

1. 背景・目的

背景

これまで「サイトを特定しないSite-genericな検討」が主であり、事業推進の観点からは十分とは言えない面があった。

また、現状の機構内の調査計画は概ねサイトの地質の長期安定性把握を主な目的としているため、設計、性能評価の観点から調査に求める項目を抽出する必要がある。

検討の目的

■実際の地質環境条件を参考に作成した仮想的サイト条件を基にSite-specificな設計、性能評価を各調査段階について試行し、各段階のデータセット及び解析・検討の具体的な内容を把握する。

■設計、性能評価の観点から調査へ求める項目を抽出する。

検討概要

■実際の地質環境条件を参考に仮想サイト条件を構築

文献、概要、精密の各調査段階の仮想データセットを構築

■仮想データセットを用いた設計・性能評価の試行

処分坑縦置き定置方式で検討。各調査段階で、空洞安定性・地下水流動・核種移行等を評価。処分パネル設置位置の検討。既往検討より処分パネル数6で検討。人工バリアは「第2次とりまとめ」のレファレンスと同じ。

2. 検討成果

2.1 各調査段階で得られるデータ内容(仮想データセットの構築)

- 一般土木プロジェクトの実際の調査結果(比較的急峻な地形、古生代の堆積岩)を参考に各調査段階で得られると考えられるデータセットを情報の一貫性に留意して設定した。不足する情報は「第2次とりまとめ」等で補足。解析・検討側の意向・情報は遮断している。
- 「応募要領」にある地下施設の掘り方を投影した10km²程度に余裕を見た広さ(数km×数km)を検討エリアとして設定。

表-1 調査段階別の調査内容、データ内容

段階	主な調査内容	主なデータ内容
文献調査	・5万分の1, 20万分の1の地質図 ・地質図記載の岩種に関する一般的知見	・地質; 3層に区分。検討エリア左1/3付近をほぼ鉛直の推定断層が横断。 ・地圧; 側圧比 $K=164/深度(m)+0.74$ ・力学特性; CH級平均。c=2.7MPa, $\phi=50^\circ$, 弾性係数 $E=5.9GPa$ ・透水性; 100m以深岩盤 $5E-8m/s$ (先新第三系堆積岩対数平均の1/10), 断層 $1E-6m/s$ (断層破砕帯の平均値)
概要調査	・地表踏査, 物理探査 ・ボーリング, BHTV, コア観察 ・孔内試験 ・一軸圧縮試験	・地質; 4層に区分。推定断層を否定。 ・地圧; $K=0.61$ (孔内調査水平2次元; スリープフラクチャリング法) ・力学特性; CH級平均。一軸試験のためのため強度は文献調査段階と同じ。E=15GPa(コア状況から設定) ・透水性; 200m以深岩盤 $1E-8m/s$ (ルジオン試験測定下限) ・亀裂特性; 1.1本/m, 顕著な異方性無し(BHTV)
精密調査	・調査坑道 ・原位置岩盤力学試験 ・高精度透水試験	・地質; 4層のうち1層を3細分。 ・地圧; $K=0.51$ (坑内調査3次元; 応力解放法) ・力学特性; 4層のCH級。夫々(c[MPa], ϕ [°])=(1.9, 40), (2.7, 50), (2.7, 50), (3.4, 57), E[GPa]=10, 13, 13, 19(平板荷重試験結果等) ・透水性; 岩盤 $1E-9m/s$ (調査坑道での高精度透水試験) ・亀裂特性; 0.6本/m, 顕著な異方性無し(調査坑道)

2.2 各調査段階で実施した(実施可能な)解析・検討内容

熱影響の検討

仮想データセットの地表面温度、地温勾配及び後述する設置深度が「第2次とりまとめ」の硬岩の場合より小さいことを確認。「第2次とりまとめ」の硬岩では緩衝材の温度制限が坑道間距離・処分坑間距離に影響しないことから、以降の詳細な熱影響の検討を省略。

