

—地質・地質構造に関する調査研究—

地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット
中俣 公德・天野 健治・鶴田 忠彦・松岡 稔幸・鏡 顕正・程塚 保行

1) 目標・実施概要

全体目標を受けて設定した地質・地質構造に関する調査研究における個別目標と課題

- 地質構造(岩盤の地質学的不均質性、被覆層の厚さ、移行経路として重要な構造)の三次元分布の把握
- 地下空洞周辺の力学・水理状態の把握に必要な不連続構造などの有無の把握

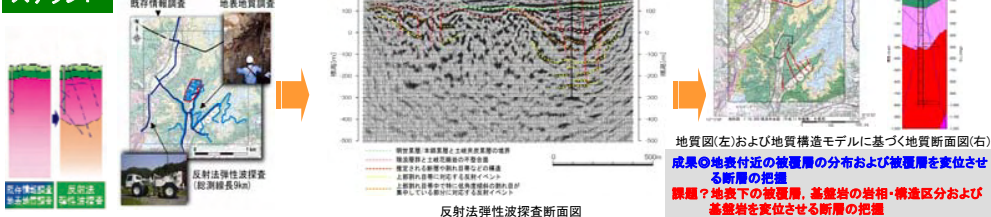


下記の段階的な調査ステップの設定により、理解度や不確実性を段階的に評価するとともに重要な要素を効果的に特定

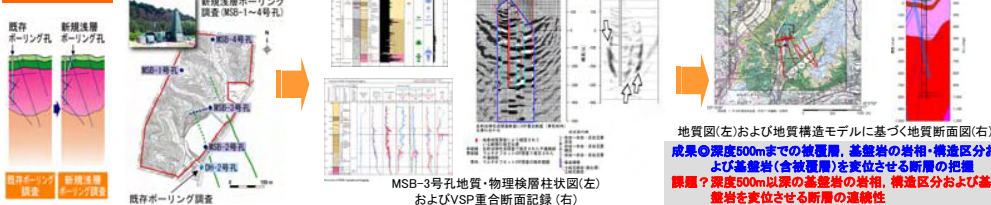
- ステップ0: 既存情報調査
- ステップ1: 地表地質調査
反射弾性波探査
- ステップ2: 既存深層ボーリング調査
新規浅層ボーリング調査
- ステップ3: 新規深層ボーリング調査
- ステップ4: 孔間トモグラフィ探査等

2) 主な調査研究結果

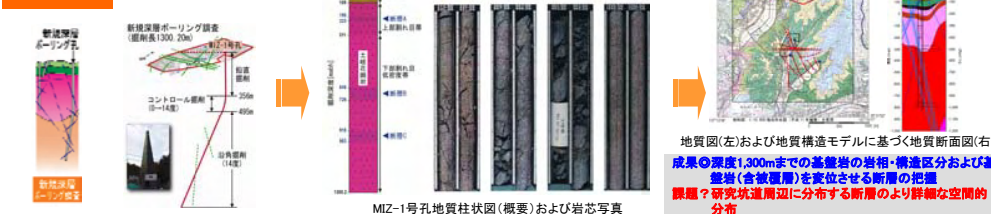
ステップ1



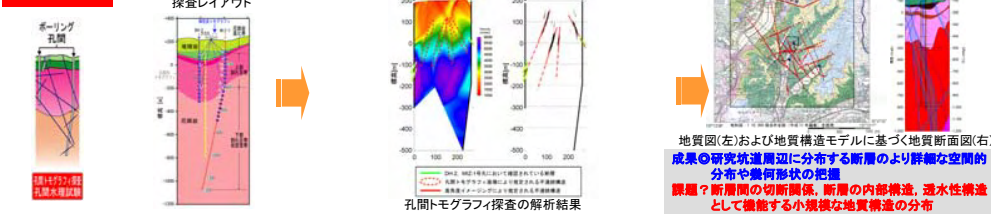
ステップ2



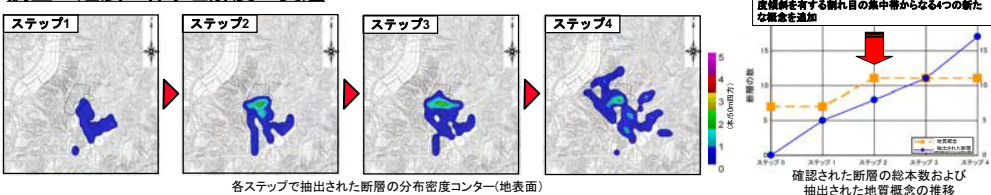
ステップ3



ステップ4



調査の進展に伴う理解度の変遷



3) 得られた主な技術的知見

- 地表地質調査と反射弾性波探査により、被覆層中の地層境界面や基盤岩と被覆層の不整合面の分布推定のほか、基盤岩上部に分布する割れ目帯の構造区分が可能
- 地表地質調査により、既存の地質図に記載されていない被覆層を交代させる数百m～数km規模の断層を確認
- 反射弾性波探査は断層の深度方向への連続性を推定する際に有効

- 既存深層ボーリング調査および新規浅層ボーリング調査により、被覆層中の岩相区分や基盤岩上部において特に割れ目が卓越する区間の構造区分が可能
- ボーリング孔における岩芯地質調査、物理検層、マルチオフセットVSP探査の組合せは、反射弾性波探査では不明確であった基盤岩を交代させる断層の空間分布を把握する際に有効

- 新規深層ボーリング孔は、岩相・構造区分の妥当性を確認する際に不可欠であるほか、基盤岩を交代させる断層のより深部への連続性を把握する際に重要
- コントロール掘削を用いることにより、断層の水平、垂直方向の推定精度が格段に向上し、断層分布の全体像や可能性のある構造発達過程を効果的に推定することが可能

- 孔間トモグラフィ探査などの複数の物理調査を深層ボーリング調査の後に適用することにより、研究坑道周辺など重要な領域における断層の分布位置をより精度良く把握することが可能
- 本調査研究を通じて新たに開発した水平成分記録を用いた高角度反射波のイメージング技術は、断層の三次元的分布や規模、派生構造の有無などの解釈に対して特に有益

- 地質・地質構造の概念化は、ステップ2までの調査により概ね可能
- 断層を例に取ると、今回適用した各調査は、解析対象領域(4km²)においてそれぞれ数本程度抽出することが可能
- 岩盤水理に関する調査研究との連携により、抽出された断層のうち、移行経路として重要な構造が特定可能
※本報告書の概要発表(その3)「岩盤水理に関する調査研究」参照

4) 処分事業・安全規制のための主な技術的基盤

- 地表からの調査の進め方として、面的に調査できる手法を適用して広い領域を概略的に把握・概念モデル化した上で、詳細な情報を必要とする項目を抽出し、それらをボーリング調査などにより更に精緻化する(モデルの更新を含む)といった手順が有効。特に重要な構造である断層の分布は、地質調査と弾性波探査を一体化した調査と解釈、モデル化により効率的に把握していくことが可能
- 調査計画の最適化に際しては、水理学的調査・解析との連携による移行経路として重要な構造の抽出とそれらの理解度・不確実性の評価が不可欠。また、これらを行うために整備された一連のモデル化技術は、それぞれの調査結果を統合し、解釈する際に有益

本報告書では、これらの知見を処分事業(概要調査、地上からの精密調査など)や安全規制のための技術的基盤として記述・とりまとめ

— 岩盤水理に関する調査研究 —

地層処分研究開発部門 東濃地科学研究所ユニット
大山 卓也・三枝 博光・尾上 博則・竹内 竜史

1) 目標・実施概要

全体目標を受けて設定した岩盤水理に関する調査研究における個別目標と課題

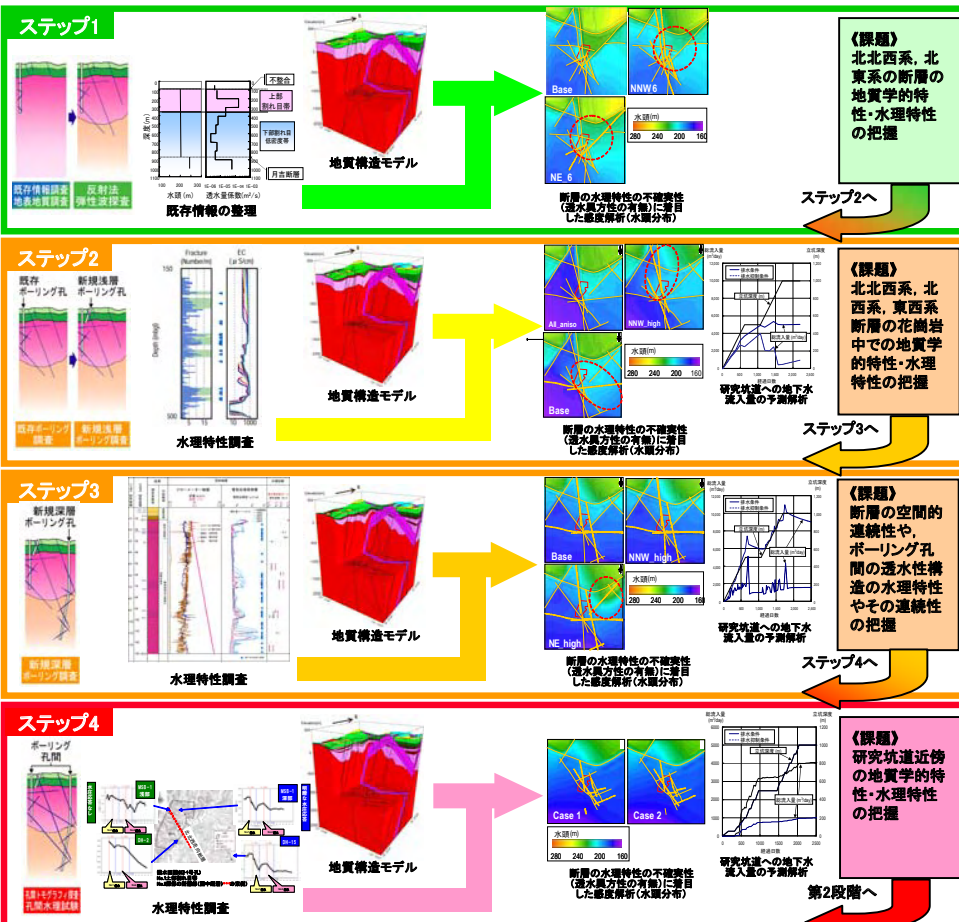
- 地下水の流動特性の把握
- 希釈効果の把握
- 地下空洞周辺の力学・水理状態の把握に必要な地下空洞への地下水流入量の把握
- 地下施設建設が地下水水位分布や地下水圧分布へ与える影響の把握



下記の調査ステップの設定により、地質・地質構造に関する調査研究結果に基づく岩盤水理に関する調査研究を段階的に実施

- ステップ0: 既存情報調査
- ステップ1: 地表地質調査
反射法弾波探査
- ステップ2: 既存深層ボーリング調査
浅層ボーリング調査
- ステップ3: 新規深層ボーリング調査
- ステップ4: 孔間トモグラフィ探査等
孔間水理調査

2) 主な調査研究結果

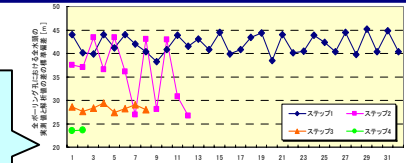


3) 得られた主な技術的知見

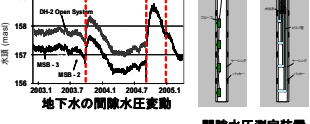
- 断層の透水性に着目した地下水流動解析は、断層の透水性が動水勾配分布に及ぼす影響の評価及び解析領域内の動水勾配分布に大きな影響を及ぼす断層を抽出し、調査を行う断層の優先順位をつけるうえで有効
- 水理地質構造モデルを構築する際には、断層の分布位置及び断層のトレース長に着目したスクリーニングによって、モデル化対象断層の選定を行うことが効率的
- 単孔式水理試験を実施するに当たっては、ボーリング調査で把握された地質・地質構造に基づいた試験区間を設定することが重要
- 水みちを抽出するうえで電気伝導度検層が有効
- 電気伝導度検層に基づく数値解析結果は水理試験を補完するうえで有効
- 複数のボーリング調査を実施する場合は、これらを同時に実施することを選び、1本のボーリング調査終了後に地下水モニタリング装置を挿入して、次の掘削調査による水圧応答などのモニタリングを実施することが水理地質構造を把握するうえで有効
- 高透水性構造が立坑に出現することが想定される場合は、その数や位置、水理特性などの情報を優先的に取得することが重要
- 研究坑道掘削に伴う水圧低下の範囲や程度は、地下水の流入量に影響を及ぼすものであることから、研究所用地周辺に分布する断層の空間分布や水理特性に関する情報を取得することが重要
- 水圧の非正常変化のデータは、地質・地質構造の水理特性及び分布範囲・位置を特定するうえで有益
- ボーリング孔を利用した調査で取得された地質学的情報や水理学的情報などに基づき、間隙水圧が異なると思われる区間ごとに観測区間を設定することにより、初期値の取得からその後の掘削に伴う影響を正確に把握することが可能

