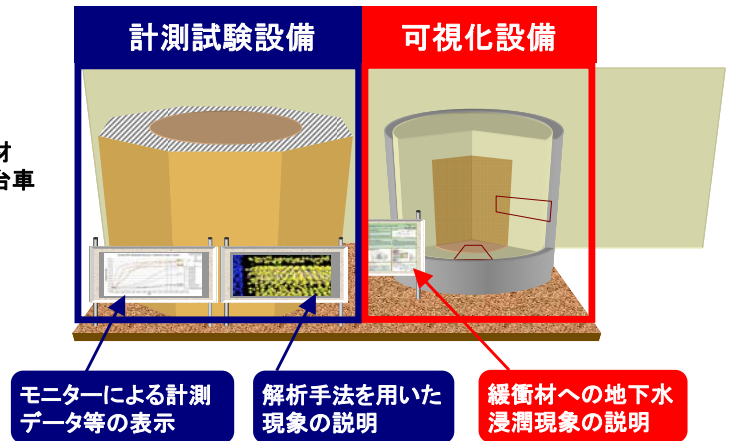
■ 地層処分実規模設備整備事業における工学技術に関する研究(2/2) (経済産業省資源エネルギー庁が進める公募事業の受託機関との共同研究として実施)

◆ 平成21年度の計画

- 地上での設備と試験の設計・製作
 - 緩衝材定置試験設備
 - 人工バリア長期挙動試験設備



緩衝材定置試験設備の概念図



人工バリア長期挙動試験設備の概念図

注)これらの現在設計中であり、今後変更が生じることがあります。

東立坑: 深度140m拡幅部