空洞安定性の検討

文献調査段階から処分坑・処分坑道のFEMモデル(縦置き)を構築し、調査段階毎に地圧と岩盤力学特性を更新して解析を実施。設置可能な坑道間・坑間距離、深度を探った。精密調査段階では4層のうち最弱層を除外した。

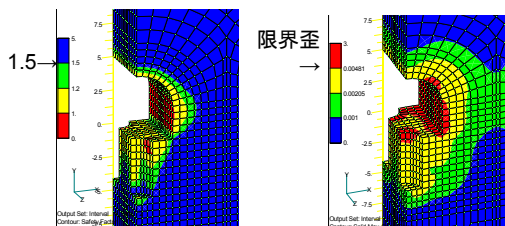


図-1 空洞安定性解析結果の例 (左:局所安全率 右:最大せん断ひずみ)

広域地下水流動解析

文献調査段階では検討エリアを含むより広域のエリア(数十km×数十km)大、概要調査段階では検討エリア大のモデルで各調査段階の地質構造情報、水理情報でFEMモデルを構築し解析。候補位置(平面、深度)を起点とする流跡線を描き湧出点までの移行時間を算出。

断層より上流側を起点とする移行時間は、断層を考慮しない場合より小さくなる傾向が得られた。

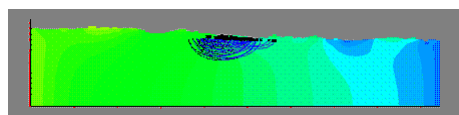


図-2 検討エリアより広い広域地下水流動解析結果(全水頭分布と流跡線)

ニアフィールド地下水流動解析

概要・精密調査段階において、ニアフィールドの亀裂特性(頻度、方向、透水量係数(透水係数、亀裂頻度等により推定)等)を基に発生させた3次元亀裂ネットワークに等価な透水係数テンソル分布のFEMモデルで解析(図-3.4)。動水勾配は広域地下水流動解析結果を参照。

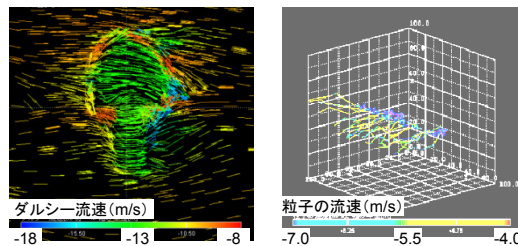


図-3 坑道、処分坑近傍の地下水流速ベクトル図の例

図-4 流跡線の例

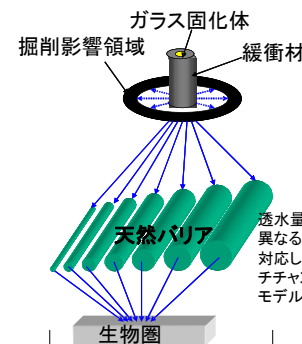


図-5 核種移行解析モデル

核種移行解析

「第2次とりまとめ」と同じ、一次元の人工バリア中移行モデルと、一次元平行平板モデルの重ね合わせの天然バリア中移行モデル(図-5)。生物圏は河川水/山地モデル。

＜広域地下水流動解析結果に基づく場合＞

人工バリア中移行モデルでは掘削影響領域流量、天然バリア中移行モデルでは広域的透水係数、亀裂頻度等から推定した値を中心とした亀裂透水特性や他のパラメータを変動させて解析し、ある程度の幅で「移行時間と線量の関係」を把握。

＜ニアフィールド地下水流動解析結果に基づく場合＞

流跡線状況の分析から求めた人工バリアからの移行率及びニアフィールド境界からの移行率を近似するように、掘削影響領域流量の組み合わせとマルチチャンネルの透水量係数分布を使用。