調査の進展に伴う理解度の変遷

- 感度解析のケース数の減少
- 感度解析のケース間での全水頭分布のばらつき減少
- ボーリング孔における全水頭分布の実測値の再現性の向上



環境影響評価



4) 処分事業・安全規制のための主な技術的基盤

- 効率的に地下水流動特性を把握するためには、調査とモデル化・解析を繰り返し実施するといったアプローチが有効
- 岩盤中の透水性分布を把握するための単孔式水理試験の実施に当たっては、地質学的な調査・解析から推定された地質構造要素の分布や流体検層から把握されるボーリング孔内の地下水の流入量分布に基づく実施計画(試験区間の設定、試験方法の選定など)の立案が重要
- 研究領域内で複数のボーリング調査を実施する際には、ボーリング孔間の水理学的な連続性や水理境界を把握することを前提として、確認すべき対象領域や地質・地質構造の明確化、最適なボーリング調査位置、ボーリング調査の実施時期などの調査計画を立案することが重要
- 調査・解析・評価の繰り返しは、迅速に実施する必要があるため、地質/水理地質構造モデルの構築や地下水流動解析が効率的に実施できるシステムを構築しておくことが有効

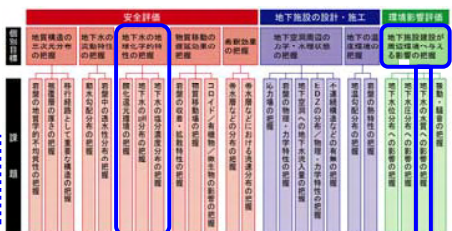
— 地下水の地球化学に関する調査研究 —

地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット
水野 崇・濱 克宏・吉田 治生・齋 正貴・天野 由記・萩原 大樹

1) 目標・実施概要

全体目標を受けて設定した地下水の地球化学に関する調査研究における個別目標と課題

- 地下水の地球化学特性 (塩分濃度, pHおよび酸化還元状態) の把握
- 地下施設建設が地下水の水質へ与える影響の把握

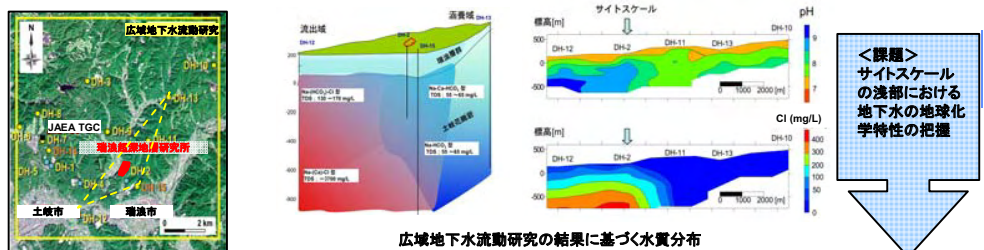


- 下記の段階的な調査ステップの設定により, 理解度や不確実性を段階的に評価するとともに重要な要素を効果的に特定
- ステップ1 (地表からの調査・解析・評価) およびステップ4 (ボーリング孔間を対象とした調査・解析・評価) は当該分野に該当なし

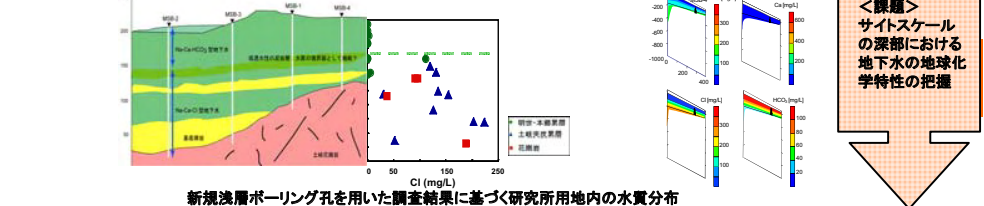
- ステップ0: 既存情報調査
- ステップ1:
- ステップ2: 既存深層ボーリング調査, 浅層ボーリング調査
- ステップ3: 深層ボーリング調査
- ステップ4:

2) 主な調査研究結果

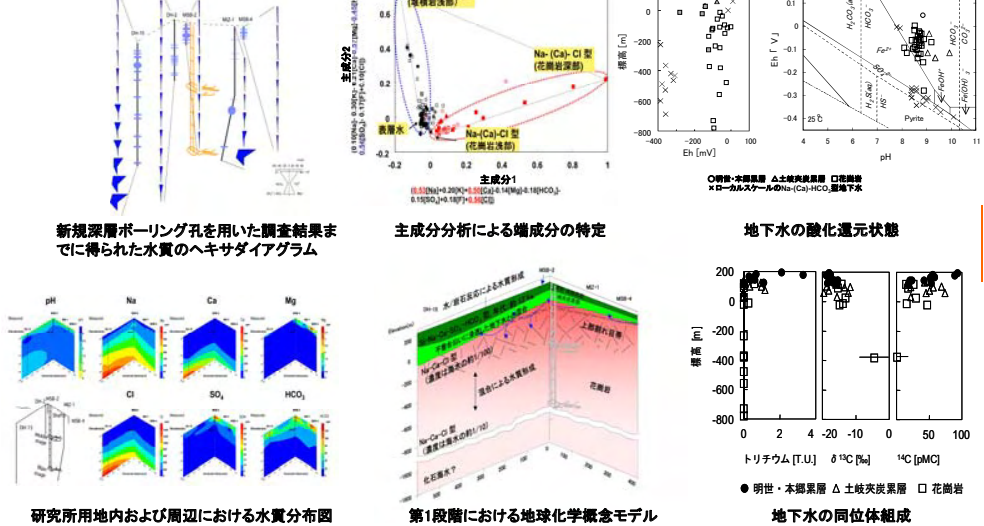
ステップ0



ステップ2



ステップ3



3) 得られた主な技術的知見

- 主な地下水水質はNa-Ca-HCO₃型
- 流出域の土岐花崗岩中の地下水水質はNa-Cl型
- pHは弱アルカリ性
- 酸化還元状態は弱～強還元性
- 瑞浪層群浅部ではケイ素, 硫酸イオンに富むNa-Ca-HCO₃型地下水
- 瑞浪層群深部および土岐花崗岩上部ではNa-Cl型地下水
- 両者の分布境界の深度では低透水層の存在により低透水層以深での水頭の急激な低下が観察されており, 水理地質構造が地下水の地球化学特性の分布を支配
- pHは概ね7～9の範囲を示しステップ0の結果を支持
- 水理特性と地下水の水質分布を比較することにより, 地下水流動解析結果の妥当性を確認するとともに地球化学モデルの信頼性を向上させることが可能
- 深度約1,000mの花崗岩中には塩分濃度が2,500mg/L程度のNa-(Ca)-Cl型地下水が存在
- 多変量解析により地下水水質の三次元的分布を推定
- 土岐花崗岩中の地下水のpHは概ね8～9の範囲を示し, ステップ0の結果を支持
- 主要なpH緩衝反応は炭酸塩鉱物の溶解・沈殿反応
- 酸化還元電位については含鉄鉱物, 含硫黄鉱物, 硫化水素ガスが関連した酸化還元反応が支配
- 本ステップにおいて研究坑道掘削前の地球化学的初期条件を把握し, その結果に基づく定量的な地球化学モデルを構築
- Na-(Ca)-Cl型地下水の起源や滞留時間の把握は第2段階以降の調査における課題

4) 処分事業・安全規制のための主な技術的基盤

- 地下水水質に関わる地球化学モデルを構築するための手順として, 下記の手順が有効
 - 1) 定性的な情報も含む地下水の水質データベースに基づき場の状態の概念を構築
 - 2) 調査により得られたデータによる解析用水質データベースを構築し, 1) の概念について適切な解析手法を用いて解析を実施
 - 3) 解析用水質データベースを用いた性能・安全評価に関わる溶存化学成分等の水質形成プロセスについての解析を実施
- サイトスケールのように異なる地下水の混合により地下水の水質が形成される環境では, 地下水の地球化学特性を理解する手法として, 多変量解析や熱力学解析と鉱物・地下水の分析・観察を併用した調査・解析が有効
- 調査地域の地球化学データの参照に用いることのできる各地の情報(地質, 地史, 水質, 同位体組成, 水質形成プロセスなど)の整備により, 調査地域の不足情報を補足可能

— 岩盤力学に関する調査研究 —

地層処分研究開発部門 東濃地科学研究所ユニット

瀬野 康弘・平野 享・中間 茂雄*

* 現所属: 地層処分基礎研究開発ユニット

1) 目標・実施概要

全体目標を受けて設定した岩盤力学等に関する調査研究における個別目標と課題

- 研究用地に分布する土岐花崗岩を対象に、物理・力学特性と初期応力状態の把握による岩盤力学モデルの構築、および地下温度環境の把握
- 研究坑道掘削による掘削影響領域の分布と物理・力学特性の変化の予測

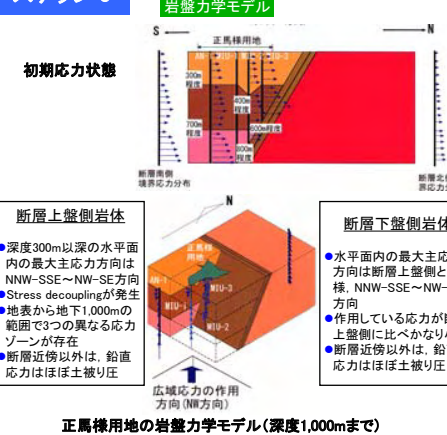


下記のステップ0(既存情報調査)とステップ2, 3における既存、新規ボーリング調査により、課題となる項目を段階的に評価し不確実性を低減

- ステップ0: 既存情報調査
掘削影響予測解析
- ステップ2: 深度500mまでの既存深層ボーリング調査
- ステップ3: 深度1,000mまでの新規深層ボーリング調査
掘削影響予測解析

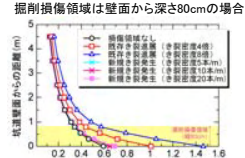
2) 主な調査研究結果

ステップ0



掘削影響予測解析

※深度500mを想定。掘削影響領域は壁面から深さ80cmの場合



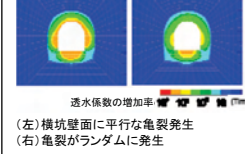
掘削影響領域

※掘削影響領域: 不飽和領域、応力再配分領域とならび、掘削影響領域(EDZ)三大構成要素の一つとなる



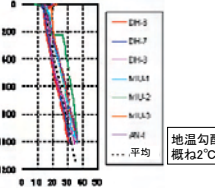
等価連続体解析で予測された横坑周囲の透水性増加域

(クラックテンソル+仮割れ目モデル)

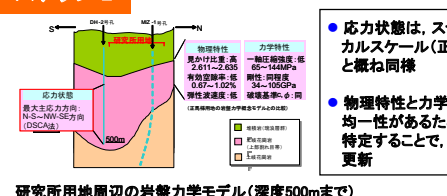


温度環境

ローカールスケールの深層ボーリング孔で観測された地温分布

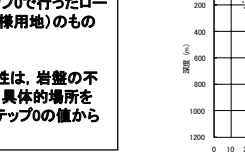


ステップ2



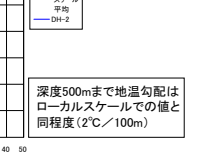
掘削影響予測解析

※深度500mを想定。掘削影響領域は壁面から深さ80cmの場合

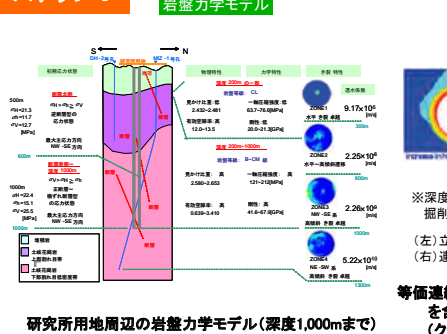


温度環境

サイトスケールの浅層ボーリング孔で観測された地温分布

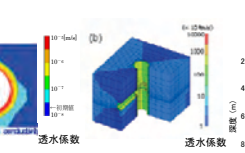


ステップ3



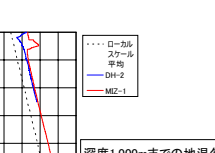
掘削影響予測解析

※深度500mを想定。掘削影響領域は壁面から深さ80cmの場合



温度環境

サイト/ブロックスケールの深層ボーリング孔で観測された地温分布



4) 処分事業・安全規制のための主な技術的基盤

- 岩盤の応力場や物理・力学特性に関する既得情報ならびに調査結果は、坑道設計の基礎となるほか、EDZの分布/物理・力学特性を予測するときの入力条件として利用可能
- 地表からの調査では、深層ボーリング孔とそのコアを用いた、室内物理・力学試験や初期応力測定(水圧破壊法など)によって岩盤の物理・力学特性の深度分布の把握が可能
- 初期応力調査計画は、主要な断層などの地質構造の空間的変化に着目して立案することが重要
- 掘削影響領域の力学的変化の予測は、地表からの調査段階で得られる情報を用いることである程度可能
- 地下の温度環境は、深層ボーリング孔とそのコアを用いた温度検層ならびに熱特性試験によって把握可能

3) 得られた主な技術的知見

初期応力状態の把握

- 地下の応力状態は、地質構造などの影響を受けて不均一なため、三次元初期応力場の同定が必要
- 三次元初期応力場を同定するためには、地質構造や力学特性を考慮しつつ、測定点や測定深度の複数設定が必要

掘削影響予測

- 掘削による影響領域の発生が及ぼす影響は、等価連続体解析を基本とした手法を用いることで概ね予測可能
- 掘削影響領域内のき裂の幾何学的条件は、予測結果に影響
- 影響領域の発生により、壁面変位は2倍程度の増加、発生部位での透水係数は掘削前の1,000倍程度の増加

温度環境の把握

- ローカールスケールでの温度環境(地温勾配)は、火山地帯等でなく通常の条件であれば、概ね1本のボーリング孔で調査可能

岩盤力学モデルの更新

- 研究用地周辺(サイトスケール)の岩盤力学モデルは、既存のボーリング孔で得られたコアを用いることで構築可能
- DSCA法: 最大主応力方向の評価に有用
- 物理・力学試験: 力学的パラメータが同定可能

温度環境の把握

- サイトスケールでの温度環境(地温勾配)は、火山地帯等でなく通常の条件であれば、概ね1本のボーリング孔で把握可能

初期応力状態の把握

- 断層を境とする応力状態の変化等、局所的変化は原位測定によるみ把握可能
- 局所的変化を捉えるために、断層位置に着目した計画(複数の原位測定)が必要

掘削影響予測

- 掘削影響による新規き裂の方向性は、既存き裂の方向性や応力状態とならび、坑道周辺岩盤の挙動に強く影響
- 坑道の接続部のような複雑な部位の評価、き裂の方向性を反映した評価のためには、三次元解析が必要

温度環境の把握

- サイト/ブロックスケールでの温度環境(地温勾配)は、火山地帯等でなく通常の条件であれば、概ね1本のボーリング孔で把握可能

地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット
 瀧野 康弘・三枝 博光・鶴田 忠彦・松岡 稔幸・竹内 竜史・水野 崇・内田 雅大

1) 地表からの調査・評価技術

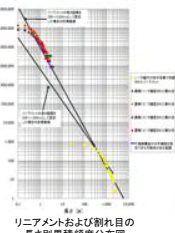
① リニアメント調査技術

目的:

- 大縮尺の画像(1万分の1縮尺の空中写真)を用いて、適正に抽出可能なリニアメントの規模や判読精度および小規模なリニアメントの断面や割れ目の推定手法としての有効性の検討

主な技術的知見・成果:

- リニアメントの判読限界は、長さ300~1000m程度、幅20~60m程度
- リニアメントと基岩露頭で観察した割れ目の長さや分布密度の関係(右図)から、両者は概ね同一のフラクタル特性
- 上記の関係から、リニアメント調査では抽出が困難な数mから数百m規模の割れ目を推測可能



② 物理探査技術

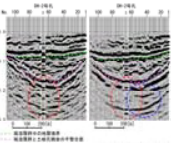
反射法弾性波探査

目的:

- 花崗岩を対象とした反射法弾性波探査の適用性は十分に明らかにされていないことから、その適用性や効果的な処理・解析手法を検討

主な技術的知見・成果:

- 花崗岩部に着目した各種処理・解析(重合前マイグレーション等)を適用することにより、通常の反射処理・解析法による結果と比較して花崗岩部の可視化精度が向上
- 花崗岩の上に堆積岩が厚く被覆するような条件下においては、一般的な処理・解析法に加えて、花崗岩に着目した処理・解析を実施することが花崗岩部の地質構造解釈の精度の向上に有効



高密度電気探査

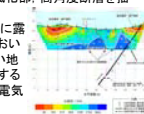
＜反射法弾性波探査法の補完技術の整備＞

目的:

- 反射法弾性波探査では抽出が困難な花崗岩が地表に露出している地域における高角度断層の抽出技術の整備

主な技術的知見・成果:

- ボーリング孔データを解析の拘束条件とすることでより正確な解析結果を取得可能(花崗岩風化部、高角度断層を抽出)
- 花崗岩が地表に露出する地域において、精度の高い地質構造解釈をする上では高密度電気探査は有効



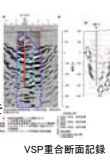
マルチオフセットVSP探査

目的:

- 反射法弾性波探査では抽出が困難な花崗岩深部の断面分布を推定する技術の整備

主な技術的知見・成果:

- 反射法弾性波探査で確認、推定された高角度断層の花崗岩深部への延長を抽出可能(左図(左))
- 高角度断層のトレースを可視化する技術を構築(左図(右))



2) ボーリング孔を利用した調査・評価技術

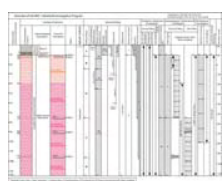
③ ボーリング調査計画

目的:

- 複数分野の様々なニーズを担うボーリング調査における計画立案、調査時の品質管理などの最適化
- トラブル時の迅速な対応
- 調査の進展に伴う臨機応変な計画見直し
- 調査関係者間の認識共有化
- 計画の最適化と合理化

主な技術的知見・成果:

- 計画書へのトラブル発生時の対応オプションの規定(⇒トラブル時の迅速対応)
- 分野間を横断するマトリクス組織の編成(⇒分野別の認識共有の強化)
- 調査試験チームの設置(⇒調査ニーズの最適化)



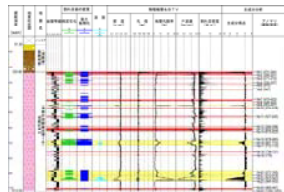
⑤ 物理検層技術

目的:

- 一般的に定義やそれに基づく客観的な抽出基準が整備されていない調査目的の客観的な区分手法の整備

主な技術的知見・成果:

- 孔壁画像データ・物理検層データを用いて、主成分分析や統計学的処手法により、割れ目を客観的に定義して抽出基準を構築



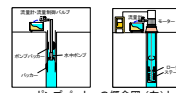
⑦ 水理試験技術

目的:

- 幅広い透水性を有する岩盤(10⁻¹²~10⁻³ m² s⁻¹オーダー程度)に対して、試験データの品質を確保して取得可能な水理試験手法の整備

主な技術的知見・成果:

- 試験装置の改良、試験手法の構築、データ評価手法の改良から一連の試験手法を構築
- 開発、構築した試験手法の現場での適用性を確認



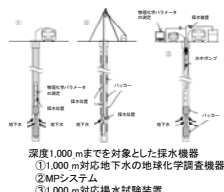
⑧ 地下水の地球化学調査技術

目的:

- 地下水試料の採取技術の整備

主な技術的知見・成果:

- トレーサ物質の添加、モニタリング手法、直接採水方法などを構築
- ボーリング孔の掘削過程で、透水性の岩層(透水帯や湧水帯など)に遭遇した時点で随時、揚水試験と組み合わせて地下水採取



④ ボーリング技術

目的:

- これまでの経験・実績等に基づく花崗岩を対象としたボーリング掘削技術の最適化

主な技術的知見・成果:

- 孔径
- 掘削孔径を一回り小さくできるオプションを残す必要性や品質の担保された地下水の採水のための高揚程・高流量のポンプの配置や配管径の拡張のための試験装置の径の拡大の必要性を考慮
- 孔内水管理
 - 岩盤に最適なビットの選定(スライムの微粒化)などによる清水掘削におけるスライム排出の改善
 - 掘削パラメータの管理
 - トラブル発生位置や規模、水理試験・採水区間の選定情報を迅速に取得するための連続的なモニタリング装置の導入
 - ボーリングコアの採取
 - 岩芯採取率の向上のための三重管工法の採用
 - これまでの掘削経験や掘削パラメータを定量化した最適掘削パラメータの策定が重要

項目	仕様
孔径	5.12"以上
ケーシング	多段継ぎ
掘削水	原則として清水
掘削水管理	薬剤濃度および透水量の管理による掘削水管理
コアリング	アクリルパイプを内包した三重管工法
コアリング	透水時 透水防止剤による閉塞
保孔技術	閉塞 防砂剤による閉塞
	大規模掘削時 ケーシング換孔



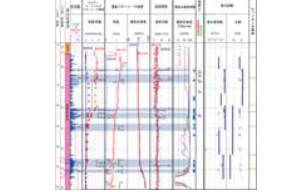
⑥ 流体検層技術

目的:

- 既存の流体検層技術より高精度な水みちの抽出技術の整備

主な技術的知見・成果:

- 孔内水をイオン交換樹脂を介して循環させて精製した脱イオン水で置換し、孔内の電気伝導度を測定すること(電気伝導度検層*)で、詳細な地下水流入点を抽出
- 既存のフローメータ検層に比べて2桁程度の低い透水係数を有する割れ目の検出が可能



*電気伝導度検層

孔内水を地下水の電気伝導度と異なる水(脱イオン水や塩水など)で置換し、その後、揚水しながら孔沿いの電気伝導度を測定することにより、電気伝導度の有意な変化が認められる電裂を検出する手法

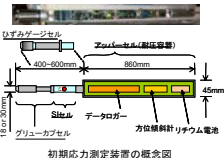
⑨ 初期応力測定技術

目的:

- 応力解放法の大深度ボーリング孔での適用手法の整備

主な技術的知見・成果:

- ゲージセルおよび接合装置、データロガー、方位傾斜計測装置、リチウム電池から構成される初期応力測定装置を開発
- パイロット孔の掘削から初期応力測定装置の設置、オーバーコアリングまでをワイヤラインシステムにより実施可能なシステムの採用により、作業効率を向上させて、大深度ボーリングへの適用を実現



3) 解析技術・その他

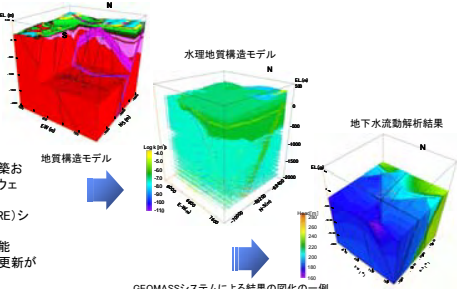
⑩ 地下水流動解析

目的:

- 複雑な地質構造/水理地質構造を有する岩盤中の地下水流動を効率的に解析可能なシステムの開発

主な技術的知見・成果:

- 地質構造モデルの構築から水理地質構造モデルの構築および地下水流動解析までの一連の作業に必要なソフトウェアや解析コードを統合したGEOMASS(GEOLOGICAL MODELLING ANALYSIS AND SIMULATION SOFTWARE)システムを構築
- 複雑な地質・水理地質構造を考慮したモデル構築が可能
- 調査の進展に伴う情報量の増加に対し、迅速にモデル更新が可能



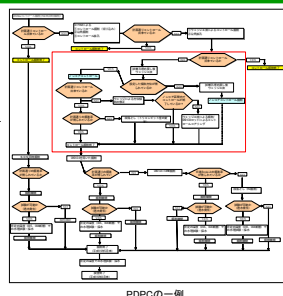
⑪ 品質管理手法

目的:

- 地層処分技術や地質環境に関する研究成果などの信頼性を恒常的に高めていくための品質管理手法の整備

主な技術的知見・成果:

- 「透明性」、「追跡性」、「公開性」の留意と「専門家レビュー」の実践
- 事象予測と対応策の検討・準備
- 調査書の調査実施計画書、品質管理計画書の作成による調査品質の確保
- PDPC(Process Decision Program Chart)の活用



地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット・東濃地科学センター
久慈 雅栄・見掛 信一郎・黒田 英高・杉原 弘造・佐藤 紘紀

1) 目標・実施概要

第1段階の目標

研究所用地における深部地質環境に関する情報や次段階以降の調査・研究計画などに基づいて、研究坑道の詳細レイアウトを決定するとともに、実際に適用する施工技術並びに機械・設備を選定し、具体的な施工計画を策定

研究の進め方

設計・施工技術

- 研究坑道と周辺設備の設計・施工
- 計測管理・フィードバック
- 地震時安定性評価
- 通気網解析

建設技術

- ショートステップ工法
- 施工設備 (替えキブル、非電気式雷管等)