2.3 各段階で得られる成果

空洞安定性により規制される設置深度・位置

各調査段階で得られる強度は殆ど変わらなかったが、弾性係数と側圧比の変化により設置可能な深度が、文献650m→概要1300m→精密600mと変遷。急峻な地形であり処分パネルは一定の平面規模があるため、尾根部直下等の最大深度がこの規制値内に収まるように配置。尾根から離れた部分の深度は最大でこれより数百m小さくなる。

地下水流動・核種移行解析結果により規制される設置位置・深度

＜文献調査・概要調査段階; 広域地下水流動解析結果に基づく場合＞

移行時間を深度別に図-6のように図化し、核種移行解析による「移行時間と線量の関係」より導出した目標移行時間(数万年程度)をある程度の広さで満足する位置を候補とした。検討エリアの上流側に限定される。深いほど有利であるが尾根部から600m程度で深は移行時間はあまり変わらない(図-7)。

＜概要調査・精密調査段階; ニアフィールド地下水流動解析結果に基づく場合＞

同じような方法で実施の「第2次とりまとめ」では上記の広域地下水流動解析結果に基づく場合に該当する結果とほぼ同じであったが、今回は広域地下水流動解析結果に基づく場合を上回る性能が確認された。

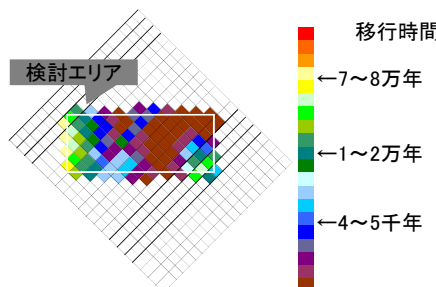


図-6 検討エリア移行時間分布の例

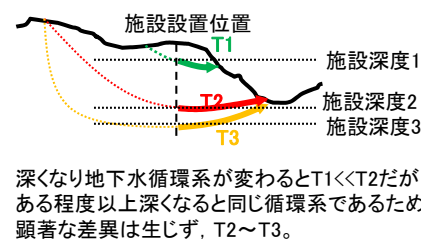


図-7 後背山地の影響

処分パネルレイアウトの変遷

ニアフィールドの解析結果は広域の解析結果の補充と位置づけ、主に広域地下水流動・核種移行結果及び空洞安定性から図-8のように設定。文献及び概要調査段階では岩盤特性の不確実性を考慮してパネルの大きさを必要値より拡大している。文献調査段階では条件を満たすエリアが小さいため2層配置となった。精密調査段階では最弱層へのパネル配置を避けた。

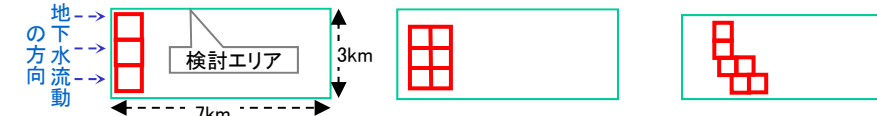


図-8 検討エリア内処分パネルレイアウトの変遷(左:文献 中:概要 右:精密調査段階)

2.4 得られた知見と調査への提言

各調査段階におけるデータセット内容とそれに応じた解析手法、検討プロセスを把握できた。その結果、設計・性能評価とサイト特性評価の相互関係が、具体的な情報の流れに基づいて理解された。

ニアフィールドの詳細な地下水流動・核種移行解析により、処分パネル設置位置の性能が上回る可能性が抽出された。

設計・性能評価に与える影響が大きい下記について、出来るだけ早い段階で詳細情報を得る調査計画の必要性と、検討手法の整備(括弧内)が認識された。

- ◆ニアフィールド詳細解析に必要な亀裂情報(広域透水性との関係の把握)
- ◆設置可能深度に影響する地圧(調査法による違いの把握)

3. 今後の課題

沿岸部の特徴を反映した仮想的サイト条件を用いた検討

海水準変動による塩淡水境界移動を考慮した地下水流動(密度流含む)・核種移行解析
海水系地下水条件が人工バリア・建設・操業機器・材料に与える影響
沿岸部地形特徴が建設・操業計画に与える影響 etc