施工対策技術

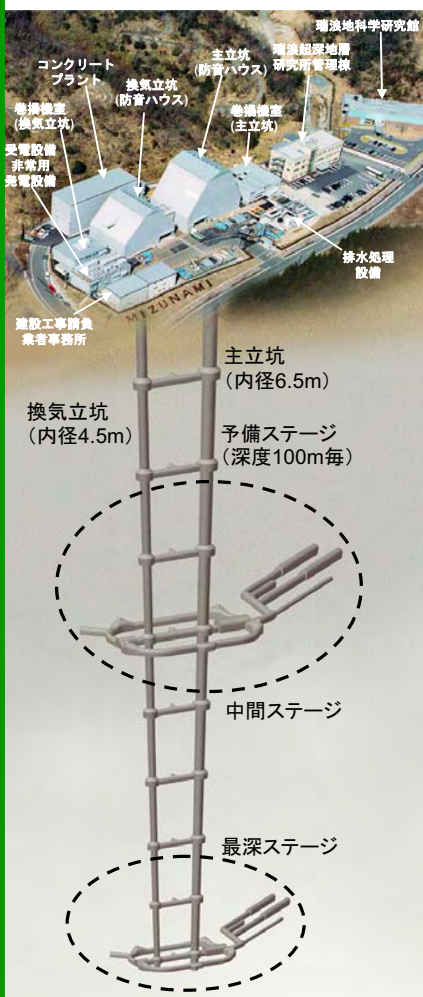
- 突発湧水対策 (プレグラウト、前方探査)
- 山はね、高抜け発生評価

安全確保技術

- 坑内管理システム (入出坑、坑内環境、通信、火災監視)
- リスクマネジメント

2) 主な調査研究結果

注) 研究坑道の詳細レイアウトは、第2段階以降に明らかとなる地質環境や研究開発ニーズに基づき、適切に見直す予定



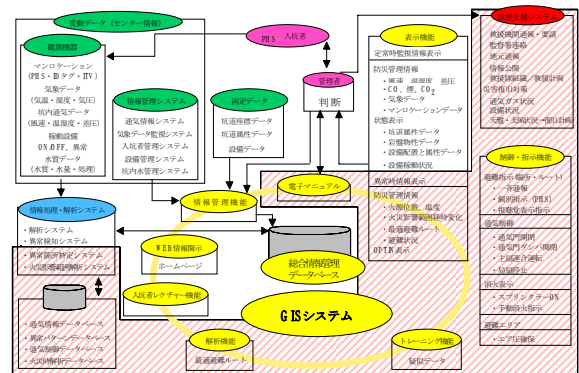
瑞浪超深地層研究所研究坑道及び周辺設備レイアウト

立坑の目的と仕様

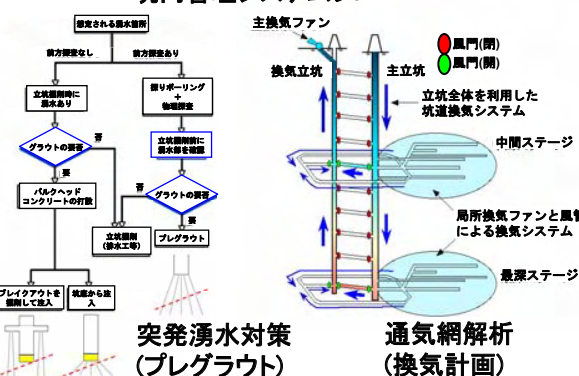
目的	主立坑	換気立坑
	<ul style="list-style-type: none"> 目的とする研究深達 (最深ステージ) への到達 第1段階における地質環境予測結果の確認 設計の妥当性の確認 	<ul style="list-style-type: none"> 研究坑道掘削時のスリ撤出 資機材の搬出入ルート
深度 (計画)	1,025 m	1,010 m
直径	掘削	7.3 m
	完成	6.5 m
直径	掘削	5.3 m
	完成	4.5 m

水平坑道の目的と仕様

	最深ステージ	中間ステージ	計測坑道	予備ステージ
目的	本研究の目的である深度1,000 m 付近に設置する主要研究ステージ	最深ステージに対して、深度依存性等の影響把握のために、中間深に設ける主要研究ステージ	中間、最深ステージの掘削影響の計測を実施する坑道	高立坑の連続、各種機器設置ベース、補足的に地質環境の深達依存性等を研究するための坑道
深度	1,000 m 付近	500 m 付近	470 m, 528 m, 970 m	100 m 毎
延長	約 770 m	約 770 m	約 240 m	約 32 m



坑内管理システムフロー



3) 得られた技術的知見

- 研究坑道の詳細レイアウトを決定
- 実際に適用する施工技術並びに機械・設備を選定し、具体的な施工計画を策定
- 空洞安定性と支保設計は、第2次取りまとめの手法を踏襲して実施。なお、第1段階調査と平行し、実施設計(ステップ0)で基本計画を、調整設計(ステップ3)でその見直しを実施。この結果、岩盤等級の取扱い、ボーリング調査位置等に関して提言
- 耐震設計について、当地域の想定地震等に基づき、第2次取りまとめの手法を用いて実施すると共に、鉛直地震動についても検討を行い、耐震性を確認
- 計測結果の設計・施工計画へのフィードバック技術(情報化施工)について、フロー図を作成。地質観察においては、最適な岩盤分類法の検討を計画
- 突発湧水について、プレグラウト(事前グラウト)による止水を基本とする対策工検討フローを作成
- 安全対策について入出坑、火災、坑内環境及び通信の各システムと通気網解析を組み合わせた統合管理システムの概念を構築。また、リスクマネジメント手法を活用してリスクを抽出し、安全対策に反映を計画

4) 処分事業・安全規制のための技術的基盤

- 実際の深部地質環境や調査・研究計画を反映し、研究坑道と周辺設備を設計・施工・維持管理する一連のフローを提示
- 検討内容を実際に研究所計画に反映・適用し、その妥当性を検証(第2段階以降、実施予定)
- 実際の設計・施工・維持管理を通じてノウハウを含めた情報を取得・データベース化し、地層処分計画へ反映・活用(第2段階以降、実施予定)

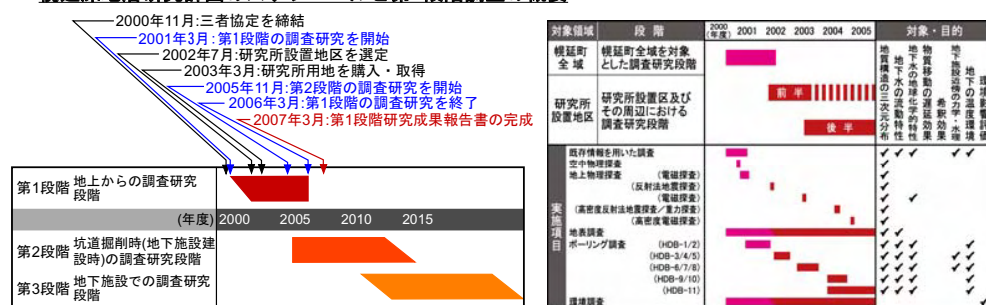
1) 全体概要

幌延深地層研究計画は、原子力機構が北海道幌延町で進めている堆積岩を対象とした総合的な研究開発計画であり、「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」や「原子力政策大綱」に示された深地層の研究施設計画の一つである。幌延深地層研究計画では、「深地層の科学的研究」と「地層処分研究開発」の2つの領域において以下の3つの目標を設定し、調査研究を進めている。

- ① 深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備
- ② 深地層における工学技術の基盤の整備
- ③ 実際の地質環境での地層処分技術の適用性確認

本報告書は、そのうちの「深地層の科学的研究」について、地上からの調査研究段階(第1段階)における調査研究の成果を取りまとめたものである。

幌延深地層研究計画のスケジュールと第1段階調査の概要



3) 得られた技術的知見

第1段階における 深地層の科学的研究の成果

「研究所設置地区及び研究所設置場所の選定」では、その実経験を通じて確認した、地区・用地の選定上の要件や考慮すべき条件とその重要性を示した。

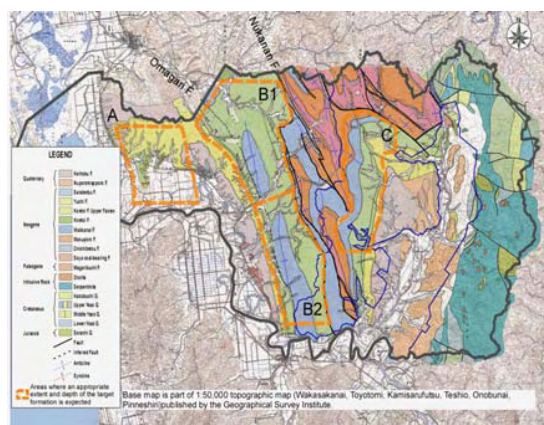
「地上からの地質環境の調査研究」では、調査結果の解釈とモデル化を通じて、地層処分にとって重要な地質環境の特性・プロセスを把握し、その過程で得られた技術的知見を踏まえて統合化データフローを構築した。

「深地層における工学技術の基礎の開発」では、堆積岩(軟岩)中での地下施設の仕様・レイアウトを決定し、地下施設を安全に建設・維持するための設計・施工計画を策定した。

「地下施設建設に伴う周辺環境への影響調査」では、環境調査などを継続し、地上及び地下施設の建設に伴う影響の低減を図る措置が適切であることを確認した。

2) 研究所設置場所の選定

幌延深地層研究計画における地下施設は、地層処分技術を実際の地質環境へ適用し、その実用性や信頼性の確認を通じて、地層処分技術の信頼性の向上を図っていくための研究開発の場であり、地下施設を建設する場所(研究所設置場所)が求められる要件は、実際の処分地の選定において考慮すべき要件とは明確に区別される。



研究所設置場所の選定手順

- ① 研究所設置候補区域を選定(A, B1, B2, C区域)
- ② 空中物理探査, 地上物理探査等の実施
- ③ ボーリング調査の実施(B1, B2区域)
- ④ 研究所設置候補区域内(B1区域)において研究の対象となる地区を選定
- ⑤ 研究所設置地区内から研究所設置場所を選定

研究所設置場所に求められる要件と条件

- ① 研究の対象となる地層と地下水が存在すること(地質環境要件)
- ② 安全に地下施設を建設でき、研究環境を確保できること(安全要件)
- ③ 調査に関わる法令、アクセス、土地利用状況、地権者などの社会的条件
- ④ 研究所建設に伴う周辺環境への影響が小さいことなどの環境条件

4) 処分事業・安全規制のための技術的基盤

- ① 「研究所設置地区及び研究所設置場所の選定」、「地上からの調査研究における地質環境モデルの構築」、「坑道掘削前の深部地質環境の状態の把握」、「坑道掘削に伴う周辺の地質環境の変化の予測」及び「地下施設の詳細設計及び施工計画の策定」までの一連の調査手法
- ② 適切な実施体制(チーム)づくりや調査研究の全体から細部に至る品質管理体系の整備が重要である。

1) 目標・実施概要

地質・地質構造に関する調査研究の目標は、水理、地球化学及び岩盤力学に関するモデルの基礎情報となる地質情報を取得するとともに、地質・地質構造に関する調査技術を整備することにある。具体的な課題は、地形、岩盤の地質学的不均質性、被覆層(未固結堆積物)の厚さ、及び物質の移動経路として重要な構造の把握である。これらを把握するため、地形調査、地表踏査、空中物理探査(比抵抗探査・磁気探査・放射能探査)、地上物理探査(比抵抗探査・反射法地震探査・重力探査)及びボーリング調査を実施した。

2) 主な調査研究結果

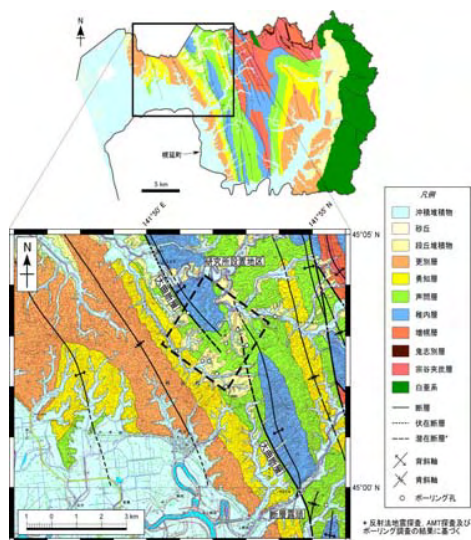


図1 研究所設置地区周辺の地質図

➤地形調査、地表踏査、物理探査及びボーリング調査の結果、研究所設置地区に存在する大曲断層(図1)は分岐構造をなすこと(図1~3)、及び地下水の主要な水みちであることが示唆された。

➤地表踏査及びボーリング調査の結果、稚内層及び声間層中には層理面に高角な小断層と層理面にほぼ平行な小断層が存在しており(図4)、前者の小断層が互いに密集して小断層帯を形成すること、及びそれらが地下水の主要な水みちであることが示唆された。しかし、これらの連続性や連結性についてはまだ不明な点が多い。

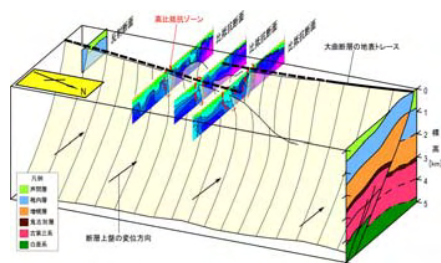


図2 推定した大曲断層の三次元分布

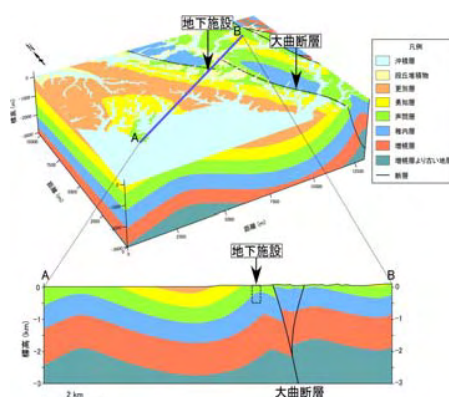


図3 地質構造モデル

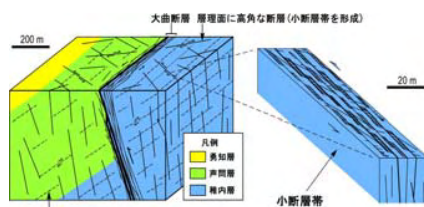


図4 断層に関する地質構造の概念図

3) 得られた技術的知見

地表踏査

➤幌延地域に発達する横ずれ優勢な断層の地質学的特徴を把握する上で、重機を用いて作り出した水平露頭面での観察結果が有用であった。

比抵抗探査

➤「塩水系」と「淡水系」の2種類の地下水が存在し、顕著な岩相変化を示さない稚内層及び声間層中の大曲断層の位置を推定する上で、比抵抗探査で得られた比抵抗分布が有用であった。

反射法地震探査

➤物性変化に乏しい稚内層及び声間層を対象に反射法地震探査を実施した結果、発振点/受振点の密度を高くしても、反射波の連続性や分解能に大きな向上が期待できないことが分かった。

課題

➤研究所設置地区周辺に分布する小断層帯の位置(特に地下施設での遭遇位置)やそれらの連続性・連結性を地上からの調査研究から推測することは規模や数の問題から困難であった。これについては今後の課題である。

4) 処分事業・安全規制のための技術的基盤

- 大規模な断層の位置は、地形調査、地表踏査、物理探査及びボーリング調査の適切な組み合わせにより推定可能である。
- 物質の移動経路として重要な構造は、地表踏査やボーリング調査における地質観察からある程度まで推定可能である。
- 段階的な反射法地震探査の進め方としては、まず通常の仕様で探査を実施し、そこで得られた反射波の連続性や分解能が比較的良好な場合に限り、より高密度な探査の実施を検討することが効率的である。

1) 目標・実施概要

岩盤の水理に関する調査研究の目標は、下記の通りである。

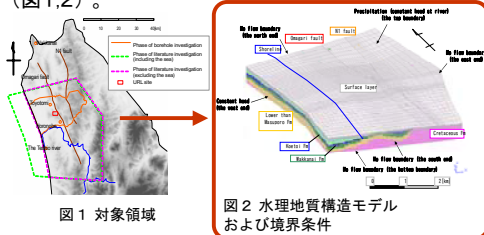
- ・研究所設置地区及びその周辺における地下水流動特性の把握
- ・地下研究施設建設に伴う周辺の水理地質環境の変化の予測
- ・第2段階以降における効率的・体系的な調査研究の進め方の提示

第1段階では、調査研究の進捗に応じた2つの段階(①幌延町全域を対象とした調査研究段階、②研究所設置地区及びその周辺における調査研究段階)について、上記の目標に向けた既存情報の整理とそれに基づく水理地質構造モデルの構築・地下水流動解析を行った。

2) 主な調査研究結果

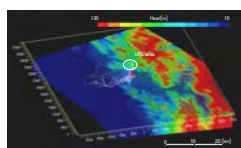
①幌延町全域を対象とした調査研究段階—HDB-1, 2孔を利用した試験を含めた既存情報に基づく調査研究—

幌延町全域を含む領域(50km四方程度)を対象とした地下施設に影響する因子に関する感度解析を実施(図1,2)。

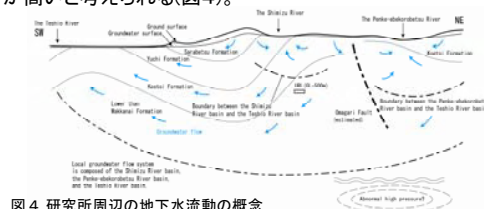


東側の全水頭が西側に比べて高いことから、地下水の主な流動は東から西に向かう。

一方、研究所設置地区及びその周辺においては、局所的な地形の起伏の影響で、全水頭分布はやや複雑であり、流動方向も深度や場所により異なる(図3)。

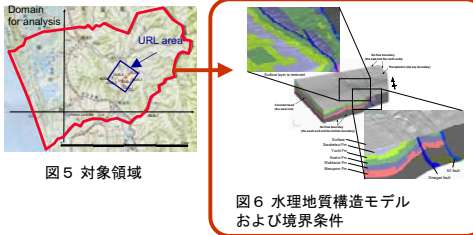


研究所設置地区を含む流動系は、地形の起伏に支配され、深度によって局所流動系、広域流動系に分かれている。広域流動系と局所流動系の境界は標高-400m程度となり、地下施設(深度約500m)に位置する坑道)近傍の地下水の流動は広域流動系に支配される可能性が高いと考えられる(図4)。

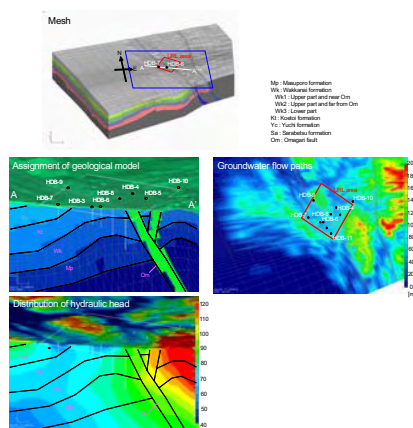


②研究所設置地区及びその周辺における調査研究段階—HDB-1~8孔を利用した試験を含めた調査研究—

研究所を中心とした領域(20km四方程度)を対象とした地下水流動解析を実施(図5,6)。



研究所設置地区の東側の山に高い全水頭が保持され、地下水の流動は大局的に東から西に向かい、局所的には地形勾配に支配された流動となる。これは、既存情報を用いた調査段階の解析結果で推定された流動系の概念と同じである(図7)。



3) 得られた技術的知見

●ボーリング孔を利用した調査研究により、地層の透水性が深部ほど低下する傾向があることや小断層帯の有無が影響することがわかった。これらの情報を考慮した水理地質構造モデルの構築・地下水流動解析を通じて、対象地域の大局的な地下水流動を把握した。

●解析に必要な境界条件の一つである地下水涵養量について、研究所設置地区及びその周辺における算定手法を整理し、適用性を確認した。また、浅層部を対象としたボーリング孔での試験から、段丘堆積物中ないし段丘堆積物と健岩部の境界付近と想定される箇所を高透水性の層が存在することがわかった。

●幌延町全域を対象とした地下水流動に関する感度解析によって、地層の透水性や地下水涵養量などが解析結果に及ぼす影響が高いことがわかり、今後の調査研究において、透水性や涵養量について信頼性の高いデータを取得することの重要性が示唆された。

●調査研究の進捗に応じた解析結果については、水圧等の実測値との定性的な整合を確認したが、今後定量的な検討が必要である。

4) 処分事業・安全規制のための技術的基盤

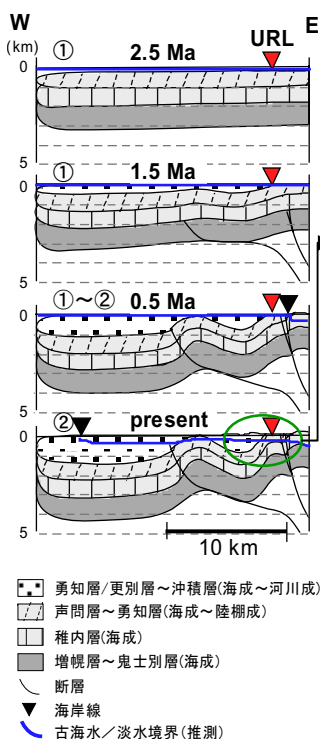
より広範な領域を対象として地下水流動特性を把握する際、感度解析によって解析結果への影響が高い因子を確認した。処分事業の概要調査などにおいても、取得すべきデータの検討において感度解析は有効であると考えられる。また、解析結果を評価する上で、用いたデータや仮定の根拠を明確にすることにより情報の透明性・追跡性を担保することは、評価結果の信頼性を示す上で重要である。調査研究の進捗に応じた解析結果については、水圧等の実測値との定性的な整合を確認したが、今後、幌延地域を事例として、調査の進捗に応じた不確実性の低減に関する定量的な検討を行い、その知見を知識基盤として整備していくことが重要である。

1) 目標・実施概要

第1段階の調査研究では、研究所設置地区選定に用いるための幌延町全域を対象とした調査、選定した研究所設置地区とその周辺の地球化学環境の概念構築を目的とする調査を行った。物理探査や深層ボーリング調査(深度500~1,000m級ボーリング孔11本)により得られたデータを用いて、研究所設置地区周辺における地下水水質の三次元分布、主要な水質形成機構の考察などを行った。また、これらの一連の調査・解析を通じて、要素技術の開発を行うとともに、沿岸域の堆積岩・塩水系地下水環境を対象とする地下水の地球化学特性調査手法を整理した。

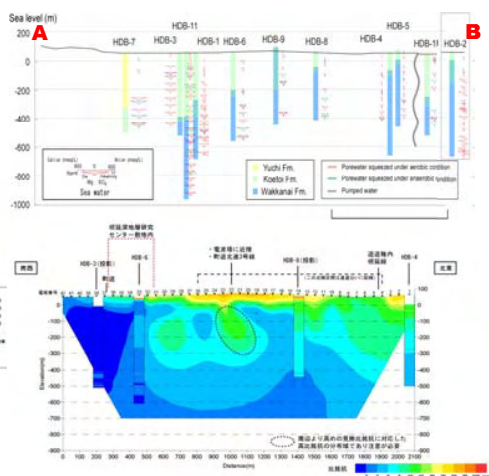
2) 主な調査研究結果

地史を踏まえた水質形成プロセスの推察

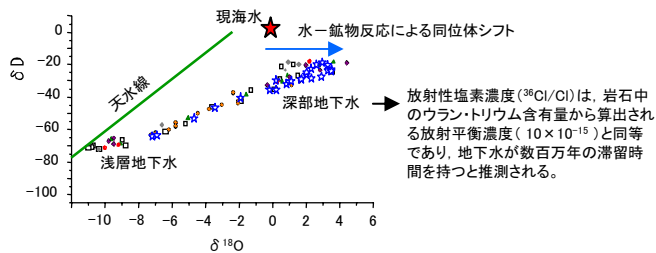


- ① 稚内層・声問層・勇知層が海水中に堆積後、上部更別層堆積時に浅部に含まれていた海水が淡水に置換。
- ② 約70万年前以降、氷期-間氷期サイクルに伴い、間氷期の海進時に更別層以深に浸透した海水が、氷期および沖積層堆積時に淡水に置換。

ボーリング調査による水質の把握、物理探査技術の確認



同位体による地下水の起源・年代の推察



堆積岩浅部では塩分濃度の低いNa-HCO₃型地下水、深部では現海水の1/3~1/2程度の塩分濃度のNa-Cl型地下水が分布する。pHは7~8、酸化還元電位は、深度600m付近で約-170mVである。また、岩盤の比抵抗分布は塩分濃度分布と整合的であることが確認された。

同位体組成から、深部地下水と浅層地下水の混合、続成過程のオパール脱水反応等で水質が形成されていると考えられ、深部地下水の滞留時間が数百万年であることが示唆された。これは地史を踏まえた水質分布と整合的である。

3) 得られた技術的知見

幌延において確認された堆積岩・塩水系地下水環境に適用可能な要素技術と今後の提言

- ① コア抽出水分析による3次元的水質分布評価技術
 > 透水性が低く地下水を得られない堆積岩では、抽出水分析により地下水の水質型とその分布を評価できる。
- ② 水質分布を把握するための物理探査技術
 > 高密度電気探査により、ボーリングのない領域についても、地下水の塩分濃度分布を概観できる。
- ③ 同位体を利用した地下水の起源・年代推測技術
 > 様々な同位体を併用することで、長期間滞留している地下水の起源・滞留時間を推測することができる。

今後、地下水流動速度が非常に遅い場(数百万年間地下水が滞留した場)において、大規模地下施設を建設した場合の化学環境の変動幅や施設閉鎖後の化学環境および物質移行に関わる研究が重要である。

4) 処分事業・安全規制のための技術的基盤

堆積岩・塩水系地下水環境を対象とした調査評価技術として、沿岸域においては現海岸線にこだわらず、地史(特に海岸線の変化と地層堆積史)を踏まえた地球化学環境(塩水の分布領域など)の予察とボーリング調査に基づく確認、化学成分、同位体データに基づく解析が有効である。



2-5 幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第1段階) 研究成果報告書 分冊「深地層の科学的研究」(その5)

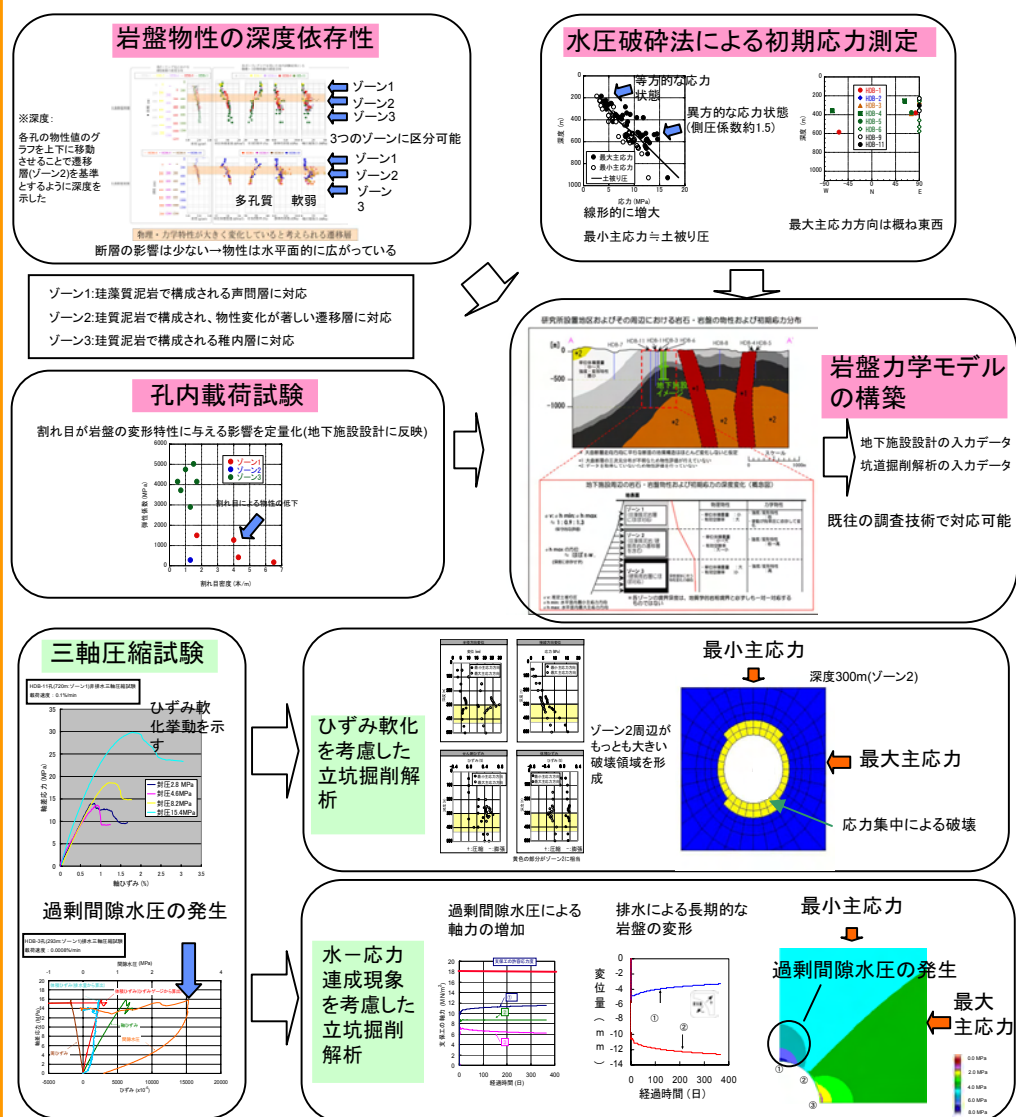
— 岩盤力学に関する調査研究 —

地層処分研究開発部門 幌延深地層研究ユニット
真田 祐幸・中村 隆浩・津坂 仁和・杉田 裕

1) 目標・実施概要

- 目標**
- 研究所設置地区及びその周辺の地表から地下深部にいたる岩盤力学特性の把握
 - 地下施設の設計に必要なデータの取得
 - 地下施設建設によって生じる周辺岩盤への力学的影響の予測手法の構築
- 実施概要**
- 地表から地下深部までの岩盤力学特性を把握・評価する手法構築と地下施設設計に供するデータの取得のための深層ボーリング孔を用いた原位置試験と室内試験を実施
 - 地下施設建設に伴う周辺岩盤への物理・力学特性に関する地質環境への影響予測のための数値解析手法の検討と、それに基づく空洞安定性解析を実施

2) 主な調査研究結果



3) 得られた技術的知見

- 研究所設置地区およびその周辺の岩盤は、力学的には深度方向に3つのゾーン区分を行うことで、深度方向の各種物性分布を場所によらず統一的に説明可能
- 堆積軟岩においても割れ目が岩盤の剛性を低下させるため、地下施設設計の入力パラメータとして使用する際、割れ目の影響を定量化することが必須
- 研究所設置地区およびその周辺における水平面内最大主応力方向は、概ね東西方向であり、最大主応力と最小主応力の比は1~1.5の範囲内に存在
- 坑道周辺は、ひずみ軟化により破壊領域が形成され、その範囲は、ゾーン2で特に大きい
- 掘削直後は、過剰間隙水圧が発生することで、支保工の軸力が増加
- 岩盤からの排水によって長期的に変形が発生する可能性が示唆

4) 処分事業・安全規制のための技術的基盤

- 地表から地下深部までの岩盤力学特性の把握と地下施設設計のためのデータの取得のためには、深層ボーリング孔を用いた既往の原位置試験と室内試験を実施することで対応可能
- 原位置試験と室内試験からの情報を用いた空洞安定性解析を実施することで、地下施設建設に伴う周辺岩盤への物理・力学特性に関する地質環境の影響予測が可能

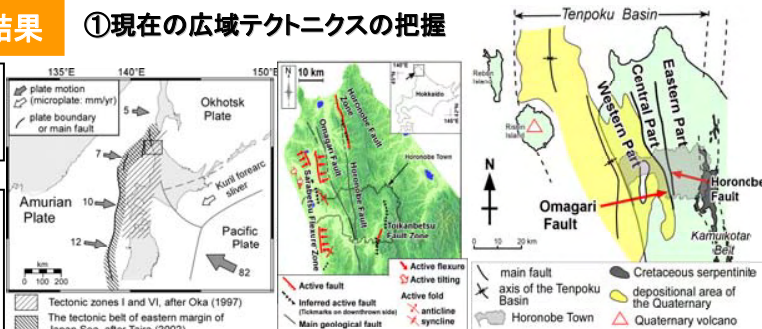
1) 目標・実施概要

- 目標: 幌延地域を事例として、地層処分にとって重要な地質環境特性(地下水流動、地下水水質、物質移動特性など)の現在から将来にわたる長期的な挙動を予測するための一連の調査・解析技術を整備する。
この過程を通じて、ある与えられた場(沿岸域、堆積岩分布地域)における地質環境の長期挙動を予測し評価するための方法論を構築する。
- 実施概要: 第1段階では、幌延地域において過去に生じた天然現象の発生様式、規則性および規模の程度を把握し、幌延地域における将来の地質環境の変遷を予測する上で重要と考えられる天然現象の概念モデルを構築することを目的として調査研究を実施した。

2) 主な調査研究結果

①現在の広域テクトニクスの把握

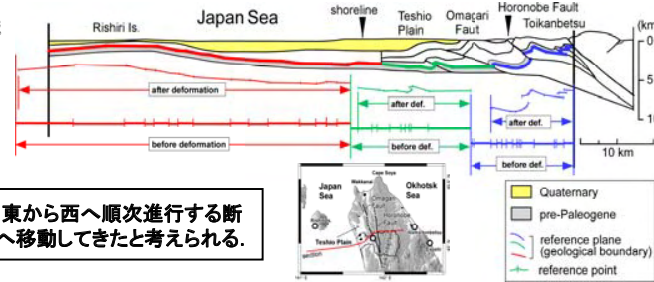
- ・広域テクトニクス
- ・震源分布、活構造の分布
- ・第四系の分布



幌延地域は東西圧縮の応力場にあり、現在陸域において地殻変動が最も活発である地域は、幌延地域の西部と推定される。

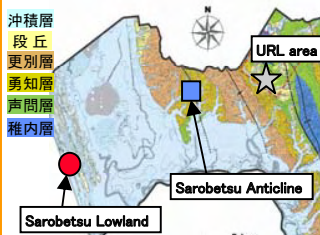
②地殻変動域・堆積域の変遷

- ・現在の地殻変動域の分布
- ・地層と地質構造の時空分布
- ・各地区の歪量



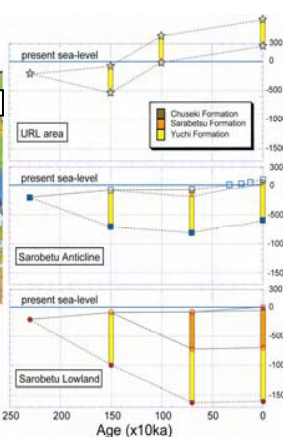
地殻変動の活発な地域や堆積域は、東から西へ順次進行する断層活動・褶曲作用とともに、東から西へ移動してきたと考えられる。

③隆起・沈降の傾向

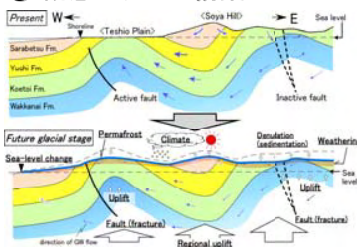


- ・地形/地質分布、年代層序
- ・海水準変動、堆積環境、古水深
- ・断層/褶曲構造の分布

約250万年前から現在に至る各地区の隆起・沈降の変遷は、広域テクトニクスと地質構造を反映し、各地区で異なる傾向を示す。



④概念モデルの構築



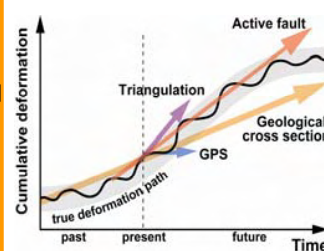
- 前提: 過去の天然現象は将来も同じ様式で発生する
- ・過去から現在に至る変動傾向に基づき、将来数10万年程度の期間を対象として、氷期における状況を誇張して描いた。
 - ・現在の地下水の流動状態を基準として、永久凍土の形成や海岸線位置の移動、地形変化などによる地下水の流動状態の変化についても概念的に記述した。

3) 得られた技術的知見

○天然現象とそれに伴う地質環境の変遷は、広域テクトニクスを反映して進行している。このため、個別事象のみを取り出して予測・評価するのではなく、その背景となる広域テクトニクスに関する情報収集が重要となる。

○幌延地域における隆起・沈降は、断層運動や褶曲作用などの地質構造の発達と密接に関連した事象である。このため、天然現象が地質環境にもたらす変化を予測・評価するうえでは、天然現象の相互作用に関わる検討が重要と考えられる。

○天然現象とそれに伴う地質環境の長期的変遷を予測・評価するうえでは、その期間と比較して、同程度かそれ以上の期間を対象とした調査手法を適用し、変動傾向を把握することが重要である。そして、その変動傾向の中で、現在が発生初期か、終末期かなど、どの状態であるかを把握した上で、予測・評価をすることが重要となる(下図)。



4) 処分事業・安全規制のための技術的基盤

地層処分にとって重要な地質環境の特性やプロセスの長期的な変遷を予測・評価するうえでは、個別の事象のみを取り出して詳細な調査研究を実施するのではなく、関連する重要な事象についての抜け落ち等を防ぐため、網羅的に情報収集を進めていくことが重要である。そして、得られた情報を総合的に取りまとめて数値解析等を実施し、次段階の調査研究の戦略を立てていくことが必要である。そのためには、調査研究の開始初期において、調査の大まかな進め方を示す研究の基本フローや、目的に至る具体的な道筋を示す統合化データフローを作成しておくことが有効と考えられる。

1) 目標・実施概要

処分場の安全を確保するためには、事前のサイト特性調査で予測される地下水の流動や地球化学特性、岩盤の力学特性などの地質環境条件が、処分場の建設や操業、あるいは天然現象などによる擾乱によって変動しても、その幅が設定された設計条件の範囲内にあることに関し、処分場の管理を通して適切に確認することが重要である。そのため、これまでの物理探査技術に比べてより高い分解能での地質環境の把握及びその時間変動を推定することが可能なモニタリング技術の構築を目標として、精密制御定常信号システム(アクロス)を幌延に適用し、地下施設の建設から操業、閉鎖後の地質環境の変化を高精度でモニタリングするシステムの開発を進めている。第1段階では、弾性波および電磁アクロスの設置を行い、地下施設建設前における試験観測を開始した。

2) 主な調査研究結果

環境ノイズレベルの調査結果(図1)および既存の物理探査の結果を踏まえ、地下施設建設前における試験観測を行った(図2)。弾性波アクロスは、平成17年12月から試験観測を開始し、HDB-3からの送信信号をHDB-4, 5, 8の各受信点で受信している。電磁アクロスはHDB-4, Z受信点において平成16年12月から、HDB-8では平成17年3月から、東西方向および北西-南東方向の2組の送信電極によるそれぞれ異なった周波数の信号を送信する試験観測を行った。また、一定時間分の試験観測データをスタッキングし、振幅スペクトルを求めることによって、送信信号とその他の信号(環境ノイズ)とが識別可能であることが確認された(図3)。

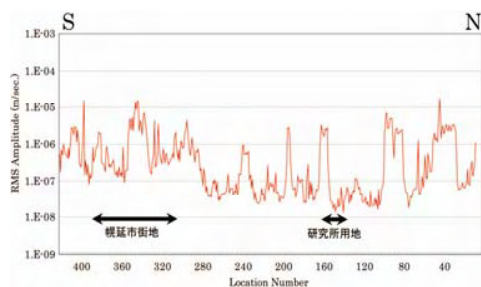


図1 弾性波ノイズ調査結果

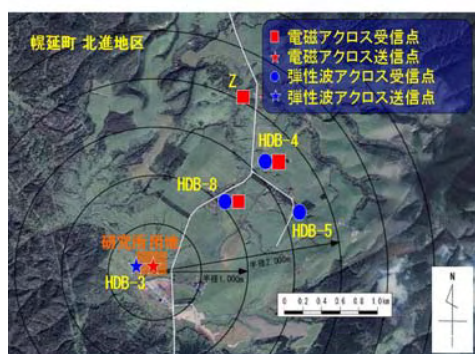


図2 弾性波及び電磁アクロスの送受信点位置 (IKONOS衛星画像データを使用)

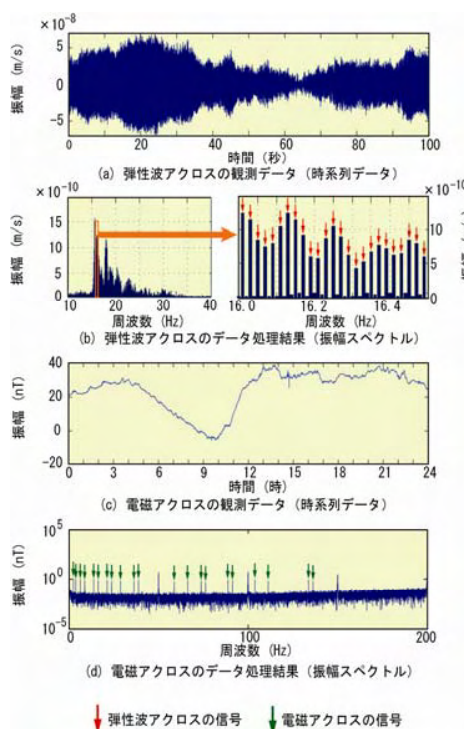


図3 弾性波(a, b)及び電磁アクロス(c, d)の観測記録例

3) 得られた技術的知見

○一般に、弾性波及び電磁波データの観測に当たっては、環境ノイズレベルより極めて小さい信号の観測は困難と考えられているが、信号を精密に制御し、連続的に送受信を行うことで、そのような微小な信号を観測することができる。

○地下施設近傍での地下水飽和度や岩盤応力の変化等に伴い、弾性波速度や比抵抗が変化すると予想される。これらの地質環境の変化を把握するため、弾性波及び電磁波を連続かつ安定して送受信することで、その微小な変化を検出することが期待できる。

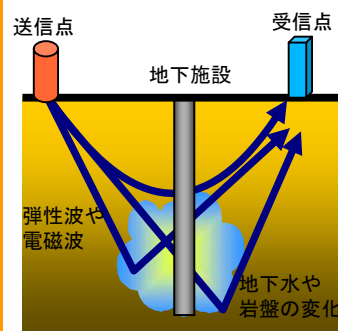


図4 遠隔監視システムの概念図

4) 処分事業・安全規制のための技術的基盤

地層処分は本質的に受動的(passive)なシステムであり、その長期安全性を確保することを目的とした処分場閉鎖後の管理(モニタリング等)を必要としないことを原則とするものである。しかしながら、処分場の安全を確保するためには、その建設等に伴う周辺地質環境の地下水及び岩盤特性の変化を確認することが重要である。遠隔監視システムは、標記の目標に加えて、これらの変動を非破壊かつ連続的に把握するためのツールとしても有用であると考えられる。

地層処分研究開発部門 幌延深地層研究ユニット
山崎 雅直・山口 雄大・松井 裕哉・森岡 宏之・舟木 泰智

1) 目標・実施概要

第1段階の目標

地上からの調査研究により得られた地質環境情報に基づいて地下施設を実際に設計・施工することを通じて、地下施設の設計・施工計画技術、建設技術、施工対策技術及び安全確保技術の高度化・体系化を図る

実施概要

①設計技術

- ・空洞安定性評価 (支保設計・耐震性能照査)

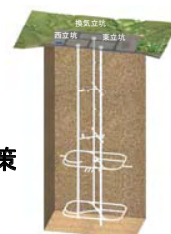
②建設技術

- ・掘削工法・支保工法
- ・掘削土(ズリ)処理計画
- ・排水処理計画

③防災対策技術

- ・可燃性ガス、坑内作業環境対策
- ・火災時対策
- ・通気挙動模型実験

地下施設イメージ図

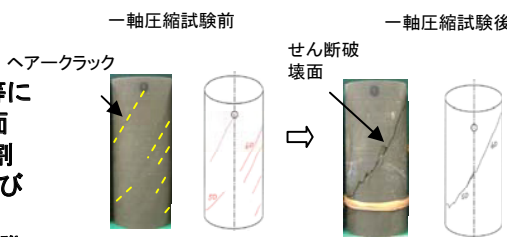


※この図はイメージで、今後の調査研究等の結果次第で見直すことがあります。

2) 主な調査研究結果

①空洞安定性の評価

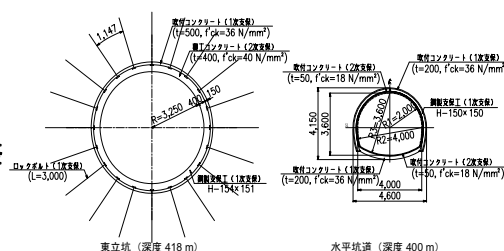
- ・ボーリング調査で得られた力学試験結果等に基づき、堆積岩(軟岩)においても、不連続面の影響を受けることを考慮して、岩石硬さ、割れ目、ヘアークラックに着目した地山区分及び岩盤物性値の設定方法を構築
- ・地山強度比の低い条件下での掘削工事に際して、二重支保構造の概念を導入し、掘削後の空洞安定性を保持しつつ、岩盤及び支保工に掘削解放応力を合理的に負担させることで、支保設計の合理化を実現



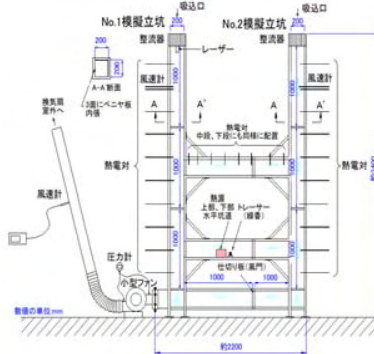
室内試験によるヘアークラックの破断状況

②掘削土(ズリ)及び排水の処理計画

- ・掘削土(ズリ)や地下水に含まれる特定有害物質について、各種法令や関係機関との調整結果を踏まえ、周辺環境への影響を考慮した処理方法を策定
- ・掘削土(ズリ)置場は、土壤汚染対策法の遮水工封じ込め型に準ずる構造を採用
- ・地下水に含まれる特定有害物質(ホウ素及びアンモニア性窒素)は、水質汚濁防止法に定める排水基準値及び関係機関との協議で決定した排水基準値以下になるように脱ホウ素及び脱窒素処理後、天塩川へ放流する計画を策定



二重支保構造の例



火災時の坑道模型実験のレイアウト図

③防災対策

- ・可燃性ガス対策、坑内作業環境対策、火災時対策、坑内情報管理システム等の計画を立案
- ・坑内火災時に発生する浮力による通気主流の逆転現象や、水平坑道の風門を開閉した場合の通気挙動等を立坑と複数の水平坑道を組み合わせた模型実験により確認

3) 得られた技術的知見

- 地下施設の事前設計技術として、堆積岩(軟岩)においても、当該地点に分布する岩種によっては割れ目やヘアークラック等の不連続面の影響を適切に考慮した岩盤物性値の評価が必要

- 地山強度比の低い岩盤条件下での坑道掘削において、二次支保に応力を負担させる二重支保構造の概念を設計に導入することで、支保設計の合理化が可能

- 周辺環境への影響を低減するため、岩石試料を用いた室内試験や地下水の水質分析を行い、各種法令や関係機関との調整を通じて掘削土(ズリ)や地下水の処理方法の最適化が必要

- 地下施設においては、坑内火災が発生した際に生じる浮力による通気主流の逆転現象や、水平坑道の風門を開閉した場合の複雑な通気挙動の発生が実験的に確認され、これらを考慮した対策を講じることが肝要

4) 処分事業・安全規制のための技術的基盤

第2段階以降の地下施設建設を通じた妥当性確認ならびに更新を行うことにより、処分場建設に向けた地下坑道の設計・施工計画技術、建設技術、施工対策技術及び安全確保技術を高度化・体系化していくことが必要である。

さらに、地層処分研究開発の成果と統合し、処分場操業時を想定した制約条件を反映した地下施設の設計・施工技術として整備していくことが重要である。

— 設計手法の適用性確認の概要 —

地層処分研究開発部門 地層処分基盤研究開発ユニット
 棚井 憲治・藤田 朝雄・谷口 直樹・小林 保之・内藤 守正・油井 三和

1) 目標・実施概要

- 幌延深地層研究計画において段階的に得られる地質環境条件をひとつの適用例として、
- 第1段階である地上からの調査で得られた情報をもとに、その検討対象深度及び地質環境条件を設定し、それらの条件をもとに処分場の設計技術の適用性に関する事例検討を行い、適用にあたっての留意すべき事項等を整理
- 第2段階以降における調査研究の方向性を具体化

2) 主な調査研究結果

□検討対象深度及び地質環境条件の設定

- 処分孔の力学的安定性が確保されること、設置環境として鉛直方向に均質で大きな岩体が存在すること、という2つの要件を満足するような検討対象深度を設定 ⇒ 450m付近の岩盤(434m~474m)
 - ボーリング調査などから得られたデータを用い、検討対象深度における物理特性、力学特性、初期応力、熱特性、地下水化学特性及び水理特性を設定
- (右表に第2次取りまとめと本検討における力学特性及び地下水化学特性の設定方法の比較を一例として示す)

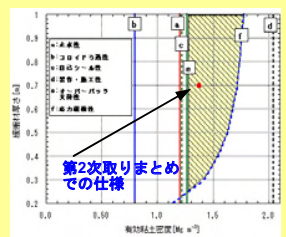
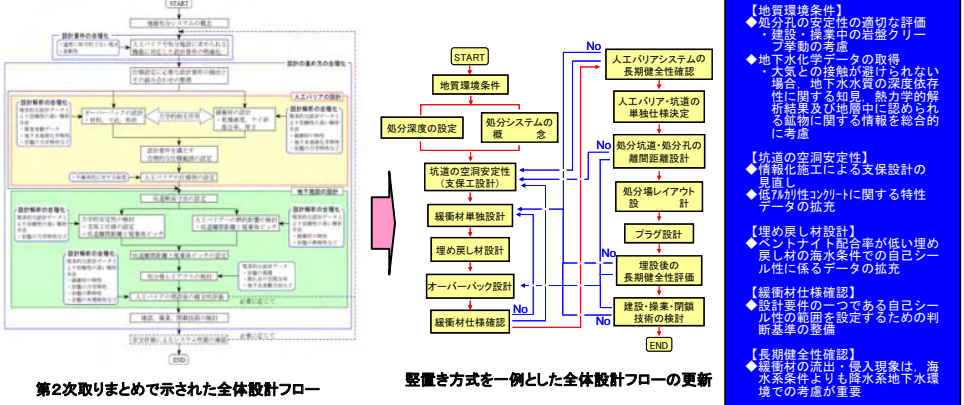
【力学特性の設定方法】		【地下水化学特性の設定方法】	
第2次取りまとめ	本検討	第2次取りまとめ	本検討
文献調査の結果をもとに、一軸圧縮強度その他の特性(弾性係数、粘着力、内部摩擦角、有効摩擦率など)間の関係を用い、設定	地下施設近傍のHDB-3, 6孔を対象とした室内・原位、露頭試験及びコア観察等により、岩盤モデル(岩盤成分の深度構成)を作成し、岩盤区分別に物性を設定	文献調査等から降水を起源とする地下水を選定し、組成、深度分布などについて整理	Na, K, Ca, Mg, Clについては、水質分析結果より、pH, Eh, C, Fe, Sについては、一般的な深部地下水に関する地球化学的知見とその不確実性をもとに地球化学モデルにより推定

3) 得られた技術的知見

- 地下水化学データに関しては、大気との接触などが避けられない場合が多い。その場合、深度方向での地下水水質の深度依存性に関する知見や水質形成の熱力学的解析結果および地層中に認められる鉱物に関する情報を総合的に考慮することが重要
- 設計構成要素間の相互関係の整理によって、一般性・客観性をより向上させた全体設計フローの構築
- 長期間の施設管理の面から、現状の地下空洞施工で一般的になりつつある情報化施工を考慮した評価指標が必要
- 強度が小さい、異方圧下、多孔質という特徴を有するような堆積岩を対象とする場合は、異方的な応力状態にある場合の長期安定性や異方性を考慮した物性値の設定方法などを考慮
- サイト環境条件に応じて要件を満足する幅を設定することにより柔軟な緩衝材設計が可能

□堅置き方式を一例とした設計手法の適用性検討

- 追跡可能性を考慮に入れ、緩衝材とオーバーバックの力学的相互作用を考慮した設計手順の明確化や埋め戻し及びプラグ設計の明示を実施
- また、これらの設計手順にもとづき幌延の地質環境条件を一例とした手法の適用性に関する検討を行い、地上からの調査段階における留意点を抽出



ブロック方式の設定例

- 埋め戻しとプラグに関する設計フローと適用事例の明示

□第2段階以降における調査研究の方向性(今後の課題)

- 地下施設の建設と関連する項目;
 - ・建設工事の支保工やグラウト材料としての低アルカリ性セメントの施工事例や留意点の整理
 - ・地上からの調査段階で示した設計手法の検証や建設工事を通じた建設技術の例示・留意点の抽出 など
- 幌延の地質環境条件を対象とした室内試験や解析的検討に関連する項目;
 - ・セメント系材料の緩衝材に対する影響に関する評価モデルやデータベースの整備
 - ・第2段階で得られる地質環境データを用いた熱-水-応力-化学連成挙動解析コードによる数値実験の実施と適用事例の拡充

4) 処分事業・安全規制のための技術的基盤

- 処分孔堅置き方式を一例として、施設設計、人工バリア設計及び埋め戻し材設計相互の複雑な関係を考慮し、第三者にも分かりやすく、客観性をより向上させた一般性のある処分場全体設計フローを提示
- 幌延の地上からの調査段階により得られたデータを一つの事例として、上記の処分場全体設計フローを用いた試設計を行うことにより、設計手法の適用可能性を確認
- 緩衝材の設計に用いられる緩衝材の透水・膨潤・熱及び力学特性などに関する実験データをデータベース化し、Web公開【<http://bufferdb.jaea.go.jp/bmdb/>】



3-2 幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階(第1段階) 研究成果報告書 分冊「地層処分研究開発」(その2)

安全評価手法の高度化—安全評価手法の適用性確認—

地層処分研究開発部門 地層処分基盤研究開発ユニット (※研究開発統括ユニット)
前川 恵輔・澤田 淳・牧野 仁史*・笹本 広・吉川 英樹・宮原 要・油井 三和

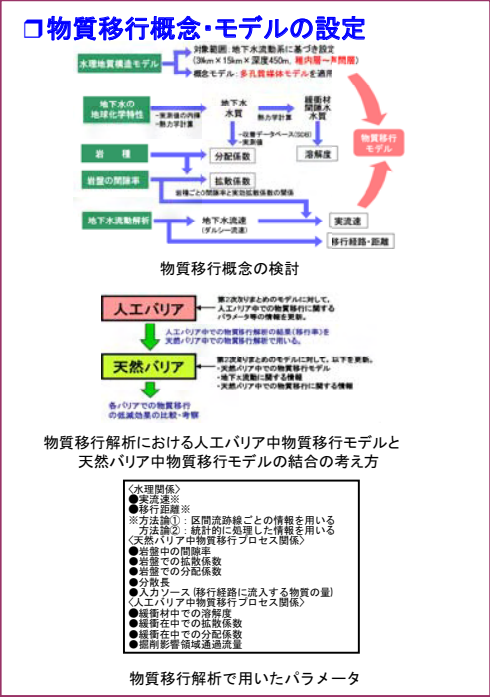
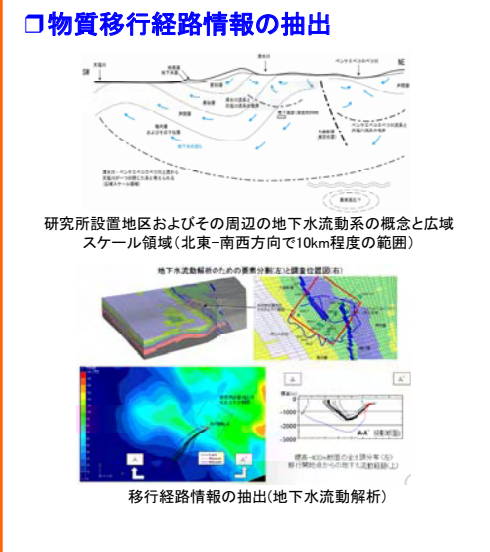
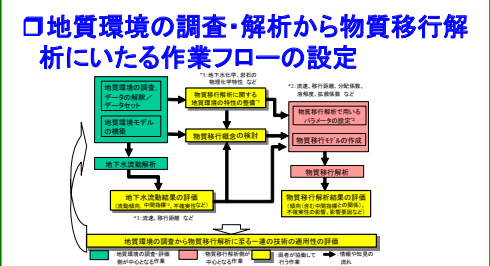
1) 目標・実施概要

- 幌延深地層研究計画において段階的に得られる地質環境条件をひとつの適用性とした地上からの調査研究段階の情報に基づく物質移行解析事例の例示, モデルやパラメータの検討・設定手順の提示
- 物質移行解析上の感度の高い因子等の検討を通じた次段階の調査計画における留意事項の抽出

今回の検討と第2次取りまとめとの比較

目的	第2次取りまとめ	今回の検討
対象	地層処分の技術的信頼性の提示 おもに文献調査に基づく仮想的な地質環境	実際の地質環境条件に対する安全評価手法の適用性の検討 幌延深地層研究計画の地上からの調査研究段階で取得された実際の地質環境情報
方法	決定論的に、モデル、パラメータ等を設定 (リファレンスケースでは、亀裂性岩層中の物質移行を考慮した亀裂性媒体モデル(1次元平行平板モデル)を採用。モデル重要ケースにおいて、断層に多孔質媒体モデルを採用)	第2次取りまとめの方法を踏襲 (亀裂性である特徴などを踏まえ、物質移行モデルに多孔質媒体モデルを採用)

2) 主な調査研究結果



□ 物質移行解析の実施

物質移行解析結果の整理・分析

3) 得られた技術的知見

- ・本検討では、天然バリアによる移行率の低減の程度が大きくなることが示唆された。
- ・実流速や間隙率、分配係数などの条件の変化に対して低減の程度が敏感に変化する特徴があることに留意する必要がある。
- ・地質環境の調査・解析あるいは性能評価のモデル化やデータ取得における不確実性の適切な把握などを進める上で、移行率の低減の程度そのものと、条件変化に対する感度の両方を考慮することが必要。
- ・物質移行解析の結果、対象とした地層(稚内層、声問層)が高い遅延効果を有することが示唆されたが、透水係数分布等によると、割れ目帯が移行経路として機能している可能性が高いため、今後の調査等に基づいて水理・物質移行モデルの概念の再評価を行うことが重要。
- ・坑道の周辺等のコンクリートやグラウトなどの人工材料や、掘削影響領域を考慮した安全評価手法の適用性について検討することが、より現実的な評価体系を構築するうえで重要。

- #### □ 第2段階以降における調査研究の方向性(今後の課題)
- (1) 地質環境の調査研究を通じたデータの取得・拡充や、そのデータに基づく地質環境に関するモデルの構築・更新、水理・物質移行に関する解析・評価の継続
 - (2) 調査の結果得られた実際の地質環境のデータの不確実性や、それらのデータに基づく地質環境に関するモデルの不確実性が物質移行解析の結果に及ぼす影響等の定量的な把握・分析
 - (3) 一連の評価に関する技術の体系化

4) 処分事業・安全規制のための技術的基盤

□ 第2次取りまとめで示した安全評価の考え方や手法に基づき、幌延地域の地質環境条件を対象とした物質移行解析における具体的な作業フローを作成し、解析の試行を通じて、一連の評価手法の具体例を提示

— 地質環境の調査・解析から物質移行解析に至る方法論の例示とその過程の試行錯誤から得られるノウハウや知見の提示

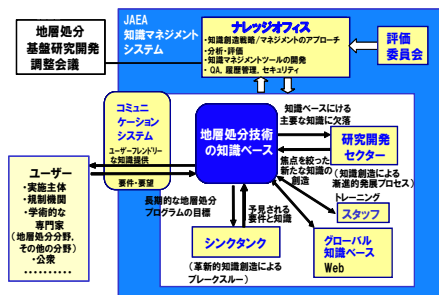
— 物質移行解析を進める上で感度の高い因子や不確実性の幅が大きな因子などに関する検討を通じた、地質環境の調査やモデル化を進める上で留意すべき点の抽出



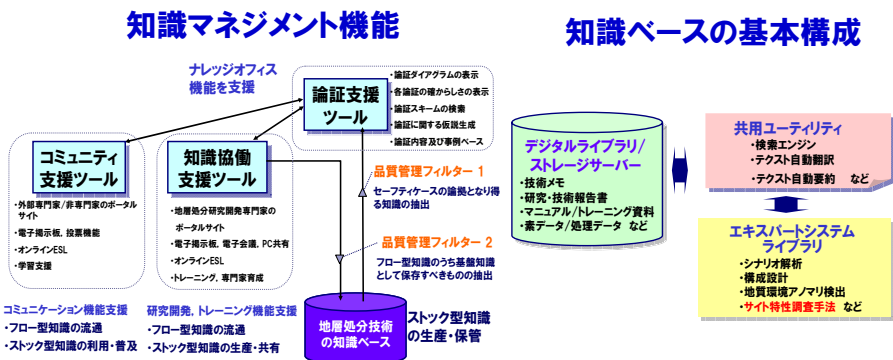
4 研究開発成果の知識化

地層処分研究開発部門 研究開発統括ユニット
梅木 博之・中野 勝志・牧野 仁史・大澤 英昭・宮本 陽一

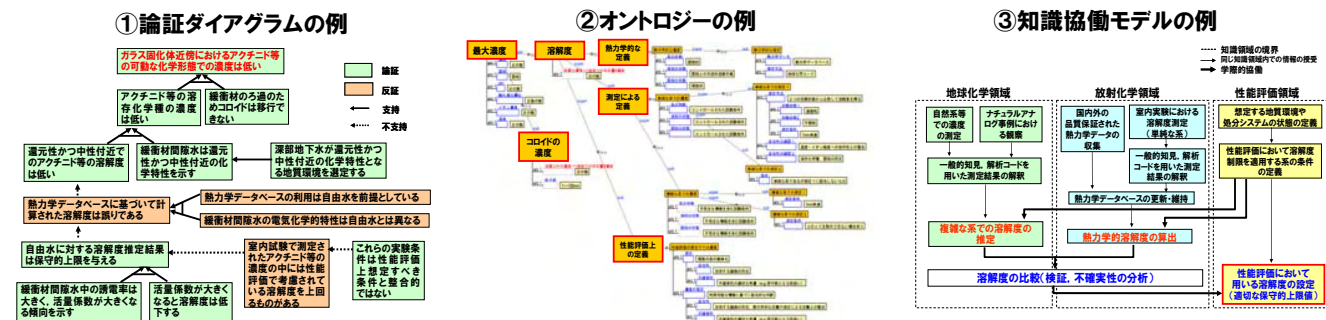
1) 知識マネジメントシステムの基本概念



2) 基本設計の概要



マネジメント機能に必要な手法の適用性の確認を目的としたケーススタディ 例: 「性能評価において用いる溶解度の設定」



3) 深地層の研究施設計画第1段階で得られた経験・ノウハウの取り込み

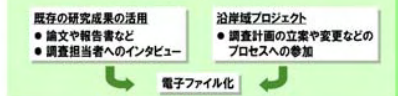
事業や規制を進める上での拠り所となる技術基盤の構築
・処分場設計や安全評価へ適切に情報を提供しつつ段階的に進められるサイト特性調査における一連の調査評価技術の信頼性向上
・処分場計画における様々な条件や調査状況変化などに応じて計画を柔軟に立案・変更し適正化するための技術開発

「次世代型サイト特性調査情報統合システム」 (Information Synthesis and Interpretation System: ISIS)

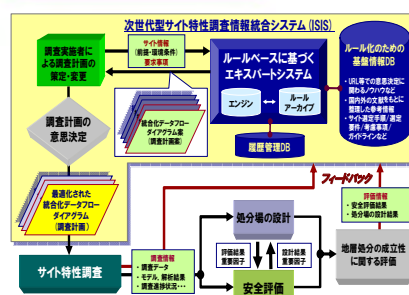
資源エネルギー庁 平成19年度地層処分技術調査等委託費(地層処分共通技術調査:地質環境総合評価技術高度化開発)

ノウハウや判断根拠のルールベース化

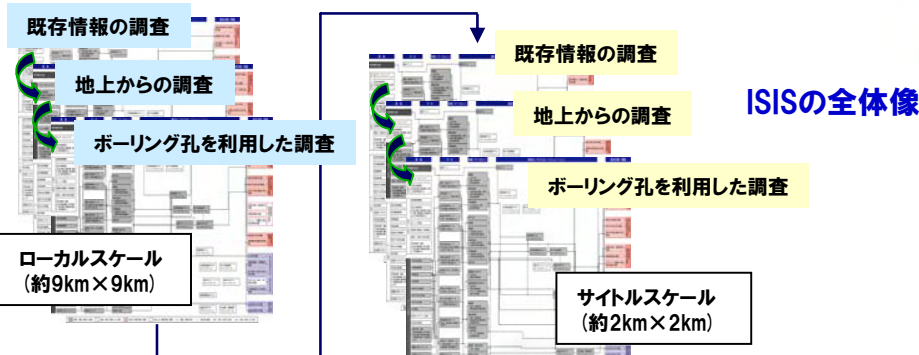
- ① ノウハウや判断根拠等の情報の抽出
✓ 空間スケールや調査対象に応じた情報の詳細度
✓ 不確実性・品質の取り扱いと意思決定の過程
✓ 設計・安全評価との連携による地層処分立性の検討
✓ 次段階の調査評価へのフィードバック



- ② ノウハウや判断根拠等の情報の分類・整理
● 統合化データフローダイアグラム上での分類
● 適用条件などの整理



統合化データフローを用いた調査・評価の最適化過程



4) 今後の予定

- セーフティケース構築や地層処分研究開発のさまざまな局面で行われる多様なタスクとこれに付随したドメイン知識に関するより精密な分析に基づく知識マネジメントシステムの詳細設計と知識ベースの整備
- 深地層の研究施設計画第1段階で得られた経験・ノウハウの抽出、判断支援のエキスパートシステム化を進め、次世代型サイト特性調査統合システムを構築するとともに第2段階以降における成果を反映した改良
- 知識マネジメントシステムの試作、試運用を通じた適用性、実効性の確認と必要に応じた改良